RELAZIONI PRESENTATE

Osservazioni SAR durante l'evento eccezionale di Bora di inizio Febbraio 2012

M. Adamo (*), G. De Carolis (**), C. Fragiacomo (***),
S. Morelli (****), F. Parmiggiani (*****), M. Bastianini (******)

(*) ISSIA-CNR, via Amendola 122, 70126 Bari, adamo@ba.issia.cnr.it
(**) IREA-CNR, via Bassini 15, 20133 Milano, decarolis.g@irea.cnr.it
(***) INOGS, Borgo Grotta Gigante, 34010 Sgonico (TS), cfragiacomo@ogs.trieste.it
(****) Dip. Sci. Fis. Info. Mat., Univ. Modena e Reggio E., via Campi, 4100 Modena, sandra.morelli@unimore.it
(*****) ISAC-CNR, via Gobetti 101, 40129 Bologna, f.parmiggiani@isac.cnr.it
(******) ISMAR-CNR, Castello 1364/a, 30122 Venezia, mauro.bastianini@ismar.cnr.it

Riassunto
L'evento eccezionale di Bora di inizio Febbraio 2012 sul Golfo di Trieste è stato studiato con l'impiego di immagini Envisat/ASAR e mediante simulazioni numeriche di 72 ore effettuate con il modello atmosferico Eta. Le informazioni quantitative sul campo di vento superficiale sono state estratte dalle immagini ASAR con un procedimento di inversione che utilizza il modello semi-empirico CMOD5 che lega la sezione d'urto normalizzata (NRCS) misurata al vettore velocità del vento a 10 m. I dati di vento, estratti mediante il modello CMOD5 dalle immagini ASAR, sono poi confrontati con quelli registrati dalla stazione meteo dell'ISMAR-CNR, UOS di Trieste, e con i risultati prodotti solo dalle simulazioni del modello Eta.

Abstract
The exceptional Bora event of the beginning of February 2012 over the Gulf of Trieste was studied by means of Envisat/ASAR images and by numerical 72-h simulations carried out with the atmospheric Eta model. Quantitative information on the surface wind field were extracted from ASAR images with an inversion procedure which makes use of the semi-empiric CMOD5 model which links the 'normalized radar backscatter cross section' (NRCS) to the 10 m wind vector. Wind data, extracted from ASAR images by CMOD5 model, are then compared with those measured by the meteo station of ISMAR-CNR of Trieste and with the results provided only by the numerical simulations of the Eta model.

Introduzione

Tra la fine di Gennaio e l'inizio di Febbraio 2012 il Golfo di Trieste venne investito da una Bora di eccezionale durata e intensità. Già negli ultimi giorni di Gennaio la Bora si era fatta sentire grazie ad una depressione mediterranea e ad un'alta pressione sull'est Europa. Ai primi di Febbraio una massa d'aria gelida arrivata dalla Russia si portò sull'Italia, determinando forti nevicate al centro della penisola, mentre sull'Alto Adriatico e sulla Venezia Giulia si registravano forte Bora e temperature molto basse. Le immagini AVHRR di questo periodo (vedi Figura 1a) mostrano l'Italia intera interessata da questo evento ciclonico straordinario.
In analogia con studi precedenti (Alpers et al., 2009; Signell et al., 2010), questo evento di Bora eccezionale è stato studiato con l'impiego di immagini acquisiti dall'*Advanced* SAR (ASAR) a bordo del satellite europeo Envisat. E' stata effettuata, inoltre, la simulazione numerica della circolazione atmosferica nel periodo tramite un modello alla mesoscala. Il modello usato è una recente versione del modello Eta (Mesinger et al., 2012).

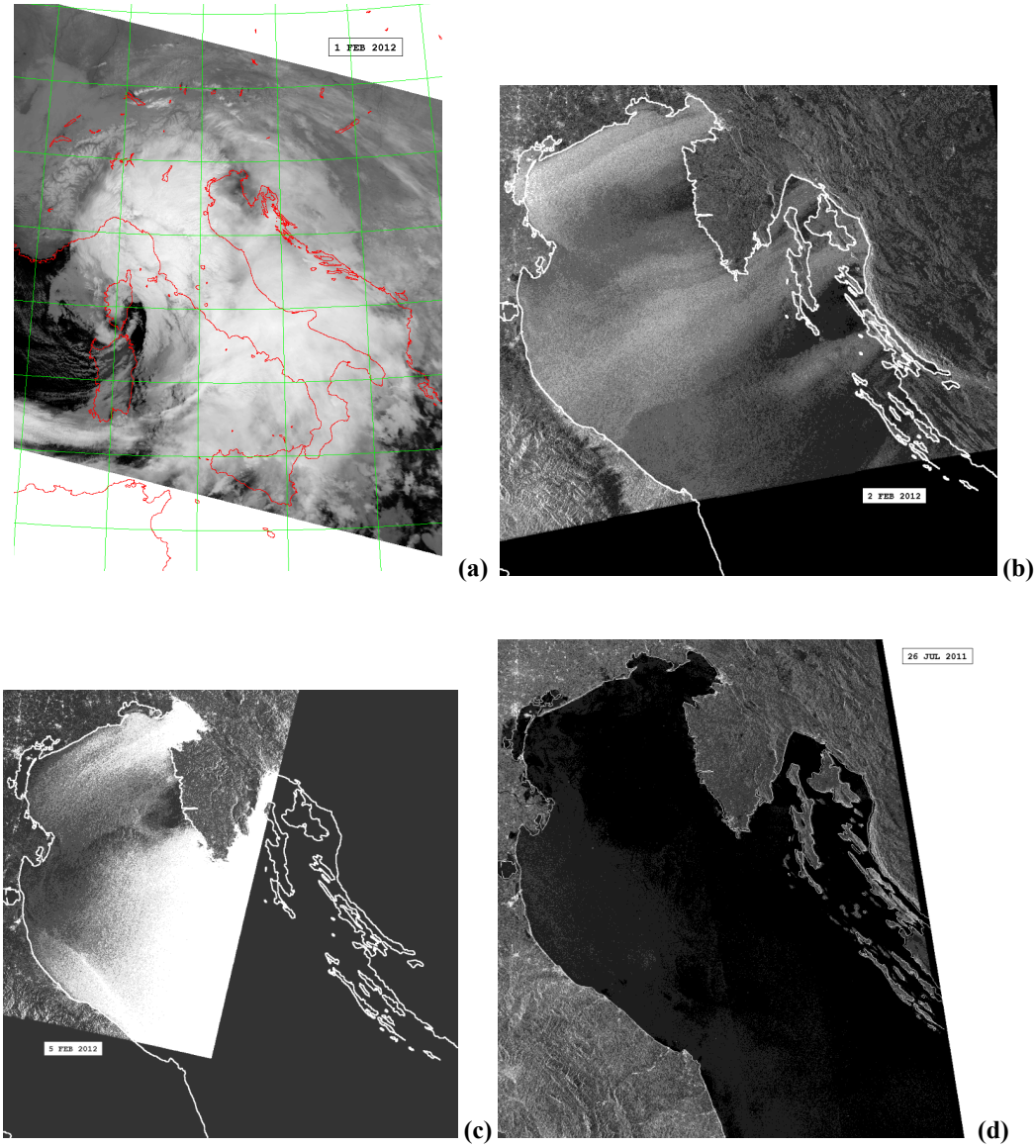


Figura 1. (a) Immagine AVHRR del 1 Febbraio 2012; (b) immagine ASAR acquisita dal satellite ENVISAT il 2 Febbraio. Sono visibili i caratteristici 'wind jet', tipici del vento di Bora, provenienti da NE; (c) immagine ASAR del 5 Febbraio. L'impronta dei wind jet sulla superficie del mare risulta attenuata rispetto ai 3 giorni precednti; (d) immagine ASAR in un giorno d'estate: si confronti il backscatter dalla superficie del mare in condizioni di quasi assenza di vento.

Immagini SAR

Una ricerca nell'archivio dell'ESA di immagini ASAR sul Nord Adriatico, per il periodo dal 25 Gennaio al 10 Febbraio, ha mostrato la disponibilità di 2 immagini *Wide Swath*, relative ai giorni 2 e 5 Febbraio. Le 2 immagini, una volta acquisite, sono state elaborate con il software TeraScan (www.seaspace.com). Le Figure 1b) e 1c) mostrano le immagini ASAR proiettate su un riferimento geografico regolare con sovrapposte le linee di costa. Le immagini evidenziano i *wind jets* perpendicolari alla costa sloveno-croata e la forte turbolenza indotta sulla superficie del mare in tutto il bacino da questo evento straordinario di Bora. Come termine di paragone viene riportata una immagine ASAR estiva che mostra il Nord Adriatico completamente 'piatto' (Figura 1d).

Dati a terra

I dati di vento del Golfo di Trieste, registrati dalla stazione meteorologica dell'ISMAR-CNR, UOS di Trieste, sono stati ottenuti sia come valore di 'raffica' (*gust*), per il periodo dal 25 Gennaio al 5 Febbraio, che come dato orario per i giorni delle immagini ASAR, cioè il 2 e 5 Febbraio. I valori del vento sono riportati come *rose diagram* in Figura 2.

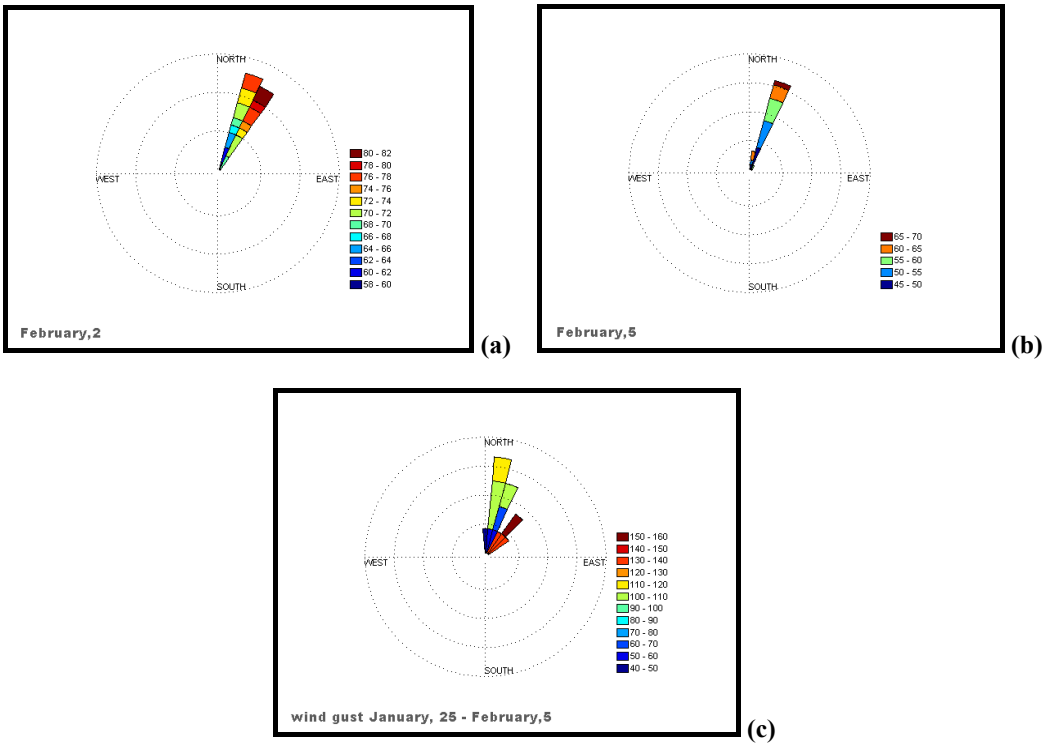


Figura 2. Diagrammi del vettore del vento per il (a) 2 Febbraio e (b) 5 Febbraio. Il pannello (c) illustra la distribuzione delle raffiche nel periodo dal 25 Gennaio al 5 Febbraio.

Modello Eta e simulazioni numeriche

Eta è un modello atmosferico, tridimensionale, a punti di griglia che usa in verticale superfici quasi orizzontali (superfici η), un sistema di coordinate sferiche ruotate e una griglia di tipo Arakawa E (*semi-staggered Arakawa E grid*). Esso è usato nel mondo sia in modo operativo per le previsioni meteorologiche sia per ricerca presso molti Centri ed Università. Informazioni generali circa il modello ed una bibliografia sia della parte dinamica che di quella fisica sono fornite, per esempio, in Morelli e Berni (2003), Cesini et al. (2004), Mesinger et al. (2012).

Le simulazioni numeriche presentate in questo lavoro sono state ottenute da una recente ed aggiornata versione del modello che ha origine dal codice *Workstation Eta* del *National Center for Environmental Predictions* (NCEP) e descritta in Mesinger et al. (2012). I codici originali di *preprocessing* e *postprocessing* sono stati modificati all'Università di Modena e Reggio Emilia.

Il dominio di integrazione è definito dai punti: (6.29°E, 49.77°N), (21.71°E, 49.77°N), (20.30°E, 37.81°N), (7.70°E, 37.81°N). In verticale sono stati adottati 50 strati dalla superficie del mare a 25 hPa, con più alta risoluzione vicino alla superficie. La risoluzione orizzontale è di circa 20 km. Sono state condotte due simulazioni idrostatiche di 72 ore ciascuna a partire dal 1 Febbraio e 4 Febbraio 2012, così che i tempi di acquisizione delle immagini ASAR corrispondono tutte al secondo giorno di simulazione. Le condizioni iniziali ed al contorno sono state ottenute dalle analisi del *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF), fornite ogni sei ore. A questo scopo i codici originali di *preprocessing* sono stati opportunamente modificati. Nelle figure seguenti è rappresentato il campo del vento a 10 m simulato in corrispondenza ai tempi più vicini alle acquisizioni dei dati ASAR: il 02 Febbraio alle 21 UTC (Figura 3) ed il 05 Febbraio alle 10 UTC (Figura 4), rispettivamente. Per questioni di chiarezza, solo un vettore ogni 3 è stato disegnato e l'area rappresentata è solo una parte del reale dominio di integrazione del modello. Le figure mostrano che vento da Nord Est è simulato per tutti i periodi considerati sull'area Adriatica. Il vento oltrepassa le Alpi Dinariche e soffia sul mare fino quasi alla costa italiana. In accordo con le misure a Trieste il vento simulato è più intenso il giorno 2 Febbraio e va, poi, diminuendo nei giorni successivi.

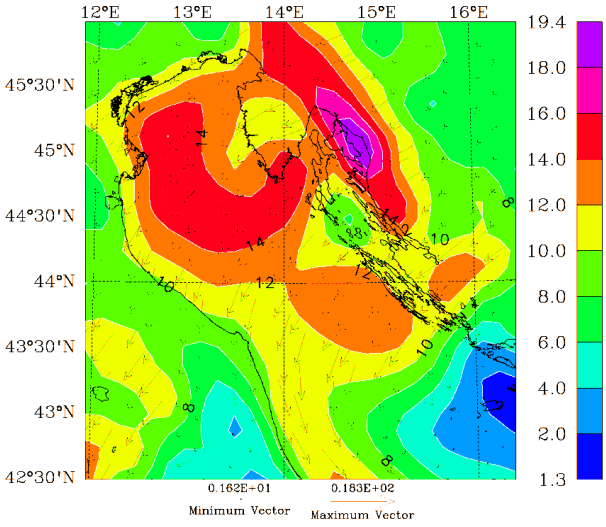


Figura 3. Velocità (m/s) e direzione (vettori) del vento simulato a 10 m dalla superficie valido il 2 Febbraio alle 21:00 UTC. Per chiarezza sono rappresentati solo una porzione del dominio di integrazione ed un vettore ogni tre.

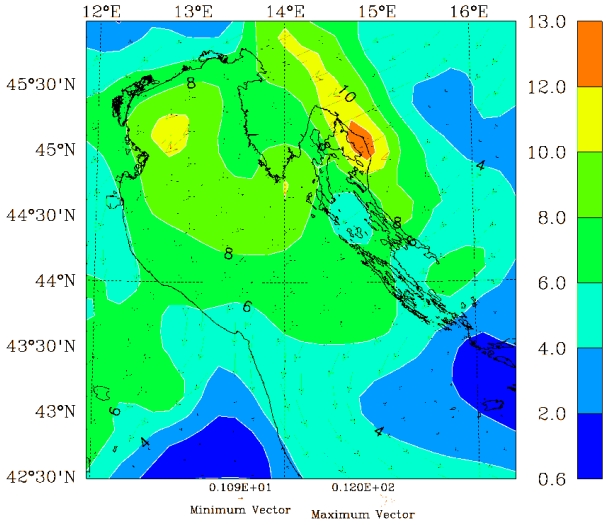


Figura 4. Come per Fig. 3, ma valido il 5 Febbraio alle 10:00 UTC.

Il campo di vento dalle immagini ASAR

Le informazioni quantitative sul campo di vento superficiale sono state estratte dalle immagini ASAR mediante inversione della sezione d'urto normalizzata (NRCS) misurata, σ^o_{ASAR}, nel vettore della velocità del vento a 10 m $\vec{W}_{10}$. La procedura di inversione si basa sulla minimizzazione di una funzione costo che tiene conto del contributo informativo aggiunto dal dato SAR a partire dalle simulazioni del vettore del vento $\vec{W}_{10}$ fornite dal modello atmosferico di previsione Eta su una scala spaziale di circa 20 km. La relazione funzionale tra σ^o_{ASAR} e $\vec{W}_{10}$ è fornita dalle predizioni del modello geofisico semi-empirico CMOD5 (σ^o_{CMOD5}) (Hersbach et al., 2007).
La funzione costo da minimizzare è data dalla seguente espressione:

$$J = \left(\frac{\sigma^o_{ASAR} - \sigma^o_{CMOD5}}{\Delta\sigma^o_{ASAR}} \right)^2 + \left(\frac{U_{Eta} - U_{trial}}{\Delta U_{Eta}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Eta} - V_{trial}}{\Delta V_{Eta}} \right)^2 \qquad [1]$$

dove U e V sono le componenti zonale e meridionale del vettore del vento di prova (*trial*) e predetto dal modello Eta (*Eta*); infine, $\Delta U_{Eta} = \Delta V_{Eta} \approx 2\text{m/s}$ rappresentano l'incertezza associata alle predizioni Eta e $\Delta\sigma^o_{ASAR} \approx 0.08 \times \sigma^o_{ASAR}$ rappresenta la variabilità della NRCS all'interno della cella di misura. Il vettore vento $W^* = \left(U^*_{trial}, V^*_{trial}\right)$ che minimizza J è considerato come la migliore stima del vettore del vento nella particolare cella presa in esame.

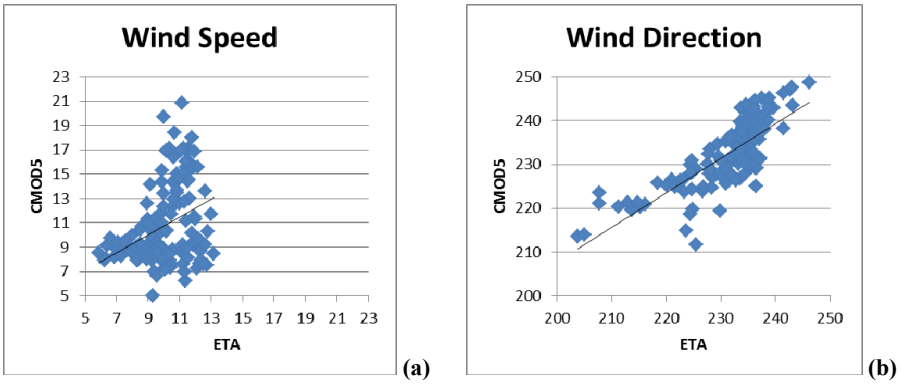


Figura 5. Scatterplot tra velocità (a) e direzione di propagazione (b) del vento ETA e quello ottenuto mediante inversione del dato SAR del 2 Febbraio alle 21:00 UTC.

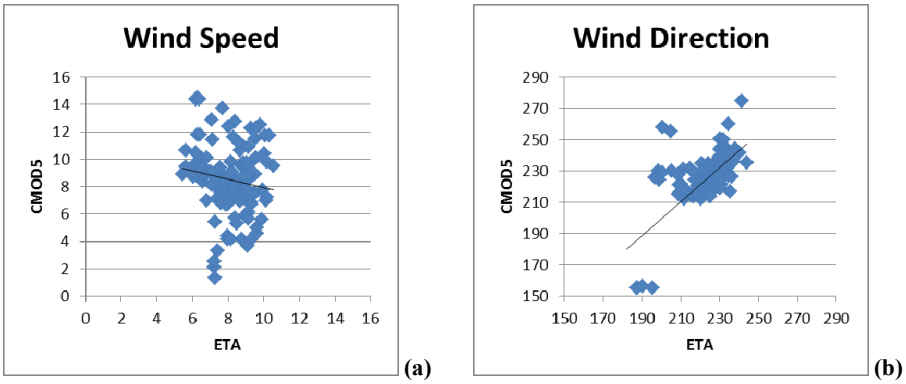


Figura 6. Scatterplot tra velocità (a) e direzione di propagazione (b) del vento ETA e quello ottenuto mediante inversione del dato SAR del 5 Febbraio alle 09:32 UTC.

In Figura 5 e 6 sono rappresentati gli *scatterplot* delle stime di velocità (a) e direzione (b) del vento ottenute mediante la procedura di inversione del dato SAR rispetto ai valori stimati dal modello ETA e utilizzati come *guess* per la procedura di inversione, rispettivamente per l'acquisizione del 02/02/2012 e del 05/02/2012. Da questi si evince che le stime ASAR correggono le previsioni Eta della velocità, lasciando parzialmente inalterate le direzioni. Si nota infatti che il modello Eta tende in generale a sottostimare la velocità massima, fino a circa 7 m/s per il caso del giorno 2 e 3 m/s per il giorno 5. I risultati forniti dall'*imaging* ASAR sono coerenti con le misure anemometriche rilevate dalla stazione ISMAR-CNR che per il giorno 2 Febbraio riportano una velocità del vento pari a 22 m/s e direzione di propagazione 244° N, mentre il giorno 5 la velocità del vento registrata è di 15 m/s con 252° N di propagazione. Si conclude che i risultati della modellistica atmosferica descrivono in maniera esauriente le proprietà strutturali del campo di vento in termini di modalità di propagazione delle masse d'aria in prossimità della superficie del mare. Per contro, le immagini ASAR consentono di estendere le osservazioni puntuali da anemometro su una scala sinottica ad elevata risoluzione spaziale.

Conclusioni

La Bora è un fenomeno costiero locale che si manifesta con forti venti che vengono incanalati dai sistemi montuosi costieri verso il mare. Il sito più noto dove il fenomeno della Bora si presenta con maggiore intensità è il Mare Adriatico settentrionale. Il campo di vento della Bora può variare grandemente su scale spaziali di pochi kilometri; pertanto, il radar ad apertura sintetica (SAR), con la sua alta risoluzione spaziale, è lo strumento ideale per studiare tale fenomeno.

In questo studio è stato analizzato, mediante immagini Envisat/ASAR, un evento eccezionale di Bora che occorse nei primi giorni di Febbraio 2012. Le informazioni quantitative sul campo di vento superficiale sono state estratte dalle immagini ASAR con una procedura di inversione che utilizza il modello semi-empirico CMOD5.

Mediante l'impiego di una versione recente ed aggiornata del modello atmosferico Eta, sono state condotte delle simulazioni numeriche per un periodo di 72 ore a partire dal 1 Febbraio e dal 4 Febbraio 2012, in modo che i tempi di acquisizione delle immagini ASAR corrispondessero al secondo giorno di simulazione. Il dominio di integrazione del modello corrisponde all'incirca alla intera penisola italiana e mari limitrofi (per chiarezza solo la metà superiore del Mare Adriatico è mostrata nelle figure).

La modellistica atmosferica cattura le proprietà spaziali del campo di Bora, riproducendo i *wind jet* che si osservano sulle immagini ASAR. Inoltre, le simulazioni Eta predicono l'attenuarsi del fenomeno nel passaggio dal giorno 2 al 5. I *run* del modello si riferiscono ad una risoluzione spaziale di circa 20 km, relativamente bassa per rappresentare dettagliatamente la topografia della zona. Ci proponiamo perciò di estendere le simulazioni fino ad una risoluzione spaziale di qualche km per descrivere più precisamente il campo di vento nell'area di interesse e verificarne l'impatto sulla procedura di inversione di immagini SAR.

Riconoscimenti

Si ringrazia:

- la *European Space Agency*, ESA, per la messa a disposizione delle immagini ASAR *Wide Swath* usate in questo studio;
- il dr. Racich dell'ISMAR-CNR, UOS di Trieste per aver fornito i dati di vento, raccolti dalla stazione meteo dello stesso Istituto, utilizzati in questo lavoro;
- il Prof. F. Mesinger e il *Center for the Weather Prediction and Climate Studies* ,CPTEC, Cachoeira Paulista, SP, Brazil per avere reso disponibile il modello Eta;
- lo *European Centre for Medium Range Weather Forecasts*, ECMWF, per avere fornito le analisi da cui sono state ottenute le condizioni iniziali ed al contorno per l'integrazione del modello Eta.

Bibliografia

[1] Adamo M., De Carolis G., Morelli S., Parmiggiani F. (2004), "Synergic use of SAR imagery and high-resolution atmospheric model to estimate wind vector over Mediterranean Sea", *Proc. EOS/SPIE Symposium in Remote Sensing,* Vol. 5574.

[2] Adamo M., De Carolis G., Morelli S., Parmiggiani F. (2006), "Synergic use of SAR imagery and high resolution atmospheric model to estimate marine wind fields : an application in presence of an atmospheric gravity wave episode", *Rivista Italiana di Telerilevamento***,** vol.35, 147-160.

[3] Alpers W., Ivanov A., Horstmann J. (2009), "Observations of Bora Events over the Adriatic Sea and Black Sea by Spaceborne Synthetic Aperture Radar", *Monthly Weather Review,* Vol. 137, Issue: 3, 1150-1161.

[4] Cesini D., Morelli S., Parmiggiani F. (2004), "Analysis of an intense bora event in the Adriatic area" , *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 4, Issue 2 : 323 - 337.

[5] Hersbach H., Stoffelen A., de Haan S. (2007), "An improved C-band scatterometer ocean geophysical model function: CMOD5, *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2006JC003743
[6] Mesinger F., Chou S.C., Gomes J.L., Jovic D., Bastos P., Bustamante J.F., Lazic L., Lyra A.A., Morelli S., Ristic I., Veljovic K. (2012),"An upgraded version of the Eta model", *Meteorol Atmos Phys*, 116: 63–79, doi :10.1007/s00703-012-0182-z
[7] Morelli S., Berni N. (2003), "On a bora event simulated by the Eta model", *Meteorol. Atmos. Phys.* 84: 11-22, doi:10.1007/s00703-002-0573-7
[8] Portabella M., Stoffelen A., Johannessen J.A (2002), "Toward an optimal inversion method for synthetic aperture radar wind retrieval", *J. Geophys. Res.*, 107, doi: 10.1029/2001JC000925
[9] Signell R.P., Chiggiato J., Horstmann J., Doyle J.D., Pullen J., Askari F. (2010), "High-resolution mapping of Bora winds in the northern Adriatic Sea using synthetic aperture radar", *J. Geophys. Res.,* Vol. 115, C04020, doi:10.1029/2009JC005524.

Il sistema informatico di gestione e pubblicazione degli strumenti di pianificazione urbanistica del Comune di Bologna

Paola Africani (*), Cristina Bizzarri (**), Andrea Cigarini (**), Elena Ferrari (*), Luca Lorenzini (*), Andrea Minghetti (*), Elisa Paselli (*), Massimo Poggiali (*), Susanna Scagliarini (*)

(*) SIT, Comune di Bologna, Piazza Liber Paradisus 10, Bologna, tel. 051/2194019, fax 051/2194027, sitadmin@comune.bologna.it
(**) Semenda S.r.l. Informatica per il territorio, Via Santi 14, Modena, tel. 059/333022, fax 059/333084, info@semenda.it

Introduzione

Il progetto per la realizzazione del sistema di gestione e pubblicazione degli strumenti comunali di pianificazione urbanistica (PSC - Piano Strutturale Comunale, RUE - Regolamento Urbanistico Edilizio e POC - Piano Operativo Comunale) ha visto il coinvolgimento e la cooperazione dei tecnici dell'unità SIT del Comune di Bologna e della ditta Semenda S.r.l.

Nella prima fase del progetto è stata approfondita l'analisi dei tre strumenti urbanistici comunali vigenti e del loro vasto contenuto informativo, cartografico e documentale, con l'obiettivo di elaborare un modello dati strutturato e organizzato. Tale modello è stato definito a partire da quello proposto dalla Regione Emilia-Romagna nel documento "Modello dati di base del PSC - febbraio 2011" e adeguato alle esigenze della pianificazione comunale, nel rispetto della compatibilità con il modello provinciale.

La seconda fase ha riguardato la progettazione fisica della banca dati e successiva implementazione nel formato Geodatabase ArcGIS. La scelta della tecnologia ESRI è stata effettuata per sfruttare al massimo le potenzialità di prodotti da anni in manutenzione e in uso all'interno dell'Amministrazione comunale che rendono disponibili potenti strumenti per la gestione, l'editing ed il controllo dei dati.

Il progetto, complesso ed articolato, non si è esaurito con la messa in esercizio della banca dati, ma ha previsto la realizzazione di moduli software per l'amministrazione, la gestione e la pubblicazione dei dati di piano.

L'obiettivo dell'unità SIT è stato quello di creare un sistema completo ed interoperabile, che rendesse disponibile all'esterno dell'ente la cartografia, la normativa e i documenti relativi alla pianificazione urbanistica comunale. I dati di PSC-RUE-POC vengono esposti sia mediante *web service*, sia attraverso applicazioni web in modalità standard (con tecnologia ArcGIS API for Flex) e in modalità evoluta che utilizza il CMS GIS Moka come catalogo dati e generatore di applicazioni.

Abstract

The Management and Publishing project of the urban planning instruments (PSC – Piano Strutturale Comunale, RUE – Regolamento Urbanistico Edilizio and POC – Piano Operativo Comunale) has involved technical people from Bologna Municipality SIT Department and Semenda Srl company. The first phase of the project was the in-depth analysis of the three instruments and their maps and documents, with the aim of creating a structured and organized data model, based on the regional one. The second step was the physical design of the database and the implementation in ArcGIS Geodatabase.

The project was completed with the software modules creation for data plan administration, management and publishing.
Contents of PSC-RUE-POC are exposed through web services, web applications in a standard way (powered by ArcGIS API for Flex) and in an evolved way using the CMS Moka as GIS data catalog and applications generator.

Analisi dei dati e progettazione del database

Il punto di partenza del progetto è stato l'analisi dei dati, cartografici e non, che costituiscono i tre strumenti urbanistici, il PSC, il RUE e il POC, che nel loro insieme vengono indicati come PUC (Piano Urbanistico Comunale).
Per intuire quale sia stata l'entità e la complessità dell'analisi può essere utile iniziare con il fornire qualche numero, almeno per quanto riguarda la documentazione cartografica collegata ai tre strumenti: gli elaborati grafici messi in gestione sono composti da 15 tavole, realizzate utilizzando circa 150 layer e circa 250 voci di legenda.
Prima della realizzazione del progetto, nella fase di redazione dei piani, la velocità con la quale venivano richiesti gli elaborati e i tempi stretti dei vari iter approvativi, non hanno dato spazio ad un'organizzazione ottimale di dati non catalogati, in formato shapefile e strettamente connessi tra di loro: la difficoltà riscontrata ha evidenziato quanto una banca dati condivisa, strutturata e documentata sia indispensabile.
Per questo, allo scopo di renderne il più snella possibile la gestione, si è scelto di adottare il modello Geodatabase di ArcGIS.
Prima di procedere al caricamento dei dati nelle nuove strutture progettate, tutti gli elementi cartografici sono stati codificati a livello comunale ed in seguito sono state individuate le corrispondenze col dizionario dati provinciale; da qui con le tabelle di conversione messe a disposizione dalla provincia di Bologna, i dati sono poi esportabili verso il modello regionale (il Modello dati d'interscambio del PSC - febbraio 2011).
Per quanto riguarda la componente PSC della banca dati, sostanzialmente è stato seguito il modello proposto dalla Regione, individuando gli aspetti strutturanti e condizionanti, salvo che per alcuni casi specifici in cui il piano ha richiesto un maggior dettaglio (come per la gestione delle Situazioni, elemento non previsto dalla legge ed introdotto dal Comune di Bologna).
Nell'individuare un modello dati del RUE e del POC, in parte sono state adottate strutture analoghe a quelle del modello per il PSC, ed in parte sono state individuate nuove strutture per soddisfare la gestione degli elementi coinvolti.
La linea generale seguita è stata quella di ridurre al minimo le informazioni alfanumeriche contenute nei vari layer, in modo da semplificarne la gestione e da ottenere dei dati il più possibile normalizzati; le decodifiche dei codici, il collegamento al tipo di strumento e la sua validità (per la storicizzazione dei piani), il collegamento alla normativa e tutte le altre informazioni aggiuntive, sono state inserite in tabelle esterne collegate con relazioni 1:1 o 1:n. Questo consente di poter in ogni momento modificarle senza intervenire sul livello cartografico (ad esempio è sufficiente modificare la url nel catalogo delle norme per attribuire la modifica a tutte le *feature* interessate che la richiamano).
La progettazione della banca dati ha avuto come risultato la riduzione del numero di layer presenti nel Geodatabase, in alcuni casi è stato necessario replicare dati presenti in due o più piani, seppur in parte o interamente coincidenti, per poterne gestire i diversi iter approvativi non contemporanei.
Per esempio, il layer della classificazione del territorio, nato nel PSC alla scala 1:20000 ed entrato nel RUE con il maggior dettaglio di una scala 1:2000, sarà presente sia nel PSC e sia nel RUE; i due livelli sono però strettamente connessi grazie all'utilizzo di regole e procedure.
In generale, è stato mantenuto il collegamento fra i vari layer e fra i vari piani, perché spesso alcuni elementi devono restare allineati in tutti i piani, o in altri casi alcuni elementi che sono in un piano passano in un altro piano dove vengono meglio definiti e devono poi tornare al primo con la nuova

definizione oppure le modifiche (anche semplicemente di aggiornamento) su un livello generano a catena delle modifiche su altri.
Tutte queste casistiche sono state individuate e tradotte in procedure software, che partendo dal dato iniziale realizzano l'elaborazione richiesta per l'aggiornamento; tali procedure sono state realizzate utilizzando il *ModelBuilder* di ArcGIS.
Nell'analizzare i dati cartografici dei tre strumenti sono stati considerati i flussi informativi che nella fase di redazione dei piani hanno portato alla generazione delle cartografie, allo scopo di individuare le banche dati comunali da prendere in considerazione per il loro aggiornamento e la loro gestione.

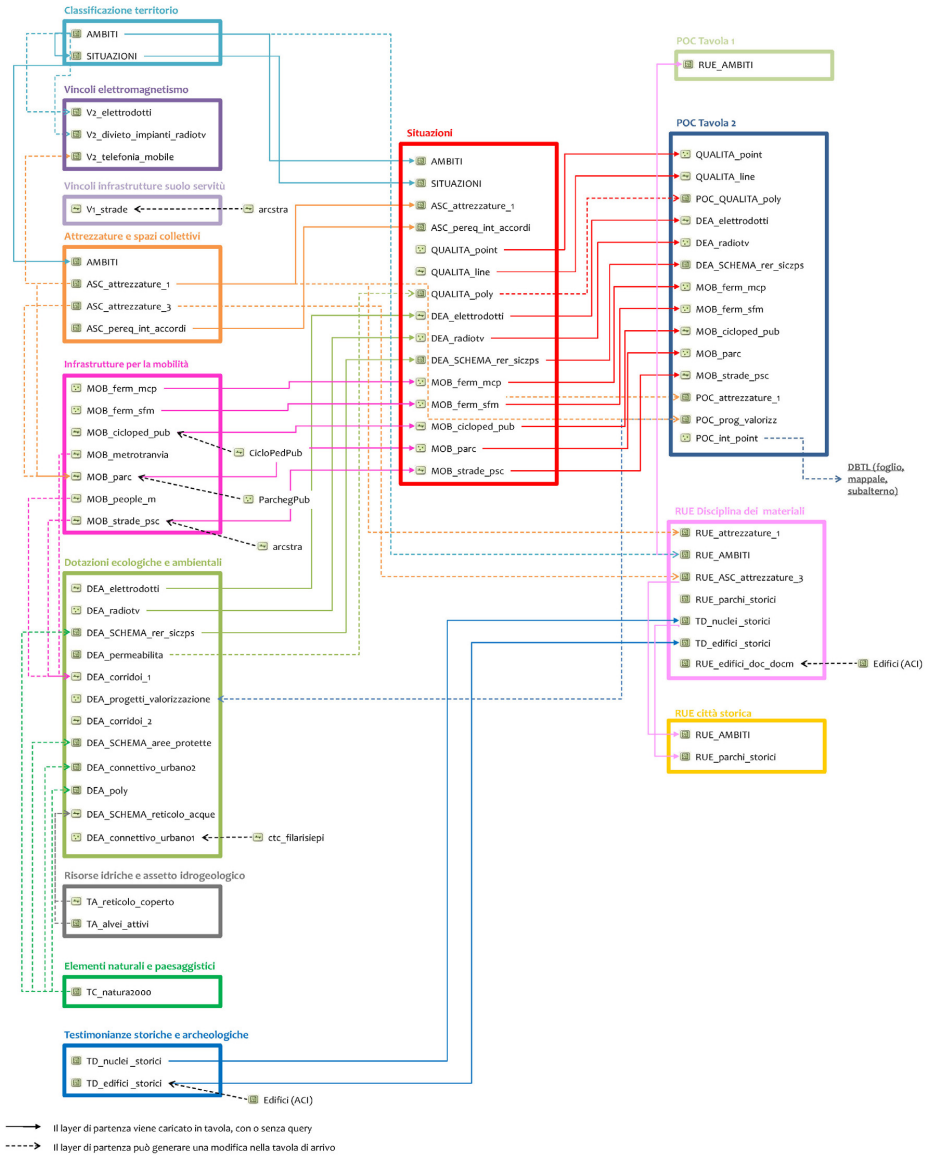


Figura 1 – Selezione delle tavole e dei livelli del PUC tra cui esistono delle relazioni.

L'esame di tutti i layer (in origine shapefile) coinvolti negli elaborati grafici del PUC ha portato ad individuare tutta una serie di relazioni che vengono sintetizzate nello schema di Figura 1, dove sono indicati esclusivamente i livelli delle varie tavole dei piani che in qualche modo influenzano quelli di altre tavole, dello stesso strumento o di altri strumenti.
Con la freccia a linea continua viene indicata una relazione diretta, nel senso che il layer viene caricato così com'è, con o senza filtri di selezione delle *feature*, in altri elaborati grafici, mentre la freccia con la linea tratteggiata indica che quel livello può generare una modifica in un altro layer di un'altra tavola.
La fitta rete di collegamenti dello schema lascia intendere quante relazioni ci siano tra i dati dei piani; a queste si aggiungono collegamenti ad altre banche dati esterne, come l'ACI, per la gestione e l'aggiornamento degli edifici documentali e storico-architettonici del RUE, o il DBTL per tenere aggiornato l'elenco delle particelle su cui il POC appone un vincolo espropriativo.

Geodatabase e sua amministrazione
I dati così analizzati e definiti hanno portato al popolamento del Geodatabase ArcGIS.
Il Geodatabase è costituito da quattro *Feature Dataset* che contengono le cartografie del PUC e dalle relative tabelle alfanumeriche, da tabelle di sistema (p.e. che memorizzano il collegamento alle norme e ai documenti di piano) e da tabelle necessarie alla gestione degli utenti.
Per consentire la gestione delle cartografie di piano e dei dati associati, oltre che il funzionamento dei *web service* e delle applicazioni web di consultazione, il Geodatabase è stato progettato sfruttando le funzioni di *versioning* ed *archiving* di ArcGIS, prevedendo diverse versioni di dati (Figura 2):

- La versione Base è la versione principale dei dati (versione Default) e contiene tutti i dati consolidati, vista la sua importanza le attività di modifica dei dati non verranno mai fatte direttamente sulla versione Base.
- La versione Pubblicata contiene gli stessi dati della versione Base, ma è ottimizzata per la pubblicazione in internet ed è accessibile in sola lettura.
- La versione Storica contiene tutte le modifiche apportate nel tempo alla versione Base ed è alimentata tramite i meccanismi di storicizzazione del Geodatabase.
- La versione Manutenzione contiene tutte le modifiche ai dati relative alle attività di manutenzione (correzione di errori materiali, aggiornamento per recepimento dei piani sovraordinati, etc), usata per la validazione prima del *reconcile* con la Base.
- Le versioni Manutenzione Attività 1, ..., Attività N, contengono i dati di lavoro relativi alle varie attività in cui viene scomposto ogni intervento di manutenzione. Infatti, ogni intervento sul piano può a sua volta essere suddiviso in attività che sono svolte da persone o gruppi di lavoro distinti, che però hanno la possibilità di intervenire contemporaneamente sugli stessi dati, ad esempio per modificare lo stesso livello cartografico.
- Le versioni Evoluzione 1, ..., Evoluzione N contengono i vari progetti di evoluzione del piano (realizzazioni di nuovi strumenti urbanistici o varianti), usate per la validazione prima del *reconcile* con la Base.
- Le versioni Evoluzione 1 Attività 1, ..., Attività N (figlie di Evoluzione 1) contengono i dati relativi alle varie attività in cui è stata suddivisa l'evoluzione del piano. Tale suddivisione può essere anche molto articolata: ad esempio il PSC può essere suddiviso nelle entità principali che lo compongono.

Nella parte inferiore dello schema sono presenti le repliche dei dati, che vengono create a partire dalle versioni del Geodatabase contenenti i dati di lavoro per le diverse attività. L'uso delle repliche consente a chi fa editing la modifica dei dati senza bloccarli nella banca dati centrale (come avverrebbe utilizzando i normali meccanismi di gestione delle transazioni lunghe dei DBMS) e quindi evita l'interferenza col lavoro di altri utenti. Inoltre, l'uso delle repliche protegge da accessi

non autorizzati sul database centrale, distribuisce il carico di lavoro su più database e rende disponibile i dati anche *offline,* che possono così essere modificati con una licenza ArcView.

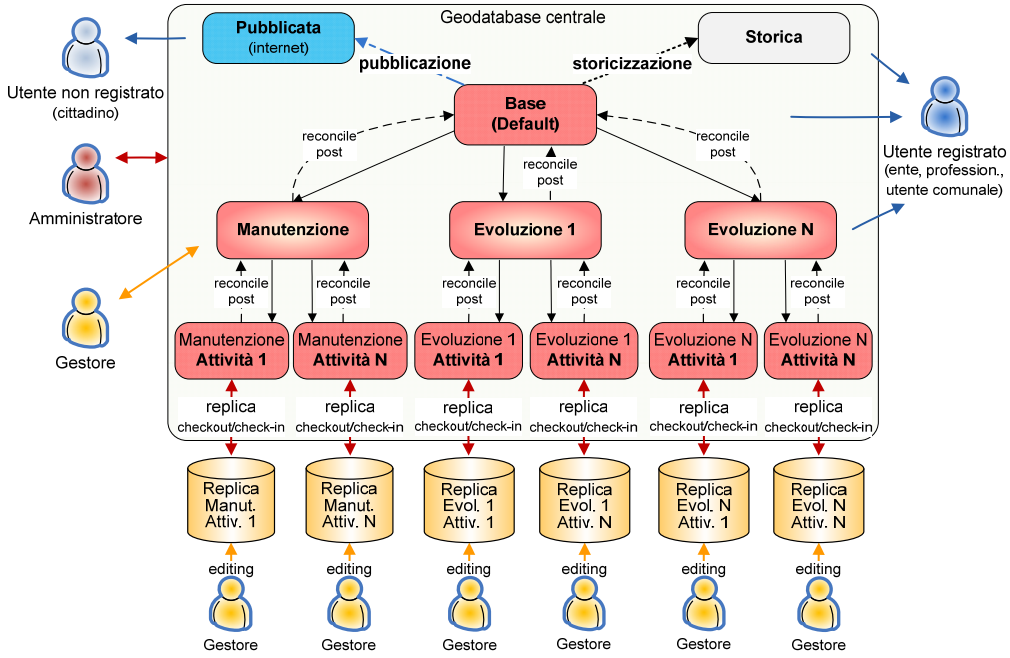


Figura 2 – Versioni e repliche del Geodatabase.

Un sistema così complesso prevede necessariamente diversi tipi di utenti:

- Utente in consultazione.
- Utente gestore, che svolgerà le attività di gestione degli strumenti urbanistici (editing della cartografia e dei dati, gestione degli stati e delle varianti, validazione delle cartografie e delle informazioni alfanumeriche, gestione dei collegamenti ai documenti di piano, creazione delle mappe tematiche).
- Utente amministratore, che svolge le attività di amministrazione e configurazione del sistema. Tra le varie attività vi sono: amministrazione del Geodatabase, degli utenti e dei profili, catalogazione di cartografie, temi e *map service*, configurazione delle applicazioni web evolute, personalizzazione delle legende dell'applicazione standard, esportazione dei dati nel formato di interscambio regionale e configurazione dell'estratto della disciplina urbanistica.

***Web service* e integrazione con altri sistemi comunali**

Il sistema dialoga, inoltre, con diversi applicativi in uso presso l'amministrazione comunale come i sistemi di gestione e presentazione delle pratiche edilizie (ProcEdi e Scrivania del Professionista), i sistemi di gestione delle convenzioni urbanistiche, il sistema di gestione dell'Anagrafe Comunale degli Immobili (ACI), il sistema di consultazione dei dati catastali (DBTL-Progetto ELISA), etc.
Il collegamento avviene tramite la fornitura di servizi di accesso al Geodatabase (*web service*) attraverso le chiavi territoriali e le più specifiche ricerche sugli elementi di piano. Il risultato dell'interrogazione fornisce i dati richiesti con i link ad eventuali documenti collegati e in aggiunta anche un'estrazione di mappa.

Moka

I diversi moduli di gestione e pubblicazione del PUC sono stati realizzati sulla piattaforma web-gis Moka, un CMS (Content Management System) GIS sviluppato dalla Regione Emilia-Romagna in collaborazione con Semenda (www.mokagis.it) attualmente in dotazione anche al Comune di Bologna che consente la fruibilità di tutte le funzioni applicative sviluppate nell'ambito di altri progetti regionali.

Moka è un CMS GIS in quanto è uno strumento per creare applicazioni GIS utilizzando oggetti organizzati in un catalogo. Il catalogo, gestito attraverso l'interfaccia web MokaKit, è costituito principalmente da cartografie e relativi metadati, tematizzazioni di cartografie, legende, database cartografici e non, tabelle di dati descrittivi e loro relazioni, *map service*, funzioni di varia tipologia, applicazioni web e desktop ed utenti che le utilizzano con i relativi permessi d'accesso.

Gli oggetti catalogati possono essere condivisi ed utilizzati in applicazioni di svariate tipologie che, al momento della loro fruizione, vengono costruite dinamicamente sulla base delle caratteristiche impostate e dei profili utente.

Pubblicazione

Il SIT, sin dall'approvazione del 2008 del PSC, ha reso disponibile la consultazione degli strumenti urbanistici vigenti con un'applicazione web "mappe interattive" basata su ArcIMS 9.3, che utilizza dati in formato shapefile per le cartografie e dati Oracle per le ricerche sui riferimenti territoriali.

Il servizio di mappe interattive ha soddisfatto ampiamente le esigenze dei tecnici e degli utenti che lo hanno fino ad ora utilizzato, poiché consente una consultazione completa dei piani.

Mantenendo quindi come linea guida l'impostazione del vecchio servizio, sono stati migliorati diversi aspetti sfruttando al meglio le potenzialità di una banca dati interamente strutturata in un Geodatabase ArcGIS e le funzionalità dell'ArcGIS Server.

La pubblicazione dei tre strumenti urbanistici avviene in due modalità, una standard (PUC Viewer) per utenti generici, non registrati, e una evoluta (Moka PUC) per utenti più avanzati, registrati.

La pubblicazione standard è stata realizzata in tecnologia ArcGIS API for Flex, ottenendo un'applicazione web interattiva, veloce (grazie anche all'utilizzo di *map service* con *cache*), da un aspetto grafico curato e da un buon livello di usabilità.

Il sito consente la consultazione interattiva dello stato reale/esistente della cartografia dei piani, infatti, pubblica la cartografia più aggiornata disponibile, che non coincide necessariamente con quella relativa all'approvazione degli strumenti (p.e. i vincoli potrebbero essere più aggiornati rispetto a quelli presenti al momento dell'approvazione). E' anche disponibile lo scarico delle mappe approvate in formato pdf.

Evidenziamo di seguito alcuni aspetti significativi dell'applicazione PUC Viewer:

- La legenda può essere generata automaticamente dall'ArcGIS Server o personalizzata, mediante la compilazione di file XML. Questo consente l'inserimento in legenda di titoli, raggruppamenti, simboli creati ad hoc, generando così delle legende che si avvicinano molto di più a quelle utilizzate nei layout di stampa e che facilitano la lettura delle mappe.
- La legenda consente una visualizzazione selettiva, ossia cliccando su una voce di legenda in mappa viene mostrato solo il livello corrispondente.
- Dall'interrogazione puntuale della mappa il sistema intercetta la particella catastale e genera, l'estratto di disciplina urbanistica (EDU), che in un unico documento fornisce i risultati del carotaggio effettuato, composto dagli estratti di mappa delle cartografie di piano e dai collegamenti alle norme e ai documenti che interessano quell'elemento. Questa funzione era già presente in mappe interattive, ma la nuova piattaforma tecnologica permette di ottenere l'estratto in tempi nettamente inferiori.
- Dal sito è possibile effettuare il download dei dati cartografici del piano (nella versione approvata) in formato shapefile e dxf, e in vari sistemi di riferimento.

– La configurazione e le modifiche al PUC Viewer non richiedono interventi sul codice, ma è sufficiente intervenire sulle tabelle di sistema (nel Geodatabase) o sulla catalogazione delle cartografie in Moka.

La pubblicazione evoluta, è stata realizzata con un'applicazione Moka web (Moka PUC) in tecnologia ArcGIS Server Java ADF, che con alcune funzionalità GIS avanzate consente di soddisfare le richieste di utenti più evoluti.
L'utente registrato può accedere ad una navigazione evoluta dei piani, che consente la loro consultazione e interrogazione storica; impostando una data, il database viene filtrato e viene mostrata la cartografia dei piani vigenti in quel momento, con la possibilità di accedere ai documenti e alle normative corrispondenti.
Tramite Moka PUC l'utente può visualizzare i dati tabellari associati ai vari layer cartografici ed effettuare ricerche, applicare filtri o lavorare sugli stessi.
L'utilizzo di Moka permette, inoltre, di aggiungere eventualmente ulteriori funzioni, quali il download dei dati cartografici tagliati al volo e gli strumenti di editing, e di profilarle in base alla tipologia di utente.

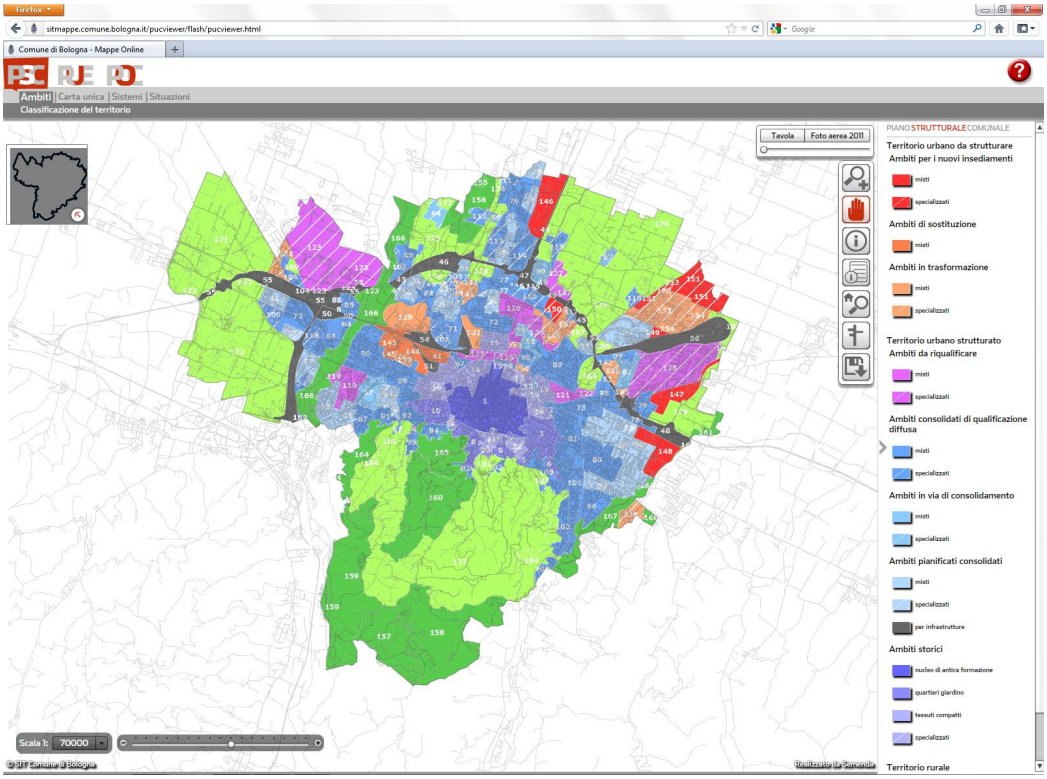


Figura 3 – La web application di pubblicazione dei piani (PUC Viewer).

Conclusioni

La scelta fatta sin dall'avvio del progetto è stata quella di realizzare un sistema aperto, quindi flessibile e configurabile, che permetta sia l'inserimento di alcune modifiche alla struttura, sia il suo ampliamento per abbracciare altre tematiche e problematiche, facendo confluire in questo sistema anche altri elementi in qualche modo legati o utili agli strumenti urbanistici.
Possibili evoluzioni future:

- Potenziamento delle funzioni di gestione (ad es. realizzazione di procedure automatiche di aggiornamento delle cartografie e per la preparazione dei dati per il download) e pubblicazione (p.e. download con estrazione dinamica, caricamento di dati esterni wfs, wms).
- Potenziamento dell'integrazione del sistema PUC con gli altri sistemi comunali.
- Estensione del sistema per la gestione dell'attuazione dei piani.

Riferimenti bibliografici

http://www.comune.bologna.it/sit
http://www.comune.bologna.it/urbanisticaedilizia
http://www.mokagis.it
http://www.semenda.it
Minghetti A, Fini M, Gattei M, Ginocchini G. (2007), "Il piano strutturale comunale (PSC) del comune di Bologna: il SIT e la partecipazione", *Atti XI Conferenza ASITA*
Modello dati di base del PSC - febbraio 2011 http://territorio.regione.emilia-romagna.it/urbanistica-ed-edilizia/file-progetti-in-corso/MODELLO-PSC_di-base_2011.pdf
Modello dati d'interscambio del PSC - febbraio 2011 http://territorio.regione.emilia-romagna.it/urbanistica-ed-edilizia/file-progetti-in-corso/Formato_di_scambio_PSC_2011.pdf
Piani urbanistici comunali della Regione Emilia-Romagna http://www.regione.emilia-romagna.it/temi/territorio/urbanistica/vedi-anche/piani-urbanistici-comunali
Legge Regionale 24 marzo 2000, n. 20: "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio"

Monitoraggio topografico e fotogrammetrico della cupola del teatro Massimo

Massimo Allegra (*), Gino Dardanelli (**), Valeria Giammarresi (*),
Pietro Orlando (**), Benedetto Villa (**)

(*) Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo, Italy,
e-mail: massimo.allegra@gmail.com, valegiammi@hotmail.it
(**) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale (DICA),
Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo, Italy,
e-mail : gino.dardanelli@unipa.it, pietro.orlando@unipa.it, benedetto.villa@unipa.it

Key words: Deformations, Thermal dilatation, Monitoring, Robotic Total Station, Digital Photogrammetry, Thermographic camera.

Parole chiave: Deformazioni, Dilatazione termica, Monitoraggio, Stazione totale robotizzata, Fotogrammetria digitale, Termocamera.

Sommario. L'articolo riporta i primi risultati di uno studio finalizzato al monitoraggio delle deformazioni della cupola del Teatro Massimo di Palermo provocate dalle dilatazioni termiche, con l'impiego di tecniche topografiche e fotogrammetriche integrate. In particolare, sono state utilizzate due stazioni totali robotizzate e sistemi di fotogrammetria digitale di elevata precisione. Per correlare gli spostamenti dei carrelli sui quali poggia la struttura in acciaio della cupola con i gradienti termici, sono state acquisite immagini termiche diversificate. L'obiettivo principale del lavoro consisteva nel confronto delle due tecniche di rilievo in relazione a misure di deformazione di entità molto ridotta (sub-millimetrica). I risultati ottenuti dimostrano che i carrelli funzionano ancora correttamente. Infatti, per un gradiente termico di 6°C misurato dalla termo camera, entrambe le tecniche topografiche e fotogrammetriche hanno evidenziato spostamenti dell'ordine di 0.8 mm, in accordo con le previsioni del modello deformativo teorico.

Abstract. *This paper shows the first results of a study aimed at monitoring the deformations of the dome of the Massimo Theatre in Palermo caused by thermal dilatations, with the use of topographic and photogrammetric integrated techniques. Particularly, two robotic total stations and high precision digital photogrammetric systems were employed. In order to correlate the displacements of the carriages on which the steel structure of the dome rest with the thermal gradients, different thermal images were acquired. The main goal of the work was to compare the two techniques with reference to very small (sub-millimeter) deformation measurements. The obtained results show that the carriages are still working correctly. In fact, for a thermal gradient of 6 °C surveyed by thermographic camera, both topographic and photogrammetric techniques determined displacements of the order of 0.8 mm, according with the expected deformations of the theoretic model.*

1 Introduzione

La misura di spostamenti e deformazioni è stata da sempre oggetto di interesse da parte della geodesia e della topografia classica.
L'articolo presenta i risultati di uno studio, svolto nell'ambito di una collaborazione interdisciplinare all'interno del Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale

dell'Università di Palermo, finalizzato al monitoraggio dello stato deformativo della cupola del Teatro Massimo di Palermo, per effetto delle dilatazioni termiche, con l'impiego di tecniche topografiche e fotogrammetriche integrate.
Il Teatro Massimo (fig. 1) costruito a partire dal 1873, su progetto dell'arch. Ernesto Basile, è caratterizzato da un cupola, avente un raggio di 27.3 m, sostenuta da 16 nervature in acciaio che poggiano su carrelli mobili posti su un cordolo in muratura largo 1.1 m (figg. 2 e 3).



Figura 1. Foto aerea del Teatro Massimo con la cupola nella parte centrale.



Figura 2. Vista interna della cupola.



Figura 3. Collegamento tra nervature e cordolo.

I carrelli, costituiti da una parte mobile che scorre dentro un alloggiamento fisso (fig. 4), hanno il compito di assorbire le dilatazioni dell'acciaio indotte dai gradienti di temperatura che si manifestano nell'arco della giornata e nell'alternarsi delle stagioni, evitando così la nascita di tensioni nella struttura. Lo studio ha avuto appunto il compito di verificare l'efficienza dei carrelli, dopo più di un secolo dalla loro realizzazione.

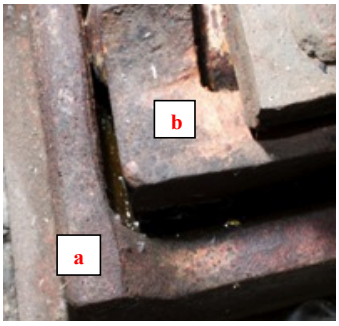


Figura 4. Particolare del carrello a) parte fissa b) parte mobile.

2 Rilievo topografico

Per quanto riguarda l'approccio topografico, sono state utilizzate due stazioni totali motorizzate Trimble S8 (fig. 5), posizionate a centramento forzato, tramite piastra cementata, su due punti diametralmente opposti del cordolo (S_1 e S_2).
Prima di iniziare le operazioni di monitoraggio, sono state condotte alcune prove di laboratorio, finalizzate alla verifica degli scarti quadratici medi (s.q.m.) riportati nelle specifiche tecniche dello strumento, pari a $\pm 1^{cc}$ per le misure angolari e 1mm + 1ppm per la distanza. Sono stati posizionati due miniprisma ad una distanza di circa 30 metri, ripetendo 100 volte la misura di direzioni e distanze. I dati ottenuti hanno permesso di determinare gli s.q.m. effettivi; per la distanza è stato confermato il valore fornito dalla casa costruttrice, mentre per l'angolo si è trovato un valore pari $\pm 3^{cc}$. Il monitoraggio ha riguardato 6 dei 16 carrelli, individuati con codici crescenti da C_1 a C_6; ad ogni carrello sono stati fissati due mini prismi, per consentire la collimazione da entrambe le stazioni di misura (fig. 6). Un'altra mira con mini prisma è stata inoltre posizionata su un punto fisso esterno (F). In questo modo è stato possibile determinare gli spostamenti assoluti, oltre a quelli relativi fra i punti controllati, rispetto ad un sistema di riferimento esterno.



Figura 5. Stazione totale Trimble S8.



Figura 6. Particolare dei miniprismi.

La figura 7 illustra lo schema dei punti interessati dalle operazioni di monitoraggio. Nell'arco della giornata sono stati effettuati sei cicli di misura, uno ogni quattro ore.
Per migliorare la precisione angolare, sono stati eseguiti diversi strati il cui numero è stato calcolato con la nota espressione:

$$n = \sigma^2/\sigma_m^2 \qquad [1]$$

dove: σ è il valore dello s.q.m. di misura e σ_m è il valore dello s.q.m. della media, che caratterizza quindi la precisione di misura che si vuole realizzare.

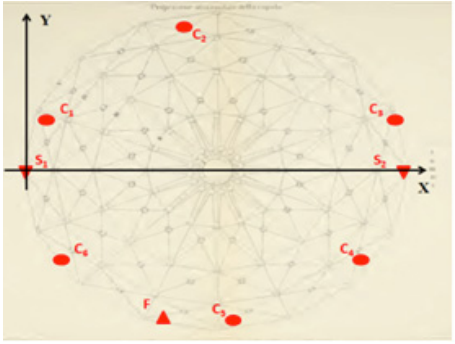


Figura 7. Schema del rilievo e sistema di riferimento.

Considerato che gli spostamenti attesi, secondo il modello matematico fornito dagli strutturisti, erano dell'ordine di qualche decimo di millimetro e che il prisma più lontano si trovava ad una distanza di circa 27 m, è stato calcolato il valore dell'angolo corrispondente allo spostamento ipotizzato e ne è stata fissata l'incertezza, pari ad un ordine di grandezza inferiore a quello del valore della misura. E' risultato un numero di strati pari a 7, cautelativamente portato a 10, per ogni ciclo di misura.
Da ognuno dei due punti stazione sono state determinati i parametri angolari e di distanza relativi all'altro punto stazione, ai 6 punti di controllo sui carrelli e al punto fisso. Complessivamente sono stati acquisiti circa 1200 valori di direzioni azimutali, di angoli zenitali e di distanze inclinate. Per ogni ciclo di misura, eliminati gli outliers individuati preliminarmente, sono stati calcolati per ogni punto di controllo i valori medi degli angoli azimutali, zenitali e delle distanze inclinate, con il relativo s.q.m, e successivamente le coordinate ed il relativo s.q.m..
Per il calcolo delle coordinate è stato fissato una sistema di riferimento locale con origine sul punto S_1, asse x passante per il punto S_2 e asse z rivolto verso l'alto.
La tabella I riporta, a titolo di esempio, i dati relativi al punto C_1/S_1 (cioè relativo al carrello osservato dalla stazione S_1) per i sei cicli di misura. La tabella II riporta invece i valori delle coordinate dei punti C_3/S_1 e C_3/S_2, relativi al carrello C_3 e osservati, rispettivamente, da S_1 e da S_2; la forte correlazione dei valori ottenuti dimostra l'attendibilità delle misure effettuate.
A partire dai valori delle coordinate sono stati quindi calcolate le variazioni Δx, Δy, Δz, cioè gli spostamenti planimetrici ed altimetrici, verificatisi ad ogni ciclo di misura. Le figure 8 e 9 illustrano gli spostamenti dei punti C_1/S_1, C_3/S_1 e C_3/S_2 lungo le tre direzioni e lo spostamento planimetrico complessivo; si può notare come la componente altimetrica dello spostamento sia quasi del tutto assente, come del resto era facilmente prevedibile; si conferma inoltre la buona corrispondenza per i punti appartenenti allo stesso carrello.

	Time	media hz	media z	media d_{inc}	X	Y	Z
C_1/S_1	9.04.22	273.78712	106.12622	1.7527	100.506	101.669	9.832
	13.17.22	273.79217	106.12724	1.7525	100.507	101.669	9.832
	17.30.24	273.79201	106.1270	1.7524	100.507	101.669	9.832
	21.43.26	273.79349	106.12768	1.7522	100.506	101.669	9.832
	1.56.24	273.79238	106.12738	1.7526	100.507	101.669	9.832
	7.55.57	273.78678	106.12565	1.7525	100.506	101.669	9.832

Tabella 1. Dati relativi al punto C_1/S_1

	Time	X	Y	Z
C_3/S_1	9.04.22	126.1065	103.1575	9.9093
	13.17.22	126.1066	103.1575	9.9092
	17.30.24	126.1063	103.1578	9.9092
	21.43.26	126.1063	103.1574	9.9092
	1.56.24	126.1062	103.1572	9.9093
	7.55.57	126.1063	103.1574	9.9093

	Time	X	Y	Z
C_3/S_2	9.04.22	126.2273	103.2133	9.9086
	13.17.22	126.2274	103.2131	9.9086
	17.30.24	126.2272	103.2133	9.9086
	21.43.26	126.2271	103.2132	9.9086
	1.56.24	126.2269	103.2132	9.9086
	7.55.57	126.2271	103.2132	9.9087

Tabella 2. Coordinate (in metri) dei punti di controllo del carrello C3/S1 e C3/S2.

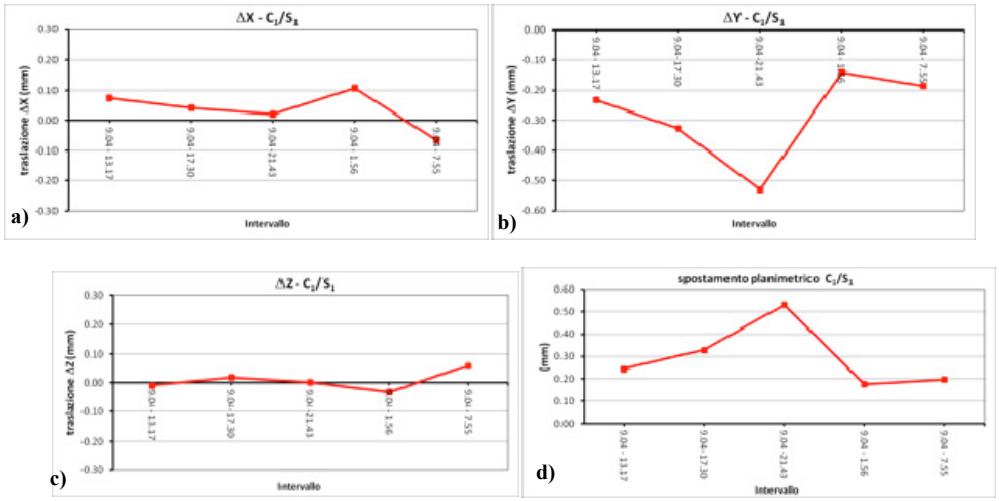


Figura 8. Spostamento del punto C1/S1 a) ΔX b) ΔY c) ΔZ d) spostamento planimetrico complessivo.

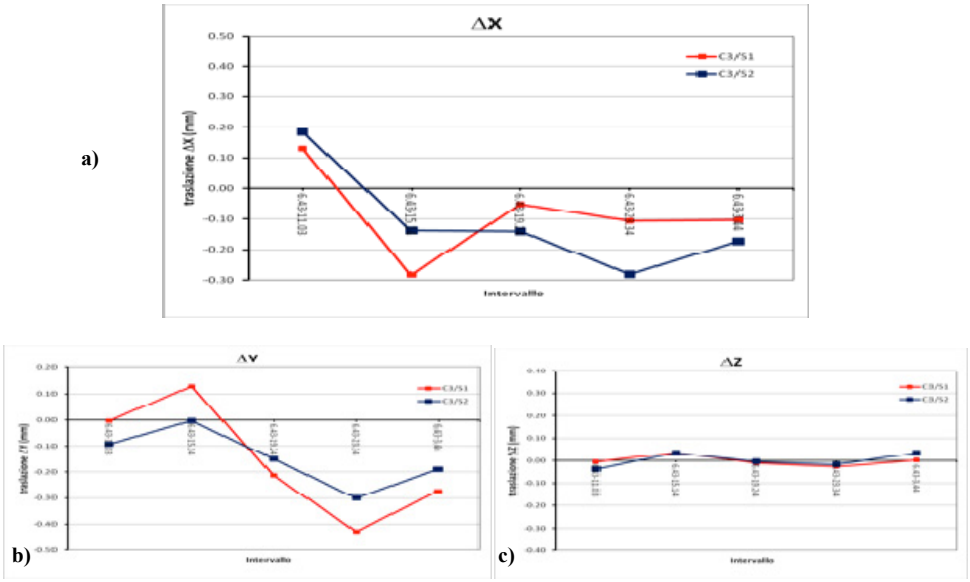


Figura 9. Spostamento dei punti C3/S1 (rosso) e C3/S2 (blu) a)Δx b)Δy c)Δz d) spostamento planimetrico complessivo.

3 Rilievo fotogrammetrico

Il monitoraggio con tecniche fotogrammetriche è stato effettuato per ragioni logistiche su due soli carrelli (C_1 e C_3) orientando l'asse di presa verso il basso, quindi con modalità analoghe a quelle della fotogrammetria aerea. Per le operazioni di presa si è utilizzata la camera digitale Canon Eos-01 Mark II, con obbiettivo a focale fissa di 50 mm, montata su slitta e treppiedi fotografico (fig. 10). Sulla parete superiore dei carrelli sono stati applicati target fotogrammetrici circolari, successivamente utilizzati come punti di legame (tie–points),

indicati con la lettera D. Sui due carrelli sono state acquisite complessivamente 4 coppie stereoscopiche, effettuando le prese sempre nell'arco di una giornata, alle 10:00, alle 14:00, alle 15:30 e alle 18:00 (fig. 11)



Figura 10. Presa fotogrammetrica.

a)

b)



Figura 11. Coppie stereoscopiche del carrello C1 a) ore 14:30 b) ore 18:30.

La distanza di presa di presa è stata determinata in funzione dei valori degli s.q.m. delle coordinate del punto oggetto, secondo le note relazioni[13]

$$\frac{\sqrt{+\left(\frac{\xi_1}{c} m_b \frac{Z}{B}\right)^2 \sigma_{P_z}^2}}{\sqrt{+\left(\frac{\eta_1}{c} m_b \frac{Z}{B}\right)^2 \sigma_{P_z}^2}} \qquad [2]$$

dove:

- c è la focale della camere
- Z è la distanza di presa

- B è la base di presa
- Z/B è l'inverso del rapporto di base
- $m_b = Z/c$ è il denominatore della scala media del fotogramma
- ξ_1, η_1 sono le coordinate del punto immagine misurate sui fotogrammi
- σ_ξ, σ_η sono gli s.q.m. delle coordinate dei punti immagine
- $\sigma_{P\xi}$ è lo s.q.m. della parallasse P_ξ

Avendo fissato la base di presa pari al massimo spostamento consentito dalla slitta fotogrammetrica (circa 7 cm), note la focale, la risoluzione e le dimensioni del sensore, e ipotizzato valori di parallasse tangenziale sub-pixel (successivamente verificati), la distanza di presa massima è risultata pari a 65 cm. Anche in questo caso l'analisi dei dati fotogrammetrici è stata finalizzata a determinare l'andamento nel corso della giornata delle coordinate dei tie-points ed a valutare la compatibilità dei risultati ottenuti con il modello strutturale disponibile.
L'elaborazione è stata articolata in quattro fasi: calibrazione della camera per eliminare le distorsioni radiali e tangenziali; orientamento interno, relativo ed assoluto delle coppie stereoscopiche; estrazione delle coordinate dei tie-points; analisi dell'andamento delle coordinate nell'arco della giornata. La calibrazione è stata condotta con l'ausilio di una griglia di calibrazione formata da punti e forme di coordinate note (fig. 12); le immagini della griglia sono state acquisite da una distanza di presa uguale a quella utilizzata durante la sperimentazione cosi da riprodurre le stesse condizioni di messa a fuoco.
Si è utilizzato il software *PI-Calib* (fig. 13) che permette di ricavare i valori dei sette parametri (la distanza focale, le coordinate x, y del punto principale, i due coefficienti relativi alla distorsione radiale e i due relativi alla distorsione tangenziale) e le dimensioni del pixel necessari all'orientamento in terno (tab. III).

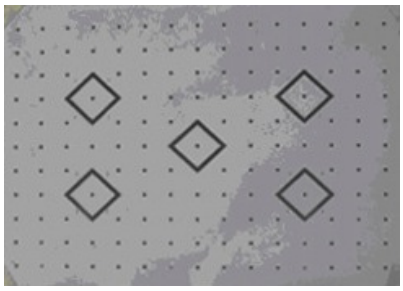


Figura 12. Reticolo di calibrazione.

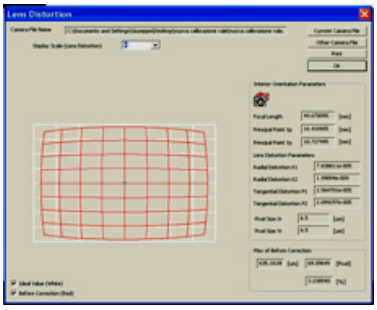


Figura 13. Schermata del software PI-Calib.

Focale	49.6701 mm
Xpp	16.4184 mm
Ypp	10.728 mm
pixel size (x)	0.0065 mm
pixel size (y)	0.0665 mm

Tabella 3. Parametri di orientamento interno.

Le successive tre fasi di elaborazione sono state effettuate con l'impiego del software *Image Master* della Topcon, tradizionalmente utilizzato per l'estrazione di modelli a nuvola di punti da coppie stereoscopiche e caratterizzato da potenti algoritmi di image-matching e bundle adjustment necessari per ottenere precisioni sub millimetriche.

Le operazioni di orientamento relativo ed assoluto, di fondamentale importanza per ottenere le precisioni richieste, sono state condotte utilizzando, come punti di legame e di appoggio, target circolari opportunamente progettati. I tie-points sono stati disposti sia sulla parte fissa che su quella mobile del carrello (fig. 14). Il sistema di riferimento esterno, necessario per la fase di orientamento assoluto, è stato materializzato mediante una cornice su cui sono stati riportati punti di coordinate note (punti di appoggio) disposti su due righe, individuate rispettivamente dalle lettere A e B (fig.15). Nella tabella IV sono riportati i valori delle coordinate dei punti di appoggio.
Il software, tramite algoritmi di *image–matching*, individua il centro dei target relativi ai tie-points ed ai punti di appoggio in modo semi-automatico e indipendente dalle capacità dell'operatore. Tre dei punti di appoggio sono stati inseriti come punti di controllo (fig. 16) e ne sono state calcolate le coordinate. Il confronto di quest'ultime con quelle riportate nella tabella IV ha permesso di calcolare gli scarti che sono risultati di un ordine di grandezza inferiore rispetto all'accuratezza richiesta.

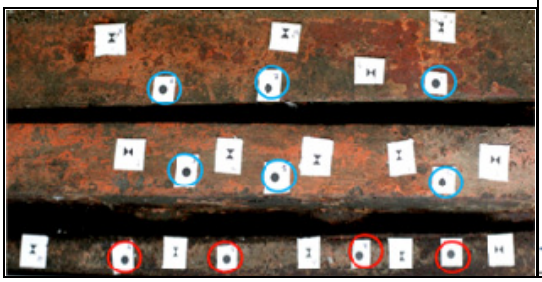


Figura 14. Tie-points: parte fissa (rosso), parte mobile (blu).

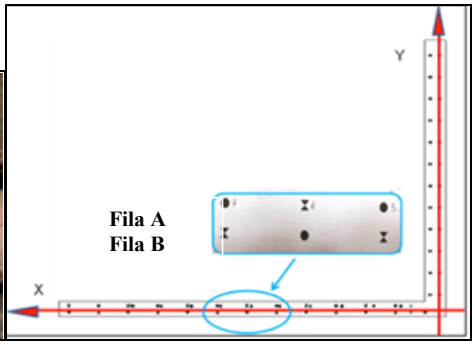


Figura 15. Cornice dei punti di appoggio.

PUNTO	X		Y	
	A	B	A	B
1	0.015	0.000	0.10	0.10
2	0.015	0.000	0.15	0.15
3	0.015	0.000	0.20	0.20
4	0.015	0.000	0.25	0.25
5	0.015	0.000	0.30	0.30
6	0.015	0.000	0.35	0.35
7	0.015	0.000	0.40	0.40
8	0.015	0.000	0.45	0.45
9	0.015	0.000	0.50	0.50

Tabella 4. Coordinate dei punti di appoggio.

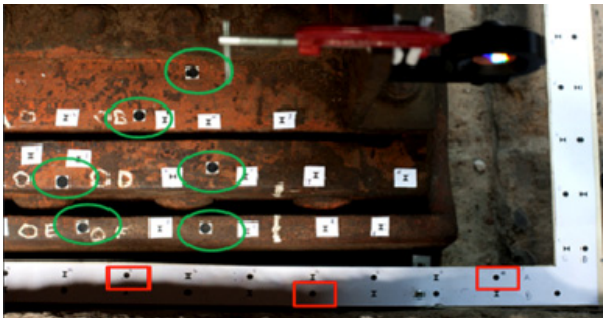


Figura 16. Punti di controllo (rosso), tie–points (verde).

Le tabella V e VI riportano i valori delle parallassi risultanti dall'orientamento relativo che sono risultati essere tutti sub–pixel coerentemente con l'ipotesi iniziale del progetto delle prese. Nella

tabella VII sono riportate i valori delle coordinate e degli spostamenti dei punti D01 e D06, relativamente alle 4 prese; mentre la figure 17 illustra gli spostamenti ΔX e ΔY degli stessi punti nei tre intervalli temporali. Il punto D06, posto sulla parte fissa, è risultato avere spostamenti di gran lunga inferiori a quelli del punto D01, come del resto era prevedibile.

Punti	ore 14:30					
	Y-Parallase dei Tie Points			coordinate		
	id punto	y-prx [pixel]	y-prx[mm]	X[m]	Y[m]	Z[m]
Punti di Appoggio	3	0.02	0.0116	0.02	0.15	0
	4	0.01	0.055	0.00	0.20	0
	5	-0.16	-0.01033	0.02	0.25	0
	6	0.31	0.1988	0.00	0.30	0
	7	-0.01	-0.0064	0.02	0.35	0
	8	0.05	0.0354	0.00	0.40	0
	9	-0.01	-0.0074	0.02	0.45	0
Tie Points	D05	-0.16	-0.01056	0.0561	0.2524	0.0108
	D06	-0.09	-0.0597	0.0549	0.3497	0.0136
	D04	-0.05	-0.0356	0.0962	0.2257	0.0567
	D01	-0.02	-0.0125	0.0945	0.3417	0.0598
	D07	-0.02	-0.0129	0.1416	0.358	0.0583
	D02	0.13	0.0856	0.1443	0.2625	0.0558

Tabella 5. Coordinate assolute dei tie-point e valori della parallasse.

Punti	ore 18:00					
	Y-Parallase dei Tie Points			coordinate		
	id punto	y-prx [pixel]	y-prx[mm]	X[m]	Y[m]	Z[m]
Punti di Appoggio	3	-0.04	-0.0284	0.015	0.15	0
	4	0.04	0.0284	0	0.2	0
	5	-0.07	-0.0469	0.015	0.25	0
	6	0.08	0.0511	0	0.3	0
	7	-0.05	-0.0316	0.015	0.35	0
	8	0.22	0.01441	0	0.4	0
	9	-0.23	-0.01488	0.015	0.45	0
Tie Points	D05	-0.02	-0.011	0.0561	0.2522	0.0116
	D06	0.01	0.044	0.0549	0.3495	0.015
	D04	-0.08	-0.0492	0.0962	0.2253	0.0575
	D01	0.01	0.071	0.0945	0.3413	0.0613
	D07	0.08	0.0501	0.1417	0.3576	0.06
	D02	0.06	0.0415	0.1444	0.2622	0.0568

Tabella 6. Coordinate assolute dei tie-point e valori della parallasse.

D01 Coordinate				D06 Coordinate			
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
presa 14	0.0945	0.3417	0.0598	presa 14	0.0549	0.3497	0.0136
presa 18	0.0945	0.3413	0.06	presa 18	0.0549	0.3495	0.0138
presa 10	0.0941	0.3406	0.0621	presa 10	0.0547	0.3492	0.0144
presa 15:30	0.0943	0.3407	0.0619	presa 15:30	0.0548	0.3493	0.0139
Intervallo	Spostamenti			Intervallo	Spostamenti		
	ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔZ (mm)		ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔZ (mm)
14 - 18	0.011	-0.457	0.174	14 - 18	0.036	-0.16	0.148
18-ott	-0.431	-0.667	2.098	18-ott	-0.188	-0.294	0.659
10 - 15:30	0.271	0.152	-0.155	10 - 15:30	0.118	0.082	-0.529

Tabella 7. Coordinate e spostamenti.

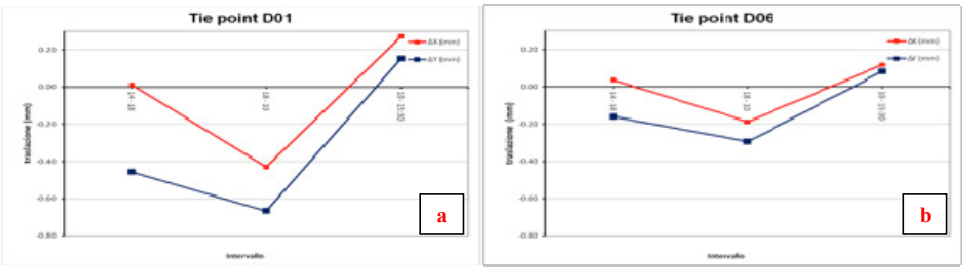


Figura 17. Spostamento dei tie-points a) D01 b) D06.

4 Dati termografici

Durante le 24 ore, e precisamente alle 10, alle 15 e alle 20, contestualmente al rilievo topografico e fotogrammetrico, al fine di mettere in relazione gli spostamenti con le dilatazioni indotte dai gradienti termici dell'acciaio, sono state realizzate tre prese con la termocamera *Flucke TiR 32* (fig. 18). Le immagini termografiche hanno mostrato che l'acciaio durante la giornata è soggetto a gradienti termici di circa 6 gradi (fig. 19). Questo dato, utilizzato come input per il modello strutturale, ha permesso di verificare la congruenza tra gli spostamenti previsti e quelli misurati. In particolare, per ogni grado di gradiente termico il modello strutturale prevedeva spostamenti dell'ordine di 0.12 mm.



Figura 18. Termocamera Flucke TiR 32.

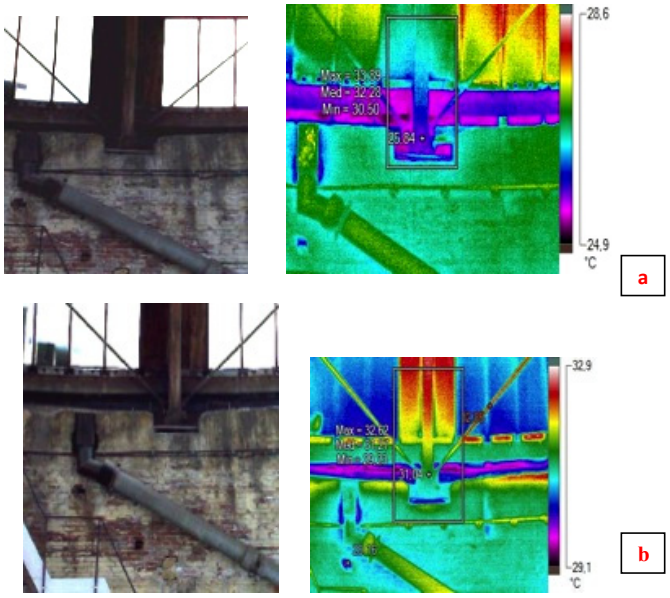


Figura 19. Termografie relative al carrello C1 a) ore 10:00 b) 20:00.

5 conclusioni

Il progetto del rilevamento topografico e fotogrammetrico è stato finalizzato ad ottenere incertezze di misura di un ordine di grandezza inferiore a quello degli spostamenti attesi; se infatti tale valore fosse risultato dello stesso ordine di grandezza o addirittura superiore a quello degli eventuali spostamenti, non sarebbe stato possibile distinguere lo spostamento stesso dagli errori di misura.

I risultati ottenuti al termine di questa prima fase di sperimentazione evidenziano spostamenti relativi quasi esclusivamente alle direzioni X e Y; come era prevedibile, lungo la coordinata Z gli spostamenti sono praticamente nulli. Gli spostamenti determinati topograficamente, inoltre, risultano della stessa entità di quelli ottenuti fotogrammetricamente e per entrambi i metodi il valore medio dello spostamento assoluto dei carrelli relativo risulta praticamente identico, pari a circa 0.8 mm.

Questo risultato, perfettamente in linea con le previsioni derivate dallo studio del modello teorico, dimostra, da un lato, che i carrelli assolvono ancora oggi ottimamente il loro compito, dall'altro, che entrambe le tecniche, topografiche e fotogrammetriche, se ovviamente utilizzate con le dovute cautele, sono assolutamente adeguate alla determinazione di spostamenti sub-millimetrici.

Rispetto al metodo fotogrammetrico, quello topografico ha due fondamentali vantaggi: quello della completa automazione delle operazioni di misura, a parte il ciclo iniziale che richiede necessariamente l'intervento manuale, e quello della rapidità dell'elaborazione dei dati; infatti, lo strumento è solitamente corredato da un software che fornisce rapidamente valori delle coordinate, dei parametri statistici relativi alla qualità delle misure e degli spostamenti evidenziati. Il punto di forza del metodo fotogrammetrico è invece essenzialmente legato al costo dell'attrezzatura, notevolmente inferiore a quello richiesto per l'acquisto della strumentazione occorrente per il rilievo topografico; d'altra parte però, le fasi di elaborazione dei dati (orientamento e restituzione delle coordinate) richiedono tempi più lunghi e maggiore potenza di calcolo.

BIBLIOGRAFIA

A. Sh. Amini, M. Varshosaz, M. Saadatseresht, *Deformation determination of aircraft parts by photogrammetry*, Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVII, part B5, 135-138 (2008).

L. Barazzetti, M. Scaioni, Metodi fotogrammetrici per la misura delle deformazioni nelle prove sui materiali da costruzione. Atti della 12a Conferenza Nazionale Asita, 263-268 (2008).

R. Brigante, D. Dominici, G. Fastellini, F. Radicioni, A.Stoppini, *Confronto e integrazione fra tecniche geomatiche per la documentazione e il monitoraggio dei beni culturali.* Atti della 13a Conferenza Nazionale Asita, 537-542 (2009).

U. Coppa, A. Guarnieri, F. Pirotti, A. Vettore, *Integrazione di tecniche di rilevamento per il controllo di stabilità di una struttura storica.* Atti del Convegno Nazionale Sifet, 174-181 (2008).

D. Dominici, G. Fastellini, F. Radicioni, A. Stoppini, *An integrated monitoring system for the monumental walls of Amelia.* Proc. of the 13th FIG Symposium on Deformation measurement and Analysis (2008).

R. Galetto, A. Spalla, *Lezioni di Topografia*, CUSL, Pavia (2000).

S. Grassi, F. Radicioni, A. Stoppini, *Monitoraggio tridimensionale in tempo reale delle deformazioni: Prove in condizioni operative su una stazione totale automatica di alta precisione,* Atti della 13a Conferenza Nazionale Asita (2003).

P. Grussenmeyer, T. Landes, T. Voegtle, K. Ringle, *Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings,* Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVII, part B5, 213-218 (2008).

F. Guazzetti, A.Trebeschi, *Digital photogrammetric workstation e modellazione in un esempio di fotogrammetria dei vicini,* Boll. Sifet, 2, 143-154 (1995).

M J. Henriques, P. B. Mateus, P. Palma, H.Cruz, *Modelling the behaviour of a large span glulam arch of Atlântico Pavillion,* Proc. of the 13th FIG Symposium on Deformation measurement and Analysis, (2008).

S. H. Junga, J. H. Yua, J. K. Leeb, L. Gea, *Automatic modelling method for steel structures using photogrammetry,* Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVII, part B5, 169-174 (2008).

M. Kasser, Y. Egels, *Digital Photogrammetry,* Taylor & Francis (2002)

K. Kraus, *Photogrammetry Vol. 1 & Vol. 2, Advanced Methods and Applications,* Levrotto & Bella Ed., Dummer/Bonn (1997).

W. Linder, *Digital Photogrammetry. Theory and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York (2003).

D. Palazzo, R. Friedmann, C. Nadal, M. Santos Filho, L. Veiga, P. Faggion, *Dynamic monitoring of structures using a robotic total station*, Proc. of the 13th FIG Congress Shape the Change, (2006).

A. Pozzoli, *Ricerca esaustiva e soluzione diretta dall'orientamento relativo all'orientamento assoluto,* Atti 7a Conferenza Nazionale ASITA (2003).

R. Roncella, G. Forlani, L. Pinto, *Photogrammetric Survey of Ancients Musical Instruments*, Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVII, part B5, 309-314 (2008).

A. Selvini, F. Guzzetti, *Fotogrammetria generale,* UTET, Torino (2000).

ING. Tsan-wing, L. Kin-wah, *Deformation survey for the preservation of lei Cheng Uk Han tomb*, Proc. of the 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, 294-301 (2001).

F. Yilmazturk, S. Kulur, N. Terzib, *Determination of displacements in load tests with digital multimedia photogrammetry*, Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVII, part B5, pp. 719-721 (2008).

INSPIRE National Contact Point in Italia e il monitoring 2012

Fabio Annunziata, Salvatore Costabile, Roberto Cresca, Claudia Terzani (*),Carlo Cipolloni, Michele Munafò, Francesca Piva (**)

(*) Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, componenti INSPIRE National Contact Point, Viale Cristoforo Colombo 44, 00147 Roma, e-mail NCP.inspire@minambiente.it
(**) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, componenti INSPIRE National Contact Point, Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma

Riassunto
La Direttiva 2007/2/CE prevede che gli Stati attuino un monitoraggio sull'attuazione ed utilizzo delle proprie infrastrutture per l'informazione territoriale e che producano un apposito report sull'attuazione della Direttiva. In accordo con la Decisione della Commissione n. 2009/442/EC del 5 giugno 2009, gli Stati devono trasmettere annualmente un insieme di indicatori relativi al monitoraggio, implementazione e uso dell'infrastruttura. Le informazioni da fornire includono un elenco dei *data sets* e servizi disponibili. I *Contact Points* nazionali rendono disponibili al pubblico gli esiti del monitoraggio. Il D.Lgs. 32/2010 stabilisce che il *monitoring* sull'attuazione della direttiva sia compito del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare. Al fine di avere una solida base per la gestione del monitoraggio e la valutazione dei dati, il Ministero dell'ambiente ha costituito un apposito *National Contact Point*. L'impostazione nazionale sarà oggetto di riflessione in vista dei prossimi adempimenti per l'anno 2013. Nelle more delle future evoluzioni, il NCP presenta una prima analisi della base dati costituita.

Abstract
Directive 2007/2/EC requires Member States to monitor the implementation and use of their infrastructures for spatial information and to report on the implementation of that Directive. According to Commission Decision 2009/442/EC of 5 June 2009 implementing the INSPIRE Directive, EU Member States have to report annually a number of indicators for monitoring the implementation and use of their infrastructures for spatial information. The information provided includes a list of spatial data sets and services belonging to those infrastructures. Contact points of Member States shall provide the results of monitoring. The legislative decree n. 32/2010 establishes that the Monitoring and Reporting of INSPIRE are responsibility of the Ministry for the environment, land and sea. In order to have a solid basis for monitoring management and to evaluate datas, Ministry for the environment, land and sea has build up a National Contact Point. The national approach shall be discussed before next implementation steps in 2013. Waiting for next evolutions, NCP shows a first database evaluation.

* * * * *

Introduzione

Il 24 marzo del 2010 è entrato in vigore il D.Lgs 32/10 che delinea la *governance* per lo sviluppo e la gestione della Infrastruttura nazionale per l'informazione territoriale e del monitoraggio ambientale (componente italiana di INSPIRE - *Infrastructure for Spatial Information in the European Community*). La funzione dell'informazione territoriale quale supporto alle politiche ambientali, già palese nella Direttiva UE del 2007, è stata chiaramente recepita dal Legislatore

italiano che ha inteso espressamente richiamare il riferimento alla Comunicazione della Commissione Europea SEIS (*Shared Environmental Information System*) a conferma della valenza ambientale della Infrastruttura nazionale INSPIRE. Il Legislatore ha anche individuato il necessario raccordo tra il D.Lgs. 32/10 e il D.Lgs. 195/05 relativo all'accesso del pubblico all'informazione ambientale.

Il decreto assegna un ruolo centrale al Ministero dell'Ambiente (in virtù della sua doppia missione di tutela dell'ambiente e del territorio), quale autorità competente per l'attuazione del decreto, che, nello svolgimento delle sue funzioni, si avvale dell'ISPRA quale struttura di coordinamento tecnico, anche ai fini del collegamento con la rete europea di informazione e di osservazione in materia ambientale (Eionet).

Il decreto ha inoltre trasformato l'ex Portale Cartografico Nazionale, istituito e sviluppato a seguito dell'accordo di programma del 26 aprile 2006 tra il Ministero dell'ambiente, il Ministero della Difesa e la Protezione civile (e già operativo al http://www.pcn.minambiente.it/PCN/), in Geoportale nazionale presso il Ministero dell'ambiente stesso.

Di massima rilevanza, altresì, il riferimento del D.Lgs. 32/10 al ruolo dell'ISPRA, in particolare per quanto concerne:
- l'integrazione tra dati territoriali e del monitoraggio ambientale;
- la cooperazione tecnica e informativa tra livello nazionale e regionale, ivi compreso il sistema delle Agenzie ambientali.

Nel predetto scenario si inserisce l'essenziale funzione di monitoraggio annuale sull'attuazione della Direttiva, i cui profili di complessità gestionale ed organizzativa richiedono soluzioni ad hoc stante l'attuale contesto nazionale.

Il contesto giuridico

Con il Decreto legislativo 27 gennaio 2010, n. 32, recante "Attuazione della direttiva 2007/2/CE che istituisce un'Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE)", pubblicato sulla G.U. del 9 marzo 2010 (Suppl. Ord. 47/L), è stata istituita la componente italiana della predetta Infrastruttura per gli scopi delle politiche ambientali comunitarie e delle politiche o delle attività che possono avere ripercussioni sull'ambiente.
Il D.Lgs. in parola ha permesso, tra l'altro, di recepire nell'ordinamento italiano le seguenti indicazioni comunitarie:
- ogni Stato dell'UE si deve dotare di una infrastruttura nazionale [art. 1, comma 2, della Direttiva], coordinando opportunamente i sistemi informativi già esistenti anche di livello sub-nazionale;
- le infrastrutture nazionali, in quanto "nodi" dell'infrastruttura europea, sono unitariamente costituite da dati territoriali, metadati e i servizi per l'accesso al pubblico ed alle altre PA;
- ogni Stato controlla la realizzazione e l'utilizzo delle proprie infrastrutture nazionali e mette i risultati del controllo a disposizione della Commissione europea e del pubblico [art. 21, comma 1, della Direttiva]; l'autorità competente per l'Italia è il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare;
- l'Autorità referente (per l'Italia il Ministero dell'ambiente) deve mantenere i contatti con la Commissione e provvedere ai periodici monitoraggi e rendicontazioni.

Appare, quindi, evidente come il fine della Direttiva e, conseguentemente del DLgs 32/10 che la recepisce nell'ordinamento italiano, sia quello di creare, grazie a norme comuni di attuazione, integrate da misure comunitarie, una struttura condivisa che renda l'informazione territoriale detenuta dai vari Stati membri compatibile ed utilizzabile in un contesto transfrontaliero, superando

in tal modo i problemi relativi alla disponibilità, alla qualità, all'organizzazione ed alla accessibilità dei dati territoriali oggi disponibili all'interno della Comunità europea. La Direttiva INSPIRE nasce, dunque, dall'esigenza di rendere condivisibili le grandi quantità di dati territoriali già ordinariamente prodotti o aggiornati dalle Autorità pubbliche nell'ambito delle loro attività istituzionali, che si presentano di forma e provenienza molteplice.

Come detto l'Infrastruttura nasce per gli scopi delle politiche ambientali e delle politiche o delle attività che possono avere ripercussioni sull'ambiente; lo schema di decreto in esame è, sotto questo profilo, pienamente coerente con quanto indicato nella Comunicazione SEIS (Shared Environmental Information System – Verso un Sistema comune di informazioni ambientali (SEIS) - COM(2008) 46 del 1 febbraio 2008) della Commissione Europea che estende i principi della direttiva INSPIRE al complesso delle informazioni ambientali. Secondo tale decisione, in particolare, le informazioni territoriali e del monitoraggio ambientale dovranno essere:

- gestite il più possibile vicino alla fonte;
- raccolte una sola volta e condivise per differenti fini;
- completamente disponibili per il pubblico a diverse scale e nelle rispettive lingue nazionali;
- accessibili per consentire ai fruitori di fare comparazioni su scala geografica;
- rapidamente disponibili per le autorità pubbliche per consentire il facile adempimento degli obblighi di reporting;
- prontamente accessibili per gli utilizzatori finali, primariamente per le autorità pubbliche locali ed europee, al fine di valutare prontamente lo stato dell'ambiente, l'efficacia delle relative politiche e per pianificare nuove strategie;
- condivise ed elaborate con il supporto di strumenti software comuni, liberi ed open source.

In coerenza con tali criteri, gli obiettivi strategici del recepimento sono stati:

1. ridurre gli ostacoli fra le autorità pubbliche nella condivisione dei dati territoriali, con particolare attenzione alla loro rilevanza ambientale;
2. promuovere il coordinamento intergovernativo, interistituzionale e intersettoriale in modo tale da poter disporre di una base di conoscenza per le politiche ambientali e per altre politiche settoriali.

Per quanto concerne, in particolare, il conseguimento di quest'ultimo obiettivo strategico, il D. Lgs. 32/10 prevede:

- all'articolo 3 - il Ministero dell'ambiente l'autorità competente per l'attuazione del decreto e nell'ISPRA la struttura tecnica della quale lo stesso Ministero si avvale, nell'ambito, peraltro, dell'ordinario avvalimento previsto dall'articolo 2, comma 4 del DPR 140/09, anche ai fini del raccordo con la rete europea d'informazione e di osservazione in materia ambientale (EIOnet).
- all'articolo 12 - il Ministero dell'ambiente è l'autorità di "presidio" e gestione delle attività di monitoraggio sull'attuazione della Direttiva. In particolare al Ministero compete l'attuazione di quanto disposto dalla Direttiva 2007/2/CE (INSPIRE) in merito alla trasmissione alla Commissione europea dei dati del monitoraggio annuale sui *data sets* e servizi geografici disponibili. L'art. 21 della direttiva in parola definisce principi di base per il *monitoring*, mentre con decisione n. 2009/442/CE della Commissione, del 5 giugno 2009, recante attuazione della direttiva INSPIRE per quanto riguarda il monitoraggio e la rendicontazione, sono state approvate le *implementing rules* (IR) per la realizzazione del monitoraggio periodico.

In aderenza alla decisione comunitaria, il monitoraggio annuale segue un approccio quantitativo, prevedendo la predisposizione:

- di un elenco di set di dati territoriali suddivisi per allegato (*annex* I, II, III della direttiva 2007/2/CE);

- un elenco di servizi suddivisi per tipologia (*discovery, view, download, trasformation, invoke, other services*);
- alcuni indicatori che sintetizzano la conformità alla Direttiva, a supporto dell'attività di valutazione degli Stati membri e della UE in merito alle politiche da adottare ai fini dello sviluppo ed evoluzione delle singole Infrastrutture nazionali.

Al fine di standardizzare le operazioni del "*Monitoring* 2012", relative all'anno 2011, la Commissione ha predisposto un *template* nel quale i singoli Stati devono inserire i propri *data sets* e servizi. I risultati del monitoraggio, vengono pubblicati sul sito UE di INSPIRE.

Le soluzioni organizzative

L'impegno del monitoraggio, a cui l'Italia è stata chiamata già a decorrere dall'esercizio 2011 (per i dati al 31 dicembre 2010), ha rappresentato una sfida rilevante da un punto di vista organizzativo e gestionale. Sia per l'architettura costituzionale della Repubblica, che a norma dell'articolo 117 della Costituzione attribuisce rilevanti funzioni alle Regioni in materia di governo del territorio, che per la presenza a livello di amministrazioni nazionali di numerosi produttori di informazione territoriale (a partire dai 5 organi cartografici ufficiali dello Stato), si è preliminarmente inteso circoscrivere l'indagine alle Autorità pubbliche di cui all'articolo 11, comma 4, del D.Lgs. 32/2010; ciò anche in ragione dell'attuale assenza di una *directory* nazionale delle Autorità pubbliche produttrici di informazione territoriale.

Seppur in uno scenario operativo circoscritto, si è reso inoltre essenziale dotare il Ministero di una adeguata capacità operativa tramite l'apposita costituzione di un *National Contact Point* (NCP) strutturato con una logica di *network* di competenze presenti nel Ministero stesso e nell'ISPRA. Inoltre, a livello di interfaccia comunitaria, l'*EC INSPIRE Team* ha segnalato la necessità di disporre di un indirizzo di posta elettronica di riferimento nazionale quale punto di contatto ufficiale per l'attuazione della Direttiva 2007/2/CE, nonché per l'INSPIRE *monitoring* 2012. A tal fine è stata attivata la casella ncp.inspire@minambiente.it che è stata formalmente comunicata all'UE ed a tutte le Autorità coinvolti nel *monitoring*, alle quali è stato contestualmente chiesto di accreditare presso l'NCP un proprio indirizzo di posta elettronica.
Tramite la citata casella sono stati trasmessi, a tutte le Autorità accreditatesi, i seguenti file:

- *template* per la trasmissione dei dati al NCP (andrà compilato solo il foglio "Data input") [MR_Indicators_Template-v 3.3];
- manuale del *monitoring* v. 5.0 [INSPIRE_MR_Guidelines_Reporting_2011-01-18_v 5.0];
- linee guida sintetiche per la compilazione [GuidelinesMonitoringTemplatev.3];

Infine, qualora disponibili, sono stati trasmessi i dati del *monitoring* 2011 desunti dalla ricognizione compiuta dal Ministero nel corso del precedente esercizio.

Gli esiti del *monitoring* 2012

Nell'attuale livello di sviluppo, normativo e organizzativo, di INSPIRE in Italia il *monitoring* ha, come precedentemente accennato, coinvolto le amministrazioni centrali e gli Enti territoriali, produttrici di dati territoriali, di cui all'articolo 11, comma 4, del D.Lgs. 32/10. In buona sostanza il Ministero dell'ambiente ha richiesto i dati previsti dal *template* predisposto dall'UE a 32 Autorità pubbliche (tra cui tutte le Regioni e Province autonome).
La rilevazione effettuata ha permesso di costituire una base dati (trasmessa alla Commissione europea) recante la mappatura di 1.569 *data sets* e 593 *services*.

La consuntivazione dei *data sets* (cfr. figura 1) evidenzia una maggiore numerosità relativamente ai tematismi degli allegati I e III della direttiva INSPIRE. In generale l'86% dei *data sets* sono provvisti di metadati. Il dato percentuale, peraltro, presenta percentuali analoghe su tutte e tre le

macroripartizioni, di cui agli allegati della direttiva, con un valore massimo dell'88% per i *data sets* dell'allegato I.

***Data Sets* - Allegati Direttiva INSPIRE**	**Numero**	**di cui con metadati**	**% metadati**
Annex I	559	494	88%
Annex II	397	344	87%
Annex III	613	519	85%
TOTALE	**1.569**	**1.357**	**86%**

Figura 1. Consuntivo degli spatial data sets disponibili (al 31 dicembre 2011).

Più differenziati (cfr. figura 2) risultano invece i dati consuntivati per le varie tipologie di *services*: quasi il 59% (347 su 593) dei servizi rilevati appartengono alla categoria dei *view services*.
Forti asimmetrie si evidenziano anche nella presenza dei metadati, con un massimo livello di copertura per i *download services* (92%).

Services	**Numero**	**di cui con metadati**	**% metadati**
Discovery	75	57	76%
View	347	276	80%
Download	118	109	92%
Transformation	17	6	35%
Invoke	16	6	38%
Other	20	13	65%
TOTALE	**593**	**467**	**79%**

Figura 2. Consuntivo dei services disponibili (al 31 dicembre 2011).

Seppur parziale (48%) assume un certo interesse l'analisi dei dati di accesso ai *view services* e *download services* (cfr. figura 3). I 167 *view services* che hanno quantificato il volume di accessi (complessivamente 4.183.715) presentano, pertanto, un dato di accesso medio di 25.052 accessi; decisamente minore, nell'anno 2011, il dato dei *download* (mediamente 171 per servizio).

Services	**Numero**	**di cui con quantificazione accessi**	**%**	**Accessi complessivi**
View	347	167	48%	4.183.715
Download	118	57	48%	20.241

Figura 3. Prime indicazioni sull'utilizzo di view e download services (anno 2011).

Interessante appare anche un confronto tra le due annualità di monitoraggio attualmente disponibili (il 2012 con dati 2011 ed il 2011 con dati 2010). Per quanto concerne i *data sets* (cfr. figura 4) si assiste sia ad un incremento complessivo del dato consuntivato che ad una maggiore percentuale di metadati disponibili. Si segnala che la diminuzione dei *data sets* relativi all'*annex* II è connessa con una maggiore qualità dei dati trasmessi dalle Autorità pubbliche territoriali che ha permesso di eliminare molte duplicazioni presenti nella base dati 2010.

Per quanto concerne i servizi, anche in questo si assiste (cfr. figura 5) ad un generale incremento delle quantità consuntivate (seppur con una diminuzione dei *discovery services*, anche in questo caso legate ad una maggiore qualità dei dati trasmessi che ha consentito l'eliminazione di duplicazioni), a fronte però di una diminuzione della presenza di metadati, sviluppo che sembrerebbe in contraddizione con quanto richiesto per l'attuazione della direttiva INSPIRE e che, pertanto, necessiterà di un'azione di sensibilizzazione da parte del Ministero dell'ambiente e dell'ISPRA.

	Consuntivati anno 2010			**Consuntivati anno 2011**		
***Data Sets* - Allegati Direttiva INSPIRE**	**Numero**	**di cui con metadati**	**% metadati**	**Numero**	**di cui con metadati**	**% metadati**
Annex I	182	118	65%	559	494	88%
Annex II	476	413	87%	397	344	87%
Annex III	232	154	66%	613	519	85%
TOTALE	**890**	**685**	**77%**	**1.569**	**1.357**	**86%**

Figura 4. Confronto spatial data sets consuntivati (anni 2011 e 2010).

	Consuntivati anno 2010			**Consuntivati anno 2011**		
Services	**Numero**	**di cui con metadati**	**% metadati**	**Numero**	**di cui con metadati**	**% metadati**
Discovery	95	82	86%	75	57	76%
View	272	239	88%	347	276	80%
Download	67	64	96%	118	109	92%
Transformation	16	5	31%	17	6	35%
Invoke	16	6	38%	16	6	38%
Other	13	13	100%	20	13	65%
TOTALE	**479**	**409**	**85%**	**593**	**467**	**79%**

Figura 5. Confronto services disponibili (anni 2011 e 2010).

Riferimenti bibliografici

Monitoring and Reporting Drafting Team INSPIRE, "Monitoring Indicators – Guidelines Document, v. 5.0",
http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Monitoring_and_Reporting/INSPIRE_MR_Guidelines_Reporting_2011-01-18_v%205.0.pdf
Monitoring and Reporting Drafting Team INSPIRE, "Guidelines for filling in the Excel Template for Monitoring INSPIRE",
http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Monitoring_and_Reporting/GuidelinesMonitoringTemplatev.3.pdf

Palmari GPS nella gestione e nel controllo del Gis del verde di Milano

Alberto Antonelli (*), Riccardo Gusti (**), Franco Guzzetti (***),
Anna Privitera (***), Paolo Viskanic (****)

(*) COGES, Consorzio di gestione servizi, via Vipacco 34, 20126 Milano, cogesmilano.cdv@gmail.com
(**) Comune di Milano, Settore Tecnico Arredo Urbano e Verde, Servizio Manutenzione del verde via Zubiani 1 20161 Milano, Riccardo.Gusti@comune.milano.it
(***) BEST, Politecnico di Milano, Piazza L.Da Vinci 32, 20133 Milano
franco.guzzetti@polimi.it, annaprivitera@hotmail.it
(****) R3-GIS srl, via Johann Kravogl 2, 39012 Merano (BZ), paolo.viskanic@r3-gis.com

Riassunto

Il Comune di Milano gestisce la manutenzione delle aree verdi tramite gare d'appalto triennali basate su un modello *Global Service*. Il modello *Global Service* è caratterizzato da un sistema di controllo della *performance* manutentiva legata al KPI (*key performance indicator*) che viene verificato costantemente attraverso un sistema di qualità controllato. A partire dal 2004 è stato sviluppato un Gis tematico nato dalla collaborazione tra il Settore Tecnico Arredo Urbano e Verde, il Consorzio di gestione servizi - COGES, il Politecnico di Milano (Dipartimento BEST) e la società R3 GIS di Merano. Nel modello attuale il Gis supporta i processi di manutenzione, viene da essi costantemente aggiornato e consente un monitoraggio puntuale delle aree verdi.
L'aggiornamento dei dati viene eseguito con un'applicazione sviluppata su piattaforma *open source* da R3 GIS, che gestisce l'anagrafica degli elementi integrata al Gis e ai processi manutentivi. Nel lavoro si descrive l'innovativo modello di gestione integrato dove operatori in campo, tramite palmare GPS, controllano e gestiscono l'esecuzione delle lavorazioni, verificano lo stato di qualità degli oggetti e rilevano le informazioni atte al costante aggiornamento della base cartografica che diventa parte integrante delle attività manutentive.
Il modello sviluppato che traccia tutte le lavorazioni (eseguite e/o da eseguirsi) sugli oggetti del verde consente l'analisi puntuale dei fenomeni per oggetto e di conseguenza migliora la capacità di programmare eventuali azioni atte al miglioramento del verde stesso.

Abstract

The Municipality of Milan outsources the maintenance of the green areas through three-yearly contracts which are based on a Global Service model. This model is based on a continuous monitoring of the maintenance contract performance through Key Performance Indicators (KPI), which measure the quality of the green areas. Since 2004 the management system is based upon a thematic GIS, which started from a cooperation between the Technical Division of Street Furniture and Green Areas of the Municipality of Milan, the Consortium on companies carrying out maintenance activities - COGES, Politecnico of Milan (Department BEST) and the company R3 GIS. In the current version the GIS supports maintenance workflows and is constantly updated by them, and allows a constant monitoring of urban green areas.
Data update is carried out through an application, developed by R3 GIS on an open source platform, which manages the features integrated in the GIS and maintenance processes. In this work we describe the innovative integrated management model, where workers, using a GPS handheld computer, monitor and manage the execution of the works, verify the state of quality of the objects

and detect the information for the constant update of the cartography, which becomes an integral part of the maintenance activities.
The applied model, which records all maintenance and update processes and connects them to the actual features on the ground, allows a detailed analysis of planned and completed jobs and therefore ensures better management processes and ultimately improved and safer urban green areas.

Introduzione

Il Comune di Milano gestisce la manutenzione delle aree verdi tramite gare d'appalto triennali basate su un modello *Global Service*. L'appalto in *Global Service*, adottato dal Comune di Milano per la gestione del verde nel 1999, è definibile come contratto a *performance* che, dato un livello standard di qualità che l'impresa s'impegna a raggiungere, contempla tutte le lavorazioni inerenti la manutenzione degli oggetti del verde quali alberi, cespugli, prati, elementi di arredo urbano e giochi e ne verifica la coerenza in termini di qualità rispetto allo standard.
Dal 2004 vi è un Gis tematico nato dalla collaborazione tra il Settore Tecnico Arredo Urbano e Verde, il Consorzio di gestione servizi - COGES, il Politecnico di Milano (Dipartimento BEST) e la società R3 GIS.
Il Gis si è poi sviluppato negli anni e la strutturazione logica e rigorosa dei dati ha permesso di registrare le modiche intervenute nel territorio. Il monitoraggio costante delle aree verdi integrato ai processi di manutenzione ha prodotto come risultato l'aggiornamento dei dati (Cattaneo et al.,2008). Dal 2011 è stato sviluppato un modello applicativo che "porta" il Gis al centro del sistema di gestione garantendone l'aggiornamento diretto dalle attività in campo e/o dalle segnalazioni di qualità degli operatori.
Quest'ultima operazione è stata possibile grazie all'implementazione di applicativi su piattaforma *open source* specifici, frutto della collaborazione fra R3 GIS e COGES, relativi alla gestione delle alberature e dei giochi, delle manutenzioni programmate, al controllo di qualità e all'amministrazione delle aree verdi.

Il modello di gestione integrato

In linea con l'appalto in *Global Service* e quindi con l'attenzione rivolta al raggiungimento di uno standard di qualità diffuso del verde cittadino, l'obiettivo principale del modello implementato è quello di consentire una tracciabilità completa delle attività manutentive che permetta una maggiore trasparenza ed una capacità predittiva degli interventi atta proprio al miglioramento continuo della qualità.
Il livello di qualità raggiunto viene monitorato dal Comune di Milano utilizzando squadre di controllori con il compito di verificare lo stato delle aree verdi e di segnalare eventuali difformità con gli standard di qualità concordati, definite appunto "non conformità". Gli interventi necessari a risolvere le non conformità assieme alle attività definite dalla programmazione semestrale costituisco la pianificazione operativa che viene eseguita giornalmente dalle squadre in campo.
In termini contrattuali, a partire dal calcolo preventivo del costo di gestione, in caso di lavorazioni non eseguite per tempo e di difformità nel servizio offerto da parte della società appaltatrice, il Comune di Milano può applicare delle penali ottenendo uno sconto sul capitale inizialmente stanziato per la manutenzione ordinaria.
Sino al 2011 la programmazione semestrale e le non conformità erano gestite con applicativi separati: con un applicativo GIS (R3 WORKS) si gestivano le tre fasi di programmazione, esecuzione e rendicontazione delle lavorazioni puntuali, mentre le segnalazione (non conformità) erano gestite con un sistema non collegato al Gis. Ciò generava notevoli problemi nell'individuazione degli elementi contestati e rendeva più laborioso l'aggiornamento dei dati, mancando una verifica in campo degli elementi GIS. Inoltre non era possibile una completa

tracciabilità delle lavorazioni e il Gis non era costantemente aggiornato in quanto non legato in termini di singoli elementi alle attività manutentive.
Ora il sistema gestisce il servizio di manutenzione del verde nella sua totalità, integrando nel Gis del verde sia la programmazione operativa che la pianificazione a lungo termine ed il controllo delle non conformità e garantisce l'aggiornamento costante e quella tracciabilità degli interventi che consente analisi predittive finalizzate al miglioramento continuo.

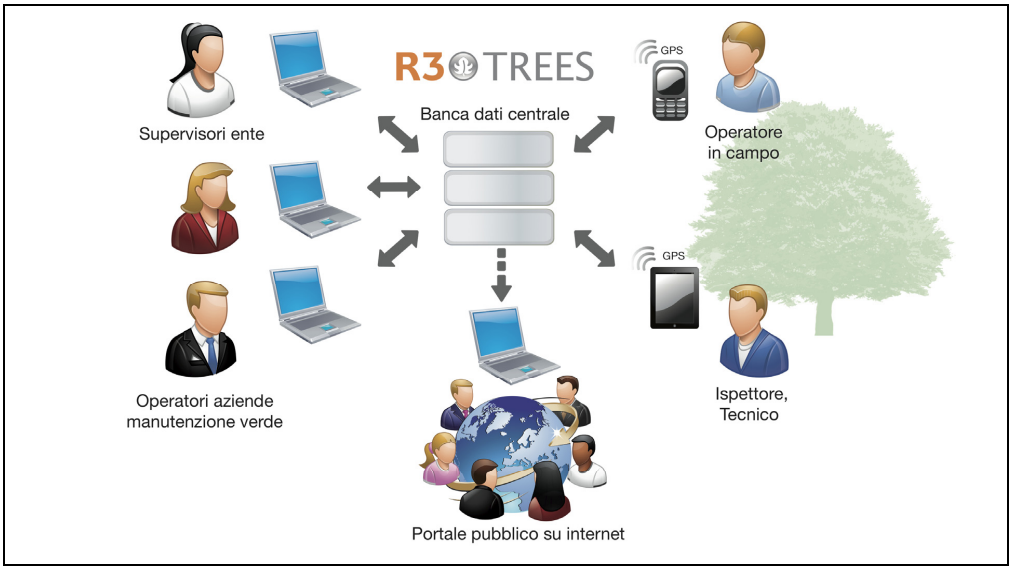


Figura 1. Modello di gestione integrato.

La programmazione operativa comprende sia la programmazione semestrale delle attività di manutenzione che l'organizzazione delle verifiche fitosanitarie degli alberi (VTA) e delle ispezioni dei giochi e dipende da tutte quelle attività che nascono giornalmente dall'operatività in campo, quali le non conformità, gli interventi di Help Desk, le consuntivazioni e le ripianificazioni delle attività.
Inoltre ogni attività del programma operativo tiene traccia della provenienza della segnalazione, per meglio gestire le priorità d'intervento. In questo modo sia il Settore Tecnico del Comune sia il gestore hanno a disposizione, in tempo reale, tutte le informazioni relative alle attività e alle trasformazioni in atto sul territorio, di supporto alle decisioni e alle future programmazioni.

Tipi provenienza lavori

Sigla ▲	Nome	Pianifica il lavoro immediatamente	Tipo non conformità
ISP	Ispezioni	no	
MON	Monitoraggio	no	
NC1	Pericoloso	sì	1
NC2	Degrado	sì	2
NC3	Riparazione	sì	3
PAS	Passaggio	no	
PRO	Programmazione	no	
RIP	Ripianificazione	no	
VTA	VTA	no	

Figura 2. Pianificazione operativa degli interventi: tipo provenienza lavori.



Figura 3. Interfaccia di mappa con un'area verde interessata dai controlli qualitativi (non conformità).

L'utilizzo dei palmari GPS per la gestione e il controllo del Gis del Verde

L'innovativo modello di gestione prevede l'utilizzo dei palmari GPS da parte dei *controller* del Comune e degli operatori di COGES per la segnalazione delle non conformità. Per l'operatività in campo sono utilizzati palmari *Trimble JUNO*, dotati di GPS e fotocamera digitale per acquisire immagini di alta qualità, utili a documentare le segnalazioni riscontrate sul territorio.



Figura 4. Palmari Trimble JUNO con l'applicativo per il rilievo delle non conformità.

L'utilizzo del palmare in campo è stato concepito in maniera tale da garantire l'operatività anche da parte di personale non esperto nel rilievo GPS. Pertanto l'interfaccia non presenta una mappa e permette di descrivere il tipo di problema, la consistenza dello stesso, rilevarne la posizione e scattarne una foto.
Una volta trasmesse queste informazioni al server, la posizione viene intersecata con gli elementi presenti nella banca dati, filtrando gli stessi in base al tipo di problema riscontrato: per esempio una non conformità riguardante un attrezzo ludico verrà abbinata lato server con gli elementi di tipo gioco vicini al punto del rilievo.

Attraverso il dispositivo *Juno SC* si ottiene una precisione di posizionamento da 2 a 5 metri.
L'ampiezza dell'area intersecata con la posizione della non conformità dipende dalla precisione del GPS al momento del rilievo. Questa precisione è data dal DOP, parametro di diluizione della precisione, il cui valore è inversamente proporzionale all'accuratezza del rilievo. Dato che non esistono in letteratura parametri certi che relazionano il valore del DOP all'accuratezza di posizionamento, avendo appositamente scelto il tipo di palmare in oggetto per alcune sue caratteristiche legate alla robustezza e facilità di utilizzo da parte di operatori "non rilevatori" (i tecnici del verde sono sul campo per eseguire le attività di manutenzione del verde stesso), si è provveduto ad eseguire alcuni mesi di sperimentazione, con numerose prove nelle varie zone di Milano da parte dei differenti operatori. Alla fine, sulla base dei risultati sperimentali, si è deciso di impostare il *buffer* di ricerca dal punto di stazionamento GPS con un valore pari a 2.7*(valore DOP). Con un valore di DOP uguale a 2, ad esempio, si genera un *buffer* di cattura di 5.4 m.
Grazie all'utilizzo dei palmari, le attività legate alle segnalazioni delle non conformità consentono la georeferenziazione temporale di ogni nota acquisita. Unitamente alla georeferenziazione, che permette l'identificazione tempestiva degli elementi, le segnalazioni sono documentate da fotografie, anch'esse georiferite, per facilitare ulteriormente l'individuazione dell'oggetto.

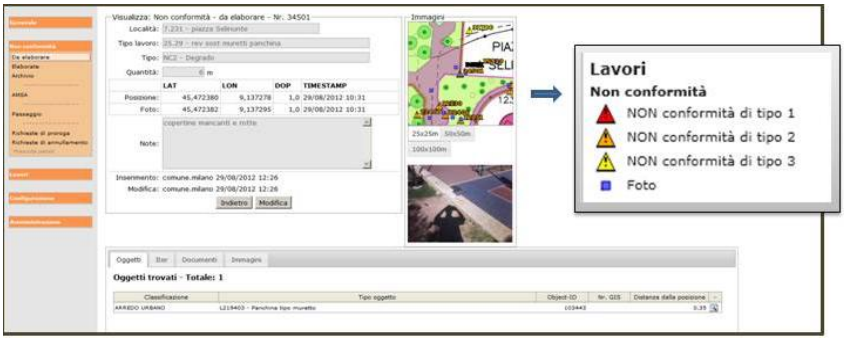


Figura 5. Esempio di scheda di non conformità nello stato "da elaborare".

Sulla base della precisione del GPS al momento del rilievo e dell'accuratezza di posizionamento dei vari elementi del verde, o dello stato di aggiornamento del censimento, possono quindi nascere tre differenti casi:

- viene catturato in automatico solo un punto sul Gis che corrisponde alla segnalazione che si sta attivando (ad esempio un solo albero); è il caso ottimale che non crea alcun problema;
- vengono catturati due o più punti sul Gis a cui potrebbe essere associata la segnalazione; in un secondo momento, tramite le informazioni desumibili dalla fotografia si deve scegliere il punto vero fra quelli catturati in automatico;
- non viene catturato nessun punto sul Gis; anche in questo caso si possono utilizzare gli elementi desumibili dalla fotografia ma potrebbe anche esistere un errore (o una mancanza) nella base geografica di supporto al Gis.

A questa fase di abbinamento segue poi un'analisi della non conformità verificando che sull'oggetto interessato la lavorazione contestata non sia già stata programmata. In tal caso la non conformità viene archiviata, dato che una lavorazione attinente è già a programma.

In sintesi, la gestione delle non conformità prevede le seguenti fasi:

1. rilevazione della non conformità;
2. abbinamento della non conformità, in particolare:
    a. si verifica l'associazione tra la non conformità e l'oggetto presente nel Gis per quanto riguarda la posizione e il codice elemento;
3. analisi della non conformità, in particolare:
    a. si verificano eventuali sovrapposizioni tra le segnalazioni effettuate dal committente e dal gestore, garantendo così l'univocità della segnalazione;
    b. si verifica l'eventuale presenza di attività già predisposte per l'elemento in questione;
4. pianificazione degli interventi utili, con priorità in base alla pericolosità riscontrata;
5. esecuzione e consuntivazione delle lavorazioni effettuate.

La georeferenziazione delle segnalazioni, con il supporto dato dall'interpretazione delle fotografie dell'oggetto non conforme, realizza l'integrazione delle informazioni su un'unica base dati e ha permesso di rendere oggettive le ispezioni, facilitando il raggiungimento di una maggior "qualità" delle aree verdi, grazie all'eliminazione delle problematiche di individuazione degli elementi e della ridondanza delle segnalazione che erano caratteristici del sistema precedente.
La tabella seguente riporta i dati e la quantità delle segnalazioni pervenute al sistema grazie all'utilizzo dei palmari GPS, tra i mesi di maggio e agosto 2012.

CATEGORIA	quantità	%
mesi di utilizzo del palmare GPS	4	
segnalazioni (MON) pervenute dall'inizio ad oggi	692	
non conformità (NC) pervenute dall'inizio ad oggi	16.522	
non conformità giornaliere	da100 a 250	
casi di abbinamento immediato fra segnalazione-oggetto Gis		70%
casi di abbinamento da verificare fra segnalazione-oggetto Gis (catture multiple)		5%
casi di abbinamento da verificare fra segnalazione-oggetto Gis (abbinamento non trovato)		25%

Figura 6. Tabella dei dati relativi alle segnalazioni e alle non conformità giunte a sistema.

Come si può notare ormai con un campione estremamente significativo, nel 70% dei casi l'abbinamento fra segnalazione ed oggetto nel Gis è univoco, nel 5% dei casi si deve scegliere quale degli oggetti selezionati è effettivamente quello interessato e nel 25% dei casi l'abbinamento richiede un'operazione leggermente più laboriosa.
Ogni attività in campo è pianificata e monitorata attraverso i palmari GPS collegati al sistema di gestione WebGis. Per una scelta operativa, non tecnologica, si è preferito che i palmari non interagissero in tempo reale con l'intera banca dati Gis. Al termine della giornata di lavoro gli operatori rientrano in ufficio ed avviene la sincronizzazione dei dati raccolti sul territorio, per consentire la pianificazione successiva. All'inizio della giornata successiva su ogni palmare sono già presenti tutte le modifiche derivanti dall'attività del giorno precedente.
E' proprio nel momento della sincronizzazione che viene eseguita ogni sera che i *controller* stessi, unitamente ai tecnici di zona comunali, verificano le non conformità non abbinate e associano gli elementi corretti.
Un aspetto da sottolineare è che eventuali anomalie del Gis non bloccano in alcun modo la procedura di segnalazione delle non conformità. Infatti, in presenza di un disallineamento tra la

difformità segnalata e il Gis del verde, ad esempio per codice attributo non corretto piuttosto che per oggetto mancante, la segnalazione viene associata ad un oggetto "provvisorio", con la denominazione "l'oggetto è da determinare". Gli addetti Gis verificano ed eventualmente aggiornano la base dati eliminando gli oggetti provvisori segnalati dai *controller*.
In questo modo le non conformità rilevate e filtrate, costituiscono l'input per l'aggiornamento della banca dati, che a sua volta è parte integrante del processo manutentivo e i casi di disallineamento fra la banca dati e la realtà delle aree verdi, con l'ausilio del nuovo applicativo di gestione integrato, tenderanno a esaurirsi man mano che si apportano le correzioni dovute.
Anche gli operatori in campo divengono quindi attori indispensabili non solo al monitoraggio della qualità ma anche alla crescita del patrimonio informativo contenuto nel Gis. Lo sviluppo tecnologico descritto ha migliorato nettamente la qualità del lavoro ma soprattutto ha rivalutato le risorse umane coinvolte. Gli operatori, avendo a disposizione gli strumenti adeguati ed un sistema interattivo intelligente e funzionante, hanno assunto un ruolo attivo e produttivo, con una maggiore soddisfazione sul lavoro. La loro attività è inoltre diventata una fonte reale di aggiornamento e di miglioramento del dato.

Risultati e conclusioni

Il modello dei dati, la qualità dei rilievi e l'integrazione degli strumenti operativi con la cartografia sono gli elementi chiave del modello implementato e conferiscono al Gis il ruolo di elemento centrale della gestione del verde, integrando in un'unica base dati e in un modello unico dei processi tutte le attività che, per singolo oggetto verde, vengono eseguite sul campo.
L'intera innovazione, in pochi mesi di utilizzo, si è dimostrata performante ed ha migliorato le caratteristiche qualitative del dato geografico di supporto, in quanto l'intera operatività si basa sugli attributi e le geometrie presenti nel Gis.
Grazie all'utilizzo dei palmari GPS è stato possibile migliorare il contenuto informativo, di posizione e temporale, relativo cioè all'aggiornamento, delle aree verdi di Milano e di conseguenza il sistema stesso ha aumentato le sue potenzialità d'interrogazione e utilizzo, in quanto i dati a disposizione sono sempre più aderenti al vero.

Riferimenti bibliografici

Di Maria F, Guzzetti F, Privitera A, Viskanic P. (2005), *Alberi e professionisti: catasto ed informatizzazione – due esempi di gestione informatizzata del verde con strumenti WebGis* - Convegno Internazionale ALBERI&DINTORNI – Riccione 19/21 Ottobre.
Di Maria F, Guzzetti F, Privitera A, Viskanic P. (2005), *Progetto verde Milano: il censimento e la gestione del verde con strumenti WebGis* - 9° Conferenza Nazionale ASITA – Catania 15/18 Novembre.
Cattaneo N, Di Maria F, Guzzetti F, Privitera A. (2007) *Specifiche tecniche per il rilievo topografico delle aree verdi nell'ambito del Gis tematico del Comune di Milano* – 11° Conferenza Nazionale ASITA – Torino 6/9 Novembre.
Cattaneo N, Di Maria F, Guzzetti F, Privitera A, Viskanic P. (2008), *La gestione della banca dati delle aree verdi del Comune di Milano attraverso l'aggiornamento continuo dei dati*, 12° Conferenza Nazionale ASITA – L'Aquila 21/24 Ottobre 2008.
Cattaneo N, Di Maria F, Guzzetti F, Privitera A, Viskanic P. (2008), " Milano: l'aggiornamento del Gis del Verde", *MondoGIS*,68: 51-55.
Vigani L. (2008), "Alberi a portata di mouse: Milano, gestione del verde pubblico ottimizzata con uno specifico Gis", *Acer,* 6: 75-76.
Cattaneo N, Di Maria F, Guzzetti F, Privitera A, Viskanic P. (2009), *Milano: developments in the management of green areas through computerization*. UDMS Annual (published by Taylor & Francis).

Analisi della temperatura superficiale derivata da serie temporali di dati MODIS

Massimo Antoninetti, Daniela Stroppiana, Pietro Alessandro Brivio

Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, IREA - CNR (http://www.irea.cnr.it),
Via Bassini 15, 20133 Milano, Tel. +39 02 23699 289, Email: brivio.pa@irea.cnr.it

Riassunto

I dati acquisiti dal sensore MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) montato a bordo delle piattaforme *Terra* e *Aqua* della NASA a partire dal 2001, hanno permesso lo studio di numerose proprietà della superficie terrestre; le caratteristiche del sensore e la disponibilità di prodotti standard hanno reso questi dati preziosi per numerose applicazioni. Tra i prodotti MODIS, il MOD11A2 fornisce ogni 8 giorni una stima della temperatura superficiale della terra (*Land Surface Temperature*, LST) e dell'emissività alla risoluzione spaziale di 1 km. Queste stime sono prodotte a partire dalle acquisizione del sensore MODIS nelle bande dell'infrarosso termico (bande 31 e 32) sulla base dell'algoritmo di *split window* (Wan e Dozier, 1996).

In questo lavoro presentiamo i primi risultati di uno studio volto ad investigare le anomalie termiche superficiali nell'Italia Meridionale, ed i loro collegamenti con la potenziale presenza di fenomeni geotermici a bassa entalpia, analizzando la stagionalità e le dinamiche inter-annuali delle stime MODIS LST anche in relazione alla topografia (quota) ed alla copertura vegetale. In particolare, è utilizzato il prodotto MODIS MOD11A2 per il periodo 2001-2010, una mappa di *land cover* derivata dal prodotto MODIS MCD12Q1 ed il modello digitale del terreno del *Global Land One-km Base Elevation Project* (GLOBE) disponibile alla NOAA. Tutti i dati sono disponibili con una risoluzione spaziale di 1 km. A partire dai dati a 8 giorni MOD11A2 di LST sia diurna che notturna, sono state create sintesi temporali (medie mensili, stagionali, ecc…), e spaziali (statistiche per classi di copertura del suolo). L'analisi di correlazione è stata quindi utilizzata per quantificare l'influenza della topografia. I risultati preliminari mettono in evidenza come la copertura e la topografia siano due elementi chiave per l'interpretazione della variabilità della temperatura superficiale sia diurna che notturna; le attività future prevedono di approfondire l'analisi dei fattori che influenzano LST ed, in particolare, della relazione con la stagionalità della vegetazione integrando serie temporali di indici di vegetazione.

Abstract

The *Land Surface Temperature* (LST) is the radiation temperature measured at the interface between surface materials (top of plant canopy, water, ground, ice, or snow surface) and the atmosphere. LST, a key parameter in the land surface radiation budget, is an important variable not only for climate change studies, but also, as in the present study, in geothermal exploration relying on monitoring LST anomalies for searching alternative energy sources.

The MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) sensor, mounted on board of NASA satellites *Terra* and *Aqua* has been registering data of Earth surface since 2001. The sensor's characteristics and the availability of standard products allow scientists to study different surface features. Among the MODIS products, the MODIS11A2 is the 8-days estimate of the *Land Surface Temperature* (LST) and emissivity at a 1 km spatial resolution. These values are estimated from data registered by the MODIS thermal infrared bands 31 and 32, on the basis of the *Split Window* algorithm (Wan e Dozier, 1996).

In this work we analyzed the dynamics of seasonal and inter-annual variability of LST over a study area in Southern Italy, taking in consideration also the topography and the land cover. In particular, for the period 2001-2010, it has been evaluated a dataset composed of MODIS MOD11A2 data, a land cover map derived from the MODIS MCD12Q1 product, and the Digital Elevation Model from the NOAA Global Land One-Km Base Elevation Project (GLOBE DEM). All data are available at 1km spatial resolution.
Day-time and night-time MODIS MOD11A2 datasets have been elaborated to obtain multitemporal synthesis (monthly, seasonal, yearly and multi-year mean values) to be integrated with spatial data (land cover classes statistics). A correlation analysis has been performed to quantify the influence of topography on the LST distribution and variability. Preliminary results show how land cover and topography are two key elements for the interpretation of LST variability, both during day and night time.
Next steps of activity forecast the upgrading of factors influencing LST related with the phenological evolution of the vegetation covers (vegetation indices).

Introduzione

La temperatura superficiale del suolo (*Land Surface Temperature* – LST) è la temperatura radiante misurata all'interfaccia fra la superficie di un materiale (chioma di un albero, acqua, terreno, ghiaccio o neve) e l'atmosfera, ed è considerata una fondamentale variabile nel calcolo del budget radiativo delle superfici negli studi sui potenziali cambiamenti climatici (Brivio et al., 2001). LST controlla inoltre molti processi fisici, chimici e biologici, quali, ad esempio, l'umidità dei suoli e l'evapotraspirazione della vegetazione (Zhong et al., 2010; Wang e Liang, 2008). Infine, i valori misurati di temperatura superficiale sono utilizzati come indicatori chiave per la comprensione dei complessi fenomeni geologici profondi (Cassinis, 1984; Kahle e Gillespie, 1976). La ricerca di fonti alternative di energia ha aumentato l'interesse per l'esplorazione geotermica monitorando le variazioni di LST in superficie (Qin et al., 2011).
Le tecniche di telerilevamento da satellite hanno dimostrato di essere fonte di valide informazioni sulle proprietà termiche della superficie del nostro pianeta (Wan e Liang, 2009), fin dalle prime missioni, quali ad esempio l'*Heat Capacity Mapping Mission* (Brivio et al., 1982: Cassinis et al., 1984). Recentemente, i dati acquisiti dal sensore MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) hanno notevolmente migliorato il livello informativo disponibile grazie al miglioramento sia della geometria che della radiometria del sensore che acquisisce anche nelle bande dell'infrarosso termico (TIR). In particolare, il prodotto MOD11A2 fornisce valori stimati di emissività (*e*) delle superficie osservate regolarmente alle 10.30 am ed alle 10.30 pm, con una risoluzione spaziale di 1km, ogni 8 giorni.
I dati MODIS LST sono quindi largamente utilizzati per studi delle temperature superficiali, isole urbane di calore, stime della temperatura dell'aria, valori di umidità dei suoli, ed altro (Liu e Zhang, 2011; Benali et al., 2012; Son et al., 2012).
In questo lavoro presentiamo i primi risultati di uno studio volto ad investigare le anomalie termiche superficiali nell'Italia Meridionale, ed i loro collegamenti con la potenziale presenza di fenomeni geotermici a bassa entalpia. Questo approccio metodologico può essere considerato innovativo nel campo della ricerca di sorgenti alternative di energia e per la riduzione delle emissioni di gas serra.
Pochi studi finora hanno analizzato le variazioni stagionali e spaziali dei valori di LST stimati da dati satellitari ed i fattori che influenzano questa variabilità (e.g. Ge, 2010; Westermann et al., 2011). Questi fattori sono, essenzialmente, le caratteristiche delle coperture e dell'uso del suolo, e la topografia.
Sono stati quindi acquisiti ed analizzati i prodotti MOD11A2 di LST diurna e notturna per studiarne la variabilità temporale e spaziale in funzione delle caratteristiche di copertura del suolo (classi di copertura del suolo) e della topografia (quota). Le variazioni legate alla latitudine sono stati considerate ininfluenti essendo l'area di studio di piccole dimensioni areali.

Dati

I prodotti MODIS MOD11A2 LST, registrati a bordo del satellite *Terra*, forniscono valori di temperatura superficiale in gradi Kelvin, ogni 8 giorni, con copertura globale ed ad 1 km di risoluzione al suolo, mediando i valori giornalieri di LST (Wan et al., 2002). Inoltre vengono forniti valori di emissività (*e*) della superficie e informazioni relative alla qualità delle stessi stime (QC).

Sono stati utilizzati dati MOD11A2 Version-5 per il periodo 2001-2010. Dal sito web dell'USGS Glovis (http://glovis.usgs.gov/, ultimo accesso giugno 2012) sono stati acquisiti, in modalità gratuita, 457 file immagine in formato HDF (Hierarchical Data Format) forniti in proiezione sinusoidale (*Equal Area Sinusoidal*). Ogni file HDF è composto da 12 livelli informativi: LST e QC relativi alle acquisizioni di giorno e di notte, angolo di ripresa di giorno e di notte, emissività nei canali MODIS 31 e 32, giorni di cielo sgombro da nuvole di giorno e di notte. I dati vengono classificati di buona qualità quando l'errore medio della stima di emissività è inferiore a 1, e di LST stimata è inferiore a 1 K. I prodotti MODIS vengono forniti per aree di circa 1100 km per 1100 km (*tile*), l'area studio in Italia Meridionale è identificata come *tile* h19 v04 (fig. 1).

Con la sola eccezione degli anni 2001 e 2010, con mancanza di, rispettivamente, uno e due serie di 8 giorni, ogni anno analizzato è coperto da una serie di 46 immagini composite.

L'algoritmo implementato per la stima di LST è basato sulla teoria *split window* (Wan e Dozier, 1989; Wan e Dozier, 1996) utilizzando le bande termiche MODIS 31 e 32. I parametri per l'algoritmo *MODIS Generalised Split Window* (GSW) dipendono dall'angolo di vista zenitale del satellite e dalla colonna di vapor acqueo presente la momento dell'acquisizione. Maggiori dettagli sull'algoritmo e sui prodotti possono essere reperiti sul sito web dell'USGS (http://lpdaac.usgs.gov/products/modis_product_table, ultimo accesso giugno 2012).

Wan et al. (2004) hanno validato i prodotti MODIS LST analizzando 11 differenti situazioni di cielo sgombro da nuvole acquisendo dati a terra ed ottenendo un errore di 1 K in un intervallo di temperature al suolo comprese fra 263 e 300 K.

In corrispondenza dell'area di studio, è stato inoltre acquisito il prodotto *MODIS Land Cover Type* (MCD12Q1) che include 5 sistemi di classificazione globale della copertura del suolo derivata per ogni anno dalle acquisizioni dei satelliti *Terra* e *Aqua* (Friedl et al., 2010). Per questo studio è stato utilizzato la classificazione UMD (*University of Maryland*) con 14 classi di copertura del suolo (Hansen et al., 2002), così come schematizzato nella tabella 1. Nell'area di studio più del 60% del suolo è classificato come agricolo, le aree urbane coprono circa l'11% e le foreste miste circa l'8% dell'area totale. Alcune classi coprendo aree molto ristrette (meno dell'1%) non vengono considerate nelle fasi successive.

Infine, il modello digitale del terreno (DEM) utilizzato è stato acquisito dal sito NOAA NESDIS (http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html, ultimo accesso giugno 2012). Il dato disponibile, denominato *Global Land One-km Base Elevation Digital Elevation Model* (Globe DEM), fornisce valori di quota con risoluzione di 1km in proiezione geografica Lat/Lon (Fig. 1).

Metodologia

L'analisi delle variazioni spaziali e temporali di LST sono state eseguite tenendo in considerazione i valori di qualità forniti con i prodotti MODIS11A2 al fine di quantificare la proporzione dei dati affetti da un errore superiore al valore nominale del prodotto (mancanza di dati causa copertura nuvolosa, pixel con valori di qualità bassa). Sono stati quindi calcolati i valori medi mensili di LST per il periodo 2001-2010 ottenendo valori di riferimento stagionali di LST per ogni pixel di 1km, e la deviazione standard per quantificare la variabilità di LST anno per anno. Tutte le analisi sono state eseguite mantenendo la rappresentazione geografica sinusoidale originale.

Nella seconda parte del lavoro vengono analizzate congiuntamente le temperature LST medie mensili, la topografia (quota) e le classi di copertura del suolo, utilizzando metodologie di analisi di correlazione (regressione lineare) e rappresentazioni statistiche mantenendo invariata la risoluzione spaziale di 1km. Tuttavia, per utilizzare il Globe DEM si è reso necessario ri-proiettare i prodotti MOD11A2 da proiezione sinusoidale a geografica Lat/Lon.

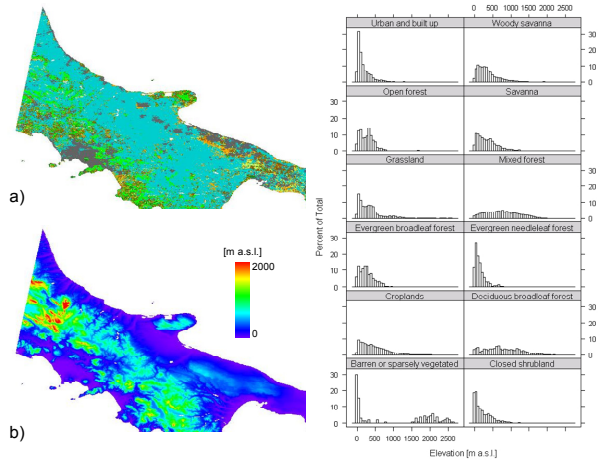


Figura 1. Area di studio dell'Italia Meridionale. Sono rappresentate le classi di copertura del suolo (a), il Globe DEM (b), e gli istogrammi di frequenza della quota [m a.s.l.) per ogni classe di copertura. I colori delle classi di copertura sono rappresentati nella tabella 1.

Nome UMD	Codice	N pixel	Prop. Area studio	Colore
Foreste sempreverdi ad aghifoglia	1	290	0.5%	
Foreste sempreverdilatifoglia	2	538	0.8%	
Foreste decidue ad aghifoglia	3	7	0.0%	
Foreste decidue latifoglia	4	748	1.2%	
Foreste miste	5	4896	7.7%	
Arbustivo denso	6	1021	1.6%	
Arbustivo rado	7	1473	2.3%	
Savanna legnosa	8	4429	7.0%	
Savanna	9	1943	3.1%	
Erbaceo	10	1643	2.6%	
Agricolo	12	39300	62.1%	
Urbano	13	6934	10.9%	
Suolo nudo o poco vegetato	16	111	0.2%	

Tabella 1. Classi di copertura del suolo secondo la classificazione UMD (nome e codice della classe) e la percentuale relativa all'area di studio per ogni classe. I codici colore identificativi delle classi sono uguali a quelli rappresentati nella Fig. 1(a).

Risultati e discussione

LST Mensili

La figura 2 mostra i valori di LST media mensile e le relative deviazioni standard (variabilità inter-annuale rispetto alla media multi-temporale) calcolate dal dataset 2001-2010 ed utilizzate per l'analisi con il DEM e la copertura del suolo. Le aree ad una quota maggiore, figura 1(b), mostrano valori di LST inferiori rispetto alle aree topograficamente più basse. Per quanto concerne invece la variabilità inter-annuale, la maggior parte dei valori delle deviazioni standard ricadono nell'intervallo 1-4 K, con le notevoli eccezioni dei mesi di Febbraio, Maggio, Agosto e Ottobre. Febbraio mostra valori molto variabili nella aree più elevate (aree rosse nella figura 2). Alcune di queste aree sono ancora visibili nell'immagine di Marzo.

LST e topografia

La correlazione fra LST e topografia (Fig. 2) è stata quantificata con il coefficiente di correlazione *r* di Pearson che conferma l'influenza della quota sui valori di LST (Hais e Kucera, 2009): valori negativi di *r* rappresentano la diminuzione di temperatura superficiale con l'aumento della quota. Viene inoltre evidenziata una significativa differenza fra questa relazione analizzando i dati multitemporali di LST diurna e notturna. Il range dei valori di *r* è infatti più ristretto per le stime di LST notturna rispetto alle corrispondenti giorno stime di LST diurna: 0.81-0.91 e 0.69-0.94, rispettivamente. Inoltre, la correlazione fra LST stimata dalle acquisizioni diurne è maggiore durante i mesi invernali (da Dicembre a Febbraio) e più bassa in estate (Luglio-Agosto), al contrario di quanto osservato per i valori di LST notturni.

LST e copertura del suolo

Considerando che le differenti classi di copertura del suolo influenzano notevolmente la variabilità delle temperature superficiali, occorre considerare attentamente la statistica sia di LST media notturna sia di quella diurna per ogni classe di *land cover*.

Nelle figure 3 e 4 sono rappresentate le statistiche di LST diurna e notturna mensili nelle differenti classi riportate in Tabella 1, con l'eccezione della classe 3 (foreste decidue con foglie aghiformi) che sono rappresentate da soli 7 pixel in tutta l'area di studio, e quindi definibili non significative. Sull'asse y sono rappresentate le temperature misurate medie mensili stimate da MODIS, variabili fra 270-320 K di giorno, e fra 270-300 K di notte e sull'asse x i codici delle classi di copertura del suolo come riportati in Tabella 1. Confrontando i periodi giorno-notte, appare chiaro che in estate è maggiore la variabilità spaziale della LST di giorno e nelle aree non forestate rispetto ai valori ottenuti per le immagini notturne. Le variazioni presenti nelle immagini riprese di giorno risentono inoltre delle variazioni intra-annuali dell'angolo di incidenza della radiazione solare, delle coperture del suolo e dell'umidità dei suoli.

L'influenza negativa della copertura nuvolosa rappresenta ancora una importante limitazione nell'elaborazione delle immagini acquisite dai sensori ottici e nella valutazione dei risultati relativi. L'utilizzo di immagini composite multitemporali, così come nel caso dei prodotti MOD11A2, riduce notevolmente, anche se non elimina del tutto, la contaminazione dei dati da parte delle nuvole presenti.

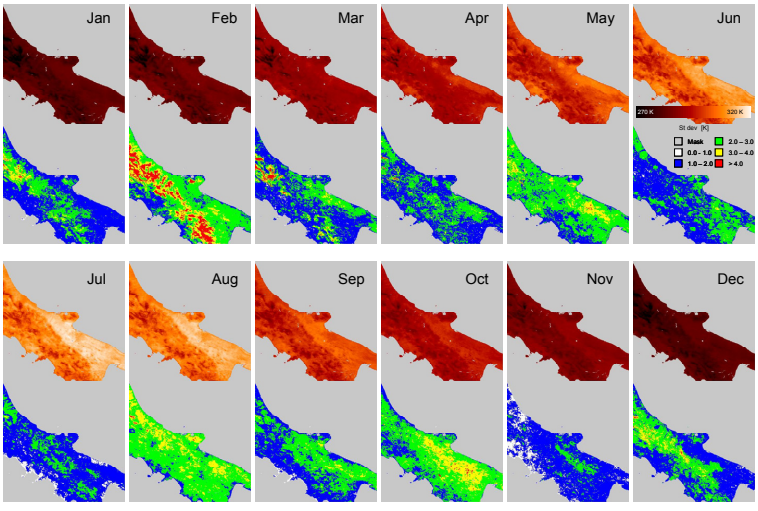


Figura 2. Valori medi mensili (K) di LST diurna (prima e terza riga) e valori di deviazione standard della LST (seconda e quarta riga) calcolati dalla serie di immagini MODIS comprese nel periodo 2001-2010.

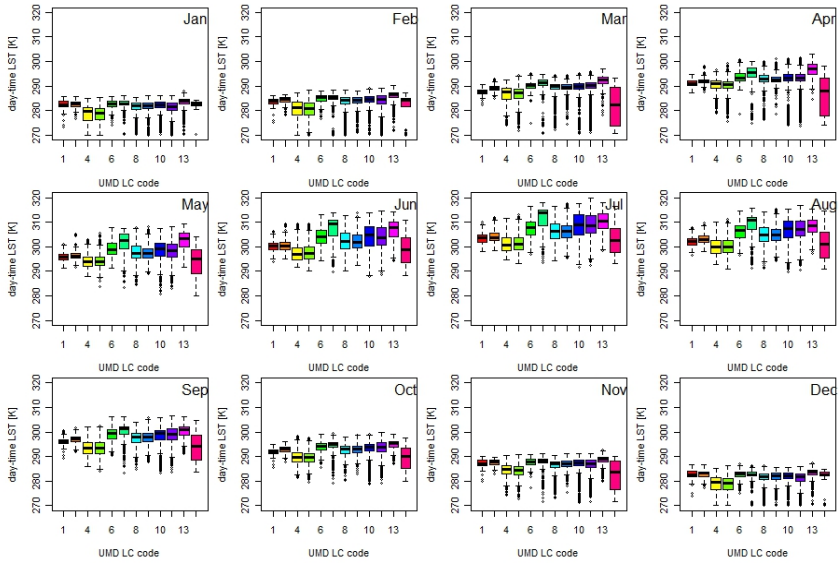


Figura 3. Grafici boxplot della temperatura media mensile LST (K) di giorno in funzione delle diverse classi di copertura del suolo.

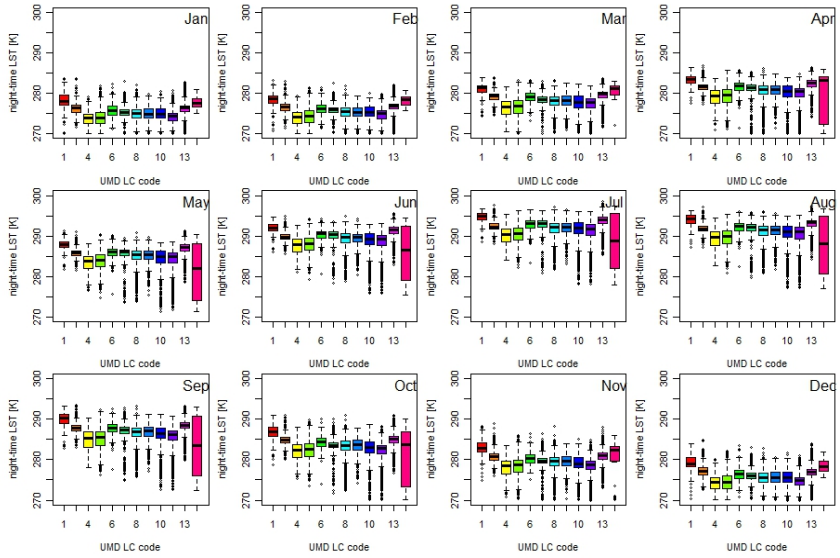


Figura 4. Grafici boxplot della temperatura media mensile LST (K) notturna in funzione delle diverse classi di copertura del suolo.

Conclusioni

Sona stati analizzati dieci anni (2001-2010) di dati di temperatura LST stimata a partire dai dati acquisiti dal sensore MODIS di giorno e di notte con una risoluzione di 1 km su un'area di studio nell'Italia Meridionale per analizzare la variabilità spaziale e temporale della temperatura superficiale, in funzione anche della topografia e della copertura del suolo. Questa analisi a scala

regionale rappresenta la fase preliminare per uno studio più complesso delle anomalie termiche esistenti in relazione alla ricerca ed allo sfruttamento di potenziali fonti di energia geotermica.
Le topografia può spiegare fino al 90% della variazioni di LST, sebbene tale valore vari in modo considerevole in funzione del periodo dell'anno e della copertura del suolo. Inoltre, le variazioni di LST sono direttamente collegabili alla presenza di estese aree coperte da vegetazione non arborea ed alla loro caratteristica variabilità fenologica annuale. Questi fattori devono essere tenuti in considerazione nella valutazione delle anomalie termiche registrate osservate tramite l'analisi dei dati satellitari.
Le prossime fasi della ricerca prevedono l'analisi delle influenze legate alla pendenza ed alla esposizione dei versanti, includendo inoltre l'analisi della correlazione fra LST e indici di vegetazione, quale migliore indicatore dell'evoluzione fenologica della vegetazione presente.
Saranno, infine, integrate le immagini registrate dal satellite *Aqua*, riprese dallo stesso sensore MODIS ma in orari di giorno e di notte differenti rispetto ai dati MODIS ripresi dal satellite *Terra*, utilizzati finora. Sarà quindi possibile analizzare le variazioni temporali di temperatura durante il ciclo giornaliero.

Acknowledge
Questa attività è svolta nell'ambito del Progetto "Atlante Geotermico" (Progetti per l'Innovazione e lo Sviluppo nel Mezzogiorno, coordinati dal Consiglio Nazionale delle Ricerche). Il progetto è focalizzato sullo sfruttamento del potenziale geotermico non convenzionale per la produzione di energia elettrica e sulla realizzazione di un atlante aggiornato delle risorse geotermiche.

Riferimenti bibliografici
Benali, A., Carvalho, A.C.; Nunes J.P.; Carvalhais N., Santos A. (2012), "Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data", Remote Sens. Environ. 124: 108-121.
Brivio P. A., R. Cassinis, G. M. Lechi, A. Marini, and E. Zilioli, (1982), "Heat Capacity Mapping Mission (HCMM) Program: Study of geological structure of Sicily and other Italian areas", NASA Resources Survey Program, NTIS n° E 82, 10073, September, 7, p. 24.
Brivio, P.A., Colombo, R., Meroni, M. (2001), "The use of remotely sensed data for the estimation of energy balance components in a mountainous catchment", in Remote Sensing and Climate Modelling: Synergies and Limitations (M. Beniston & M. Verstraete, Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/The Netherlands, pp. 307-327.
Cassinis, R., Tosi, N., Lechi, G.M., Brivio, P.A., Zilioli, E., Marini, A. (1984), "Thermal inertia of rocks: An HCMM experiment on Sardinia, Italy", Int. J. Remote Sens. 1984, 5(1): 79-94.
Friedl, M.A., Sulla-Menashe D., Tan B., Schneider A., Ramankutty N., Sibley A., Huanga X. (2010), "MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets", Remote Sensing of Environment, 114(1): 168-182.
Ge, J. (2010); "MODIS observed impacts of intensive agriculture on surface temperature in the southern Great Plains", Int. J. Climatology, 30: 1994-2003.
Hais, M., Kučera, T. (2009), "The influence of topography on the forest surface temperature retrieved from Landsat TM, ETM + and ASTER thermal channels", ISPRS J. Photogram. Remote Sens., 64(6): 585-591.
M.C. Hansen, R.S. DeFries, J.R.G. Townshend, R. Sohlberg, C. Dimiceli, M. Carroll, (2002), "Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: Examples using AVHRR and MODIS data", Remote Sensing of Environment, 83: 303–319.
Kahle, A.B., Gillespie, A.R., Goetz, A.F.H. (1976), "Thermal inertia imaging: a new geologic mapping tool" Geophys. Res. Letters, 3: 26-28.
Liu, L., Zhang, Y. (2011), "Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong", Remote Sens., 3(7): 1535-1552.

Qin Q., Zhang N., Nan P., and Chai L., (2011), "Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and its mechanistic analysis—A case study in Tengchong, China", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13: 552-559.
Son, N.T., Chen, C.F. , Chen, C.R. , Chang, L.Y. , Minh, V.Q. (2012), "Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data", Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation, 18: 417-427
Z. Wan and J. Dozier, "Land-surface temperature measurement from space: physical principles and inverse modeling," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 27, no. 3, pp. 268-278, 1989.
Wan, Z. & Dozier, J., (1996), "A Generalized Split- Window Algorithm for Retrieving Land-Surface Temperature from Space", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 34, No. 4, 1996.
Wan, Z.M., Zhang, Y.L., Zhang, Q.C. (2002), "Validation of the land-surface temperature products retrieved from terra moderate resolution imaging spectroradiometer data", Remote Sens. Environ., 83: 163–180.
Wan, Z., Wang, P., & Li, X. (2004), "Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the Southern Great Plains, USA", International Journal of Remote Sensing, 25(1): 61−72.
Wan, K., Liang S., (2009), "Evaluation of ASTER and MODIS land surface temperature and emissivity products using long-term surface longwave radiation observations at SURFRAD sites", Remote Sensing of Environment, 113: 1556-1565.
Wang, K., Liang, S. (2008), "An improved method for estimating global evapotranspiration based on satellite determination of surface net radiation, vegetation index, temperature, and soil moisture", Journal of Hydrometeorology, 9(4): 712−727.
Westermann, S., Langer, M., Boike, J. (2011), "Spatial and temporal variations of summer surface temperatures of high-arctic tundra on Svalbard - Implications for MODIS LST based permafrost monitoring", Remote Sens. Environ., 115(3): 908-922.
Zhong, L., Ma, Y., Su, Z., Salama, M.S. (2010), "Estimation of Land Surface Temperature over the Tibetan Plateau Using AVHRR and MODIS data", Advances in Atmos. Sci., 27(5): 1110-1118.

Esperienze di monitoraggio topografico di grandi frane: i casi di Gimigliano e Maierato

G. Artese, M. Perrelli, S. Artese, F. Manieri, F. Principato

Università della Calabria, Dipartimento di Pianificazione Territoriale, via P. Bucci cubo 46B
tel. +39 0984-496768, e-mail:artese@unical.it; michele.perrelli@unical.it

Riassunto
Le esperienze riportate nel presente lavoro riguardano le operazioni di monitoraggio di due grandi frane. La prima interessa il territorio del comune di Gimigliano(CZ), il cui centro abitato sorge su un versante soggetto a fenomeni gravitativi profondi. La seconda frana, resa famosa dalle riprese in tempo reale effettuate da alcuni abitanti durante il fenomeno franoso, interessa un'intera collina al margine dell'abitato di Maierato(VV), che ha tagliato in due la principale strada di accesso al paese.
Il monitoraggio superficiale di tipo topografico, per ambedue le frane, vuole essere un integrazione di una serie di metodologie d'indagine di tipo geofisico e geotecnico quali misure con inclinometri di profondità e con piezometri, prove sismiche e tomografia. Per le due distinte attività di monitoraggio topografico, sono state adoperate stazioni robotizzate di precisione. L'integrazione delle indagini ed i loro risultati consentiranno la messa a punto di un modello delle frane, utile anche per l'early warning.

Abstract
In the framework of the activities aimed to deeply know and monitor landslides, an important role is played by topographic surveys. Topographic survey is generally used to describe the external surface, to measure the displacements of selected points and to evaluate morphological evolutions. The monitoring is generally extended to the structures sited near the crown and the ridges of the landslide. Presently, the topographic monitoring of two great landslides is in progress in Calabria, performed by the Geomatics Lab of the University of Calabria, Land Planning Dept.
The paper concerns the monitoring operations of these two large landslides. The first involves the entire village of Gimigliano, a town in the province of Catanzaro, whose village lies on a slope subject to deep gravitational phenomena. The second landslide, made famous by filming in real time, affects an entire hill at the edge of the town of Maierato, near Vibo Valentia, bisecting the main access road to the village.
The ongoing research concerns the integration of a number of methods of investigation of geophysical and geotechnical with a topographic monitoring of the surface. In both landslides measurements were performed with of inclinometers, seismic testing and tomography; some piezometers have been in addition installed. The integration of the investigations and their results will allow the development of a model of landslides, also useful for the early warning.

1. Le attività di monitoraggio della frana di Gimigliano

Per quanto riguarda la frana di Gimigliano, l'assenza di un punto stabile situato all'interno del *range* di misura della strumentazione non ha permesso l'installazione di un stazione robotica permanente che consentisse la misurazione di tutta l'area interessata dal fenomeno in esame.

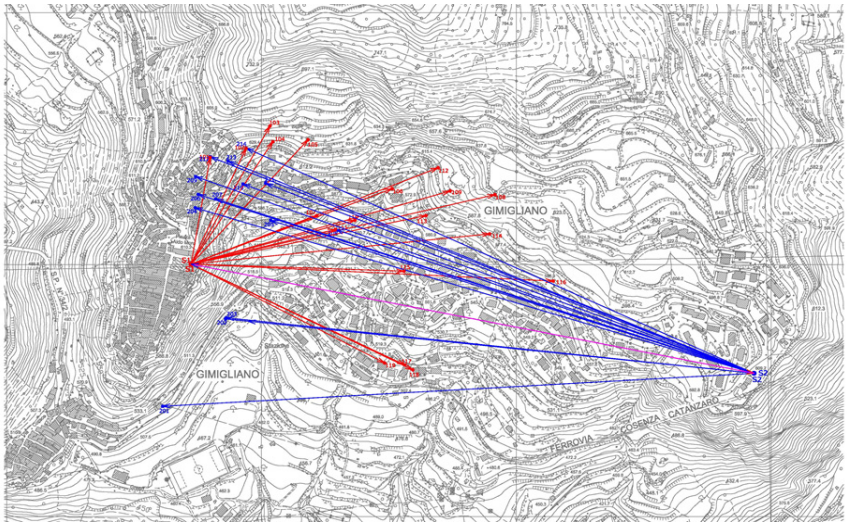


Figura 1. Gimigliano.

Per tale motivo, si è reso necessario elaborare un piano di monitoraggio periodico, realizzando due postazioni attrezzate con sistemi di supporto a posizionamento e centramento forzato dello stazione totale Leica TPS1200+, da cui vengono eseguite le osservazioni. In figura, è possibile osservare il posizionamento dei due punti di stazione, indicati con i numeri 1 e 2, che corrispondono, rispettivamente, ad una terrazza della chiesa nel centro storico del paese e ad un area di fronte il centro storico sulla quale sono presenti degli affioramenti rocciosi.



Figura 2. Punti Stazione.

In particolare, la monumentazione della stazione S1 è stata realizzata utilizzando un treppiede per strumenti topografici. Sul treppiede è connessa una basetta permanente con vite calante bloccata per la connessione a centramento e posizionamento forzato dello strumento. Il treppiede è montato su una stella metallica e fissato tramite barre di ferro direttamente sul solaio e sui parapetti della terrazza. Per quanto riguarda la stazione S2, tenuto conto delle caratteristiche del terreno di fondazione, si è optato per un pilastrino metallico dotato di sistema di fissaggio (ref. Fig 3a e 3b).



Figura 3°. Punto di stazione S1.



Figura 3b. Punto di stazione S2.

Poiché la stazione non viene lasciata stabilmente in posizione e i punti di osservazione si trovano a ridosso dell'area interessata dal fenomeno franoso, al fine di poter compensare eventuali piccoli spostamenti dei punti di stazione, sono stati individuati 3 punti (ref. Fig. 4b), ritenuti ragionevolmente stabili e visibili da entrambe i punti di stazione. Tali punti, durante le operazioni periodiche di messa in stazione dello strumento, consentono di calcolare la nuova posizione della stazione totale compensando così gli eventuali spostamenti.
Inoltre, la possibilità di misurare i tre punti da entrambe le stazioni, unitamente al monitoraggio reciproco dei punti di stazione ed al rilievo GNSS della loro posizione, consente di effettuare il raccordo delle due misure indipendenti e la georeferenziazione delle osservazioni.
Nella figura seguente è possibile osservare la dislocazione dei punti soggetti a monitoraggio dai due punti di stazione situato all'interno dell'area che, a seguito dell'analisi dei dati SAR (Ferrucci,2010) (ref. Fig.5), ha presentato le velocità di spostamento maggiore, fino a 24 mm/anno dal 1993 al 2000 e fino a 14 mm/anno dal 2002 al 2010.

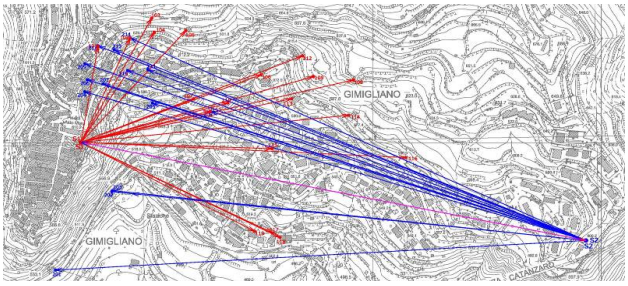


Figura 4°. Punti Monitorati.

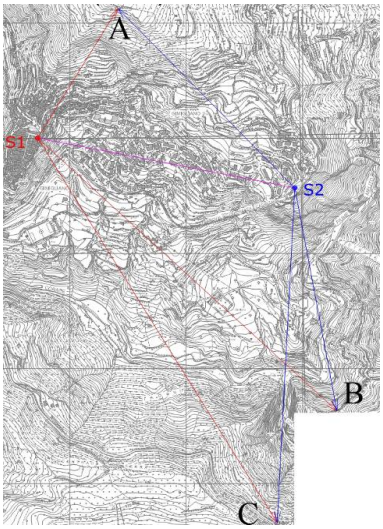


Figura 4b. Punti di Orientamento.

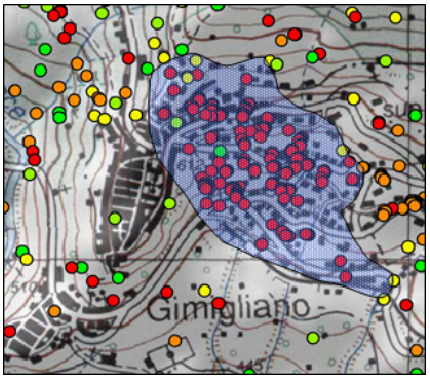


Fig. 4°. Campo di deformazione 1993-2000.

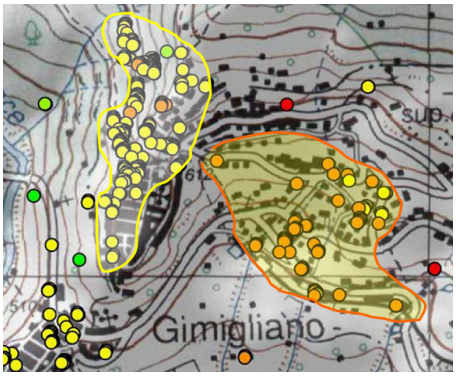


Fig. 5b. Campo di deformazione 2002-2010.

Questa attività di monitoraggio viene eseguita con una stazione totale Leica TPS 1200+ in modalità di robotica con autocollimazione dei *target* e utilizzo, sui punti soggetti a monitoraggio, di microprismi per distanze inferiori ai 500 m e macroprismi per punti a distanza superiore. La seguente tabella riporta le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata.

Misura Angolare	
Precisione orizzontale e verticale	**1”**
Misura di distanza	
Precisione	1mm+1ppm
Automatic Target Recognition	
ATR precisione	**1”**
ATR portata	**500m con microprisma** **1000m con macroprismi**

Tabella 1. Caratteristiche TPS1200+

Visti i limitati set di misurazione a disposizione della campagna di monitoraggio, iniziata il 4/07/2012 non sono stati ancora evidenziati comportamenti significativi in quanto le oscillazioni delle coordinate rientrano ancora nell’ambito dell’incertezza strumentale.

2. Le attività di monitoraggio della frana di Maierato (VV)

La frana di Maierato avvenuta il 15 febbraio 2010 è localizzata ad ovest del centro abitato e presenta una larghezza di circa 500 m, mentre il corpo di frana si estende per una lunghezza di circa 1400 m. La notte tra il 20 e il 21 febbraio la frana si è riattivata, determinando un arretramento della scarpata di circa 80 m nella parte centrale della corona principale, con la formazione di una nicchia di distacco larga circa 200 m (Comerci, Manna 2010).
Per effettuare il monitoraggio si è scelto di creare una stazione permanente collocata su un edificio, indicato con il punto 1 nella seguente figura, situato sul versante opposto alla frana dal quale è possibile monitorare quasi integralmente la corona di frana e il centro abitato.

Le attività di monitoraggio topografico della frana riguardano 20 punti, di cui 12 dislocati lungo la corona di frana e 8 connessi agli edifici del centro abitato. Su tutti i punti sono stati installati dei macroprismi per l’esecuzione del monitoraggio robotico con autocollimazione.



Fig. 5. La frana di Maierato(VV).

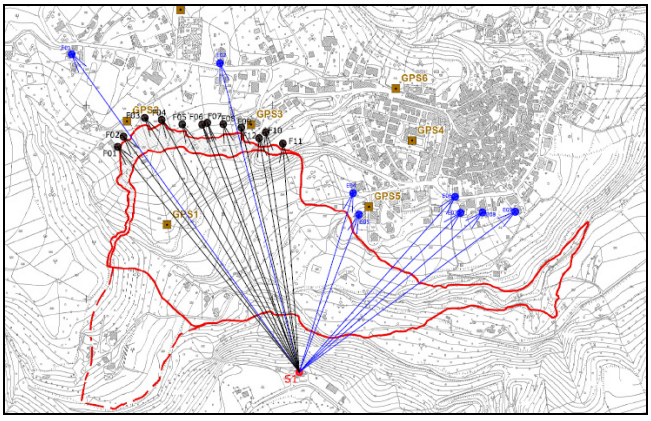


Figura 6. Punti monitorati.

Per la realizzazione della stazione permanente si utilizza un stazione totale Leica TS30 connessa ad un quadro elettronico per il controllo da remoto e per la gestione e invio, in *realtime*, dei dati di monitoraggio. La monumentazione consiste in una mensola in ferro appositamente realizzata e dotata di un coperchio di protezione dagli agenti atmosferici in plexiglass, che è stata fissata su un muro dell'edificio. Nella tabella 2 sono riportate le caratteristiche della stazione totale TS30.



Figura 7. Stazione permanente di Maierato(VV).

Misura Angolare	
Precisione orizzontale e verticale	**0,5”**
Misura di distanza	
Precisione	0,6mm+1ppm
Automatic Target Recognition	
ATR precisione	**1”**
ATR portata	**500m con microprisma** **1000m con macroprismi**

Tabella 2. Caratteristiche TS30.

Il quadro di controllo è composto da un unità di elaborazione e trasmissione dati, una sezione di protezione elettrica, uno *switch-box* controllabile da remoto per il riavvio della stazione totale in caso di malfunzionamento e un gruppo di continuità per garantire un funzionamento anche in assenza di rete elettrica per un tempo variabile da 2 a 3 ore.

Lungo la corona di frana sono stati monumentati i *target* utilizzando dei profili in ferro cementati nel terreno, mentre sugli edifici sono state avviati dei supporti ad L per i macroprismi.

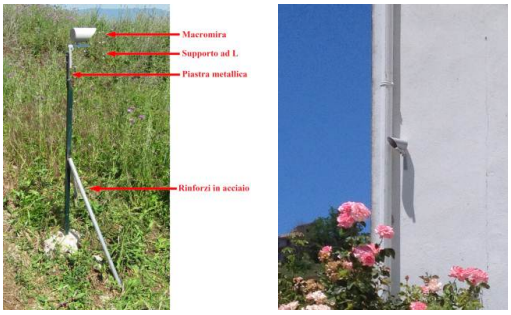


Figura 8. Monumentazione mire.

2.1 Rilievi GNSS

Oltre al monitoraggio topografico sono state eseguite acquisizioni con un ricevitore GNSS Leica Viva sia lungo la corona che nel corpo della frana. Tali acquisizioni sono state eseguite in modalità cinematica, in modo da ottenere numerosi punti per ricavare un modello numerico della superficie. Sono stati seguiti anche dei percorsi in corrispondenza delle tomografie effettuate. Le acquisizioni sono state eseguite in data 4/6/2012 e la restituzione dei rilievi è stata eseguita con tecnica differenziale, utilizzando la stazione permanente di Tropea.
Alcune viste del modello ottenuto sono rappresentate nelle figura 11. La linea rossa indica il tracciato della tomografia longitudinale eseguita.

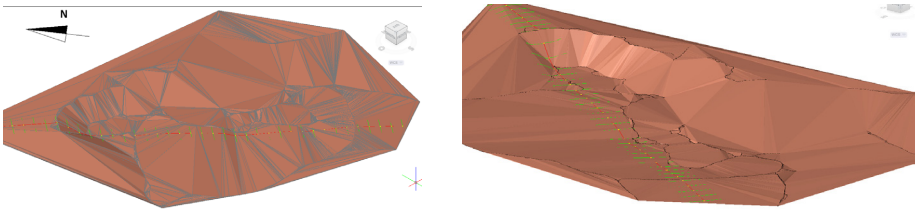


Figura 9. DTM a triangoli dell'area di frana.

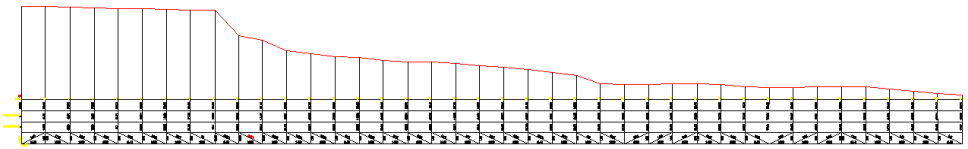


Figura 10. Sezione lungo la tomografia longitudinale.

2.2 Risultati

Facendo riferimento ad un punto, identificato con F1 posto lungo la corona di frana, le figure seguenti illustrano gli andamenti delle coordinate del punto nei primi due mesi di acquisizioni.

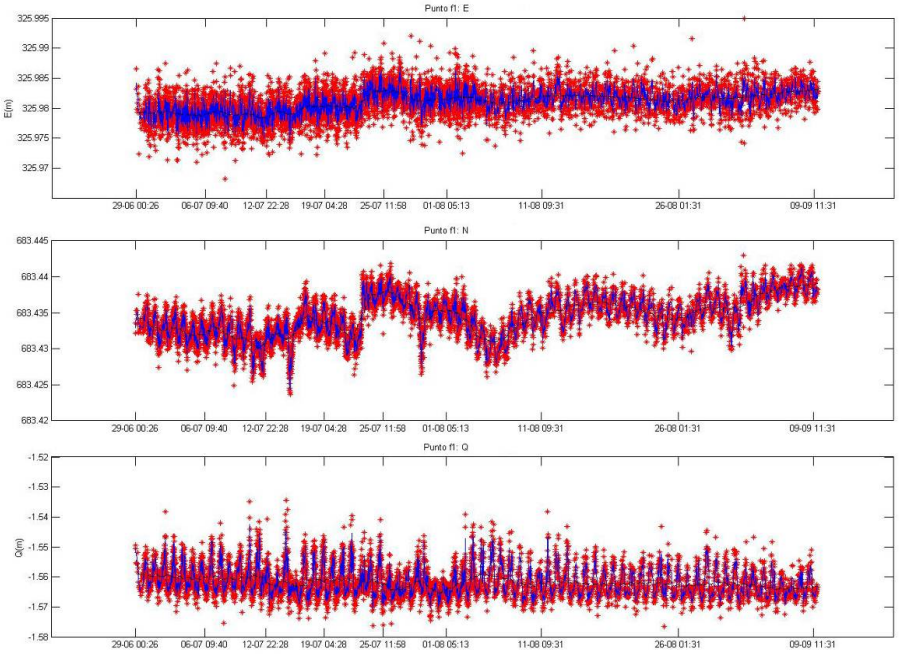


Figura 11. Andamenti Coordinate.

Si osserva un'oscillazione dei dati grezzi che, allo stato attuale, non individua movimenti significativi.

E' interessante osservare l'evoluzione della posizione planimetrica in intervalli temporali di circa due settimane, rappresentata nella figura 13. Si possono osservare in rosso le posizioni ottenute con ogni singola acquisizione; la linea blu rappresenta l'interpolazione delle posizioni ottenuta con media mobile a 10 campioni ed evidenzia un andamento ciclico. L'inviluppo delle posizioni è di forma ellittica, con il semiasse maggiore ortogonale alla congiungente il centroide e la stazione (linea nera) ed il semiasse minore posto lungo la congiungente stessa. Tale inviluppo era prevedibile, atteso che la precisione nella misura delle distanze è maggiore rispetto alle misure angolari.

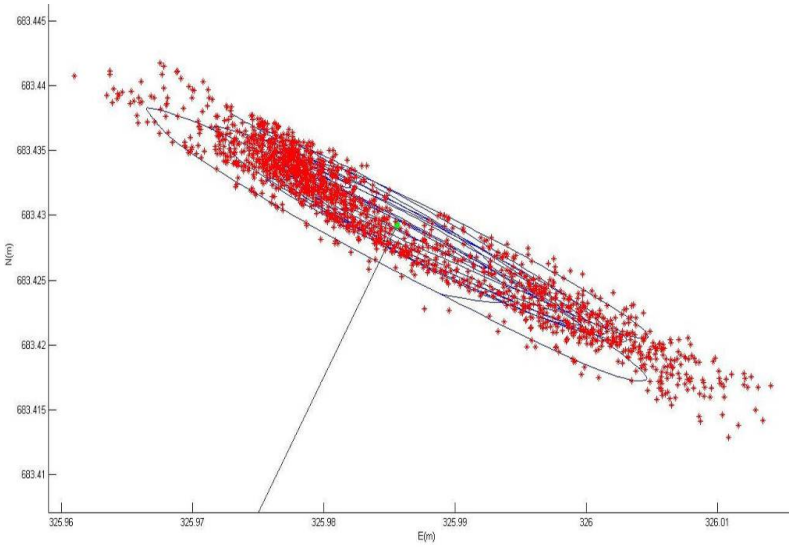


Figura 12. Evoluzione Planimetrica punto F1.

Bibliografia

V. Comerci, P. Di Manna(2010), "Secondo Verbale di sopralluogo sulla frana di Maierato (VV)", Rapporto Tecnico ISPRA RT/SUO-RIS 18/2010;

G, Fortunato, F. Ferrucci(2012)," Interferometria satellitare, DEM ed analisi della dinamica altimetrica 1993-2010" –Rapporto Tecnico.

Cartografia storica della città dell'Aquila come supporto allo studio di edifici danneggiati dal sisma

Rita Baglioni (**), Valerio Baiocchi (*), Donatella Dominici (**),
Maria Vittoria Milone (*), Martina Mormile (*)

(*) DICEA, Area Geodesia e Geomatica, "Sapienza" University of Rome, Via Eudossiana 18-Zip, I-00184 Rome, Italy, tel 06/44585068, email: valerio.baiocchi@uniroma1.it
(**) Università dell'Aquila, DICEA, e-mail: donatella.dominici@univaq.it

Riassunto
Il centro della città dell'Aquila ha subìto ingenti danni in seguito all'evento sismico principale (6 aprile 2009, 03:32 a.m., ora locale, Ml = 5.8, Mw = 6.2) della sequenza sismica caratterizzata da centinaia di scosse di assestamento (più di 30 di 3,5 <Ml <5.0) [INGV, 2009]. Le cause e le modalità del crollo di alcuni edifici sono ancora sotto inchiesta. Di particolare interesse può essere lo studio dei vari parametri che aumentano o diminuiscono il rischio di collasso per il singolo edificio.
E' stata recentemente recuperata una mappa 1:2000 che rappresenta il centro storico della città dell'Aquila agli inizi del ventesimo secolo; il confronto di quest'ultima con mappe contemporanee è utile per lo studio delle cause della differente risposta di edifici di diversa età allo stress sismico. Questo studio rappresenta il primo passo per proporre una metodologia basata sulla costruzione di un database di edifici storici a L'Aquila, per verificare una potenziale correlazione tra la normativa antisismica adottata nel corso degli anni e i danni che ne derivano. Nel caso di L'Aquila, infatti, un confronto con la mappa dei danni post-sisma, permette di valutare l'attendibilità di una simile stima. E' evidente che un tale approccio non può sostituire un più ragionato rilievo a terra da parte di tecnici competenti, ma viene proposto come primo step riproponibile su tutti i centri storici a rischio sismico, realizzabile con costi e tempi molto contenuti.

Abstract
The city-center of L'Aquila suffered big damages from the main seismic event (6th April 2009, 3:32 a.m., local time; Ml=5.8, Mw= 6.2) of the seismic sequence that included hundreds of aftershocks (more than 30 of them 3.5<Ml<5.0) [INGV, 2009]. Causes and modality of the collapse of some buildings are still under investigation.
A 1:2000 map representing the center of L'Aquila city at the beginning of twentieth century was recently found and the comparison of this map with contemporary ones can help the study of the causes of the different response to seismic stress to different aged buildings. This study represents the first step to build a database of historic buildings in L'Aquila to test a potential correlation between the anti- earthquake regulations adopted over the years and the resulting damages. A comparison with post earthquakes damage map and the map of seismic zoning was performer to find all the possible combination of other parameters that together with building age can help to evaluate building vulnerability.

Introduzione

I terremoti hanno da sempre segnato la storia della città dell'Aquila, situata in parte su un antico letto di un lago che amplifica l'attività sismica. Il 3 dicembre 1315, la città è stata colpita da un terremoto che danneggiò gravemente la Chiesa di San Francesco; il 22 gennaio 1349 un successivo evento sismico colpì la città, causando circa 800 vittime; altri eventi si sono verificati nel 1452, nel 1461 e, di nuovo, nel 1501 e nel 1646. Il 3 febbraio 1703 un altro forte sisma colpì la città causando più di 3.000 vittime e (secondo le cronache del tempo) il crollo di quasi tutte le chiese sono crollate. L'evento più grave della storia della città si è verificato, secondo gli storici, il 31 luglio 1786, che fece registrare più di 6000 vittime. Successivamente, il 26 giugno 1958, un evento sismico di magnitudo 5,0 ha colpito nuovamente la città.

L'evento a cui si fa riferimento in questo studio è il recente sisma del 6 aprile 2009, delle ore 01:32 GMT (03:32 CEST), con magnitudo 6,3 il quale ha colpito l'Italia Centrale, con epicentro vicino a L'Aquila, a 42,4228°N e 13,3945°E. Il sisma ha causato danni tra 3.000 e 11.000 edifici della città medievale dell'Aquila. Diversi edifici sono completamente crollati, 308 persone hanno perso la vita e circa 1.500 persone sono rimaste ferite. Il terremoto del 6 aprile è stato avvertito in tutto l'Abruzzo, sino a Roma, altre parti del Lazio, Marche, Molise, Umbria e Campania.

Per comprendere con quale intensità è stata colpita la città è importante valutare l'assetto strutturale dell'Aquila. Prima di quest'ultimo evento sismico, la città aveva un centro storico situato su una collina sul bacino circostante, e dall'antichità si presentava compatta, racchiusa da mura medievali.

Una prima rottura del perimetro della città si è verificata con la costruzione di impianti sportivi del Gran Sasso, nel 1940.

L'espansione urbana si è sviluppata profondamente tra gli anni '60 e '70 dopo l'apertura della strada da Roma a Pescara (mare Adriatico), e il suo successivo sviluppo si è verificato da allora dal centro storico e ha coinvolto tutte le direzioni, fatta eccezione per il sud-ovest dove si trova il fiume Aterno.

Il terremoto del 6 aprile 2009 ha causato danni soprattutto agli edifici del centro storico: ciò è evidenziato dal confine della cosiddetta "Zona rossa", che rappresenta l'area tutt'ora ad accesso limitato. Per questo motivo, il centro storico è ormai quasi deserto; a differenza di altre città italiane, inoltre, il centro storico dell'Aquila era anche il centro commerciale e sociale della città, il terremoto ha invertito in modo totale questa tendenza.

In questo lavoro si vuole rinvenire, attraverso l'uso di mappe storiche, la data di costruzione dei singoli edifici della città dell'Aquila, al fine di valutare con precisione la datazione degli edifici costruiti prima successivamente agli anni '30 '40; intorno a questi anni, infatti, le metodologie di costruzione,come è noto, sono profondamente mutate; ciò dovrebbe dare un primo indizio per valutare se vi è una correlazione tra le metodologie di costruzione utilizzate e il danno subito dall'edificio.

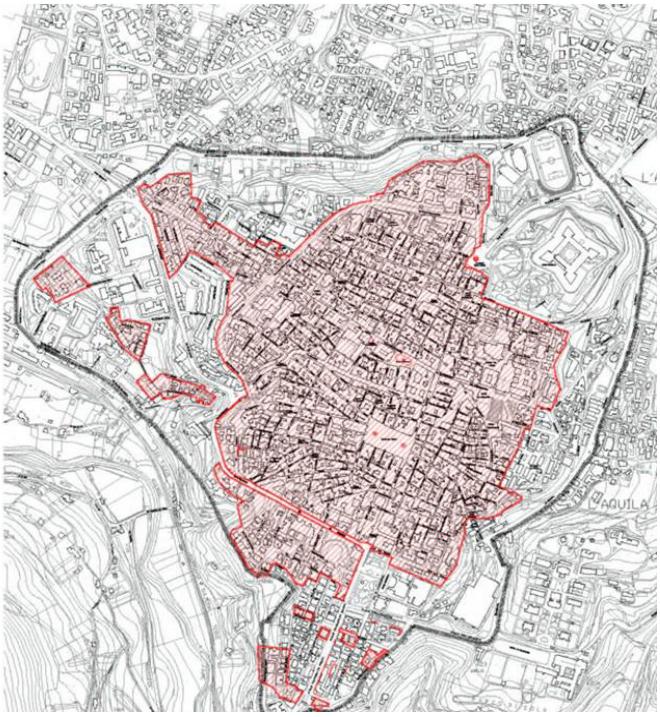


Figura 1. La "ZONA ROSSA" nel centro storico della città dell'Aquila.

Dati

In questo lavoro, è stata una mappa storica 1:2000 che rappresenta il centro storico della città dell'Aquila (Fig.2).



Figura 2. Mappa storica rappresentante il centro storico della città dell'Aquila.

Questa mappa, probabilmente redatta per uso catastale rappresenta principalmente l'area contenuta nelle mura storiche della città, con una superficie di 1.2 km2. La mappa non è datata e, per questo motivo, ma osservando il layout della mappa si può ipotizzare che la cartografia sia stata realizzata tra il 1930 ed il 1940 circa, che è un periodo in cui nuove tecniche costruttive si andavano diffondendo.
Per validare le nostre ipotesi si è studiata la correlazione della data di costruzione con i danni riportati dalle cartografie di abitabilità dei singoli edifici rese disponibili sul sito web del Comune dell'Aquila (Comune L'Aquila, 2012).
La valutazione di agibilità, eseguita durante il periodo di prima emergenza post-sisma, è una stima preliminare il cui obiettivo principale è stato quello di stabilire se gli edifici colpiti dal sisma potessero essere utilizzati senza alcun rischio per la vita umana (Baiocchi et al. 2012 (1), Baiocchi et al. 2012 (2)). Le indagini sono state eseguite utilizzando il modulo tecnico, il più possibile omogeneo, per le valutazioni dei diversi ispettori, per consentire una digitalizzazione immediata e il trattamento statistico dei dati. Il risultato del giudizio di agibilità è stato adattato ad una delle sei categorie indicate di seguito, dove per "agibile" si intende "edificio adatto per l'abitazione umana":
A: edificio agibile;
B: edificio temporaneamente inagibile (tutto o in parte), ma agibile dopo un intervento che lo renda utilizzabile in tutte le sue parti, senza pericolo per i residenti;
C: edificio temporaneamente inagibile, da approfondire ulteriormente; quando l'edificio presenta caratteristiche che rendono incerta la valutazione;
D: edificio parzialmente inagibile; lo stato di alcune parti dell'edificio comporta un rischio elevato per i loro occupanti;
E: edificio inagibile a causa di rischi strutturali, non strutturali, o geotecnici;
F: edificio inagibile a causa di rischio esterno, in assenza di consistenti danni all'edificio; ad esempio, un edificio intatto contiguo ad un edificio che potrebbe crollare.

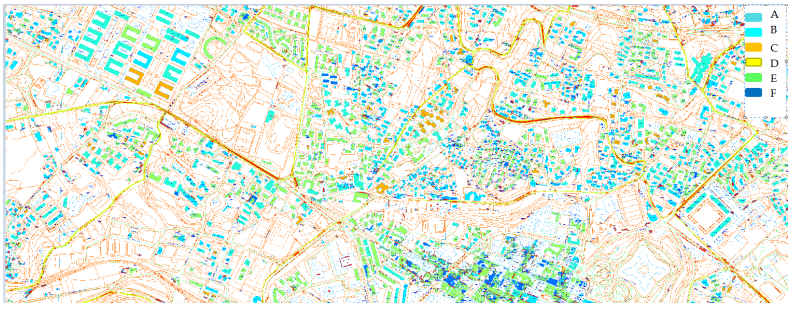


Figura 3. Mappa di idoneità per l'abitazione umana.

Le mappe di agibilità sono state realizzate sulla base dei risultati delle indagini svolte da personale qualificato, sotto il coordinamento del Dipartimento della Protezione Civile, come illustrato nella figura 3. Le mappe vettoriali originali non erano disponibili, per cui è stata eseguito una geroreferenziazione di alcuni file pdf mediante il software Q-GIS; la mappa, originariamente in scala 1:2000, nella proiezione Cassini-Soldner, è stata proiettata in UTMWGS84-ETRF89.
Attraverso la sovrapposizione della mappa di idoneità per l'abitazione umana con la mappa storica, possiamo quindi distinguere tra edifici "nuovi" e "vecchi", in modo da evidenziare l'eventuale correlazione tra le metodologie di costruzione e il danno subìto dall'edificio.

Risultati

Le mappe storiche spesso presentano deformazioni geometriche subìte durante la loro conservazione e altre deformazioni causate dall'acquisizione (scansione) delle stesse (Baiocchi et al. 2000). Per effettuare una georeferenziazione generalmente, punti noti sono collimati sul file raster risultante; nel nostro caso, è stata effettuata una campagna di rilievo GPS per l'assenza di una carta moderna che avesse una precisione paragonabile a quella della mappa storica. La precisione della georeferenziazione viene stimata considerando i residui di Ground Control Points; l'accuratezza viene valutata considerando i residui dei Control Points (punti indipendenti dalla stima dei parametri). In QGIS possiamo scegliere l'algoritmo per la georeferenziazione: in questo caso è stato scelto la polinomiale di terzo ordine, perché si ritiene che questa trasformazione possa sicuramente gestire anche le deformazioni dovute ad un'eventuale differente proiezione.

Ovviamente, il numero e la distribuzione spaziale dei GCP influenza il risultato finale di georeferenziazione della mappa; per questo motivo, in un primo momento, abbiamo identificato una serie di GCP rilevati a terra cercando di mantenere una distribuzione planimetrica il più uniforme possibile. La scelta dei punti è risultata complessa per due motivi: la copertura del segnale GPS nel centro storico non è sempre ideale il 75% del centro storico è ancora inaccessibile.



Figura 4. Distribuzione dei punti sulla carta storica.

Considerando l'estensione dell'area e le necessità di accuratezza, è stata utilizzata una modalità Real Time Cinematic (RTK) GPS / GNSS, che ha permesso l'acquisizione di punti collimabili sul terreno con una precisione centimetrica. Come è noto, la tecnica differenziale GPS-RTK fa uso di una stazione di riferimento unica, fissata su un vertice di coordinate note, situata vicino all'utente ricevitore; in questo caso, sono stati misurati 27 punti distribuiti sulla mappa (Fig. 4), in riferimento alla stazione permanente di Monticchio (AQ02).

Rilevati i 27 punti, sono stati eseguiti vari test, variando il numero di GCP; il primo test è stato effettuato con 12 GCP, aumentando due punti alla volta. I risultati ottenuti sono rappresentati in figura 5.

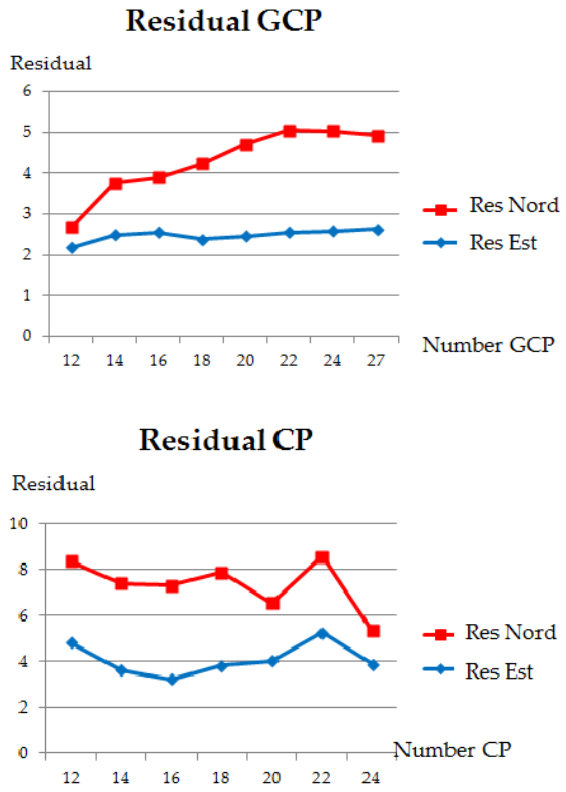


Figura 5. Andamento dei residui sui GCP e sui CP.

Si può osservare che, come prevedibile, i residui aumentano fino a giungere a stabilizzazione, mentre per i CP è esattamente l'opposto cioè diminuiscono fino alla stabilizzazione. Occorre osservare che i residui N e E non si stabilizzano allo stesso valore, per cui vi è una anisotropia nella mappa o nel sistema di proiezione.
E' stato osservato un picco nell'andamento dei "CP" che poteva far supporre la presenza di outlyer e così abbiamo indagato se vi sia stato un errore sui punti relativi a quell'area del grafico.
Sono state verificate le coordinate GPS e la collimazione sull'immagine e quindi per controllo,si è verificato se la mappa 1:5000 risultasse più vicina al punto GCP rispetto alla mappa raster georeferenziata (Fig.6) e quindi se si potessero escludere errori grossolani sui rilievi GPS.

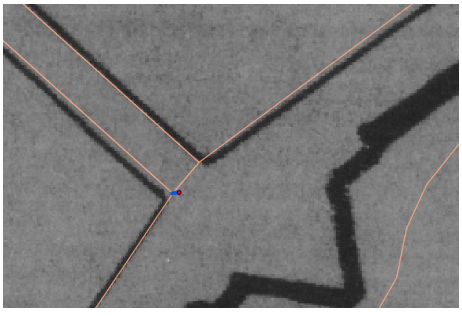


Figura 6. Sovrapposizione della mappa storica con una mappa 1:5000.

Questo è confermato su tutti i punti che presentavano anomalie, si è dunque giunti alla conclusione che nessun errore grossolano è presente nel rilievo e nel calcolo delle coordinate, suggerendo la presenza di qualche bug nel software stesso, anomalia già riscontrata nel corso di altre ricerche (Baiocchi et al. 2012, in questo volume).
Ottenuta la mappa georeferenziata, essa è stata sovrapposta alla carta delle agibilità (Fig.7), vettorializzando all'interno di Qgis, i vari poligoni secondo la classificazione (Fig.8).



Figura 7. Sovrapposizione della mappa storica con la mappa di idoneità per l'abitazione umana.



Figura 8. Vettorializzazione degli edifici secondo la classificazione all'interno di QGIS.

Dalla rappresentazione dei risultati ottenuti, possiamo osservare che tra i "nuovi" edifici vi è una predominanza di classe "A", che significa poco o nessun danno dopo il terremoto, mentre per i "vecchi" edifici la maggior parte di essi sono stati classificati come "E" che indica danni gravi (Fig.9).

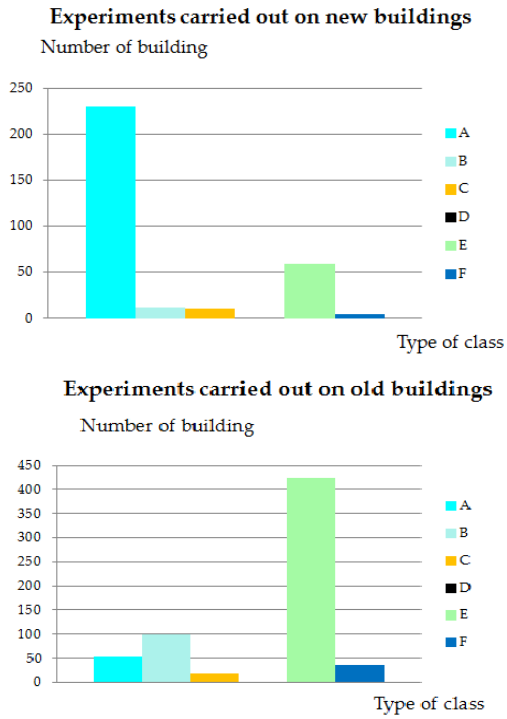


Figura 9. Distribuzione nelle diverse classi di edifici nuovi e vecchi edifici.

Conclusioni

Dai risultati ottenuti in questa prima sperimentazione, sembra che si possa evidenziare una correlazione tra l'età dell'edificio e il danno da esso subìto dopo un terremoto. Sicuramente l'età non è l'unico parametro necessario per prevedere il potenziale danno di un edificio ma, con tecniche GIS e di fotointerpretazione, l'età può essere rilevata e mappata molto velocemente ed economicamente, infatti, disponendo di una serie di cartografie a grande scala o di immagini aeree storiche di una città, è molto facile creare una banca dati degli anni di costruzione di ogni edificio. In Italia, ci sono molti centri storici nelle aree a rischio sismico: un quadro dettagliato delle caratteristiche di ogni edificio comporta tempo e costi elevati. Il modello proposto, senza sopralluoghi sul campo, e quindi molto meno oneroso, può rendere disponibili delle informazioni per una prima indagine consultabili dai vari tecnici e studiosi interessati.

Come ulteriore sviluppo si consideri inoltre che classificando con più dettaglio la data di costruzione del singolo edificio, si potrebbe stimare la correlazione tra le norme e le prescrizioni che si sono succedute a livello nazionale; questo potrebbe aiutare a valutare se esiste una correlazione tra l'applicazione della differente legislazione in vigore al momento della costruzione degli edifici e il danno subìto dagli edifici stessi.

Questo lavoro, quindi, rappresenta solo un primo test, ma utilizzando un maggior numero di cartografie o immagini orto rettificate, si potrebbe realizzare, velocemente ed economicamente, un dettagliato database che può essere di supporto nel valutare la possibile risposta della costruzione ad un evento sismico e progettare piani di sicurezza; sia sulla città dell'Aquila che su tutte le altre città potenzialmente interessate.

Bibliografia

Baiocchi V., Dominici D., Giannone F., Zucconi M. (2012), 'Rapid building damage assessment using EROS B data: the case study of L'Aquila earthquake', EUROPEAN JOURNAL OF REMOTE SENSING, p. 153-165, ISSN: 1129-8596, doi: 10.5721/ItJRS201244112

Baiocchi V., Dominici D., Ferlito R., Giannone F., Guarascio M., Zucconi M. (2012), 'Test of a building vulnerability model for L'Aquila earthquake', APPLIED GEOMATICSP 5-6, ISSN: 1866-9298, doi: 10.1007/s12518-011-0065-x

Baiocchi V., Barbarella M. (2000). 'Problemi di calibrazione di file raster e vettoriali in un sistema informativo territoriale', BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI TOPOGRAFIA E FOTOGRAMMETRIA, vol. 1, p. 23-32, ISSN: 0392-4424

Baiocchi V., Lelo K., Milone M.V., Mormile M. (2012), 'Accuratezza e precisione di modelli di georeferenziazione applicati alle cartografie storiche', in questo stesso volume

Comune L'Aquila (2012)

http://www.comune.laquila.it/documenti/terremoto/esiti.htm

Accuratezza e precisione di modelli di georeferenziazione applicati alle cartografie storiche

V. Baiocchi (*), Keti Lelo (**), Maria Vittoria Milone (*), Martina Mormile (*)

(*) DICEA, Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "la Sapienza", Roma,
valerio.baiocchi@uniroma1.it mariavittoria.milone@uniroma1.it, martina.mormile@uniroma1.it
(**) Centro di Ateneo per lo studio di Roma (CROMA), Università degli studi di Roma 3,
Via Ostiense 139, 00154 Roma, tel 06/57374016, email : lelo@uniroma3.it

Riassunto

È interessante studiare quale sia la metofdologia piu' corretta per la georeferenziazione di carte storiche qui in particolare vengono studiate quelle in scala 1:5000 realizzate tra il 1908 ed il 1913 per l'area urbana di Roma e dintorni. L'importanza di questo studio è dovuta al fatto che i diversi campi di ricerca che si occupano di analisi territoriale diacronica necessitano di mappe storiche georeferenziate. L'estensione areale di Roma ha subito diverse fasi di evoluzione nel corso della sua storia, infatti la città raggiunse la sua massima estensione durante il periodo imperiale (100-200 dC) quando il numero di abitanti era superiore al milione. Durante il primo Medioevo le colline circondate dalle mura aureliane erano state abbandonate, la popolazione era scesa a 10 000 abitanti, e l'area urbana si limitava per lo più al meandro del fiume Tevere. Lo sviluppo urbano riprese soltanto dopo il ritorno del Papa da Avignone con un forte sviluppo durante il Rinascimento. Dato che le mappe storiche rimangono le uniche fonti per comprendere l'aspetto urbano prima dell'espansione, è importante effettuare una loro corretta georeferenziazione (Baiocchi et al., 2010) ricercando l'algoritmo o gli algoritmi piu' adatti a minimzzare gli effetti delle notevoli deformazioni che le carte hanno subito; è necessario quindi studiare anche le possibili trasformazioni di datum geodetico tra quelli utilizzati storicamente e quelli moderni. Qui si è voluto sfruttare le nuove caratteristiche fornite dall'ambiente QGIS che rendono possibile stimare separatamente l'accuratezza e la precisione ottenibile dalle carte georeferenziate.

Abstract

The map of the city of Rome 1:5000 scale of 1908 and the map of " Roma e l'agro Romano" that represents a wider area, realized in 1912 have been studied in earlier papers were parameters useful to perform the transformation of the used geodetic system in more modern systems were found. It's very interesting to evaluate the effect of different georeferencing strategies on these maps evaluating separately precision of the model and accuracy of the results.

The geodetic system used the ellipsoid of Bessel oriented locally in the geodetic observatory in Genoa, while for the projection was used conformal Flamsteed one. To be able to exclude that the deformations are mainly due to the different projection in comparison to the transverse of Mercatore used both for the UTM and are for the national system used after 1940, called Gauss-Boaga and based on the Datum Roma40, we decided to study a transformation able of re-project the coordinates of the points with known coordinates as the vertexes of the cartographic elements. The reprojection of the maps need use of package with more complex algorithms of those available on the most diffused software to resample the raster images. After the geroreferencing step, the residual errors most be studied to assess the complete remove of systematic errors. The map georeferenced using the cartographic reprojection can furnish a valid tool to detect variations as the geomorphologic variations due to natural and human causes within one century. The studied

cartographies are one of the only existing documents that uniformly represents this whole territory and realized according to proper cartographic metodologies.

Dati

La carta utilizzata in questo lavoro è stata prodotta dall'"Istituto Geografico Militare" (IGM), su richiesta del "Comune di Roma" che aveva necessità di una base topografica per l'impianto del Piano Regolatore della città; l'IGM ha quindi prodotto una cartografia in scala 1:5000 composta da sei elementi, ognuno di estensione 1'47" 'in latitudine per 3'30" in longitudine, disposti su due colonne e tre linee, che coprono tutto il territorio della città (Figura 1). La stampa delle carte si concluse nel 1908, e quattro anni dopo, nel 1912, venne realizzata una nuova versione aggiornata in 12 fogli, che copriva anche il suburbio. In entrambe le carte la rappresentazione di edifici e la morfologia del terreno è molto simile a quella utilizzata in una moderna carta in scala 1:5000.

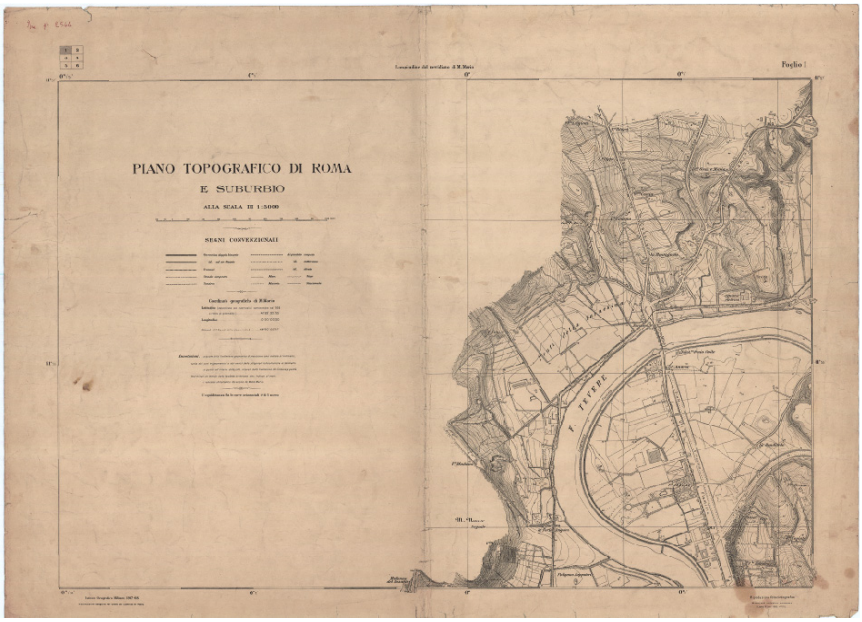


Figura 1. Il primo dei sei elementi delle carte storiche.

Per georeferenziare correttamente simili carte è necessario individuare il datum in cui esse sono sate realizzate. Questo studio è già stato eseguito nel corso di precedenti ricerche, qui viene riportato sommariamente solo per completezza, per una trattazione piu' completa si rimanda alla bibliografia (Baiocchi, Lelo; 2010)

Da letteratura le mappe dell'IGM prodotte prima del 1940 sono generalmente riferite all'ellissoide di Bessel orientato a Genova, questo può essere vero per cartografie prodotte nella parte settentrionale d'Italia, ma, una mappa prodotta dall'IGM nel 1908 per la città di Roma, probabilmente poteva essere riferita all'ellissoide di Bessel orientato a Monte Mario. In questo caso gli effetti della rotazione tra i due sistemi è molto piccola a Roma, tanto da rendere necessario soltanto una traslazione in latitudine, poiché la longitudine convenzionalmente è considerata pari a zero in entrambi i sistemi. La rotazione, che fu misurata rispetto a punti diversi (Monte Cavo per Bessel-Roma e Monte Soratte per Roma40), può essere stimata in circa 5" e quindi può portare a traslazioni minori di un metro (che dovrebbe essere l'errore di graficismo della cartografia in studio secondo gli standard moderni) per distanze fino a cinquanta chilometri dall'origine (che vanno ben oltre l'estensione dell'area di studio).

Risultati

In fotogrammetria è ben noto che la precisione dell'orientamento delle immagini può essere stimata considerando residui di Ground Control Points (GCP), mentre l'accuratezza può essere valutata considerando i residui sui Check Point (CP), punti indipendenti, non utilizzati per stimare i parametri del modello. Esattamente la stessa considerazione può essere fatta per la georeferenziazione delle mappe raster in ambiente GIS, ma quasi tutti i software GIS forniscono solo i residui calcolati sui punti utilizzati per stimare la trasformazione, sovrastimando di fatto l'accuratezza del risultato finale. All'interno delle ultime versioni di QGIS è invece possibile stimare sia la precisione che l'accuratezza, mentre generalmente gli altri software GIS non lo consentono, in quanto non permettono di selezionare punti come Check Point, e quindi, come detto, permettono di stimare unicamente la precisione.

Il software QGIS, offre attualmente la possibilità di utilizzare molti algoritmi rispetto ai software GIS in commercio, infatti si può scegliere tra;

- Lineare
- Helmert
- Proiettiva
- Polinomiale dal primo al terzo ordine
- Thin Plate Spline

Inoltre, QGIS offre la possibilità di scegliere l'algoritmo di ricampionamento tra il nearest neighbour, la bilineare, la bicubica, la spline cubica, ecc .. Nelle prove presentate in questo lavoro è stato sempre utilizzato il primo che è il più conservativo e per questo motivo si ritiene sia il più adatto per la cartografia storica.

Sono state condotte diverse prove in modo tale da poter stimare la configurazione o le configurazioni ottimali dei GCP, incrementando così il numero di GCP ed osservando i conseguenti residui sui GCP e sui CP. I risultati di tutte le prove eseguite non potevano essere qui riportati per ragioni di spazio, ma vengono mostrati quelli che si ritengono più rappresentativi.

Si è partiti con il numero minimo di GCP richiesti per ogni algoritmo, e poi questi venivano incrementati di due alla volta. In questo modo si è cercato di trovare una distribuzione omogenea e simmetrica di GCP in ciascuna prova (Figura 2) considerando che gli unici punti a coordinate certe su queste carte sono quelli del bordo della cartografia stessa ove sono riportate le bandelle del sistema di riferimento geografico.

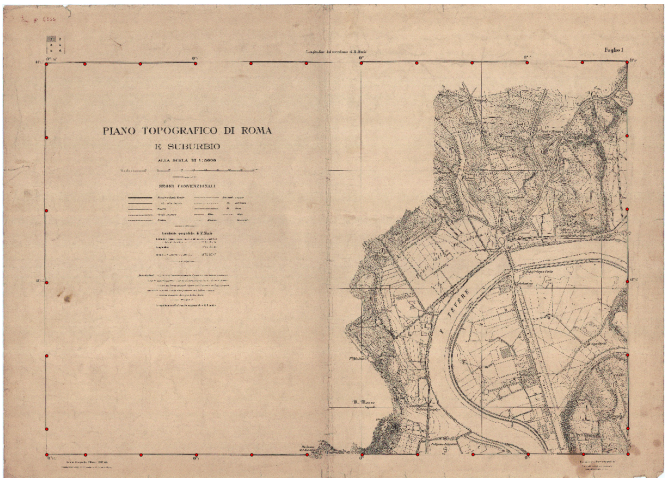


Figura 2. Distribuzione dei punti sulla carta.

Delle numerose prove effettuate per la georeferenziazione di queste cartografie esaminiamo i risultati ottenuti realizzando le prove con le polinomiali del secondo (Fig. 3) e del terzo ordine, le quali dovrebbero essere le più adatte, trattandosi di una carta storica, anche se poi di fatto sono state ripetute le georeferenziazioni per ogni carta con tutti gli algoritmi implementati nel software QGIS. Quando l'andamento dei residui non sembrava molto realistico (sempre Fig. 3), sono state condotte altre prove invertando o variando l'ordine di inserimento dei GCP sulle varie cartografie.

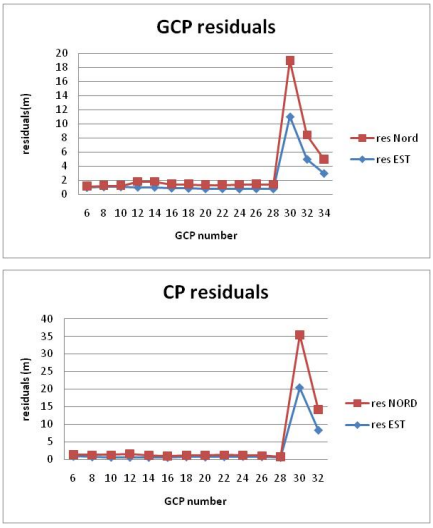


Figura 3. Grafici di precisione e accuratezza ottenuti utilizzando una polinomiale del secondo ordine.

In particolare, praticamente su tutti i grafici si osserva un picco che rappresenta un innalzamento dei residui sui CP e sui GCP, che suggeriva la presenza di *outlier* su specifici punti ma, controllate le coordinate cartografiche e la collimazione sull'immagine, si è proceduto, come detto, alla inversione o eliminazione dei punti che potevano aver originato la anomalia ma questo ha portato frequentemente ad ottenere lo stesso risultato, come mostrato in figura 4.

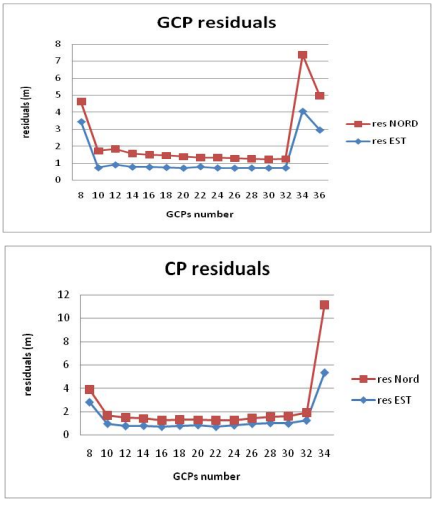


Figura 4. Grafici di precisione e accuratezza ottenuti utilizzando una polinomiale del secondo ordine_seconda prova.

Anche in questo caso si nota un picco, nonostante non ci sia un errore in un punto specifico. Pensando che fosse a causa di un problema del software con questo algoritmo specifico la prova è stata ripetuta con una polinomiale del terzo ordine (Figura 5).

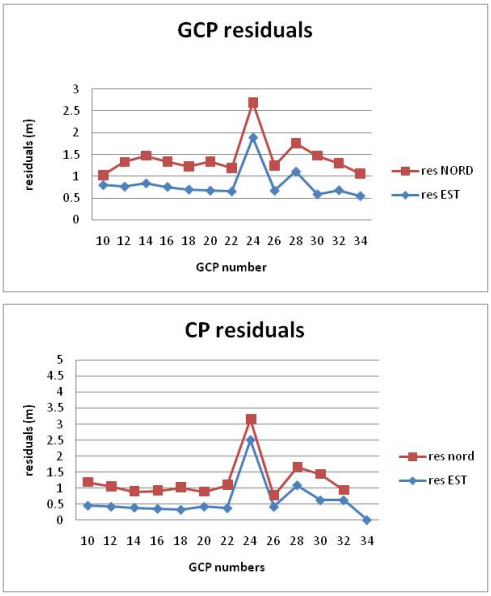


Figura 5. Grafici di precisione e accuratezza ottenuti utilizzando una polinomiale del terzo ordine.

Utilizzando la funzione polinomiale del terzo ordine si ottiene ancora una volta un anomalo andamento dei residui sui GCP e CP, è infatti presente ancora un "picco" intorno ai 25 GCP. Per escludere ulteriormente qualunque influenza di outlier nei dati questa prova è stata ripetuta utilizzando il software ArcGIS 9.3, con gli stessi dati, nello stesso ordine e con gli stessi algoritmi. I risultati ottenuti, in soli termini di residui sui GCP (ArcGIS non consente l'utilizzo di CP), risultano notevolmente diversi da quelli corrispondenti otenuti con il software QGIS, confermando l'ipotesi della presenza di un *bug* all'interno del software QGIS. Di seguito sono riportati alcuni dei risultati ottenuti con QGIS ed ArcGIS (Tabella 6)

RMSE of residuals (m)	***Arc GIS 9.3***	***QGIS 1.8***
Second order	1.05	3.66
Third order	0.55	0.88

Tabella 6. Confrondo tra le precisioni ottenibili con Arc GIS e con QGIS.

Dai risultati della quale ci sembra di poter confermare l' ipotesi di un bug nel software QGIS.Tale anomalia sembra sia stata già riscontarata da altri ricercatori (Crăciunescu; 2012) ed è probabilmente da ascrivere alle librerie "Gdal", si è deciso quindi di segnalarla agli sviluppatori che al momento stanno provvedendo alla sua risoluzione.
Nonostante gli anomali andamenti dei residui sui GCP e CP, le prime sperimentazioni di sovrapposizione tra le carte storiche georeferenziate e le cartografie attuali scala 1:2000 della stessa area mostrano una buona corrispondenza (Fig. 7).

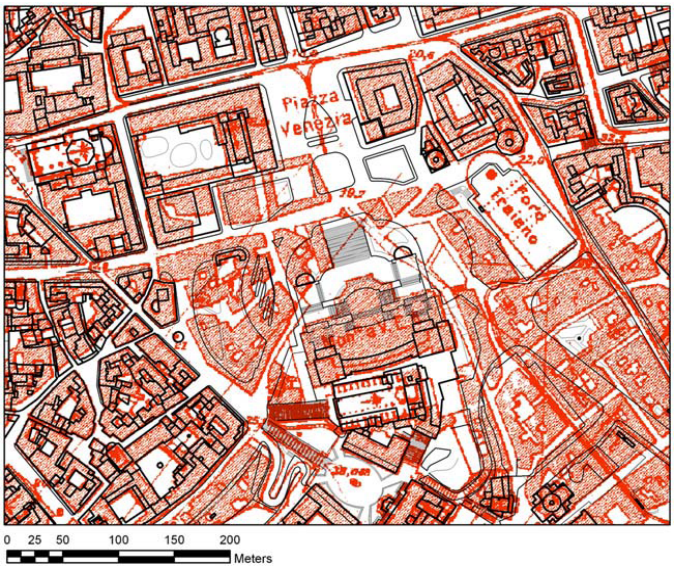


Figura 7. La carta storica 1:5000 (in rosso) sovrapposta alla carta moderna 1:2000 raffiguranti la stessa area.

Conclusioni e sviluppi futuri

Le recenti versioni del software QGIS, vista la vasta scelta di algoritmi di georeferenziazione e ricampionamento permettono di poter effettuare ricerche approfondite sulla ricerca degli algoritmi più idoneo per i vari campi di studio, tra cui la georeferenziazione di cartografie storiche: resta comunque da indagare piu' approfonditamente quali siano le potenzialità del software una volta che saranno implementati i necessari *fix*.

Qualora l'interfaccia del software rimanesse la stessa, lo sviluppo di un modulo esterno o implementato nell'ambiente, potrebbe facilitare lo studio della stima dei residui in particolare sui CP che attualmente richiede una procedura *off-line* abbastanza laboriosa.

Riferimenti bibliografici

Baiocchi V., Lelo K., (2010), "Accuracy of 1908 high to medium scale cartography of Rome and its surroundings and related georeferencing problems", *ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA HUNGARICA, vol. 45, p. 97-104, ISSN: 1217-8977, doi: 10.1556/AGeod.45.2010.1.14*

Crăciunescu V. (2012), comunicazione verbale

Folloni G. (1978), *Principi di topografia* (in Italian). Patron Editore, Bologna

Hoijberg (1997) Practical Geodesy, Springer

IGM (1914), Elementi geodetici del Foglio 150 (Roma) della "Carta d'Italia". Alfani e Venturi, Firenze

Inghilleri G. (1974), *Topografia generale*, UTET, Torino

Loperfido A. (1908), *Rilievo della nuova carta di Roma*, Alfani eVenturi, Firenze

Surace L. (1998) Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, 57, 181–234.

Estrazione di DSM da stereocoppie e triplette PRISM

Valerio Baiocchi (*), Maria Vittoria Milone (*), Martina Mormile (*), Francesco Palazzo (**)

(*) DICEA, Area Geodesia e Geomatica, "Sapienza" University of Rome, Via Eudossiana 18-Zip, I-00184 Rome, Italy, tel 06/44585068, email: valerio.baiocchi@uniroma1.it
(**) SERCO, c/o ESA-ESRIN via Galileo Galilei, I-00044 Frascati Italy, email: francesco.palazzo@esa.int

Riassunto
Nel presente contributo viene illustrata una sperimentazione sulle possibilità di estrazione di un DSM da stereocoppie e da triplette PRISM. Le immagini utilizzate in questo studio sono relative all'area costiera che si estende dalla città di Pescara a quella di Ortona (Regione Abruzzo, Italia). La disponibilità di stereocoppie e triplette del sensore PRISM è relativamente recente e poco investigata, ad oggi tuttavia non è più sfruttabile per acquisizioni future in quanto il satellite ALOS, su cui era installato il sensore, ha terminato la sua attività nel 2011. Si deve sottolineare però che durante tutto il suo periodo di attività 6,5 milioni di immagini, la maggior parte dei quali in modalità stereoscopica, sono state acquisiste e potrebbero essere rese disponibili in un prossimo futuro a costi molto contenuti o gratuitamente. Per tale motivo l'estrazione di DSM da tali immagini potrebbe essere una economica e rapida fonte di informazioni latimetriche anche per la formazione e l'aggiornamento di cartografia a media scala. L'accuratezza del DSM estratto secondo questa procedura è stato confrontato sia con le quote ottenute da una cartografia a grande scala sia, per quanto riguarda in particolare l'area di Pescara, con un rilievo Lidar terrestre.

Abstract
In the present paper the phases of extraction of a DSM from Prism stereopairs and triplets are illustrated. Images represents a coastal area that spans from the city of Pescara to the city of Ortona (Abruzzo region, Italy). The availability of PRISM stereopairs and triplets is relatively recent but no more possible because satellite ended its activities during 2011. This work has mainly a methodological value cause on May 12, 2011, a command was sent to stop the onboard transmitter and now the sensor it's no more operative. In this paper accuracy of produced DSMs is compared with heights from large scale maps and with heights from terrestrial Lidar survey on the area of the city of Pescara. The images available for this study gave the possibility to test the feasibility of produce DSM from stereopairs and triplets using commercial packages: Extraction was executed with Geomatica 2012 using rigorous model, with GCP.

Introduzione
Tutte le immagini utilizzate per questa sperimentazione sono state acquisite con PRISM, un sensore pancromatico montato a bordo del satellite giapponese ALOS (Advanced Land Observing Satellite) particolarmente studiato per le acquisizione di stereocoppie e di triplette. Tale sensore è dotato, infatti, di un sistema con camere ottiche multiple che gli consento di acquisire contemporaneamente in modalità *forward, nadir* e *backward* in direzione "*along track"* ossia lungo la direzione dell'orbita. La JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), ente gestore del sensore e del satellite, dichiara che le immagini PRISM permettono di estrarre informazioni altimetriche con precisioni compatibili ai requisiti di una cartografia in scala 1:25000 in quanto hanno una risoluzione spaziale nominale di 2.5 metri. Tutte queste caratteristiche avrebbero potuto fare di PRISM un sensore particolarmente indicato e pratico per l'estrazione fotogrammetrica di DSM;

sfortunatamente, a causa di una anomalia riscontrata nel funzionamento del satellite ALOS, la stessa JAXA ha deciso di interromperne l'attività inviando un segnale di arresto il 12 Maggio del 2011. E' sempre possibile per recuperare stereocoppie e triplette acquisite dal sensore quando era attivo, ricercandone la disponibilità in archivio. Ciò può permettere di aggiornare cartografie amedia scala esistenti ma anche di realizzarne di nuove, in particolare in paesi in via di sviluppo, considerando che la maggior parte di essi non dispone neanche di cartografia a media scala.

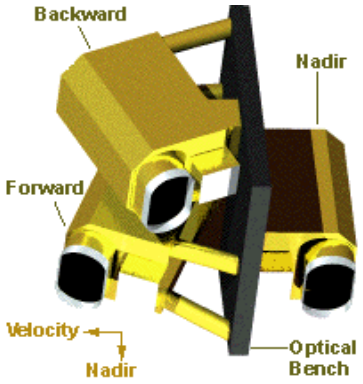


Figura 1. Il sensore PRISM a bordo del satellite ALOS.

Metodologie e dati utilizzati

Le immagini a disposizione consistevano in una stereo coppia e una tripletta PRISM relative all'area costiera abruzzese, più in particolare la zona della città di Pescara.

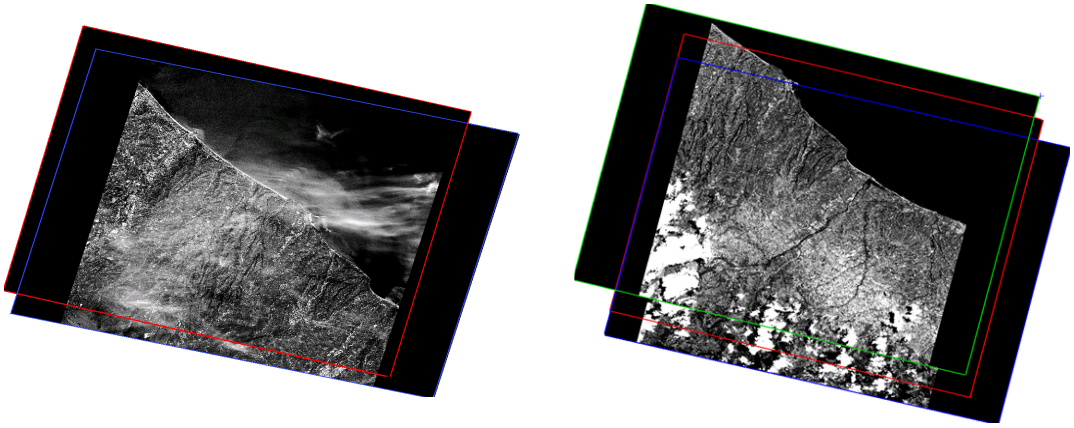


Figura 2. Stereocoppia e tripletta PRISM utilizzate.

Sia la tripletta che la stereocoppia presentano una quasi totale sovrapposizione, ma sono anche caratterizzate da una copertura nuvolosa, che causa una degradazione del risultato in termini di quote. Tuttavia l'area della città di Pescara nella, quale si sono principalmente concentrati i test, sembra non presentare tale copertura nuvolosa su tutte le cinque immagini.

Per questo studio e per l'estrazione del DSM è stato usato uno dei software scientificamente più utilizzati per l'orientamento rigoroso di immagini satellitari: "PCI Geomatica 2012". Tutte le cinque immagini sono state quindi orientate utilizzando 35 GCP (Ground Control Points), acquisiti nel

corso di precedenti sperimentazioni con ricevitori geodetici GPS-GNSS in modalità "rapido-statica". I punti sono stati collimati su ogni singola immagine e si sono cominciati a studiare i residui calcolati applicando il modello rigoroso Toutin implementato in "*Geomatica 2012*" per escludere la presenza di *outlier*. L'orientamento mediante il modello RPC (*Rational Polinomial Coefficient*) è stato impossibile in quanto il file RPC non era disponibile per queste immagini. Per quanto riguarda invece il modello RPF si è deciso di non utilizzarlo dal momento che già in precedenti ricerche (Baiocchi et al., 2005) è emerso come tali modelli siano caratterizzati da scarsa accuratezza e robustezza pertanto non sono stati testati in questa ricerca.
Per studiare la precisione ottenibile con il modello rigoroso e l'accuratezza delle immagini, sono stati fatti una serie di test i di orientamento delle stesse osservando l'andamento dell'RMSE dei GCP e CP, all'aumentare del numero di GCP utilizzati fino al valore massimo di 35. I risultati ottenuti per tutte le immagini sono assolutamente confrontabili e sembra che la precisione del modello rigoroso possa essere valutata intorno ai 2,5 m. ottenibile dopo la collimazione di circa 20 GCP quando si osserva una stabilizzazione nell'andamento dei residui calcolati sui GCP stessi (Fig.3).

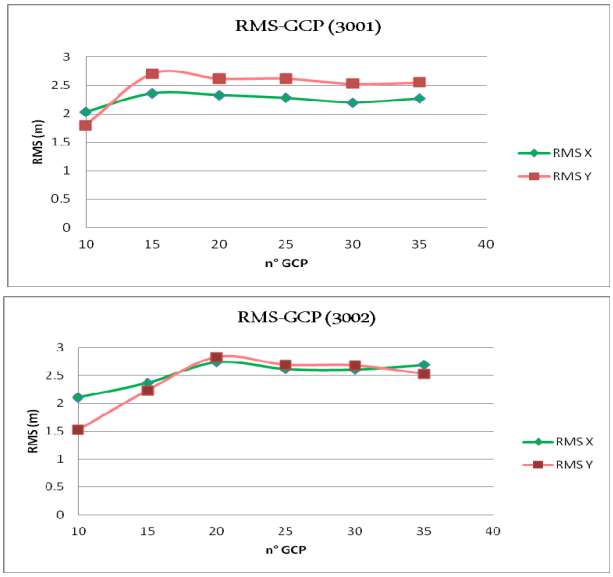


Figura 3. Precisione del modello rigoroso, relativa alla sterocoppia, all'aumentare del numero di GCP.

Allo stesso modo l'accuratezza delle immagini è stata valutata osservando le variazione dell'RMSE relativo stavolta ai CP, sempre all'aumentare del numero dei GCP. Si può osservare che dopo la collimazione di 15 GCP l'accuratezza sembra raggiungere una stabilizzazione intorno ad un valore di circa 3-3.5 metri. Il valore di accuratezza ottenuto è da ritenersi accettabile considerando che la risoluzione nominale è effettivamente di 2,5 metri solamente per l'acquisizione nadirale.

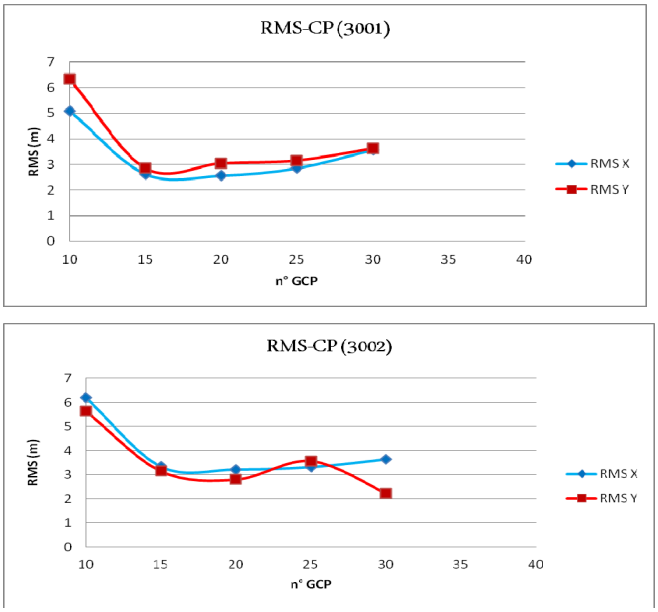


Figura 4. Accuratezza delle immagini, relativa alla sterocoppia, all'aumentare del numero di GCP.

Risultati

L'estrazione del DSM, come l'orientamento delle immagini precedentemente descritto, è stata effettuata in "Geomatica 2012". E' stata valutata anche la possibilità di eseguire una pre-elaborazione delle immagini grezze mediante l'applicazione del filtro Sobel per aumentare il contrasto radiometrico, ma non essendo stato osservato nessun miglioramento significativo nella qualità dei risultati, verranno riportati di seguito solo gli studi effettuati sulle immagini originali ovvero non filtrate. Per l'estrazione del modello digitale della superficie sono state seguite le indicazioni dalla PCI e contenute in uno specifico tutorial sull'uso di stereocoppie PRISM. In primo luogo sono stati collimati alcuni *Tie Point* (TP) per migliorare l'orientamento relativo delle due prese della stereocoppia. Questa operazione può essere eseguita in modo automatico all'interno del software, ma una verifica dell'operatore su ogni singolo punto è comunque necessaria come controllo. Sono quindi state create le immagini epipolari; si è verificata l'influenza della scelta delle due immagini da elaborare tra le varie combinazioni possibili dato che in precedenti studi su altri sensori se ne era riscontrata l'influenza ma in questo caso non sembra aver alcun effetto come dovrebbe essere in base a considerazioni fotogrammetriche. Allo stato attuale, con la versione corrente di Geomatica (2012), sembra non esserci la possibilità di creare più di due immagini epipolari. Questo è un ostacolo per l'utilizzo delle tre immagini di una tripletta perché non possono essere utilizzati nello stesso modello stereoscopico.

Per cercare di "aggirare" tale ostacolo e sfruttare comunque (almeno in parte) la disponibilità della tripletta, le immagini componenti la tripletta stessa sono state utilizzate in tutte le possibili combinazioni di immagini epipolari per estrarre DSM ed è quindi stata realizzata una unione dei tre DSM ottenuti combinando le tre immagini relative come suggerito dalla documentazione PCI.

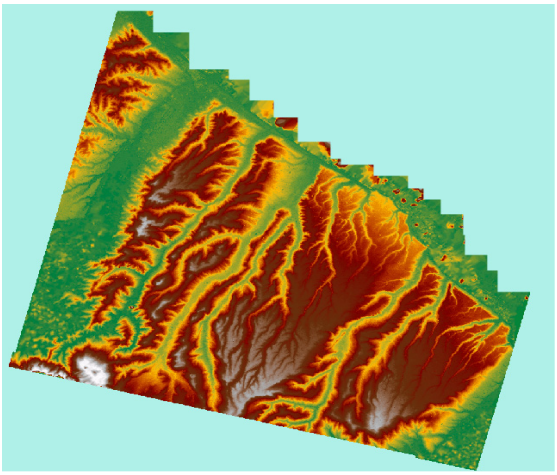


Figura 5. DSM ottenuto dalla stereocoppia PRISM.

Per tutti i test la risoluzione dei DSM estratti è stata impostata a 5 m. considerando che la documentazione PCI suggerisce 5- 10 metri.
Una prima analisi dei DSM ottenuti mostra come questi siano globalmente caratterizzati da un andamento realistico su tutta la superficie, con l'ovvia eccezione delle aree coperte dalle nuvole.
Tuttavia osservando con maggiore attenzione i dettagli dei DSM risulta evidente la presenza di alcuni innaturali "cavità" le quali non risultano avere alcun legame con la morfologia effettiva del terreno.

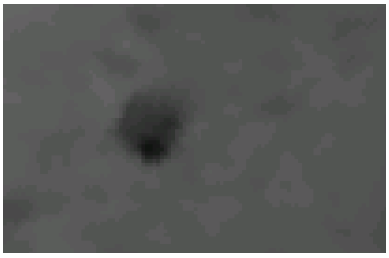


Figura 5. Anomalie evidenziate in alcune aree del DSM.

Dal confronto con altri ricercatori è emerso che il problema riscontrato dovrebbe essere superato con gli aggiornamenti del software di prossimo rilascio (Jacobsen, 2012)
Dopo l'estrazione del DSM le quote in esso riportate sono state confrontate con quelle ricavate da più di 80000 punti misurati con un Laser Scanner terrestre modello Riegl LZM-12. In tabella 6 sono riportati i risultati di tale confronto.

Mean	0.012 m.
Standard deviation	0.938 m.
Maximum difference	5.825 m.
Minimum difference	-5.949 m.

Tabella 6. Risultati del confronto tra le quote del DSM e quelle del rilievo Laser Scanner.

Tali valori confermano un sorprendente accordo tra il DSM estratto dalle stereocoppie e i dati Lidar e l'assenza di un errore sistematico, si consideri, a riguardo, che entrambi i rilievi possono considerarsi "appoggiati" a rilievi GPS-GNSS geodetici differenziati rispetto alla stessa stazione permanente GPS gestita dalla Regione Abruzzo. Il valore della deviazione standard è di gran lunga migliore rispetto a quello richiesto per l'allestimento di una carta in scala 1:25000 per la quale il sensore era stato progettato.
Dal momento che il rilievo Laser Scanner è relativo alla sola area di Pescara e quindi il confronto con questo non risultava del tutto esaustivo, interessando solo una piccola porzione del modello digitale estratto, le quote del DSM sono poi state confrontate con i punti quotati di una cartografia vettoriale in scala 1:5000 e anche con punti tridimensionali estratti dalle curve di livello della medesima cartografia. La scala è cinque volte maggiore di quella dichiarata dalla JAXA che, come già ricordato è 1:25000 e questo la rende ampiamente adeguata al nostro confronto. Nelle tabelle di seguito sono riportati i risultati del confronto in termini di media, deviazione standard valore massimo e minimo delle differenze di quota ottenuti su tutti i punti.

MEAN	-4.17443
ST.DEV.	4.325642
MIN.VALUE	-18.057
MAX.VALUE	14.52274

Tabella 7. Risultati del confronto tra le quote del DSM e quelle di 4289 punti quotati.

MEAN	-3.07153
ST.DEV.	5.001322
MIN.VALUE	-35.7346
MAX. VALUE	44.23436

Tabella 8. Risultati del confronto tra le quote del DSM e quelle di 56347punti tridimensionali estratti dalle curve di livello.

E' possibile notare che in entrambi i casi si ottengono valori negativi per la media delle differenze di quota; questo era prevedibile considerando le caratteristiche del DSM. Infatti un modello digitale della superficie è un modello che rappresenta, appunto in formato digitale, la forma della parte superiore del territorio comprendente quindi edifici, infrastrutture e alberi, mentre curve di livello e punti quotati rappresentano l'andamento altimetrico del solo terreno.
I risultati ottenuti sono stati poi analizzati all'interno del software QGIS: i file vettoriali contenenti i punti quotati e i punti tridimensionali ricavati dalle curve di livello sono stati importati e modificati con l'aggiunta di un campo specifico nel *database* contenente le differenze di altezza tra i punti in questione e le quote dei punti corrispondenti del DSM. Poi i punti sono stati classificati in cinque diverse classi al fine di avere una efficace rappresentazione visiva della distribuzione degli errori. In particolare si ha, come era previdibile, una maggiore concentrazione nella classe centrale relativa ai punti con differenze di quota comprese tra -5 e 5 metri, che sono sicuramente compatibili con il requisito scala 1:25000 mappe, come dichiarato da JAXA. Sono sate definite altre due classi simmetriche conteneti i punti che presentano differenze da -10 a -5 m. e da 5 a 10 m., le quali sono ancora nel *range* di tolleranza per la scala 1:25000, considerando le tolleranze accettate a livello nazionale.

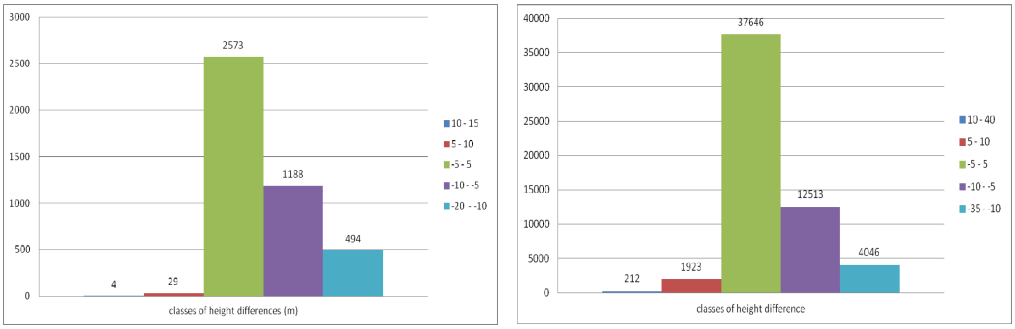


Figura 9. Istogrammi di distribuzione delle differenze di quota tra i punti quotati (a sinistra) e curve di livello (a destra) e DSM altezze.

La maggior parte dei punti mostrano quindi differenze compatibili con i requisiti necessari e si può osservare che i maggiori scoctamenti sono concentrate in aree con caratteristiche morfologiche comuni.
E' possibile notare che la maggior parte delle differenze positive sono localizzate nelle già citate "cavità" in cui le quote del DSM sono sicuramente inferiori a quelle del terreno reale e quindi i punti da cartografia si trovano parecchi metri più in alto. D'altra parte è più difficile capire chiaramente le cause della presenza delle maggiori differenze negative in alcuni settori . Queste infatti sembrano essere concentrate in zone a grande pendenza con esposizione a nord-ovest e pertanto una possibile spiegazione può essere, per esempio legata alla diversa esposizione al sole ma ulteriori test devono essere effettuati per confermare o escludere questa o altre cause, anche questi problemi potrebbero essere superati con i nuovi aggiornamenti del software (Jacobsen, 2012)

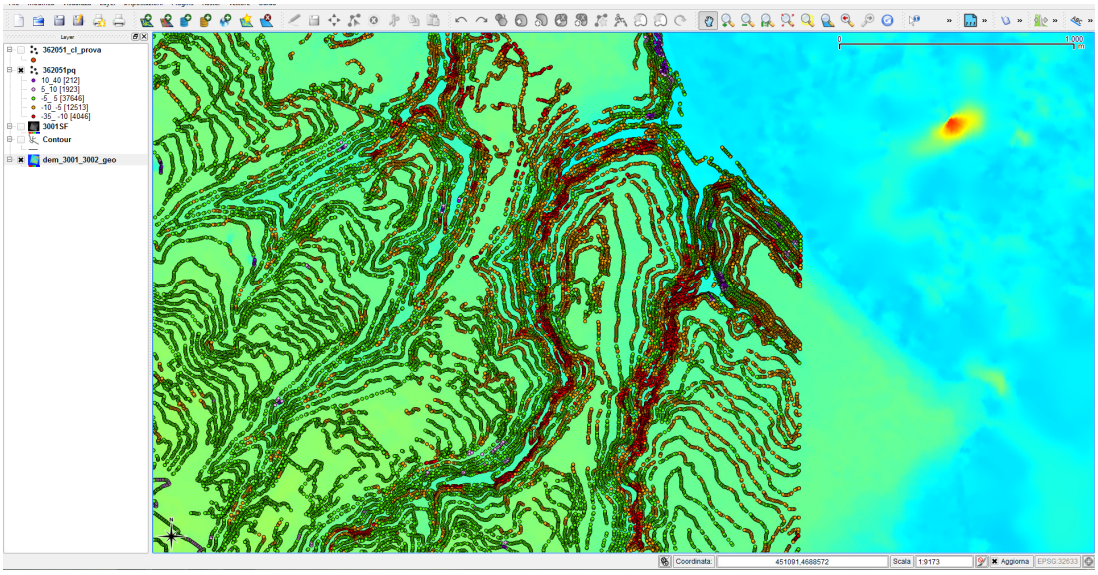


Figura 10. Distribuzione delle maggiori differenze negative.

Conclusioni

I risultati ottenuti mostrano un buon (in alcuni casi sorprendente) accordo tra le quote del DSM ottenuto da stereocoppia ed i dati ricavati da cartografia e dal rilievo laser Scanner. Nel secondo caso si è riscontrato un sistematico errore probabilmente a causa della superficie ottenuta che rappresenta quote diverse da quelle dei punti quotati e delle curve di livello. Alcune anomalie localizzate possono essere sicuramente spiegate in considerazione di alcune innaturali morfologie create dal software ("cavità"), per altre invece, allo stato attuale non è possibile individuare le cause con esattezza ma si rendono necessari ulteriori test di approfondimento, considerando che unos pecifico aggiornamento del software è prossimo al rilascio. Le immagini PRISM si dimostrano quindi una affidabile fonte di informazioni altimetriche a media scala considerando che sono state acquisite, durante tutto il suo periodo di attività, 6,5 milioni di immagini, la maggior parte delle quali in modalità stereoscopica.

Bibliografia

Baiocchi V., Milone M.V., Mormile M. (2012), 'PRISM triplet and stereopairs to build digital surface models', *Proceedings "Sentinel-2 preparatory symposium"*

Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Giannone F. (2005), 'A new rigorous model for the orthorectification of syncronous and asyncronous high resolution imagery', In Proceedings of the *24th EARSel Symposium on New Strategies for European Remote Sensing*, Dubrovnik - Croazia, 24-27 May 2004, vol. 1, p. 461-468, ROTTERDAM: Millpress Science Publisher

Jacobsen M. (2012), comunicazione verbale

Kocaman S., Gruen A. (2008), 'Geometric modeling and validation of alos/prism imagery and products', In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008*

PCI (2009), 'DEM Extraction of ALOS PRISM Data'. In PCI WEB site: www.pcigeomatics.com/support/tutorials/pdfs/Geomatica_v102_DEM_Extraction_Tutorial_ PRISM.pdf

Tadono T., Shimadaa M., Takakub J. & Kawamoto S. (2008), 'Updated results of calibration and validation of ALOS optical instruments', In *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XII, edited by Roland Meynart, Steven P. Neeck, Haruhisa Shimoda, Shahid Habib, Proc. of SPIE Vol. 7106*

Estrazione della linea di riva istantanea da immagini satellitari ad alta risoluzione ottiche e radar

Valerio Baiocchi (*), Maria Vittoria Milone (*), Martina Mormile (*), Francesco Palazzo (**)

(*) DICEA, Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "la Sapienza", Roma
valerio.baiocchi@uniroma1.it, mariavittoria.milone@uniroma1.it, martina.mormile@uniroma1.it
(**) SERCO SPA, Roma, francesco.palazzo@esa.int

Riassunto
Il progetto COSMOCoast si è occupato di esplorare le potenzialità dei dati radar (COSMOSkyMed) ed ottici (IKONOS-2, WORLDVIEW-2, KOMPSAT-2, QUICKBIRD) ad altissima risoluzione ai fini dell'impiego in studi costieri. L'utilizzo congiunto di dati acquisiti da diverse piattaforme satellitari permette infatti di estendere temporalmente il periodo di riferimento e di ampliare il numero di acquisizioni possibili sullo stesso tratto di costa. L'estrazione della linea di costa viene effettuata con tecniche automatiche su prodotti orto rettificati (per incrementare le condizioni di comparabilita' tra sensori ed angoli di acquisizione estremamente differenti). Per ogni prodotto è fornita una stima dell'accuratezza della geolocalizzazione ed il paragone tra linee di costa relative a differenti date tiene conto delle differenti condizioni meteomarine al momento delle acquisizioni. Indicatori di variazione costiera in ambiente GIS sono allo studio.

Abstract
The project COSMOCoast has been involved in exploring the potentials of radar data (COSMOSkyMed) and optical data (IKONOS-2, WORLDVIEW-2, KOMPSAT-2, QUICKBIRD) high resolution for the purpose of use in coastal studies. The contemporary use of data acquired by different satellite platforms makes possible to temporally extend the reference period and increased the number of possible acquisitions on the same stretch of coast. The extraction of the coastline was made with automatic techniques of orthorectified products (improvement of the conditions of comparability between sensors and capture very different angles). For each product was estimated the accuracy of geolocation and the comparison between coastlines on different dates to take into account the different weather conditions at the time of acquisition. Indicators of change in the coastal environment are being investigated GIS.

Il problema

L'erosione costiera affligge circa il 50% delle coste abruzzesi ed é presumibilmente associabile da una parte a cause morfologiche ed all'aumento del livello medio marino, dall'altra al ridotto trasporto solido fluviale, in conseguenza di lavori compiuti nei bacini fluviali di pertinenza per ridurre gli effetti delle piogge estreme ed i conseguenti allagamenti. Opere di difesa costiera sono state create localmente negli anni passati nel tentativo di limitare l'erosione costiera, ma è attualmente opinione diffusa che tali interventi, sia pur risolvendo localmente il problema, l'abbiano accentuato in altre aree. Inoltre un'analisi della cartografia disponibile sull'area ed utilizzabile per analizzare e paragonare nel tempo lo stato dell'erosione pare rivelare che i dati attualmente disponibili (prodotti da e per conto della Comunitá Europea, CNR, Ministero della Pubblica Istruzione, Ministero dell'Ambiente, ENEA, Regione Abruzzo ed istituti di ricerca) siano:

- in una scala che non consente una quantificazione dei *trends* erosivi (si ricordi che a scala 1:100,000 una linea spessa 0.2 mm indicante il confine tra mare e terra corrisponde a 20 m,

rendendo il confronto tra produzione cartografica di diverse epoche estremamente inaffidabile)

- elaborati da differenti fonti (esistono infatti prodotti in scala piú adatta, tavolette IGM a scala 1:25,000, cartografia regionale 1:5,000, foto aeree…) con differenti metodologie di estrazione (spesso non descritte) e con differenti errori di posizionamento, che rendono il paragone tra i vari dati ugualmente inaffidabile.

Infine, ciascun prodotto cartografico potrebbe rappresentare una "linea di costa" corrispondente ad una differente definizione (geomorfologica, geodetica…).
Una visione sinottica ed aggiornata delle variazioni della linea di costa su aree estese decine di Km a differenti date e ad una risoluzione maggiore di quella fornita dalla cartografia esistente sull'area puó rivelarsi essenziale per comprendere i *trends* erosivi e per verificare gli effetti delle opere di difesa già esistenti. Nel caso del progetto COSMOCOAST (e di dati tele rilevati) come "linea di costa" si intende la linea divisoria istantanea tra mare e terra e si è cercato di relazionarla alla definizione geomorfologica (la linea intermedia tra alta e bassa marea) utilizzando l'informazione mareografica disponibile al momento dell'acquisizione.

I dati

Nel tentativo di rappresentare differenti tipologie costali (costa alta e costa bassa) ed esaminare vantaggi e svantaggi di ogni tipologia di dato utilizzato ai fini dell'estrazione della linea di costa, due aree test sono state identificate per i dati ad altissima risoluzione, rappresentative rispettivamente di costa alta (Ortona e Vasto) e costa bassa (Pescara). Inoltre per uno studio a più larga scala è stata presa in considerazione anche tutta la costa dell'Abruzzo. Dati ottici (di archivio e nuovi) sono stati acquisiti dalle piattaforme IKONOS, KOMPSAT-2, ALOS, FORMOSAT-2 e QUICKBIRD; dati radar in differenti bande (di archivio e nuovi) sono stati acquisiti dalle piattaforme ALOS, ERS, ENVISAT e COSMO-SkyMed. Dati mareografici, rilievi quotati, alcuni rilievi GPS e GNSS cinematici e statici ed una campagna Lidar a terra effettuata contemporaneamente all'acquisizione di un prodotto COSMO-SkyMed completano il quadro dei dati acquisiti. In figura 1 si può osservare la cronologia delle acquisizioni a terra e da satellite durante l'intervallo temporale 6-21 luglio: due acquisizioni giornaliere (ogni 12 ore) sono state ottenute da COSMO-SkyMed, successivamente la serie temporale iniziata con i dati radar è stata completata con dati Kompsat-2 e Formosat-2. La figura indica anche la durata della campagna di acquisizione dati a terra, congiuntamente con le variazioni del livello di marea riportate dalla stazione di Ortona (Rete Mareografica Nazionale).

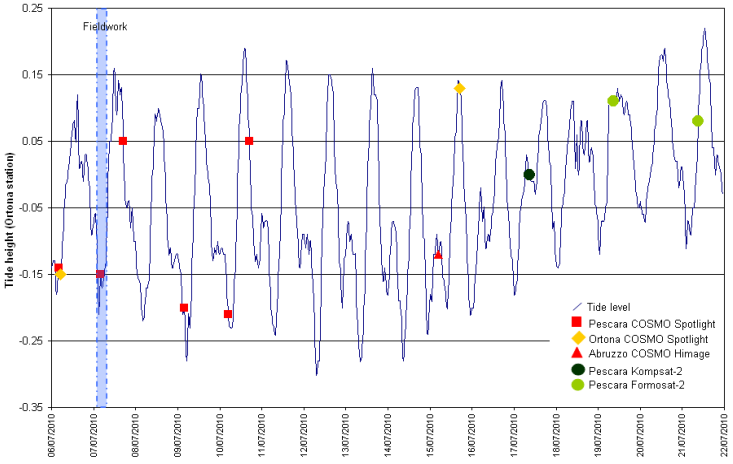


Figura 1. Serie temporale di nuove acquisizioni satellitari nel 2010 sulle aree test.

Due differenti tipologie di dato COSMO-SkyMed sono state impiegate:
- dati SPOTLIGHT, immagini SAR di estensione di circa 10 Km per 10 Km e risoluzione spaziale pari and 1m per 1m. In funzione delle modalità di acquisizione, l'angolo di incidenza variava tra ~20° e ~60°, la polarizzazione era HH o VV;
- dati STRIPMAP (HIMAGE), immagini SAR di maggior estensione ma minor risoluzione in grado di rilevare un'area ≥40Km per 40Km con una risoluzione spaziale di 3m per 3m.

In virtù dell'orientamento dell'orbita dei satelliti rispetto alla costa abruzzese, due acquisizioni consecutive STRIPMAP opportunamente pianificate in modalità ascendente permettono di ottenere una visione simultanea di più di 2/3 della costa dell'Abruzzo.

La disponibilità della completa costellazione COSMO-SkyMed (4 satelliti) ha inoltre permesso di incrementare le acquisizioni potenziali, permettendo la pianificazione di acquisizioni concomitanti con minimi o massimi di marea.

Analisi

Un'analisi delle variazioni del livello di marea condotto sui dati relativi agli ultimi tre anni rivela che la massima escursione di marea tra date non consecutive è stata inferiore ai 3m e che le normali oscillazioni di marea tendono ad essere tra 20 e 90 cm. In presenza di fondali profondi e costa alta tali oscillazioni di marea verosimilmente non hanno ripercussioni planimetriche, ma in caso di costa bassa la variazione planimetrica della stessa linea di costa istantanea estratta in condizioni di alta e di bassa marea può facilmente superare i 20m. La figura 2 esplicita tale concetto.

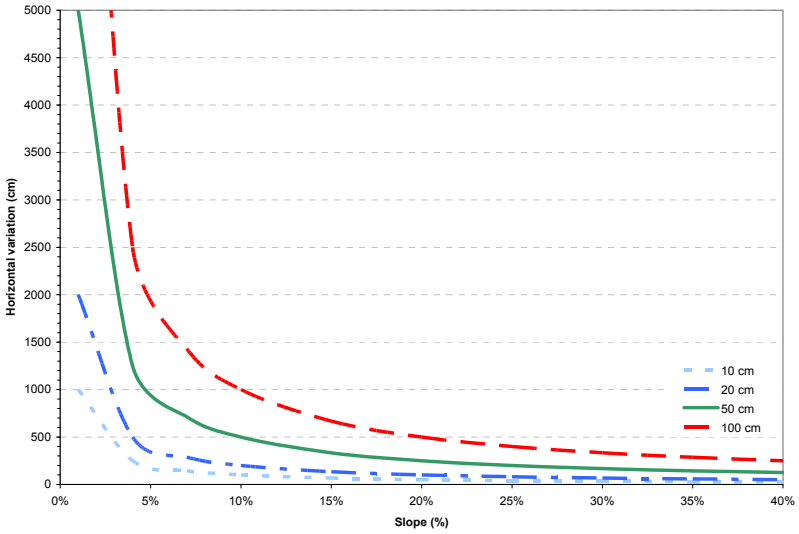


Figura 2. Variazione planimetrica di una stessa linea di costa per diverse escursioni di marea (10-20-50 e 100 cm) e classi di pendenza.

Per analizzare nel dettaglio gli effetti di tale fenomeno su una zona di costa bassa, la morfologia di un tratto di costa in corrispondenza di Pescara dell'estensione di circa 40 Km è stata studiata. La Figura 3 indica le classi di pendenza derivate da un DEM ad alta risoluzione generato sull'area, suddivise in classi di distanza dalla linea di costa (0-4m, 4-8 m…) e dimostra che c'è un chiaro predominio di classi a bassa acclività indipendentemente dalla distanza dalla costa. Sulla base di tali informazioni è evidente la necessità di considerare sempre le condizioni meteo marine concomitanti con la data di acquisizione nel caso di confronti tra linee di costa istantanee derivate da telerilevamento satellitare (o aereo).

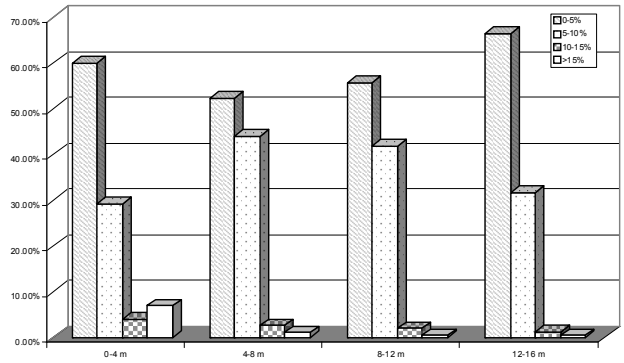


Figura 3. Classi di pendenza in fasce di distanza progressive rispetto alla costa.

Tecniche fotogrammetricamente rigorose sono state applicate per l'ortorettifica dei dati ottici (utilizzando un modello fotogrammetrico rigoroso propriamente detto quando metadati orbitali e punti di controllo a terra con la corretta accuratezza erano disponibili, come anche specificato in Baiocchi et al, 2004). I dati radar sono stati ortorettificati utilizzando la metodologia Range-Doppler implementata nel software NEST. Tecniche object-oriented per l'estrazione automatica della linea di costa da dati ottici sono state poi applicate sui prodotti ortorettificati. La creazione di una metodologia di processamento automatico per le immagini VHR é un'operazione complessa in quanto l'eterogeneità spaziale di queste immagini può risultare nell'identificazione di molti oggetti irrilevanti, privi di interesse per l'attività in atto –estrazione della linea istantanea di costa. Una procedura di segmentazione ben definita, alla base della classificazione object-oriented, dovrebbe garantire la generazione di oggetti significativi, le cui dimensioni sono adeguate alla scala di lavoro. Questa considerazione porta al problema della differente risoluzione spaziale delle immagini. Nelle immagini pancromatiche, che generalmente presentano il vantaggio di una maggiore risoluzione, l'assenza di informazione spettrale può tuttavia risultare nella mancanza di informazione utile per una corretta estrazione della linea di costa. Per evitare sotto o sopra-segmentazione i parametri devono quindi necessariamente differire in conseguenza della risoluzione spaziale dell'immagine. Una volta definiti tali parametri (scala, colore e fattori di forma). Per ciascuna tipologia di immagine, la procedura per l'estrazione della linea di costa passa attraverso una classificazione dell'immagine object-oriented.
Nel caso di dati radar, (Kim et al 2005) la frequenza radar utilizzata pare influenzare la posizione a cui si può generare interferenza di Bragg e quindi può risultare in una differente localizzazione della linea di costa acquisita a differenti lunghezze d'onda. Inoltre, anche in assenza di particolari condizioni meteomarine nel caso di aree costiere con ridotta profondità delle acque, le onde superficiali risentono del fondale generando frangenti, che rendono più difficile la discriminazione tra terra e acqua. Infine la presenza di rumore nelle immagini rappresenta un ulteriore elemento da considerare durante la procedura di estrazione automatica della linea di costa. La Figura 4 illustra la catena di processamento utilizzata dal progetto per l'estrazione della linea di costa da dati radar.

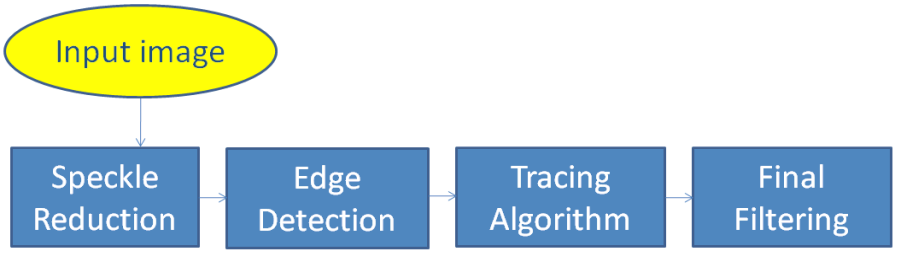


Figura 4. Catena di processamento SAR.

Nonostante l'estrazione della linea di costa dal dato SAR possa anche essere tentata tramite la fotointerpretazione, l'impiego di tecniche automatiche è di maggior interesse, specialmente in scenari operativi che richiedono la fornitura di informazione in real time o near-real time o in quei casi in cui è necessario il processamento di grandi volumi di dati. Nelle tecniche tradizionali la conoscenza specifica circa il limite da identificare é impiegata per creare le regole che conducono al raggruppamento dei pixels nelle classi. Inoltre, il tracciamento del limite locale nel rilevamento della linea di costa deve essere guidato da informazione relativa a tutta l'immagine. Queste caratteristiche ci hanno incoraggiato a paragonare un approccio standard per il rilevamento della linea di costa (Lee and Jurkevich 1990) con un approccio innovativo basato sui Pulse Coupled Neural Networks (PCNN). Questa é una tecnica relativamente nuova basata sui meccanismi che si svolgono nella corteccia visiva di piccoli mammiferi (Eckhorn et al., 1990).

Risultati preliminari

La tecnica PCNN è stata applicata con successo a tutti i dati radar acquisiti. Un'immagine di 1Gb viene processata in pochi minuti, a differenza della tecnica tradizionale che richiede tempi più lunghi per ottenere un risultato comparabile al prodotto del PCNN attraverso *edge detection*, filtraggio, analisi dell'istogramma, applicazione di un valore di soglia ed ulteriore *edge detection*. In figura 5 sono presentati due frammenti (linea di costa estratta automaticamente e sovraimposta all'immagine di partenza) relativi al dato processato in banda X e a quello processato in banda L.

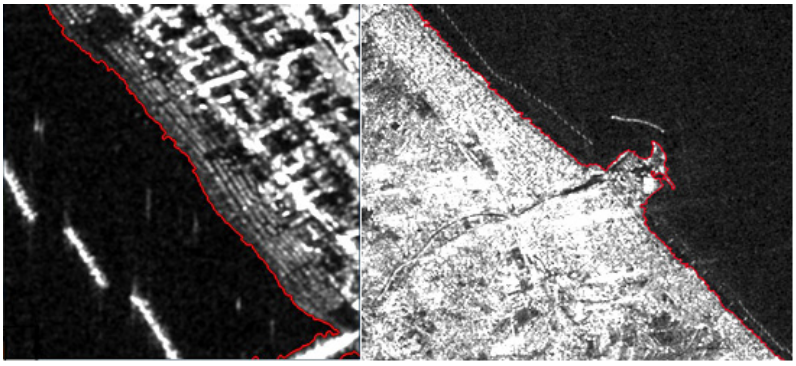


Figura 5. Frammento di linea di costa sovraimposta all'immagine SAR di partenza (sinistra: COSMO-SkyMed,destra: ALOS-PALSAR).

Nel caso dei dati banda X sono state processate acquisizioni con differente geometria di acquisizione (Ascendente/Discendente, Destra/Sinistra), angoli di incidenza e polarizzazione in area di costa bassa e costa alta. Il confronto tra risultati dell'estrazione automatica con i risultati dell'estrazione manuale, considerata come "veritá a terra" ha permesso di verificare che l'elemento

predominante sull'accuratezza della linea di costa estratta –in simili condizioni meteomarine- non è la polarizzazione ma la geometria di acquisizione. In un confronto tra metodologia tradizionale applicata alla banda C descritta in (Lee and Jurkevich) e trasposta alla banda X con la metodologia basata sulle reti neurali, si è riscontrata una maggiore affidabilità della metodologia PCNN, come desumibile dalla tabella (numero reale di punti sulla costa = 11365). Il confronto presentato in tabella è relativo al processamento della stessa immagine con le due tecniche differenti, analizzate quantitativamente rispetto alla linea di costa estratta manualmente. Una validazione del risultato su una piccola area sulla quale è stata condotta una campagna GPS cinematico simultaneamente all'acquisizione è presentata in (Latini et al. 2012).

Tipo di estrazione	Numero di punti	Media (m)	σ (m)
Tradizionale	14963	9.6	17.4
PCNN	11952	2.5	3.9

Tabella 6. Confronto relativo al processamento della stessa immagine con le due tecniche differenti, analizzate quantitativamente rispetto alla linea di costa estratta manualmente.

La linea di costa é stata anche estratta da immagini ottiche ed un primo tentativo di comparazione tra immagini ottiche acquisite in diversa stagione nel 2006 e nel 2007 mostra differenze planimetriche tra le 2 linee di costa nell'ordine dei 14 m, differenze che si riducono drasticamente qualora si prenda in considerazione la bassissima acclività dell'area correlata alle altezze di marea riportate per le due acquisizioni (differenza di livello tidale di 22 cm).

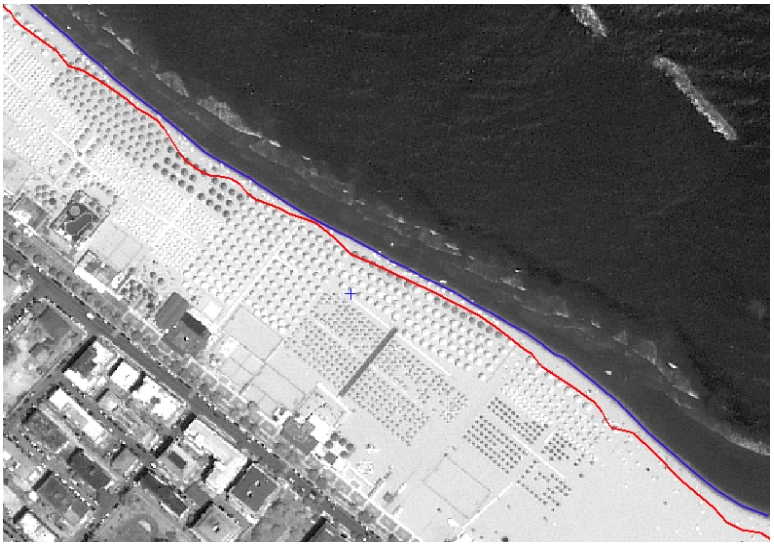


Figura 7. Frammenti di linee di costa estratte dalle immagini ottiche relative al 2007 (blu) e 2006 (rosso), sovrapposti all'immagine pancromatica del 2007.

Conclusioni

L'estrazione della linea di riva istantanea è stata eseguita con varie metodologie e questo ha consentito di evidenziare vantaggi e limiti di ciascuna di esse oltre che di effettuare un confronto tra le varie tecniche adottate nel corso della sperimentazione. Sicuramente un utilizzo contemporaneo di immagini di vario tipo (ottiche e radar) nonchè di differenti tecniche di estrazione (manuale ed automatica) consentono di ottenere risultati più accurati. Possibili sviluppi futuri possono riguardare

sperimentazioni da eseguire su porzioni di territorio ancora più ampie di quelle fino ad ora considerate oltre che il perfezionamento delle tecniche ad oggi note per lo studio dell'evoluzione della linea di costa.

Riferimenti bibliografici

Latini D., Palazzo F., del Frate F., Minchella A, "Coastline extraction from SAR COSMO-Skymed data using a new neural network algorithm", *IEEE Proceedings of IGARSS 2012*

Duk-jin Kim, Sang-Eun Park, Wooil M. Moon and Hyo-Sung Lee,"Effect of radar frequency on waterline mapping from airborne SAR image in the intertidal zone", In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, (2005), IGARSS '05. Proceedings.*

Baiocchi V., Crespi M, De Vendictis L, Giannone F (2004), "Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per scopi metrici". In: *Atti VIII Conferenza ASITA, Roma, 1, pp XVII- XLVIII*

Lee, J-S and Jurkevich I., (1990),"Coastline Detection and Tracing in SAR Images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28 (4), 662-668*

R. Eckhorn, H. J. Reitboeck, M. Arndt, and P. Dicke, (1990), "Feature linking via synchronization among distributed assemblies: Simulations of results from cat visual cortex", Neural Comput., 2 (3), 293–307

Progettazione di database georiferito a scala provinciale per la tutela ambientale

Valerio Baiocchi (*), Paola Camuccio (**), Antonio Ceglia (**), Loredana Liso (**), Maria Vittoria Milone (*), Martina Mormile (*), Alfio Paolini (**)

(*) DICEA, Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "la Sapienza", Roma, valerio.baiocchi@uniroma1.it, mariavittoria.milone@uniroma1.it, martina.mormile@uniroma1.it
(**) Serv. II, Tutela acque, suolo e risorse idriche, Provincia di Roma, Via Tiburtina 691, Roma; p.camuccio@provincia.roma.it, ceglia.a@gmail.com, l.liso@provincia.roma.it, al.paolini@provincia.roma.it

Riassunto

Il lavoro presentato in questo articolo ha avuto come obiettivo la realizzazione di una copertura vettoriale georiferita in ambiente GIS, per la localizzazione dei punti di prelievo (pozzi) e di scarico delle acque sul territorio della Provincia di Roma, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Lazio. A seguito della localizzazione di tali siti idrici si é potuta avviare la progettazione di un database georiferito su scala provinciale da cui ricavare conseguentemente la cartografia tematica numerica per l'intero territorio provinciale e regionale. L'intero progetto è stato implementato in un software open source che come sistema di riferimento spaziale utilizza il nuovo sistema di riferimento geodetico nazionale come previsto dalle recenti normative in merito. Sono evidenti i vantaggi che l'Amministrazione per i suoi scopi di tutela e studio avrà nel disporre di una cartografia aggiornata e ufficiale in tale sistema cartografico, in quanto tutti i dati sul territorio di competenza rilevati tramite GPS potranno essere direttamente inseriti in carta senza ulteriori trasformazioni.

La prima fase di lavoro ha riguardato l'utilizzo del GIS al fine di esaminare i dati esistenti, riferiti alle autorizzazioni degli scarichi tanto urbani quanto industriali. La successiva fase di lavoro ha riguardato la creazione di un database su scala provinciale georiferito per la tutela ambientale utilizzando come supporto cartografico un software open source (QGIS) che è un "Software libero", scaricabile gratuitamente, ed adattabile alle specifiche applicazioni.

Abstract

The work presented in this paper had as its goal the creation of cartography in GIS environment for the location of sampling points (wells) and waste water throughout the Province of Rome, according to D.Lgs. 152 / 2006 and the 'Piano di protezione delle acque' of Lazio Region. After the positioning of these sites we could start the design of a georeferenced database at provincial scale from which to derive consequently the mapping computed for the entire province and eventually region. Another factor of innovation has been the use of open source software that had a unique reference for the new national geodetic reference system as required by new law prescpriptions. The advantages are that the Administration for its preservation and study purposes would have the maps updated, since all data on the territory of competence can be directly received from GPS and can be plugged directly into the paper without further transformations. The first phase of work involved the use of GIS to examine existing data related to authorization of domestic and industrial sewage.

The second phase of work has included the creation of a georeferred database at provincial scale for environmental protection by using an open source software (QGIS) which is a "Free Software", downloadable for free, and adaptable to the work of interest.

Presentazione del progetto

Il presente lavoro ha avuto come obiettivo la realizzazione cartografica in ambiente GIS, inerente la localizzazione dei punti di prelievo (pozzi) e di scarico delle acque sul territorio della Provincia di Roma, secondo quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 e dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Lazio. Dalla localizzazione di tali siti idrici si è potuto dare inizio alla progettazione di un database georiferito su scala provinciale da cui conseguentemente si è potuto ricavare la cartografia computerizzata per l'intero territorio provinciale e regionale. La novità principale di tale studio è stata quella di sviluppare ed utilizzare un software open source che utilizzasse come sistema di riferimento il sistema cartografico UTM-WGS84-ETRF89, ormai in uso in tutti i sistemi informativi geografici. La scelta di lavorare con un sistema cartografico aggiornato e universale è nata anche dalla necessità di adattarsi al nuovo decreto emanato il 10 novembre 2011 riferito all'adozione del nuovo sistema di riferimento ETRF2000 (Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27/02/2012 - Supplemento ordinario n. 37). Questa scelta è dovuta al fatto che l'aumento delle informazioni territoriali disponibili in svariate forme di sistemi informativi geografici, rendono necessario e indispensabile affrontare il problema della georeferenziazione secondo procedure e criteri univoci, condivisi ed omogenei su tutto il territorio nazionale, rendendoli compatibili e confrontabili con immediatezza con le informazioni disponibili su scala globale. E' risultato dunque necessario esaminare i problemi posti dall'esistenza, storicamente consolidata, di differenti sistemi di riferimento rispetto ai quali sono referenziati i dati territoriali, istituendo delle metodologie di trasformazione generalizzate. Occupandoci di tali sistemi, si è evidenziata sistematicamente la necessità di una base dati (database) georeferenziata corretta ed omogenea, estesa a tutto il territorio provinciale; l'omogeneità richiesta si riferisce ovviamente all'adozione di un unico sistema di coordinate. L'avvento della cartografia numerica e del posizionamento satellitare impongono dunque una revisione dei sistemi di riferimento in uso e la loro sostituzione con un unico sistema appropriato, completo e di immediata utilizzazione anche da parte di chi non abbia profonde conoscenze geodetiche. Uno dei più immediati e potenti strumenti di correlazione tra le informazioni è certamente costituito dalle coordinate che vengono assegnate per definirne la posizione e attraverso cui si possono determinare relazioni di vicinanza e influenza. Tale potere di correlazione è pienamente sfruttabile se, prima dell'immissione delle informazioni di nostro interesse, è stato correttamente definito il sistema di riferimento cartografico su cui iniziare lo studio di interesse. Solo a tali condizioni la correlabilità spaziale tra i dati qualitativi potrà diventare strumento efficace di ricerca e di impiego; e solo a tali condizioni si potrà sfruttare compiutamente l'ingente patrimonio di dati territoriali già acquisito e consegnato dall'opera dei rilevatori agli archivi cartacei (cartografici e alfanumerici).

Ovviamente, nello specifico caso in studio, ricondurre tutte le informazioni ad un medesimo sistema di riferimento, ha permesso la corretta determinazione delle aree di salvaguardia e dei rispettivi punti di scarico dei vari impianti per determinare l'estensione dell'area di tutela, i vincoli d'uso e i controlli delle attività significative, al fine di garantire nel tempo e soprattutto in futuro la possibilità dell'approvvigionamento idrico potabile. Tale operazione risulta quindi di strategica importanza per il reale compimento dei compiti istituzionali delle amministrazioni locali. Sono evidenti i vantaggi che la Provincia di Roma avrebbe nel disporre di una cartografia aggiornata e ufficiale nel sistema cartografico UTM-WGS84-ETRF89: tutti i dati sul territorio del comune rilevati con strumentazione GPS potranno essere direttamente inseriti in carta senza ulteriori trasformazioni che altrimenti ne potrebbero portare un peggioramento dovuto all'intrinseca accuratezza e ad errori di varia natura. Questo interesse è derivato dal problema che l'attuale sistema informativo geografico utilizzato dalla Provincia si basa sul sistema cartografico Gauss Boaga, basato sul datum Roma40 statico, non compatibile con i sistemi GPS attualmente presenti che si basano sulla nuova rete dinamica nazionale. Da un attento studio del GIS a disposizione dell'Amministrazione, che ha permesso di esaminare e verificare la documentazione presente sulla scheda catasto, riferita all'autorizzazione degli scarichi sia urbani che industriali si è potuto effettuare un controllo e una verifica dei dati inseriti con l'utilizzo del GIS della Provincia. Premesso che le autorizzazioni allo

scarico nei corpi idrici superficiali delle acque reflue domestiche, industriali, urbane e di prima pioggia sono regolamentate dal D. Lgs.152/2006 - Parte Terza art.124 e dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Lazio, che permettono quindi un corretto mantenimento e protezione della risorsa idrica compatibile con gli usi della risorsa stessa e del mantenimento delle attività socio economiche delle popolazioni del Lazio. I primi problemi emersi sul controllo della scheda catasto sono stati di vera e propria natura cartografica, legati a errori e inesattezze di varia natura come: identificazione della particella adiacente allo scarico, del riconoscimento del reale nome del corpo idrico superficiale identificabile comunque sugli stralci catastali, ma in particolare il maggior numero di inesattezze si sono riscontrate nelle errate coordinate che riportavano imprecisioni di alcune decine di metri e nei casi più frequenti risultavano completamente errate e gli errori risultavano tali da impedirne la determinazione dell'effettivo punto di scarico. Questo perché nella maggior parte dei casi non era precisato il sistema di riferimento a cui erano riferite le coordinate sia dell'impianto che dello scarico, evidenziando e riscontrando quindi un problema di vera e propria natura cartografica, problema rilevante considerando le norme e i riferimenti normativi e legislativi previsti per gli scarichi.
Avere l'effettiva determinazione della posizione di tali impianti e sopratutto dei rispettivi scarichi è risultato indispensabile al fine di poter valutare la presenza o meno del corpo idrico ricettore e lo stato attuale della qualità delle acque e la loro evoluzione al fine di poterla correttamente pianificare in futuro. Inoltre nella scheda catasto è obbligatorio definire il foglio e la particella (la sezione e l'allegato se presente) e sopratutto il nome "corretto" del corpo idrico ricettore, cose che nel database erano spesso errate o assenti nella compilazione della scheda catasto, necessaria per ottenere l'autorizzazione dello scarico. Per la verifica dell'esattezza delle coordinante sia dell'impianto che dello scarico si è operato nel seguente modo: in primo luogo attraverso foto satellitari ad alta risoluzione (Google Earth), poi con CTR 1:5000 presente nel GIS della Provincia e infine nei casi più difficili, in cui risultava impossibile determinare il punto effettivo dello scarico o vi era la impossibilità di individuare catastalmente il nome del fosso, si sono operati sopralluoghi effettuando rilievi GPS (Global Positionig System). Il sopralluogo con il relativo utilizzo del GPS è risultato lo strumento più affidabile ed efficiente nel rilevamento delle coordinate, anche se ovviamente questo è risultato più oneroso in termini di tempo e conseguentemente costi. Si è quindi ritenuto più opportuno effettuare i sopralluoghi solo nei casi più complessi e difficili da identificare o dove non c'era possibilità di valutare precisamente lo scarico dell'impianto sul corpo idrico ricettore. Successivamente, si è proceduto alla creazione di un database su scala provinciale georiferito per la tutela ambientale e questo lavoro è stato fatto utilizzando come supporto cartografico un software open source permettendo così di essere utilizzato da chiunque e di ovviare ad alcuni limiti che attualmente possiedono che gli strumenti in uso. La scelta di voler lavorare con un programma open source è nata sia dalla considerazione che QGIS è un "Software libero" e quindi è stato possibile scaricarlo, studiare il suo funzionamento ed adattarlo in base al lavoro di interesse, sia dal rispetto di precise prescrizioni normative che impongono di scegliere ove possibile, tali tipi di software per questioni di riservatezza di dati e di contrazione dei costi. Infatti Quantum GIS (QGIS) è un Sistema Informativo Geografico (GIS), libero e gratuito, con interfaccia utente semplice, e rilasciato sotto licenza GPL (GNU General Public License). Tale strumento consente la visualizzazione e la creazione di mappe supportando dati vettoriali e raster oltre a vari formati di database. Ovviamente, nello specifico caso in studio, ricondurre tutte le informazioni ad un medesimo sistema di riferimento, ed a un unico utilizzo GIS ha permesso la corretta determinazione delle aree di salvaguardia delle opere di captazione e scarico dei vari impianti, e di creare successivamente un file KML che ha consentito di individuare tutti gli impianti e gli scarichi anche attraverso un database creato su Google Earth, per determinare l'estensione dell'area di tutela, i vincoli d'uso e i controlli delle attività, al fine di garantire e assicurare nel tempo la possibilità di creare un sistema informativo globale di strategica importanza per il reale compimento dei compiti istituzionali delle varie province regionali e amministrazioni locali.

Nella parte finale del lavoro ci si è occupati della progettazione di un database per i corsi d'acqua non significativi (ossia corsi d'acqua che per motivi naturali hanno avuto portata uguale a zero per più di 120 giorni l'anno), ottenuto con una cartografia che riporta i punti dei rispettivi scarichi urbani considerando solamente gli scarichi più importanti, cioè quelli con una portata di almeno 0.5 litri al secondo.

NumeroPratica	Comune	IndirizzoInsediamento	CorpoRicettore	BacinoIdrico	FoglioCatastale	ParticellaCatastale	NordScarico	EstScarico
2143	Albano Laziale	Via Salerno - Località Pavona	fosso Santa Maria Fornarola	MALAFEDE cl 5	12	1039	4622000	2319400
4185	Anticoli Corrado	S.P. per Anticoli Corrado	fosso Mola Rifota	ANIENE cl 2	8	154	4653850	2353600
53	Arcinazzo Romano	Località Vidiano	fosso della Torricella	ANIENE cl 2	7	529	4637668	2363493
3776	Ardea	Via Bergamo	fosso Grande	FOSSO GRANDE cl 3	46	3399	4606620	2312690
2889	Ariccia	Via Campoleone, snc	fosso Emissario del Lago di Nemi	FOSSO GRANDE cl 3	23	5	4617020	2323970
4184	Arsoli	Via del Campo Sportivo	fosso dei Molini	ANIENE cl 5	3	598 ALL. B	4655780	2356200
3696	Artena	Località Valle Pisciana	fosso di Valle Materno	SACCO cl 5	12 - con pozzo	138	4623740	2348300
3866	Bellegra	Località Acqua Calda	fosso dell'Acqua Calda	SACCO cl 4	15	159	4638580	2356100
4254	Campagnano di Roma	Località S. Lucia	fosso delle Vorghe	TREJA cl 3	10	17	4669385	2304128
4024	Capena	Località Fichereto	fosso di Morlupo	LEPRIGNANO cl 4	8	482	4668230	2316370
4414	Capena	Località Bivio	fosso di Gramiccia	LEPRIGNANO cl 4	22	715	4665600	2321440
2015	Castel Madama	Via S. Agostino, snc	fosso Uccette	ANIENE cl 4	14	619	4648800	2342940
1255	CastelNuovo di Porto	Località Valle Linda	fosso di Chiarano	CHIARANO cl 4	16	52	4665380	2314090
3135	Cave	Località Fosso Rio	fosso Rio	SACCO cl 4	3	228	4631480	2347800
4361	Cave	Località Potano	fosso Rio	SACCO cl 4	15	588	4628790	2349480
4780	Cave	Località Fosso Rio Valli	fosso S. Cristina	SACCO cl 4	15	51	4628790	2349480
3772	Ciampino	Via Lucrezia Romana	fosso Patatona	CAFFARELLA cl 5	2	94	4632150	2320300
3773	Ciampino	Via Morosina	fosso Patatona	CAFFARELLA cl 5	9	19	4630500	2322150
3613	Colleferro	Località Valle Sette Due	fiume Sacco	SACCO cl 5	19	15	4622440	2355110
4246	Colonna	Località Osteria	fosso della Colonna	ANIENE cl 4	16	1086	4634311	2333930
117	Fonte Nuova	Via Palombarese Km 21,220	fosso S. Lucia	ANIENE cl 4	17	381	4651080	2326300
118	Fonte Nuova	Via San Salvatoretto, snc	fosso del Salvatoretto	SETTEBAGNI cl 4	36	26	4653268	2322834
119	Fonte Nuova	Via S.Margherita	fosso di S. Margherita	SETTEBAGNI cl 4	33	770	4652635	2321900
4058	Formello	Via Monti dell'Arca, snc	fosso degli Olmetti	VALCHETTA cl 4	20	1510	4657800	2305140
2598	Frascati	Via Valle Chiesa	fosso Colle Reti	ANIENE cl 4	37	53	4633278	2327842

Figura 1. Realizzazione del database georiferito.

Disporre delle effettive coordinate di ogni singolo scarico urbano, ha permesso di stimare in prima approssimazione la quantità d'acqua che scorre in un fiume ossia la portata, verificando in questo modo se il corpo idrico superficiale potesse ritenersi significativo o non significativo (ossia secco). Da questi elementi si realizzerà un progetto di ricerca che è attualmente oggetto di studio da parte di uno specifico gruppo di ricerca del DICEA.

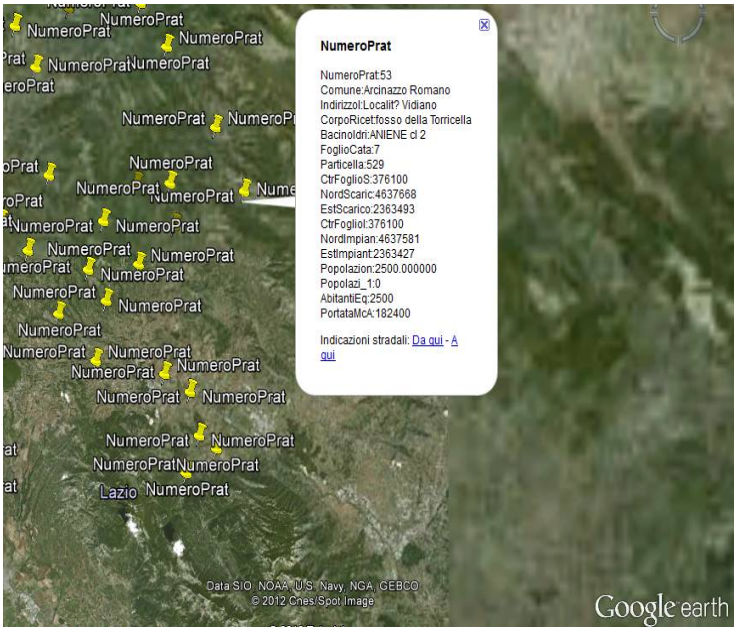


Figura 2. Database realizzato per ogni singolo scarico urbano.

Conclusioni e sviluppi futuri

Un ulteriore sviluppo dell'attività qui descritta è stata la discussione di un accordo istituzionale tra la Provincia di Roma e la Ragione Lazio, che prevede uno scambio di dati informativi territoriali attraverso la cessione da parte della Regione della Carta Tecnica Territoriale in scala 1:5000 in formato vettoriale 3D (shape file), e da parte della Provincia del database georiferito dei pozzi presenti sul territorio provinciale, ottenendo come risultato un progetto davvero innovativo e funzionale. Ci si auspica comunque che l'utilità del presente lavoro non si esaurisca qui, ma possa rappresentare l'inizio di una nuova attenzione da parte delle istituzioni verso tali problematiche di interesse pubblico e nazionale. La prospettiva potrebbe essere quella di utilizzare queste tecnologie per georiferire correttamente tutti gli impianti di captazione, gli impianti di depurazione, gli scolmatori di piena e gli scarichi nei corpi idrici superficiali delle acque reflue domestiche, industriali, urbane e di prima pioggia, presenti sul nostro territorio, tutelandoli concretamente. Le potenzialità offerte dall'uso dei Sistemi Informativi Geografici in molteplici attività pubbliche e private sono di notevole interesse, anche per sostenere e incentivare l'occupazione in un mercato del lavoro, soprattutto giovanile, che stenta a richiedere e ad assorbire le nuove professionalità. Si pensi alle iniziative riguardanti settori consolidati, come controllo e pianificazione dell'ambiente e del territorio, la gestione e valorizzazione del patrimonio culturale, la gestione delle attività amministrative dell'urbanistica, i lavori pubblici, la gestione dei servizi erogati su base territoriale e dei tributi locali, fino alla realizzazione di servizi per i cittadini e le imprese migliorando le condizioni sociali e culturali del territorio del nostro paese. In questo modo, con una accettazione di un unico sistema cartografico di riferimento si giungerà a sinergie, miglioramenti e progressi tra le varie amministrazioni presenti sul territorio nazionale.

Bibliografia

Antongiovanni R, Ghetti G, (1985) „Problemi riguardanti la correlazione fra i vari sistemi locali catastali, fra loro e con il sistema di Gauss-Boaga, risolti con l'ausilio del personal computer" In: Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali, 2, 79-98.

Baiocchi V, Crespi M, De Lorenzo C (2002) „Il problema della transformazione di datum e di coordinate per applicazioni cartografiche: soluzioni informatiche e loro prestazioni" in: Documenti del Territorio, anno XV, nr. 49, 11-18.

Di Filippo S. (1995), "Sulla trasformazione delle coordinate plano-cartografiche dalla rappresentazione di Cassini-Soldner alla rappresentazione di Gauss-Boaga e viceversa*", Rivista del dipartimento del territorio n. 3*

Paggi G, Surace L, Stoppini A (1994) „Tecniche per l'inserimento di rilevi GPS nella cartografia esistente" Bollettino ASIT nr. 25 & 26.

Paggi G, Stoppini A, Surace L, (1994) „Trasformazioni di coordinate nei rilievi GPS di rilevi GPS nella cartografia esistente" Bollettino di geodesia e scienze affini- Istitugo geografico militare, Firenze n. 3/1994.Paroli A.(1958), "Metodi e strumenti di rilevamento nei 70 anni di formazione del Catasto terreni", *Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali n. 4*

http://w3.uniroma1.it/resnap-gps/
http://geomatica.como.polimi.it/gnss/arti-coli/asi.pdf, 2002
http://87.30.244.175/rdn/rdn.php

Conoscere il passato per governare il presente: un confronto tra cartografia storica e moderna per lo studio del centro di Roma

Valerio Baiocchi (*), Keti Lelo (**), Maria Vittoria Milone (*),
Martina Mormile (*), Eride Tanga (*)

(*) DICEA, Area Geodesia e Geomatica, "Sapienza" University of Rome, Via Eudossiana 18-Zip, I-00184 Rome, Italy, tel. 06/44585068, email: valerio.baiocchi@uniroma1.it
(**) Centro di Ateneo per lo studio di Roma (CROMA), Università degli studi di Roma 3, Via Ostiense 139, 00154 Roma, tel. 06/57374016, email : lelo@uniroma3.it

Riassunto
Questo contributo nasce dalla considerazione che, a partire dalla seconda metà del XX secolo, la pianificazione urbanistica dei centri storici italiani è stata guidata principalmente dalla paura di alterare l'aspetto e l'architettura originari delle città. Il centro storico di Roma, oggi sito UNESCO, raccoglie una notevole testimonianza, per quanto riguarda opere costruite, della sua lunga esistenza; lo scopo di questo progetto è stato quello di sfruttare la precisione geometrica nonché i dettagli descrittivi che caratterizzano la 'Nuova Pianta di Roma' pubblicata nel 1748 da Giovanni Battista Nolli per studiare le trasformazioni urbane avvenute nel corso del tempo e verificare se e cosa sia stato davvero preservato. Grazie alla rigorosa georeferenziazione di tale cartografia storica, si è potuto attuare un confronto con cartografie recenti al fine di analizzare la struttura urbana della città e la sua evoluzione in particolare per quanto riguarda l'evoluzione delle aree verdi.

Abstract
The idea of this paper, develops from the consideration that, since the second half of the XXth century, urban planning of Italian historical centers seems constrained by the fear of compromising the architectures of the past. Rome's city centre, today UNESCO site, gathers a built up heritage that witness its long and unique existence. The aim of this project is to exploit the geometric precision and descriptive detail, characterizing the "Nuova pianta di Roma", published in 1748 by Giovanni Battista Nolli, for studying the urban transformations at housing block level. The rigorous georeferencing of the historical cartography, allows for the spatial comparison with actual cartographies and with very high resolution satellite images, and the consequent analysis of the urban structure and its formal and functional contents.

Introduzione

Scopo di questo articolo è quello di presentare un primo tentavo effettuato per la ricostruzione dell'evoluzione storica (dal 1750 circa ai nostri giorni) delle aree verdi situate all'interno delle Mura Aureliane che circondano il centro della città di Roma. A partire dalla sua fondazione all'interno della mura che recingevano Roma, nei villaggi sorti sulle colline erano inclusi boschi di querce, di faggi e di lecci che configuravano il paesaggio della nuova città regia. Come in altre civiltà, i Romani estrassero dalle piante simboli di comando e superiorità: si piantavano alberi nelle piazze dei templi per celebrare le vittorie. Il bosco oltre a soddisfare le necessità delle genti che abitavano i villaggi, aveva un significato sacro poiché vi si custodivano le immagini delle divinità e rappresentava il luogo delle cerimonie di iniziazione dei sacrifici. Molti di questi boschi sacri sorgevano nei colli Esquilino, Campidoglio, Palatino, ed Aventino (Lanciani, 1989). Alla soglia dei

boschi sacri si arrestavano i confini delle fastose ville che i conquistatori romani, tornando in patria, avevano costruito e dhe spesso erano caratterizzate dalla presenza del terreno coltivato prospiciente alla casa, l'*hortus.* Quest'ultimo, col passare del tempo, venne migliorato nell'aspetto per la scelta di piante come arbusti e fiori ornamentali, configurandosi come il primo esempio di verde progettato. Gli *horti* quindi erano i primi esempi di giardino; dentro le mura vaste aree erano destinate a verde pubblico ed accanto ai luoghi particolarmente frequentati dalla comunità sorgevano i giardini ornamentali, la città era inoltre ricca di portici, pergolati arricchiti da arbusti che fornivano ai cittadini un confortevole passeggio per la città. Durante l'età imperiale Roma subì una trasformazione dal momento che, le grandi porzioni di territorio, prima destinate ai pascoli e alla coltivazione, cedettero il posto alle fastose ville imperiali. Tuttavia lo sfarzo e lo splendore degli *horti* imperiali si conclude con l'assedio delle truppe di Alarico che, nel 410, bruciarono e devastarono l'intera città (acquedotti, *horti*, ville, palazzi, etc). I magnifici giardini dell'impero tornarono a rivivere dopo mille anni in tutto il loro splendore nel periodo artistico e culturale del Rinascimento (Tagliolini, 2006). Dopo l'epoca rinascimentale col passare dei secoli, le ville principesche iniziarono a scomparire per cedere il posto ai quartieri più recenti e nel Novecento il recupero del verde viene affrontato in molti programmi urbanistici configurandosi come una ricerca di nuovi spazi.
Nel corso di questo studio, si è cercato di dimostrare la presenza, in epoche passate, di aree verdi anche nel centro storico della città in quanto attualmente questo rappresenta il fulcro di un acceso dibattito in ambito di pianificazione urbanistica.

Il caso di piazza San Silvestro

L'idea di questo lavoro è nata proprio a seguito del dibattito originatosi come conseguenza dell'intervento di riqualificazione di Piazza San Silvestro. Questa rappresenta una delle piazze di maggiori dimensioni nell'ambito del centro storico di Roma; a partire dal 1890 essa divenne il capolinea del primo tranvia elettrico e successivamente di numerosi autobus urbani. Nel 2011 sono iniziati i lavori di ristrutturazione della Piazza, il cui progetto è stato affidato all´architetto italiano Paolo Portoghesi. Lo scopo di questo intervento di riqualifica era la rimozione del capolinea degli autobus per mettere a disposizione dei cittadini un'ampia zona pedonale. Sebbene nel progetto originale ci fosse l'intenzione di inserire nella piazza aiuole e spazi verdi, la ristrutturazione finale ha portato alla realizzazione di un'area interamente pavimentata forse allo scopo di non alterare l'aspetto originale delle città con l'inserimento di verde laddove storicamente non era presente. Questo ha tuttavia determinato una vivace discussione e ha suscitato proteste polemiche da parte degli abitanti che ritengono che la piazza, senza il verde, sia poco fruibile, soprattutto nei mesi estivi.



Figura 1. Piazza San Silvestro prima e dopo l'intervento di riqualifica del 2011.

Con questo primo studio ci si è proposti nello specifico di individuare la presenza di aree verdi, pubbliche e private, sulla carta storica di Roma al fine di confrontare la situazione con quella attuale e di mostrare degli esempi che, al contrario di quello appena citato di Piazza San Silvestro che in origine era effettivamente pavimentata, rivelino la presenza, in passato, di verde urbano anche nelle zone attualmente edificate.

I dati utilizzati

Per studiare l'evoluzione delle aree verdi nel tempo sono stati in primo luogo vettorializzati i poligoni ad esse relativi sulla carta storica rappresentata dalla Nuova Pianta di Roma, pubblicata da Giovanni Battista Nolli nel 1748. Per quanto riguarda invece la cartografia moderna, necessaria per effettuare il confronto, è stata utilizzata una carta ufficiale della regione Lazio in scala 1:5000 ricavata da volo fotogrammetrico effettuato tra il 2003 ed il2004, sulla quale si è ripetuto il processo di vettorializzazione dei poligoni delle aree verdi, in quanto attualmente disponibile in solo formato raster. In ultimo si è proceduto ad una sovrapposizione delle due carte al fine di evidenziarne le differenze e soprattutto le intersezioni. Per tutto questo lavoro le cartografie sono state elaborate e studiate all'interno del software GIS *open source*, QGIS v.1.8.

Giovanni Battista Noll era un celebre architetto che trascorse tutta la sua vita a studiare ed approfondire la storia e l'evoluzione architettonica della città di Roma; il risultato del suo lavoro fu appunto 'La Nuova Pianta di Roma' pubblicata dopo 12 anni di lunghi studi, la quale ancora oggi, rappresenta la fonte principale per investigare le trasformazioni della città contemporanea (Ceen, 2005).



Figura 2. 'La Nuova Pianta di Roma' di G.B.Nolli (1748).

Nella sua carta Nolli rappresenta il centro urbano di Roma avvalendosi di una tecnica di rilievo scientifica; l'intera città è inoltre rappresentata con un'esattezza e con una tale dovizia di particolari da permettere l'immediato confronto di dimensioni, aree e posizioni al suo interno. L'immagine rater della carta del Nolli utilizzata in questo progetto era stata già georiferita in lavori precedenti (Baiocchi, Lelo, 2001) all'interno del software IRAS-B Intergraph, utilizzando una polinomiale del terzo ordine e ben 50 *Ground Control Point* acquisiti in modalità statica con GPS differenziale. L'accuratezza della carta, ottenuta all'epoca degli studi appena citati, era stimata intorno ai 4 metri.
La classificazione e la settorializzazione delle aree verdi sulla carta del Nolli sono state abbastanza immediate grazie allo stile simbolico utilizzato dall'autore nella rappresentazione. Innanzitutto è il Nolli stesso a differenziare tutta una serie di specifici usi del suolo distinguendo ville, giardini, orti, ortacci, vigne ed inoltre ciascuno di questi è rappresentato con una specifica simbologia sulla mappa in modo da risultare facilmente identificabile. Molti autori (Ehrle, 1932) hanno individuato all'incirca una dozzina di simboli differenti utilizzati dal Nolli per la rappresentazione di specifiche tipologie di aree verdi: alberi, filari, campi arati etc… Bisogna comunque considerare che anche considerando l'esattezza usata nella rappresentazione e lo stile evocativo, non si è certi se il Nolli conoscesse realmente tutte le tipologie di piante e colture riportate nella sua carta o meno.

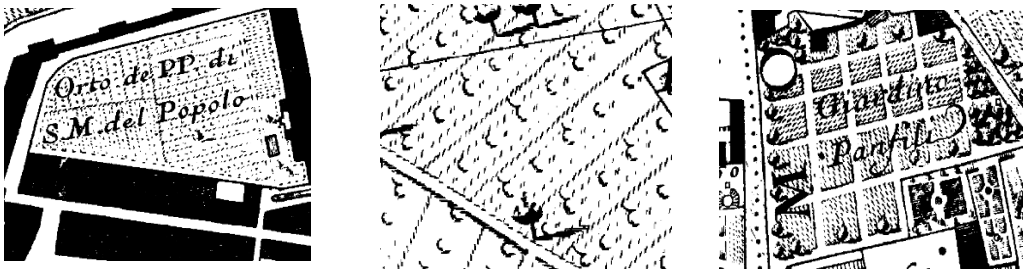


Figura 3. Differenti simbologie usate dal Nolli per rappresentare diverse tipologie di aree verdi (a) orti, b) vigne, c) giardini).

Terminato lo studio sulla carta storica si è proceduto con la vettorializzazione delle aree verdi, sempre situate all'interno delle Mura Aureliane, evidenziabili sulla cartografia più recente ovvero la CTRN della regione Lazio. In questo caso, al fine di rendere più agevole l'individuazione delle aree di interesse ci si è avvalsi anche dell'utilizzo, come supporto, di immagini satellitari ad alta risoluzione.

I risultati della classificazione
Sia per quanto riguarda la carta del Nolli che la CTRN della Regione Lazio si è adottato lo stesso schema di classificazione e differenziazione delle aree verdi:

- Giardini, in cui sono stati inclusi sia i giardini di proprietà privata che le aree di verde pubblico;
- Boschi, ovvero le aree verdi caratterizzate dalla presenza di alberi ad alto fusto;
- Terre coltivate, come ad esempio orti o vigne;
- Verde spontaneo in cui sono stati inclusi i canneti.

Nella figura di seguito riportata è rappresentato il risultato complessivo della vettorializzazione della carta del Nolli. E' evidente la predominanza delle aree coltivate, cui si contrappone la presenza di una quantità limitata di giardini, per lo più giardini privati siti nel cortili delle ville o nei chiostri delle chiese (che tuttavia sono in quantità apprezzabile almeno se confrontati con quelli presenti all'interno di altre città coeve) e boschi.

Sfruttando le potenzialità del GIS sono stati poi effettuati una serie di valutazioni statistiche al fine di valutare la distribuzione delle aree verdi nelle classi di interesse.

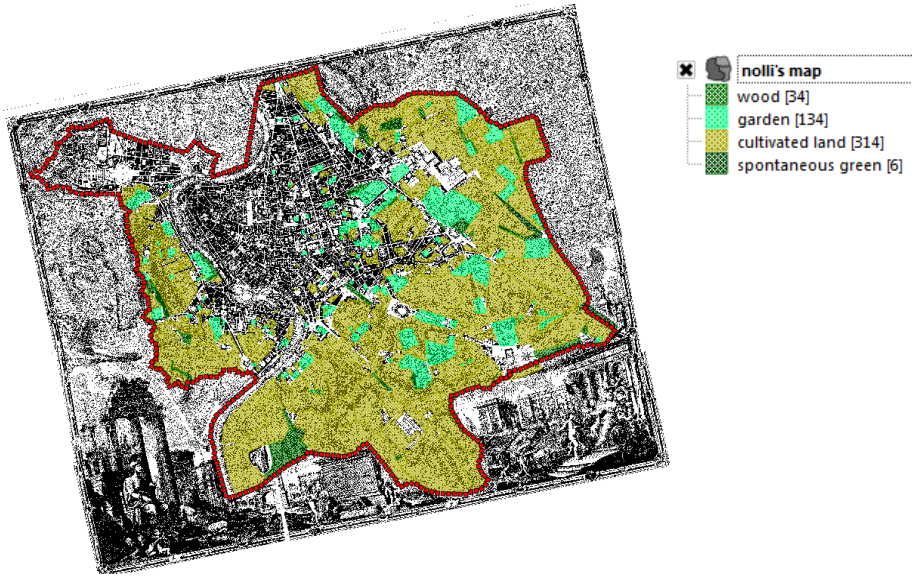


Figura 4. Risultato della classificazione e vettorializzazione delle aree verdi sulla carta del Nolli.

In figura 5 è riportato il diagramma a torta con indicati il numero di poligoni riconosciuti per ciascuna classe; esso conferma quanto appena detto riguardo la presenza di un gran numero di orti e giardini prevalentemente concentrati nella parte più esterna del centro.

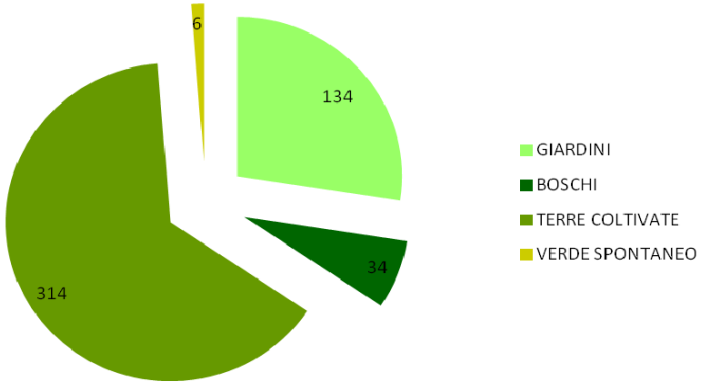


Figura 5. Distribuzione delle aree verdi presenti sulla carta del Nolli nelle diverse classi individuate.

Nel presente studio si è inoltre cercato di individuare il tipo di accesso per ciascuna area verde evidenziata distinguendo:

- Accesso privato, in presenza di mura o recinzioni che impediscono l'ingresso pubblico;
- Accesso pubblico, in assenza di mura oppure nei casi in cui sono presenti cancelli ed entrate tali da permettere l'accesso;

- Accesso incerto in caso in cui non sia possibile determinare con esattezza il tipo di accesso dell'area in questione.

Per quanto utile, tale distinzione si presta a ambiguità nell'interpretazione dal momento che molte aree caratterizzate dalla presenza di verde, sebbene circondate da mura, rappresentano dei polmoni verdi i cui benefici potevano e possono essere goduti in ogni caso da tutti i cittadini. Un esempio di questo è offerto dall'area nei pressi di Via delle Sette Sale. Lungo questa strada si sviluppavano un gran numero di terre coltivate, come è evidente dall'analisi della carta del Nolli, circondate da mura (tutt'ora conservate) che tuttavia rendono visibili, e quindi in parte fruibili, gli alti alberi presenti; sono state classificate pertanto come aree ad accesso privato ma tale classificazione, a seguito di una attenta analisi, risulta non del tutto idonea alla definizione fornita.

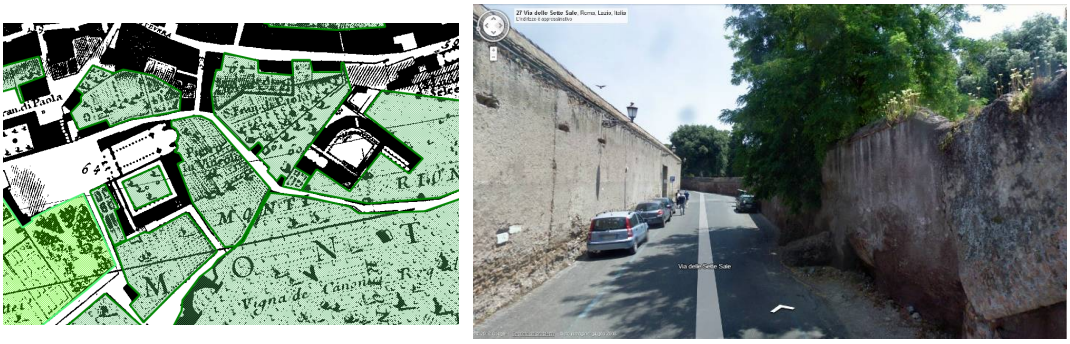


Figura 6. Aree di verde privato lungo Via delle Sette Sale.

La nostra attenzione si è comunque concentrata su alcuni esempi maggiormente significativi dell'evoluzione cui le aree verdi sono andate incontro nel corso del tempo. Facciamo riferimento, ad esempio, al caso del chiostro della facoltà di Ingegneria il quale costituiva un annesso della chiesa di San Pietro in Vincoli. Circa una decina di anni fa furono nell'ambito di alcuni lavori di restauro, venne ristrutturato il cortile con una copertura in pietrisco pensando che quella ricalcasse la copertura originale. Dall'analisi attenta della carta del Nolli risulta evidente che, al contrario di quanto si è ritenuto, tale cortile era, in realtá un giardino privato.



Figura 6. Chiostro di San Pietro in Vicoli (prima e dopo la ristrutturazione).

Al fine di comprendere meglio i cambiamenti dell'aspetto urbano della città ed in particolar modo per quantificare questi cambiamenti in termini di aree verdi interessate, sono state calcolate le aree di tutti i poligoni costruiti sia sulla carta storica che su quella moderna e inoltre si è andata a determinare l'intersezione tra le due per ricavare il verde comune ad entrambe.

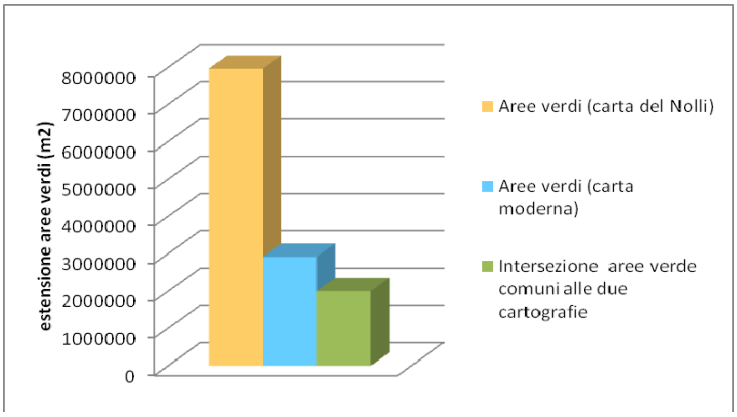


Figura 7. Estensione in m^2 delle aree verdi sulle due carte utilizzate e loro intersezione.

Si osserva come le aree verdi in questione avessero una maggiore estensione superficiale all'epoca del Nolli, prima cioè che le sontuose ville con i loro giardini e le distese di orti e vigne lasciassero il posto ai quartieri moderni e alle più recenti costruzioni.
Si è cercato poi di localizzare in maniera più dettagliata i cambiamenti evidenziati nell'assetto urbanistico; l'intera città di Roma racchiusa all'interno delle Mura Aureliane, è stata suddivisa in tre zone distinte:

I. Una zona interna comprendente il centro storico abitato;
II. Una zona intermedia;
III. Una fascia più esterna che si estende dall'area intermedia fino alle mura.

Per ciascuna di queste aree, sfruttando lo strumento di intersezione a disposizione in ambito GIS, è stata effettuata la sovrapposizione con i layer vettoriali dei poligoni del verde ricavati sia per la carta storica che per la CTRN ed il risultato è stata la distribuzione delle aree verdi in ognuna delle tre zone individuate.

Centro urbano	
Aree verdi (carta del Nolli)	409074
Aree verdi (carta moderna)	211129
Intersezione aree verde comuni alle due cartografie	85365

Tabella 8. Tabella relativa all'estensione delle aree verdi nelle due carte (centro urbano).

Zona intermedia	
Aree verdi (carta del Nolli)	2949457
Aree verdi (carta moderna)	847472
Intersezione aree verde comuni alle due cartografie	749674

Tabella 9. Tabella relativa all'estensione delle aree verdi nelle due carte (zona intermedia).

Zona esterna	
Aree verdi (carta del Nolli)	4000959
Aree verdi (carta moderna)	1678974
Intersezione aree verde comuni alle due cartografie	1215825

Tabella 10. Tabella relativa all'estensione delle aree verdi nelle due carte (zona esterna).

Dai valori riportati nelle tabelle relative all'estensione delle aree verdi calcolate in ciascuna fascia ed in entrambe le carte con la relativa intersezione si nota come, anche all'epoca del Nolli la maggior parte delle aree verdi si concentrasse nella fascia più esterna della città a ridosso delle mura caratterizzata da distese di orti e vigne. Considerando poi le aree comuni a entrambe le mappe si è calcolata la differenza, in termini di estensione delle aree verdi, tra passato e presente. E 'evidente che il centro della città è la parte in cui vi sono stati, nell'arco temporale considerato, cambiamenti meno significativi, in quanto questo rappresentava la parte già edificata e costruita all'epoca del Nolli. Al contrario, i cambiamenti più importanti si riscontrano nella parte esterna della città, da cui le aree verdi (in particolare le terra coltivate) sono lentamente scomparse, lasciando il posto agli edifici e alle costruzioni moderne.

Conclusioni

Lo studio sull'evoluzione storica delle aree verdi nel centro della città di Roma ha evidenziato che all'epoca del Nolli (1748-1750) la maggior parte del centro era verde e, anche se non tutto questo verde era direttamente accessibile da parte dei cittadini, la sua presenza rappresentava innegabilmente un beneficio per tutta la popolazione. Ovviamente quello presentato in questo articolo è solo un primo tentativo di confrontare la tipologia e la posizione delle aree verdi in passato con quelle recenti e sono pertanto necessari maggiori approfondimenti anche dal punto di vista storico. Già in questo studio è emerso come le tecniche GIS risultino particolarmente utili in tale contesto, in quanto offrono la possibilità di rilevare e misurare le variazioni velocemente. E' possibile in ogni modo concludere che alcune aree di verde pubblico esistevano nel centro di Roma anche nel XVIII secolo e non tutte sono stati conservate e preservate nel moderno assetto urbano della città. Non si può negare che continuando ad aumentare le aree pavimentate e asfaltate al fine di preservare l'aspetto originario del centro della città, trascurando che, d'altra parte, alcune zone in passato caratterizzate dalla presenza di terre coltivate sono ora occupate da edifici, questo cambierà ulteriormente il clima e l'ambiente della città , già profondamente modificato dal tempo di Nolli.

Riferimenti bibliografici

Baiocchi V., Lelo K., (2005), "Georeferencing the historical maps of Rome between the seventeenth and the eighteenth centuries" *CIPA 2005 XX International Symposium- International cooperation to save the world's cultural heritage*. Torino, 26 September –2 October 2005, vol. 1, p. 114-118

Baiocchi V., Lelo K., (2001), "Georeferenziazione di cartografie storiche in ambiente GIS e loro verifica mediante rilievi GPS" *Atti V conferenza ASITA*, Rimini, 9-12 ott. 2001, vol.1, p. 125-130

Bevilacqua M., (1998), "Roma nel secolo dei Lumi. Architettura erudizione scienza nella Pianta di G.B. Nolli 'celebre geometra'"

Bevilacqua M., Fagiolo M.,(2012), *Piante di Roma dal Rinascimento ai catasti*, Artemide (collana Le piante di Roma) Roma

Ceen A. and Tice J., (2005), "The Nolli map as Artifact"

Ehrle F., (1932), "Roma al tempo di Benedetto XIV; la Pianta di Roma di G.B. Nolli del 1748"

Faccioli C., (1966), "Gio. Battista Nolli (1701-1756) e la sua gran Pianta di Roma del 1748", *Studi Romani*, XIV pp. 415-443.

Lugli P.M, (1998), *Urbanistica di Roma*, Bardi editore, Roma

Tice J., (2005), "*The forgotten Landscape of Rome: The Disabitato*", University of Oregon

Tagliolini A., (2006), *I giardini di Roma*, Newton Compton (collana Quest'Italia)

http://nolli.uoregon.edu

La cittadella di Gozo a Malta. Strategie di restauro e di valorizzazione del sistema di fortificazione maltese

Marcello Balzani, Federico Ferrari, Francesco Viroli

DIAPREM, Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara, Via Quartieri 8, 44121 Ferrara
tel. +39 0532 293601, e.mail diaprem@unife.it

Abstract
The Restoration Unit of the Ministry for Resources and Rural Affairs of Malta has launched a survey and documentation project of the Citadel of Gozo. The research main objective is the 3D survey of the external and internal surfaces of the fortified belt around the citadel and the mapping of the current state of conservation of the structures. The main 3D high definition survey scope is to document and implement a model able to identify the geometry and morphology of every fortification element. In this way it is possible to obtain a bi-dimensional representation of single element in order to prepare an useful technical scientific base for future restoration works. The survey was carried out by integrated methodologies such us laser scanner 3D, topographic and photographic survey, and materials and degradation mapping of the whole citadel. The integrated study on geometries, morphologies and state of conservation was carried out bearing in mind the peculiar condition of the citadel heritage.
This is a really complex task for the Restoration Unit, involved for years in important researches and restorations. The project was developed through the European Regional Development Fund Malta 2007-2013 (Operational Program I - Cohesion Policy 2007-2013, Investing in Competitiveness for a Better Quality of Life), funded by the European Union for 85% with the ERDF and for 15% with Maltese national funds.
Led by the Ferrara Research Consortium, the documentation plan for the restoration was developed by the Italian group of companies affiliated with Prorestauro (Italian Association for the Restoration and Conservation of Cultural Heritage). Experts in survey, diagnostic, conservation of stones and 3D modelling, worked together in an integrated process analysis and post-processing of data.

Riassunto
La *Restoration Unit* del *Ministry for Resources and Rural Affairs* di Malta ha attivato un progetto di rilievo e documentazione della Cittadella di Gozo. In particolare, il progetto ha avuto come scopo il rilievo tridimensionale di dettaglio delle superfici esterne e interne della cinta muraria di fortificazione e una mappatura dell'attuale stato di conservazione di strutture e superfici. Il principale obiettivo del rilievo tridimensionale ad alta definizione, oltre a quello primario di documentazione, è connesso all'esigenza di disporre di un modello in grado di identificare la geometria e la morfologia di ogni singolo elemento costituente le fortificazioni al fine di poter ottenere accurate rappresentazioni bidimensionali in grado di costituire una base tecnico-scientifica sulla quale poter redigere il progetto di restauro. Un impegno articolato e complesso che ha visto l'operatività della *Restoration Unit*, da anni coinvolta in importanti sperimentazioni e interventi di recupero e restauro. Il progetto è stato sviluppato attraverso l'*European Regional Development Fund Malta* 2007-2013 (*Operational Programme I - Cohesion Policy 2007-2013, Investing in Competitiveness for a Better Quality of Life*), finanziato per l'85% dall'Unione Europea con gli ERDF e per il 15% Fondi Nazionali maltesi. Il gruppo di società italiane affiliate a Prorestauro

(Associazione Italiana per il Restauro e la Conservazione dei Beni Culturali) che hanno realizzato il progetto di documentazione per il restauro, capeggiato dal Consorzio Ferrara Ricerche, ha visto all'opera rilevatori, esperti di diagnostica e conservazione dei materiali lapidei e di modellazione 3D, in un integrato processo di analisi e di restituzione documentale.

Introduzione

La posizione strategica dell'arcipelago maltese ha svolto un ruolo importante nel determinare la storia dell'isola e in particolare l'occupazione da parte di diverse culture che si sono succedute attraverso i millenni. Tutti questi popoli hanno lasciato testimonianze significative nelle tre isole, concretizzate in un ricchissimo patrimonio culturale. Con il suo caratteristico skyline e l'imponente architettura militare, la Cittadella costituisce indubbiamente uno dei principali punti di riferimento dell'isola di Gozo. Costruita con il principale scopo di difendere l'isola dalle invasioni dei corsari, la sua attuale importanza non è solo dovuta agli elementi architettonici ma anche alla sua rilevanza storico-culturale. La Cittadella di Gozo sorge nella zona centro-ovest dell'isola al di sopra di un massiccio roccioso a 140 metri sul livello del mare, per una superficie di circa 2500 metri quadri, la metà dei quali risulta in stato di rudere.



Figura 1. Vista complessiva della Cittadella, lato sud. È visibile l'imponente affioramento roccioso che costituisce il basamento su cui la fortificazione poggia e l'articolazione della cinta muraria.

Il rilievo tridimensionale integrato della Cittadella di Gozo

Il progetto ha come scopo il rilievo tridimensionale della cittadella e delle porzioni di territorio correlate ad essa, al fine di operare un'analisi multiscala metrica, morfologica e diagnostica del complesso architettonico e le relazioni di quest'ultimo con il territorio immediatamente circostante.
Si è posto dunque il problema di progettare la realizzazione di una banca dati geometrica che costituisse il fulcro di un insieme di informazioni integrate, in grado di affrontare molteplici problematiche.

Una delle principali finalità è connessa alla descrizione ad alta definizione del contesto ambientale, per l'estrazione, a scala territoriale, di cartografia e sezioni morfologiche quotate sul livello del mare, che mettessero in evidenza tutti gli elementi naturali ed antropici presenti, ovvero una serie di muretti a secco a "contenimento" del terreno digradante circostante la Cittadella. Un tema importante in quanto varie ipotesi formulate individuano nelle trasformazioni e nella mancanza di manutenzione di quest'ultimi una delle cause fondanti di un insieme di dissesti idrogeologici in atto e responsabili, se non monitorati e valutati, di forti mutamenti di assestamento, se non di danni irreversibili, alla struttura fortificata.

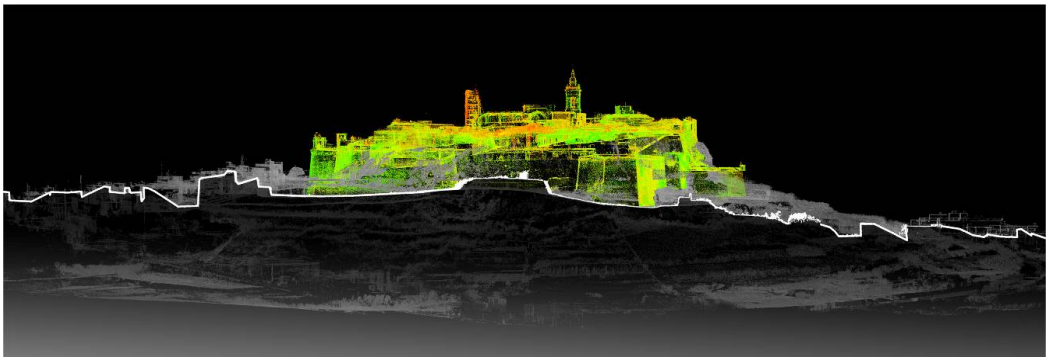


Figura 2. Sezione.

Un altro presupposto essenziale del progetto ha riguardato il rilievo di dettaglio delle superfici esterne e interne della cinta muraria di fortificazione della Cittadella e la documentazione dell'attuale stato di conservazione di strutture e superfici.

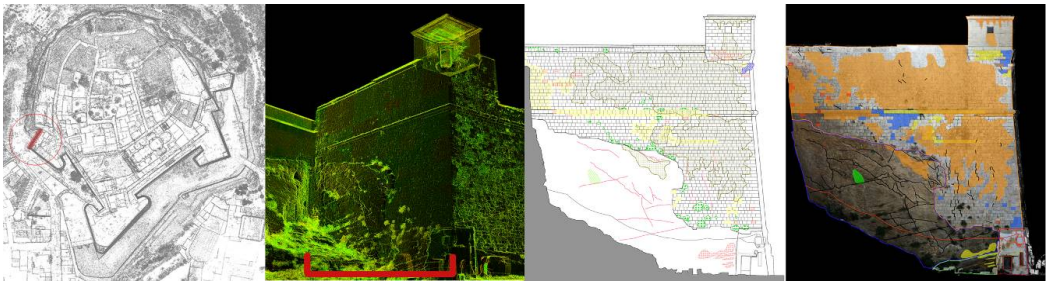


Figura 3. Bastione di San Martino. Localizzazioni delle superfici in oggetto. Viste della nuvola di punti della superficie in falso colore. Mappature del degrado e dei materiali rappresentate sull'ortofotopiano mediante individuazione delle macroaree in falso colore. Elaborati grafici in formato cad di restituzione della mappatura del degrado sulla superficie corrispondente.

Il principale obiettivo del rilievo tridimensionale ad alta definizione, oltre a quello primario di documentazione, è connesso all'esigenza di disporre di un modello in grado di identificare la geometria e la morfologia di ogni singolo elemento costituente le fortificazioni al fine di poter ottenere accurate rappresentazioni bidimensionali in grado di definire una base tecnico-scientifica sulla quale poter redigere il progetto di restauro. La banca dati può, inoltre, fornire un modello tridimensionale, accurato e ad alta definizione, delle strutture di fortificazione della Cittadella e del territorio dal quale poter estrarre nel tempo rappresentazioni bidimensionali (piante, sezioni, prospetti, ecc.), a supporto delle successive fasi di elaborazione del progetto di restauro e a più scale di dettaglio. Tale rilievo ha richiesto, viste le dimensioni e l'articolazione dell'oggetto, un progetto

approfondito e costantemente monitorato nel suo sviluppo, che tenesse conto di molteplici aspetti quali la geometria, la logistica (strettamente connessi fra loro), la produzione di materiale standardizzato in *post processing*, il controllo del flusso delle informazioni verso e da quei segmenti della filiera produttiva addetti all'*editing cad* per il completamento descrittivo del materiale, la formulazione di quest'ultimo in elaborati conformi agli standard UNI-ISO ed in ultima analisi il vincolo temporale, che spesso stabilisce la sostenibilità o meno (non solo finanziaria) di operazioni che prevedono un certo grado di complessità. Il rilievo metrico di dettaglio è stato eseguito mediante *laser scanner 3D*, tecnologia studiata per acquisire grandi quantità di informazioni in breve tempo; la natura del dato ottenuto è tridimensionale, e la metodologia è quindi in grado di acquisire l'oggetto nelle sue caratteristiche spaziali. Un rilievo ad alta definizione è in grado di generare un modello tridimensionale morfometrico dove forma e dimensioni sono descritte tramite insiemi di milioni di coordinate.

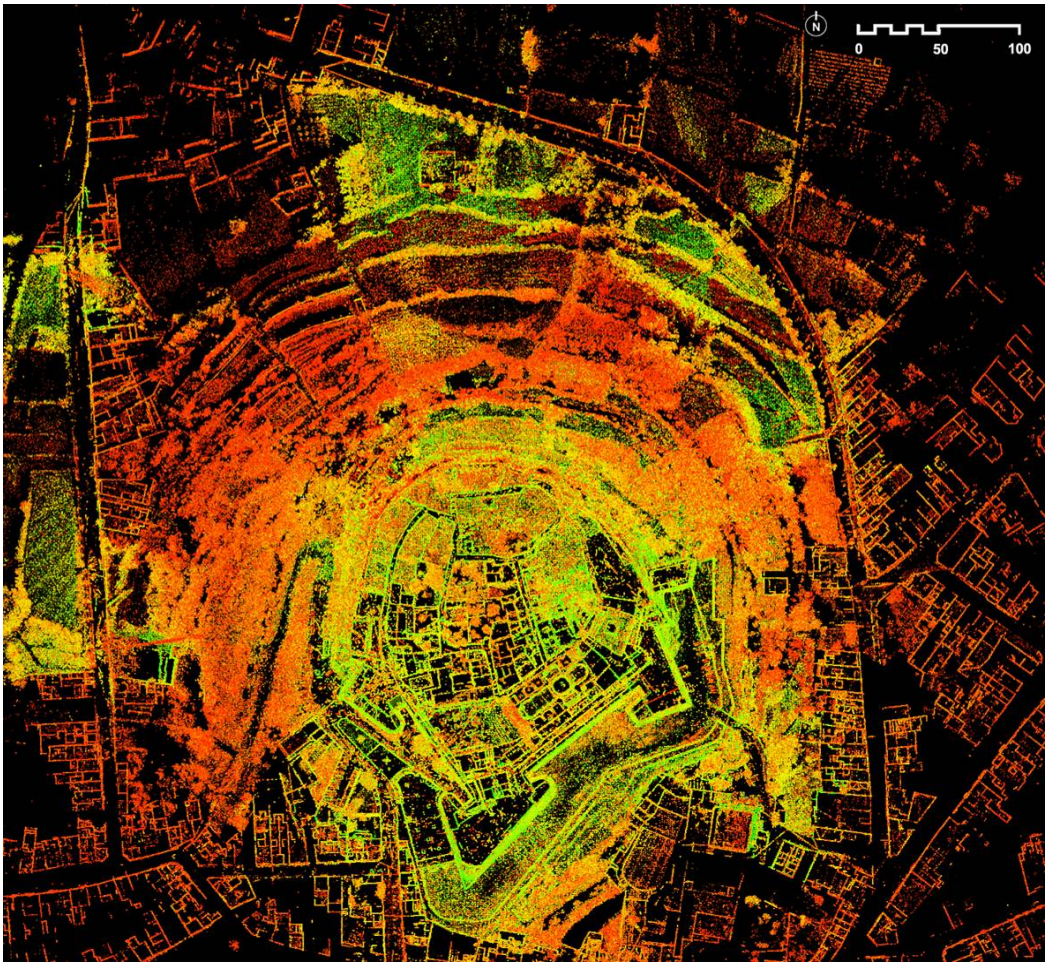


Figura 4. Vista planimetrica della Cittadella e dell'area ad essa circostante ottenuta dalla nuvola di punti del modello tridimensionale in falsi colori.

Questo modello in fase di restituzione consente un approccio multiscala all'indagine metrico-descrittiva, relazionando "il tutto" alle sue singole parti nel dettaglio, e rendendo la direzione del processo di interrogazione reversibile.
L'acquisizione si è sviluppata integrando la tecnologia *laser scanner* con il rilievo topografico. In particolare il rilievo plano-altimetrico realizzato con la stazione totale ha avuto il compito di generare una struttura geometrica che risolvesse le problematiche riguardanti la generazione del modello tridimensionale e l'istituzione di un sistema di coordinate che permettesse di mettere in relazione tra loro tutte o solo alcune parti del complesso rilevato. In tal modo è stato inoltre costituito il sistema di riferimento necessario per l'estrazione e la restituzione dei dati.
Complessivamente il rilievo è stato eseguito in quaranta giorni di acquisizione sul campo, realizzata da tre squadre di lavoro, due impegnate nella gestione dei due *laser scanner* a tempo di volo per il rilievo morfometrico tridimensionale e una per il rilievo topografico.
Sono state rilevate mediante metodologia di scansione 3D tutte le superfici della Cittadella: in particolare, il progetto era incentrato sull'acquisizione delle superfici esterne e interne della cinta muraria e dei bastioni e di tutti gli elementi architettonici caratterizzanti lo sviluppo di cinta del sistema fortificato: camminamenti, "traditori", gole, passaggi, parapetti, "orecchioni", pavimentazioni, superfici sommitali inclinate, ecc. Sono stati rilevati anche i volumi interni alla Cittadella, costituiti da diversi muri per lo più a secco e allo stato di rudere, che profilano gli antichi percorsi interni della zona medievale. Inoltre, il rilievo tridimensionale è stato applicato anche alle superfici esterne e interne della chiesa. A questo proposito un rilievo di dettaglio è stato messo in atto per acquisire il dipinto che, all'interno della chiesa, simula la volumetria tridimensionale della cupola, in realtà non presente, con un effetto *trompe l'oeil*. Durante le fasi conclusive del rilievo, anche i granai sotterranei sono stati rilevati.

Caratteristiche del contesto fortificato	
Superficie complessiva (proiezione piana)	mq 95.000 circa
Superficie lorda urbana (proiezione piana)	mq 20.000 circa
Superficie lorda ambientale (proiezione piana)	mq 75.000
Superficie complessiva mura (sviluppo e perimetro)	mq 22.500; ml 742
Rilievo topografico	
Unità di personale impiegato	n. 2
Strumento	n. 1, modello Leica TCR 1202
Tempo di esecuzione	giorni 15
Poligonali principali chiuse	n. 2
Poligonali di dettaglio aperte	n. 12
Vertici di poligonali	n. 104
Punti di dettaglio	n. 795
Compensazione ai minimi quadrati (sqm)	mm 3
Rilievo laser scanner 3D	
Unità di personale impiegato	n. 4
Strumento	n. 2 modello Leica HDS Scanstation 2
Tempo di esecuzione	giorni 40
Stazioni laser scanner 3D	n. 672
Target acquisiti	n. 277
Coordinate spaziali acquisite	n. 4.010.262.849
Valore medio di registrazione	mm 3

Figura 5. Dati significativi.

Tra le problematiche affrontate nell'organizzazione logistica e nell'esecuzione delle fasi di rilievo si evidenziano:
- la possibilità di immagazzinamento del materiale strumentale in situ, in modo da poter contare sulla disponibilità di un luogo sicuro in cui poter riporre l'attrezzatura a conclusione delle giornate di rilievo sul campo;
- l'accesso a tutti gli ambiti di rilievo, dagli ambienti interni ed esterni la cui apertura al pubblico è regolata dai custodi responsabili alle zone impervie e di difficile accessibilità;
- il posizionamento target;
- la frequente presenza turisti di flussi di turisti da gestire durante le fasi di rilievo affinché non venisse inficiato il dato di scansione;
- la disponibilità *hardware* di archiviazione della grande quantità di informazioni acquisite con l'avanzare del rilievo;
- il *post-processing* del dato in acquisizione;
- il *post-processing* del dato in fase di analisi;
- la costituzione di una banca dati organizzata per singolo elemento architettonico integrato ad un insieme descrittivo di dati aggiuntivi;
- il concetto di pacchetto dati aperto;
- la gestione del flusso delle informazioni in uscita (mediante infrastruttura server necessaria);
- la gestione del flusso delle informazioni di ritorno (completamento con il dato cad della banca dati);
- la redazione finale degli elaborati grafici di consegna.

Documentazione dello stato materico e conservativo della Cittadella e rilievo diagnostico

L'obiettivo principale del progetto di rilievo della Cittadella di Gozo era fortemente connesso alle esigenze di documentazione della consistenza materica e dello stato di conservazione del complesso, al fine di poter disporre di un supporto di elaborati grafici ad alta precisione metrico-morfologica e di una mappatura delle principali morfologie di degrado che interessano sia l'affioramento roccioso sul quale la Cittadella sorge che la totalità delle superfici architettoniche indicate da bando e comprendenti le superfici verticali, inclinate e orizzontali interne ed esterne all'anello della cinta muraria. Le operazioni di indagini a vista e di mappatura dello stato conservativo sono state eseguite in concomitanza alle operazioni di rilievo metrico-morfologico, e sono state svolte in situ per la durata di circa trenta giorni di sopralluogo. Tutte le operazioni di rilievo diagnostico sono state accompagnate da un rilievo e catalogazione fotografica ad alta definizione di tutte le superfici da documentare, creando una banca dati fotografica che, attraverso viste generali e di dettaglio, fino alla realizzazione di immagini "macro" utili alla caratterizzazione delle diverse morfologie di degrado, ha costituito la base per la prosecuzione del lavoro in laboratorio. La fase di rilievo diagnostico è stata preceduta da una ricognizione complessiva della Cittadella al fine di individuare le tipologie e le caratteristiche dei materiali che costituiscono le superfici e di individuare le morfologie di degrado che interessano tali superfici. A tal proposito, assumendo come riferimento di base il documento Uni Normal 1/88, è stato redatto un vero e proprio abaco costituito dall'elenco delle morfologie di degrado individuate, concordate con la committenza dopo diversi passaggi utili alla chiarificazione e all'accordo circa le situazioni di degrado attribuite a ciascuna nomenclatura. Le morfologie di degrado sono state suddivise in cinque categorie: degrado di natura fisico-chimica, degrado di natura chimica e dovuto alle condizioni ambientali, degrado biologico, degrado antropico e degrado strutturale. A ciascuna morfologia è stato attribuito un codice che corrisponde al *layer* di restituzione sui file cad.

L'indagine, dal punto dello studio dei materiali e dello stato conservativo, è stata effettuata sia per quanto riguarda l'affioramento roccioso costituente la base di appoggio di diverse porzioni della cinta perimetrale della Cittadella che le apparecchiature murarie. Le superfici murarie della Cittadella sono costituite da conci di calcare ricavato dalle cave presenti a Gozo. Rarissime sono superfici con presenza di intonaco, peraltro in lacerti in cattivo stato di conservazione, ad eccezione

del fronte interno dell'ingresso alla Cittadella. I conci sono posti in opera a secco o attraverso l'uso di diverse tipologie di malte di allettamento, stilate in giunti da fini a grossolani. I conci, a seconda del livello litologico di estrazione, sono caratterizzati talvolta da una grana fine e sabbiosa (calcareniti a granulometria "arenacea") e talvolta da calcareniti organogene a granulometria grossolana e bioturbazioni (*burrow*) evidenti: le bioturbazioni sono contro-impronte generate da anellidi (vermi, lombrichi, ecc.) che si infossavano nel sedimento molle a cercare nutrimento e che hanno lasciato traccia del loro passaggio depositando il fango ingerito o il loro stesso corpo: le tracce sono o parallele o perpendicolari al sedimento. Queste bioturbazioni presentano una cementazione, e di conseguenza una consistenza, superiore alla matrice di fondo, innescando quindi l'alveolizzazione o quella morfologia di degrado a reticolo o nido d'ape (degrado differenziale). La natura dei calcari costituenti i conci delle superfici crea situazioni di degrado preferenziale e molto caratteristiche: le morfologie prevalenti, soprattutto sulle superfici esterne della cinta muraria e dei bastioni, riguardano proprio l'alveolizzazione (tipica formazione di cavità a nido d'ape) e il cosiddetto "*back weathering*", perdita di strati paralleli del concio fino ad arrivare a sottoescavazioni più o meno profonde. Tale morfologia è stata attribuita anche a quei conci in cui le tenaci e ben cementate creste dovute alle bioturbazioni rimangono comunque in evidenza rispetto alla matrice del concio, sottoescavata: è in realtà un tipo di degrado individuabile come "degrado differenziale", nomenclatura non presente nel documento finale utilizzato per la mappatura. Le condizioni di esposizione delle superfici favoriscono inoltre il proliferare di organismi che creano sulle superfici diffusi strati di incrostazioni e patina biologica, oltre che ad una frequente presenza di vegetazione. Le morfologie di degrado tipiche delle superfici esposte agli agenti atmosferici (polverizzazione/disgregazione, scagliatura, erosione, croste nere in fase di neoformazione, ecc.) sono accompagnate da una serie di degradi di natura antropica: danni meccanici, inserti metallici, macchie, integrazioni incongrue con malta cementizia e numerose zone con presenza di incisioni e graffiti vandalici (annoverate nella categoria di "danno meccanico"). Le morfologie di degrado rilevate in situ sono state restituite, superficie per superficie, in forma di mappature in falso colore sugli ortofotopiani di ciascun fronte e delle pavimentazioni: a ciascun degrado è stato associato, oltre al codice di attribuzione corrispondente ai *layer* dei *files cad*, un falso colore utile alla rappresentazione delle macroaree di degrado mappate.

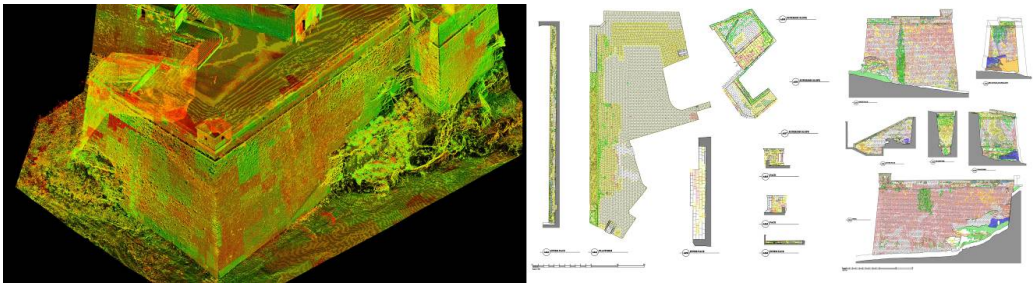


Figura 6. Vista della nuvola di punti del bastione di St. John. Il modello è visualizzato in falso colore. Restituzione vettoriale di tutte le superfici afferenti al bastione di St. John, sviluppata secondo la codifica dei comparti architettonici attribuita: i codici sono riportati accanto a ciascun prospetto. Sono riportati, su ogni singola superficie, anche i retini delle morfologie di degrado rilevate.

La cinta muraria della Cittadella è costruita, per la maggior parte del suo sviluppo, sui margini di un affioramento roccioso calcareo denominato *upper coralline limestone* che digrada in strati più friabili (*green sand formation*) e argillosi (*blu clay*). L'inclinazione degli strati è tale da dare luogo a una inclinazione a strapiombo nella direzione nord/nord-ovest e ad una lieve pendenza nella

direzione opposta. Le morfologie di degrado principali che interessano gli affioramenti rocciosi sono di natura geologico-strutturale: nella gerarchia di indagine a vista finalizzata alla mappatura del degrado, il quadro fessurativo ha costituito il primo livello di indagine: le fratture, a seconda delle diverse zone dell'affioramento, tagliano la roccia in modo verticale, obliquo e spesso anche orizzontale, ponendo porzioni di roccia a rischio di caduta a causa dei diversi fenomeni fessurativi, erosivi, e disgregativi, oltre che della naturale inclinazione cui è soggetto il lato nord-ovest. Sono poi state individuate numerose zone soggette a sottoescavazione (*back weathering*), a disgregazione/polverizzazione, a presenza massiva di vegetazione nonché di incrostazione biologica, e, in taluni casi, a forme di alveolizzazione delle creste.

Crediti

Restoration Unit - Construction and Maintenance Department - Work Division, *Ministry for Resources and Rural Affairs, Malta*
Director General: Raymond Farrugia; *Chief Architects:* Norbert Gatt, Hermann Bonnici; *Sen. Architect:* Ivana Farrugia (MGOZ); *Architect:* Tabitha Dreyfuss; *Supt. of fortifications:* Stephen C. Spiteri.

Consorzio Ferrara Ricerche
Responsabile amministrativo: Stefania Corsi (Direttore CFR); Matteo Balboni (Responsabile Ufficio Progetti CFR), *Key Expert 1,Team Leader*: Marcello Balzani (Direttore del DIAPReM – Università di Ferrara); *Key Expert 2* Responsabile della documentazione tecnica: Guido Galvani (Agave Srl); *Key Expert 3* Consulente alla geologia-petrografia: Giancarlo Grillini (CFR); *Key Expert 4* Restauro e conservazione dei materiali lapidei: Giorgio Croci (Studio Croci & Associati); *Key Expert 5* Consulente alla documentazione: Stefano Bertocci (Università di Firenze); *Rilievo 3D, coordinamento tecnico*: Filippo Casarini, Marcello Guzzinati (Agave Srl); *Documentazione dello stato conservativo e rilievo diagnostico*: Federica Maietti (CFR-DIAPReM); *Collaborazione alla restituzione del rilievo diagnostico*: Alessandra Alvisi, Alessandra Gola.
Società coinvolte: Agave Srl di Forlì (Pier Francesco Ricci), Digitarca Snc di Bari (Leonardo Chiechi), Berenice I.G. Srl di Padova (Lapo Cozzutto).

Restituzione 2D del rilievo morfometrico - Unità di Firenze
Responsabile scientifico: Stefano Bertocci (Dipartimento di Progettazione dell'Architettura, Università di Firenze); C*oordinamento scientifico*: Giovanni Pancani (Dipartimento di Progettazione dell'Architettura, Università di Firenze); *Coordinamento tecnico*: Carlo Raffaelli; *Restituzioni a cura di*: Silvia Barducci, Graziella Del Duca, Giulia Falugiani, Elisa Gaggini, Chiara Nespoli, Silvia Pirisino, Valentina Roggi, Tommaso Rossini, Noemi Secci, Gianfilippo Valentini, Nicolò Zuccherini.

Restituzione 2D del rilievo morfometrico - Unità di Ferrara
Coordinamento scientifico: Guido Galvani (Agave srl): *Restituzioni a cura di*: Federico Vecchiattini, Fabio Zecchi, Irene Pasello, *Elaborazioni grafiche:* Cristina Vanucci.
Integrazione rilievo tridimensionale con laser scanner 3D, realizzazione di fotopiani ad alta definizione, realizzazione del modello tridimensionale ibrido, modellazione solida e integrazione con modellazione in superfici triangolate da dato laser scanner 3D: Digitarca Snc di Bari: Leonardo Chiechi (responsabile), Gianni del Medico, Enzo Gassi, Lorenzo Ceo, Giovanni Bianco, Davide Campanile, Sabina Macchitella. *Elaborazione ed ottimizzazione del modello tridimensionale per scopi multimediali, web browsing e creazione mappa tridimensionale degli elementi di rilievo e degrado:* Federico Ferrari (Agave srl) e Lapo Cozzutto (Berenice I.G. Srl di Padova).

Implementazione di PostgreSQL-PostGIS per l'analisi di immagine satellitare: test di applicabilità per la batimetria marina

Aldo Banni, Monica Deidda

DICAAR, Università di Cagliari, via Marengo 2, 09126 Cagliari, fax 0706755402, tel. 0706755404

Introduzione

Nell'ambito del progetto PRIN2008 l'unità di ricerca di Cagliari è impegnata nell'individuazione di metodologie per l'implementazione di una serie di funzioni PostgreSQL-PostGIS per valutazioni statistiche e analisi delle serie temporali/spaziali, sia con algoritmi di uso generale sia con l'applicazione di modelli specifici. Il server PostgreSQL -PostGIS permette, infatti, l'inserimento di nuove funzioni, e librerie di funzioni, in aggiunta a quelle di corredo, quali operatori geometrici, funzioni geometriche, conversioni geometriche, operatori e calcoli matriciali.

Delle nuove funzioni si vuole, in pratica, verificare l'utilità, l'applicabilità e la correttezza in procedure di interazione su interfaccia WEB-GIS.

Procedure intese a fornire analisi e valutazioni non di precisione ma comunque utili come strumento di approccio e sperimentazione di metodologie di analisi. La validità delle funzioni implementate viene effettuata con l'ausilio di un WEB-GIS che, per quanto non di precisione, aiuta a verificare la correttezza dei modelli applicati e, riguardo alla validazione dei parametri, si tiene conto del livello di confidenza prefissato.

Allo scopo di verificare capacità e rendimento delle funzioni implementate in PostgreSQL-PostGIS è stato "trasferito" sul server uno studio di analisi di immagine satellitare per la determinazione delle curve batimetriche, precedentemente sviluppato in ambiente IDL-ENVI.

In particolare si è fatto ricorso alle funzioni GDAL PostGIS Raster per l'immissione delle immagini raster satellitari nel database, previa trasformazione in forma tabellare, così da poter essere in seguito utilizzate sia dalle funzioni originali PostgreSQL/PostGIS che da quelle da noi implementate.

Impianto e configurazione del sistema

Il sistema SW atto allo sviluppo della procedura è così configurato: *Linux kernel 2.6.32.1; Web Server: Apache, Tomcat*; DB Server: *PostgreSQL 9.1 + PostGIS 2.0 (raster data support)*; *Piattaforma Pubblicazione Dati Spaziali: MapServer (supporta PostGIS WKT Raster)*; *Piattaforma Sharing Dati Spaziali: GeoServer*; *Desktop GIS: QuantumGIS (supporta PostGIS WKT Raster)*.

La funzione *raster2pgsql* di PostGIS permette di inserire, "traducendolo", un file raster nel database.

Per l'inserimento da remoto dell'immagine da elaborare il server web è implementato con *script*, in *php* , di *uploading* e trasformazione. Gli *script* contengono in sintesi:

- Accesso al database specifico;
- Costruzione di pagina interattiva con "*form action*" diretta all'*uploading/elaborazione* (per caricare il file nella directory scelta si utilizzano semplicemente l'html markup `input type="file"` e la variabile php globale $_FILES);
- Funzione php system($raster2database) per l'esecuzione del comando PostGIS *raster2pgsql*, che costruisce la query per l'inserimento dell'immagine in forma di tabella;
- Esecuzione della query.

La tabella raster

La funzione di trasferimento di un file raster (per esempio un file TIFF) è

raster2pgsql -s 23032 -I -C -M -r -d /home/aldo/Ricerca/Ricerca_Papers/WEB-GIS/POSTGIS/ikonos_clip_rgbnir.tif ,-t 128x128 ik_128x128 > ikonos_poetto.sql

dove con -s si sceglie lo *Spatial Reference System Identifier;* con -t la dimensione (pixel X x Y) di ciascuna riga nella suddivisione dell'immagine (la necessità di dividere l'immagine in celle sarà esposta in seguito).

La query descritta dal file *ikonos_poetto.sql* serve per la costruzione di una tabella con i campi *rid* (di tipo intero, rappresenta il numero della riga che contiene i dati relativi ad una cella) e *rast* (di tipo raster).

Il tipo raster è una struttura contenente, tra l'altro, il numero di bande (4 nel nostro esempio), il *pixel-type* (nel nostro caso 16BUI: 16-bit unsigned integer) e i valori radiometrici per ciascuna banda per tutti i pixel della cella (compreso il valore *NULL* in caso di assenza di valore, nel partizionamento in celle alcune presenteranno dei pixel esterni all'immagine, e quindi senza valori radiometrici). La suddivisione in celle è funzione delle analisi che si vogliono fare, infatti nel nostro caso bisogna creare delle "*DOP Zone*", celle di estensione congrua alla omogeneità, e su queste effettuare calcoli statistici. Nel caso che la tabella raster sia stata costruita con celle troppo grandi il tempo di calcolo aumenta notevolmente se le *DOP zone* hanno estensione inferiore a quelle delle celle, dovendo estrarre quindi delle sotto-celle. Come con la generazione di serie di NxN pixel (costruzione di un poligono con la query PostGIS "*ST_UpperLeftX, ST_UpperLeftY, ST_UpperLeftX+ST_ScaleX*N, …, CROSS JOIN generate_series"*).

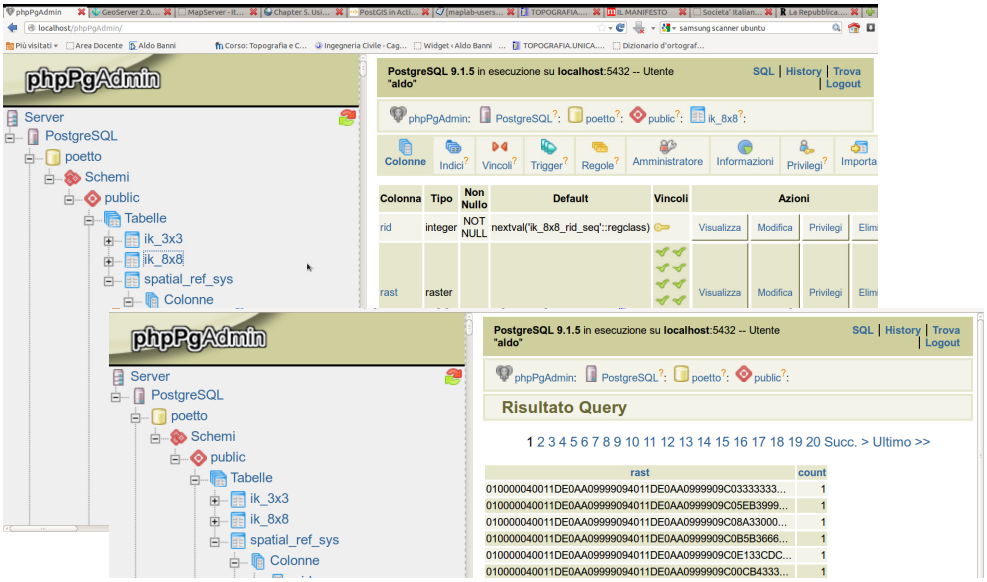


Figura 1. Immagine trasferita su raster con celle (righe rid) di dimensione 8x8 pixel (~ 25m x 25m).

Nuove funzioni di analisi ed elaborazione

L'esistente libreria di funzioni Post-GIS permette già molte operazioni e analisi sui raster: costruzione di poligoni da unione di pixel secondo il valore di una o più bande; campionamento e riduzione in scala; statistiche e istogrammi; operazioni algebriche tra i valori delle bande; restituzione del raster in formato GDAL e, quindi, in immagini JPEG, GTIFF o PNG.

Nel caso di una elaborazione matematica complessa il server PostgreSQL-PostGIS può essere implementato con nuove funzioni.

Infatti una delle principali caratteristiche di PostgreSQL è il supporto per l'implementazione di funzioni definibili dall'utente e sviluppabili in vari linguaggi di programmazione, quali script SQL, Perl, PHP, Python o compilati in C. Con l'ausilio di linguaggi genericamente chiamati *Procedural Language* (PL), PL/pgSQL, PL/Tcl, PL/Perl e PL/Python, gli script di programmazione sono implementati correttamente nella libreria di PostreSQL.

Per quanto riguarda le funzioni scritte in C/C++, vengono fornite le librerie dinamiche di interfaccia con il *DB server*.

Il test di applicabilità proposto riguarda il modello per la determinazione dei valori batimetrici in prossimità di coste marine mediante l'analisi di immagini satellitari.

Considerando che l'attenuazione della radiazione solare in acqua è una funzione esponenziale della profondità e ipotizzando che la qualità dell'acqua, e quindi il coefficiente di attenuazione e l'albedo del fondale siano costanti in tutta la porzione dell'immagine satellitare esaminata, i valori batimetrici vengono ottenuti attraverso interpolazione dalla serie osservativa relativa alle *DOP Zone*. Gli algoritmi delle funzioni di "lettura" delle immagini e di applicazione del modello sono già stati scritti e testati in linguaggio IDL-ENVI (Deidda M., Sanna G., 2012), quindi si è proceduto alla traduzione in linguaggio C++ utilizzando il Procedural Language (PL) per la loro implementazione come funzione PostgreSQL/PostGIS.

In particolare la funzione *batimetria* provvede alla procedura di calcolo batimetrico delle *DOP zone* e alla generazione di una tabella raster con una banda "profondità". Tabella raster poi visualizzabile (viene restituita un'immagine tiff o jpg o png).

```
#include "postgres.h"
#include "fmgr.h"
#include <string.h>
#include <math.h>

---------------------------

#ifdef PG_MODULE_MAGIC
PG_MODULE_MAGIC;
#endif

Datum batm( PG_FUNCTION_ARGS );

PG_FUNCTION_INFO_V1( batm );
Datum batm( PG_FUNCTION_ARGS )
{

----------------------------------------
```

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION
  batimetria( RASTER,GEOMETRY,DOUBLE PRECISION )
RETURNS
  INTEGER
AS
  'batimetria.so', 'batimetria'
LANGUAGE
  C
STRICT
IMMUTABLE;
```

Figura 2 a. Sorgente C++ della funzione "batimetria" e query per il suo inserimento nella libreria PostgreSQL.

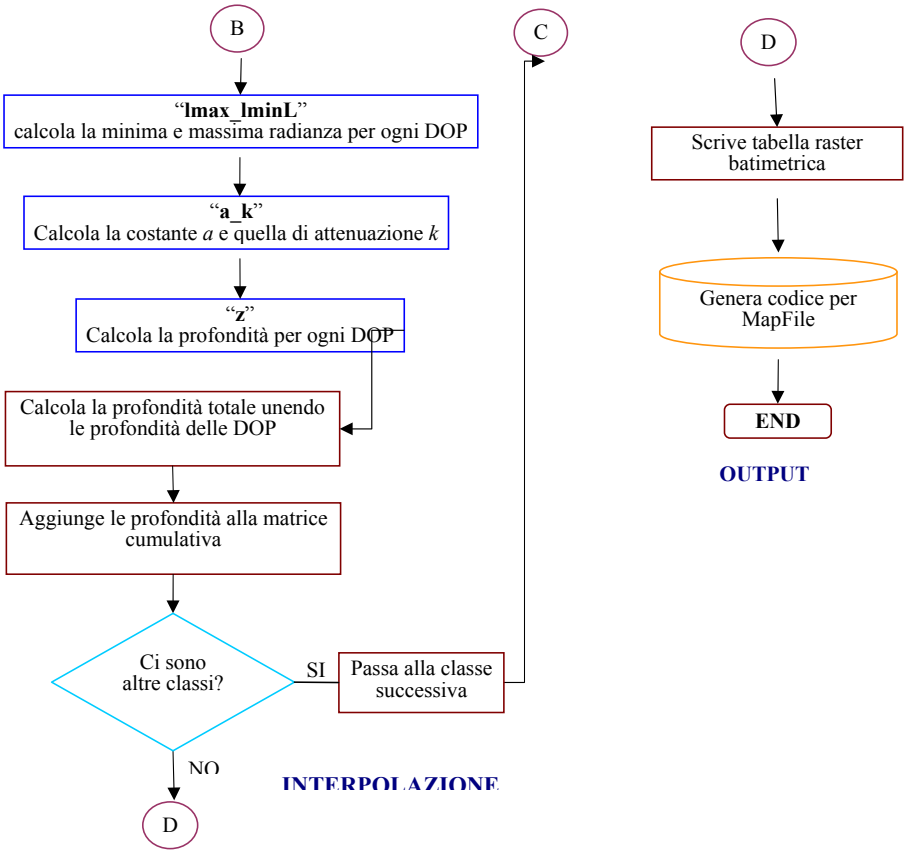


Figura 2 b. Diagramma di flusso della funzione "batimetria".

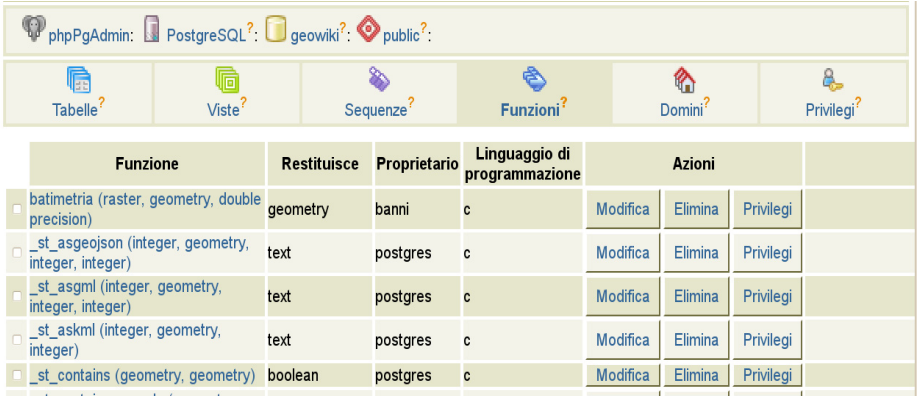


Figura 3. Libreria funzioni PostgreSQL implementata con "batimetria".

Come interfaccia WEB-GIS viene utilizzato MapServer con i supporti GDAL e PostGIS-Raster (in teoria qualunque pacchetto che utilizzi GDAL può supportare i dati PostGIS-Raster). La visualizzazione del raster batimetrico è permessa dalla costruzione del realtivo *layer* nel *MapFile,* come descritto in sintesi:

```
LAYER
        NAME batim_raster
        TYPE raster
        STATUS ON
        DATA "PG:host=localhost port=5432 dbname='ik_8x8' user='banni' password='5cher7o0'
                schema='public' table='ikonos_band2' mode='2'"
        PROCESSING "NODATA=0"
        PROCESSING "SCALE=AUTO"
                CLASS
                NAME "curva1"
                EXPRESSION ([pixel] < 20)
                COLOR 250 250 250
        END
        CLASS
                NAME "curva2"
                EXPRESSION ([pixel] > 20 AND [pixel] < 1000)
                COLOR 255 0 0
        END
        CLASS
                NAME "curva3"
                EXPRESSION ([pixel] >= 1000)
                COLOR 0 255 0
        END
END
```

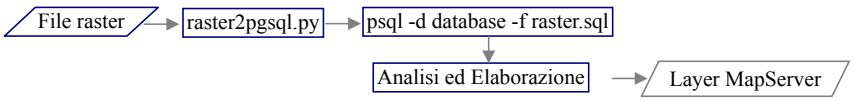


Figura 4. Diagramma di flusso dall'immagine satellitare al Layer MapServer.

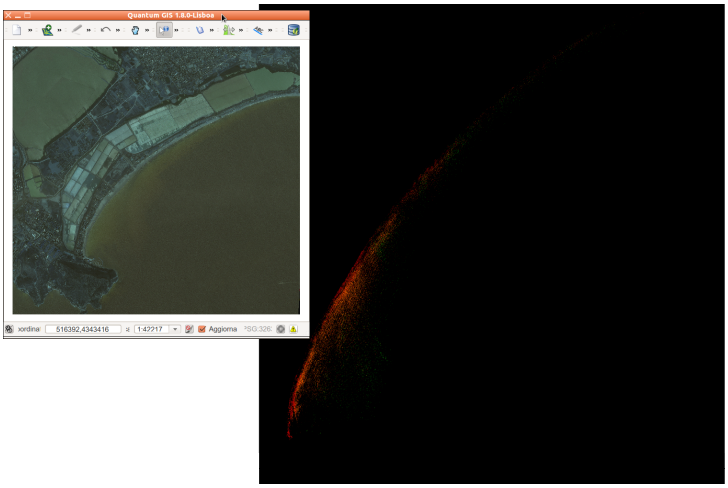


Figura 5. Dal raster rgbIr al raster "DOP zone" ottenuto utilizzando la funzione "batimetria" nella query.

Bibliografia

http://www.postgresql.org
http://postgis.refractions.net
http://trac.osgeo.org/postgis/wiki/WKTRaster
http://mapserver.org
Deidda M., Sanna G. (2012) "Bathymetric extraction using WorldView-2 high resolution images". *ISPRS Archives*, Volume XXXIX-B8
Deidda M., Sanna G. (2012) "Pre-processing of high resolution satellite images for sea bottom". *Italian Journal of Remote Sensing*, 44(1), pp. 83-95
Jupp, D.L.B., (1988), "Background and extensions to depth of penetration (DOP) mapping in shallow coastal waters". *Proceedings of the Symposium on Remote Sensing of the Coastal Zone*, Gold Coast, Queensland, September 1988, IV.2.1-IV.2.19

Studio degli effetti dell'intrusione del cuneo salino sulla vegetazione costiera mediante dati satellitari

Maurizio Barbarella (*), Michaela De Giglio (**), Alessia Avantaggiato (*)

(*) DICAM, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna, maurizio.barbarella@unibo.it
(**) CIRI ICT, Università di Bologna, Via Venezia 52, 47521 Cesena, michaela.degiglio@unibo.it

Riassunto
Le Pinete costiere ravennati (Emila-Romagna, Italia) costituiscono una delle maggiori aree boschive residue della pianura padana, rappresentando un patrimonio naturalistico e turistico di grande importanza. Studi recenti hanno dimostrato che l'acquifero costiero e i corsi d'acqua superficiali, presenti nell'area, sono interessati dal fenomeno dell'intrusione del cuneo salino, di origine sia antropica che naturale. Dato che la salinizzazione del suolo influisce sulle caratteristiche della vegetazione, il ricorso ai dati telerilevati ha rappresentato un nuovo approccio alla problematica analizzata: alterazioni relativamente piccole della concentrazione di sali inducono infatti cambiamenti, nelle proprietà delle foglie e della copertura vegetale, che sono osservabili attraverso misure eseguite con diverse lunghezze d'onda dello spettro.
In particolare sono stati utilizzati dati multispettrali Aster (acquisiti tra il 2002 e 2010), che uniscono economicità e un sufficiente numero di bande (14), per studiare la variazione del comportamento spettrale delle specie vegetali costituenti le Pinete, verificando eventuali situazioni di stress, di malattia e anomalie riconducibili a prolungate modifiche delle normali condizioni di salinità. A questo scopo e con il supporto di diversi dati ancillari, come dataset idrogeologici, stratigrafici e altri, l'indagine ha previsto principalmente il calcolo di indici di vegetazione e il ricorso ad alcune valutazioni statistiche.

Abstract
The coastal pine forests of Ravenna (Emilia-Romagna, Italy) are parts of remaining wooded areas within the Po Valley and represent a natural heritage and a touristic appeal. Recent studies demonstrated that the coastal aquifer and surface water are affected by the intrusion of salt wedge. Since the salinization of soil and underlying strata affects vegetation health, further studies has been realized through the analysis of remote sensing data: relatively small changes in the concentration of salts are able to induce changes in the properties of the leaves and vegetation cover. In particular, a dataset acquired by the ASTER sensor between 2002 and 2010 were used due to the sufficient number of bands designed in the infrared spectrum. The variation of the spectral behavior of plant species forming the pine forests are the main interest of this project being able to detect possible state of stress, disease and abnormalities due to prolonged changes of normal salinity. Various ancillary data, such as geological, stratigraphic and others, have been used in addition to the calculation of vegetation indices and conclusions drawn through the use of basics statistical evaluations.

Area di studio
Le aree boschive in esame (Fig.1), caratterizzate da diverse tipologie di ambienti (fiumi, canali, dune, zone umide) che le rendono topograficamente e morfologicamente complesse, sono la pineta di San Vitale e la pineta di Classe, situate rispettivamente a nord (estensione di circa 1133 ha) e a sud (estensione di circa 900 ha) della città di Ravenna.

Entrambe si insediano su antiche paleodune, la cui formazione è legata alle fluttuazioni eustatiche del mare e ai forti fenomeni di subsidenza cui è soggetta la zona, che hanno portato, nel corso dei millenni, al progressivo avanzamento e arretramento della linea di costa modificando continuamente l'ambiente costiero: dapprima in palustre ad acqua dolce e successivamente in lagunare ad acqua salmastra. Nella morfologia delle pinete è possibile infatti osservare l'alternanza tra "staggi" (dossi sabbiosi) e "basse o bassure" (depressioni interdunari) dove l'acqua ristagna più o meno permanentemente. La ricarica dell'acquifero freatico avviene tramite precipitazioni meteoriche, corsi d'acqua e canali. Mentre gran parte della pineta S.Vitale risulta essere sotto il livello del mare per l'intero anno, per la pineta di Classe, avendo una quota più elevata, i valori del livello di falda sono quasi ovunque superiori al livello del mare, sia d'estate che di inverno, creando un battente di acqua dolce che contrasta l'intrusione del cuneo salino.
Per brevità, avendo ottenuto risultati analoghi per entrambe le pinete, si riportano di seguito solo quelli relativi a S.Vitale.

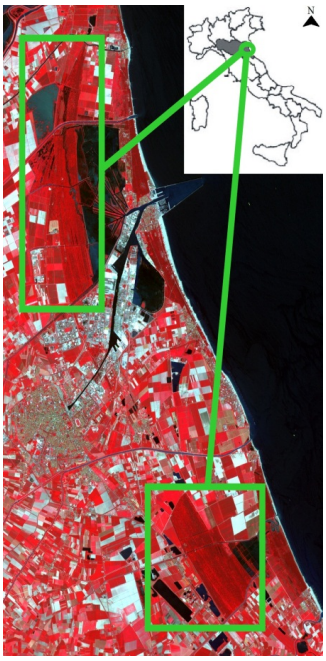


Figura 1. Area di studio (Parco del Delta del Po): Pineta di S.Vitale (a nord) e Pineta di Classe (a sud).

Intrusione salina

L'intrusione salina viene definita come il movimento continuo o temporaneo di acqua salata all'interno della terra con conseguente spostamento di acqua dolce che provoca la formazione del cuneo salino, ovvero una massa di acqua salata con sezione cuneiforme appoggiata sulla base dell'acquifero e con il vertice verso l'interno (Custodio, 1996). Data l'interazione tra due fluidi miscibili, non esiste una netta superficie di separazione ma una zona dinamica di miscelamento che dipende dalle proprietà chimiche e idrauliche dei fluidi, dalla diffusività e dispersività del mezzo e dalle caratteristiche del movimento: l'acqua infatti si muove anche per variazioni del livello piezometrico dei due liquidi. L'intrusione all'interno dell'acquifero, ma anche dei corsi d'acqua superficiali, ha origini sia antropiche che naturali. Le dune che in passato proteggevano il territorio dal mare, sia come barriere naturali, sia perché garantiscono, con la ricarica superficiale di acqua piovana, un innalzamento della falda freatica, sono state in gran parte distrutte. L'altra causa che ha contribuito al fenomeno osservato è la subsidenza naturale cui è soggetta l'area del ravennate che, nel corso degli anni, è stata favorita dallo sfruttamento incontrollato della falda acquifera e dall'estrazione di gas naturale.

Dati disponibili

L'analisi delle immagini satellitari è stata preceduta dalla rielaborazione di dati raccolti durante una campagna annuale di monitoraggio (ottobre 2004 - ottobre 2005), condotta dal CIRSA -Università di Bologna, sia in una rete di 22 piezometri distribuita nell'area di San Vitale, che lungo scoli, canali, chiari e fiumi, e da cui sono state ottenute mappe mensili di salinità superficiale (maggio, giugno, luglio e agosto, Fig.2). La salinità, maggiore nelle stagioni calde a causa della minore piovosità e dell'evapotraspirazione più intensa, aumenta da Ovest verso Est, verso la Piallassa (zona umida, Parco del Delta del Po) e le aree più depresse (10-15 g/l). La parte settentrionale della Pineta, data la quota più elevata e la mancanza di una diretta influenza della Piallassa, risulta essere la zona meno soggetta all'intrusione dell'acqua salata (< 7 g/l).
Per quanto riguarda i dati multispettrali sono state utilizzate immagini Aster, coeve alle misure a

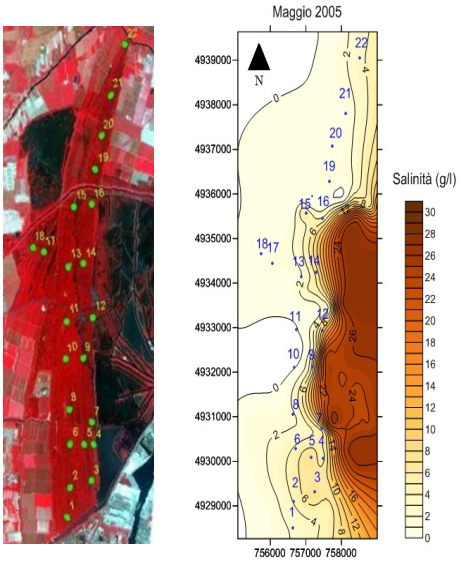


Figura 2. Rete piezometri S.Vitale (sinistra), Mappa salinità maggio 2005 (destra).

Pineta San Vitale	
ANNO 2005	**Giugno (diversi anni)**
26/05/2005	19/06/2002
02/06/2005	08/06/2004
11/06/2005	14/06/2006
29/07/2005	24/06/2007
30/08/2005	26/06/2008
	09/06/2010

Figura 3. Dati Aster utilizzati.

terra, acquisite con cadenza mensile per il 2005 e annuale, in corrispondenza del mese di giugno, dal 2002 al 2010 (Fig.3).

Vegetazione presente ed effetti della salinità

I diversi habitat presenti rendono la pineta di San Vitale una zona di transizione tra terra e mare. La vegetazione xerofila (tipica dei climi aridi), situata sui cordoni dunosi, è costituita da farnia, roverella, pino domestico e marittimo, e latifoglie (tipo mesofilo e termofilo). Nelle bassure, dove l'umidità è medio elevata, la vegetazione è di tipo meso-igrofila, idrofitica di acqua dolce e salmastra con la presenza di un bosco igrofilo (pioppo bianco, frassino, olmo campestre). A nord, le specie arbustive sono ampiamente presenti in comunità pre-forestali o come sintomo di degradazione del bosco.

La salinizzazione del suolo e della falda freatica è una delle principali cause che portano ad un progressivo degrado delle pinete con diminuzione e cambiamento delle specie vegetali, alterandone crescita, fotosintesi, sintesi delle proteine e metabolismo. Gli effetti morfologici che si riscontrano sono variazioni nella colorazione delle foglie, ispessimento dello spessore fogliare e diminuzione della lunghezza degli steli; inoltre, sempre sulle foglie, si possono manifestare bruciature marginali e necrosi.

Si ricorda che la varietà della vegetazione, oltre a comportare diversi livelli di tollerabilità alla salinità, implica anche una maggiore difficoltà nell'interpretazione della risposta spettrale.

Indici di vegetazione

Gli indici spettrali di vegetazione sono combinazioni algebriche dei valori di riflettanza acquisiti dai sensori satellitari a diversi intervalli di lunghezze d'onda, calcolati pixel per pixel su l'intera immagine. Sfruttano il tipico comportamento della vegetazione ad avere una bassa riflettività nel visibile (0.4-0.7 µm), con un picco di assorbimento nel rosso (0.66 µm), dovuto all'attività dei pigmenti fogliari, in contrapposizione ad una forte riflettività nell'infrarosso vicino (0.75-1.3 µm) a causa delle strutture vegetali (mesofillo). Il più utilizzato è l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), che si basa sulla differenza normalizzata dei valori di riflettività ρ nel vicino infrarosso e nel rosso:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{rosso}}{\rho_{NIR} + \rho_{rosso}}$$

La funzione, per definizione, è delimitata nell'intervallo [-1,1]: valori negativi o bassi corrispondono ad acqua, suolo o roccia nuda, valori da 0.2 – 0.6 indicano presenza di vegetazione con un massimo di 0.8 per superfici con vegetazione abbondante. L'incremento della riflettività

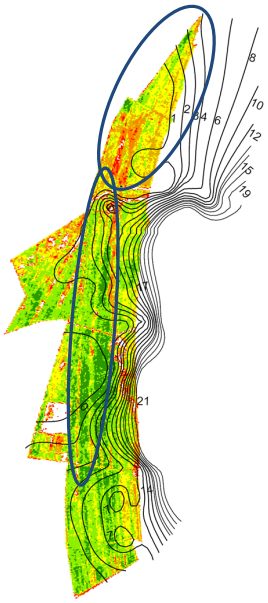


Figura 4. Mappa Salinità (mg/l) maggio 2005 (sfondo NDVI 26/05/2005).

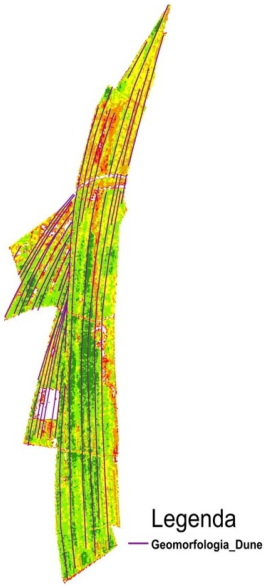


Figura 5. Morfologia delle paleodune (sfondo NDVI 26/05/2005).

nel rosso e la sua riduzione nel vicino infrarosso, sono considerati come elementi segnalatori della diminuzione del contenuto di clorofilla e del danneggiamento della struttura cellulare di vegetazione sottoposta a stress salino (Carter, 1993; Wang et al., 2002).

✓ Distribuzione spazio-temporale mensile di NDVI (2005): le zone meno sensibili alla salinità sono la fascia centro-occidentale e l'area settentrionale con vegetazione per lo più arbustiva (Fig.4). Da una visione complessiva dell'NDVI (calcolato sulle immagini, contemporanee ai dati a terra, di maggio, giugno, luglio e agosto), la vegetazione più rigogliosa sembra concentrarsi nella parte centrale della pineta: tende a distribuirsi lungo fasce longitudinali seguendo l'andamento degli antichi cordoni dunari presenti (Fig.5). Le dune infatti, permettendo un locale abbattimento del cuneo salino e favorendo l'accumulo di acqua dolce, costituiscono un ambiente favorevole per un florido sviluppo delle piante; le interruzioni, tra le fasce vegetate, corrispondono alle bassure

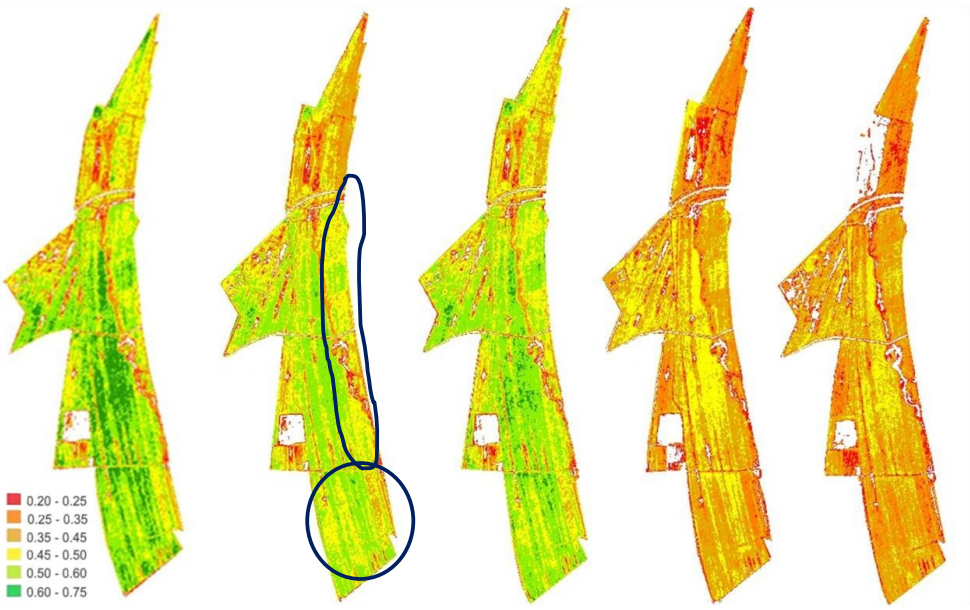


Figura 6. NDVI 2005: da sinistra verso destra, 26/05/05, 02/06/05, 11/06/05, 29/07/05, 30/08/05. I cerchi evidenziano la fascia orientale in prossimità della Piallassa e la zona meridionale, a cui corrispondono bassi valori di NDVI.

dove la quota più bassa e l'elevata salinità compromettono la vegetazione. La minore risposta lungo i corsi d'acqua potrebbe essere dovuta sia al fenomeno di risalita di acqua salata proveniente dalla Piallassa, che aumenta nei mesi estivi, sia al tipo di vegetazione prevalentemente legnosa. In prossimità della Piallassa (fascia orientale) e nella zona meridionale, si hanno in generale valori bassi di NDVI (da 0.2 a 0.5) rispetto alle realtà circostanti. Si sottolinea inoltre che al degrado della risposta della vegetazione (Fig.6), visibile di mese in mese, contribuisce il naturale progredire della stagione estiva.
Dopo un'analisi dell'NDVI in tutta l'area della pineta si sono scelte tre zone omogenee (Nord, Sud e Centro) per poter studiare in ciascuna l'andamento dell'indice di vegetazione medio (Fig.7). Nella zona nord il basso valore NDVI è legato alla presenza di una vegetazione diversa rispetto le altre aree e l'andamento dell'indice non è connesso con il problema della salinità. Nell'area centrale, dove la vegetazione non è particolarmente coinvolta dallo "stress salino", il valore dell'indice medio è sempre il maggiore mentre nell'area sud, zona interessata dal fenomeno della salinità, l'NDVI medio si esplicita con valori minori. Le tre curve seguano lo stesso trend con una diminuzione generale dell'NDVI medio da maggio ad agosto, legata all'aumento delle temperature.



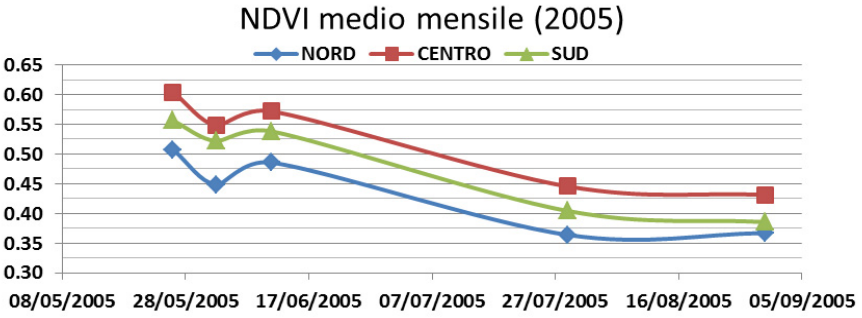


Figura 7. Aree utilizzate per il calcolo dell'NDVI medio (destra); andamento dell'NDVI medio, nei diversi mesi del 2005.

✓ Distribuzione spazio-temporale annuale di NDVI (giugno): E' stata eseguita anche un'analisi dell'NDVI, sulle stesse tre aree, considerando un arco temporale più ampio (mese di giugno per sette anni). L'indice, in ogni area, ha un andamento variabile di anno in anno testimoniando il cambiamento della risposta vegetazionale in base alle condizioni di temperatura e precipitazione. Si distingue un trend comune per tutti gli anni analizzati, con la zona centrale maggiormente vegetata mentre le aree meridionali e settentrionali presentano una minore attività vegetativa (Fig. 8).

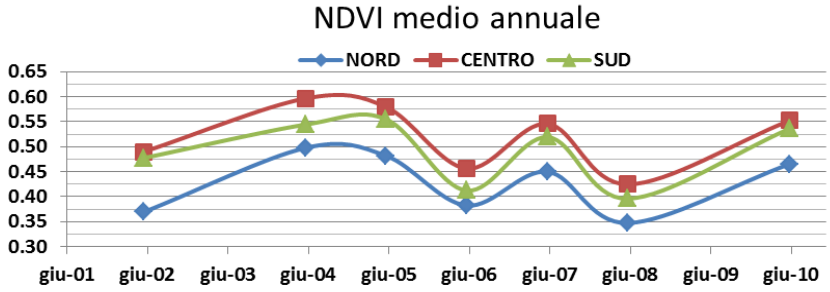


Figura 8. Andamento dell'NDVI medio annuale (mese di giugno, 2002-2010). Le aree considerate sono riportate in Figura 7.

Analisi della distribuzione dei valori di NDVI
Per studiare la distribuzione dei valori di NDVI si è analizzato il dato del 26/05/2005, la cui vegetazione risulta meno interessata dal regime termo-pluviometrico, suddividendo in senso

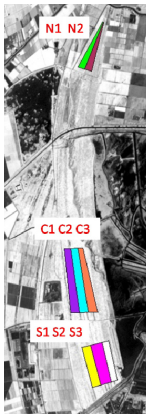


Figura 9. Sottoaree.

longitudinale le aree precedentemente scelte (Fig.9). Dopo aver calcolato le statistiche dei campioni di pixel (media, deviazione standard) sono stati elaborati gli istogrammi di frequenza, da cui si è evidenziato un andamento asimmetrico, valutato successivamente con la funzione di *Skewness* di una variabile casuale monodimensionale.

✓ Sottoaree N1-N2 (Fig. 10): in entrambi i casi, i valori di NDVI medio sono inferiori rispetto alle altre zone analizzate, per la presenza di vegetazione arbustiva che, per le sue caratteristiche morfologiche, ha una riflettività minore. La positività del coeff. di asimmetria (Skew) nell'intorno dello zero mostra come i valori siano ben distribuiti attorno alla media, con tendenza a valori più alti di NDVI, anche se in N1 si evidenzia un andamento bimodale, corrispondente alle due principali risposte date dalla vegetazione (i due picchi si hanno a 0.51 e a 0.57).

✓ Sottoaree C1-C2-C3 (Fig. 11): nelle sottoaree C1, C2 e C3 i valori di NDVI medio coincidono (0.60) e confermano una situazione stabile per la vegetazione. In tutte e tre, la Skew assume valore negativo, indicando una tendenza dei valori a spostarsi a destra del valor medio (valori più bassi di NDVI). In C3, la maggiore frequenza nell'intorno di 0.4 rispetto al resto della coda, potrebbe segnalare una vegetazione sofferente, data la vicinanza alla Piallassa e l'aumento della salinità da est verso ovest, soprattutto nella zona più a sud (Fig 13).

✓ Sottoaree S1-S2-S3 (Fig. 12): rispetto all'area centrale, quella meridionale presenta valori di NDVI minori pur avendo circa la stessa vegetazione; una diminuzione probabilmente legata alla forte salinità cui è soggetta la zona. In S1, meno influenzata dalla vicinanza della Piallassa, il coefficiente di asimmetria è prossimo allo zero e quindi i valori sono distribuiti attorno al valore medio. In S2, la dispersione dei valori aumenta, così come la salinità; ma con frequenza bassa. Occorre sottolineare infatti che qui si hanno NDVI maggiori rispetto le sottoaree limitrofe, perché è quasi certamente collocata su un cordone dunare che garantisce una migliore condizione vegetativa. In S3, prossima alla Piallassa, si riscontrano indici di vegetazione minori, sopratutto nella fascia orientale. L'istogramma, caratterizzato da due picchi (compresi tra 0.4 – 0.5 e 0.55 - 0.62), evidenzia una coda a sinistra con frequenze alte: la concentrazione di molti pixel nel primo intervallo, con valori di NDVI molto inferiori a quelli tipici della vegetazione, potrebbe testimoniare la presenza di un'area di forte salinità (Fig 12).

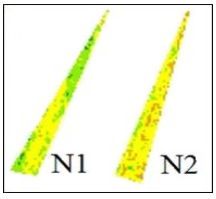
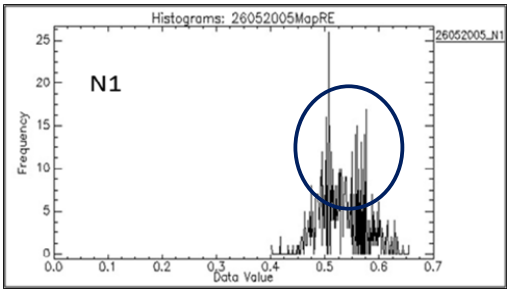
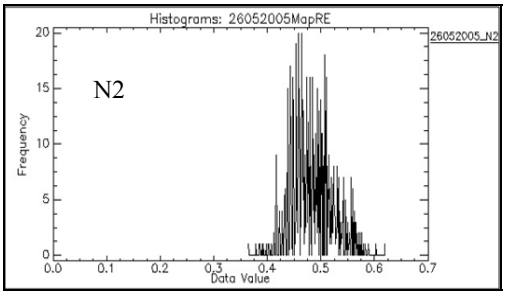


Figura 10. Mappa valori di NDVI, NDVI medio, Deviazioni Standard, skewness delle sottoaree N1 e N2 (sopra); Istogrammi di frequenza per i valori di NDVI dei pixel di N1 e N2 (sotto).

Aree	NDVI medio	Deviazione Standard	Skewness
N1	0.53	0.04	0.30
N2	0.48	0.04	0.35





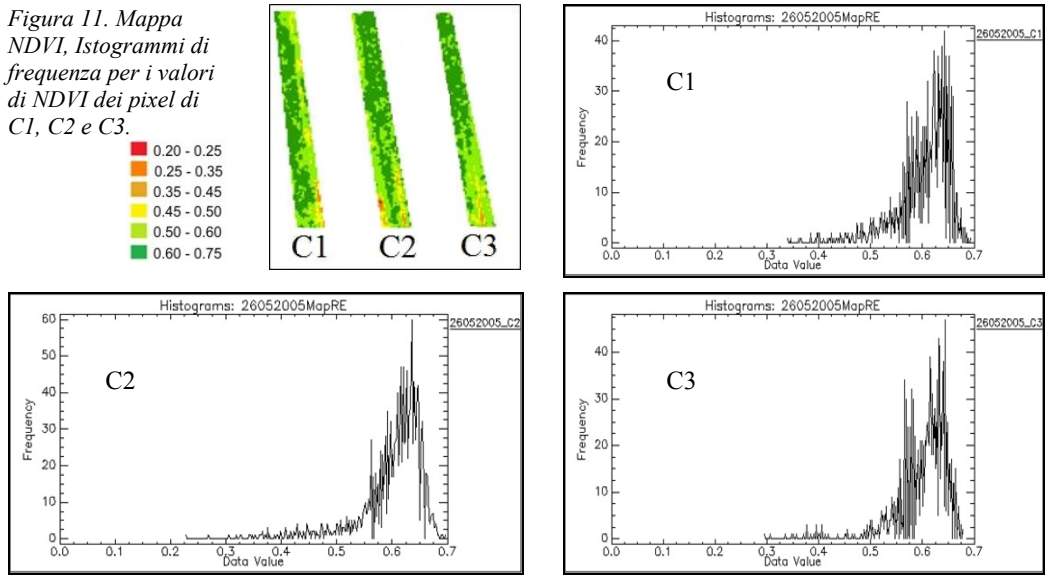


Figura 11. Mappa NDVI, Istogrammi di frequenza per i valori di NDVI dei pixel di C1, C2 e C3.

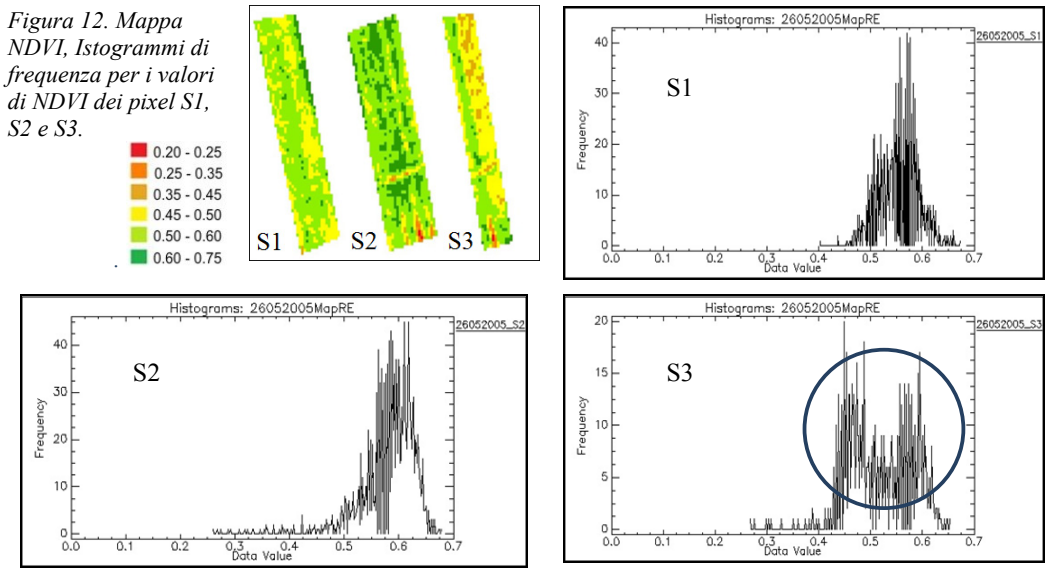


Figura 12. Mappa NDVI, Istogrammi di frequenza per i valori di NDVI dei pixel S1, S2 e S3.

Aree	NDVI medio	Deviazione Standard	Skewness
C1	0.60	0.05	- 1.56
C2	0.60	0.05	- 2.13
C3	0.60	0.04	- 2.08
S1	0.55	0.04	0.03
S2	0.58	0.05	- 2.04
S3	0.52	0.06	- 0.19

Figura 13. Valori NDVI medio, Deviazioni standard, Skewness nelle sottoaree C1, C2, C3, S1, S2 e S3.

Considerazioni finali

La pineta di San Vitale è fortemente interessata da un degrado della vegetazione causato dall'intrusione salina nelle acque di falda e superficiali. La disponibilità di dati di monitoraggio e di studi precedenti, ha permesso di creare un quadro riassuntivo delle caratteristiche delle Pinete, definendo un riferimento affidabile per lo studio degli effetti dello stress salino mediante le immagini satellitari. L'approfondimento proposto da questo lavoro ha avuto come obiettivo il riscontro dei danni provocati dal cuneo salino, attraverso tecniche proprie del Telerilevamento che introducono un diverso punto di osservazione e ampliano l'area di indagine. Il calcolo dell'NDVI, basato sulle bande del rosso e del vicino infrarosso, particolarmente sensibili alla risposta spettrale delle specie vegetate, ha portato alla realizzazione di mappe relative alla distribuzione spazio-temporale dei valori dell'indice, tramite le quali sono state individuate delle aree popolate da vegetazione definibile "sofferente". Il confronto con i dati a terra ha confermato poi la corrispondenza con le zone sensibili al problema della salinità, riportate anche in letteratura. Infine, il tracciamento dell'andamento degli NDVI medi nel tempo (in mesi successivi e in anni consecutivi nello stesso mese), calcolati su tre aree campione caratterizzate da una certa omogeneità vegetativa interna, è risultato coerente con le considerazioni fatte sulle aree a rischio. Inoltre, attraverso lo studio dell'asimmetria della distribuzione dei valori dell'indice, valutata sul solo dato di maggio 2005, si è potuto verificare intorno a quali livelli di NDVI si concentrano le piante dal comportamento anomalo.

Il passo successivo sarà quello di estendere ulteriormente, sia spazialmente che temporalmente, questo tipo di analisi, ricorrendo se possibile ad immagini a maggiore risoluzione geometrica, molto più onerose ma che permetterebbero di discriminare le singole specie vegetali coinvolte da tale problematica.

Ringraziamenti

Si ringrazia il CIRSA (Università di Bologna–Ravenna) per i dati del monitoraggio 2004/2005 e diversi dataset informativi forniti.

Bibliografia

Antonellini M., Mollema P., Giambastiani B., Bishop K., Caruso L., Minchio A., Pellegrini L., Sabia M., Ulazzi E., Gabbianelli G. (2008), "Salt water intrusion in the coastal aquifer of the southern Po Plain, Italy". *Hydrogeology Journal* 16: 1541–1556.

Antonellini M., Mollema P. (2010),"Impact of groundwater salinity on vegetation species richness in the coastal pine forests and wetlands of Ravenna, Italy". *Hydrogeology Journal* 36 :1201–1211.

Carter G., (1993), "Responses of leaf spectral reflectance to plant stress". *American Journal of Botany*, Vol. 80, No. 3, pp. 239-243.

Avantaggiato A., (2012), "Utilizzo di dati satellitari per l'analisi degli effetti dell'intrusione di cuneo salino sulla vegetazione costiera". Tesi di laurea specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, A.A. 2011/2012 Università di Bologna.

Giambastiani B. M. S. (2006). "Evoluzione idrologica ed idrogeologica della Pineta di SanVitale (Ravenna)". Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Ambientali, XIX Ciclo, A/A 2006-2007, Università di Bologna.

Gitelson A., Kaufman .Y, MerzlyakM.. (1996). "Use of a Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS", *Remote sensing environmental* 58: 289-298. Elsevier science inc., 1996.

Pellegrini L. (2005). "Caratterizzazione idrologica dell'acquifero freatico della Pineta di Classe (Ravenna)". Tesi di laurea specialistica in Scienze per l'Ambiente e il Territorio. A.A. 2004/2005. Università di Bologna.

Wang D., Poss J. A., Donovan T. J., M. C. Shannon, Lesch S. M., (2002), "Biophysical properties and biomass production of elephant grass under saline conditions", *Journal of Arid Environments* 52: 447–456.

Confronto fra l'archivio dei fabbricati (AdT) e il censimento degli edifici (ISTAT): sinergie a valore aggiunto tra istituzioni pubbliche

Antonio Barbarisi (*), Davide Fardelli (**), Silvia Talice (***)

(*) Agenzia del Territorio, Largo Leopardi 5, Roma, antonio.barbarisi@agenziaterritorio.it
(**) ISTAT, Viale dell'Oceano Pacifico 171, Roma, fardelli@istat.it
(***) ISTAT, Viale dell'Oceano Pacifico 171, Roma, talice@istat.it

Riassunto
L'Agenzia del Territorio che amministra, tra l'altro, il catasto dei fabbricati e l'Istat che negli ultimi due censimenti rileva gli edifici, stanno attuando un progetto di confronto dei loro dati allo scopo di semplificare i rispettivi compiti istituzionali migliorando allo stesso tempo la qualità degli archivi e di conseguenza dei servizi ai cittadini. Nel presente lavoro si descrivono le impostazioni scelte e le modalità di realizzazione dei passi fin qui svolti.

1.Caratteristiche degli archivi catastali

La gestione del territorio nell'epoca moderna richiede conoscenze e sistemi sempre più integrati. In campo immobiliare la gestione delle informazioni territoriali richiede la corretta individuazione dei beni immobili, il loro posizionamento sul territorio, e il collegamento con i relativi soggetti titolari di diritti reali. L'Agenzia del Territorio risponde a questa esigenza primaria dei processi di governo del territorio attraverso un architettura di sistema complessa ed articolata incentrata sugli archivi catastali. In un ottica di progressivo miglioramento della qualità delle banche dati è stato introdotto di recente l'entità logica fabbricato i cui attributi sono contenuti in uno specifico archivio la cui gestione è attualmente affidata ad una procedura operativa presso tutte le sedi periferiche degli uffici provinciali.
Il fabbricato nell'inventario catastale attuale è associato al concetto di unità immobiliare e di particella in quanto individualità elementari di censimento dei beni immobiliari per lo scopo fiscale, mentre sul piano propriamente cartografico esso si rappresenta come composto di uno o più corpi di fabbrica (poligoni elementari della cartografia). Su questi elementi è stato costruito un concetto "moderno" di fabbricato dotato di una propria fisionomia sul presupposto che le banche dati hanno valenza non esclusivamente fiscale e quindi non più subordinato alla unità immobiliare inteso come un'entità geometrica composta da uno o più corpi di fabbrica ricadenti nella stessa particella e ordinariamente caratterizzato da omogeneità tipologica-costruttiva e architettonica-compositiva, unitarietà progettuale temporaneità costruttiva. L'unità fabbricato è una entità logica complessa la cui definizione deriva da quella di corpo di fabbrica in quanto singola costruzione rappresentata in cartografia catastale da una linea chiusa contenente spazi utilizzabili stabilmente insistente su un'unica particella ed è pertanto georiferito sul territorio è dotato di caratteristiche tecniche, edilizie ed urbanistiche proprie è composto da una o più unità immobiliari. All'impianto tutti i dati del fabbricato sono desunti dagli atti catastali elaborando le informazioni delle singole unità immobiliari componenti.
Il fabbricato è l'elemento che permette di registrare in banca dati il ciclo di trasformazione edilizia dei beni immobiliari e di rappresentarne gli aspetti essenziali in coerenza con la loro collocazione sul territorio e la loro trasformazione strutturale in quest'ottica favorisce il dialogo con cittadini, professionisti ed enti che sono interessati o responsabili dei cambiamenti territoriali, e migliora la qualità intrinseca delle banche dati portando alla semplificazione dei sistemi di gestione e analisi dei

dati e tendenziale innalzamento del loro livello di qualità con una maggior efficacia delle operazioni di accertamento e valutazione degli immobili ed un supporto efficace al progetto di riforma/revisione degli estimi. In ultimo ma non per importanza al Miglioramento della capacità di colloquio e di interoperabilità con i sistemi informativi di altri Enti (Comuni, Istat, Regioni, Ministeri, Protezione civile, Soprintendenze, ecc.). In quest'ottica è stato possibile studiare nuove sinergie di comunicazione con i dati del censimento dell'Istat per mezzo della straordinaria coincidenza tra l'introduzione di questo nuovo modello inventariale catastale ed l'attuale censimento degli edifici dell'Istat. I primi passi condotti in questo ambito hanno consentito di porre le basi di un progetto importante per il sistema Paese ed ambiziosi nell'obiettivo di far dialogare basi dati e sistemi fino a qualche tempo fa ritenuti incompatibili. L'avvicinamento tra edifici e fabbricati è avvenuto attraverso la sintesi e la modulazione dei molteplici aspetti dello stesso oggetto reale inteso come costruzione edilizia di cui i due universi informativi rappresentano analoghi aspetti.

2.Uso del catasto cartografico per la preparazione della rilevazione dei numeri civici

Nel censimento degli edifici del 2001 l'Istat non aveva tenuto conto della possibilità di georeferenziare le informazioni degli stessi all'interno delle sezioni di censimento. Nel corso della preparazione delle attività censuarie nel 2011 ci si è trovati di fronte a due possibili scelte: rifare completamente il censimento dei fabbricati o rinunciarvi. Nello scegliere la prima opzione si è ripensato al modo in cui acquisire le informazioni sul territorio. La disponibilità della cartografia catastale utilizzata nel precedente Censimento dell'Agricoltura ha consentito di progettare in modo nuovo la rilevazione. L'elemento innovativo è stato quello di assegnare ai fabbricati catastali, la mappa dei quali è stata fornita dall'Agenzia del Territorio, un codice univoco per sezione di censimento. Il codice doveva essere, per esigenze di restituzione cartacea e per minimizzare il rischio di errori di inserimento, più compatto possibile. Codici alfanumerici di 2 lettere (che consentono di codificare fino ad un massimo 702 edifici per sezione) sono stati riportati su mappe digitali contenenti, oltre ai fabbricati catastali, ortofoto, grafi stradali e limiti di sezione.

Contestualmente alla preparazione delle mappe l'Istat ha avviato dal 2008 la creazione di liste comunali di indirizzi, aggiornati e integrati con gli archivi di Poste Italiane, successivamente normalizzati e georeferenziati. Tali liste sono state predisposte per i centri abitati dei comuni al di sopra di 20.000 abitanti e dei capoluoghi di provincia.

L'insieme di liste di numeri civici per sezioni di censimento 2011 e delle relative mappe hanno dato modo di effettuare nel 2010, per i 508 principali comuni, la Rilevazione dei Numeri Civici (RNC) e il Censimento degli Edifici 2011. Con tali strumenti il rilevatore comunale ha potuto associare al singolo fabbricato catastale non solo le informazioni già chieste al 2001, ma anche tutti gli indirizzi ad esso relativi. La possibilità di avere le informazioni su sezioni di censimento, fabbricati catastali e indirizzi, tra loro collegati e georeferenziati, apre le porte ad una serie di possibili prodotti utili alle pubbliche amministrazioni centrali e locali che va ben oltre gli obiettivi censuari.

3.Il ruolo del GIS nella correlazione delle informazioni catastali con il censimento

La Rilevazione dei Numeri Civici, come già detto, si è svolta con l'ausilio di mappe su base catastale, aventi ciascuna dimensione 1000*1000 pixel, prodotte per ogni sezione censuaria a scale differenti in funzione dell'estensione dell'area, e georeferenziate su immagini satellitari in modo da acquisire sistematicamente le coordinate geografiche degli edifici. Mediante un codice in linguaggio Python, scritto con l'ausilio della funzionalità Model Builder di ArcGIS, per ogni unità immobiliare presente nei fogli catastali, è stata calcolata la posizione del baricentro nel sistema cartesiano proiettato (UTM), scelto il Datum WGS 84; l'informazione ricavata è stata aggiunta agli altri caratteri individuati durante le operazioni di rilevazione. Contestualmente alla fase di rilevazione, gli addetti hanno appuntato sull'immagine cartografica della sezione, le posizioni degli edifici osservati, ma non riscontrabili sui fogli catastali. Dalla mappa, considerato l'angolo superiore sinistro come origine degli assi cartesiani, è possibile estrarre le coordinate dei punti aggiunti dai

rilevatori, espresse nell'unità di misura pixel. La procedura, individuata per calcolare automaticamente l'ubicazione geografica dei punti aggiunti sui fogli di rilevazione, consiste nell'acquisire i parametri di ogni mappa prodotta e nell'integrare gli stessi in funzioni matematiche che trasformino le coordinate da pixel a metriche.

4.Sperimentazione dell'integrazione dell'anagrafe catastale con il censimento degli edifici.

4.1.Fogli e Particelle ISTAT/AdT

Il censimento degli edifici, durante la RNC, è stato effettuato in 508 Comuni, selezionati tra quelli con una popolazione maggiore di 20.000 abitanti (al 31/12/2007) e capoluoghi di provincia, solo nei centri abitati[1] del Comune (**loc1**). Come base di partenza al Comune era fornita una mappa (vedi allegato) per ogni sezione di censimento contenente l'ortofoto (fonte Agea), il grafo stradale (fonte TeleAtlas) e i poligoni dei fabbricati (fonte AdT) estratti dal Catasto Cartografico. Dunque, il censimento degli edifici ha avuto come input iniziale tutti i fabbricati presenti all'interno del Catasto Cartografico[2], aggiornato ad Ottobre 2010. Il Comune, attraverso la rilevazione sul campo, doveva rilevare l'edificio individuato in mappa, inserendo le variabili richieste, quali l'uso dell'edificio, il tipo dell'edificio, il materiale usato per la struttura portante, l'epoca di costruzione, lo stato di conservazione, gli interni abitativi e non, la presenza dell'ascensore e il numero di piani. Se durante la rilevazione sul campo, si riscontrava un edificio, il quale non era presente sulla mappa, il Comune avrebbe dovuto aggiungere l'edificio per poter integrare la banca dati esistente. Questa applicazione era possibile attraverso un *tool* predisposto nel portale della rilevazione (http://rnc.istat.it). Il Comune durante la rilevazione non aveva a disposizione le variabili localizzative ed identificative catastali dell'edificio, così terminata la rilevazione e restituite le informazioni all'ISTAT, occorreva ricondurlo ed identificarlo attraverso il Foglio e la Particella catastale di partenza. Dunque, per quanto riguarda gli edifici confermati (cioè quelli presenti come input della rilevazione) si è provveduto ad abbinare il Foglio e la Particella (corrispondente a quella del Catasto Cartografico) attraverso un codice (**FP-istat**). Invece, per gli edifici aggiunti dal Comune, poiché non erano presenti come input iniziale, si è dovuto procedere, dapprima con la trasformazione delle coordinate da un formato *pixel* ad uno terreno (sempre con il sistema di riferimento WGS84), e in secondo luogo attraverso operazioni GIS di *geoprocessing* all'attribuzione del Foglio e Particella.

Il secondo archivio si riferisce a quello del Catasto Censuario Urbano dell'Agenzia del Territorio, dove sono presenti tutti i fabbricati di un Comune. Questi sono tutti identificati sempre con Foglio e Particella del Catasto Urbano. Dato che l'Agenzia del Territorio sta verificando con apposite verifiche e controlli la corrispondenza tra il Catasto Urbano (Fabbricati) e il Catasto Terreni (Fig. 1), ove è stata riscontrata la presenza del poligono all'interno del Catasto Cartografico, di conseguenza è presente anche il Foglio e la Particella del Catasto Terreni.

Questa relazione è sintetizzata nel campo correlazione, il quale può assumere un valore pari ad 1, se ci troviamo in presenza del duplice identificativo sia del Catasto Urbano che del Catasto Terreni; e un valore pari a 0, se non vi è un riscontro del fabbricato nel catasto terreno. Dunque, nel caso di correlazione pari a 0 sarà presente solamente il Foglio e Particella del Catasto Urbano. Poiché i Fogli e le Particelle presenti nel catasto cartografico (cioè quello utilizzato per la base di partenza per la RNC), corrispondono solo a quelli del catasto terreni, si è provveduto a creare un identificativo per ogni fabbricato formato dall'unione del campo foglio e particella del catasto terreno (**Ft_Pt**) per tutti i fabbricati con correlazione 1 (**PFT**) e un secondo codice identificativo formato dall'unione del foglio e della particella del catasto urbano (**F_P**), per tutti i fabbricati con

[1] I centri abitati sono aggregati di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili caratterizzati dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici (chiesa, scuola, stazione ferroviaria, farmacia, ufficio pubblico, negozio e simili) che determinano un luogo di raccolta anche per gli abitanti delle zone limitrofe (ISTAT, "Progetto Census 2010. Manuale di Aggiornamento delle Basi Territoriali per i Comuni", 2009).

[2] Si fa presente, che il catasto cartografico è stato dovutamente trasformato dal formato vettoriale CFX al formato vettoriale *shapefile* (formato vettoriale utilizzato dalla ESRI), adattandolo al sistema di riferimento WGS84.

correlazione 0 (**PF**). Questo secondo passaggio è stato effettuato in via sperimentale, in quanto si propone il tentativo di collegare tra il catasto urbano e quello cartografico. Infine, ogni record veniva riconosciuto con il codice **FP-istat** costituito dal codice **Ft_Pt** se aveva correlazione pari ad 1 oppure **F_P** se aveva correlazione pari a 0.

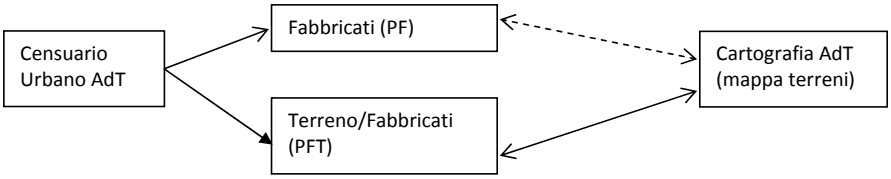


Figura 1. Rappresentazione della relazione tra l'Archivio Censuario Urbano e l'Archivio Cartografico dell'AdT. Fonte: Ns. Elaborazione.

Ulteriori operazioni preliminari da predisporre nel catasto urbano dell'AdT sono state l'eliminazione di tutti i record duplicati con correlazione pari ad 1. In caso di presenza di duplicati con stesso **FP-istat**, ma con diversa correlazione, si dava precedenza a quelli con correlazione positiva. Inoltre, sono stati setacciati tutti gli eventuali errori presenti all'interno dell'Archivio Censuario Urbano. Altra possibile rettifica da apportare è stata la possibile assenza della voce Foglio e/o Particella, la quale assenza comporta la non corretta identificazione del record e di conseguenza l'eliminazione del record stesso.
L'apparato metodologico utilizzato per poter predisporre i due database (AdT e RNC) per un proficuo confronto e, pertanto, renderli comparabili, innanzitutto è stato quello di ricondurre ogni singolo record a Foglio e Particella univoci (operazione costituita dal raggruppamento della variabile **FP-istat**). Poiché la RNC si è effettuata esclusivamente nei centri abitati (**loc1**) del Comune, una delle prime operazioni è stata l'estrapolazione dal Catasto Cartografico con un "carotaggio" dell'elenco delle particelle ricadenti all'interno del centro abitato. Questa operazione è stata possibile attraverso l'operazione GIS di *geoprocessing* (*clip*) tra il formato vettoriale (shapefile) del catasto cartografico e le Basi Territoriali Istat. Una volta ottenuta la lista delle particelle catastali (identificate sempre dal codice **FP-istat**), si procede al *linkage* tra queste e il censuario urbano. Dal prodotto ottenuto da questa operazione si possono ricavare le seguenti informazioni (Fig. 2):

- l'elenco per Comune dei Fabbricati (Foglio e Particella) ricadenti all'interno del centro abitato (**loc1**);

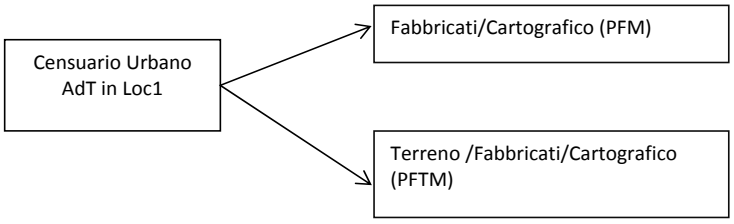


Figura 2. Rappresentazione del linkage tra il Censuario Urbano e la Cartografia AdT dei centri abitati. Fonte: Ns. Elaborazione.

- il recupero dei fabbricati non presenti nell'archivio terreni (con correlazione 0) fino a considerarli collegati (**PFM**). Tutti i record aventi correlazione 0 (i quali non avevano una relazione con il catasto terreni/archivio cartografico), i quali sono riusciti ad avere un esito

positivo con il *linkage*, possono essere potenzialmente ritrovati nell'archivio cartografico (mappa).

A tal punto abbiamo ottenuto due *database* organizzati e standardizzati per essere confrontati attraverso il codice identificativo **FP-istat** nei centri abitati. Dal link otteniamo l'Archivio Censuario Urbano AdT linkato con gli edifici rilevati durante la RNC. Invece, tutto ciò che non è linkato tra i due database porta alla creazione di due residui (Fig.3):

1. Censuario AdT non rilevato in RNC
2. Rilevato RNC non presente in censuario AdT.

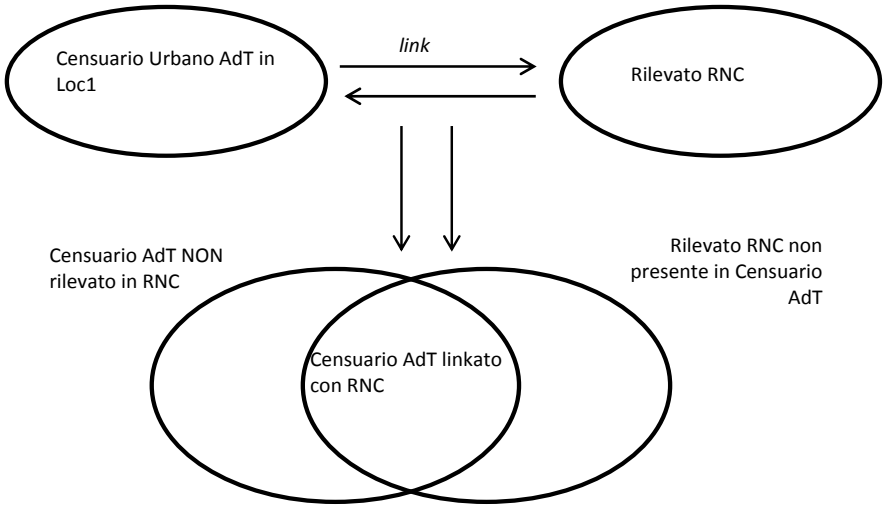


Figura 3. Rappresentazione del linkage tra i database Censuario AdT non rilevato RNC e Rilevato RNC non presente in Censuario AdT.

4.2.Confronto Edifici RNC e fabbricati AdT

Una volta ricavate le tre liste di **FP-istat**, una per l'intersezione in comune e le rimanti due per i residui non collegati, si ha la possibilità di conoscere il contenuto informativo espresso in corpi di fabbrica ed edifici. Se in precedenza la nostra variabile identificativa era il codice **FP-istat**, rappresentante il foglio e la particella catastale, d'ora in poi occorre sviluppare la stessa particella in Corpo di Fabbrica, quando si interpella l'Archivio Censuario Urbano, e in Edificio quando si interpella l'Archivio della RNC.

Il Corpo di Fabbrica è un campo (corpi in cartografia) presente all'interno del Censuario Urbano, il quale indica il numero di fabbricati (poligoni sulla mappa del catasto cartografico) identificati all'interno della particella catastale (Fig. 4). Il campo corpi in cartografia è valorizzato esclusivamente per tutte le particelle per tutti i fabbricati del Censuario Urbano con correlazione pari ad 1. Invece, per i restanti fabbricati con correlazione pari a 0, questo campo risulta non valorizzato. Poiché l'archivio censuario urbano contiene tutti i fabbricati del Comune, si presuppone che tutti i valori pari a 0 della correlazione 1 e tutti i fabbricati della correlazione 0 avessero almeno un Corpo di Fabbrica. Da questa presupposizione si rettifica il campo corpi in cartografia con il valore pari ad 1 per tutti i fabbricati con correlazione 0 e sempre con il valore pari ad 1 per tutti i fabbricati con correlazione 1 aventi un valore pari a 0.

Dopo quest'ultima rettifica si possono confrontare il numero di Corpi di Fabbrica dell'Agenzia del Territorio e gli Edifici dell'Istat.

Le operazioni successive tendono a sviluppare nel dettaglio la classificazioni dei Corpi di Fabbrica e degli Edifici. Per quanto riguarda le variabili confrontabili si possono tenere in considerazione i Corpi di Fabbrica/Edifici:

- Non utilizzati
- Residenziali
- Non residenziali

Per i soli Corpi di Fabbrica, e non per gli Edifici, si considerano anche i "non classati".
Per migliorare il risultato del *linkage*, si sta predisponendo una piattaforma che approfondisca il collegamento tra i due residui attraverso l'indirizzo. Poiché il codice **FP-istat** non riesce a collegarsi tra i due residui, si propone il tentativo di aggancio degli Edifici rilevati in RNC ma non presenti nel censuario AdT e il Censuario AdT non rilevato in RNC. Questa attività richiede un processo di normalizzazione e standardizzazione degli indirizzi.



(a) (b)

Figura 4. Esempi di Corpi di Fabbrica multipli in una particella (a); Esempio di Corpi di Fabbrica UNICI in una particella (b)
Fonte: Ns. Elaborazione.

4.3.Confronto interni UIU tra gli Edifici RNC/Corpi di Fabbrica (Ad&T) di Tipo Residenziale.

Un'ulteriore analisi di confronto che è possibile comparando i due archivi amministrativi riguarda il numero di interni abitativi e non abitativi. Per numero di interni si intende l'insieme delle unità immobiliari (abitazioni, esercizi, uffici e simili) contenute in un edificio alle quali non si accede univocamente dall'esterno (aree di circolazione come vie o piazze), ma da scale interne, corti o cortili dell'edificio stesso e delle unità immobiliari abitative che hanno accesso diretto dall'area di circolazione. Da questa rilevazione sono esclusi dal conteggio le pertinenze (cantine, garage, torrette, soffitte, magazzino, deposito, locali per gli attrezzi, ecc.), sia che abbiano l'entrata all'esterno che all'interno dell'edificio (pag. 23, "Manuale per le operazioni sul campo", ISTAT 2010). In sintesi, saranno considerati interni abitativi quelli assimilabili alle abitazioni e alle convivenze (come ad esempio pensioni, B&B, ostelli, case famiglia), invece, saranno conteggiati gli interni come non abitativi gli uffici e i laboratori, escludendo sempre e in ogni caso tutti gli interni con accesso diretto dall'area di circolazione. Questo tipo di informazione è stata rilevata solamente per gli edifici i quali sono stati definiti come residenziali. Dunque, per tutti gli edifici in cui gli stessi sono stati costruiti solo a fini abitativi oppure utilizzati principalmente a fini abitativi è possibile confrontare il numero di interni abitativi e non abitativi con i dati dichiarati all'interno del Catasto Urbano.
Le variabili degli interni della RNC sono estraibili dal Catasto Urbano attraverso le Unita Immobiliari Urbane (U.I.U) appartenenti alle singole categorie catastali.

Per poter confrontare gli Interni RNC con un proprio corrispondente delle UIU del Catasto Urbano, occorre selezionare – sempre dalle Particelle che risultano *linkate* tra RNC e AdT – dal Catasto Urbano **tutti i fabbricati di tipo residenziale**. Da questi occorre escludere tutti i fabbricati che hanno tutte le UIU appartenenti alla categoria catastale "Immobili non censibili" (Gruppo F) e, inoltre, occorre escludere tutte le UIU classificate come "Magazzini e locali di deposito" (C2) e come "Stalle, scuderie, rimesse, autorimesse" (C6). Entrando nel dettaglio è stato anche possibile confrontare il numero delle Unità Abitative e NON Abitative. Per quanto riguarda il Catasto Urbano per poter estrarre le Unità abitative occorre conteggiare tutte le UIU appartenenti alle unità abitative (Gruppo A) escludendo le Unità adibiti ad uffici e studi privati. Invece, il conteggio delle UIU non abitative consiste nel considerare le restanti categorie catastali, quali unità a destinazione pubblica senza fine di lucro (Gruppo B), Unità a prevalente destinazione commerciale[3] (Gruppo C), immobili a destinazione speciale (Gruppo D) e a destinazione particolare (Gruppo E).

5.Risultati ottenuti e sviluppi

È importante sottolineare che le caratteristiche di partenza dei due archivi utilizzati sono molto diverse per struttura degli oggetti elencati e per esigenze alle quali dovevano rispondere. Il lavoro svolto fino ad oggi ha portato a migliorare molto le percentuali di record linkati man mano che si comprendevano i significati dei parametri registrati nei record esaminati. Resta tuttavia la consapevolezza che i fabbricati catastali non rilevati nella RNC sono oggetti reali sui quali i cittadini pagano le imposte, e che gli edifici non registrati in anagrafe censuaria sono oggetti reali che i rilevatori hanno descritto recandosi in campo durante il censimento. Il compito di ridurre il numero di record non linkati al minor numero possibile deve quindi essere ulteriormente perseguito, prima di procedere agli approfondimenti sopra descritti. Per migliorare il risultato del *linkage*, si sta predisponendo una piattaforma che cerchi il collegamento tra i due residui attraverso l'indirizzo. Questa attività richiede un processo di normalizzazione e standardizzazione degli indirizzi.

Appare evidente che, una volta linkati con sicurezza, i due archivi potranno essere ripuliti e quindi utilizzati insieme in una formidabile sinergia anche nell'ottica del censimento continuo.

[3] Si rammenta che le categorie C/2 e C/6 sono state escluse fin dall'inizio in quanto non erano oggetto della rilevazione delle RNC.

Individuazione di discariche mediante segmentazione del dato satellitare

Vincenzo Barrile (*), Giuliana Bilotta (**), Giuseppe M. Meduri (*)

(*) Dipartimento MECMAT (Meccanica e Materiali), Facoltà di Ingegneria Università Mediterranea di Reggio Calabria, Via Graziella Feo di Vito, 89100 Reggio Calabria, Tel. +39 0965 875301
vincenzo.barrile@unirc.it, giumed@libero.it
(**) Dottorato NT&ITA (Nuove Tecnologie e Informazione Territorio Ambiente), Dip. di Pianificazione, Università IUAV di Venezia, Santa Croce 191 Tolentini, 30135 Venezia, giuliana.bilotta@gmail.com

Riassunto
Le discariche illegali mettono a rischio la tutela dell'ambiente e minacciano fortemente il territorio a causa del pesante impatto paesaggistico e ambientale, costituendo una fonte di pericolo per la salute e la sicurezza degli abitanti.
L'attività di controllo del territorio si concretizza anche nel riconoscimento degli abusi relativi al deposito incontrollato di rifiuti e l'uso di immagini telerilevate da satellite contribuisce a migliorare il sistema di gestione dell'ambiente. La disponibilità di tecniche orientate agli oggetti per elaborare il dato satellitare consente di rilevare tali situazioni di illegalità.
La ricerca che qui si propone è ancora in itinere al fine di affinare le tecniche impiegate ma già si prospetta la possibilità di un'applicazione delle stesse metodologie in altri contesti.

Abstract
The illegal dumps are environmental threats that put strongly at risk our territory due to the heavy impact on the landscape and the environment, constituting a source of danger for the health and safety of the inhabitants
The activity of territorial control is also reflected in the recognition of abuse of the uncontrolled storage of waste: the use of satellite remotely sensed data helps to improve the environmental management system. The availability of object-oriented techniques to process the satellite data can detect such situations of illegality.
Our research is still in progress in order to refine the techniques used but already an application of the same methods in other contexts is possible.

Introduzione
Il suolo è un sistema complesso, di importanza fondamentale per l'equilibrio ecologico, che comprende diverse questioni di rilevanza ambientale.
La normativa europea ha da tempo previsto il monitoraggio della componente suolo, in particolar modo delle discariche. Nel 2001 la Commissione europea ha imposto sanzioni contro l'Italia per la mancanza di dati sulle discariche nel suo territorio.
In Calabria, così come nel resto d'Italia, gestione dei siti contaminati e dei rifiuti ed emergenze ambientali sono direttamente collegati alla matrice suolo.
Nella regione Calabria, in particolare, si sta vivendo una realtà piuttosto complessa nel settore dei rifiuti: da molti anni è stato dichiarato infatti lo stato di emergenza nel settore dei rifiuti urbani, speciali e pericolosi, pertanto un commissario straordinario è stato delegato a gestire questo settore.
Tutto ciò avviene nonostante non vi sia stato in Calabria quel forte sviluppo industriale che in altre regioni ha portato all'inquinamento del suolo; qui, limitato e disordinato, spesso senza una corretta pianificazione, ha comunque inferto molte "ferite" al territorio.

Non sono disponibili dati derivati da indagini sulle discariche, in particolare quelle di rifiuti pericolosi e tossici
Il presente lavoro utilizza dati telerilevati e tecniche di analisi d'immagine di tipo strutturale per monitorare le discariche potenziali. Lo scopo di questo contributo è quello di illustrare un'applicazione di *Object Based Image Analysis* su dati ad altissima risoluzione, in particolare sulle immagini multispettrali Ikonos di Melito di Porto Salvo, in provincia di Reggio Calabria con l'obiettivo di mostrare come l'analisi automatica - con un intervento manuale minimo - può facilitare il riconoscimento delle discariche.

Analisi d'immagine ad oggetti
Le tradizionali tecniche di elaborazione ed interpretazione delle immagini seguono metodi basati su dati statistici estratti dalle caratteristiche intrinseche del singolo *pixel*, che forniscono informazioni a basso livello semantico – semplicemente la quantità di energia emessa dal pixel – in cui il contesto non assume alcun ruolo. Nell'analisi d'immagine basata sugli oggetti invece il livello semantico è alto; tra gli attributi degli oggetti creati vi sono informazioni topologiche, statistiche e relative al contesto, il riconoscimento si fonda su concetti di morfologia matematica applicata all'analisi d'immagine e la classificazione su logica *fuzzy* è simile a quella del fotointerprete umano. I processi hanno però qualità di uniformità, standardizzazione e riproducibilità dei risultati, tutte caratteristiche che un fotointerprete umano non può garantire.
Infine, l'inclusione del dato catastale nella procedura di segmentazione consente un'informazione organizzata secondo le necessità dell'amministrazione che gestisce il territorio e impiegabile in tempi rapidi per la repressione degli abusi.
I risultati ottenuti si sono dimostrati incoraggianti. E' stata così possibile l'individuazione di una discarica su area nota, confermando quindi la bontà della metodologia seguita.
L'applicazione diell'*Object Based Image Analysis* a dati ad alta ed altissima risoluzione, dove più alto è il rischio di errori, permette comunque una buona classificazione, attraverso una opportuna gerarchia di classi che tiene conto delle relazioni tra i livelli di segmentazione prodotti (Baatz et al., 2004).
Con essa si introducono altre regole per l'ubicazione del contesto e le relazioni tra gli oggetti, mentre aumenta significativamente la probabilità di riconoscimento automatico degli oggetti sulla superficie terrestre. La scelta del fattore di scala consente di calibrare la grandezza dei poligoni risultanti, e la sua definizione è legata alla scala di riferimento cartografica che l'utente finale deve ottenere. Attraverso l'inclusione nel processo di segmentazione di uno *shapefile* relativo ai dati catastali otteniamo oggetti che ne mantengano gli attributi anche nella classificazione finale, rendendo quindi facilmente rintracciabili le proprietà delle aree interessate dai depositi di rifiuti. Tali processi sono riutilizzabili in qualsiasi contesto geografico.
Con questa analisi di tipo strutturale è possibile ottenere dai dati telerilevati un'informazione immediatamente integrabile nei GIS consentendo la realizzazione diretta di mappe vettoriali. Partendo da una stessa immagine è possibile generare vari livelli gerarchici di poligoni con diversi fattori di scala, quindi il processo di segmentazione è multirisoluzione .
Il riconoscimento si basa su concetti di morfologia matematica applicata all'analisi delle immagini (Serra, 1998) e sulla logica *fuzzy* per la classificazione.

Segmentazione
Nella segmentazione i pixel dell'immagine vengono via via aggregati in una serie di passaggi fino a quando i poligoni risultanti non hanno le caratteristiche volute dall'utente (Baatz et al., 2004). Il procedimento porta alla minimizzazione dell'eterogeneità spettrale di ciascun poligono ricavata dai valori di *digital number* dei pixel inclusi, sulla base dell'eterogeneità geometrica dipendente dalla forma dei poligoni creati. L'eterogeneità spettrale h_s di ciascun poligono generato con il processo di segmentazione è ottenuta come somma pesata delle deviazioni standard dei valori di *digital number* di ogni banda spettrale ricavati per ciascuno dei pixel inclusi nel poligono:

$$h_s = \sum_{c=1}^{q} w_c \sigma_c \qquad [1]$$

dove h_s = eterogeneità spettrale del poligono; q = numero di bande spettrali; σ_c = deviazione standard dei valori di *digital number* della c-esima banda spettrale; w_c = peso assegnato alla c-esima banda.

Se il processo di segmentazione tendesse soltanto alla minimizzazione dell'eterogeneità spettrale si otterrebbe la generazione di poligoni eccessivamente frammentati, con dimensione frattale molto elevata. E questo si verificherebbe in modo maggiore quanto più elevata è la risoluzione geometrica dell'immagine. Per evitare che ciò avvenga i poligoni ottenuti devono anche minimizzare il valore di eterogeneità geometrica (h_g), definita da due fattori di forma: il fattore frattale ed il fattore di compattezza. Il fattore frattale (h_{g_smooth}) dipende dalla complessità del perimetro del poligono rispetto alla sua estensione:

$$h_{g\_smooth} = \frac{l}{\sqrt{n}} \qquad [2]$$

dove: h_{g_smooth} = fattore frattale dell'eterogeneità geometrica del poligono considerato; l = lunghezza del perimetro del poligono considerato; $\boldsymbol{n}$ = numero di pixel di cui è costituito il poligono.

Il fattore di compattezza ($h_{g\_compact}$) dipende dal rapporto dimensionale degli assi del poligono:

$$h_{g\_compact} = \frac{l}{b} \qquad [3]$$

in cui: $h_{g\_compact}$ = fattore di compattezza dell'eterogeneità geometrica del poligono considerato; l = lunghezza del perimetro del poligono considerato; b = lunghezza del lato minore del più piccolo quadrilatero parallelo al dato raster in cui è inscrivibile il poligono considerato. L'algoritmo di segmentazione unisce, a partire da ogni pixel dell'immagine, poligoni adiacenti fino a quando il cambiamento di eterogeneità osservabile tra i due poligoni primitivi e il nuovo poligono ottenuto non supera una soglia assegnata dall'utente (fattore di scala). Non superando la soglia assegnata la fusione si realizza, in caso contrario i poligoni restano distinti. La differenza di eterogeneità (*overall fusion value*) tra il potenziale oggetto fuso e i due poligoni originari è pari a:

$$f = w_f \Delta h_s + (1 - w_f) \Delta h_g \qquad [4]$$

dove: f = *overall fusion value*; w_f = peso attribuito in base all'importanza relativa dell'eterogeneità spettrale rispetto all'eterogeneità geometrica, compreso tra 1 (viene considerata solo l'eterogeneità geometrica) e 0 (viene considerata solo l'eterogeneità spettrale).

Logica *fuzzy*

La logica fuzzy, approccio matematico per quantificare le dichiarazioni incerte, invece delle due affermazioni strettamente logiche "sì" e "no" utilizza la serie continua di [0 ... 1], dove 0 significa "esattamente no" e 1 significa "esattamente sì.". Tutti i valori compresi tra 0 e 1 rappresentano una più o meno certa condizione di "sì" e "no".

Insiemi *fuzzy* sono stati impiegati nella classificazione di copertura del suolo (Köppen et al., 1998).

Tale teoria, sviluppato per trattare informazioni imprecise, può fornire una soluzione più appropriata per questo problema (Soille, Pesaresi, 2002). Essa prevede, infatti, per ogni regione di avere l'appartenenza parziale ad una classe o multipla a diverse classi. L'appartenenza parziale permette di rappresentare ed utilizzare meglio l'informazione relativa a situazioni più complesse.

La logica *fuzzy* emulando il pensiero umano ne prende in considerazione anche le regole linguistiche.

Riconoscimento discariche

Oggetto di questo studio è il riconoscimento di discariche a Melito di Porto Salvo (RC). I dati disponibili sono immagini satellitari Ikonos del 2002, georeferenziati in WGS84 (Datum WGS84, UTM 33 N), cui si sono aggiunte alcune informazioni catastali in formato vettoriale .

Il primo passo è segmentare una prima volta l'area così da creare oggetti corrispondenti ai poligoni catastali che ne conservino gli attributi, assegnando un fattore di scala molto alto. L'operazione successiva è la realizzazione di una classificazione basata su due diversi valori di attributi delle particelle e, quindi, degli oggetti creati. Le particelle, la cui intestazione indica la proprietà, in questo caso sono semplicemente divisi in " privato" e " pubblico". Questa semplice distinzione in caso di identificazione di discariche abusive consentirebbe agli enti pubblici interessati di avere i dati necessari per avviare procedimenti sanzionatori o di recupero, nei due differenti casi.
Si prosegue poi ad una classificazione separata per "pubblico" e "privato", ma che servirà solo come procedura interna, dal momento che non sarà presente nella ricerca finale di discariche.

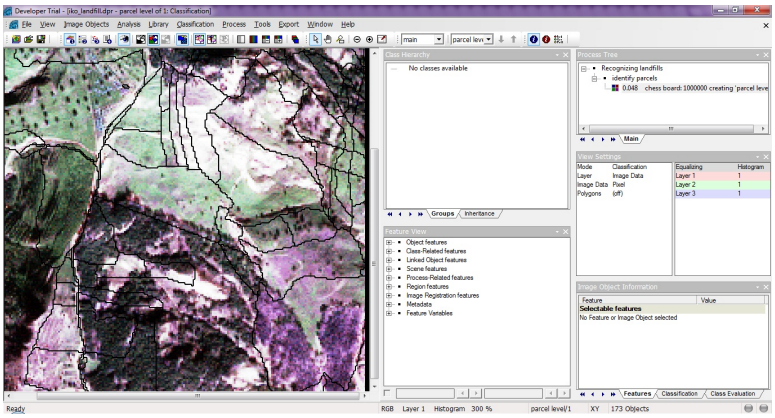


Figura 1. Creazione di oggetti corrispondenti alle particelle catastali.

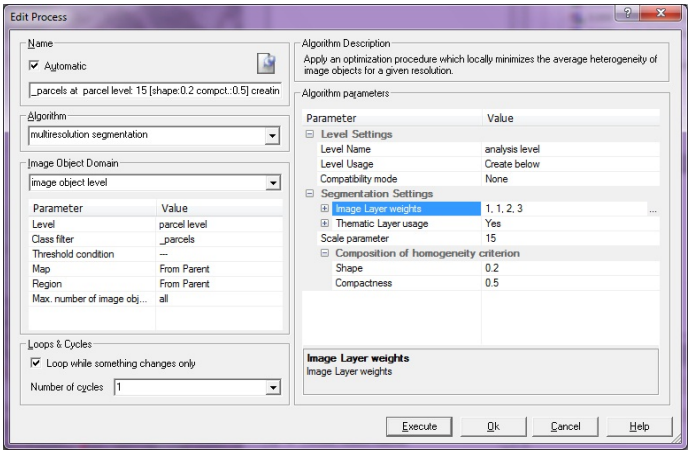


Figura 2. Segmentazione multirisoluzione: assegnazione di pesi maggiori alle bande Red ed IR, il parametro di forma è 0,2, il fattore di compattezza è impostato a 0,5, il fattore di scala è 15.

La classificazione successivo trasferisce anche a questi piccoli oggetti le proprietà dei super-oggetti, vale a dire le particelle catastali.
A seguito di opportune valutazioni di alcuni valori di variabilità pixel - di fatto, nelle discariche coesistono materiali estremamente eterogenei - sono identificate con la classificazione le aree in cui possono essere discariche (discariche potenziali).

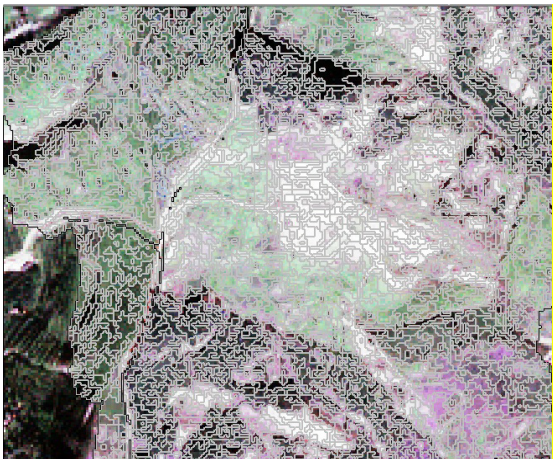


Figura 3. Segmentazione multirisoluzione.

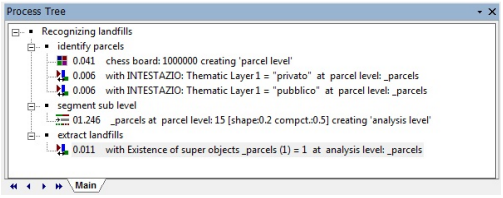


Figura 4. Il process tree con le segmentazioni e le classificazioni applicate.

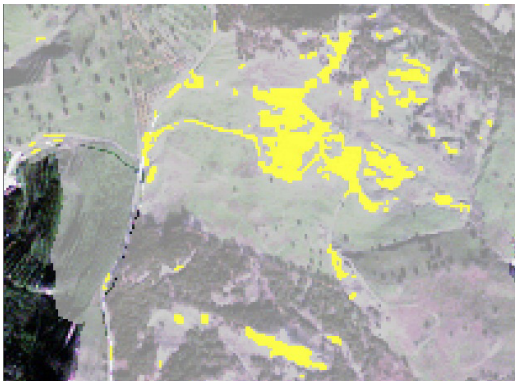


Figura 5. Discariche potenziali.

Infine, con una ulteriore classificazione si precisano le zone più interessate da questi valori (discariche), che giungono a corrispondere alle zone coperte da una vecchia discarica gestita dal Comune nell'anno di riferimento dell'immagine.
Il passo successivo è la riassegnazione degli oggetti "non classificati" che non rientrano all'interno delle aree individuate come discariche.

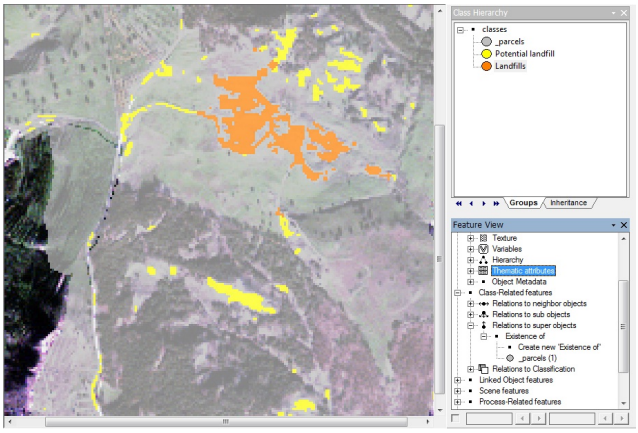


Figura 6. Discariche.

Conclusioni

In questo progetto l'utilizzo di dati da *remote sensing* e di tecniche di analisi d'immagine di tipo strutturale consente il monitoraggio delle discariche sul territorio, aggiornabile mediante la regolare acquisizione di immagini satellitari.

I dati telerilevati potrebbero confluire in un database spaziale aggiornato regolarmente dalle autorità locali per il monitoraggio dei rispettivi territori.

Riferimenti bibliografici

Baatz M., Benz U., Dehgani S., Heynen M., Höltje A., Hofmann P., Lingenfelder I., Mimler M., Sohlbach M., Weber M., Willhauck G. (2004), *eCognition 4.0 professional user guide,* Definiens Imaging GmbH, München.

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.

Pitea D., De Cesaris A.L., Marchetti G. (1998), "Individuazione, caratterizzazione e campionamento di ammassi abusivi di rifiuti pericolosi", in Fondazione Lombardia per l'ambiente, Valorizzazione dei progetti di ricerca 1994/1997.

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*, 40: 9.

Tzen Y.C., Chen K.S. (1998), "A Fuzzy Neural Network to SAR Image Classification", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 36: 301-307.

Zadeh L.A. (1965), "Fuzzy Sets", *Information Control*, 8: 338-353.

Integrazione di TLS e termografia per la caratterizzazione morfometrica

Vincenzo Barrile, Francesca Ieracitano, Giuseppe M. Meduri

Università degli Studi Mediterranea, MECMAT, Via Graziella Feo di Vito, 89100 Reggio Calabria
Email: vincenzo.barrile@unirc.it; fraieracitano@tiscali.it; giumed@libero.it

Riassunto
Il laser scanner terrestre è una tecnica di rilevamento fondamentale per la modellazione 3D di oggetti, ed essendo ormai nota la possibilità, da essa offerta, di acquisire grandi quantità di dati in tempi relativamente brevi, con un elevato grado di precisione, se n'è diffuso l'impiego nei più ampi ambiti della ricerca dall'ingegneria alla medicina e anche allo studio e tutela dei beni culturali. Grazie all' integrazione con altre tecniche radiometriche è possibile ottenere una descrizione sullo stato di conservazione, ed in particolare, i modelli tridimensionali ottenuti dall' integrazione tra dati laser scanner 3D e immagini ottenute con termocamera a infrarosso possono fornire, oltre alla caratterizzazione dimensionale, informazioni su eventuali anomalie di forma e dimensionali invisibili alle altre tecniche e all'occhio umano.
In particolare, in tale applicazione con l'utilizzo integrato di strumentazione laser scanner terrestre e termocamera ad infrarosso si è voluto testare un possibile utilizzo su autovetture destinate, previo imballaggio, al trasporto, al fine di individuare eventuali danni causati dal trasporto stesso.

Abstract
The laser scanner is a detection technique essential for the 3D modeling of objects, and being well known the possibility, offered by it, to acquire large amounts of data relatively in short times, with a high degree of precision, it's widespread use in broader areas of research from engineering to medicine and to the study and protection of cultural heritage.
Through integration with other radiometric techniques you can get an overview on the state of conservation, and in particular, the three-dimensional models obtained by' integrating 3D laser scanner data and images obtained with the infrared camera can deliver over the dimensional characterization, information on possible anomalies in shape and dimensional invisible to the humans' view and other techniques.
In particular, this application with the integrated use of terrestrial laser scanning instrumentation and advanced infrared camera you want to test a possible use of cars for, after packaging, transport, in order to detect any damage caused by transport.

Introduzione

L'integrazione tra un modello digitale tridimensionale, prodotto da sistemi *laser* a scansione terrestri, e l'informazione radiometrica, ottenuta da termocamera, permette di indagare, anche ad un elevato grado di dettaglio, alcune particolari caratteristiche di un manufatto a scale dimensionali molto diverse, ottenendo ciò che in letteratura è chiamata *Texture mapping*.
Attraverso l'utilizzo di *target* (Rizzi et al., 2007 e in Voltolini et al., 2007), resi termo-riconoscibili, è stato possibile effettuare la texturizzazione dei modelli virtuali con le immagini IR, ottenendo così l'integrazione tra i dati spaziali e i dati radiometrici.

Elaborazione dei dati
L'iter dell'elaborazione dei dati può essere sintetizzato nelle seguenti fasi:

- Allineamento delle nuvole di punti
- Meshing delle nuvole di punti
- Stima dei parametri di orientamento interno
- Calcolo dell'orientamento relativo
- Texturizzazione dell'infrarosso

Le diverse scansioni acquisite per la copertura dell'intera parete in oggetto vengono fra loro allineate in ambiente *software Cyclone*, (versione 5.3), poiché la fase di texturizzazione è un'operazione che deve essere effettuata necessariamente su una superficie continua (come previsto dal software utilizzato in questa metodologia), sulla quale l'immagine verrà poi proiettata. Pertanto, le nuvole di punti vengono trasformate in superfici virtuali di tipo *mesh*, nella maggior parte dei casi formando triangoli di forma irregolare. Per questa operazione viene ancora utilizzato l'ambiente *software Cyclone*. La qualità dell'operazione di *meshing* dipende dall'algoritmo stesso e dai parametri che vengono scelti, ossia la direzione lungo cui proiettare i triangoli e le dimensioni dei triangoli. Ciò significa che la *mesh* non viene creata semplicemente dall'interconnessione della nuvola di punti, ma che in ogni caso viene generata una rete dalle maglie uniformi, per cui, alcuni punti vengono interpolati.
Per la stima dei parametri di orientamento interno si è utilizzato il *software PhotoModeler*. Seguendo le usuali procedure sono state eseguite manualmente le operazioni di ricerca dei punti sulle *mesh*, di referenziazione dei punti omologhi e, infine, di calibrazione della camera dopo aver impostato il fattore di scala.
Il modello geometrico implementato è basato su parametri del tipo:

- distanza principale (c);
- coordinate del punto principale (x_0, y_0) ;
- coefficienti di compensazione delle distorsioni radiali (k_1,k_2);
- coefficienti di compensazione delle distorsioni tangenziali (P_1, P_2).

Dopo aver valutato la matrice di rotazione e il vettore di traslazione, che considereremo costante durante le operazioni di ripresa delle nuvole di punti, con la funzione "*merge project*" di *PhotoModeler* si riduce la deviazione standard della matrice di rotazione e del vettore di traslazione. Questo perché ai *target* nelle immagini termiche vengono fatti corrispondere i punti omologhi nelle *mesh*. Le *mesh* hanno una risoluzione maggiore e quindi un'accuratezza maggiore.
Infine, in ambiente *RapidForm* 2004, l'immagine all'infrarosso viene texturizzata sulla *mesh*, utilizzando come punti d'appoggio i *target laser scanning* sulla superficie reale. L'aver reso i *target* termicamente riconoscibili con il ghiaccio secco ha reso gli stessi di un colore distinto nell'immagine, corrispondente ad una temperatura molto più fredda rispetto al contesto in cui si trovano. Le camere all'infrarosso termico per uso edilizio, come quella usata, presentano difficilmente risoluzione superiore a 640 x 480 pixel, ciò giustifica i valori di incertezza maggiori rispetto a quelli nel visibile. Effettuando la texturizzazione utilizzando più punti d'appoggio, anche se non riconoscibili automaticamente dal *laser scanner*, il risultato sarebbe molto buono ma, non potendo coprire la superficie di studio con un numero elevato di target per questioni pratico-operative e per non generare ulteriori zone d'ombra, si deve sempre arrivare ad un giusto compromesso tra numero di target per immagine e qualità finale del modello texturizzato.
La stessa procedura può essere effettuata sfruttando le possibilità offerte dal *software PhotoModeler*, avvalendosi di alcune impostazioni utili ritrovabili nel *Materials Dialog*. Il primo passo consta nel definire un nuovo materiale (definito "termico"). Utilizzando il comando *"Multiple-Photo Texture"* si selezionano le termofoto per la fusione della tessitura (è infatti possibile pesare in modo differente le immagini per l'effetto finale desiderato) e infine, si selezionano le superfici per le quali si applica il materiale desiderato. La potenzialità di questa

procedura consta nella possibilità di avere un modello 3D preciso dell'oggetto "vestito" di una qualsiasi tessitura a seconda degli scopi prefissati. È infatti possibile scegliere una tessitura registrata nel campo dell'infrarosso termico piuttosto che del visibile o, se disponibili, vestito di una qualunque tessitura registrata da differenti tipologie di sensori.

Caso studio

Nel caso oggetto di studio sono state acquisite le immagini di due differenti automobili (Figure 1 e 2), una Fiat Punto ed una Peugeot 206, la prima incidentata sulla parte posteriore sinistra, la seconda sulla zona anteriore sinistra.



Figura 1. Fiat Punto incidentata nella zona del paraurti posteriore sx.

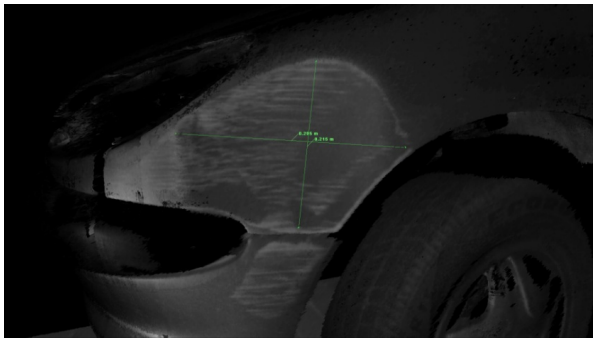


Figura 2. Peugeot 206 incidentata nella zona anteriore sx al lato del fanale.

Una volta simulato l'imballaggio (Figura 3), su ognuna di esse sono stati posizionati 3 *target*, distribuiti omogeneamente sulla superficie di interesse. Il rilievo 3D con il *laser scanner* Leica HDS 3000 della parete è stato effettuato mediante due acquisizioni da punti di stazionamento differenti per limitare le zone d'ombra, con un passo di campionamento di 5 mm e ad una distanza *laser scanner* – automobile di circa 5 m: sono state così ottenute due nuvole di punti. I 3 *target* sono stati scansiti nel dettaglio con il *laser scanner* e, di seguito, sono state acquisite immagini fotografiche nel *range* dell'infrarosso con la termocamera Flir B2 ad una distanza camera – automobile di circa 2 m.



Figura 3. Simulazione dell'imballaggio sulle due autovetture.

Dopo aver rototraslato le coordinate dei punti delle scansioni acquisite nel sistema di riferimento locale dei punti d'appoggio (con errore massimo di mosaicatura di 1 mm), dal modello 3D finale (in ambiente software *Cyclone)*, è stata effettuata una triangolazione che ha fornito una superficie continua di tipo *mesh*. Con il *software RapidForm* 2004, dopo aver evidenziato le coordinate dei *target* come entità geometriche di riferimento riconoscibili sulla *mesh*, si è proceduto con la texturizzazione dell'immagine.

La texturizzazione con le immagini IR è avvenuta tramite il riconoscimento manuale dei 3 *target* identificati nella *mesh* come geometrie di riferimento e nell'immagine termica con un colore indicante i punti più freddi della superficie (grazie all'espediente del ghiaccio *spray* utilizzato prima dell'acquisizione con la camera termografica, Figura 4).

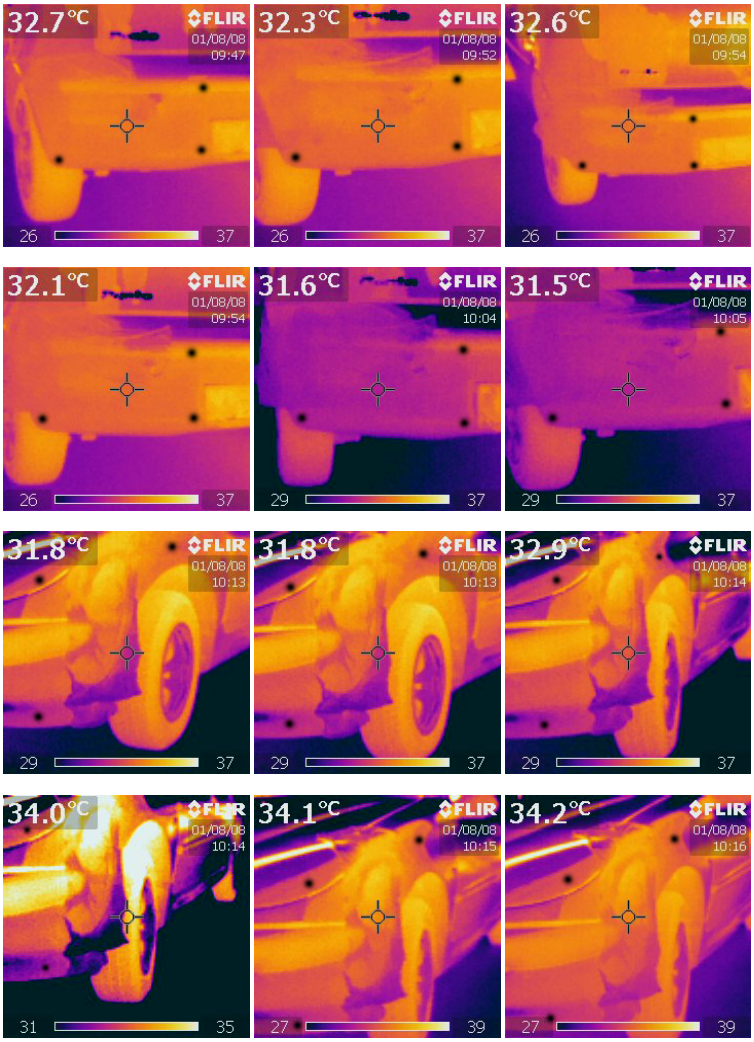


Figura 4. Reference image.

La texsturizzazione è stata quindi effettuata utilizzando i *target laser scanner*: non sono stati utilizzati punti naturali (come ad esempio spigoli, riferimenti delle ruote) proprio per la difficoltà di individuazione dello stesso punto nell'immagine termografica e nella *mesh* triangolare. Come evidenziano le immagini a seguire (Figura 5), l'integrazione delle nuvole di punti ottenute con *laser scanner* e delle immagini termografiche fornisce informazioni precise sull'andamento delle alterazioni morfometriche caratterizzanti i danni dovuti agli incidenti. La distribuzione del colore nelle immagini termografiche e l'alterazione puntuale dello stesso è evidente prova della presenza dei danni. Tuttavia, le sole immagini termografiche non si possono ritenere sufficienti per una valutazione certa dello stato dell'oggetto indagato.

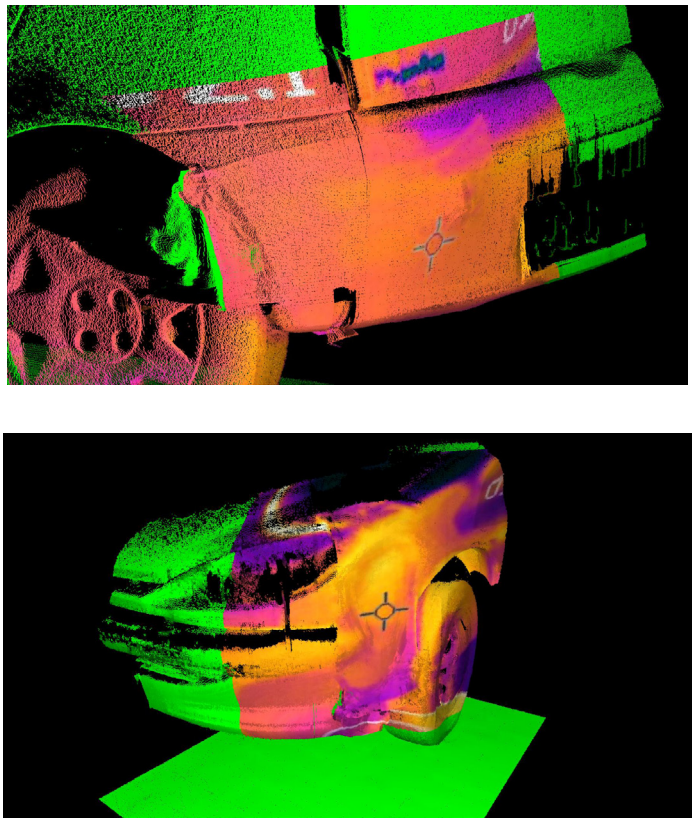


Figura 5. Texturizzazione dele 'immagini nel range dell'infrarosso, con risoluzione di 800 x 600 pixel.

A titolo informativo si riportano le immagini termografiche (Figura 6) di una delle due automobili indagate (Peugeot 206) in condizioni integre, per favorire una più semplice valutazione delle discromie riscontrate al subentrare dei danni.

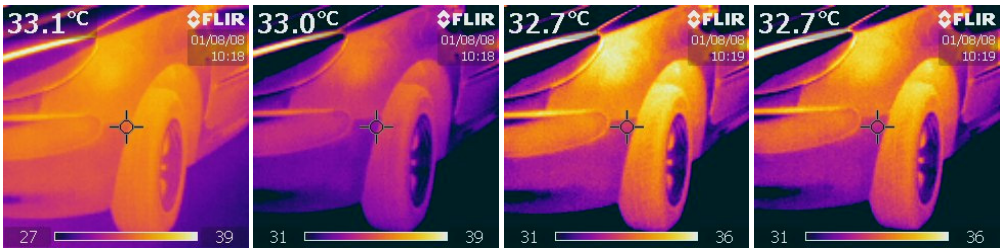


Figura 6. Reference image Peugeot 206.

Conclusioni

Il limite della texturizzazione risiede nel fatto che essa non è una procedura automatizzata (Remondino et al., 2009), tuttavia, i risultati conseguiti hanno confermato l'applicabilità e la validità della metodologia che permette di effettuare la texturizzazione di immagini termiche su superfici *mesh* prodotte da nuvole di punti *laser scanning*: sono state evidenziate *texture mapping* di buona qualità.

Bibliografia

Remondino F., Pelagotti A., Del Mastio A., Uccheddu F., (2009), "Novel data registration techniques for art diagnostics and 3D heritage visualization", *Proceedings of the IX Conference on Optical 3D Measurement Techniques, vol. 1, Vienna*.

Uccheddu F. et al., (2009), "Texture mapping of flat-like 3D models" *16th Int. Conference on Digital Signal Processing (DSP 2009), Santorini, Greece.*

Stilla, Kolecki, Hoegner (2008), "Texture mapping of 3d building models with oblique direct geo-referenced airborne ir image sequences"; *ISPRS Workshop: High-resolution earth Imaging for geospatial information 1, 4-7*

Achille C. et al., (2007), "Application of mixed techniques for the 3D modelling of the noble floor of the Villa Real in Monza", *Proceedings of the XXI CIPA Conference AntiCIPAting the Future of Cultural Past, held in Athens, Greece*.

Rizzi A. et al., (2007) "Optical measurement techniques for the digital preservation, documentation and analysis of cultural heritage", *8th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, ETH Zurich, Switzerland*.

Rizzi A. et al., (2007), "Digital preservation, documentation and analysis of paintings, monuments and large cultural heritage with infrared technology, digital cameras and range sensors", *Proceedings of the XXI CIPA Conference AntiCIPAting the Future of Cultural Past, held in Athens, Greece*.

Voltolini et al., (2007), "Integration of non-invasive techniques for documentation and preservation of complex architectures and artworks, in 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architecture", *ISPRS International Workshop 3D-Arch 2007, Zurich, Switzerland.*

Caratterizzazione ed indagini in ambito archeologico con GPR e TLS

Vincenzo Barrile (*), Giuseppe M. Meduri (*), Giovanni Angiulli (**), Domenico De Carlo (**), Tommaso Isernia (**)

(*) Università degli Studi Mediterranea, MECMAT, Via Graziella Feo di Vito, 89100 Reggio Calabria
Email: vincenzo.barrile@unirc.it; giumed@libero.it
(**) Università degli Studi Mediterranea- DIMET, Via Graziella Feo di Vito, 89100 Reggio Calabria
Email: giovanni.angiulli@unirc.it; domenico.decarlo@unirc.it; tommaso.isernia@unirc.it

Riassunto

Nell'ambito di un progetto interdisciplinare finalizzato alla definizione di un percorso religioso, caratterizzato dall'individuazione e definizione di luoghi di interesse artistico, religioso e storico-culturale, sono state condotte alcune indagini archeologiche, con l'ausilio delle tecniche GPR (*Ground Penetrating Radar*) e TLS (Tecnica Laser Scanner). E ben noto, dalla letteratura scientifica, come entrambe le tecniche siano sempre più utilizzate, col passare degli anni, nel campo delle applicazioni archeologiche, grazie alla capacità di fornire analisi non invasive e caratterizzando peraltro gli oggetti o i luoghi di interesse sia spazialmente (con la TLS) fornendo informazioni sulla morfologia del terreno, sia nella loro struttura interna, indagando all'interno dei materiali (con il GPR). Tuttavia, in ambito GPR, per ottenere informazioni altamente accurate dalle immagini grezze (B-Scan) e di più facile utilizzo e comprensione in ambito archeologico, è spesso necessario migliorarne la loro qualità. In genere, ciò è reso possibile per mezzo dell'ausilio di adeguati trattamenti dell'immagine grezza che vanno sotto il nome di tecniche di focalizzazione.
In quest'articolo, sono stati testati diversi approcci di utilizzo delle tecniche; a partire dai dati grezzi acquisiti tramite apparecchiatura georadar, sono state effettuate delle elaborazioni numeriche volte all'applicazione di algoritmi di pre-processamento dell'immagine, per il suo miglioramento, e di focusing sviluppati. Per la TLS sono state effettuate elaborazioni in post processamento e sperimentati algoritmi di *best-fitting* per il riconoscimento di forme.

Abstract

As part of an interdisciplinary project aimed to defining a religious path, and characterized by the identification and definition of places of artistic, religious and cultural history, some archaeological investigations were conducted, with the help of GPR (Ground Penetrating radar) and TLS (Laser Scanner Technique). It is well known from literature, as both techniques are increasingly used over the years, in applications in archeology, with its ability to provide non-invasive analysis, ground morphology, internal structure, and inquiring within materials (GPR). However, in order to obtain highly accurate information from the raw images (B-Scan) to use in the field of archeology, GPR requires to improve images quality through focusing techniques.
In this paper, several techniques GPR approaches have been used for image pre-processing and focusing. For the TLS were carried out and tested best-fit algorithms processing for the recognition of shapes.

Introduzione

Il paese di Africo Vecchio, si trova nel cuore dell'Aspromonte Parco Nazionale ad una altitudine di circa 700 m sopra il livello del mare e fondato nel IX secolo dC. La comunità è stata abbandonata dopo l'alluvione del 1951 (D'Agostino, 2005) e spostata insieme a Casalnuovo lungo la costa Jonica, con il nome di Africo. Nei pressi di Africo Vecchio si trova la chiesa bizantina di S. Leo, alle spalle della quale si suppone possano trovarsi i resti di un antico monastero e/o antiche cisterne sotterranee per la raccolta di acqua. Le indagini con laser scanner e georadar hanno avuto lo scopo di ricostruire la morfologia del terreno ricreandone il modello tridimensionale e di individuare quali zone potessero essere oggetto di eventuali futuri scavi.

Rilievo con TLS

L'acquisizione dei dati nella porzione di terreno oggetto di indagine, è stata realizzata con lo strumento Riegl LMS-Z420i con l'effettuazione di due posizioni strumentali e senza l'utilizzo di *targets*, non necessari per il tipo di elaborazione effettuata. Per la successiva operazione di registrazione delle scansioni, infatti, è stato utilizzato l'algoritmo ICP (*Interactive closest Point*) (Chen, Medioni, 1992 - Rusinkiewicz, Levoy 2001), implementato in ambiente *Matlab* che ha permesso, senza l'ausilio di *targets* di appoggio, di generare una unica nuvola di punti rappresentativa dell'oggetto indagato.

L'algoritmo ICP applica in modo iterativo una roto-traslazione rigida nello spazio ad una delle due nuvole, considerata mobile, affinché si sovrapponga nel miglior modo possibile all'altra nuvola, considerata fissa.

In un'iterazione, ICP assume che i punti più vicini siano corrispondenti, calcola l'orientazione assoluta e applica la trasformazione ottenuta rigida a V^j. In pratica allo *step* 1 per ogni punto della nuvola mobile (insieme V^j), vengono ricercati, all'interno della nuvola fissa, i punti (*closet point*) contenuti all'interno di una sfera di un certo raggio (multiplo di un parametro introdotto dall'utente) appartenente all'insieme V^i e di questi viene tenuto il più vicino, che sarà considerato il punto corrispondente. Allo *step* 2, con tali corrispondenze trovate, l'algoritmo calcola la trasformazione incrementale (Ri,j matrice di rotazione e T vettore di traslazione e risolvendo l'orientazione assoluta) applicandola agli elementi di Vj; Se la media dell'errore quadratico è minore di una certa soglia, l'iterazione termina altrimenti torna allo *step* 1;

Il principio su cui si basa tale algoritmo è che l'allineamento tra le due nuvole di punti corrisponde alla minimizzazione degli errori quadratica delle istanze minime tra i due oggetti, in quanto, l'algoritmo converge a un minimo locale dell'errore (Besl, McKay, 1992):

$$\sigma = \sum_{i=1}^{N} || x_i - (R_{yi} - T)||^2 = min$$

$$C: V^j \rightarrow V^i \; / \forall y \in V^j \; \exists \; x \; tale \; che \; minimo \; distanza(y,x) < \sigma$$

Il modello tridimensionale così ottenuta, è stato successivamente elaborato con un algoritmo di *Texture Mapping* che ha consentito di "spalmare" sulla nuvola di punti l'immagine fotografica producendo così un modello 3D realistico Figura (1)



Figura 1. Nuvola di punti intera dopo la registrazione.

La successiva fase di filtraggio ha comportato in prima istanza la rimozione degli errori grossolani e successivamente, l'individuazione dei punti appartenenti al terreno e la rimozione di quelli ad esso estranei (vegetazione, edifici..). In tale fase tuttavia si è scelto di non eliminare i punti appartenenti alla chiesa di S. Leo in modo da utilizzarla, sia come riferimento nella modellizzazione, sia nella sperimentazione degli algoritmi di *best-fitting*.
A tal riguardo, è stato testato un algoritmo di *best-fitting* (variando impostazioni e parametri) il quale, tramite operazioni di triangolazione sulla nuvola di punti e converte i punti acquisiti dal laser scanner in una rappresentazione superficiale tramite una funzione $Z = f(x,y)$ che, per una prefissato *range* di grandezza dell'errore e in virtù di informazioni di vicinanza ed adattamento, descrive e approssima la curvatura della superficie.
In particolare, è stata utilizzata la funzione di interpolazione locale $z = ax2 + bxy + cy2 + dx + ey$ (Bhimji, 2005) a 5 coefficienti, determinati con metodo di minimi quadrati.
La fase di *mesh* infine modella il tipo di geometria specificato e trasforma il set di punti grezzi 3D in una superficie continua.

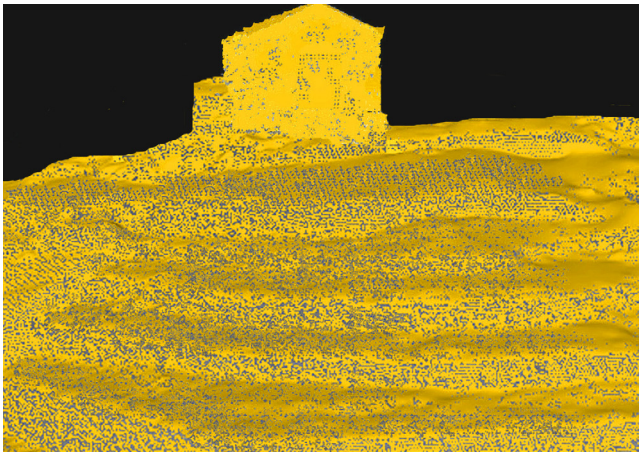


Figura 2. Nuvola di punti intera dopo la registrazione.

Cenni sui Metodi di Focalizzazione in ambito GPR

In una sezione B-scan grezza, ottenuta attraverso una normale campagna di rilievo con GPR monostatico, un oggetto sepolto può apparire sotto forma di una traccia iperbolica. Con il termine *Wave Focusing* (o migrazione) si intende un insieme di metodi in grado di migliorare la qualità dei B-scan, mitigando gli effetti che danno luogo a iperboli, in modo che, nei risultati, la forma elaborata e visualizzata degli oggetti si avvicinino maggiormente alla loro dimensione fisica reale dando, inoltre, una collocazione spaziale più accurata (Daniels 2004, – Turk, 2011 e riferimenti all'interno). A seguire, un breve resoconto sulle tecniche di focusing utilizzate per questo articolo.

Diffraction Summation

Quando un GPR monostatico si muove su una linea di scansione lungo l'asse *y*, un oggetto sepolto situato nel punto di coordinate (y_α, z_α), dà luogo ad una traccia iperbolica visualizzata in un B-scan, descritta dalla seguente equazione:

$$R_\alpha = \sqrt{z_\alpha^2 + (y_\alpha - y_\beta)^2} \qquad [1]$$

dove R_α è la distanza tra la posizione di misura $(y_\beta, z = 0)$ e le coordinate dell'oggetto scatteratore sepolto (y_α, z_α). La tecnica *Diffraction Summation* è l'approccio più semplice per il *focusing* della traccia rappresentante il bersaglio (Daniels, 2004 – Turk, 2011). Si opera come segue: se Ψ è il campo scalare rappresentativo dei dati raccolti lungo la linea di scansione *y*, il campo scalare focalizzato Ψ_f può essere ottenuta come somma di ciascun punto, all'interno del B-scan grezzo, lungo la curva iperbolica di diffrazione definita dalla [1]:

$$\Psi_f(y_\alpha, z_\alpha) = \sum_\beta \Psi\left(y_\beta, t = \frac{R_\alpha}{v_e}\right) \qquad [2]$$

dove $v_e = v_f/2$ è la velocità delle onde nel mezzo ottenuta sfruttando modello "*exploding source*" (Turk, 2011). Se le proprietà elettromagnetiche del terreno in cui è sepolto l'oggetto variano lentamente, può essere utilizzato un'unica velocità v_e per tutta l'estensione in profondità (cioè il mezzo può essere considerato omogeneo) (Turk, 2011).

Kirchhoff migration

Il metodo di *migrazione Kirchhoff* si basa sullo stesso principio caratterizzante il *Diffraction Summation* differenziandosi, però, per il trattamento dei "dati grezzi" Ψ raccolti durante la scansione attraverso l'introduzione di alcuni fattori di correzione. Il campo scalare focalizzato Ψ_f può essere descritto (in forma discreta) come (Daniels 2004, – Turk, 2011 e riferimenti all'interno):

$$\Psi_f(y_\alpha, z_\alpha) = \frac{1}{2\pi v_e} \sum_\beta \Psi\left(y_\beta, \frac{R_\alpha}{v_e}\right) \frac{\cos(\theta)}{R_\alpha} \qquad [3]$$

dove le termine $\cos(\theta)$, chiamato "obliquità" (Turk, 2011), tiene conto del fatto che la normale al fronte d'onda non è parallelo alla normale della linea di scansione di misurazione ed il termine $1/R_\alpha$, Denominato "*spreading factor*" (Turk, 2011), rappresenta le perdite di propagazione delle onde nel terreno.

F-K migration

La *migrazione FK* (o migrazione di Stolt) può essere considerata come una variante del metodo *Phase Shift*, valida soltanto per un valore costante di v_e. Si può dimostrare che l'espressione di Ψ_f può essere valutata tramite trasformata inversa di Fourier come

$$\Psi_f(y,z) = \iint \tilde{\Psi}(k_y,\omega) e^{j(k_z(\omega)z + k_y y)} dk_y d\omega \qquad [4]$$

dove k_y e k_z sono i numeri d'onda, ω è la pulsazione angolare e $\tilde{\Psi}\ (k_y,\omega)$ è la trasformata di Fourier di $\Psi(y, t)$. Tenuto conto che il numero d'onda k_z è data da

$$k_z = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v_e}\right)^2 - k_y^2} \qquad [5]$$

Di conseguenza, la [4] diventa:

$$\Psi_f(y,z) = v_e^2 \iint \frac{k_z}{\omega} \tilde{\Psi}(k_y,\omega) e^{j(k_z y + k_z z)} dk_y dk_z \qquad [6]$$

La relazione [6] è computazionalmente significativa: permette di ottenere il focusing dati $\Psi_f (y, z)$ semplicemente come la trasformata inversa di Fourier del prodotto tra k_z / ω e la trasformata di Fourier bidimensionale $\tilde{\Psi}$ dei dati grezzi (Daniels 2004, – Turk, 2011 e riferimenti all'interno).

SAR migration

La tecnica di migrazione SAR può essere derivata considerando uno scenario in cui sono sepolti N scatteratori, ciascuno con riflettività ρ_α e coordinate (y_α, z_α) (per $\alpha \in \{1, ..., N\}$) (Daniels 2004, – Turk, 2011 e riferimenti all'interno). Di conseguenza, $\Psi(y, t)$ può essere modellata come

$$\Psi_f(y,t) = \sum_{\alpha=1}^{\alpha=N} \rho_\alpha \exp\left(-j\frac{\omega}{v_e}\sqrt{z_\alpha^2 + (y_\alpha - y)^2}\right) \qquad [7]$$

Se si considera la trasformata di Fourier della [7] e viene applicato il metodo di fase stazionaria, si può dimostrare che la relazione [7] è esprimibile nel seguente modo

$$\tilde{\Psi}(k_y,k_z) = P(\omega) \sum_{\alpha=1}^{\alpha=N} \rho_\alpha \exp\left(-jz_\alpha k_z + jy_\alpha k_y\right) \qquad [8]$$

dove $P(\omega)$ è la trasformata di Fourier dell'impulso GPR e k_z è fornito dalla relazione [5] (Turk, 2011). Se l'immagine GPR focalizzata $\Psi_f (y, z)$ è assunta come

$$\Psi_f = \sum_\alpha \rho_\alpha \delta(y - y_\alpha, z - z_\alpha) \qquad [9]$$

Si ottiene:

$$\Psi_f = \iint \frac{\Psi(k_y, \omega(k_z))}{P(\omega(k_z))} \exp(-jk_y y + jk_z z) dk_y dk_z \qquad [10]$$

Una valutazione accurata della [10] con una FFT (*Fast Fourier Transform*) richiede punti equidistanti nel dominio *(k_y, k_z)*, che comportano un problema (Daniels 2004, – Turk, 2011 e riferimenti all'interno).

Rilievo con GPR

Le indagini sono state effettuate utilizzando l'apparecchiatura GPR IDS RIS-K2 prodotto da Ingegneria Dei Sistemi SpA, dotato di antenna 200 MHz. I profili sono stati acquisiti in modalità continua. La finestra temporale di acquisizione è stata fissata a 250 ns e il tempo di campionamento a 0,5 ns. I dati GPR sono stati memorizzati, durante la campagna di rilievi, nel formato *.dt* su apposito notebook di supporto. Tutte le operazioni di indagine sono state effettuate in un giorno da una coppia di operatori. I dati sono stati elaborati off-line.

La sequenza di elaborazione, successivamente elencata, è stata adottata prima di effettuare il trattamento di messa a fuoco: *i)* primo allineamento temporale, *ii) dewow*, *iii)* rimozione del *background*, *iv) time gain* (Daniels, 2004, Masini et. al, 2011 e riferimenti all'interno). Tutte le routine di elaborazione sono state implementate in ambiente *MatLab* 2008b ed eseguite su un PC di supporto all'attrezzatura a 64 bit Intel Core 2 Duo 1,66 GHz 2 MB di cache L2 e 4 GB ECC full-buffered DDR2 RAM.



Figura 3. Indagine GPR.

L'indagine nella zona adiacente la chiesa di San Leo Figura (3) è stata svolta su una superficie di circa 66 mq con un grigliato rettangolare. Sono stati acquisiti 37 profili 11,5 m di lunghezza, equidistanti tra loro 0,31 m, lungo direzione x, e 18 profili di 5,5 m di lunghezza, equidistanti tra loro, 0,3 m lungo la direzione y. La parte a sinistra della Figura (4) riporta il B-scan relativamente ad un profilo GPR (ritenuto tra i più significativi della campagna indagini). Si può osservare una zona ampia e profonda che parte dal tempo di circa 30 ns e scende verso il basso dell'immagine. Al tempo di circa 10 ns, in questo radargramma, sono identificabili (anche se non perfettamente) diverse iperboli di diffrazione.

La velocità delle onde elettromagnetiche nel suolo è stata valutata analizzando la forma di questa iperbole ottenendo un valore di 6,7 centimetri nsec-1. Nella parte a destra della figura (4) e nella figura (5) sono mostrate le immagini ottenute sfruttando, rispettivamente, le tecniche di: *Diffraction Summation*, la migrazione di Kirchhoff e la migrazione F-K. Il risultato dell'algoritmo SAR algoritmo non è stato mostrato in quanto molto simile a quello previsto dal metodo F-K.
Dai risultati ottenuti, emerge che la tecnica F-K si concentra sulle tracce rappresentative le iperboli in maniera leggermente migliore rispetto agli altri algoritmi. In effetti, l'immagine non mostra "iperboli fantasma", che sembrano verificarsi in tutti gli altri casi (un'anomalia di questo tipo potrebbe essere interpretata come una cavità). In tabella I, sono riportati i tempi di esecuzione dei metodi sfruttati.

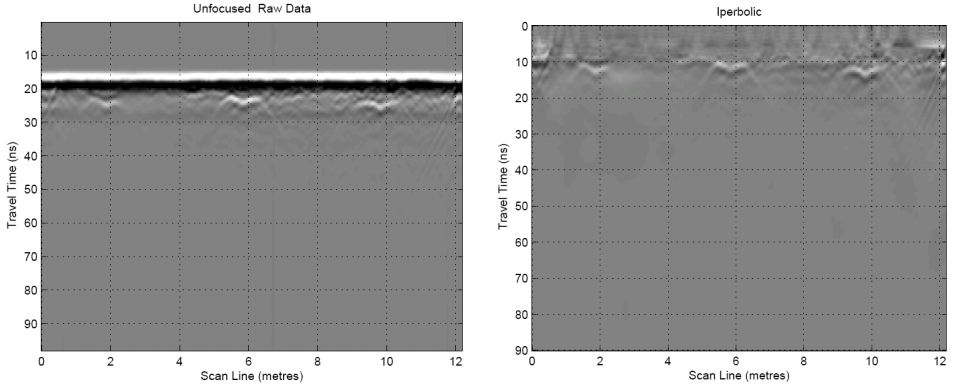


Figura 4. B-scan grezzo (Profilo GPR). e B-scan focalizzato usando l'algoritmo Diffraction Summation.

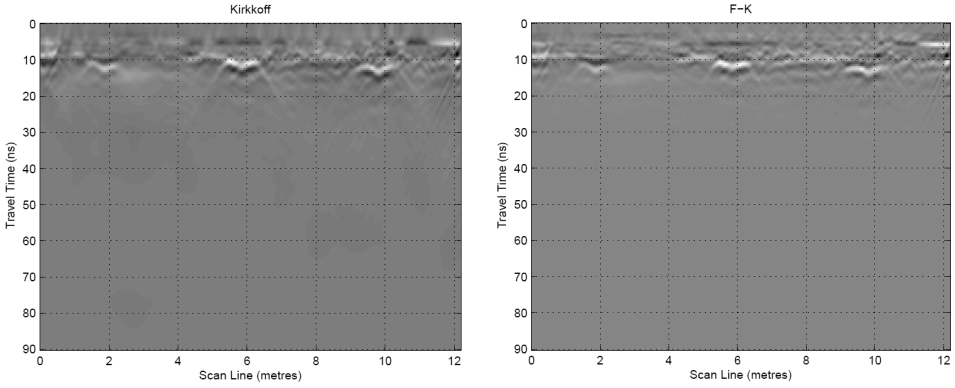


Figura 5. B-scan focalizzato usando l'algoritmo di Kirchhoff e B-scan focalizzato usando l'algoritmo F-K.

Metodo	Profilo GPR
Hyperbolic Summation	13.28 sec
Kirchhoff Migration	89.87 sec
F-K migration	2.67 sec
SAR focusing	2.92 sec

Tabella 1. Confronto dei tempi di esecuzione degli algoritmi di focusing utilizzati.

Conclusioni

In questo lavoro sono stati riportati i risultati preliminari circa la valorizzazione delle diverse strategie per mettere a fuoco le immagini GPR raccolte nei siti d'indagine situati nel territorio della città abbandonata di Africo Vecchio. Prima del processo di *focusing* dei dati grezzi, quest'ultimi sono stati pretrattati seguendo un approccio standard. Gli esempi considerati in questo studio sembrano indicare la superiorità dell'algoritmo FK rispetto alle altre tecniche utilizzate.

Da come si evince in tabella 1, l'algoritmo FK è caratterizzata da un onere computazionale inferiore rispetto agli altri metodi applicati e questa è una caratteristica importante per applicazioni che lavorano in tempo reale. I risultati complessivi effettuati durante le indagini sembrano escludere la presenza di cripte sotterrane, ma indicano la presenza di anomalie che richiedono ulteriori indagini con una antenna di frequenza più alta. Tali indagini verranno svolte in un periodo successivo all'elaborazione di quest'articolo.

Per quanto concerne le elaborazioni laser scanner, l'utilizzo dell'algoritmo di *best-fitting* testato, ha fornito risultati apprezzabili. Tuttavia, la sperimentazione si è dimostra particolarmente lunga e difficoltosa sia nella scelta delle impostazioni e parametri ottimali, sia per via della presenza di zone d'ombra su quanto rilevato, con la conseguente presenza di disuniformità che ha comportato la necessità di applicare più volte l'algoritmo a zone ristrette.

Bibliografia

Masini N, Persico R, Rizzo E. (2012), "Some Examples of GPR Prospecting for Monitoring of the Monumental Heritage", *Journal of Geophysics and Engineering*, vol.7, pp.190–199.

Turk A. S, Hocaoglu K. A, Vertiy A. A. (2011), *Subsurface Sensing, Wiley Series in Microwave and Optical Engineering*, Wiley-Blackwell.

Orlando L. (2007), "Georadar Data Collection, Anomaly Shape and Archaeological Interpretation - A Case Study from Central Italy," *Archaeological Prospection*, vol.14, pp.213–335.

D'Agostino E. (2005), *Da Locri a Gerace. Storia di una diocesi della Calabria bizantina dalle origini al 1480*, Rubbettino Editore, Catanzaro.

Bhimji S. (2005) "Curvature on Triangle Meshes" School of Computing Science, Simon Fraser University

Daniels J. D. (2004), "Ground Penetrating Radar 2th", *The Institution of Electrical Engineers*, London.

Leucci G. (2002), "Ground-penetrating Radar Survey to Map the Location of Buried Structures under Two Churches," *Archaeological Prospection*, vol.9, pp.217–228.

Rusinkiewicz S., Levoy M. (2001), "Efficient variants of the ICP algorithm", *Third International Conference on 3D Digital Imaging and Modelling, Quebec City.*

Besl P.J., McKay N.D. (1992), "A Method for Registration of 3-D Shapes" *IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence*

Chen Y., Medioni G. (1992), "Object modelling by registration of multiple range images", *Image and Vision Computing,* 10: 145-155.

Restauro e valorizzazione dei centri storici dopo il sisma del 2009: un GIS 3D per il progetto di reintegrazione delle lacune urbane

Carla Bartolomucci (*), Daniele Bonzagni (**), Ilaria Trizio (*)

(*) ITC-CNR, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Via Carducci 32, 67100 L'Aquila (AQ), Tel. +39 0862.316669, Fax +39 0862.318429
carla.bartolomucci@itc.cnr.it, ilaria.trizio@itc.cnr.it
(**) Dipartimento di Progettazione dell'Architettura, Politecnico di Milano, Via Durando 10, 20158 Milano (MI)
Tel. +39 02.2399.5774, Fax +39 02.2399.5681, daniele.bonzagni@polimi.it

Riassunto
Il contributo affronta il tema della reintegrazione delle lacune urbane createsi dopo il sisma del 2009 in un centro storico minore dell'Abruzzo montano, illustrando una sperimentazione effettuata con l'uso dei GIS 3D finalizzati al controllo degli esiti progettuali in una situazione particolarmente critica, quale il progetto di reintegrazione volumetrica della torre di Santo Stefano di Sessanio (AQ), crollata durante il sisma[1].
La ricerca è stata sviluppata a seguito delle criticità evidenziate durante la redazione del Piano di Ricostruzione di tale Comune, il cui iter di approvazione è ancora in corso, ed è da considerarsi propedeutica alla definizione di un concorso di idee auspicato per affrontare questo specifico tema, che presenta aspetti di particolare complessità sia dal punto di vista concettuale, sia dal punto di vista materiale e operativo.

Abstract
The contribution deals with the issue of reintegration of urban lacunae after the earthquake of 2009 in a small village of the mountain Abruzzo, illustrating an experiment carried out with the use of 3D GIS project aimed at checking the results in a particularly critical situation, which the reintegration project of the tower of Santo Stefano di Sessanio (AQ), collapsed during the earthquake.
The research was developed as a result of issues raised during the drafting of the Reconstruction Plan, whose approval process is still ongoing, and is considered preparatory to the establishment of a competition of ideas hoped to address this specific issue, which presenting aspects of particular complexity from both the conceptual point of view, both from the point of view of material and operating.

1. Premessa

Il terremoto dell'aprile 2009 ha colpito un territorio molto ampio intorno alla città dell'Aquila, ed in particolare molti centri storici minori di notevole interesse storico-artistico e ambientale-paesaggistico. Le peculiari caratteristiche architettoniche di tali centri storici montani, sorti nel periodo dell'incastellamento medievale e contraddistinti da un tessuto edilizio particolarmente compatto e stratificato, hanno reso indispensabile, per la redazione dei Piani di Ricostruzione[2], uno

[1] Il contributo è stato concepito insieme dagli autori, ma si attribuiscono i paragrafi 1-2 a Carla Bartolomucci, il paragrafo 3 e l'elaborazione del progetto architettonico a Daniele Bonzagni, i paragrafi 4-5 e l'elaborazione del Sistema Informativo tridimensionale a Ilaria Trizio.

[2] La redazione dei P.d.R. dei Comuni dell'Area Omogenea 4 (Castel del Monte, Castelvecchio Calvisio, Santo Stefano di Sessanio e Villa Santa Lucia degli Abruzzi) è stata affidata all'Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti (prof. ing. Claudio Modena) e all'Istituto per le Tecnologie della Costruzione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ing. Giandomenico Cifani), con la collaborazione del Politecnico di Milano, Dipartimento di

studio approfondito e pluridisciplinare per affrontare in modo integrato i vari aspetti della 'ricostruzione': la conoscenza storica del territorio e dell'evoluzione urbana dei centri storici, l'analisi tipologico-costruttiva del patrimonio architettonico, il rilievo del danno sismico, l'analisi dei materiali e del degrado, le prospettive di sviluppo socio-economico del territorio.
Di seguito si presenta una sperimentazione applicativa su un aspetto particolarmente critico del piano di ricostruzione di Santo Stefano di Sessanio (posto a 1230 m s.l.m.): il crollo della torre medicea, vero e proprio simbolo del borgo medievale, ha dato avvio ad una serie di riflessioni sulle modalità della futura ricostruzione.
Se da un lato sembrano prevalere, in occasione di eventi così drammatici, le sollecitazioni dei fautori della ricostruzione "dov'era com'era"[3], dall'altro si vuole qui sperimentare una modalità di approccio alternativo, che pur contemperando le istanze psicologiche[4] di coloro che auspicano la ricostruzione materiale della torre, tenga conto dei principi guida del restauro modernamente inteso, quali la distinguibilità, l'autenticità e l'attualità espressiva del nuovo manufatto.
In questa sede, quindi, il tema della reintegrazione della lacuna urbana viene affrontato sia dal punto di vista concettuale sia da quello operativo, elaborando una proposta progettuale che preveda la reintegrazione volumetrica della torre con materiali compatibili ma riconoscibili, in modo tale che l'elemento simbolico rappresentativo del borgo fortificato torni ad essere visibile da lontano, ma risulti riconoscibile ad una visione ravvicinata come elemento di reintegrazione, così come avviene nel restauro di un'opera d'arte pittorica o scultorea.

2. Il caso di Santo Stefano di Sessanio: la lacuna della torre crollata

Le prime notizie del borgo fortificato di Santo Stefano di Sessanio risalgono al XII secolo, pur esistendo tracce di insediamenti preesistenti in età protostorica (I millennio a.C.) e in età romana (Di Vincenzo, 2006). La torre cilindrica crollata durante il sisma del 2009 risaliva al XVI secolo, periodo in cui il territorio della Baronia di Carapelle venne acquistato dalla famiglia toscana dei Medici (Giustizia, 1988).
Il centro storico di Santo Stefano presenta una forma ellittica dovuta alle condizioni orografiche del rilievo su ci sorge, ed è caratterizzato da un tessuto urbano che si avvolge 'a spirale' attorno alla torre - posta sul punto più alto del colle - e da strade anulari con percorsi trasversali gradonati (fig. 1). La tipologia edilizia è quella delle "case contro monte" (Ortolani, 1961) che, seguendo l'orografia del terreno, possono svilupparsi su altezze notevoli e presentare, a valle, prospetti anche di tre o più piani. L'accesso è posto generalmente a monte, rivolto quindi all'interno del paese, rivelando, insieme all'esiguità delle finestre, il carattere difensivo dell'abitato (Continenza, 1996). Il tessuto edilizio è composto sostanzialmente da diversi tipi: case muro, case torre, case a schiera, inizialmente allineate secondo le curve di livello, in seguito sviluppate trasversalmente, a causa del completamento del borgo (Zordan, 1996). La successiva saturazione dei lotti ha determinato evoluzioni costruttive posteriori, con sopraelevazioni e fusione degli isolati tramite sovrappassi, da cui sono derivati passaggi coperti di grande suggestione. Sono proprio queste "strade sotto agli archi" a caratterizzare, insieme ad un'edilizia 'minore' che presenta caratteristiche architettoniche di grande finezza, le qualità spaziali di Santo Stefano di Sessanio.

Progettazione dell'Architettura (prof. arch. Maria Grazia Folli) e Dipartimento di Ingegneria Strutturale (prof. arch. Luigia Binda) e della Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio dell'Università "Sapienza" di Roma (prof. arch. Giovanni Carbonara, prof. arch. Donatella Fiorani).

[3] Il dibattito sul "com'era dov'era" si può far risalire al crollo del campanile di San Marco a Venezia nel 1902, quando a seguito dell'improvviso cedimento strutturale si decise di ricostruire in forma identica, ma con struttura in c.a., uno degli elementi più simbolici della città; considerazioni analoghe si svolsero a seguito della distruzione bellica, nel 1944, del ponte di Santa Trinita a Firenze, che venne ricostruito con gli elementi lapidei recuperati dal crollo e con nuove pietre dalla medesima cava, riattivata in tale occasione.

[4] Sul concetto di "istanza psicologica" vedasi R. Pane, *Urbanistica, architettura e restauro nell'attuale istanza psicologica*, in M. Civita (a cura di), *Attualità e dialettica del restauro. Educazione all'arte – teoria della conservazione e del restauro dei monumenti*, Solfanelli ed., Chieti 1987, pp. 383-383.



Figura 1. S. Stefano di Sessanio: planimetria del centro storico (da Continenza, 1996) e foto prima del sisma.

Una delle peculiarità del borgo, che contrassegnava anche il paesaggio circostante in quanto ben visibile a distanza, era la torre cilindrica con coronamento sporgente merlato, crollata durante il sisma del 2009. Per brevità non ci si sofferma qui sulle cause del crollo, che sembrerebbe dovuto ad un recente consolidamento della parte sommitale, ripristinata con strutture in c.a., e alla conseguente differente rigidezza rispetto alle parti sottostanti autentiche (Boscato, 2012), quanto sul problema della lacuna urbana che si è creata, dato che è venuto a mancare l'elemento puntuale più evidente e simbolico. Attualmente rimane solo la parte basamentale dell'elemento fortificato, mentre già in fase di "messa in sicurezza" si è voluto alludere all'elemento svettante, riproposto tramite tubolari metallici che ricostruiscono virtualmente la sagoma della torre (fig. 2). Si può supporre che tale scelta, valida dal punto di vista concettuale e metodologico, non sia sufficiente a soddisfare le "istanze psicologiche" di coloro che auspicano la ricostruzione materiale del manufatto; resta dunque il problema di come intervenire, dando per scontato che la scelta di "com'era e dov'era" sia comunque oggi inaccettabile e anacronistica[5].



Figura 2. Il percorso di avvicinamento alla torre prima del sisma e allo stato attuale.

[5] G. Carbonara, *La reintegrazione dell'immagine: problemi di restauro dei monumenti*, Bulzoni, Roma 1976, 153-154.

In considerazione della particolare morfologia urbana e territoriale, in quanto la torre costituiva un elemento particolarmente visibile da lontano, caratterizzante non solo l'architettura ma tutto l'insieme paesaggistico (fig. 3), si può affermare la legittimità della reintegrazione dell'elemento mancante, che viene ad essere considerato una vera e propria 'lacuna' rispetto ad un'opera d'arte di valore unitario. Tale reintegrazione, tuttavia, coerentemente con i principi della teoria del restauro, non può che essere effettuata tramite un'opera attuale riconoscibile e non falsificante[6].



Figura 3. Viste del borgo di S. Stefano prima del sisma e allo stato attuale; si nota l'esile riproposizione volumetrica della torre tramite tubolari metallici.

3. Ipotesi progettuale di reintegrazione volumetrica

La ricostruzione della torre medicea di Santo Stefano di Sessanio, crollata a seguito del terremoto del 2009, ha un valore determinante tanto dal punto di vista psicologico quanto da quello paesaggistico, per il borgo e per i suoi abitanti.

Il progetto alla base della sperimentazione si propone pertanto di affrontare un duplice compito: quello relativo alla conservazione e consolidamento dei lacerti murari rimasti, e quello della riproposizione della volumetria mancante, nel rispetto della sua originaria consistenza e attraverso l'uso di materiali attuali, in modo da lasciare evidente la 'ferita' apportata dal crollo (fig. 4).

Si è scelto quindi di progettare, all'interno della parte restante, una struttura portante in acciaio, costituita da travi circolari che riprendono le quote di piano dei solai interni, in legno, utilizzati per risalire la torre. Le travi sono sostenute da pilastri, in numero e passo analogo a quello dei merli che coronano la torre. Allo scheletro in acciaio vengono affiancati, in modo reversibile, due materiali quali il legno e il vetro, che nel contesto riflettono un nuovo scenario pur rispettando il paesaggio urbano e ambientale. Il vetro ha il compito fondamentale di evidenziare la ferita che l'edificio ha subito nel terremoto; infatti, la fascia trasparente completa la parte perduta dei resti del cilindro della torre, attraverso la ricomposizione della parte mancante tra quota più bassa e la quota più alta, sovrapponendosi con una parziale fasciatura esterna dei resti.

Il legno consente di ottenere, dal punto di vista cromatico, un inserimento compatibile con il contesto e, dal punto di vista formale, di ricostruire la torre nei suoi dettagli.

[6] Brandi affermava infatti, con esemplare chiarezza, che "se gli elementi scomparsi siano stati in se stessi opera d'arte, allora è assolutamente da escludersi che possano ricostituirsi come copie. L'ambiente dovrà essere ricostituito in base ai dati spaziali, non a quelli formali, del monumento scomparso." (C. Brandi, *Teoria del restauro*, Roma 1963, p. 80).
Per esempio, la reintegrazione in calcestruzzo rigato eseguita nel 1963-66 sulla torre Salomon (XIII secolo) a Visegràd in Ungheria, dopo l'ampia distruzione causata da un'esplosione nel XVIII secolo, rappresenta una reintegrazione d'immagine volta a suggerire la volumetria originale con un linguaggio pienamente aderente all'espressione novecentesca (G. Carbonara, *Il restauro inteso come lecita modificazione*, in Id., *Avvicinamento al Restauro: teoria, storia, monumenti*, Liguori, Napoli, 1997, pp. 393-403). Il recente restauro del Castello di Saliceto (Cuneo) che reintegra la lacuna architettonica costituita dalla torre orientale con una struttura in acciaio e pannelli di legno, contempera la riproposizione della sua presunta forma originaria con l'esigenza progettuale di disporre di spazi ove ubicare i collegamenti verticali e i vani tecnici.

Il risultato cercato è che la parte di torre ricostruita in legno sembri sospesa e non connessa con la parte sottostante, anche nella volontà di isolare la nuova torre da quanto rimane della preesistente e, dalla quota orizzontale, ove pietra e vetro si avvicinano fino a ricostituire le "fondamenta" alla parte soprastante, la ricostruzione acquista le sembianze, nella forma e nei dettagli, della vecchia torre medicea.
Il progetto inoltre intende mantenere, come avveniva in passato, l'accesso pubblico alla sommità della torre che, grazie alla nuova struttura, potrà essere garantito dall'installazione di moderni dispositivi di risalita.

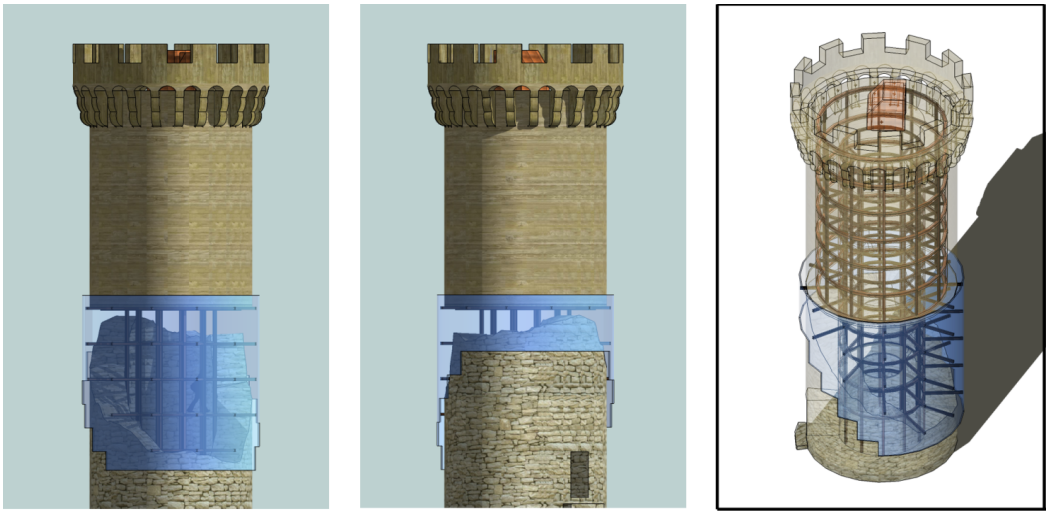


Figura 4. Ipotesi progettuale di reintegrazione volumetrica della torre.

4. La verifica del progetto con il GIS 3D

La letteratura scientifica più recente ha messo in evidenza come i Sistemi Informativi Geografici siano in grado di assolvere, oltre ai classici compiti di supporto alla pianificazione urbanistica e territoriale, anche quelli connessi alla catalogazione, fruizione e gestione del patrimonio culturale (Brusaporci, 2010).
Quando si interviene sul costruito storico, in particolare attraverso interventi di restauro, conservativi o con il monitoraggio dei rischi e della vulnerabilità cui è soggetto il patrimonio culturale e architettonico, la necessità di gestire, attraverso un unico sistema digitale un'ampia gamma di informazioni eterogenee, diviene requisito fondamentale. Tale necessità ha spinto la ricerca a misurare le indiscusse potenzialità dei Sistemi Informativi Geografici nei confronti di problematiche legate alla indagine e rappresentazione dei manufatti architettonici, e dunque, di fatto, tridimensionali (Trizio, 2010). Tuttavia, sebbene l'uso dei Sistemi Informativi Geografici in ambito bidimensionale sia stato ampiamente testato, con esiti soddisfacenti, anche per indagare fenomeni diversi da quelli territoriali, le problematiche legate alla costruzione di un GIS 3D dedicato all'architettura e al paesaggio urbano sono varie e riguardano tanto le caratteristiche del modello 3D rappresentativo dell'architettura, quanto la progettazione del *set* di dati (Trizio, 2011).
Nonostante tali premesse e sebbene la ricerca presenti ancora aspetti da approfondire in tal senso - in particolare rispetto alle procedure di importazione di modelli 3D complessi all'interno di ambienti GIS, la consapevolezza che i Sistemi Informativi Geografici - o Architettonici secondo una dizione più corretta- nella loro rappresentazione tridimensionale, possano divenire un efficace strumento di controllo delle attività amministrative e tecnico - pratiche connesse al recupero del patrimonio

costruito storico, da affidare alle amministrazioni locali, ha portato a sperimentare un GIS 3D del patrimonio costruito storico di Santo Stefano di Sessanio.

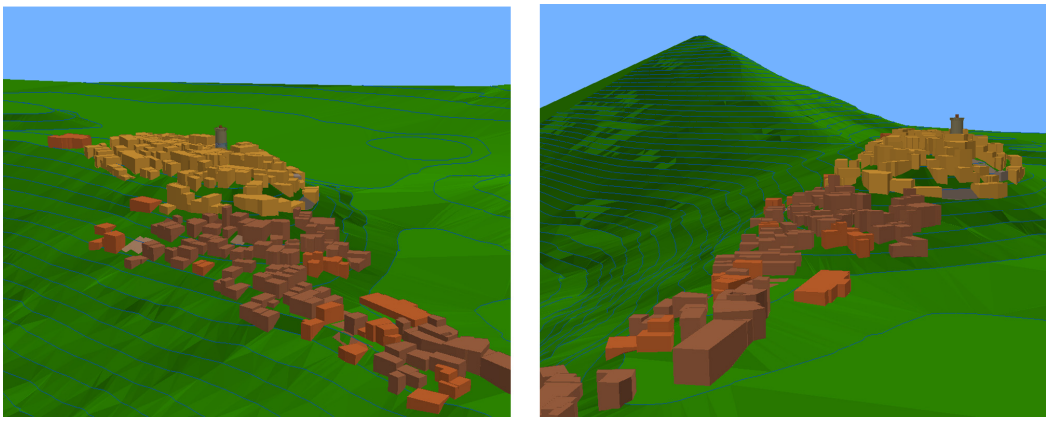


Figura 5. Schermate del software ArcScene della ESRI rappresentative dell'inserimento del progetto della torre.

In particolare, per la redazione del Piano di Ricostruzione del borgo, la tecnologia GIS ha consentito la corretta gestione di dati disomogenei (schede di verifica dell'agibilità degli edifici, schede per la rilevazione del danno sui beni culturali, stato delle reti e dei sottoservizi, uso e proprietà degli immobili, stato di conservazione degli edifici) e la produzione degli elaborati grafici del piano. Tra questi, quello relativo alle tipologie degli interventi sull'edilizia ha messo in evidenza alcune condizioni in cui è sembrato possibile che i Sistemi Informativi Geografici potessero dare un contributo ulteriore attraverso l'immediatezza della relazione topologica degli oggetti e del dato corrispondente, visualizzabile attraverso una corretta e dettagliata rappresentazione tridimensionale. Tale contributo da parte dello strumento digitale, potrebbe essere di grande utilità ai progettisti in quanto guida all'elaborazione delle proposte e, alle amministrazioni e ai tecnici locali, tramite l'importazione dei modelli georeferenziati, in quanto strumento di verifica tra il progetto ed i parametri richiesti.

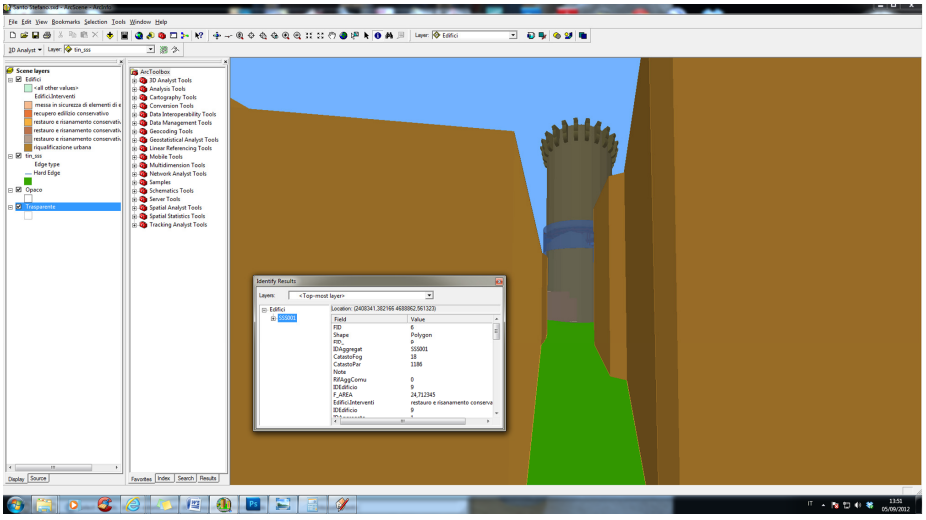


Figura 6. Schermata del software ArcScene della ESRI con query di un elemento del progetto.

Dal punto di vista prettamente operativo, la procedura seguita è stata quella di importare, all'interno della TIN (*Triangulated Irregular Network*) rappresentativa dell'orografia del sito, e del 3D del contesto urbano in cui inserire le proposte progettuali (ottenuto per estrusione assegnando un'altezza di interpiano pari a 2,5 m), il modello tridimensionale del progetto della torre (fig. 5), elaborato attraverso uno specifico ambiente di modellazione (Google SketchUp Pro 8.0).
La sovrapposizione tra il modello rappresentativo del progetto, georeferenziato sulle coordinate della Carta Tecnica Regionale, e la TIN del terreno, è stata effettuata all'interno del modulo ArcScene del pacchetto ArcGIS 9.3 della ESRI. A tale modello, cui corrisponde una *feature class* complessa che il sistema definisce *multipatch*, è stato poi possibile agganciare dei contenuti informativi esplicativi del progetto (dati dimensionali e formali, materiali, dettagli tecnici). Il risultato consente pertanto di visualizzare dinamicamente in ogni sua parte, ed interrogare, il modello 3D del progetto, effettuando al contempo una verifica dei volumi, delle altezze, e, in particolare, un riscontro immediato dei rapporti tra questo ed il contesto costruito (fig. 6).

5. Conclusioni

La sperimentazione appena descritta rappresenta un primo passo per l'utilizzo dei Sistemi Informativi tridimensionali in quanto strumenti digitali di supporto e di controllo in ambiti stratificati e complessi, come quelli rappresentati da un intero centro storico. Nel caso di studio illustrato, infatti, è evidente come le attività di restauro urbano e di progettazione richiedano una grande attenzione, tanto da parte delle amministrazioni locali quanto dei singoli progettisti, nonché l'uso di appropriati strumenti di verifica progettuale.

Bibliografia

Bartolomucci C., Donatelli A. (2012), *La conservazione nei centri storici minori abruzzesi colpiti dal sisma del 2009: esigenze di riuso e questioni di conservazione*, in G. Biscontin, G. Driussi (a cura di), *La conservazione del patrimonio architettonico all'aperto: superfici, strutture, finiture, contesti*, Atti del 28° Convegno Internazionale di studi Scienza e Beni Culturali (Bressanone, 10-13 luglio 2012), Edizioni Arcadia Ricerche, Marghera-Venezia, 101-111

Bartolomucci C. (2009), *Sistemi informativi geografici per la conservazione della città storica*, in C. Giannattasio (a cura di), *Antiche ferite e nuovi significati. Permanenze e trasformazioni nella città storica*, Workshop Internazionale di Restauro Architettonico e Urbano – Atti del Seminario, Cagliari, 14-15 settembre 2007, Gangemi ed., Roma, 87-96

Boscato G. et al. (2012), *La torre di Santo Stefano di Sessanio*, in *L'Università e la ricerca per l'Abruzzo. Il patrimonio culturale dopo il terremoto del 6 aprile del 2009*, Textus, L'Aquila, 99-103

Brusaporci S. (2010), a cura di, *Sistemi informativi integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*, Gangemi, Roma

Continenza R. (1996), *Il progetto in tessuti urbani consolidati. Riflessioni su due diverse metodologie di approccio al tema*, in S. Bonamico, G. Tamburini (a cura di), *Centri antichi minori d'Abruzzo. Recupero e valorizzazione*, Gangemi ed., Roma, 365-378

Di Vincenzo B. (2006), "Santo Stefano di Sessanio e il territorio circostante: ricostruzione storico-archeologica e climatico-ambientale all'epoca romana", *Bullettino della Deputazione Abruzzese di Storia Patria*, 117 (XCV), 51-100

Giustizia F. et al. (1988), *Homines de Carapellas: storia e archeologia della baronia di Carapelle*, Japadre ed., L'Aquila

Ortolani M. (1961), *La casa rurale negli Abruzzi*, L.S. Olschki, Firenze, 17

Paratore E. (1979), *Un emblematico abbandono della montagna abruzzese: Santo Stefano di Sessanio*, Edigeo, Roma

Trizio I. (2010), *Il SIArch-Univaq della Villa Correr-Dolfin di Porcia (PN). Prospettive di un Gis 3D finalizzato alla catalogazione, al monitoraggio e alla salvaguardia del patrimonio storico e*

architettonico, in S. Brusaporci (a cura di), *Sistemi informativi integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*, Gangemi, Roma, 30-38

Trizio I. et al. (2011), *The Architectural Information System Siarch3d-Univaq for analysis and preservation of architectural heritage*, in F. Remondino, S. El-Hakim (a cura di), *International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures", Trento, Italia, 2-4 marzo 2011, vol. XXXVIII-5/W16.

Zordan L. (1996), *Lettura tipologica del costruito, metodologia critica e strumenti operativi*, in *Centri antichi minori d'Abruzzo*, cit., 317

Strumenti GIS per il supporto agli studi storici: una proposta per l'innovazione dei metodi di ricerca

Riccardo Barzaghi, Daniela Carrion, Federica Migliaccio,
Guido Minini, Cynthia Zambrano

DIIAR, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy
riccardo.barzaghi@polimi.it, daniela.carrion@polimi.it, federica.migliaccio@polimi.it,
guido.minini@mail.polimi.it, cynthia.zambrano@mail.polimi.it

Riassunto

Nell'ambito del progetto PRIN 2009 dal titolo "Organizzazione del territorio, occupazione del suolo e percezione dello spazio nel Mezzogiorno medievale (secoli XIII-XV). Sistemi informativi per una nuova cartografia storica", coordinato dall'Università di Napoli Federico II, il Politecnico di Milano partecipa con un'Unità di Ricerca locale che si occupa delle possibili applicazioni GIS di supporto alla ricerca storica, compresi strumenti per la georeferenziazione di cartografia storica rispetto a sistemi di coordinate "moderne".

Gli strumenti di tipo GIS risultano ad oggi poco diffusi in Italia nell'ambito delle discipline umanistiche, con alcune eccezioni. L'idea alla base del nostro lavoro è che possano essere applicate alla ricerca storica metodologie innovative, derivate dall'ambito della geomatica, di analisi e condivisione dei dati, nonché di visualizzazione cartografica della distribuzione spaziale dei dati stessi qualora sia possibile georeferenziarli. In primo luogo è quindi necessario fornire ai ricercatori delle discipline storiche adeguati strumenti software che consentano di archiviare sotto forma di database e di riportare automaticamente in ambito cartografico i dati raccolti dalle fonti di interesse. La finalità del progetto è, in definitiva, far sì che la rappresentazione spaziale dei dati possa suggerire ai ricercatori nuovi criteri per lo studio e la correlazione delle informazioni reperite nelle fonti storiche. Non si intende con ciò proporre strumenti "alternativi" per la ricerca storica, bensì strumenti che possano essere complementari a quelli già tradizionalmente utilizzati.

L'ambito territoriale di riferimento della ricerca presentata è il Regno di Napoli, il periodo storico è il XV secolo. I dati di interesse su cui si stanno sviluppando gli strumenti GIS sono dati di tipo tributario, relativo a imposte di varia tipologia, e dati riguardanti funzionari, capitani o altri personaggi storici con ruoli di rilievo.

Abstract

In the frame of the PRIN 2009 project "Organization of the territory, land occupation and the perception of space in medieval Sothern Italy (XIII-XV centuries). Information Systems for a new historical cartography", coordinated by the University of Naples "Federico II", the Politecnico di Milano research unit is working on GIS applications supporting historical research, including tools for the georeferencing of historical maps with respect to "modern" coordinate systems.

GIS tools are, to-date, not very much popular among humanist scholars in Italy, except for some cases. The main idea of the work presented here is that innovative methodologies (developed in the fields of geomatics) of data analysis and mapping, plus data sharing through the Web, can be applied to historical research. To this purpose, it is first of all necessary to supply history researchers with ad hoc software tools for the digital archiving as a database and subsequent mapping of the data collected from the relevant source materials.

The purpose of the project is to verify if the visualization of historical data in a spatial context (i.e. on a map representation) may suggest to the researchers new criteria for studying and correlating

the pieces of information taken from historical documents. The idea is not to propose "alternative" tools for the historical research, but "complementary" tools to be exploited along with the other more traditional ones already in use.
This research covers an area corresponding to modern-day Apulia in what was XV century "Regno di Napoli" (Kingdom of Naples). The data for which the GIS tools are being developed regard taxations of various kind, but also historical figures in a prominent position such as customs officers, treasurers and commanders.

GIS a supporto della ricerca storica
Il germe iniziale del progetto di ricerca in cui si inquadra il lavoro presentato in questo contributo ha avuto origine nel 2006 grazie ad un PRIN (Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale) del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca. Lo scopo era quello di dotare gli Storici di uno strumento informatico dedicato a facilitare l'organizzazione delle informazioni desunte dagli archivi storici e la loro conseguente trasformazione e archiviazione in formato digitale. In questo contesto era stata creata una struttura tabellare nella quale poter raccogliere i dati ottenuti dalle fonti storiche presenti negli archivi; inoltre a tali dati erano state associate informazioni spaziali (coordinate di punti), corrispondenti ai toponimi che erano stati rinvenuti nelle fonti consultate dagli studiosi di storia.
La prosecuzione del progetto è stata finanziata nuovamente come PRIN 2009, e prevede che il Politecnico di Milano si occupi della realizzazione di un database di tipo relazionale (RDBMS), da popolare con i dati ottenuti dalle fonti storiche, passando così da una semplice struttura tabellare (ad es. foglio Excel) ad una struttura dati che si possa gestire come un database, con tutti i vantaggi del caso. Questo significa dare agli utilizzatori del sistema la possibilità di eseguire sui dati interrogazioni con sintassi più complesse, di selezionare dati in base a uno o più criteri, di consultare l'archivio in maniera più snella ed efficiente e inoltre, non da ultimo, di ottenere rappresentazioni di tipo cartografico dalle informazioni presenti nel database. Quest'ultima possibilità è proprio quella che, offrendo una rappresentazione spaziale dei dati raccolti dalle fonti, offre un ulteriore punto di vista che potrà essere sfruttato per l'interpretazione da parte degli storici, che potranno trarre vantaggio dalla visualizzazione della distribuzione sul territorio delle località a cui sono riferiti i dati degli archivi da loro consultati.

Prototipo del database storico georeferenziato
Al momento è stato implementato un prototipo del database, che è stato popolato con dati storici contenenti informazioni di tipo fiscale, relative a tasse di vario tipo dovute a vari soggetti e riguardanti in particolare il Principato di Taranto in epoca tardo medievale (XV secolo). Si è deciso di operare in ambiente PostgreSQL, uno dei più diffusi applicativi per la creazione e gestione di database relazionali che, attraverso l'estensione PostGIS, permette di integrare dati georeferenziati e di interfacciarsi con software GIS, quali ESRI ArcGIS e Quantum GIS.
All'interno del modello entità-relazioni (o ERD, Entity Relationship Diagram) sono state definite 14 entità (più due create automaticamente da PostGIS per l'integrazione dei dati georeferenziati); esse sono state in seguito popolate a partire dalle strutture monotabellari implementate nel PRIN 2006, estrapolando ogni volta i soli campi relativi a ciascuna entità e generando per ognuna dei codici identificativi univoci in ambiente Excel. In taluni casi i codici sono stati creati in ordine progressivo, in altri casi sono risultati dal concatenamento di parti di codice riferite ai diversi campi presenti in tabella (in questo caso, lo scopo era quello di rendere il codice "leggibile").
A partire da una prima bozza di schema ERD, nel corso del popolamento si è dovuto talvolta procedere alla sua modifica, sulla base delle problematiche emerse durante l'analisi dei dati utilizzati.
Infine, grazie a PostGIS è stato possibile collegare il database al software Quantum GIS, con il quale si possono sia rappresentare le entità che contengono informazioni spaziali (grazie alla sovrapposizione con cartografia di base di vario tipo), sia visualizzare le entità senza informazione

spaziale in forma tabellare: in questo modo è possibile svolgere delle interrogazioni sui dati e visualizzare la loro ubicazione in cartografia.
Come esempio, in Figura 1 è rappresentata una porzione del territorio di interesse su base cartografica IGM in scala 1:100000, sulla quale sono sovrapposte le informazioni spaziali del database inquadrate nel sistema cartografico e di riferimento UTM WGS84.

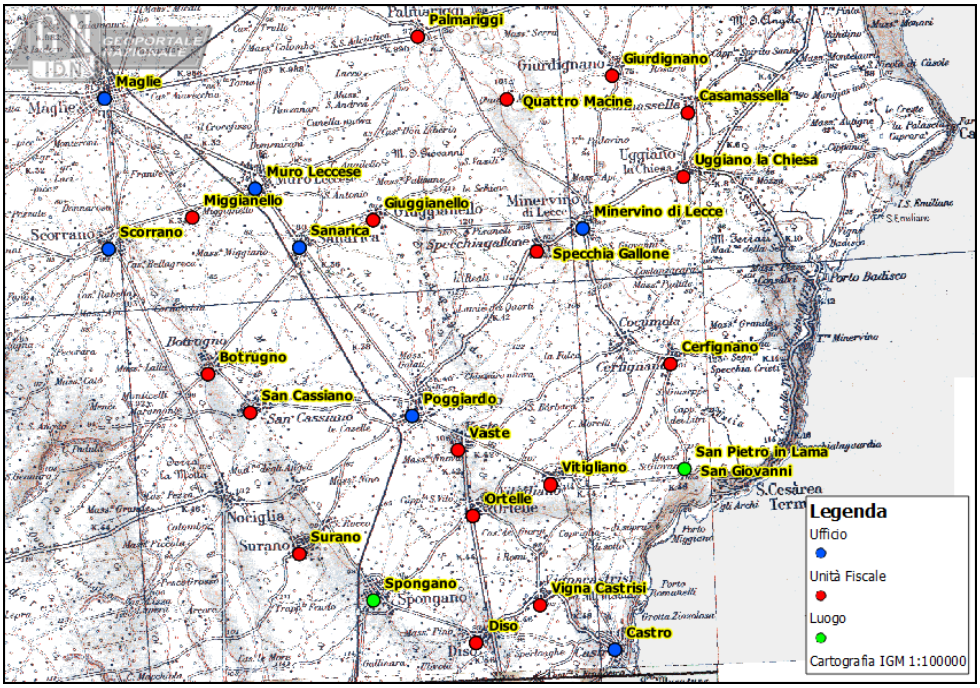


Figura 1. Porzione del territorio di interesse su base cartografica IGM in scala 1:100000 (UTM WGS84), sulla quale sono sovrapposte le informazioni spaziali e tematiche del database storico.

Pubblicazione di un WebGIS per la ricerca storica

In parallelo con la realizzazione del database storico, si sta procedendo con la pubblicazione del prototipo del database storico in ambiente WebGIS, ossia una piattaforma GIS raggiungibile via Internet. Per questo motivo, in una fase successiva al popolamento delle entità, sono state realizzate delle "viste", tabelle virtuali che consentono di relazionare tra loro le informazioni presenti nelle singole entità. Grazie alla pubblicazione delle viste e delle entità previste dall'ERD, gli utenti che si collegheranno via Web saranno in grado di effettuare interrogazioni più o meno complesse sui dati in esse presenti, estrapolando così le informazioni di cui necessitano. Le viste sono state create all'interno del database in linguaggio SQL grazie ad operazioni di "*full join*" tra le entità, legate tra loro da chiavi primarie e chiavi esterne basate sui codici identificativi. Tramite il *full join* è possibile ottenere una vista completa, nella quale i record per cui non c'è corrispondenza tra le entità non vengono eliminati, ma vengono invece inseriti dei record vuoti.

Riferimenti bibliografici

Ardissone P., Rinaudo F. (2005), "A GIS for the Management of Historical and Archaeological Data". *Proceeding of the CIPA 2005 XX International Symposium*, Torino.
Baiocchi V., Lelo K. (2002), "Confronto di cartografie storiche con cartografie attuali per l'area del centro storico di Roma". *Atti della VI Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia, 5-8 Novembre 2002.

Balletti C. (2006), "Digital elaborations for cartographic reconstruction: the territorial transformations of Venice Harbours in historical maps". In: *e-Perimetron*, Autumn 2006, 1, 4, 274-286.
Balletti C. (2000), "Analytical and Quantitative Methods for the Analysis of the Geometrical Content of Historical Cartography". *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIII, part B5, Amsterdam.
Balletti C., Guerra F., Monti C. (2000), "Analytical Methods and New Technologies for Geometrical Analysis and Georeferenced Visualization of Historical Maps". *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXII, part 6W8/1, ISPRS WG VI/3 and IV/3, Bridging the gap, Lubiana.
Berman L. M. (2005), "Boundaries or Networks in Historical GIS: Concepts of Measuring Space and Administrative Geography in Chinese History". *Historical Geography*, vol. 33, Special issue: Emerging trends in Historical GIS, Baton Rouge.
Carrion D., Migliaccio F. (2009), "Il principato di Taranto in un GIS: problemi e potenzialità". *I domini del principe di Taranto in età orsiniana (1399-1463)*, a cura di F. Somaini e B. Vetere, Congedo Editore, ISBN 978-88-80868781, pp. 37 – 60.
Grafarend E. W., Krumm F. W. (2006), *Map projections. Cartographic Information Systems*, Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
Gregory I.N. (2002), *A Place in History: A Guide to Using GIS in Historical Research*. AHDS Guides to Good Practice, ISSN 1463-5194, http://hds.essex.ac.uk/g2gp/gis/index.asp
Gregory I.N., Bennet C., Gilham V.L. and Southall H.R. (2002), The Great Britain Historical GIS: From Maps to Changing Human Geography. *The Cartographic Journal*, Vol. 39, N. 1, pp. 37-49 (13).
Henderson M., Berman L. M. (2003), „Methods for Space-Time Analysis: Examples form CHGIS". *ESRI Users Conference*, San Diego.
Jenny B., Weber A., Hurni L. (2007), "Visualizing the planimetric accuracy of historical maps with MapAnalyst". *Cartographica,* 42-1, p.89-94.

Impatto della correzione ortometrica sulla chiusura di linee di livellazione geometrica

(riassunto esteso)

Riccardo Barzaghi (*), Barbara Betti (*), Daniela Carrion (*), Gianfranco Gentile (**), Renzo Maseroli (***), Fausto Sacerdote (**)

(*) DIIAR, Politecnico di Milano
(**) DICEA, Università degli Studi di Firenze, via di S.Marta 3, 50139 Firenze, tel. 0554796312, fax 0554796494, e-mail fausto@dicea.unifi.it
(***) Istituto Geografico Militare

Il sistema ufficiale di quote sul territorio italiano è definito dalla rete di livellazione nazionale di alta precisione istituita dall'IGM, la cui lunghezza complessiva supera i 20000km. Le altezze attribuite ai capisaldi, la cui mutua distanza è di circa 1km, risultano dalla compensazione delle misure di livellazione eseguite sull'intera rete e periodicamente ripetute. In realtà, negli anni '70 del XX secolo l'IGM ha eseguito misure di gravità lungo la maggior parte delle linee allora esistenti, allo scopo di determinare numeri geopotenziali compensati nei nodi della rete, come richiesto per la prima versione dell'UELN (United European Leveling Network), che allora interessava i paesi dell'Europa occidentale. Questi dati di gravità non sono mai stati utilizzati per la determinazione delle quote ufficiali sui capisaldi della rete, dato che si era constatato che per quasi tutte le maglie della rete, lungo le quali i dislivelli non superano le poche centinaia di metri, gli scarti di chiusura sono ampiamente entro la tolleranza stabilita dalle linee guida (basata sull'espressione $\Delta H = 2\sqrt{l}$, dove lo scarto ΔH è in mm e la lunghezza della linea l in km), e che l'introduzione di correzioni ortometriche o normali non avrebbe modificato in modo significativo i valori ottenuti.
In tempi successivi la rete è stata densificata con l'istituzione di nuove linee. In particolare la linea 155, che congiunge il nodale 17 presso Ivrea con Villeneuve in Valle d'Aosta attraverso il Colle de Nivolet a quota superiore a 2600m, costituisce insieme con parte della linea AF che percorre il fondo valle una maglia chiusa lunga circa 200km, lungo la quale lo scarto di chiusura di circa 7cm è nettamente fuori tolleranza. Questo fatto è stato attribuito non solo alla presenza di un dislivello molto elevato, ma anche alle forti variazioni di gravità legate alle disomogeneità della densità nella zona (corpo di Ivrea). In effetti, uno studio presentato nella passata edizione di ASITA (Gentile et al., 2011) ha mostrato che su questa stessa maglia lo scarto di chiusura in termini di altezze normali si riduce a circa 2.4cm e rientra nella tolleranza.
Per giungere a questo risultato era necessario disporre dei dati di gravità lungo tutto il percorso. Le misure di gravità, eseguite in tempi recenti, erano disponibili soltanto su parte della linea 155; per la restante parte si è valutata la possibilità di utilizzare valori interpolati dal data-base gravimetrico nazionale.
L'interpolazione è stata eseguita sui residui ottenuti dopo aver sottratto dai dati di gravità la gravità normale, la componente a grande lunghezza d'onda delle anomalie di gravità tratta dal modello globale GPM98CR (Wenzel 1998) e la correzione topografica residua (Forsberg 1994). E' stato applicato l'algoritmo della collocazione veloce (Bottoni et al. 1993), e infine sono state nuovamente aggiunte le componenti che erano state sottratte.
I valori ottenuti sono stati confrontati con quelli misurati nei tratti in cui questi erano disponibili; il risultato del confronto, che presenta una deviazione standard di circa 5mgal, può essere considerato soddisfacente, dato che si può stimare che un'incertezza sui valori di gravità dell'ordine di 10mgal comporta, su un dislivello di 2000m, un'incertezza nell'altezza normale di pochi mm.

Avendo a disposizione valori di gravità lungo tutta la maglia chiusa, è stato possibile eseguire il calcolo delle correzioni ortometriche e delle altezze normali.
Per le correzioni ortometriche è stata utilizzata la ben nota formula (Heiskanen and Moritz 1993)

$$OC_{AB} = \sum_{A}^{B} \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot \delta n + \frac{\bar{g}_A - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot H_A - \frac{\bar{g}_B - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot H_B$$

dove δn è il dislivello determinato con la livellazione fra due capisaldi, g è la gravità media nel tratto corrispondente, γ_0 =980.6294gal è la gravità normale a latitudine 45°, $\bar{g}_A$ e $\bar{g}_B$ sono i valori medi della gravità lungo le verticali per *A* e *B* fra la superficie terrestre e il geoide. Per H_A e H_B è possibile scegliere i valori non corretti senza alterare significativamente il risultato.
Il calcolo della correzione ortometrica è stato eseguito, nei tratti in cui i dati erano disponibili, sia con i valori di gravità misurati sia con quelli interpolati. Nel tratto ascendente della linea 155, fra il caposaldo iniziale e il punto di quota massima, il valore calcolato della correzione ortometrica è risultato di circa 46cm, con una differenza di poco più di 1cm fra il valore ottenuto con i dati misurati di gravità e quello ottenuto con i dati interpolati.
Per il calcolo dell'altezza normale è stata usata la formula $H^* = C/\bar{\gamma}$, dove $\bar{\gamma}$ è la media della gravità normale lungo la normale all'ellissoide fra ellissoide e telluroide; per il calcolo del numero geopotenziale *C* è stata usata l'espressione

$$C(P) = C(P_0) - W(P) + W(P_0)$$

dove il valore di *C* nel punto iniziale P_0 è tratto dai dati IGM, mentre le differenze di geopotenziale lungo la linea sono state calcolate utilizzando dislivelli e valori della gravità. Il calcolo di $\bar{\gamma}$ è stato eseguito assumendo un gradiente costante di 0.3086mgal/m e usando altezze non corrette. Anche in questo caso è stato verificato che errori su $\bar{\gamma}$ di qualche mgal portano, su dislivelli dell'ordine di 2000m, a errori sull'altezza normale non superiori al cm.
Le correzioni normali per dislivelli elevati risultano essere circa la metà delle correzioni ortometriche. Il risultato più interessante riguarda la differenza fra altezze normali e altezze ortometriche, per cui è nota la formula approssimata (Heiskanen and Moritz, 1993)

$$H - H^* = \zeta - N \doteq \left(-\frac{\Delta g_{Bouguer}}{\bar{\gamma}} \right) \cdot H$$

La verifica di questa formula è stata effettuata lungo la linea 155. In realtà fra i due membri dell'uguaglianza è stata trovata una discrepanza quasi costante di circa 17cm, con l'eccezione di alcuni punti in alta quota, in cui la essa è inferiore di alcuni cm. La causa non è stata per il momento indagata, ma presumibilmente è dovuta a qualche incoerenza dei valori nel punto iniziale. In ogni caso, si tratta di un risultato significativo, dato che lungo la linea le anomalie di Bouguer subiscono una variazione molto grande, da un massimo di circa +60mgal a un minimo di circa -190mgal.
Lo studio illustrato riguarda una delle poche maglie chiuse della rete di livellazione di alta precisione interamente entro il territorio nazionale con dislivelli superiori ai 2000m, mentre numerose sono le linee aperte che raggiungono il confine di stato a quote piuttosto elevate per collegarsi con linee di livellazione dei paesi confinanti. I risultati ottenuti giustificano il suggerimento di adottare in tempi brevi le altezze ortometriche o le altezze normali per l'intera rete nazionale di livellazione di alta precisione, secondo le indicazioni degli organismi internazionali in relazione all'istituzione e al mantenimento dell'European Vertical Reference System (Sacher et al. 2009).

Bibliografia

Bottoni, G. and Barzaghi, R. (1993) - *Fast Collocation* - Bulletin Géodésique, Vol. 67, No. 2, pp. 119-126.
Forsberg, R. (1994) – *Terrain effects in geoid computations.* - Lectures Notes of the International School for the Determination and Use of the Geoid. IGeS, DIIAR, Politecnico di Milano.

Gentile, G., Maseroli, R. and Sacerdote, F. (2011) – *Studio dell'effetto della gravità su circuiti chiusi della livellazione di alta precisione in presenza di dislivelli molto elevati* – Atti della 15° Conferenza Nazionale ASITA, 1151-1158

Heiskanen, W.A., Moritz, H. (1993) - *Physical Geodesy* - Institute of Physical Geodesy Technical University, Graz, Austria.

Sacher M., Ihde J., Makinen J. (2009), "EVRS2007 as realization of European Vertical Reference System" – Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, vol LXVIII, n.1.

Wenzel, G. (1998) - *Ultra high degree geopotential models GPM98A, GPM98B and GPM98C to degree 1800.* http://www.gik.uni-karlsruhe.de/~wenzel/gpm98abc/gpm98abc.htm

La rete dei punti di contatto regionali del Progetto DORIS_Net: un ponte tra domanda e offerta dei servizi GMES nelle regioni europee

Anna E.M. Basoni, Paola Carrara, Alba L'Astorina, Anna Rampini

CNR IREA Milano, 02.23699.299, 02.23699.300, basoni.a@irea.cnr.it

Riassunto
Scopo di questo lavoro è presentare il progetto DORIS_Net ed illustrare le attività svolte dalla rete dei punti di contatto destinate agli interlocutori regionali; in particolare verranno descritti i due principali servizi offerti dalla rete dei Regional Contact Office (RCO): gli eventi informativi destinati agli utenti, produttori e ricercatori e l'osservatorio dei servizi e dei fornitori dei prodotti GMES nelle regioni partecipanti al progetto.

Abstract
The aim of this article is to present the DORIS_Net Project and to show the regional activities carried out by the Regional Contact Office (RCO) network addressed to the regional stakeholders; in particular two main services will be described: the regional events organized to spread to improve the regional participation in the GMES program and the observatory of the GMES downstream sector in the participant regions.

Introduzione e contesto
Le tecnologie spaziali giocano un ruolo fondamentale per il raggiungimento dei principali obiettivi dell'Unione europea: l'aumento della crescita economica, la competitività industriale e la creazione di posti di lavoro, il sostegno della ricerca scientifica e dell'innovazione e la promozione della coesione sociale, economica e dello sviluppo sostenibile. (Ceccarelli et all, 2009).
L'aumento della capacità europea nel settore spazio (telecomunicazioni, osservazione terrestre e navigazione satellitare) permette lo sviluppo di applicazioni tecniche, aprendo nuovi mercati che sono particolarmente significativi nello scenario mondiale e che si prevede porteranno benefici strategici, economici e sociali come sottolineato nella Comunicazione della Commissione europea (Commissione Europea, 2011). Le imprese europee, di cui le PMI sono la stragrande maggioranza, sono attori chiave sul mercato commerciale mondiale lungo tutta la filiera dalla costruzione di satelliti, dai servizi di lancio fino ad arrivare alla fornitura di servizi derivati da immagini satellitari Per tali ragioni il settore spazio è presente anche nella strategia Europe 2020 ove si afferma che la Commissione lavorerà per assicurare il successo dei programmi bandiera spaziali, GMES e Galileo visti come strumenti utili per rispondere alle più importanti sfide globali del momento ovvero il raggiungimento di livelli di crescita intelligente, sostenibile ed inclusiva.
GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*), il Programma europeo di osservazione della terra a partire dal 2013 GMES renderà disponibili una vasta gamma di servizi di osservazione della terra stimolando la crescita dell'industria dello spazio in Europa, in particolare le imprese di piccole/medie dimensioni (le cosiddette *Earth Observation Value Added Companies*). A fronte di tali potenzialità, pur essendo il mercato dei servizi tecnologicamente maturo, fino ad ora non è decollato. Infatti GMES è ancora sottoutilizzato e poco conosciuto sia sul fronte della domanda (elevata frammentazione e limitata conoscenza dei benefici del telerilevamento) sia sul fronte dell'offerta (difficoltà per l'industria locale a raggiungere il mercato della domanda). Le pubbliche

amministrazioni infatti non conoscono a sufficienza le potenzialità delle applicazioni satellitari oppure ritengono che i costi siano eccessivi o ancora che i servizi non siano adattabili alle esigenze e ai bisogni specifici. Le imprese, soprattutto le PMI del settore IT che si occupano di *image processing* e GIS spesso faticano ad entrare nel mercato globale rimanendo relegate alla dimensione locale.
DORIS_Net (*Downstream Observatory organised by Regions active in Space-Network*), uno dei progetti bandiera della rete NEREUS (*Network of European Regions Using Space Technologies*) nell'ambito del Settimo programma quadro della Commissione Europea, azione cooperazione, tema spazio (numero progetto 262789), intende creare le condizioni affinché si sviluppino i mercati europei regionali dei servizi GMES tramite azioni di messa in rete e di scambio informativo. Il progetto è iniziato nel febbraio 2011 e la durata è di 24 mesi. DORIS_Net è parte integrante di un'iniziativa più vasta, GMES4Regions (G4R), realizzata in collaborazione con il progetto GRAAL (*GMES for Regions: Awareness and Access Link)*. Le loro sinergie confluiscono nel portale GMES4Regions (www.g4r.eu), una porta d'accesso per autorità locali e regionali europee al programma GMES.
Ruolo chiave per sostenere la competitività delle imprese è svolto dai punti di contatto regionale (*Regional Contact Offices*-RCO), 6 uffici nelle Regioni partner del Progetto, operativi dal luglio 2011.
Ciascun ufficio regionale è ospitato presso un ente indipendente delegato ufficialmente dall'autorità regionale competente, o dalla regione stessa, dopo aver superato positivamente il processo di certificazione; gli uffici sono di seguito elencati:

1. **RCO Azores**: SRCTE, Secretary of Science Technology and Equipments, Ponta Delgada, Azores
2. **RCO Basilicata**: TeRN, the Earth Observation and Natural Hazards Technologies Consortium), Potenza, Italia
3. **RCO Bremen**: CEON, Centre for Communication, Earth Observation and Navigation Services, Bremen, Germania
4. **RCO East Midlands**: Università di Leicester, G-STEP programme (GMES Space Technology Exchange Partnership), Leicester, Gran Bretagna
5. **RCO Lombardia**: CNR-IREA, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, Milano, Italia
6. **RCO Midi-Pyrenees/ Aquitaine** : CETE, Centre d'Études Techniques de L'Équipement Sud-Ouest, Toulouse, Francia.

Ma quali sono le funzioni principali di un RCO?
I punti di contatto regionali agiscono come mediatori; trovandosi in una posizione privilegiata nel panorama degli attori regionali (industria, prevalentemente PMI, utenti dei servizi, autorità regionale, ricerca e sviluppo) hanno infatti accesso alle informazioni sul settore dell'osservazione della terra a livello regionale sia dal punto di vista della domanda, dell'offerta e anche della ricerca e sviluppo.



Figura 1. RCO e gli stakeholder regionali.

Le principali attività condotte finora sono state:

- diffusione delle opportunità offerte dai servizi di osservazione della terra e GMES (organizzazione di eventi, workshop, attività di comunicazione sul territorio);
- mappatura in continuo di servizi e utenti presenti nella regione (osservatorio);
- identificazione di nuovi utenti e supporto nella definizione dei bisogni e della individuazione dei servizi che rispondono a tali richieste;
- promozione e pubblicizzazione di nuovi servizi;
- stimolo al dialogo tra domanda, offerta e mondo della ricerca per creare opportunità di nuovi servizi in linea con la domanda espressa;
- supporto alla formazione di esperti nel campo dell'osservazione della terra e di GMES.

Gli eventi regionali

Per comunicare agli stakeholder regionali i benefici offerti dalle applicazioni satellitari, diffondere le buone pratiche e promuovere l'incontro tra domanda e offerta gli RCO hanno organizzato, nelle 7 regioni partner del progetto, numerosi eventi.

Varie le formule (evento pubblico, workshop, incontri faccia a faccia, seminari, video conferenze – *webinars*) e differenti le platee: a seconda del tessuto economico locale, gli incontri hanno visto la partecipazione di amministratori pubblici, imprese già operanti nel campo specifico del telerilevamento ma anche di altri settori dall'informatica; in comune il costante e attivo supporto del mondo accademico e della ricerca.

Si vuole iniziare la rassegna di questi incontri descrivendo l'evento internazionale che si è svolto il 9 novembre scorso a Bruxelles dal titolo: *DORIS_Net Brokerage Event:* "*Stimulating the creation of partnerships for a sustainable development of GMES downstream services*".

Per sviluppare la competitività delle imprese che vogliano cogliere la sfida di sviluppare servizi GMES e per rafforzare i contatti fra fornitori e utenti pubblici, è stato organizzato questo evento di messa in rete dedicato in particolare alle PMI europee. Questo evento ha voluto far incontrare i differenti *stakeholders* coinvolti lungo tutta la filiera dei servizi GMES, da coloro che forniscono il servizio a coloro che lo utilizzano o che lo commissionano, soprattutto gli utilizzatori pubblici regionali, con l'ambizioso obiettivo di stimolare la creazione di *partnership*.

All'evento hanno partecipato circa 65 persone provenienti dai seguenti settori:

- provider nei campi di atmosfera, sicurezza, risposta alle emergenze, territorio e ambiente marino;
- piccole e medie imprese, attori chiave nella filiera dei servizi a valore aggiunto;
- autorità regionali;
- ricerca e altre organizzazioni interessate come i distretti o le associazioni europee.

Il programma della giornata è stato diviso in due parti. Nella prima parte si sono svolte le sessioni parallele nelle quali alcuni rappresentanti dei servizi Core di GMES ne hanno illustrato lo stato dell'implementazione che hanno riguardato le seguenti tematiche: sicurezza del mare e dei trasporti, pianificazione territoriale urbana, monitoraggio delle zone costiere e della qualità dell'aria, gestione delle risorse naturali e dei ruschi naturali. In questa parte dell'evento i partecipanti hanno avuto l'opportunità di discutere alcune importanti questioni come le modalità di utilizzo dei dati satellitari e dei *Core services*: ad esempio quali dati sono immediatamente disponibili e a quali condizioni? Quali le sfide alle quali si trovano di fronte le PMI durante lo sviluppo dei servizi? Quali le difficoltà far fronte in caso di adozione di servizi e prodotti GMES?, ecc.

La seconda parte della giornata è stata dedicata alla creazione e al consolidamento della rete attraverso degli incontri faccia a faccia tra i partecipanti. Questi incontri sono stati organizzati in anticipo chiedendo a ciascun partecipante di compilare schede specifiche in cui indicare le tematiche di interesse.

Regione Azzorre

In occasione dell'inaugurazione del RCO Azzorre il 16 novembre 2011 si è svolta a Ponta Delgada l'iniziativa: "*Discover the world through GIS*" organizzata da SRCTE (*Regional Secretariat for Science, Technology and Infrastructures*); l'evento ha visto la partecipazione della Università delle Azzorre, Ponta Delgada City Hall, la DG regionale foreste e la DG pianificazione e informazione geografica del territorio di Madeira, la Segreteria regionale per l'ambiente e il mare e GaTE, l'ufficio delle tecnologie spaziali. RCO East Midlands ha partecipato all'evento in video conferenza. La video conferenza tra i due RCO ha fornito un esempio di disseminazione e formazione attraverso strumenti multimediali.

Regione Brema

RCO Bremen, CEON, ha organizzato, tra le numerose iniziative, una conferenza regionale su GMES il 25 gennaio 2012 a Brema. La conferenza ha affrontato due tematiche rilevanti in Germania settentrionale: energia eolica offshore e cambiamenti climatici.
Questi ultimi sono una priorità per la politica regionale di Bremen dato che i cambiamenti climatici costituiscono una minaccia reale per questa zona dove la previsione dell'innalzamento del livello del mare richiede strategie di adattamento come l'implementazione di dighe e muri di protezione dei porti. L'energia eolica offshore può infatti trarre vantaggi dai dati GMES per il fatto che gli impianti eolici a grande scala attualmente installati nel mare del Nord richiedono accurate previsioni delle condizioni del vento. L'incontro ha visto la partecipazione di circa 75 persone inclusi i rappresentanti della comunità regionale esperti di cambiamenti climatici, istituzioni di ricerca regionali, autorità regionali, l'agenzia spaziale europea (ESA), il Ministero tedesco dei trasporti e l'Agenzia spaziale tedesca (DLR) ma anche aziende e player chiave del cluster dell'eolico offshore a Brema.



Figura 2. Alcuni esempi di eventi regionali.

Regione East Midlands

RCO East Midlands, ospitato presso l'Università di Leicester nel centro G-STEP (GMES – Science and Technology Exchange Programme) ha organizzato un evento regionale dedicato a GMES che si è svolto il 1 novembre 2011 al centro spaziale di Leicester dal titolo: "*Global to Local: Space innovation in mapping*". L'obiettivo della giornata è stato stabilire i contatti fra i servizi GMES e i fornitori con le PMI regionali e le autorità locali. Più di 100 persone hanno partecipato con presentazioni dalle agenzie spaziali sia inglesi che europea, DEFRA, *Ordnance Survey, British Geological Survey*, Google e il mondo della accademia. L'incontro ha visto susseguirsi una sessione plenaria a workshop in cui i partecipanti hanno potuto visualizzare in prima persona i dati e le applicazioni GMES, elaborandoli a seconda dei loro interessi avendo a disposizione un PC e i relativi software specializzati. Una volta stabilito il contatto con i partecipanti, altri numerosi incontri sono stati organizzati in un secondo tempo per sostenere le PMI locali nello sviluppo di applicazioni focalizzate a risolvere esigenze specifiche.

Regione Lombardia

RCO Lombardia, ospitato al CNR IREA, ha organizzato, in collaborazione con DG Industria della Regione Lombardia, l'evento regionale dal titolo: "Le tecnologie satellitari: opportunità di innovazione per le PMI lombarde" che si è svolto a Milano il 30 gennaio 2012. L'iniziativa è stata dedicata principalmente alle PMI ma ha visto la partecipazione di tutti gli attori regionali dello spazio e degli esperti di GMES. Hanno partecipato circa 80 persone, provenienti dal mondo aziendale lombardo e non (PMI ma anche grandi imprese), università e centri di ricerca (Politecnico Milano, Università Pavia, Università di Milano Bicocca, CNR, JRC) e amministratori e funzionari pubblici (DG Protezione civile, DG Ambiente, DG Industria, DG Sistemi verdi e paesaggio di Regione Lombardia).
L'obiettivo è stato quello di informare sulle possibilità offerte da GMES, mettere le basi per sviluppare nuovi servizi e nuove opportunità di mercato derivanti dalle tecnologie spaziali e coinvolgere le PMI regionali come potenziali fornitori dei servizi GMES downstream.
Dopo i saluti istituzionali delle autorità regionali, la sessione mattutina è stata dedicata alla presentazione del contesto europeo di GMES a cura della DG Enterprise e di alcuni casi di successo a cura di alcune PMI come idee di possibile sviluppo per le PMI partecipanti. E' stato inoltre proiettato il video della rete NEREUS dal titolo: "La voce delle Regioni per lo spazio".
Nel pomeriggio si sono svolti gli incontri bilaterali tra alcune PMI intervenute e rappresentanti del mondo accademico, ricerca e pubblica amministrazione. Nel pomeriggio si sono svolti gli incontri bilaterali tra alcune PMI intervenute e i rappresentanti del mondo accademico, ricerca e pubblica amministrazione esperti dei differenti temi di GMES (*land, marine, atmosphere, emergency, security).*

Regione Midi-Pyrenees-Aquitaine

RCO Midi-Pyrénées/Aquitaine, ospitato dal CETE del Sud Ovest ha organizzato, durante il suo primo anno di vita, numerosi eventi: alcuni dedicati a piccoli gruppi di partecipanti, altri dedicati a sensibilizzare gli utenti finali, ed infine iniziative su specifiche tematiche (uso del suolo, gestione del mare e delle coste, gestione del territorio).
Il punto di contatto francese ha assistito ad un crescente aumento della partecipazione e del coinvolgimento degli utenti. Per citare un esempio significativo in occasione dell'evento organizzato in Aquitania il cui tema era la gestione del mare e delle coste, più della metà della platea era costituita da utenti finali (comunità locale, attori nazionali che si occupano della gestione delle coste) che hanno avuto l'opportunità di esprimere i loro interessi ed i loro bisogni specifici.

Regione Basilicata
RCO Basilicata, ufficio attivo dal 25 maggio 2012, ha optato, in occasione dell'iniziativa di lancio del RCO, per un evento di respiro internazionale. Si è svolto infatti l'8 giugno scorso a Matera un evento internazionale dal titolo: "*Towards a smart specialization in the field of space technologies: the contribution of regional policy to Europe 2020*" al quale hanno partecipato circa 80 persone provenienti da tutta Europa (ricercatori, funzionari europei, nazionali, regionali e locali, imprese e studenti). Il format è stato quello della conferenza ed ha avuto gli obiettivi di:

- lanciare ufficialmente RCO Basilicata;
- offrire ai provider della Basilicata e internazionali l'opportunità di incontrare clienti e/o partner per accordi commerciali e/o di cooperazione;
- discutere le capacità presenti nella regione per lo sviluppo delle applicazioni satellitari;
- incoraggiare lo sviluppo e l'implementazione della strategia di NEREUS 2012 rivolta a coinvolgere gli attori regionali (pubbliche amministrazioni, industrie, ricerca e università, utilizzatori e cittadini) nella rete delle attività e dei gruppi di lavoro;
- presentare la call EU FP7 pubblicata nel luglio scorso.

Tutti i punti di contatto regionali hanno partecipato alla redazione di alcune pubblicazioni con lo scopo di diffondere le buone pratiche delle applicazioni satellitari come:
"*50 (operational) Uses of GMES at regional level* (pubblicazione promossa da NEREUS e ESA), e "*Window on GMES*" (nel contesto dell'iniziativa GMES4Regions) entrambe attualmente ancora in fase di redazione.

L'osservatorio condiviso
Oltre alla rete della conoscenza fra gli attori di una medesima regione, il progetto ha l'obiettivo di stabilire una rete fra le regioni che fanno parte del consorzio di progetto facilitando la collaborazione tra regioni diverse. Uno dei principali strumenti è la creazione di una piattaforma condivisa europea dei servizi GMES, un portale dove a breve sarà possibile, per gli utenti registrati, trovare soluzioni alle proprie esigenze e, per i provider, diffondere i prodotti sviluppati. La piattaforma dovrà incorporare gradualmente sempre più regioni al di fuori del consorzio del progetto accrescendo così il portfolio dei servizi disponibili al pubblico più vasto della rete.
In particolare la piattaforma è costituita dagli osservatori dei servizi, dei provider che li forniscono e degli utenti che li utilizzano in ogni regione partecipante. Ogni RCO gestisce il proprio archivio dati e provvede all'aggiornamento continuo in modo da poter condividere con tutte le altre regioni i dati e permettere operazioni di *query* e *matching* fra domanda e offerta.
I dati vengono raccolti attraverso la somministrazione e compilazione di un questionario, comune per tutti i partner ma che ogni RCO ha potuto modificare e riadattare alle esigenze specifiche.
Al momento i dati sono immagazzinati in tabelle, organizzati in fogli Excel; per ogni categoria informativa vengono inseriti i seguenti campi:

- fornitore (organizzazione, tipologia, indirizzo, attività principale, persona di contatto, …)
- servizio (nome, settore, utilizzatore attuale, piattaforma, copertura geografica, scala spaziale e temporale, …)
- utilizzatore (organizzazione, tipologia, indirizzo, attività principale, persona di contatto, servizio attualmente usato, …)

Oltre agli utenti si è deciso di inserire anche le informazioni riguardanti i bisogni espressi da categorie di utilizzatori come amministratori pubblici, associazioni di categoria, agenzie di protezione ambientale, autorità pubbliche regionali e locali.
Uno degli aspetti cruciali è rappresentato dalla corretta definizione del settore di appartenenza sia per il servizio che per l'utilizzatore (che può anche essere definito come cliente).
Per consentire infatti operazioni efficaci ed efficienti di *query* è fondamentale che ad ogni oggetto censito sia correttamente associato un codice che descriva l'area di attività, detta anche tassonomia.

Per descrivere questo campo ci si è avvalsi di due tipologie di tassonomie, una elaborata nel contesto dell'iniziativa G4R ed è adatta a descrivere le attività delle autorità pubbliche, in particolare le regioni. La seconda è quella elaborata dalla EARSC, l'*European Association of Remote Sensing Companies* (eovox2, 2012). Quest'ultima è apparsa utile per i fini del progetto per la sua completezza dato che comprende tutti i settori produttivi e per ogni settore fornisce il punto di vista sia del fornitore che del cliente.
La piattaforma dei servizi è attualmente in fase di *testing* anche se ogni regione ha raccolto i propri dati e può già fornire un quadro piuttosto dettagliato degli attori GMES regionali.
RCO Lombardia allo stato attuale ha censito circa 50 attori lombardi di cui:

- 25 utenti, 19 provider, 6 entrambi;
- 14 pubbliche amministrazioni, 4 centri di ricerca, 12 università e 20 aziende.

I servizi forniti in Lombardia riguardano principalmente i seguenti settori:

- uso e copertura del suolo;
- erosione;
- risposta alle emergenze;
- monitoraggio atmosferico.

Obiettivo da raggiungere entro la fine del progetto è ottenere un archivio dati condiviso da tutti gli RCO, aggiornato in tempo reale e posizionato sul server del sito web del progetto (www.doris-net.eu).

Conclusioni

Recentemente molte iniziative a livello europeo hanno cercato di diffondere e sviluppare i servizi GMES ma la maggior parte di esse è stata avviata a partire dal settore dell'offerta (*technology push)*; nel progetto DORIS_Net invece protagonisti sono gli attori regionali e, per la prima volta, gli utenti ricoprono un ruolo di guida e di coordinamento: è infatti privilegiato il punto di vista delle autorità pubbliche e degli utenti finali partendo sempre dalla prospettiva regionale.
Come anche affermato dal Comitato delle Regioni nel documento Opinion of the Committee of the Regions on '*Towards a space strategy for the European Union that benefits its citizens*' (CoR, 2012a), il contributo alla politica spaziale delle regioni e degli enti locali è fondamentale, visto il ruolo chiave che hanno come utenti/amministratori nella pianificazione del territorio e le responsabilità ricoperte nei campi dell'ambiente e della protezione civile; ma è da sottolineare anche la loro rilevanza come fornitori di servizi o dati (raccolta e elaborazione dei dati satellitari) nonché il loro ruolo rappresentando attualmente il mercato più importante per le applicazioni e gli usi delle tecnologie spaziali.
In questo contesto è da sottolineare come la rete degli RCO GMES per lo sviluppo delle regioni europee sia in sintonia con quanto indicato anche dalla piattaforma di monitoraggio di Europe 2020[1] che conta attualmente circa 150 autorità pubbliche tra regioni e comuni europee (Committee of the Regions, 2012b): necessità di lavorare in rete, di scambiare buone pratiche, di promuovere centri di sviluppo e di applicazione che accorpino ricerca e impresa. Tutte azioni peculiari della rete degli RCO GMES.

Sviluppi futuri

GMES rappresenta un investimento rilevante della Commissione europea nell'applicazione della tecnologia spaziale per molte regioni. Oltre al ruolo centrale di GMES per il monitoraggio e l'attuazione di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, numerosi sono i settori per le applicazioni di GMES: la sorveglianza delle frontiere nell'ambito della politica di sicurezza europea, la gestione della qualità dell'aria e dell'acqua, marina e protezione delle coste, la tutela dei cittadini contro le inondazioni e i rischi (frane, terremoti e cedimenti), nonché la gestione delle risorse naturali per l'agricoltura, la pesca e gli ecosistemi. Tuttavia, a livello regionale dove la

[1] Europe 2020 Monitoring Platform: http://portal.cor.europa.eu/europe2020/Knowledge/Pages/welcome.aspx

conoscenza delle priorità locali risiede, le parti interessate sono spesso inconsapevoli dei potenziali benefici dell'iniziativa GMES. Le circa 350 regioni europee rappresentano pertanto un enorme bacino di utenti potenziali di dati, prodotti o servizi GMES. La sfida futura del progetto DORIS_Net è quella di incorporare sempre più regioni: in Italia si sono già dimostrate interessate le regioni del Veneto, Lazio e Molise, in Francia la regione della Britannia, in Gran Bretagna la regione di Cork e in Germania il Baden-Württemberg.
Il progetto DORIS_Net e l'iniziativa G4R stanno lavorando affinché in futuro i risultati raggiunti possano divenire perenni e affinché la rete dei centri regionali divenga parte integrante dell'architettura operazionale di GMES.

Riferimenti bibliografici

Ayazi, R., Carrara, P., Edwards, A., Ghiron, F., Hilger, M., Nicolau, S. CF., Schumacher, V., Treinsoutrot, D., Wells, A., (2010), "Making the Regional link to GMES Services", *Toulouse Space Show 2010*

Carrara P., Wells A., Balzter H., Bartholomé E. and Podaire A. (2012), "Introduction to the special issue: Satellite Remote Sensing in the Service of Regional and Local Authorities", *European Journal of Remote Sensing*, 45: 261 - 262

Carrara, P., Zolotikova, S., Clave, M, Hilger, M., Nicolau, S. CF., Schumacher, V., Bosc, C., Wells, A., (2012), "The DORIS_NET network of Regional Contact Offices: GMES takes roots in the European Regions", *Toulouse Space Show 2012, Knowledge management Session*

Carrara, P., Schumacher, Wells, A., (2011), "Regional Space", *International Innovation*, October 2011, 60-62

Ceccarelli F., CHIAPPA B., BENETAU A., AYAZI R., "Spatial data policies at Regional level: the example of Nereus", Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, 1 – 4 dicembre 2009, Fiera del Levante Bari

Commissione Europea, (2010), Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and social Committee and the Committee of the Regions: Towards a space strategy for the European Union that benefits its citizens, COM(2011) 152 final

Committee of the Regions, (2012a), Opinion of the Committee of the Regions on 'Towards a space strategy for the European Union that benefits its citizens', *Official Journal* C 054: 28 -33

Committee of the Regions, (2012b), Delivering on the Europe 2020 Strategy. Handbook for Local and Regional Authorities, in
http://portal.cor.europa.eu/europe2020/news/Pages/Europe2020HandbookLRAs.aspx

eovox2, (2012), "A Taxonomy for the EO Services Market: enhancing the perception and performance of the EO" in http://eomag.eu/

EUPOLIS, CSS (2011),"Tecnologie satellitari per il territorio. Esperienze dei partner italiani della rete NEREUS"

NEREUS, (2010), "25 uses of GMES Services in NEREUS regions",

Commissione Europea, (2010), Communication from the Commission. EUROPE 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth, COM(2011) 831 final

Sitografia

http://www.nereus-regions.eu/
http://doris-net.eu
http://www.gmes4regions.eu/
http://graalportal.planetek.it/sep/doris_net_and_graal
http://www.aitjournal.com/DefaultNew.aspx
http://eopages.eu/
http://www.gmes.info/
http://ec.europa.eu/europe2020/who-does-what/regional-and-local-authorities/index_en.htm

Analisi GIS del Central Business District di Sassari. Visualizzazioni cartografiche

Silvia Battino (*), Giuseppe Borruso (**)

(*) DiSEA, Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali, Università degli Studi di Sassari,
Via Muroni 25, 01700 Sassari, Tel. +39 079 213001, Fax +39 079 213002, e-mail. sbattino@uniss.it
(**) DEAMS, Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche,
Università degli Studi di Trieste, Via A. Valerio 4/1, 1 34127 Trieste
Tel. +39 040 558 7008, Fax +39 040 558 7009, e-mail giuseppe.borruso@econ.units.it

Riassunto[1]
Le città rappresentano i luoghi in cui si concentrano flussi di persone, beni e informazioni e, anche se diverse per posizione, dimensioni e funzioni esercitate, si caratterizzano come gli spazi dello sviluppo locale, nazionale o internazionale. Ogni città, anche se rappresentata dal suo "centro storico", è stata soggetto di specializzazioni e concentrazioni di funzioni, ad esempio commerciali, amministrative, residenziali o culturali. In particolare il Central Business District (CBD) è stato individuato come l'area "centrale" della città. In questo studio ci si concentra sulla definizione di vari indicatori per cercare di delimitare il Central Business District della città di Sassari, a partire dalla distribuzione territoriale delle attività economiche "tipicamente centrali della città". Dopo aver catalogato e georeferenziato le principali attività economiche che caratterizzano i centri cittadini, confermate dalla letteratura in materia di studi urbani, diversi indicatori sono stati sviluppati per evidenziare le aree più dense di attività della città e provare a tracciare una delimitazione dell'area centrale. Si sono pertanto calcolati alcuni indicatori di concentrazione delle attività, riportati alla lunghezza delle strade e alla popolazione residente, nonché basati su tecniche di analisi spaziale (*point pattern analysis*), che permettono, in particolare, di rappresentare la stima della distribuzione di un fenomeno puntuale quale superficie continua a tre dimensioni. Le elaborazioni, sviluppate in ambiente GIS, hanno consentito di visualizzare l'area centrale, attorno alla "Piazza d'Italia" di Sassari, dove un numero limitato di residenti corrisponde a una più alta concentrazione di attività centrali o "rare".

Abstract
The cities are places where people, goods and information flows concentrate and, even if they differ in position, dimension and functions, they remain the main players of local, national and international development. Every city, even if represented by its "historic centre" - space that not always has maintained its role of principal central position in the urban evolutionary processes - has experimented developing areas of specialization and concentrations of functions, as districts marked by one or more dominant functions: commercial, administrative, residential or cultural. Starting from the definition of the Central Business District (CBD) or "central place" of the city and keeping as reference the "urban environments" or "districts" of the most recent town-planning project of the

[1] Pur nell'unità del testo, ai soli fini concorsuali, sono da ascrivere alla dott.ssa Silvia Battino i paragrafi "Riassunto - Abstract", "Introduzione", "La definizione del CBD - Point pattern e indici spaziali", "L'area di studio: Sassari e il suo core", "Risultati – gli indicatori spaziali" e "Conclusioni". Il dott. Giuseppe Borruso ha curato i paragrafi: "La definizione del CBD – Kernel Density Estimation" e "Risultati – Kernel Density Estimation". I "Riferimenti bibliografici" risultano frutto del comune lavoro dei due autori.

Le analisi e le elaborazioni cartografiche sono state realizzate grazie al software Intergraph GeoMedia Professional 6.0, nell'ambito del programma Registered Research Laboratory (RRL) tra Intergraph e Università degli Studi di Trieste.

city of Sassari, we performed a quantitative and distributive analysis of the core urban activities of the whole territory of the Municipality of Sassari. Such analysis was realized on a point pattern represented by the spatial distribution of "high level" urban activities and their elaboration by means of spatial indexes and density estimation. The spatial indexes, referred also to urban roads' length and to the number of residents of every urban subunit considered, highlighted that such kinds of activities refer mainly to the city centre area and concentrate in just four of the thirty-two districts. The GIS elaboration and processing allowed us to represent the central area (CBD), highlighting a core, as Piazza d'Italia, where a limited number of residents corresponds to a greater presence of rare activities.

Introduzione

La tematica relativa all'evoluzione dei sistemi urbani riveste ancora oggi un ruolo rilevante negli studi di molte discipline. Mentre nei decenni precedenti l'importanza di una città si individuava nell'aumento della popolazione, attualmente la sua crescita funzionale si rifà ad altre determinanti: le scelte abitative individuali, il sistema dei trasporti, il prezzo dei terreni, le politiche di pianificazione sono solo alcuni dei fattori che determinano la significatività urbana. Nel corso degli anni, di fronte ai cambiamenti avvenuti nel modello distributivo di acquisizione di beni e servizi da parte dei consumatori, sono intervenute politiche di pianificazione urbana e territoriale che, tramite l'incentivo alla riconversione di aree dismesse, la realizzazione di nuovi distretti finanziari, degli affari, commerciali, industriali, residenziali, ecc., in aree diverse da quelle prettamente centrali, hanno inteso alleggerire la pressione sul centro, mettendo in dubbio la struttura monocentrica della città, a favore di strutture spesso policentriche. All'interno della città non è possibile trovare tutte le sue funzioni in ogni parte, ma le stesse tendono a disporsi, concentrarsi e trasformarsi nel tempo nel modo più efficiente possibile. Secondo differenti studi, la località centrale di più alto grado in ambito urbano è "il centro d'affari", ossia il Central Business District, nel quale si concentrano le attività più importanti, non solo quelle al dettaglio più specializzate, ma anche quelle professionali e amministrative. Al suo interno è possibile anche identificare un *hard core* o cuore del CBD, costituito generalmente da un'alta concentrazione di uffici, edifici pubblici e punti vendita del commercio al dettaglio, dove si riscontrano, altresì, valori dei terreni più elevati e alta affluenza di traffico in quanto punto focale della rete dei trasporti (Murphy, 1972). L'importanza funzionale del CBD deriva sia dalla grandezza di una città, sia dall'ampiezza dell'*umland* che la stessa serve: la differenza tra il totale dei servizi destinati alla città e l'insieme di quelli relativi alla sua area di attrazione ci porta a comprendere e quantificare il suo grado di centralità (Bonetti, 1967a). Ma come delimitare il CBD? Diverse metodologie sono state utilizzate nel passato, sia di tipo qualitativo, sia di tipo quantitativo (Murphy, 1972; Haggett, 2000; Bonetti, 1979, Davies, 1967, Borruso, 2006).

Di seguito proponiamo la definizione e la rappresentazione cartografica del CBD della città di Sassari attraverso un'analisi di tipo quantitativo e distributivo delle attività di rango più elevato, tenendo in considerazione "altresì" degli indicatori di intensità.

La definizione del CBD - Point pattern e indici spaziali

La ricerca svolta si è concentrata sullo sviluppo di indicatori spaziali e di tecniche di analisi di *point pattern*, applicate alla città di Sassari (Sardegna nordoccidentale) per identificare le aree in cui si colloca il suo CBD, a partire dai dati riguardanti le attività economiche, georeferenziati a livello di indirizzo stradale. Sono stati adottati diversi metodi per evidenziare e confrontare l'area del CBD e per individuare i *core* della città per quanto riguarda la predominanza delle attività economiche ivi collocate.

Il metodo adottato si è basato sulla raccolta delle attività urbane e la loro classificazione in categorie, seguita dalla loro georeferenziazione a livello di indirizzo. A questo punto sono stati adottati metodi diversi. Si è iniziato da un'osservazione della distribuzione delle attività attraverso uno *scatterplot* dei dati, anche secondo la loro distribuzione classificata per gruppi di attività. L'analisi è proseguita con la realizzazione di indici spaziali per comprendere la distribuzione

spaziale delle attività terziarie rare nel centro della città, riferite alle unità dei distretti urbani. In particolare tra le attività terziarie considerate si possono ricordare quelle ad elevato valore aggiunto (gioiellerie, boutiques), attività finanziarie (banche e istituti di credito), società di assicurazioni, professionisti (avvocati, commercialisti, architetti, medici) e amministrazioni pubbliche (camere di commercio, enti locali territoriali, ecc.).
Le attività economiche rare sono state pertanto riferite geograficamente non soltanto ai punti relativi agli indirizzi, ma anche alle unità areali come le sezioni di censimento (contenenti altresì dati relativi alla popolazione), ai distretti urbani e ad unità areali che rappresentano i confini della città compatta di Sassari. Si è pertanto ottenuta una prima impressione della concentrazione delle attività per unità areali come i distretti urbani, e derivando la loro densità. Si sono calcolati due ulteriori indici: il primo relativo al numero di attività urbane *core* riferite alla lunghezza delle strade, espresso in termini di numero di attività per segmento di 10m (ac/10m), e il secondo che confronta i residenti alle attività *core* (res/ac).

La definizione del CBD - Kernel Density Estimation
L'analisi si è altresì basata su indicatori di densità quali la *Kernel Density Estimation* (KDE), per trasformare gli eventi puntuali (le attività economiche *core*) in una funzione di densità continua distribuita sulla regione di studio, al fine di visualizzare il fenomeno per mezzo di una superficie a 3D che esprime la variazione della densità degli eventi puntuali sull'area studiata.
Il metodo è stato utilizzato per la modellizzazione di eventi puntuali su una griglia applicata alla regione di studio, con le celle cui viene attribuito un valore di densità a seconda della distribuzione degli eventi. Il KDE è utilizzato in numerosi campi di ricerca, come le scienze della terra, la biologia, l'epidemiologia e più recenti applicazioni alle scienze sociali, che comprendono gli studi urbani, le dinamiche della popolazione, lo studio delle attività centrali e ricreative, le analisi sulla sismicità, solo per citare alcune di queste (Thurstain-Goodwin and Unwin, 2004; Boffi, 2004; Borruso, 2003 e 2006; Borruso, Porceddu, 2009; Danese et al., 2008 e 2009; Murgante, Danese, 2011).
La funzione kernel è tridimensionale e pesa gli eventi all'interno di un certo raggio di influenza, secondo una distanza dal punto di osservazione dell'evento (Gatrell, 1994), e sulla base della formula seguente:

$$\hat{\lambda}(s) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{s - s_i}{\tau}\right) \qquad (1)$$

con $\hat{\lambda}(s)$ la stima dell'intensità della distribuzione di punti, misurata nel punto s; s_i è l'i$^{\text{-esimo}}$ evento, e $k(\,)$ rappresenta la funzione di kernel e τ la soglia, centrata nel punto s, e all'interno della quale gli eventi si vengono contati e viene prodotta la funzione di densità (Gatrell, 1994). La funzione di ricerca è determinata dal raggio (o soglia), τ, l'unica variabile da determinare. In generale, bassi valori di soglia producono principalmente picchi locali nella distribuzione di densità, mentre più ampi valori tendono a diluire il fenomeno e smussare eccessivamente il fenomeno osservato. Per ogni cella viene calcolata una funzione kernel che pesa gli eventi entro una certa distanza dal baricentro della cella stessa (Levine, 2004). Le celle presentano valori di densità come una superficie continua nello spazio, con una visualizzazione 'topografica' della distribuzione degli eventi.

L'area di studio: Sassari e il suo *core*
Sassari, capoluogo dell'omonima Provincia sita nella Sardegna nordoccidentale, è, per numero di abitanti, la seconda città dell'Isola dopo Cagliari. Sulla base delle rilevazioni comunali al 31 dicembre 2010 la popolazione residente è di 128.807 abitanti e la sua cintura urbana ne conta circa 110.000. Attualmente, la popolazione residente vive per il 70% nella città compatta e per il 23% in quella diffusa, mentre il restante 7% caratterizza l'insediamento accentrato e sparso dell'agro.

La base di dati utilizzata per delimitare il nostro CBD è stata il servizio Pagine Gialle al 2010 (www.paginegialle.it) che ha permesso di scegliere e catalogare le attività idonee suddividendole in categorie e sottocategorie. Oltre alle attività d'affari si è tenuto conto anche dell'alto significato "centrale" di attività e funzioni di tipo rappresentativo, civico, amministrativo-politico ed economico-produttivo (Chambers, 1931 e Colby, 1933 in Cori 1993). Sono, così, nove le categorie individuate: Abbigliamento e Accessori, Arte e Cultura, Banche e Assicurazioni, Commercio, Professioni, Servizi alle Imprese, Servizi Immobiliari, Tempo Libero e Uffici Pubblici. Queste sono state, poi, suddivise in 47 sottocategorie per un totale di 1.980 attività (Tabella 1).

Tabella 1. Le attività centrali di Sassari e loro distribuzione percentuale nella città compatta al 2010.

Categoria	Abbigliamento e accessori	Arte e cultura	Banche e assicurazioni	Commercio	Professionisti	Servizi alle imprese	Immonbiliare	Tempo libero	Enti locali	Totale
Peso %	12	2	7	8	48	4	4	10	5	100

Fonte: elaborazione da Pagine Gialle (2010).

Risultati - Gli indicatori spaziali

Le funzioni sono state, così, rappresentate sulla carta e in essa si è potuto designare l'area di maggior concentrazione delle stesse. Di seguito la nostra attenzione si è rivolta alla città compatta, in quanto, solo in essa troviamo una rilevante presenza di attività centrali. L'area, infatti, ne è particolarmente dotata poiché, dei 1.980 "punti" del terziario raro censiti, ben 1.691 (85%) sono in essa ubicati (Figura 1).

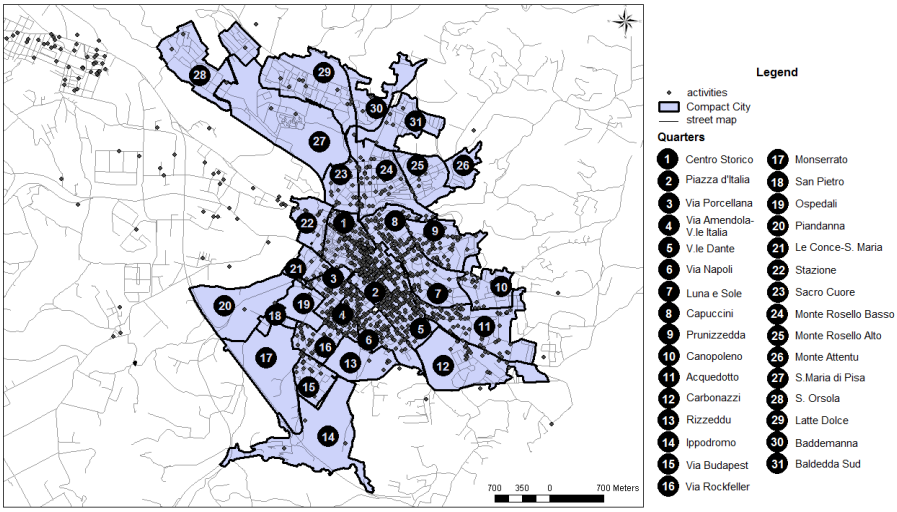


Figura 1. Le attività centrali di Sassari e loro distribuzione nella città compatta al 2010.

Fonte: elaborazione da Cartografia fornita dal Comune di Sassari (2011a).

Sovrapponendo i distretti della città compatta si può notare come quattro di questi siano caratterizzati dal più elevato numero di attività ad altro valore aggiunto: Centro Storico, Piazza d'Italia, Viale Dante e Viale Amendola - Viale Italia, che assieme raccolgono 942 unità (55% del totale). Tra queste, Piazza d'Italia emerge con, da sola, 392 unità. In altri otto distretti limitrofi (Via Porcellana, Acquedotto, Cappuccini, Via Napoli, Via Rockefeller, Prunizzedda, Luna e Sole e Monte Rosello Basso) le funzioni centrali si assestano su numeri più piccoli compresi tra 40 e 100

(Figura 2). Il perimetro di tali distretti centrali potrebbe indurre a pensare che possa identificare il CBD. Per verificarlo, abbiamo calcolato due indici spaziali di intensità sulla città compatta.

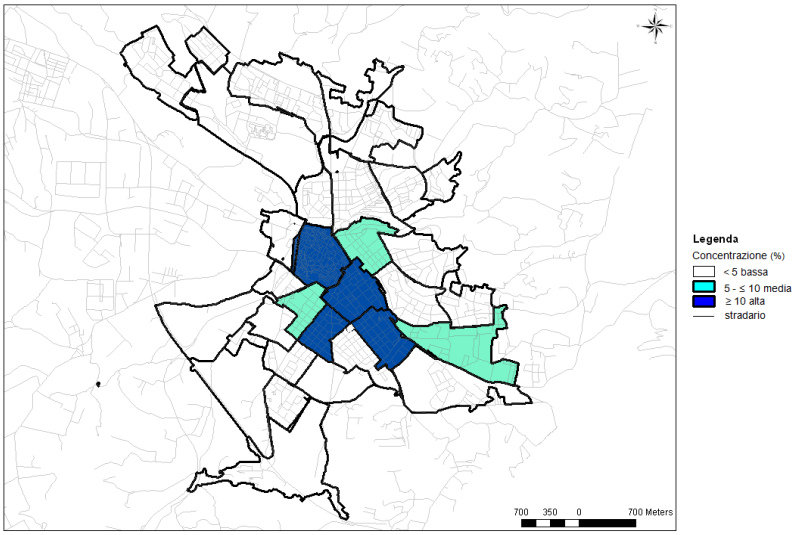


Figura 2. Peso percentuale delle attività centrali nei quartieri della città compatta al 2010.

Fonte: elaborazione da Cartografia fornita dal Comune di Sassari (2011a).

Il primo collega il numero di attività *core* alla lunghezza delle strade (ac/10m), il che ha prodotto una rappresentazione a tre livelli di intensità (bassa, media e alta). Le strade a più elevata intensità si trovano nel distretto di Piazza d'Italia (il 41% di attività in appena tre strade). In particolare si notano i segmenti più "densi" quali Via Vittorio Bellieni (1,6 attività ogni 10m), Via Roma (1/10m), Via Carlo Alberto (1/10m) e Via Cavour (0.9 / 10m) (Figura 3).

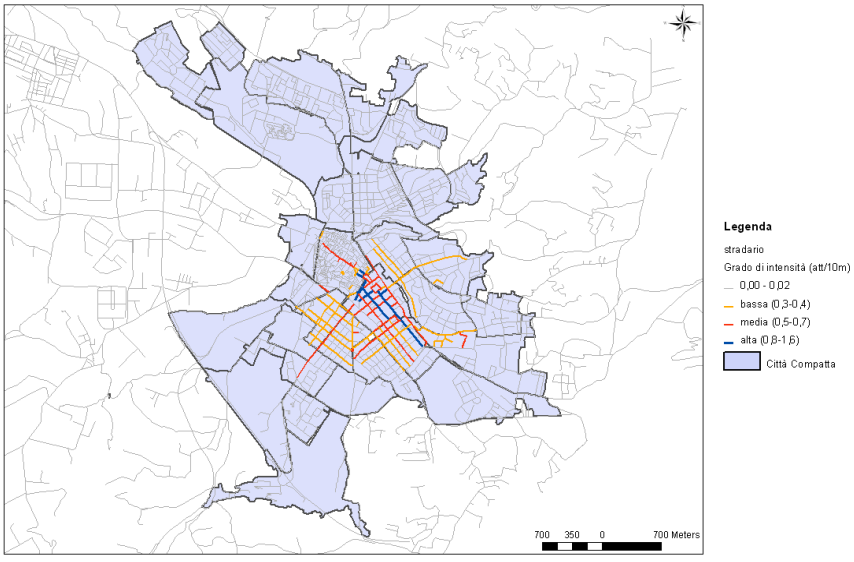


Figura 3. Vie e/o piazze della città compatta di Sassari secondo l'indice di intensità (ac/10m) al 2010.

Fonte: elaborazione da Cartografia fornita dal Comune di Sassari (2011a).

Il secondo indice confronta i residenti e le attività *core* (res/ac) nei diversi distretti urbani, identificando l'eccesso e l'attrattività delle funzioni considerate. A livello comunale, l'indicatore raccoglie 65 unità e presenta un valore basso (>110) sia nelle aree sparse, sia nella città compatta esterna.
In prossimità del CBD l'indice presenta un valore medio, ma diverso nelle otto aree in esame: alto (≥20 - 50) nei distretti limitrofi al CBD come Via Porcellana, Acquedotto, Cappuccini e Via Rockefeller, medio (≥50 - 80) in Via Napoli, basso (≥80 - 110) a Prunizzedda e molto basso (>110) a Monte Rosello Basso. Un grado molto alto (<20) viene osservato nell'area centrale e in particolare nel distretto di Piazza d'Italia, Via Dante e Via Amendola - Viale Italia, mentre il valore è alto nel Centro Storico.
I risultati di questa prima analisi confermano l'esistenza di un *Central Business District* urbano che copre l'area compatta della città, evidenziato dai quattro distretti urbani già descritti. Esso presenta una forma a lettera greca "lambda" (λ), in cui le estensioni superiore e inferiore rappresentano rispettivamente il Centro Storico e Viale Dante, mentre le altre "gambe" portano a Via Amendola - Viale Italia. La biforcazione della lettera è rappresentato dal *core*, Piazza d'Italia. Questo disegno del CBD, le cui strade principali vanno da nord-ovest a sud-est lungo Corso Vittorio Emanuele II e Via Roma per più di 1.300m, è dovuto al fatto che è identificato dalle strade più importanti che corrono parallele alle due principali: Viale Dante e Viale Italia. Il CBD, quindi, si concentra su queste strade e su altre che lo costeggiano, in particolare Viale Umberto I, Piazza d'Armi e Via IV Novembre (Figure 2 e 3).

Risultati - Density estimation
I dati sono stati inoltre elaborati tramite KDE - Kernel Density Estimations. Si è utilizzata una griglia di 20m sull'area esaminata (Comune di Sassari) e si è optato per una funzione kernel quartica con diversi raggi di ricerca (122, 177, 269 e 355m, pari a rispettivamente K = 25, 50, 100 e 150 unità del "vicino più prossimo"). Di queste si sono scelte per l'analisi quelle di 122 e di 355m (di cui la rappresentazione in figura 4 riguarda solo l'ultima).
Come osservato, valori elevati della soglia possono diluire eccessivamente il fenomeno, mentre valori bassi non portare a visualizzazioni efficaci e dire poco di più della semplice osservazione dei punti sulla carta. Le distanze usate sono state considerate adatte per città di dimensioni medie – come Sassari – similmente a quanto realizzato per altre città (Thurstain-Goodwin e Unwin, 2000; Borruso, Porceddu, 2009). Quella di 122m consente infatti di evidenziare gli effetti più locali, mentre la più ampia (355m) rappresenta una misura dell'accessibilità, risultando pari a circa 5 minuti a piedi. I valori di 122 e 355m sono, inoltre, confermati dal calcolo del "vicino più prossimo", con valori di K = 25 e K = 150, il che implica un calcolo delle distanze medie, di ordini diversi, fino al k-esimo evento, tra tutti gli eventi dell'insieme (Chainey et al., 2002), limitando così l'arbitrarietà nella scelta del raggio.
La stima di densità così ottenuta si è espressa in "eventi (attività centrali) per chilometro quadrato", per ognuna delle celle della griglia sovrapposta alla regione di studio. Le celle con i loro valori di densità sono stati mappati in una rappresentazione pseudo-3D realizzando linee iso per i valori di densità omogenei.
Dato che i valori di densità di kernel possono essere espressi come "numero di eventi (stimati) per chilometro quadrato", si sono spaziate le isolinee in valori successivi di 100 attività / km^2, fino al "picco" nel centro cittadino (Piazza d'Italia) con circa 1.500 activities / km^2 utilizzando la soglia di 255m (Figura 4). Celle più "dense" con una maggiore concentrazione di attività centrali sono localizzate nel centro cittadino dove si può notare un "picco" nella superficie di densità. Ciò è altresì confermato dall'elevato numero di attività presenti nell'area.
L'analisi di densità conferma alcuni dei risultati ottenuti utilizzando altri indici e, in particolare, le diverse ampiezze di soglia hanno consentito di visualizzare effetti locali e globali.



Figura 4. Kernel Density Estimation sulle attività centrali di Sassari. Soglia di 355m (K = 150).

Fonte: elaborazione da Cartografia fornita dal Comune di Sassari (2011a).

La soglia di 355m fornisce delle immagini più precise relativamente alla forma generale e all'orientamento del cluster di attività e pertanto del CBD. Si conferma "Piazza d'Italia", sia come piazza, sia come nome del quartiere urbano, come il centro della distribuzione di attività e come l'area con la più alta intensità delle medesime. Il CBD "vero e proprio" si potrebbe evidenziare nella linea di livello che corrisponde alle 1.100 attività per chilometro quadrato, secondo un orientamento nordovest – sudest, a partire dal confine del Centro storico, attraverso Piazza d'Italia e a finire in Viale Dante. Un altro picco separato può essere osservato nel distretto urbano di Via Amendola – Viale Italia. Comunque, considerando linee di livello più ampie (700 unità / km^2) si può ridisegnare la "lambda" suggerita dagli altri indicatori, pertanto allargando i margini del CBD sassarese.

Conclusioni

Le metodologie sperimentate nella definizione del CBD della città di Sassari hanno portato a risultati interessanti; in particolare per l'utilizzo di metodi diversi riferiti a elementi puntuali, lineari e areali, si è riusciti a ottenere un'immagine consistente dell'estensione spaziale e delle caratteristiche dell'area centrale. I risultati sono stati inoltre confermati dalla stima della densità che ha consentito di andare oltre alle limitazioni tipiche delle aree 'disegnate dall'uomo', quali quartieri e unità amministrative. È stato possibile evidenziare il raggruppamento di attività centrali e, grazie alla possibilità di variare i parametri, effettuare analisi alle diverse scale, fornire basi per il confronto con altre aree urbane, nonché sottolineare i diversi caratteri e le specializzazioni delle microaree di un'area urbana, elemento utile per ridisegnare, se necessario, alcune unità amministrative.

Riferimenti bibliografici

Battino S. (2012), **"**Estensione e delimitazione dei *core* urbani della città di Sassari", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 144 (in stampa).

Battino S., Borruso G., Donato C. (2012), "Analyzing the Central Business District. The Case of Sassari in the Sardinia Island", Murgante B. et al. (eds.): *ICCSA 2012*, Part II, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, LNCS 7334: 624 - 639.

Bauman Z. (2008), *Consumo, dunque sono*, Editori Laterza, Roma.
Bonetti E. (1967a), *La localizzazione delle attività al dettaglio*, Giuffrè, Milano.
Bonetti E. (1967b), *Le attività al dettaglio e la loro localizzazione*, estratto da "Atti del XX Congr. Geogr. Italiano", Società Geografica Italiana, Roma.
Bonetti E. (1979), "Un riesame della teoria delle località centrali", *Bollettino della Società Geografica Italiana*, X (VIII): 475 - 487.
Borruso G. (2003), *Studio della popolazione e della sua evoluzione a scala urbana. Primi risultati di analisi di densità dei dati spaziali*, Atti della 7a conferenza ASITA "L'Informazione Territoriale e la dimensione tempo", 467 - 472.
Borruso G. (2006), *Il ruolo della cartografia nella definizione del Central Business District. Prime note per un approccio metodologico*, Dipartimento di Scienze Geografiche e Storiche, Sez. di Geografia Economica e Politica del territorio, Università degli Studi di Trieste.
Borruso G., Porceddu A. (2009), "A Tale of Two Cities. Density Analysis of CBD on Two Midsize Urban Areas in Northeastern Italy", in Borruso G., Lapucci A., Murgante B. (eds.) *Geocomputational Analysis for Urban Planning. Studies in Computational Intelligence*, 176: 37 - 56.
Boffi M. (2004), Scienza dell'informazione geografica, Zanichelli, Bologna.
Chainey S., Reid S., Stuart N. (2002), "When is a hotspot a hotspot? A procedure for creating statistically robust hotspot maps of crime", in Kidner D, Higgs G, White S (eds), *Socio- Economic Applications of Geographic Information Science, Innovations in GIS.* 9, Taylor and Francis. London.
Comune di Sassari (2011), *Popolazione residente al 2010*, Sassari.
Comune di Sassari (2011a), *Cartografia comunale*, Sassari.
Cori B. (1993), *Città, spazio urbano e territorio in Italia*, Franco Angeli, Milano.
Danese M., Lazzari M., Murgante B. (2008), "Kernel Density estimation methods for a geostatistical approach in seismic analysis: the case study of Potenza Hilltop Town (Southern Italy)", in Gervasi O., Murgante B., Laganà A., Taniar D., Mun Y., Gavrilova M. L. (eds), *Proceedings of the International Conference on Computational Science and its Applications ICCSA 2008*, part I, LNCS 5072, 415 - 427.
Danese M., Lazzari M., Murgante B. (2009), "Geostatistics in historical macroseismic data analysis", *Transactions on Computational Sciences*, 6 (5730): 324 – 341.
Davies W. K. D. (1967), "Centrality and the Central Place Hierarchy", *Urban Studies*, 4: 61 - 79.
Gatrell A. (1994), "Density Estimation and the Visualisation of Point Patterns", in Hearnshaw H. M. and Unwin D. J. (eds), *Visualisation in Geographical Information Systems*, Wiley, Chichester.
Haggett P. (2000), *Geography: A Global Synthesis*, Pearson Education, Harlow.
Harvey D. (1998), *L'esperienza urbana. Metropoli e trasformazioni sociali*, Il Saggiatore, Milano.
Levine N. (2004), *CrimeStat III: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations*, Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington.
Murgante B., Danese M. (2011), "Urban versus Rural: the decrease of agricultural areas and the development of urban zones analyzed with spatial statistics" - Special Issue on "Environmental and agricultural data processing for water and territory management", *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 2(2): 16 - 28.
Murphy R.E. (1972), *The central business district. A study in urban geography*, Aldine-Athertone, Chicago.
Rousseau M. (2009), "Re-imaging the City Centre for the Middle Classes: Regeneration, Gentrification and Symbolic Policies", *Loser Cities - International Journal of Urban and Regional Research*, 33: 770 - 788.
Thurstain-Goodwin M., Unwin D. J. (2000), "Defining and Delimiting the Central Areas of Towns for Statistical Modelling Using Continuous Surface Representations", *Transactions in GIS*, 4: 305-317.

I vantaggi dell'impiego di un sistema GIS nella gestione dei dati e della cartografia in merito a monitoraggi in un SIN da bonificare

S. Bellagamba (*), F. Paglietti (**), B. Conestabile Della Staffa (***)

(*) INAIL-ex ISPESL Dipartimento Installazioni di Produzione e Insediamenti Antropici,
Via Urbana 167, 00184 Roma, Italia, Tel. 0697893012, Fax 0697893304, email s.bellagamba@inail.it
(**) INAIL-ex ISPESL Dipartimento Installazioni di Produzione e Insediamenti Antropici,
Via Urbana 167, 00184 Roma, Italia, Tel. 0697893601, Fax 0697893304, email f.paglietti@inail.it
(***) INAIL-ex ISPESL Dipartimento Installazioni di Produzione e Insediamenti Antropici,
Via Urbana 167, 00184 Roma, Italia, Tel. 0697893601, Fax 0697893304,
email b.conestabiledellastaffa@inail.it

Riassunto
L'INAIL- DIPIA svolge, in collaborazione con gli Enti locali e nazionali, attività di ricerca e consulenza nell'ambito della tutela della salute dei lavoratori e dell'ambiente. Il Dipartimento Installazioni di Produzione e Insediamenti Antropici (DIPIA) si occupa, tra l'altro, del risanamento delle aree altamente contaminate partecipando da anni alle attività di caratterizzazione delle matrici aria, acqua e suolo ed in particolare al monitoraggio ambientale e personale in tutti i Siti da bonificare di Interesse Nazionale (SIN) contaminati da amianto.
Obiettivo del presente lavoro è quello di illustrare, con riferimento al SIN di Biancavilla, i vantaggi derivanti dall'implementazione delle attività sopra menzionate con un sistema informativo territoriale (SIT) che possa illustrare efficacemente il rischio di diffusione delle fibre di amianto nelle aree interessate da interventi di Messa in Sicurezza di Emergenza (MISE) e di bonifica.
Ciò consentirà, alle Amministrazioni pubbliche Regionali e Locali ed agli organi di vigilanza competenti per il territorio, di intraprendere misure cautelative nei confronti dei lavoratori addetti agli interventi ed evitare la diffusione di polveri pericolose nell'ambiente cittadino.

Abstract
Italian Workers' Compensation Authority (INAIL), in collaboration with local and national organisations, conducts research and consultancy in connection with the safeguarding of the health of workers and the environment. The Departement of the Production Plants and Human Settlements (DIPIA) deals, among other things, with the remediation of seriously contaminate areas, and for many years has undertaken the survey of the atmospheric, water and soil environments, and in particular environmental and personal monitoring in all the Italian Superfunds contaminated by asbestos and requiring remediation.
The aim of this study is to illustrate, with regard to the Superfund Biancavilla, the advantages of implementing the activities mentioned above with a Geographic Information System (GIS) designed to provide an adequate picture of the risk of the spread of asbestos fibres in the areas where Emergency Safety Measures (ESM) and remediation measures are planned.
This will enable the regional and local authorities and the supervisory bodies having jurisdiction to undertake precautionary measures regarding the workers involved in these projects and prevent the dissemination of dangerous dust in the urban environment.

Introduzione

Ai sensi del D.M. 468/01 e s.m.i. tra i più noti Siti da bonificare di Interesse Nazionale (SIN) vi è quello del Comune di Biancavilla (Catania), area urbana di circa 24.000 abitanti alle pendici

dell'Etna, dove è presente nelle matrici ambientali, un anfibolo fibroso vulcanico chiamato Fluoro-edenite, noto per la potenziale azione cancerogena. Poiché nell'area hanno operato per oltre 30 anni due attività estrattive con il cui materiale è stata costruita gran parte della città è ancora presente un inquinamento di tipo ambientale..
La pericolosità di tali fibre inquinanti, è stata dimostrata essere pari a quella della crocidolite, il più pericoloso dei minerali di amianto; pertanto in quest'area si è proceduto al blocco dell'attività estrattiva e sono stati avviati interventi di messa in sicurezza di emergenza per ridurre la dispersione di polveri pericolose.
Inoltre sono state attivate misure per l'abbattimento delle polveri nell'abitato cittadino, anch'esso contaminato dalla presenza di fibre di Fluoro-edenite nel suolo, ed individuata, all'interno dell'area di cava, un'allocazione per ricevere i materiali di risulta degli interventi di MISE.
L'INAIL-DIPIA partecipa da anni alle attività di caratterizzazione delle matrici ambientali ed in particolare al monitoraggio dell'aria in tutto il SIN, al fine di valutare la variabilità della concentrazione di polveri pericolose in considerazione della stagionalità, delle condizioni meteoriche e degli interventi di bonifica attuati.
Obiettivo del presente lavoro è quello di illustrare i vantaggi derivanti dall'implementazione delle attività sopra menzionate con un Sistema Informativo Territoriale (SIT) che possa mostrare efficacemente il rischio di diffusione della Fluoro-edenite nell'area urbana nelle seguenti fasi:

- *pre-operam;*
- *in-operam;*
- *post-operam*.

Inquadramento area SIN di Biancavilla
Nel Comune di Biancavilla (Catania), paese di 24.000 abitanti alle pendici dell'Etna, si sono registrati negli ultimi 20 anni circa 40 decessi per mesotelioma pleurico, malatttia asbeto correlata un numero 10 volte maggiore rispetto alla media nazionale.
L'agente contaminante è la Fluoro-edenite, un minerale fibroso di colore giallo intenso composto da fibre molto sottili (in alcuni casi di 1 micron di diametro) e relativamente lunghe (fino a 50-80 micron).
Esso è stato rilevato in centinaia di analisi, di carotaggi del suolo e migliaia di monitoraggi dell'aerodisperso, per valutare l'estensione della contaminazione e determinare i valori di concentrazione di dette fibre nell'aria. Anche nell'acqua ne è stata accertata la presenza, ma con concentrazione al di sotto della soglia di rischio.
Le analisi effettuate hanno dimostrato che un elevata quantità di campioni prelevati, erano in alcuni casi superiori ai limiti consentiti.
Dal 2001, il Ministero dell'Ambiente e della Tutele del Territorio e del Mare (MATTM) avvalendosi del supporto tecnico-scientifico degli Enti Scientifici Nazionali, tra cui l'INAIL DIPIA, gestisce le procedure per la messa in sicurezza di emergenza e di bonifica.
La fase di messa in sicurezza, attualmente in corso nella città di Biancavilla, riguarda principalmente opere che possano ridurre la dispersione di fibre e la relativa contaminazione dell'area soggetta a rischio.
Tali operazioni sono iniziate con l'asfaltatura delle strade cittadine, previa realizzazione della rete elettrica e fognaria conclusa nel 2010, e sono proseguite nel 2011 con le seguenti attività:

- regimazione delle acque meteoriche e copertura dei cumuli di materiale contaminato già estratto con uno strato di terreno di riporto, derivante dall'attività di MISE presente all'interno dell'area di cava;
- copertura giornaliera del materiale contaminato nella discarica realizzata all'interno dell'area di cava con uno strato di terreno di riporto;
- applicazione di malta cementizia fibrorinforzata (spritz-beton) per il consolidamento del parete rocciosa all'interno dell'area di cava;

- rimozione di intonaci ed applicazione di incapsulanti in edifici pubblici con elevata presenza di soggetti a rischio, quali :
    - l'area perimetrale del cimitero comunale;
    - una scuola materna;
    - il centro sportivo;
    - il centro congressi di proprietà comunale.

Nel lavoro vengono presentati i risultati delle analisi dei monitoraggi delle sopra descritte fasi di MISE, la valutazione del rischio di esposizione per la popolazione con gli strumenti Geographic Information System (GIS) e la verifica dell'efficacia dei mezzi di abbattimento delle polveri durante le attività operative.

Materiali e metodi

Dall'anno 2000 al 2012 nel sito, sono stati individuati 260 punti di campionamento ambientale e sono stati effettuati più di 1900 prelievi di aerodisperso per il monitoraggio ambientale e personale. Detti prelievi sono stati eseguiti dall'INAIL– DIPIA, dall'Università di Catania, dall' Arpa Sicilia, dai Laboratori privati per conto del Comune e della Ferrovia Circum-Etnea.

I dati acquisiti sono stati archiviati e gestiti dall'INAIL– DIPIA grazie ad un SIT appositamente dedicato e riguardano:

- data di campionamento;
- luogo di campionamento;
- volume prelevato;
- condizioni meteorologiche;
- metodologia di analisi;
- valore della concentrazione espressa in f/l riscontrata;
- limiti fiduciari inferiore e superiore;
- metodologie analitiche (SEM o MOCF).

I campioni sono stati prelevati, sia per il monitoraggio personale che per quello ambientale (indoor e outdoor), seguendo le modalità riportate nelle Linee Guida scritte dall'INAIL-DIPIA per i Siti da bonificare di Interesse Nazionale.

Lo strumento indispensabile per la gestione di una mole di dati così rilevante relativa ai numerosi monitoraggi, risulta essere una banca dati informatizzata associata ad un SIT. La banca dati permette la raccolta, l'organizzazione, la gestione, l'aggiornamento e la facile consultazione dei medesimi, mentre il SIT consente il loro inserimento nel contesto territoriale, ossia su base geografica.

Detto SIT, può essere interrogato tramite query, consentendo di descrivere l'evoluzione temporale dei fenomeni di inquinamento/disinquinamento e di evidenziare le situazioni a rischio.

Le peculiarità del SIT sono la strutturazione topologica dei dati (gestione delle informazioni sulle mutue relazioni spaziali degli elementi), la possibilità di effettuare un'analisi sugli attributi e la possibilità di elaborare i dati geografici attraverso algoritmi matematici. Gli algoritmi consentono di combinare i diversi livelli informativi mediante operatori semplici, come *l'overlay* o complessi come il *buffering* che permettono di creare nuovi livelli informativi associando i dati in modo da identificare relazioni, altrimenti non facilmente visibili.

Il software utilizzato per la gestione della banca dati cartografica è ArcGis 10 della Esri, mentre per la banca dati alfanumerica è stato utilizzato il software Access della Microsoft.

Nello specifico caso del Comune di Biancavilla sono stati raccolti in un apposito database i risultati dei campionamenti; sono state costruite apposite tabelle tra loro relazionate; create due maschere specifiche, una per l'archiviazione dei campionamenti ambientali (Fig. 1), l'altra per i campionamenti personali (Fig. 2), per facilitare il data entry.

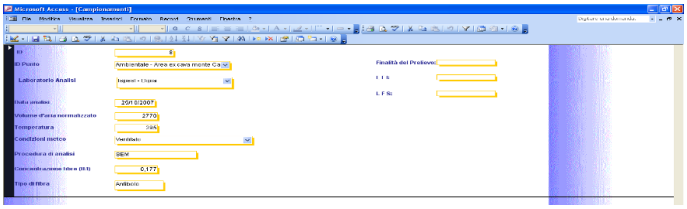


Figura 1. Maschera delle informazioni dei campionamenti ambientali.

Si riporta, per completezza di informazione, che nel database sono stati memorizzati 380 records relativi a 37 soggetti sottoposti a monitoraggio personale nel periodo 2008-2010, arco temporale nel quale sono state standardizzate le misure.

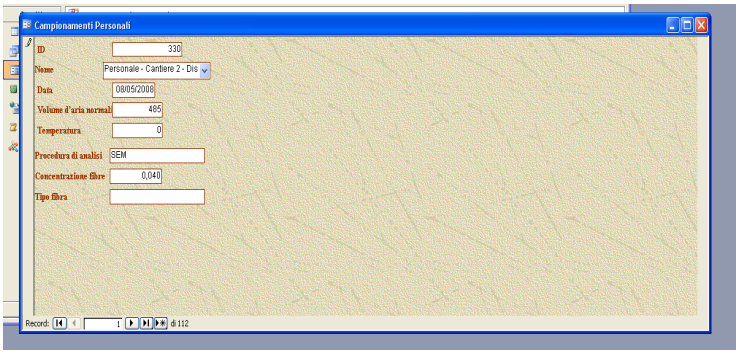


Figura 2. Maschera delle informazioni dei campionamenti personali.

Nel SIT sono stati inseriti inoltre shapefiles georiferiti con i seguenti layers vettoriali:

- punti di prelievo;
- reticolo comunale;
- reticolo provinciale;
- reticolo regionale;
- reticolo stradale e ferroviario ricavato dal grafo Teleatlas;
- mappa della densità di popolazione ottenuta con i dati Istat del censimento della popolazione (2001);
- recettori sensibili (scuole, ospedale, etc.).

Sono inoltre contenuti layers georiferiti in formato raster quali:

- immagini satellitari IKONOS ad alta risoluzione;
- ortofoto.

Per essere inseriti nel SIT, i layers sono state georeferenziati nel sistema di riferimento cartografico WGS84 UTM 32.
Il sistema consente, di interrogare il data base alfanumerico e di visualizzare i valori analitici ottenuti dai campionamenti sulla mappa rendendo graficamente visibili i vari livelli di esposizione.
In figura 3, si riportano i punti in cui sono stati effettuati i campionamenti ambientali.

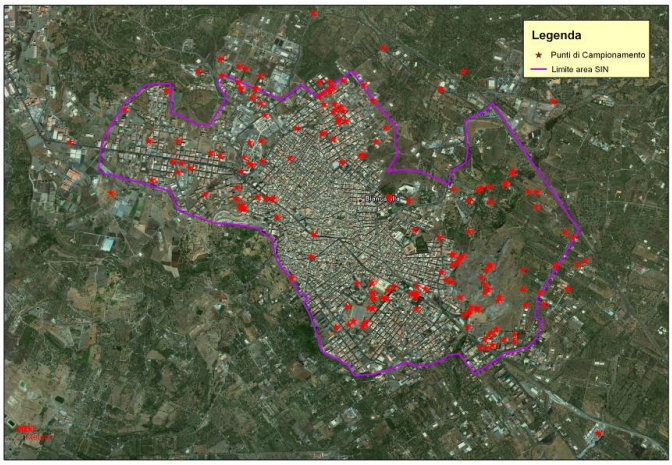


Figura 3. Localizzazione dei punti di campionamento ambientale nel SIT di Biancavilla.

Discussione

Dal SIT sono stati estratti ed elaborati i dati analitici relativi ai monitoraggi ambientali sia all'interno che all'esterno del perimetro dell'area del SIN, prodotti dal 2010 fino al mese di Marzo 2012 nella città di Biancavilla. Inoltre, si sono analizzati i risultati dei monitoraggi effettuati nelle fasi *pre-operam, in-operam, post-operam* dei lavori eseguiti nelle aree di cantiere.(Fig. 4).



Figura 4. Aree di intervento per la Messa in Sicurezza di Emergenza.

Per quanto riguarda i campionamenti ambientali sono stati analizzati i dati dei monitoraggi in cui è stato superato il valore limite di esposizione stabilito dalle Linee Guida per i SIN pari a 1 f/l in ambiente cittadino, come indicato dal documento Air Quality Guidelines for Europe (WHO, 2000).
Dall'elaborazione dei dati e dalla loro restituzione grafica (Fig. 5), risultano 26 superamenti nel periodo compreso tra Marzo 2010 - 2012.

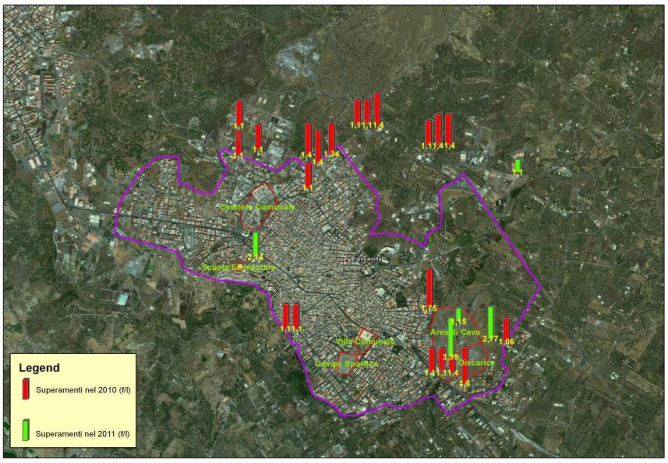


Figura 5. Mappa dei superamenti nel biennio 2010-2011 nel Comune di Biancavilla.

In particolare, nel 2010 si evidenziano 21 superamenti del Threshold Limit Value (TLV) nel periodo primavera/estate, caratterizzati da concentrazioni di fibre inferiori a 2 f/l. Nel 2011, invece, sono stati registrati nello stesso periodo (primavera/estate) 5 superamenti con valori che superano le 3 f/l .

Da quanto sopra esposto si evidenzia un costante incremento del rischio nel periodo secco. Ciò è conforme ai dati meteorologici accertati che evidenziano nelle stagioni più calde condizioni tali da facilitare l'aerodispersione di fibre (elevata ventosità e clima asciutto).

In entrambe le annualità una parte consistente dei superamenti sono stati registrati nell'area nord del sito, all'esterno dell'area perimetrata del SIN, poiché in tale area non tutte le strade erano state asfaltate.

Un ulteriore elaborazione dei dati, ha riguardato l'analisi dei risultati dei monitoraggi e le fasi operative dei lavori di MISE.

In tabella 1 sono riportati i valori percentuali calcolati sul numero totale delle analisi ambientali svolte nelle aree di intervento nelle tre fasi operative (2010-2011).

Fase	Analisi Ambientali Svolte (%)
Ante-Operam	17
In-Operam	52
Post-Operam	31

Tabella 1. Percentuale di analisi ambientali svolte

Le analisi ambientali svolte in fase *Ante-Operam* hanno lo scopo di verificare lo stato di contaminazione del sito e di stabilire il valore di fondo ambientale. Le analisi effettuate *In-Operam,* invece, hanno la funzione di verificare la sicurezza ambientale nel corso di MISE. Infine, nel *Post-Operam,* le analisi ambientali vengono effettuate per controllare che alla fine dei lavori non ci sia il superamento dei valori registrati in fase *Ante-Operam* e del valore limite stabilito per i SIN. Appare evidente come il valore percentuale *In-Operam* è di gran lunga superiore a quello delle altre due fasi. Questo è dovuto al maggior rischio di dispersione delle fibre a causa dell'attività lavorativa.

Nel grafico di Fig.6 sono rappresentate le concentrazioni superiori a 0 f/l su ventuno analisi condotte rilevate prima di iniziare le attività di cantiere nelle aree da sottoporre ad intervento; in tali aree il livello di concentrazione delle fibre considerato valore di fondo è compreso tra 0 e 0.5 f/l.

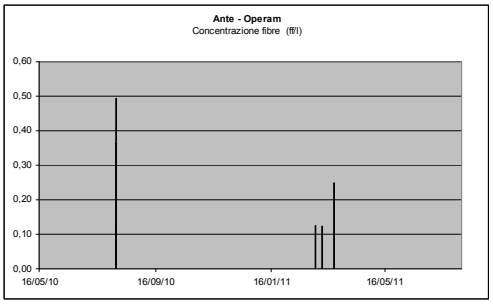


Figura 6. Grafico delle concentrazioni Ante-operam.

Durante l'esecuzione dei lavori, su settanta analisi condotte si sono avuti superamenti del valore limite stabilito per i SIN pari a 1 f/l con valori anche maggiori di 3 f/l (Fig.7). Tali concentrazioni sono dovute alla rimozione di suolo e di cumuli di materiale estratto contaminato da Fluoro-edenite ancora presenti nella cava, nonostante fossero attivate procedure atte al contenimento della diffusione delle polveri (nebulizzazione, fog cannon, etc.).

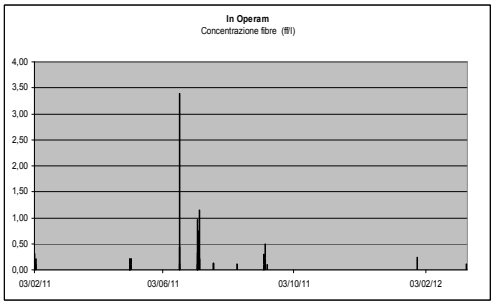


Figura 7. Grafico delle concentrazioni In-operam.

I valori riscontrati nella fase *Post-Operam* su quaranta analisi effettuate risultano essere al di sotto del limite di riferimento nella maggior parte delle aree di cantiere. Fanno eccezione i superamenti rilevati nell'area di cava, dove a causa delle attività collaterali ancora presenti nel cantiere e nella discarica (attività di ricopertura con suolo inerte del terreno contaminato, spriz-beton delle superfici acclivi, etc.), vi è ancora una consistente dispersione di polveri (Fig. 8).

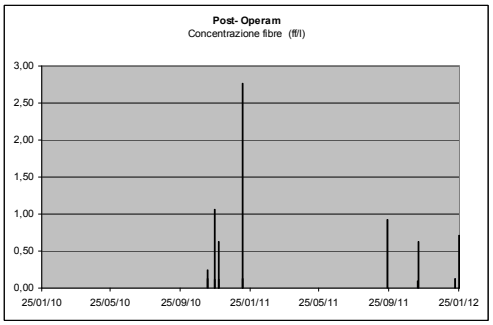


Figura 8. Grafico delle concentrazioni Post-operam.

Dall'analisi di tutti i risultati dei campionamenti ambientali eseguiti nel comune di Biancavilla dal 2000 al 2011 si evince una riduzione repentina di concentrazione di fibre nei primi anni (blocco dell'attività di estrazione nella cava e asfaltatura delle strade) e successivamente stabilizzazione sia pure con qualche eccezione in casi particolari (scavi per opere pubbliche, rete idrica e fognaria).
Negli ultimi anni, come evidenziato in figura 9, si è riscontrato un significativo incremento delle concentrazioni in alcuni casi dei lavori di MISE. Tali incrementi, non sono stati rilevati solo nell'area di cava, ove gli interventi di movimentazione di materiale contaminato erano più significativi, ma hanno avuto ripercussioni nell'intero areale cittadino. Ciò in considerazione delle condizioni climatiche favorevoli all'aerodispersione delle fibre ed al loro trasporto anche a grandi distanze.

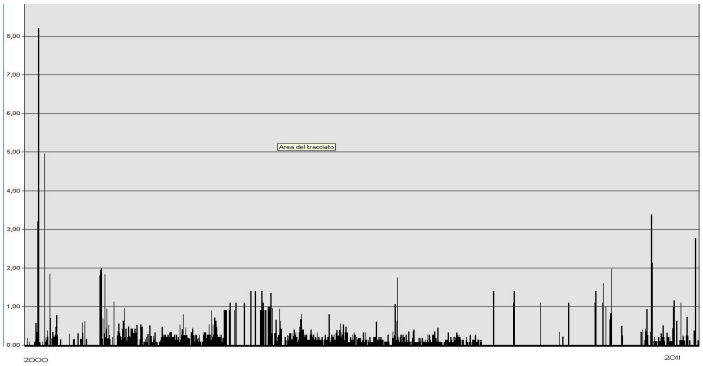


Figura 9. Risultati dei campionamenti eseguiti nel Comune di Biancavilla (2000 – 2011).

Conclusioni
La sperimentazione in campo ha permesso di illustrare i vantaggi dell'utilizzo della tecnologia GIS quale valido strumento per la corretta catalogazione di numerosi dati e l'evidenziazione delle situazioni di maggior pericolo ambientale a supporto delle decisioni precauzionali da adottare.

Ha permesso altresì, una facile consultazione dei dati da parte delle autorità preposte alla tutela dei lavoratori e della popolazione esposta, grazie a procedure di implementazione e di analisi automatizzata.
Il sistema informativo territoriale appositamente realizzato per il Comune di Biancavilla, può essere quindi considerato un valido sistema di riferimento per il controllo e verifica degli interventi di risanamento di territori contaminati.
I risultati ottenuti hanno evidenziato inoltre:

- una contaminazione delle matrici ambientali non più corrispondente perimetrazione del SIN pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n° 231 del 2 Ottobre 2002 in quanto la contaminazione si estende anche nelle aree urbane localizzate a nord del centro cittadino;
- il superamento in alcuni casi dei limiti imposti nei SIN è dovuto a condizioni meteo climatiche favorevoli all'aereodispersione e al trasporto delle fibre congiuntamente ad insufficienti sistemi di abbattimento polveri adottati dalle ditte durante le attività di cantiere;
- la necessità di migliorare la classificazione delle diverse fasi operative di cantiere considerando la fase post-operam quella in assenza di attività lavorativa.

Bibliografia

S. Bellagamba, F. Paglietti, V. Di Molfetta, F. Damiani& P. De Simone "GIS for data management of environmental surveys, carried out in Biancavilla (CT) superfund experience." *Wessex Institute Of Technology 19th International Conference on Air Pollution 2011* 19-21 September 2011

F. Paglietti, V. Di Molfetta, S. Malinconico, M. Giangrasso, S. Bellagamba, F. Damiani. Italian Asbestos Mapping. *World Asbestos Conference* October 1-3 2009.

F. Paglietti, S. Bellagamba, S. Malinconico, V. Di Molfetta, P. De Simone, M. Giangrasso "Asbestos presence on the Italian National Territory: Progress Report on Mapping and Remediation Activity" *ASTM Johnson Conference: Critical Issues in Monitoring Asbestos*, (Vermont, USA), 2008

F. Paglietti, S. Malinconico, F. Damiani, P. De Simone - "Natural Asbestos Contamination: Biancavilla's Case" - *ASTM 2008 Johnson Conference: Critical Issues in Monitoring Asbestos*, (Vermont, USA)

F. Paglietti, S. Malinconico, F. Damiani, P. De Simone "Natural Asbestos Contamination: Biancavilla's Case" - ASTM 2008 Johnson Conference: Critical Issues in Monitoring Asbestos, (Vermont, USA)

Soffritti M, Minardi F, Bua L, Degli Esposti D, Belpoggi F - "First experimental evidence of peritoneal and pleural mesotheliomas induced by fluoro-edenite fibres present in Etnean volcanic material from Biancavilla (Sicily, Italy)"**.** *Eur J Oncol* 2004 , 9:169-175.

Gianfagna A., Oberti R., "Fluoro-edenite from Biancavilla (Catania, Sicily, Italy): crystal chemistry of a new amphibole end-member", (2001). *American Mineralogist*. vol. 86, pp. 1489-1493..

Misura del diagramma d'irradiazione di una antenna mediante l'utilizzo di un sistema UAV

Horea Bendea (*), Alberto Cina (*), Andrea Lingua (*), Paolo Maschio (*),
Augusto Olivieri (**), Marco Piras (*), Giuseppe Virone (**)

(*) Politecnico di Torino, c.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italia, Tel. 0110907700,
Fax 0110907699, (nome.cognome@polito.it)
(**) IEIIT, Istituto di Elettronica e di Ingegneria dell'Informazione e delle Telecomunicazioni, CNR,
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italia, Tel. 0110905431, (nome.cognome@ieiit.cnr.it)

Keywords: **UAV, antenna pattern, esacottero, waypoints, antenna array, SKA**

Riassunto

La caratterizzazione del diagramma d'irradiazione è particolarmente importante al fine di verificare le reali prestazioni di un'antenna. In genere, misure di questo tipo vengono realizzate in camere anecoiche opportunamente attrezzate. Tali strutture risultano però essere troppo piccole per effettuare misurazioni alle basse frequenze (fino a 70 MHz). In alternativa, si possono utilizzare sistemi di misura all'aperto realizzati con torri o pali rotanti, i quali presentano il limite di non poter sostenere antenne di grandi dimensioni nelle reali condizioni operative. In altre parole, le attuali strumentazioni dedicate alla caratterizzazione di antenne presentano due limiti: non possono tener conto di un differente ambiente operativo dell'antenna rispetto allo spazio libero (es. terreno su cui giace) e non è possibile testare schiere di antenne a bassa frequenza.

Questi due aspetti sono invece due punti chiave nella progettazione dell'antenna per il progetto internazionale SKA (*Square Kilometre Array*), finalizzato alla realizzazione di un grande radiotelescopio, composto da *schiere* di migliaia di antenne [1-3]. L'IEIIT - CNR (Istituto di Elettronica e di Ingegneria dell'Informazione e delle Telecomunicazioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche) insieme all'IRA-INAF (Istituto di Radio Astronomia – Istituto Nazionale di Astrofisica) è impegnato nella progettazione e realizzazione di un prototipo di antenna (chiamata Vivaldi), che sarà la proposta italiana per tale progetto [3-4].

Al fine di caratterizzare tale antenna in condizioni operative, considerando anche l'effetto suolo e l'effetto *schiera*, si è dovuto cercare un metodo alternativo a quelli citati.

Una possibile soluzione può derivare da un innovativo metodo di scansione basato sull'utilizzo di un sistema *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV). In questo modo, è possibile caratterizzare direttamente l'antenna sul campo dove verrà utilizzata e nella sua condizione operativa richiesta.

Questi sistemi, simili a piccoli aerei o elicotteri, sono in grado di portare piccoli pesi (<2 kg), realizzando voli autonomi (solitamente con decollo e atterraggio esclusi), seguendo un percorso predefinito, definito da una serie di *waypoints*.

Nel caso in esame si è utilizzato un esacottero di base Mikrokopter, con scheda Autopilot con GPS interno di tipo Ublox 6H (Figura 1 – a).

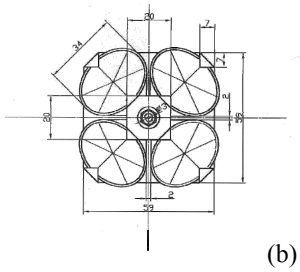
La soluzione di navigazione (posizione e assetto) sono state acquisite in tempo reale con una precisione metrica, ma per migliorare la precisione nella determinazione della posizione UAV, si è utilizzata una stazione totale motorizzata e uno speciale prisma multi facce, posto sull'UAV (Figura 1 – b), in maniera da tracciare in continuo la posizione del drone durante il volo.

Come sorgente di campo elettromagnetico si è utilizzata una semplice antenna a dipolo alimentata da un trasmettitore a portante sintonizzabile non modulata, realizzato appositamente da IEIIT. Tale sistema è alloggiato nella parte bassa dell'esacottero (Figura 1 – a). Un ricevitore è collegato

all'antenna in prova (AUT) posta a terra. La risposta dell'AUT è pertanto determinata dal livello di potenza RF ricevuta, in funzione della posizione relativa tra il UAV e l'AUT.



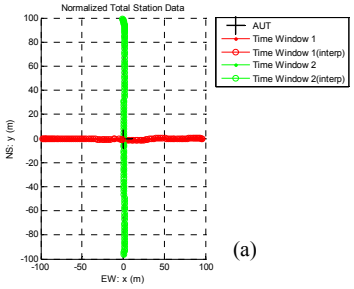
(a)



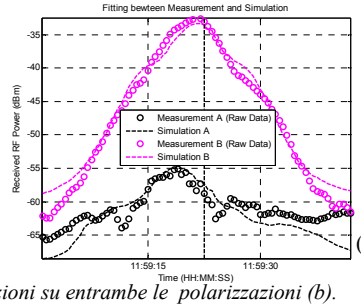
(b)

Figura 1. Esacottero (a) e schema della piramide di prismi (b).

I test svolti sono stati realizzati collocando l'antenna AUT sul terreno, orientando opportunamente tale antenna rispetto alla direzione N-S e pianificando una serie di voli con il drone utilizzando differenti frequenze di trasmissione (75, 150, 300 e 450 MHz), differenti orientamenti dell'antenna a bordo del drone (parallela e perpendicolare ad un riferimento sull'AUT) e differenti altezze di volo (30m e 60m) rispetto al terreno.
Al fine di realizzare il diagramma di irradiazione dell'antenna, è stato necessario sincronizzare i dati acquisiti dal ricevitore a terra con le posizioni del drone, nel tempo assoluto GPS e successivamente, determinare la posizione del drone rispetto all'AUT in coordinate sferiche.
Lo scopo del test era verificare la risposta reale dell'antenna con quella simulata, per verificare eventuali anomalie.



(a)



(b)

Figura 2. Traiettorie drone (a) e confronto misurazioni – simulazioni su entrambe le polarizzazioni (b).

I primi risultati ottenuti sono molto incoraggianti, sia per il tipo di posizionamento ottenuto che per la misurazione di diagramma d'irradiazione effettuata.
Per il posizionamento, le traiettorie seguite dal drone in tempo reale, mediante sistema *autopilot*, sono abbastanza coerenti con quanto tracciato dalla stazione totale, nell'ambito della precisione del GPS in stand-alone.
Per quanto riguarda l'aspetto elettromagnetico, la curva di misura corrisponde bene con quella di simulazione, soprattutto nella polarizzazione co-polare (Figura 2 – measurement A).

Riferimenti bibliografici

[1] http://www.skatelescope.org/
[2] P. Dewdney et.al. "SKA Phase 1: Preliminary System Description", memo130, www.skatelescope.org, 2010
[3] Jan Geralt Bij de Vaate, et al. "Low Frequency Aperture Array Developments for Phase 1 SKA", URSI 2011, Istanbul, August 13-20, 2011
[4] G. Virone, et al. "Broadband array element for the SKA low-frequency aperture array", International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2011.

Un SIT per la gestione, e la conservazione della biodiversità nelle dune costiere. Il caso di MAESTRALE (LIFE 10NAT/IT/000262)

Fabiana Berardo, Maria Laura Carranza, Giovanni Ciccorelli, Silvia Del Vecchio, Sara Fusco, Francesco Iannotta, Anna Loy, Federica Roscioni, Angela Stanisci

Lab, Dipartimento di Bioscienze e Territorio. Università degli Studi del Molise,
Contrada Fonte Lappone, 86090 Pesche (IS)
Email: fabiana.berardo@studenti.unimol.it; carranza@unimol.it; giovanni500@gmail.com; sdelvecchio@uniroma3.it; fusco.sara@gmail.com; francesco.iannotta@inwind.it; a.loy@unimol.it; federica.roscioni@unimol.it; stanisci@unimol.it

Riassunto

I sistemi costieri sabbiosi sono ambienti molto rilevanti dal punto di vista ecologico, biologico e paesaggistico per la presenza, in aree ristrette, di numerose comunità vegetali e fauna altamente specializzate. Allo stesso tempo, questi sistemi sono molto vulnerabili e fortemente minacciati da diversi fattori come l'erosione costiera, il cambiamento climatico, il turismo e le specie esotiche invasive. A livello europeo si assiste ad un degrado generale degli ecosistemi costieri, in particolare in ambiente mediterraneo, che compromette, oltre che il valore paesaggistico e biologico, anche gli importanti servizi ecosistemici che essi offrono. La costa molisana, seppur minacciata dalla pressione antropica, ha conservato un alto valore naturalistico; in queste aree si riscontrano ancora discrete estensioni di dune costiere che annoverano la presenza di 18 habitat d'interesse comunitario e 3 Siti di Interesse Comunitario (SIC). Il progetto MAESTRALE (LIFE 10NAT/IT/000262) ha come obiettivo la riqualificazione, la protezione, il ripristino e la conservazione degli habitat dunali e retrodunali molisani mediante la realizzazione di azioni concrete di conservazione (come ad esempio la riduzione delle specie di flora vascolare esotica per migliorare la struttura e la composizione floristica nativa degli habitat di interesse comunitario prioritario, la realizzazione di percorsi obbligati per ridurre il calpestio associato alla fruizione balneare, l'installazione di bat box per aumentare la disponibilità di aree di rifugio/riproduzione per i chirotteri) e lo svolgimento di attività di divulgazione, sensibilizzazione ed educazione ambientale. Alla base delle attività previste dal progetto MAESTRALE sono stati costruiti un Sistema Informativo Territoriale (SIT) e un Sistema di Supporto Decisionale (SSD) dedicati. Il SIT ed il SSD, conformi alla direttiva INSPIRE, raccolgono le informazioni ambientali (uso del suolo, habitat di direttiva, distribuzione delle specie di fauna) necessarie per analizzare il territorio delle dune costiere e forniscono le basi geografiche per l'implementazione delle azioni di conservazione ed il loro monitoraggio; inoltre archiviano informazioni utili per numerose attività di divulgazione, educazione ambientale e promozione culturale.

Abstract

The coastal dunes are ecosystems particularly interesting from the of ecological, biological and landscape point of view because they host, in restricted areas, many highly specialized species of flora and fauna. Furthermore, they offer unique ecological services such as filtration of large volumes of seawater and recycling of nutrient or flood control and storm protection. At the same time, these systems are significantly threatened by several factors such as coastal erosion, climate change, tourism and invasive alien species. The degradation and loss of the littoral landscape has concerned all coastal countries of the European Union, and is particularly striking on the

Mediterranean coasts. Nonetheless, the coastal dunes of Molise Region still host many EU Directive 92/43 Habitat types and for this reason three SAC (Special Areas of Conservation) that include 20 km of coastal dunes have been proposed for this region. In this context the European Union have funded a LIFE project MAESTRALE (10NAT/IT/000262) aimed to the requalification, protection, restoration and conservation of coastal dunes in Molise. To reach this aims MAESTRALE will implement many concrete conservation actions (such as the reduction of the species of exotic vascular flora to improve the structure and floristic composition of the native habitats of Community interest priority, the creation of paths required to reduce poaching associated with beach use, the installation of bat box to increase the availability of refuge/breeding areas for bats) and will promote activities of environmental education and popularization of ecology. For dealing with such landscape conservation and monitoring aspects, MAESTRALE have developed specific a Geographical Information System and Decision Support System. The GIS and DSS, whose structure conforms to European Directive INSPIRE, encompass environmental information (land use, habitat directive, distribution of fauna species) needed to analyze the coastal dunes landscape and provide the geographical basis for the implementation of conservation actions and for monitoring them. They also offer cartographic and alphanumeric information useful for the outreach activities, environmental education and cultural promotion.

Introduzione

Mediante lo strumento finanziario Life + Natura e Biodiversità l'unione Europea cofinanzia, negli Stati membri e in taluni Paesi terzi che si affacciano nel mar Mediterraneo e nel mar Baltico, azioni che mirano alla salvaguardia dell'ambiente e che permettono di contribuire all'attuazione della politica comunitaria in materia di natura e biodiversità, in particolare della Direttiva concernente la conservazione degli uccelli selvatici (Direttiva 79/409/CEE, "Uccelli") e di quella relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, della flora e della fauna selvatiche (Direttiva 92/43/CEE, "Habitat"). In questo contesto si inserisce il progetto Life MAESTRALE (Azioni MirAtE al ripriSTino e alla conservazione degli habitat dunali e RetrodunAli in MoLisE -Life 10NAT/IT/000262), uno degli undici progetti italiani ammessi, per l'annualità 2010, al cofinanziamento per la componente Natura e Biodiversità.

Il progetto Life ha una durata quinquennale (Settembre 2011 – Aprile 2017) ed è finalizzato alla realizzazione di azioni mirate al ripristino e alla conservazione degli habitat dunali e retrodunali nei siti della rete Natura 2000 della costa della Regione Molise. In particolare il progetto ricade nel comune di Campomarino, partner beneficiario coordinatore, e nel comune di Petacciato, beneficiario associato. Tali aree litoranee hanno una grande rilevanza naturalistica e vegetazionale (Acosta et al. 2005; Stanisci et al. 2007), sono presenti 18 habitat di interesse comunitario (92/43/CEE) che hanno permesso l'istituzione di 3 siti S.I.C. (IT7228221, Foce Trigno - marina di Petacciato, IT7222217 "Foce Saccione-Bonifica Ramitelli", IT7282216- Foce Biferno – Litorale Campomarino). Tuttavia le aree d'intervento sono sottoposte ad una pressione antropica costante ove molteplici fattori di alterazione minacciano l'integrità degli ecosistemi (erosione, escavazioni di sabbia, incendi e interventi di forestazione). Inoltre, nessuno dei tre siti S.I.C. dispone di un piano di gestione e, pertanto, l'iniziativa progettuale si prefigge di conservare l'habitat delle dune e delle zone salmastre umide, così come di proteggere le specie della flora e della fauna tipiche di questa area litoranea. Tali obbiettivi saranno raggiunti mediante la realizzazione di azioni concrete di conservazione, in seguito riportate, che permetteranno di riqualificare, proteggere, ripristinare e conservare gli habitat prioritari dunali e retrodunali: **Riqualificazione delle pinete litoranee** (2270*- Dune costiere con *Pinus pinea* e/o *Pinus Pinaster*); **Protezione dell'avanduna con ricostituzione delle dune con vegetazione di sclerofille dei Cisto – Lavanduletalia** (2260); **Realizzazione di passerelle e paletti con cordini per la protezione dei ginepreti dunali** (2250*) e degli habitat di avanduna (2110: Dune embrionali mobili, 2120: Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria*, 2230: Dune con prati dei Malcolmietalia); **Ripristino dello stato di conservazione di ambienti umidi lagunari alla foce del fiume Biferno, a beneficio degli**

habitat prioritari 3170* (Stagni temporanei mediterranei) e 1510*(Steppe salate mediterranee); **Realizzazione e apposizione di Bat-Box; Propagazione e conservazione ex-situ di specie native degli ambienti dunali**.
Al fine di garantire la riuscita del progetto sul piano tecnico-scientifico è stato messo a punto, seguendo il protocollo europeo INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe), un **Sistema Informativo Territoriale** (SIT) dedicato, contenente cartografie tematiche, immagini tele rilevate e dati puntuali che costituiscono la base per il **Sistema di Supporto Decisionale (SSD).** Il SIT ed il SSD MAESTRALE costituiscono la base di informazioni e di mezzi hardware/software atti ad analizzare il territorio, identificare i parametri (variabili) limitanti negli ecosistemi (diagnosi), pianificare appositi interventi di riqualificazione ed ipotizzare scenari predittivi simulando l'andamento degli interventi specifici (prognosi) (Fig.1). La simulazione abbinata ai dati di monitoraggio permette, sotto la supervisione e verifica continua da parte degli esperti, di migliorare le modalità e la localizzazione degli interventi concreti di conservazione, facendone emergere le criticità.

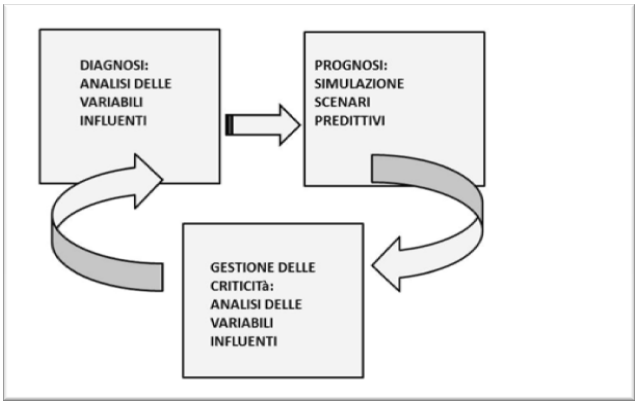


Figura 1. Rappresentazione schematica dei SIT e SSD MAESTRALE.

Obiettivo
In questo lavoro abbiamo voluto riportare, a titolo d'esempio, il SIT e SSD MAESTRALE utilizzati per identificare le aree d'intervento di due azioni concrete di conservazione che interesseranno la pineta litoranea di Petacciato Marina e l'attigua avanduna, rispettivamente l'Azione Riqualificazione delle pinete litoranee e l'Azione Protezione dell'avanduna con ricostituzione delle dune con vegetazione di sclerofille dei *Cisto – Lavanduletalia*).

Implementazione del DSS MAESTRALE
Il SIT contenente cartografie di base (fonti: http://www.pcn.minambiente.it/PCN/; http://cartografia.regione.molise.it/mapserver.html; dati alfanumerici e cartografici gentilmente fornite dai partner EnvixLab–UniMol, Comune di Campomarino, Comune di Petacciato, Ambiente Basso Molise e Centro Studi Naturalistici) raccoglie dati ancillari propedeutici per la definizione dei progetti esecutivi delle azioni di conservazione previste. Il SSD sviluppato per individuare la tipologia e la localizzazione degli interventi concreti di conservazione previsti da MAESTRALE segue come schema generale quello riportato in Figura 2. In particolare si è avvalso di cartografia digitale (Digital Elevation Model, Uso del suolo, Carte catastali, Reticolo idrografico), di accurate descrizioni floristico-vegetazionali (113 rilievi su plot di 4x4 m), di dati di letteratura relativi alle segnalazioni, delle descrizioni sulla flora e la vegetazione delle aree target raccolti nell'ambito dell' azione preparatoria (Inventario scientifico – caratterizzazione floristico-vegetazionale).

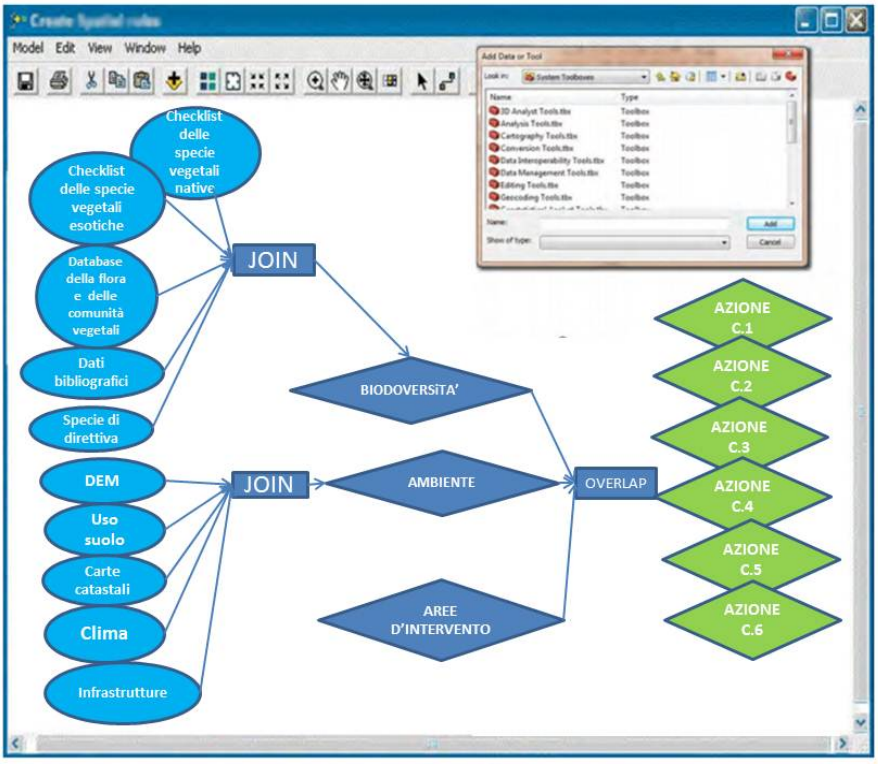


Figura 2. Rappresentazione schematica dei tematismi SIT e del SSD MAESTRALE utilizzando ArcScript (ArcGis10).

Le integrazioni di informazioni cartografiche, di fonti storiche ed un accurato lavoro di campo hanno messo in evidenza l'esistenza di una profonda alterazione dell'ambiente originario della rete Natura 2000 costiera della Regione Molise. Questa alterazione investe la duna, gli ecosistemi di avanduna e quelli di retroduna. Si tratta in particolare dell'impianto di una pineta litoranea troppo fitta nel retroduna (avvenuta negli anni 50) e della messa a dimora di specie esotiche invasive: *Acacia saligna*, *Eucalyptus sp.pl., Cupressus sp.pl., Thuia sp.pl* con funzione di frangivento (Lucchese, 2010) sulla duna fissa ed in parte sull'avanduna. Al fine di descrivere in dettaglio la situazione attuale dal punto di vista floristico-vegetazionale, è stato costituito un database della flora e delle comunità vegetali presenti nelle aree target e sono stati redatti i profili della zonazione della vegetazione attuale. Inoltre, è stato valutato lo stato si conservazione delle aree target prima degli interventi e sono stati individuati i bioindicatori (specie diagnostiche degli habitat dunali, specie esotiche e specie ruderali) da monitorare nel tempo.
La pineta retrodunale di Petacciato marina (habitat 2270*) è stata cartografata ed appositamente studiata attraverso rilievi floristici georeferenziati e accurate verifiche di campo e risulta costituita principalmente da *Pinus halepensis* e con minor copertura da da *Pinus pinea* e *Pinus pinaster*. In tale formazione vegetale sono inoltre presenti diverse specie esotiche come *Acacia saligna, Eucaliptus camaldulensis, Eucaliptus globolus e Cupressus macrocarpa*. Sporadicamente si trovano anche individui di specie di macchia e bosco mediterraneo come il leccio (*Quercus ilex*), soprattutto sotto forma di arbusto. In queste pinete che presentano uno strato arboreo troppo chiuso, il suolo risulta ricoperto principalmente da aghi di pino, e quindi le specie arbustive ed erbacee del sottobosco mediterraneo che caratterizzano e danno una valenza conservazionistica maggiore alle pinete risultano scarse.

Per lo studio della vegetazione della duna fissa (habitat 2260 del *Cisto – Lavanduletalia*) sono stati svolti sia rilievi floristici che cartografia in campo per la perimetrazione dei poligoni di vegetazione invasi da *Acacia salignia*. E' da notare che le specie esotiche, che sono state piantumate nei settori di avanduna e duna fissa, presentano caratteristiche morfo-anatomiche e funzionali diverse delle specie tipiche delle cenosi naturali che hanno permesso a queste ultime una facile e vincente competizione con le specie autoctone, dando luogo ad una massiccia diffusione (Acosta et al. 2005, 2007; Izzi et al., 2007; Stanisci et al. 2010). Le specie aliene invasive hanno alterato la composizione vegetazionale con particolare effetto negativo nei confronti delle specie erbacee ed arbustive autoctone del sottobosco per competizione spaziale. Inoltre, hanno inibito la crescita per "rinnovazione" delle specie arboree autoctone a causa dell'ombreggiamento e della spessa lettiera che ha portato al deperimento delle giovani piantine.
L'analisi integrata delle informazioni cartografiche ed alfanumeriche presenti nel SIT hanno permesso al SSD di individuare le criticità di questi ecosistemi (livelli bassi di biodiversità nel sottobosco della pineta e presenza e distribuzione di specie aliene invasive nelle cenosi arbustive ed erbacee della duna). Inoltre, il DSS ci ha permesso di individuare i tipi di intervento necessari (diradamento selettivo della pineta e di eradicazione delle specie esotiche invasive) ed i settori (poligoni cartografici) dove questi possono essere più efficaci (Figura 2).
In particolare, come riportato in figura 3, gli interventi di diradamento della pineta dovranno essere effettuati in piccoli lembi nelle porzioni più interne del retroduna lontani dai nuclei attuali di *Acacia saligna*. Inoltre, per favorire il recupero della macchia mediterranea verranno piantate nelle radure ecotipi locali di specie arbustive e arboree native. L'intervento, oltre a migliorare la composizione floristica e la struttura spaziale della pineta, avrà delle ricadute positive sulle specie di fauna presente nel sito e che fanno parte dei taxa target del progetto MAESTRALE. Ad esempio, la pineta riqualificata offrirà nuovi siti di foraggiamento e riposo per la popolazione di *Testudo hermanni* e di siti di foraggiamento per la Chirotterofauna.
Dai rilievi floristici effettuati nell'area di transizione tra l'avanduna e la retrostante pineta è emerso che l'area è occupata da vegetazione ruderale con nuclei di arbusti tipici della macchia mediterranea (*Rosmarinus officinalis, Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, *Rhamnus alaternus*, *Myrtus communis*, *Asparagus acutifolius* e *Olea europea var sylvestris*); da vegetazione erbacea con specie da incolto (ad esempio *Geranium purpureum, Avena barbata, Bromus rigidus, Hypochoeris achyrophorus, Reseda alba, Oryzopsis miliacea, Sixalis atropurpurea, Conyza canadensis* ecc...) e dalla specie esotica invasiva *Acacia saligna*.. Considerando che la vegetazione potenziale di questi ambienti è una macchia mediterranea densa che gradatamente lascia il passo al bosco retrodunale (Frattaroli et al. 2007), la necessità d'intervento risulta evidente. In particolare si procederà con l'eradicazione delle specie alloctone, e con la piantumazione di piantine di ecotipi locali di specie arbustive (*Pistacia lentiscus, Cistus Creticus, Phyllirea latifolia, Halimium haliminifolium*) al fine di ripristinare l'originario habitat 2260 (Dune con vegetazione di sclerofille dei *Cisto-Lavanduletalia*). Tale intervento, che permetterà di ripristinare la zonazione fitotopografica dunale recuperando un area di 2ha (Fig.3), è anche necessario e funzionale alla conservazione del retrostante habitat 2270* (Dune costiere con *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster*) in quanto permette di ricostituire il mantello naturale che con un effetto barriera protegge e filtra dalla salsedine e dall'azione abrasiva della sabbia

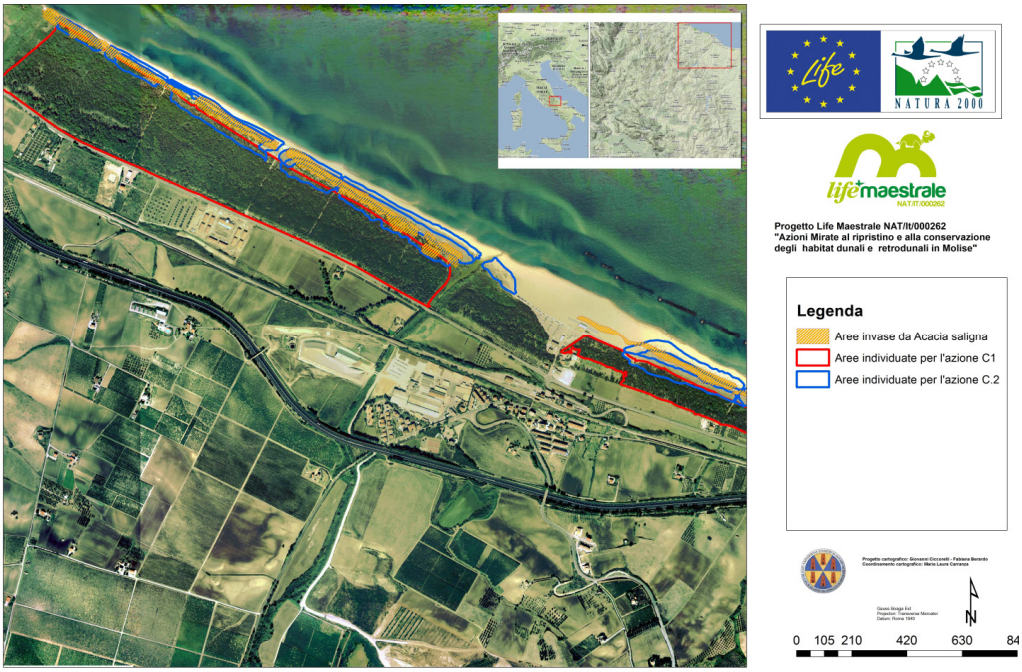


Figura 3. Aree di intervento nell'area di Petacciato marina. In rosso: aree individuate per la riqualificazione della pineta litoranea (Azione C1); in blu: aree individuate per gl'interventi di ripristino e protezione dell'avanduna (Azione C2); in giallo: aree invase dalla specie esotica Acacia saligna.

Conclusioni

I SIT e SSD MAESTRALE costituiscono uno strumento dinamico e in continua evoluzione, che accompagnano l'intero iter del progetto. Questi permette di modellizzare le diverse azioni di conservazione facilitando l'identificazione dei possibili punti deboli del progetto, consente di valutare gli effetti delle azioni concrete di conservazione a breve e a lungo termine, facilitando e semplificando una visione d'insieme che consentirà di evidenziare le criticità territoriali presenti, gli eventuali effetti integrati e le sinergie che si producono dalla coazione degli interventi previsti. Inoltre, questi strumenti, consentono di reperire agevolmente il materiale cartografico e le informazioni utili per supportare la divulgazione e la comunicazione dei risultati. Inoltre, grazie allo sviluppo secondo il protocollo europeo INSPIRE, si garantisce l' interscambiabilità dei dati con altri progetti ed aree d'interesse in Italia ed Europa. Infine, il SIT e DSS accogliendo i dati di monitoraggio delle azioni permettono di migliorare la loro implementazione e di migliorare le conoscenze attuali sugli ecosistemi e le criticità ambientali affrontate.

Bibliografia

Acosta A., Carranza M.L., Conti F., De Marco G., D'Orazio G., Frattaroli A.R., Izzi C.F., Pirone G. & Stanisci A. (2005), Banca dati della flora costiera psammofila dell'Italia centrale. Inform. Bot. Ital. 37: 110-111

Acosta A., Carranza M.L., Ciaschetti G., Conti F., Di Martino L., D'Orazio G., Frattaroli A., Izzi C.F., Pirone G., Stanisci A. (2007), Specie vegetali esotiche negli ambienti costieri sabbiosi di alcune regioni dell'Italia Centrale. Webbia 62: 77-84

Frattaroli A., Acosta A., Ciaschetti G., Di Martino L., Pirone G., Stanisci A. (2007), Indagine sulla qualità ambientale della costa dell'Abruzzo meridionale e del Molise (Adriatico centrale) su base floristico-vegetazionale. *Fitosociologia* 44 (1): 117-127.
Izzi C.F., Acosta A., Carranza M.L., Conti F., Ciaschetti G., Di Martino L., D 'Orazio G., Frattaroli A.R., Pirone G. & Stanisci A. (2007), Il censimento della flora vascolare degli ambienti dunali costieri dell'Italia centrale. *Fitosociologia* 44 (1): 129-137.
Lucchese F. (2010), Molise. In: Celesti Grapow L., Pretto F., Carli E., Blasi C.:*Flora vascolare alloctona e invasive delle regioni d'Italia*. Casa Editrice Università La Sapienza, Roma.
Stanisci A., Acosta A., Carranza M.L., Feola S. & Giuliano M. (2007), Gli habitat di interesse comunitario sul litorale molisano e il loro valore naturalistico su base floristica. *Fitosociologia* vol.44 (1):171-175.
Stanisci A., Acosta A., Di Iorio A., Vergalito M. (2010), Leaf and root trait variability of alien and native species along Adriatic coastal dunes (Italy). *Plant Biosystems* 144: 47-52.

Tecniche Laser Scanner per la rappresentazione dei beni culturali: il rilievo dell'apparato scultoreo della Torre Ghirlandina di Modena

Eleonora Bertacchini, Alessandro Capra, Cristina Castagnetti, Riccardo Rivola, Isabella Toschi

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, DIEF, Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari"
Strada Vignolese 905, 41125 Modena

Abstract esteso

Il campo dei Beni Culturali ha da sempre richiesto un'adeguata rappresentazione per registrare sia lo stato di fatto che il proprio divenire: le attività di conservazione e valorizzazione dovrebbero infatti essere esercitate sulla base di un'approfondita fase preliminare di conoscenza e documentazione del patrimonio da tutelare. L'approccio adottato a tale scopo è stato inizialmente volto a indagare principalmente l'aspetto storico-artistico; oggi, invece, a fianco dell'indagine qualitativa, risulta sempre più necessaria anche quella metrica per determinare posizione, geometria e forma dell'oggetto e ottenere una sua accurata documentazione metrica digitale. Tra le differenti soluzioni metodologiche, la più promettente appare attualmente essere la digitalizzazione tridimensionale, in quanto, pervenendo a una rappresentazione 3D dello spazio, ne permette una completa e più intuitiva percezione. Numerose sono le metodologie di acquisizione e gestione dei dati (Pavlidis et al., 2001), ma, per le loro caratteristiche di automatismo e rapidità, si stanno sempre più affermando le tecniche laser a scansione 3D.

Il presente lavoro si propone di descrivere una procedura applicativa volta al rilievo e modellazione ad alta risoluzione di elementi scultorei per la generazione di un loro completo archivio metrico digitale. Il caso di studio presentato è relativo alla Torre Civica di Modena, comunemente chiamata "Ghirlandina" e simbolo della città. Dichiarata dall'UNESCO nel 1997 "Patrimonio dell'Umanità" insieme alle antistanti Cattedrale e Piazza Grande, la Ghirlandina presenta un interessante e ricco apparato scultoreo decorativo che ne adorna il paramento esterno: esso è stato oggetto di un articolato intervento di restauro e consolidamento (Cadignani, 2010), conclusosi nel mese di Settembre 2011. A supporto e integrazione di tali attività, il Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari", nell'ambito di convenzioni stipulate con il Comune di Modena e dopo aver acquisito il modello 3D della struttura esterna della Torre, si è occupato del rilievo ad alta risoluzione dei suoi elementi scultorei restaurati. Per questa attività la strumentazione scelta è risultata costituita dal braccio articolato a sette assi *ROMER CMM INFINITE 2.0* e dal sensore Laser a Triangolazione *ScanWorks PERCEPTRON*, avente precisione nominale pari a 0.07 mm. La fase di acquisizione del dato si è svolta contestualmente all'ultimo mese degli interventi di restauro per poter usufruire dell'impalcatura metallica che, circondando l'esterno della Torre, permetteva di raggiungere l'altezza necessaria per il rilievo. Tali condizioni di lavoro, oltre a richiedere un adeguato coordinamento tra i professionisti coinvolti nei vari interventi, hanno evidenziato la necessità di adottare speciali accorgimenti atti a ridurre il più possibile le vibrazioni e consentire una restituzione finale degli elementi con una risoluzione dell'ordine di grandezza del decimo di millimetro. In totale, sono stati acquisiti 130 elementi di diverse tipologie scultoree (sculture angolari, mensole, bassorilievi romani e capitelli di bifore e trifore), disposti in corrispondenza delle cornici marcapiano, fino agli ordini architettonici superiori posti a oltre 40 m di altezza dal piano di campagna. Per gestire in tempo reale l'acquisizione delle singole nuvole di punti e verificarne la corretta e "completa" descrizione della superficie scultorea, è stato utilizzato il *software* 3D RESHAPER vs 6.2.0.2392, installato sul PC portatile collegato allo strumento stesso.

Alla fase operativa di acquisizione, è seguito quindi un laborioso e attento lavoro di post-elaborazione dei dati rilevati, necessario innanzitutto per eliminare il rumore presente (*noisy clusters*) e dovuto non solo alle vibrazioni residue ma anche a particolari caratteristiche riflettenti di alcune superfici rilevate: a tale scopo, oltre a una pulizia manuale, sono stati adottati anche specifici e adeguati algoritmi di filtraggio automatico. Per gli elementi di dimensioni ridotte, essendo stati acquisiti da un'unica posizione di scansione, le nuvole di punti risultavano già inquadrate nel medesimo sistema di riferimento: nonostante ciò, le particolari condizioni di lavoro hanno reso necessario un *refinement* dell'allineamento reciproco con algoritmo ICP (*Iterative Closest Point*, Besl, McKay, 1992). Tale operazione è inoltre stata preceduta da un pre-allinemento tramite punti omologhi per gli elementi di dimensioni maggiori, per i quali è stato necessario il riposizionamento dello strumento. Per ciascun elemento, le singole scansioni sono state infine combinate in un'unica nuvola di punti, trattando le zone di sovrapposizione per ridurre il rumore a esse associato. La modellazione 3D è stata infine condotta adottando uno specifico algoritmo di *Mesh Construction* con il quale la superficie dell'elemento è stata descritta e discretizzata tramite un congruo numero di superfici piane triangolari (*Triangulated Irregular Network*, TIN). I modelli generati presentavano ancora delle difettologie residue, quali: "buchi" dovuti alla presenza di zone d'ombra non acquisite dallo strumento, superfici piane intersecantisi tra loro o aventi normali con direzione opposta rispetto a quella delle normali alle superfici attigue. È stata quindi necessaria un'attenta fase finale di *editing* al termine della quale gli elementi, di cui si riportano due esempi in Figure 1 e 2, sono stati esportati e forniti sotto forma di *file* numerici in formato *.stl*, adatti a essere letti dalle macchine a controllo numerico per prototipazione rapida. Oltre alla riproduzione materica non invasiva, il rilievo 3D ad alta risoluzione eseguito potrà essere finalizzato a studi più approfonditi sugli elementi acquisiti e alla ricostruzione virtuale delle loro parti mancanti e/o rovinate, anche al fine di permettere una visita virtuale al pubblico che, data l'eccessiva altezza di molti elementi, non potrebbe diversamente apprezzarne le bellezze. L'obiettivo che ci si pone per il prossimo futuro è quello di generare un ambiente virtuale tridimensionale foto-realistico dell'intero complesso monumentale del sito UNESCO di Modena: è in corso, infatti, il rilievo con risoluzione sub-millimetrica anche dell'apparato scultoreo decorativo del Duomo, del quale è già stato acquisito il modello 3D relativo agli interni e agli esterni. Parallelamente e a integrazione di tali attività, si sta procedendo con l'elaborazione degli elementi scultorei rilevati, al fine di conferire loro un aspetto foto-realistico tramite l'utilizzo di immagini fotografiche acquisite con camera calibrata e di inquadrare gli stessi nell'unico sistema di riferimento finale.



Figura 1. Modello 3D a superfici: esempio di una scultura angolare.



Figura 2. Modello 3D a superfici: esempio di un capitello.

Bibliografia

Besl P.J., McKay N.D. (1992), "A method for registration of 3D shape", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(2): 239-256

Cadignani R. (a cura di) (2010), *La torre Ghirlandina: storia e restauro*, Luca Sossella Editore, Roma (ISBN 9788889829912)

Pavlidis G., Koutsoudis A., Arnaoutoglou F., Tsioukas V., Chamzas C. (2007), "Methods for 3D digitization of Cultural Heritage", *Journal of Cultural Heritage*, 8(1): 93-98

Aggiornamento topografico del Geodb con l'utilizzo di una rete geodetica

Eugenio Berti (*), Pier Francesco Costantini (**), Federico Pilastro (***)

(*) Comune di Vicenza Settore Sistemi Informatici, Telematici e Sit, uff, S.I.T.,
Fax 0444221033, Tel. 0444221232, eberti@comune.vicenza.it
(**) Istituto Tecnico Statale per Geometri "A.Canova" Vicenza,
Fax 0444507358, Tel. 0444507330, costantini.pf@alice.it
(***) A.I.M Vicenza, Fax 0444221329, Tel. 0444221208, federico.pilastro@aimvicenza.it

Riassunto

Il Comune di Vicenza, tramite l'ufficio SIT, ha allestito già da 1996 e mantiene aggiornato un Geodb strutturato secondo gli standard regionali e molto arricchito di ulteriori informazioni. In occasione del rifacimento della CTRN nel 2009 l'Uff. SIT ha compiuto un notevole sforzo di allineamento del Geodb alla geometria aggiornata; il successivo aggiornamento della geometria è garantito da una continua e vigile presenza del personale del SIT. Tuttavia, l'aggiornamento non può essere mantenuto dal solo personale del SIT, ma deve diventare, nelle intenzioni dell'Amministrazione, un procedimento "automatico": la procedura di autorizzazione di lavori di trasformazione del territorio, dalle piccole alle grandi opere, deve prevedere trasmissioni di informazioni verso il SIT in misura e formato tali da poter essere immediatamente e "automaticamente" inglobate nel database territoriale.

A tale scopo, l'Amministrazione ha intrapreso da alcuni anni un percorso di innovazioni e modifiche delle procedure per giungere a questo chiaro risultato. I passaggi fondamentali sono stati:

• la costituzione di una Rete Geodetica Comunale (RGC);
• la determinazione di un insieme di vertici di orientamento;
• il consolidamento delle coordinate di tutti i Punti Fiduciali (PF) presenti nel suo territorio

Metodologia utilizzata:

Installazione di una SP strategica nel territorio comunale inquadrata nella RDN;
Determinazione di una prima rete protetta di raffittimento di 6 vertici;
Determinazione di una rete di dettaglio di circa 240 vertici;
Determinazione di oltre 60 vertici di orientamento;
Ricalcolo di oltre 1100 PF catastali inquadrati nel sistema di riferimento della RGC.

Risultati conseguiti:

Un primo importante risultato conseguito è stato l'utilizzo dei vertici della RGC come punti di appoggio nella triangolazione aerea per l'orientamento dei modelli fotogrammetrici; dall'ortofoto alla CTRN è stato derivato il Geodb. Già durante la sua realizzazione, durata 3 anni, la RGC è stata inoltre utilizzata per rilievi topografici di aggiornamento del Geodb laddove non era possibile l'utilizzo del GNSS, con la produzione di rilievi topografici già georeferenziati nel sistema di riferimento cartografico.

Abstract

The city of Vicenza, through the SIT office, has already set up by 1996 and maintain an GeoDB structured according to regional standards, and much enriched with additional information. CTRN prior to renovation of the Gazette in 2009. SIT has made a major effort to align GeoDB updated geometry and the next update of the geometry is ensured by a continuous presence and alert staff of SIT. However, the upgrade can only be maintained by the staff of the SIT, it must become, in the

intentions of the Administration, a process "automatic" means the procedure for authorization of changes to transform the community, from small to large works, should provide transmission of information to the GIS and formed such an extent as to be immediately and "automatically" incorporated in the database area.
For this purpose, the Administration has undertaken a number of years a path of innovation and changes in the procedures to arrive at this clear result. The basic steps are:
• the establishment of a Municipal Geodetic Network (RGC);
• determining a set of vertices of orientation;
• the consolidation of the coordinates of all the fiducial points (FP) in its territory
Methodology used:
Installing an SP in the municipal strategic framed in the RDN;
Determining a first secure network of densification of 6 vertices;
Determination of a network of detail of about 240 vertices;
Determination of over 60 heads of guidance;
Recalculation of 1100 PF land classified in the reference system of the RGC.
Achievements:
A first important result was the use of the vertices of the RGC as support points in aerial triangulation for the orientation of the photogrammetric models; dall'ortofoto to GeoDB CTRN has been derived. Even during its construction, which lasted 3 years, the RGC has also been used for surveying update GeoDB where it was not possible the use of GNSS, with the production of topographic already georeferenced cartographic reference system.

La Stazione Permanente
Nel 2007, in convenzione con due aziende comunali di servizi (AIM e AMCPS) e l'Istituto per Geometri "A. Canova", fu acquisita la seguente strumentazione GNSS:
• una stazione permanente (SP) TopCon: antenna CRG3 TPSH, ricevitore NET G3 e modem;
• server per la gestione dell'antenna con gruppi di continuità;
• tre rover TopCon mod. Hiper PRO;
• software specifico per la gestione dell'intero sistema.
L'Istituto "Canova" possedeva già due antenne TopCon Turbo S II (8 canali, doppia frequenza), con i relativi ricevitori e tutto il software specifico per la gestione del proprio sistema. Questo sistema, pur di ottima qualità e tuttora funzionante, registra solo i segnali della costellazione GPS.
L'antenna permanente fu installata sull'Istituto "Canova", previa adeguata valutazione del sito, e dal marzo di quell'anno registra i segnali GPS e GLONASS con eccellente continuità. Dal 2009 la SP (con id="VICE") è un nodo della Rete GPS del Veneto e partecipa alla rete EUREF: i dati sono ridistribuiti in tempo reale nei formati RTCM per applicazioni RTK e in formato RINEX per le applicazioni in modalità differita.
All'inizio delle operazioni era presente sul territorio nazionale la rete dei vertici IGM95. La prima determinazione delle coordinate della nostra SP fu ettettuata mediante baseline appoggiate a quattro di questi vertici: Monte Berico, Monte Pulgo, S.Giorgio di Perlena e Piramidi. La precisione della determinazione non fu all'altezza delle aspettative di progetto: in due vertici, la copertura vegetale sviluppatasi dopo le operazioni dell'IGM limitava talmente l'orizzonte da rendere questi vertici quasi inutilizzabili; ne risultava una cattiva conformazione geometrica correggibile con l'utilizzo di altri e molto più lontani vertici IGM95.
Con l'avvento della RDN la stazione è stata rideterminata insieme con altre 3 SP della Rete GPS del Veneto, "VELO" (Velo d'Astico), "SCHI" (Schio) e "ASIA" (Asiago), elaborando 10 giorni consecutivi di osservazioni; le 4 SP sono state vincolate a 5 SP della RDN: "VERO", "ROVE", "PASS", "PADO", "PORD". I risultati in termini di precisione intrinseca sono risultati eccellenti (millimetrici e sub-millimetrici per tutte le 4 SP). In termini di esattezza sono stati finora possibili solo due confronti:

• la SP “VICE”, in quanto SP della rete nazionale NetGeo della ditta GeoTop, è stata rideterminata da GeoTop in ambito nazionale con differenze entro 2 mm;
• la SP “SCHI”, che fa parte della rete nazionale ItalPOS della ditta Leica, è stata rideterminata da Leica in ambito nazionale con differenze entro 1 mm.



Figura 1. L’antenna della SP sul tetto dell’Istituto “Canova” di Vicenza.

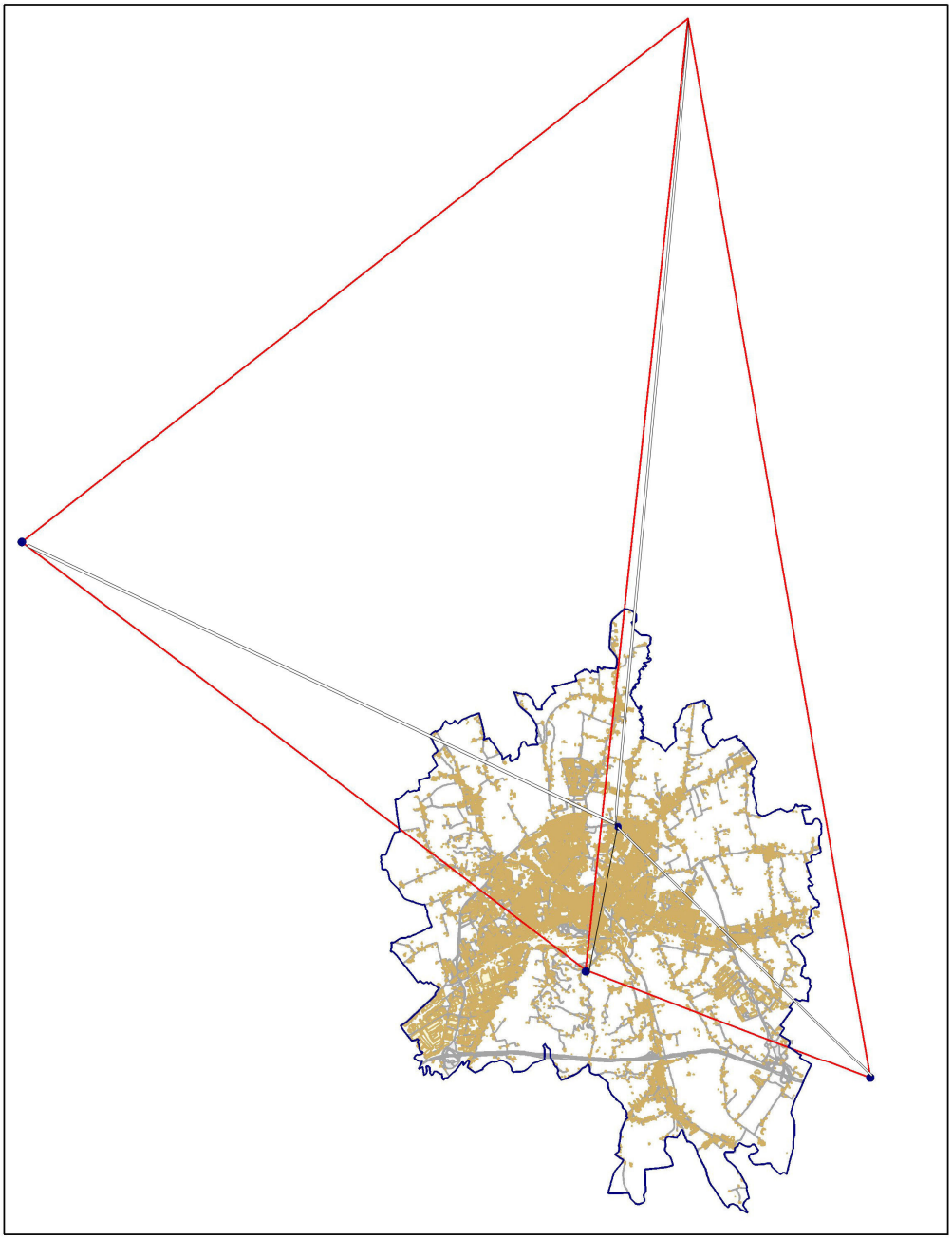


Figura 2. La determinazione della SPsul tetto dell'ist. Canova, sui punti IGM95.

La Rete Geodetica Comunale (RGC)

Nel 2007 è anche iniziato l'allestimento della RGC. Questa, oggi completata, è costituita da:

• 6 vertici monumentati in siti protetti (Rete0);

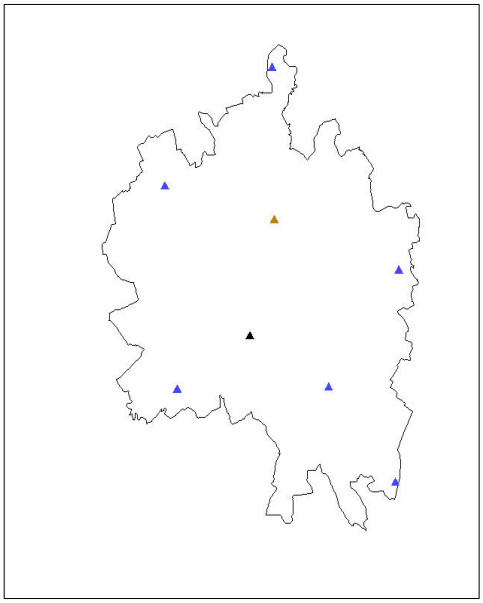


Figura 3. La rete di raffittimento.

• circa 240 vertici sparsi sul territorio comunale (Rete1);

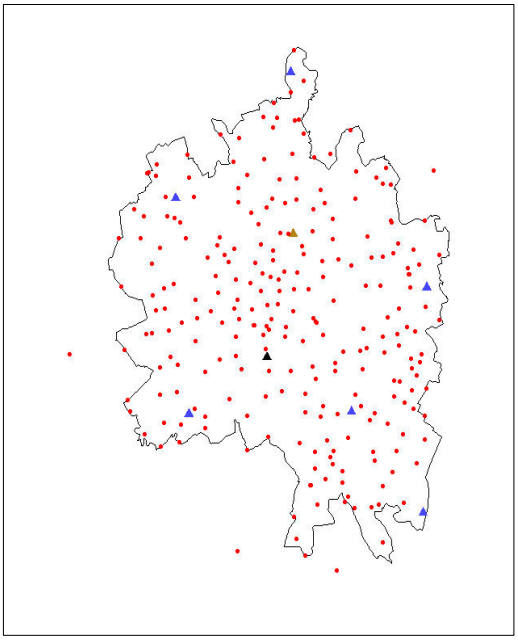


Figura 4. I vertici di dettaglio.

• oltre 60 vertici di orientamento per gran parte ricadenti nell'ambito comunale e il resto nei territori di Comuni contermini.

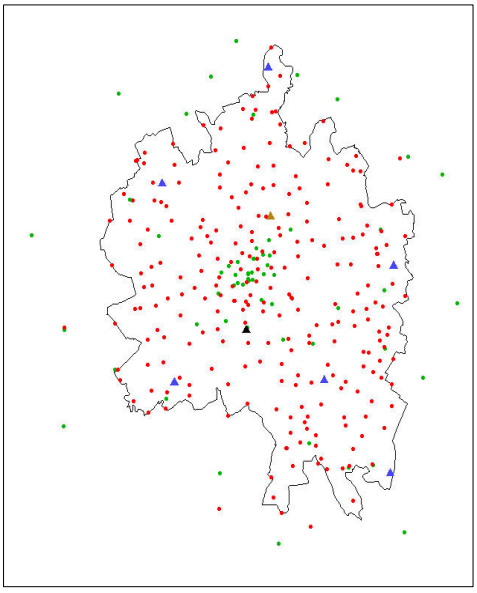


Figura 5. I vertici di orientamento.

Le caratteristiche dei vertici della RGC sono le seguenti:
• elevata precisione intrinseca (millimetrica e, molto frequentemente, sub-millimetrica);
• monumentazione su suolo pubblico con completa e sicura stazionabilità;
• possibilità di orientamento della stazione topografica collimando un vertice di coordinate planimetriche note.
La determinazione dei punti è avvenuta nel datum ETRF2000 (2008.0), che è quello ufficiale della RDN, operando in coordinate cartesiane geocentriche. All'interno di questo datum sono state generate le coordinate geografiche e quelle piane. La trasformazione verso i datum ETRF89, ROMA40 ed ED50 è stata eseguita in coordinate geografiche e quota usando i grigliati ufficiali (*.GK2) dell'Istituto Geografico Militare
Particolare cura è stata posta nella codifica dei vertici:

Particolare cura è stata posta nella codifica dei vertici, questi sono identificati da un codice di 6 cifre così organizzato sul reticolato chilometrico Gauss-Boaga:

Codice identificativo dei vertici **xxyynn**

- **xx** quadrato chilometrico est (falsa origine 1630 km)
- **yy** quadrato chilometrico nord (falsa origine 5000 km)
- **nn** qualificativo e progressivo all'interno del quadrato
    - 00 riservato (Rete_0)
    - 01 ~ 30 vertice GNSS
    - 31 ~ 80 PF di coordinate consolidate
    - 81 ~ 98 vertice di orientamento
    - 99 riservato (stazione goniometrica)

Il territorio dell'intera provincia di Vicenza è compreso tra le ascisse intere (Est) 1665 e 1725 km e tra le ordinate intere (Nord) 5000 e 5099 km.
Riguardo a **nn** si osserva che l'identificativo del vertice contiene, oltre all'ordine temporale di definizione, anche la classificazione del punto e quindi, implicitamente, il grado di precisione delle coordinate e la disponibilità della coordinata quota. I valori estremi sono riservati ad usi speciali.

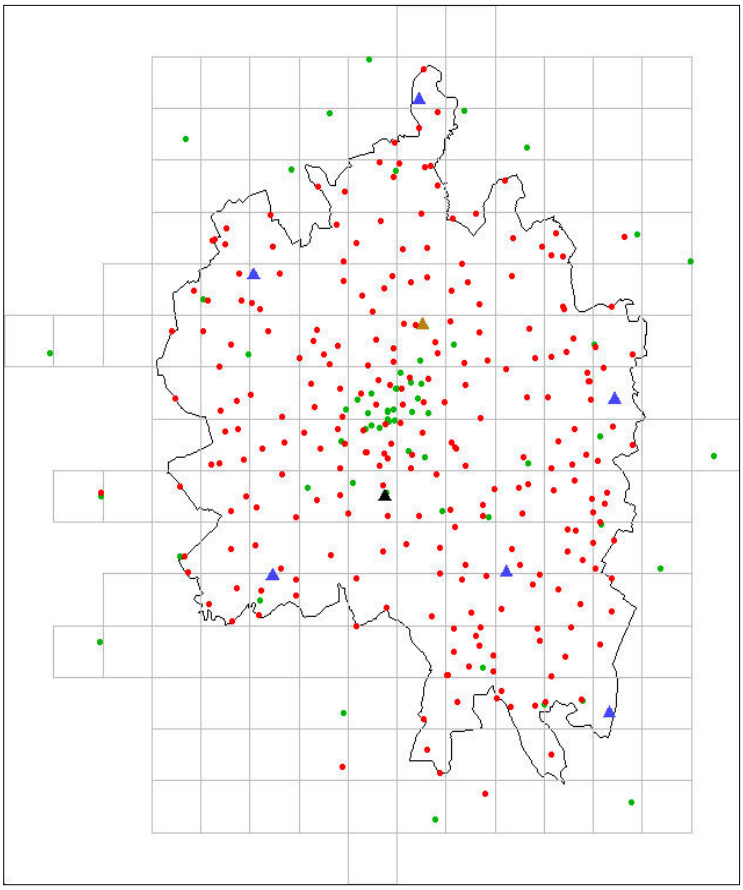


Figura 6. I vertici della rete, l'etichetta pasticciata sono il punto VICE e il suo Marker, inquadrati nella griglia di codifica.

La RGC ha ricevuto il suo battesimo nel 2009, quando si trovava alla consistenza di circa 110 vertici, in occasione dell'aerotriangolazione per l'orientamento degli oltre 800 fotogrammi per il rifacimento della Carta Tecnica Regionale in scala 1:2000 del Comune di Vicenza. In quell'occasione la compensazione in blocco determinò scarti massimi sui vertici di entità millimetrica.

La rete dei punti fiduciali.
Sul territorio del Comune si sono accumulati, dal 1988, oltre 900 PF. Alcuni di questi sono scomparsi perché rappresentati da particolari appartenenti a manufatti demoliti; molti sono stati istituiti e utilizzati una o due volte; po' meno della metà sono attivi e utilizzati.
I PF della Provincia di Vicenza sono parcellizzati in oltre 60 ambiti sovracomunali con altrettante origini diverse. I PF del Comune di Vicenza, insieme con quelli dei Comuni di Arcugnano e Dueville, hanno per origine l'asse del campanile della basilica di Monte Berico. Gli archivi provinciali delle coordinate, nel sistema Cassini-Soldner (C-S), sono pubblicati mensilmente nel sito dell'Agenzia del Territorio. Nello stesso sito, con la stessa periodicità, sono pubblicati gli archivi provinciali delle "mutue distanze" tra PF risultanti dalle elaborazioni dei libretti di campagna via via accumulatisi per le varie operazioni catastali. Sono stati utilizzati gli archivi di marzo 2012.
Allo scopo di trattare adeguatamente tutti i PF all'interno del Comune sono stati utilizzati anche tutti i PF dei 12 Comuni contermini collegati direttamente a PF di Vicenza.
Sono stati trattati anche i PF scomparsi perché tutti connessi con PF attivi e dunque utili alla compensazione. L'ammontare totale di PF è giunto così a circa 1158. Le basi tutte interne al Comune sono risultate circa 16700 mentre quelle a scavalco o fuori del confine comunale circa 1600. Nelle basi a scavalco sono contate anche quelle tra i PF utilizzati esterni al Comune; queste sono state considerate allo scopo di ridurre il numero di PF labili (ossia connessi ad un solo altro PF) e di "irrigidire" la rete. *(*)*

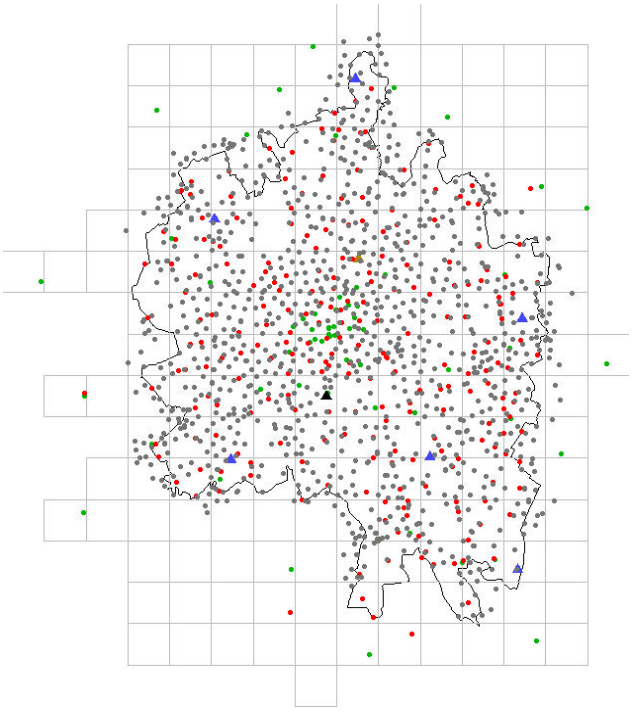


Figura 7. La RGC definitiva con la nuvola dei circa 1100 PF.

(*) Per i dettagli di calcolo delle reti si rimanda alla relazione del prof. Costantini

Monografie

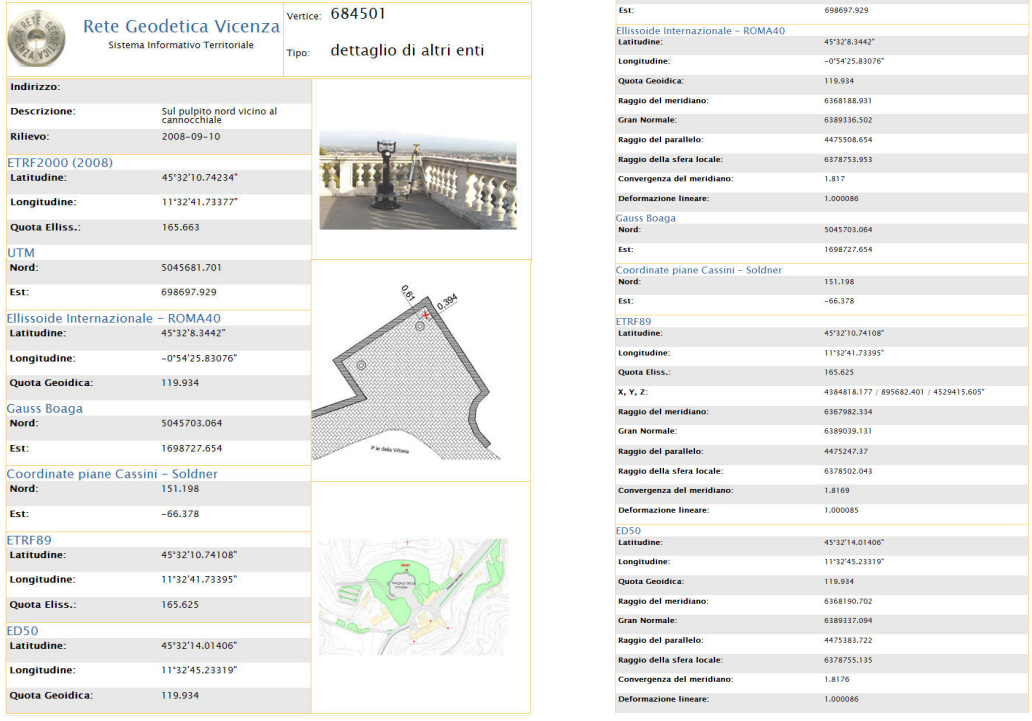
Nel complesso, sul territorio del Comune di Vicenza e immediate adiacenze, sono oggi presenti circa 1400 punti di coordinate planimetriche note. Per i vertici della RGC è nota anche la coordinata quota. Per tutti i vertici sono state calcolate le coordinate:

• piane nei sistemi di riferimento Gauss-Boaga, UTM-ED50, UTM-ETRF89, UTM-ETRF2000, Cassini-Soldner;

• geografiche nei datum ROMA40, ED50, ETRF89, ETRF2000;

• cartesiane geocentriche nei datum ETRF89, ETRF2000.

Per tutti i datum considerati sono stati inoltre determinati vari parametri geodetici: raggio del meridiano, Gran Normale, Raggio della sfera locale, coefficiente di deformazione lineare e convergenza del meridiano.



Rete Geodetica Vicenza
Sistema Informativo Territoriale

Vertice: 684501
Tipo: dettaglio di altri enti

Indirizzo:	
Descrizione:	Sul pulpito nord vicino al cannocchiale
Rilievo:	2008-09-10
ETRF2000 (2008)	
Latitudine:	45°32'10.74234"
Longitudine:	11°32'41.73377"
Quota Elliss.:	165.663
UTM	
Nord:	5045681.701
Est:	698697.929
Ellissoide Internazionale - ROMA40	
Latitudine:	45°32'8.3442"
Longitudine:	-0°54'25.83076"
Quota Geoidica:	119.934
Gauss Boaga	
Nord:	5045703.064
Est:	1698727.654
Coordinate piane Cassini - Soldner	
Nord:	151.198
Est:	-66.378
ETRF89	
Latitudine:	45°32'10.74108"
Longitudine:	11°32'41.73395"
Quota Elliss.:	165.625
ED50	
Latitudine:	45°32'14.01406"
Longitudine:	11°32'45.23319"
Quota Geoidica:	119.934

Rete Geodetica Vicenza
Sistema Informativo Territoriale

Vertice: 684501
Tipo: dettaglio di altri enti

Indirizzo:	
Descrizione:	Sul pulpito nord vicino al cannocchiale
Rilievo:	2008-09-10
ETRF2000 (2008)	
Latitudine:	45°32'10.74234"
Longitudine:	11°32'41.73377"
Quota Elliss.:	165.663
X, Y, Z:	4384818.177 / 895682.397 / 4529415.659"
Raggio del meridiano:	6367982.334
Gran Normale:	6389039.131
Raggio del parallelo:	4475247.342
Raggio della sfera locale:	6378502.044
Convergenza del meridiano:	1.8169
Deformazione lineare:	1.000085
UTM	
Nord:	5045681.701
Est:	698697.929
Ellissoide Internazionale - ROMA40	
Latitudine:	45°32'8.3442"
Longitudine:	-0°54'25.83076"
Quota Geoidica:	119.934
Raggio del meridiano:	6368188.931
Gran Normale:	6389336.502
Raggio del parallelo:	4475508.654
Raggio della sfera locale:	6378753.953
Convergenza del meridiano:	1.817
Deformazione lineare:	1.000086
Gauss Boaga	
Nord:	5045703.064
Est:	1698727.654
Coordinate piane Cassini - Soldner	
Nord:	151.198
Est:	-66.378
ETRF89	
Latitudine:	45°32'10.74108"
Longitudine:	11°32'41.73395"
Quota Elliss.:	165.625
X, Y, Z:	4384818.177 / 895682.401 / 4529415.605"
Raggio del meridiano:	6367982.334
Gran Normale:	6389039.131
Raggio del parallelo:	4475247.37
Raggio della sfera locale:	6378502.043
Convergenza del meridiano:	1.8169
Deformazione lineare:	1.000085
ED50	
Latitudine:	45°32'14.01406"
Longitudine:	11°32'45.23319"
Quota Geoidica:	119.934
Raggio del meridiano:	6368190.702
Gran Normale:	6389337.094
Raggio del parallelo:	4475383.722
Raggio della sfera locale:	6378755.135
Convergenza del meridiano:	1.8176
Deformazione lineare:	1.000086

Figura 8. Monografia di un vertice della RGC.

Cronologia.

Consulenza per la formazione di un sistema informativo territoriale telescopico polivalente	Politecnico di Milano	fine 2000
Proposta progetto rete di dettaglio GPS	Prof. Ing. Guzzetti	dic-02
presentazione rete comune di Cremona		06/02/2004
Art. Giornale di Vicenza sulla S.P. e primo contatto con ing. Costantini	Ist. Canova	29/11/2004
contatti con AIM - AMCPS - Canova - CATASTO per progetto e convenzione	SIT	nov-05
delibera convenzione	comune	18/01/2006
Incarico di controllo di qualità della rete	Prof. Guzzetti	20/01/2006
convenzione realizzazione rete	Com. VI - AIM – AMCPS – IST. CANOVA	05/06/2006
progetto	Prof. Ing. Costantini	04/07/2006
gara acquisto strumenti GNSS	TopCon	nov-06
stazione permanente Vicenza	Ist. Canova	primavera 2007
inizio realizzazione rete		autunno 2007
consegna relazione finale		16/05/2012
MODIFICA REGOLAMENTO EDILIZIO		

Costi.

I costi di realizzazione della RGC si possono di seguito riassumere:

- Incarichi professionali € 34000
- Acquisizione 3 antenne GPS, softwhare e formazione € 43500
- Materiali per la monumentazione € 1500
- Monumentazione giornate uomo 180
- Misure di determinazione giornate uomo 60

Conclusioni.

La RGC ha avuto il suo battesimo tecnico con l'utilizzo dei vertici della RGC come punti di appoggio nella triangolazione aerea per l'orientamento dei modelli fotogrammetrici; dall'ortofoto alla CTRN è stato derivato il Geodb. Già durante la sua realizzazione, durata 3 anni, la RGC è stata inoltre utilizzata, dai tecnici dell'uff. S.I.T. comunale, per rilievi topografici di aggiornamento del Geodb laddove non era possibile l'utilizzo del GNSS, con la produzione di rilievi topografici già georeferenziati nel sistema di riferimento cartografico.

È stata inoltre inserita nel GeoDb della cartografia regionale, nella classe V_RETE e codificata con il relativo dominio ed è in quella CLASSE che è già iniziata l'attività di manutenzione. Attività non di poco conto considerando come si evolve lo sviluppo antropico.

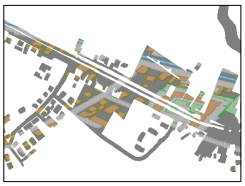




Figura 9 e 10. Aggiornamento del GeoDB con opere private.

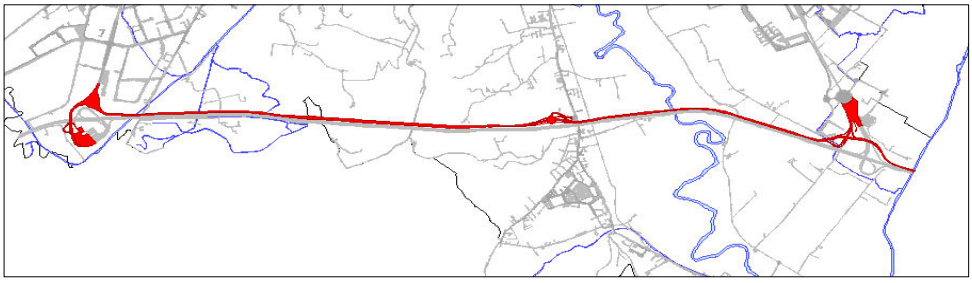


Figura 11. Aggiornamento del GeoDB con opere pubbliche.

Si resta ora in attesa di due eventi necessari al suo utilizzo pieno e completo:

1) L'approvazione da parte dell'Amministrazione comunale della procedura necessaria, già elaborata e proposta dall'uff. S.I.T., a renderne obbligatorio l'uso da parte dei professionisti, favorendo in tal modo la produzione di rilievi di opere pubbliche e private finite, già georeferenziate, pronti per essere utilizzati dagli operatori del S.I.T. per l'aggiornamento, praticamente in tempo reale, del GeoDB, per tale scopo è messa a disposizione dell'utenza, come servizio gratuito, nel portale web del Comune di Vicenza al seguente indirizzo:
2) La sua integrazione da parte dell'Agenzia del Territorio, contribuendo in tal modo alla "unificazione" dei due sistemi di riferimento e favorendo molto efficacemente il lavoro dei professionisti sul territorio, per quanto riguarda gli accatastamenti.

Bibliografia.

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DECRETO 10 novembre 2011
Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici.
(Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27/02/2012 - Supplemento ordinario n. 37).

Alluvione a Vicenza novembre 2010: Rilievo, monitoraggio e rappresentazione di fenomeni naturali e antropici

Eugenio Berti (*), Lorenzo Beggiato (*), Rosario Ardini (*),
Marcello Missagia (**), Stefano De Boni (**)

(*) Comune di Vicenza Settore Sistemi Informatici, Telematici e Sit, uff, S.I.T.,
Fax 0444221033, Tel. 0444221232,
eberti@comune.vicenza.it, lbeggiato@comune.vicenza.it, rardini@comune.vicenza.it
(**) Comune di Vicenza Settore Sistemi Informatici, Telematici e Sit, uff. C.E.D.,
Fax 0444221329, Tel. 0444221208, mmissagia@comune.vicenza.it, sdeboni@comune.vicenza.it

Riassunto

L'acquisizione dei dati nelle banche dati del S.I.T. comunale tramite il costante lavoro dei vari uffici costituisce anche un monitoraggio continuo del territorio per cui, se opportunamente organizzate, possono rispondere ad esigenze di emergenza che si possono verificare periodicamente (manifestazioni di vario genere) od improvvisamente (calamità naturali o umane).
Contestualmente alla gestione dello sviluppo dell'emergenza, si pongono le basi per la successiva e necessaria rendicontazione che la segue.
La metodologia utilizzata comprende lo standard di dati regionale, lo standard di dati comunale, l'utilizzo del GIS con connessioni e viste e applicazioni specifiche interattive.
I risultati conseguiti consistono nel disporre immediatamente del quadro d'intervento consistente nella zona interessata dall'emergenza con le strade, la popolazione residente, le attività lavorative, gli elementi a rischio, gli elementi di rischio, producendo i numeri necessari per la decisionalità che non può richiedere perdita di tempo.
Terminata la fase di emergenza si è passati alla fase della contabilità e di controllo utilizzando le banche dati prodotte dal monitoraggio dell'emergenza.
Alcuni esempi:
- l'alluvione del novembre 2010,
- evacuazione di 70.000 abitanti causa disinnesco grande bomba II guerra mondiale ed altri episodi minori per ordigni più piccoli,
- sosta carro merci ferroviario con materiale radioattivo,
- inquinamento acquedotto in una zona della città.

Abstract

The acquisition of data in databases of SIT city through the continued work of the various offices, are also continuous monitoring of the territory, so if properly organized, can respond to emergency needs that may occur periodically (various events) or suddenly (natural disasters or human).
Concurrently with the development of emergency management, laid the groundwork for the next and necessary accountability that follows it.
The methodology used includes the standard of regional data, the standard of local data, the use of GIS with connections and interactive views and specific applications.
The results are to immediately get the picture of 'substantial assistance in the area affected by the emergency with roads, population, work activities, the elements at risk, the risk factors, producing the numbers needed for decision making that may require loss of time.
After the emergency phase has passed the stage of the accounting and control using the databases produced by the monitoring of the emergency.

Some examples:
- The flood of November 2010,
- Evacuation of 70,000 residents due to defuse large World War II bombs and other ordnance for minor episodes smaller
- Stop a wagon train with radioactive material,
- Pollution of water supply in an area of the city.

L'evento

Una particolare configurazione barica del tempo, ma non eccezionale per la stagione autunnale, ha portato fino a circa 500 mm di pioggia sul settore prealpino della regione caduti in poco più di 48 ore, tra il 31 ottobre e il 1 novembre. Valori enormi che hanno avuto grandi ripercussioni in pianura, dove in più parti sono esondati i fiumi.

La pioggia scesa copiosa in montagna, unita allo scioglimento delle nevi precedentemente cadute, ha fatto ingrossare gradatamente, ma piuttosto rapidamente, i fiumi che si buttano sull'Adriatico attraversando la Pianura Veneta, allagando vasti tratti di pianura soprattutto nel vicentino, ma anche tratti nel padovano, nel veronese e nel trevigiano. La situazione più critica a Vicenza e provincia.
(fonte MTG meteo Giornale di Massimo Aceti)

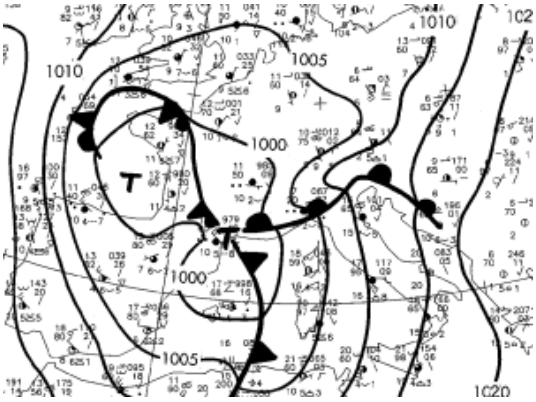


Figura 1. La situazione barica al suolo, nella sera del 31 ottobre, con l'esteso fronte caldo addossato all'arco alpino (fonte servizio meteo tedesco DWD).



Figura 2. Piazza XX Settembre a ponte degli Angeli allagata.

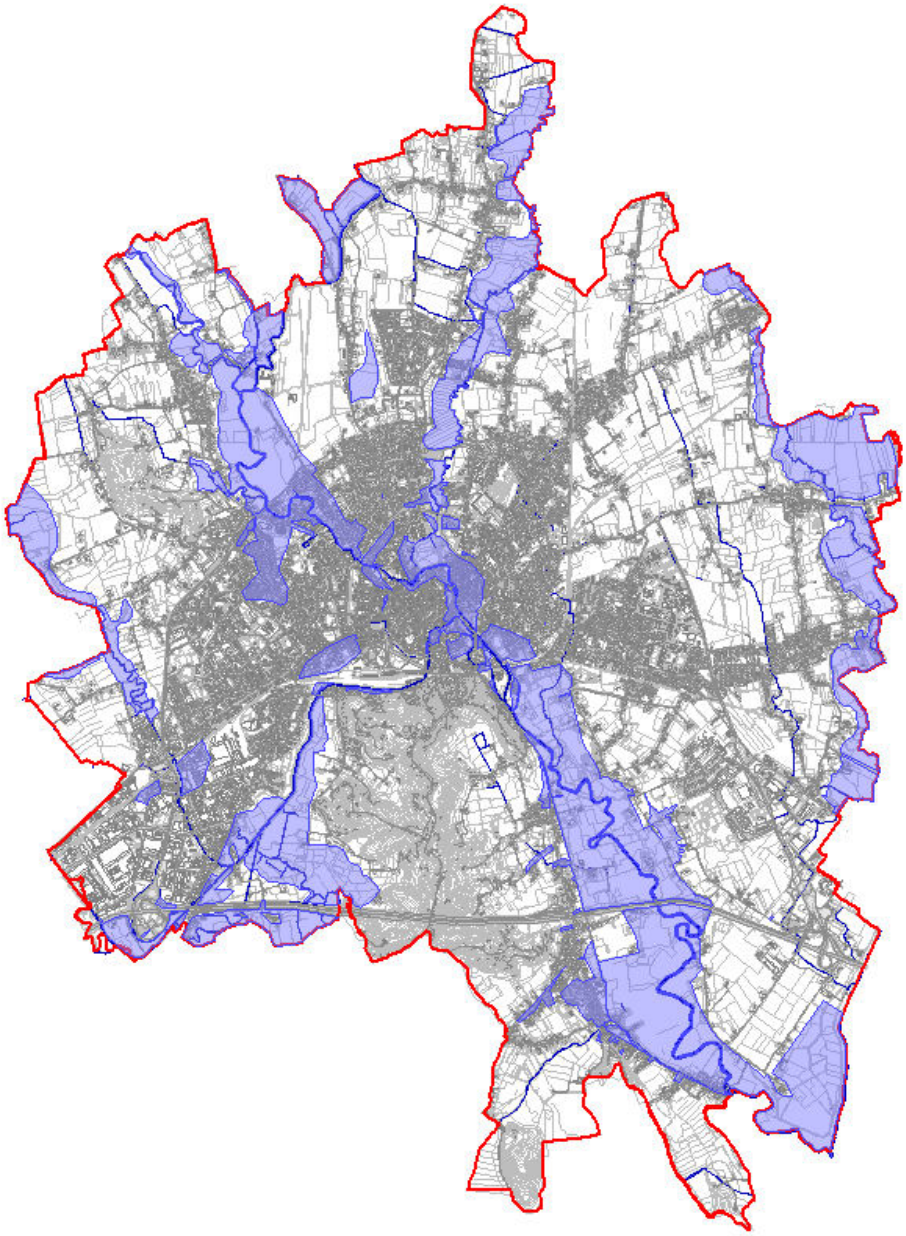


Figura 3. Le zone di massima esondazione nel Comune di Vicenza.

Il S.I.T. del Comune di Vicenza

Già in passato il Comune di Vicenza ha dovuto affrontare episodi di emergenza che sono stati pianificati tramite l'uso del DBT nell'uff. SIT comunale. Si ricordano:

- l'evacuazione nel 2001 di 70.000 abitanti causa disinnesco grande bomba II guerra mondiale ed altri episodi minori per ordigni più piccoli,
- sosta carro merci ferroviario con materiale radioattivo,
- inquinamento acquedotto in una zona della città,
- altri episodi alluvionali autunnali ma di assai minore entità.

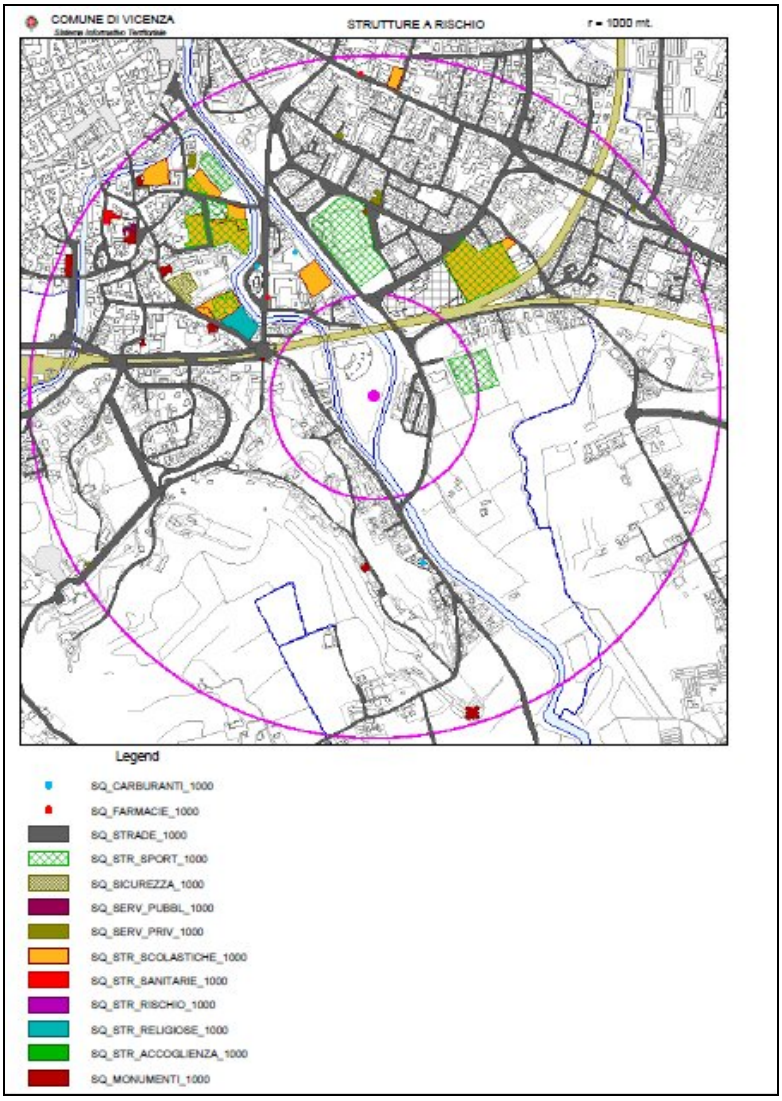


Figura 4. Allarme disinnesco bomba II guerra mondiale.

La gestione dell'alluvione del novembre 2010 si differenzia dai precedenti eventi in quanto questi sono stati episodi statici, per cui localizzato l'evento, elaborazione dei dati avveniva una volta

solamente, mentre lo sviluppo alluvionale è stato monitorato in tempo reale per tutti i giorni della sua durata fornendo report di dati quasi giornalieri.

Il Sistema Informativo Territoriale del Comune di Vicenza si avvale del GIS GeoMedia, è organizzato già dal 2003 secondo le specifiche della Regione Veneto evolutesi negli anni nelle specifiche del Catalogo degli Oggetti del CISIS e a completamento uno standard dati comunale. Fin dall'inizio dell'allarme il SIT è stato interessato a predisporre e ad aggiornare il monitoraggio dell'evento nel corso suo sviluppo e a fornire i risultati via via che venivano richiesti.
Le classi di oggetti interessate sono state:

- strade AR_STR
- archi strade ELEMENTO_STRADALE
- numeri civici CIVICO *(*)*
- aree verdi AR_VRD
- edifici EDIFIC
- il centro abitato CENTRO_ABITATO (**)
- elementi territoriali EL_TERR *(***)*
    - farmacie
    - carburanti
    - strutture sanitarie
    - strutture scolastiche
    - strutture religiose
    - strutture sportive
    - strutture di accoglienza
    - servizi pubblici
    - monumenti
    - negozi
    - pubblici esercizi
    - aziende agricole
    - altre attività economiche

(*) Oggetto che permette il collegamento con l'anagrafe per avere il controllo delle residenze e delle attività;
(**) Standard comunale
(***) Raccolta di strutture paragonabili alle Classi PE_UINS ma organizzate secondo lo schema del Piano di Protezione Civile Regionale.

Il monitoraggio dell'evento.
Si è creato l'oggetto ALLUVIONE dove riportare la perimetrazione delle aree soggette all'esondazione, dentro e fuori il centro abitato, ogni giorno in modo da monitorarne le conseguenze e implicazioni in tempo quasi reale.

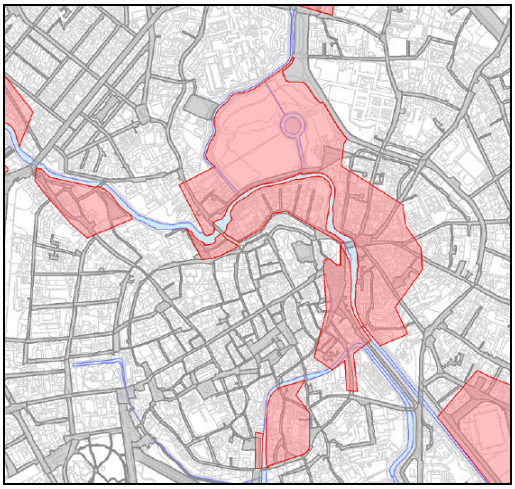


Figura 5. Esondazione in C.S. al 4 novembre.

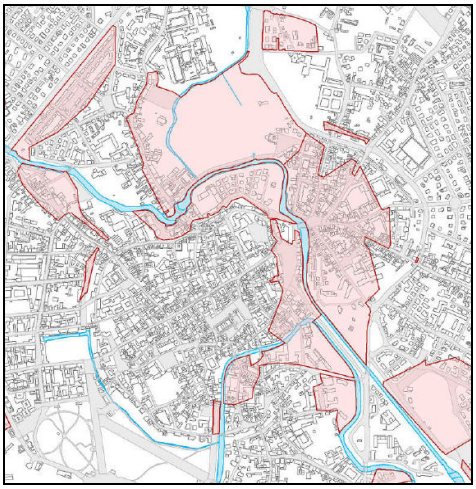


Figura 6. Esondazione in C.S. al 12 dicembre.

Si sono subito predisposte le interrogazioni spaziali tra questo oggetto e le classi precedentemente descritte, con le funzioni di :
spatial query, spatial intersections, aggregations, functionals attributes.
Questa predisposizione è stata applicata sia al territorio dentro al centro abitato sia al territorio fuori dal centro abitato.

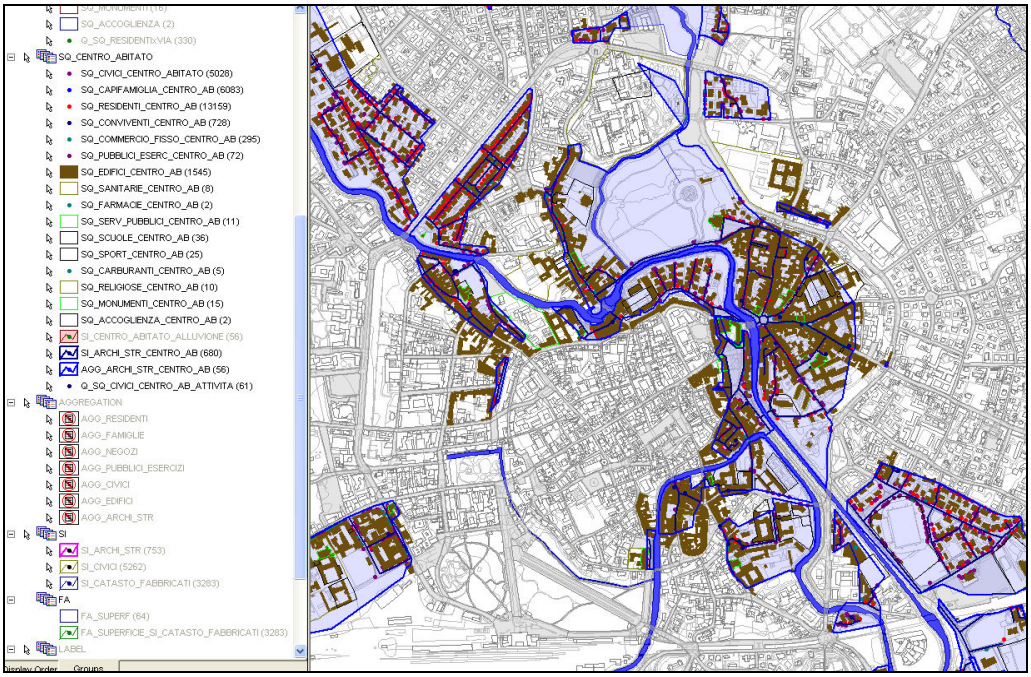


Figura 7. Monitoraggio con GeoMedia del Centro Abitato.

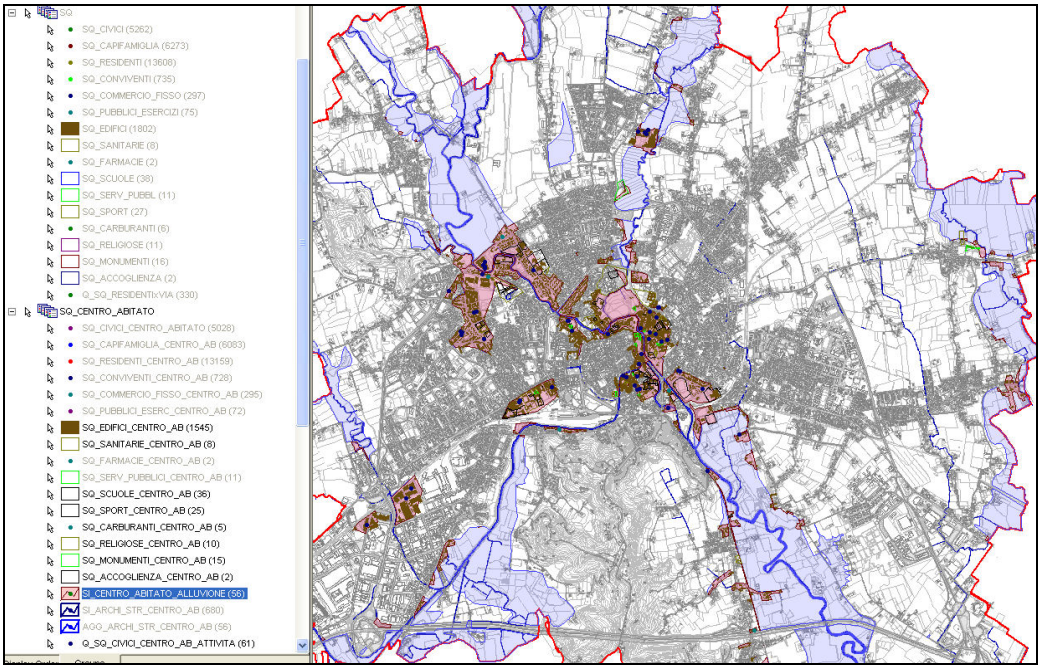


Figura 8. Monitoraggio con GeoMedia delle aree esterne al Centro Abitato.

Man mano che si procedeva all'aggiornamento dell'oggetto ALLUVIONE i risultati si aggiornavano dinamicamente:

ALLUVIONE NOVEMBRE 2010

Aggiornamento dati 06/11/2010 ore 14,45

RESIDENTI	11.236
FAMIGLIE	5.202
EDIFICI	1.616
CIVICI	4.561
NEGOZI	274
PUBBLICI ESERCIZI	63
EDIFICI CON ATTIVITA INDUSTRIALI, ARTIGIANALI, MAGAZZINI, OFFICINE	55
STRUTTURE SANITARIE	8
FARMACIE	3
SCUOLE	23
SERVIZI PUBBLICI	9
SPORT	22
CARBURANTI	6
STRUTTURE RELIGIOSE	11
MONUMENTI	13
LUNGHEZZA STRADE km.	49,50
SUPERFICIE ALLAGATA kmq.	16,00
% SUP. COMUNE ALLAGATA	5,03%

Figura 9. Report delle elaborazioni con GeoMedia al 6 novembre.

ALLUVIONE NOVEMBRE 2010

COMUNE DI VICENZA
SUP. kmq 80,5
RESIDENTI 115661
FAMIGLIE 52644
STRADE km 537

ALLUVIONE NOVEMBRE 2010 Aggiornamento 9/12/2010 ore 10,30	CENTRO ABITATO	CENTRO ABITATO ESTERNO	TOT.
RESIDENTI	13.207	478	13.685
FAMIGLIE	6.108	204	6.312
EDIFICI	1.555	262	1.817
NEGOZI	305	1	306
PUBBLICI ESERCIZI	72	3	75
FARMACIE	2	-	2
CARBURANTI	5	1	6
ALTRE ATTIVITA' ECONOMICHE	1.177	42	1.219
STRUTTURE SANITARIE	8	-	8
STRUTTURE SCOLASTICHE	29	2	31
SERVIZI PUBBLICI	11	-	11
SPORT	25	2	27
STRUTTURE RELIGIOSE	10	1	11
STR. ACCOGLIENZA	2	-	2
MONUMENTI	15	2	17
AZIENDE AGRICOLE	-	26	26
LUNGHEZZA STRADE km.	43,2	11,1	54,3
SUPERFICIE ALLAGATA kmq.	3,1	13,5	16,6
% SUP. COMUNE ALLAGATA	3,8%	16,8%	20,6%

Figura 10. Report delle elaborazioni con GeoMedia al 12 dicembre.

Riconoscimento dei danni.
Finito l'evento alluvionale si è stabilizzato e consolidato l'oggetto ALLUVIONE generando quindi un archivio di numeri civici, dentro e fuori il centro abitato, compresi dentro le aree esondate. Quando successivamente sono iniziate le procedure di riconoscimento, controllo e verifica dei danni, tale archivio è stato preso a confronto per le necessarie verifiche.

Bibliografia.
PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DECRETO 10 novembre 2011
Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici.
(Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27/02/2012 - Supplemento ordinario n. 37).

Il progetto HELI-DEM: risultati di cross-validazione e validazione per i DTM transalpini

Ludovico Biagi (*), Maria Antonia Brovelli (*), Alessio Campi (**), Massimiliano Cannata (***), Laura Carcano (*), Marina Credali (****), Alberto Croci (*****), Paolo Dabove (*****), Maddalena Gilardoni (*), Alba Lucchese (*), Ambrogio Manzino (*****), Fernando Sansò (*), Gian Bartolomeo Siletto (******), Cinzia Taglioretti (*****)

(*) Politecnico di Milano, DIIAR, Polo Territoriale di Como, Via Castelnuovo 7, IT-22100 Como
(**) Fondazione Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, IT-20133 Milano
(***) Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana, Dipartimento Ambiente Costruzioni e Design, Campus Trevano, CH-6952 Canobbio
(****) Regione Lombardia, Direzione generale Territorio e Urbanistica, Piazza Città di Lombardia 1, IT-20124 Milano
(*****) Politecnico di Torino, DIATI, Sede di Vercelli, Piazza Sant'Eusebio 5, IT-13100 Vercelli
(******) Regione Piemonte, Direzione programmazione strategica, politiche territoriali ed edilizia, Corso Bolzano 44, IT-10121 Torino

Abstract

Il progetto Interreg Italia-Svizzera HELI-DEM (HELvetia-Italy Digital Elevation Model), finanziato dal Programma Comunitario Operativo di Cooperazione transfrontaliera Italia-Svizzera 2007-2013, mira alla creazione di un modello digitale delle altezze unificato per la fascia alpina tra Italia (Piemonte, Lombardia, Provincia Autonoma di Bolzano) e Svizzera (Cantoni Ticino e Grigioni). Tale modello, correttamente georeferenziato, verrà prodotto validando e integrando i modelli digitali del terreno e i dati di geoide disponibili. Nell'ambito del progetto sono stati raccolti i seguenti database: DTM a risoluzione 20 m, DSM a risoluzione 2 metri e DTM del lago di Como a risoluzione 2 metri per la Lombardia, DTM a risoluzione 50 m e DTM della zona Est a risoluzione 10 m per il Piemonte, DTM Lidar del Ministero dell'Ambiente a risoluzione 1 m rilevante il reticolo idrografico di Lombardia e Piemonte, DTM della Svizzera a risoluzione 25 m, valori puntuali di quota risultanti da livellazioni o estratti dai DB topografici, infine i Modelli di geoide italiano ITALGEO95, svizzero CHGeo2004 e globale EGM2008. Il progetto (Il progetto HELI-DEM: scopi e stato di attuazione, Biagi et al., SIFET 2011) si articola in nove work packages (WP). Attualmente sono in corso i WP relativi alla validazione interna ed esterna dei DTM disponibili. A tale proposito infatti, allo scopo di generare un DTM unificato multi risoluzione sono stati applicati ai DTM disponibili differenti passi di cross-validazione e di validazione esterna. In particolare per la cross-validazione, i DTM regionali italiani a bassa risoluzione sono stati confrontati tra loro e con il DTM svizzero nelle fasce di sovrapposizione. I DTM regionali italiani sono stati poi confrontati con il DTM Lidar lungo il reticolo idrografico. In particolare è stata effettuata la cross-validazione tra le seguenti coppie di DTM:

- DTM lombardo (risoluzione planimetrica 20 m) e DTM svizzero (risoluzione 25 m)
- DTM piemontese (risoluzione 50 m) e DTM svizzero (risoluzione 25 m)
- DTM piemontese (risoluzione 50 m) e DTM lombardo (risoluzione 20 m)
- DTM lombardo (risoluzione 20 m) e DTM Lidar ad alta risoluzione (risoluzione 1 m)
- DTM piemontese (risoluzione 50 m) e DTM Lidar ad alta risoluzione (risoluzione 1 m)

I nodi delle griglie dei diversi DTM non coincidono mai. Quindi per ogni coppia di DTM a bassa risoluzione, il confronto è stato effettuato su punti estratti casualmente nelle zone di sovrapposizione. Ognuno dei due DTM è quindi stato interpolato mediante interpolazione bicubica esatta su tali punti, ottenendo quindi due differenti quote per ciascun punto considerato. Sono state

quindi calcolate per tutti i punti le differenze di quota ottenute. In figura 1 sono riportate a titolo di esempio le differenze di quota ottenute dal confronto tra i DTM piemontese (risoluzione planimetrica 50 m) e svizzero (risoluzione planimetrica 25 m). Maggiori dettagli sono riportati in (DTM cross validation and merging: problems and solutions for a case study within the HELI-DEM project, Biagi et al., ISPRS 2012). Nel caso lombardo le differenze presentano media quasi nulla e deviazione standard confrontabile con le accuratezze altimetriche dei due DTM. Nel caso piemontese la media delle differenze è di circa 1 metro, ma questo valore risulta non significativo se comparato alle accuratezze nominali dei due DTM. In ogni caso tale bias nel DTM piemontese sembra anche confermato dal suo confronto con il DTM lombardo.

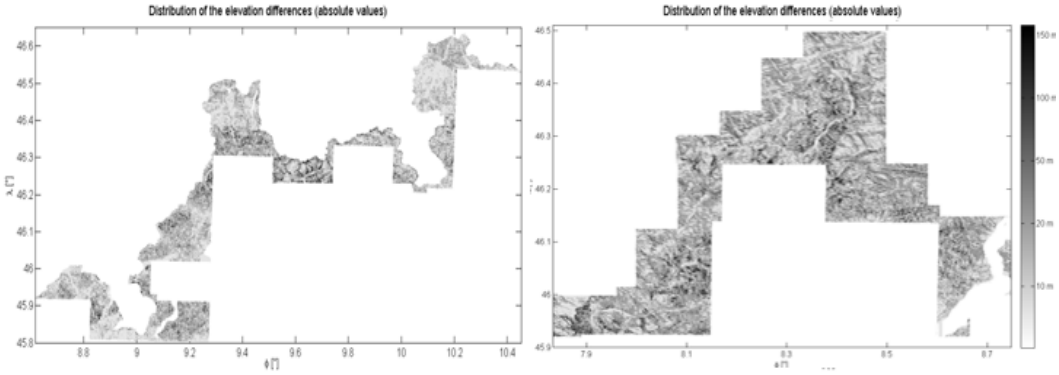


Figura 1. Differenze tra i DTM lombardo e svizzero (a sinistra) e DTM piemontese e svizzero (a destra).

Il confronto tra i DTM regionali di Piemonte e Lombardia a bassa risoluzione e il DTM Lidar ad alta risoluzione è stato effettuato calcolando le differenze tra ciascun punto del DTM a bassa risoluzione e la media dei nodi del DTM Lidar che cadono nella cella del DTM a bassa risoluzione che lo contiene. Le differenze così calcolate sono risultate in entrambi i casi pressoché nulle e non si è notata la presenza di biases globali; vi sono invece alcuni biases locali. Per verificare quindi la correttezza del DTM Lidar, si è deciso di effettuare la validazione esterna di tale DTM, mediante alcune misure GPS ricavate da un rilievo GNSS RTK appoggiato a una rete permanente transregionale e transnazionale istituita allo scopo del progetto. Tale rete, creata appositamente per la copertura delle aree alpine di Piemonte, Lombardia e parte della Svizzera, costituisce un prototipo, seppur limitato a una piccola area, di servizio di posizionamento transnazionale ottenuto mediante unificazione di reti regionali già installate. Tale rete inoltre nell'ambito del progetto fornirà il sistema di riferimento per rilievi finalizzati all'unificazione dei DTM e del geoide per le aree di progetto. I risultati degli esperimenti fin qui condotti hanno permesso di affermare il buon funzionamento, anche a quote elevate, di tale rete. È inoltre in corso una campagna di livellazione di alta precisione lungo alcune linee di particolare rilevanza, per un totale di 200 km in Lombardia e 105 km in Piemonte. Per adempiere allo scopo del progetto, ovvero ottenere un modello digitale del terreno unificato in quote ortometriche, con un'accuratezza ove possibile migliore del metro, è stato necessario ricalcolare il geoide nella zona di interesse del progetto. Tale zona può essere suddivisa in due parti: la regione svizzera ove è disponibile il modello di geoide CHGeo2004 e la regione italiana descritta invece dal geoide Italgeo05. I due geoidi locali presentano al confine tra Italia e Svizzera un bias di circa 40 cm e differenze minori (qualche centimetro) per le alte frequenze. Per calcolare il nuovo geoide nell'area di interesse è stata implementata una procedura a due passi: dapprima sono stati rimossi i due biases (nella regione italiana e in quella svizzera) stimati ai minimi quadrati con l'uso dei dati della missione satellitare GOCE. A questo punto è stato calcolato il nuovo geoide privo di bias e ad alta risoluzione attraverso una procedura di collocazione a partire dai geoidi locali così ridotti e l'utilizzo dei dati della missione GOCE.

Un approccio digitale non convenzionale allo studio di una carta pregeodetica

Gabriele Bitelli (*), Stefano Cremonini (**), Giorgia Gatta (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna
Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna; gabriele.bitelli@unibo.it; giorgia.gatta@unibo.it
(**) Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna
Via Zamboni 67, 40126 Bologna; stefano.cremonini@unibo.it

Riassunto
La cartografia storica digitalizzata e opportunamente georeferenziata risulta uno strumento fondamentale per l'analisi quantitativa dell'antico assetto del territorio e lo studio delle relative dinamiche evolutive. Tale operazione non è sempre immediata per via di vari tipi di deformazione insiti nella carta. Per l'analisi metrica della carta e l'individuazione degli errori in essa presenti risultano d'aiuto i moderni strumenti digitali, secondo modalità suggerite da un indispensabile studio preliminare su strumentazione e modalità di rilievo originariamente adottati.
Il presente studio riguarda l'analisi di una sola carta dell'area deltizia del fiume Po, redatta alla fine del XVI secolo da Ottavio Fabri, probabile inventore della squadra zoppa, strumento la cui costruzione e il cui utilizzo sono descritti in un manuale tecnico redatto dal medesimo. Sulla base delle informazioni deducibili sia dal manuale che dalla carta, e dal confronto tra questa e carte coeve redatte dal medesimo autore assieme ad altri colleghi, è possibile ipotizzare che il rilievo si sia sviluppato in tempi successivi, interessando sotto-aree, rilevate con differenti metodi e strumenti. Ciò suggerisce la necessità di adottare modalità non convenzionali per la georeferenziazione dell'esemplare, al fine di poter utilizzare in modo affidabile il prodotto derivato per studi territoriali sia di tipo geo-ambientale, sia di tipo storico ed economico in senso stretto.

Abstract
Digitized and georeferenced historical cartography is a fundamental tool for quantitative analysis and study of the ancient territory and its dynamics. The process is not always immediate due to some deformations that can affect the map. Modern digital tools can help in metric analysis of the map and recognition of deformations; implementation of such tools can be suggested by a preliminary study on the original surveying instruments and methods.
In this study, a late sixteenth century map of the Po delta area (Italy) is analyzed; it was made by Ottavio Fabri, known as inventor of the *squadra zoppa*, a mobile square. He appears to be author of a technical book, in which he describes construction modalities and use of the surveying instrument. On the basis of information that can be deduced from the manual and the map, but also from the comparison of this map with other maps made by Fabri and other colleagues, a multi-stage survey can be inferred; in this case the survey could have be done in sub-areas, where different methods and instruments were used. The fact suggests the necessity of adopting non-conventional modalities for the georeferencing of the map sample; in this way the new product can be effectively used for territorial researches of geo-environmental, historical and economic significance.

1 - Introduzione

La cartografia antica è una informazione essenziale per molte analisi territoriali e storiche, fornendo dati importanti, di carattere qualitativo e quantitativo, per studi geomorfologico-evolutivi del paesaggio.

Tuttavia, non è evidentemente possibile considerare la cartografia antica, in particolar modo quella pregeodetica, alla stregua di quella moderna. Ciò dipende dal differente livello delle conoscenze tecnico-scientifiche del periodo, che non vedevano ancora disponibili metodi e strumenti di rilievo, nonché di disegno, caratterizzati da precisioni paragonabili a quelle degli strumenti utilizzati oggi per derivare cartografia di scala simile. A ciò, sono da aggiungere altri tipi di errore, quali deformazioni intervenute nel tempo sul supporto cartaceo, conseguenze di eventuali interventi di restauro, eventuali errori connessi alla fase di copiatura degli esemplari, ecc.
Per questi motivi la cartografia antica può risultare complessa da usarsi, e non sempre direttamente sfruttabile per studi di tipo quantitativo. Per estrapolare quindi dai documenti antichi informazioni storiche veritiere o verosimili e dati quantitativi, può essere essenziale uno studio preliminare sulle modalità di rilievo originariamente adottate dall'esecutore ed il tipo di strumentazione impiegata, a partire da documentazione storica, come mandati e relazioni sull'esecuzione dei lavori, manuali tecnici e libretti di campagna, nonché dal cartiglio che spesso correda la carta. Il tutto deve ovviamente essere posto in relazione con il contesto storico in cui ha avuto origine la cartografia, e le relative conoscenze tecnico-scientifiche.
Soltanto in seguito a questo studio preliminare è ragionevolmente possibile indirizzare l'uso dei moderni strumenti digitali per l'analisi della qualità metrica del documento antico, quali la georeferenziazione secondo differenti modalità, l'analisi delle deformazioni caratteristiche dell'elaborato, e varie altre analisi di tipo metrico. In questo lavoro si vuol fornire una esemplificazione di come ciò sia possibile, esaminando il caso di una carta tardo-cinquecentesca.

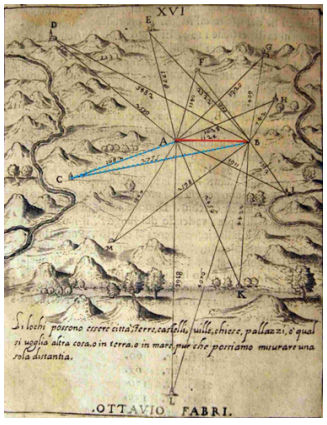
2 - Il materiale a disposizione

Oggetto del presente studio è una carta del 1592 che rappresenta un'area deltizia del fiume Po, a sud della laguna veneta, per un'estensione di circa 700 km^2. Ne è autore Ottavio Fabri (1544/5-1612), perito ed ingegnere al servizio dell'antica Repubblica di Venezia (Panepinto, 2009). La carta, di notevoli dimensioni (circa 3,5x2,5 m), riporta una scala grafica di 1.000 pertiche padovane (2.144,365 m), sulla base della quale si può stimare una scala media della carta di ca. 1:11.000. Al centro, una rosa dei venti finemente decorata indica il Nord magnetico: la carta risulta essere orientata con l'Ovest in alto, e il lato maggiore in direzione N-S.
Il documento è costituito da un assemblaggio di fogli su un supporto di tela. L'originale (presumibilmente esemplare unico), rimasto ignoto fino al 1881, è oggi conservato presso l'Archivio di Stato di Venezia (Ottavio Fabri, *Delta del fiume Po*, 1592. *Savi ed esecutori delle acque, serie Po,* dis. 9bis). Ai fini del presente studio, si disponeva di una copia digitale ad alta risoluzione, ottenuta mediante scanner per acquisizione di documenti di grande formato, eseguita dalla Sezione di Fotoriproduzione dell'Archivio di Stato in Venezia (Bitelli et al., 2012, fig 1a). L'originale è stato inoltre oggetto di ricognizione autoptica da parte degli autori presso la sede di conservazione.
La redazione della carta è legata ad una serie di sopralluoghi effettuati nel delta da diversi periti ("Savi ed Esecutori delle Acque"), tra i quali il Fabri stesso, in vista della realizzazione dell'intervento noto come "Taglio di Porto Viro". Descrivendo un periodo cruciale nella storia evolutiva del sistema deltizio del fiume Po, quello in cui il vecchio sistema lobato moriva e l'attuale nasceva (Furlanetto, 2004), la carta del Fabri risulta estremamente importante ai fini dello studio delle variazioni geoambientali dell'area, già per sua natura interessata da forti evoluzioni morfologiche pregresse (Cremonini e Samonati, 2009). Tuttavia, il fatto di rappresentare zone che hanno subito radicali mutamenti dell'assetto morfologico risulta anche il principale ostacolo nell'analisi della carta. Vari tratti del paesaggio rappresentati in carta, infatti, non sono oggi rintracciabili sul terreno a causa dell'erosione costiera o di altri fattori intervenuti nel tempo.
Ciò che rende particolarmente interessante la carta in questione è la suggestione che essa possa aver costituito un banco di prova finale per la codificazione di una serie di pratiche mensorie di campo, e la loro definitiva stesura e pubblicazione in un manuale tecnico, summa delle esperienze dell'autore. Ottavio Fabri fu infatti anche autore de "*L'uso della squadra mobile"*, dato alle stampe

nel 1598, cioè sei anni dopo l'esperienza di redazione della carta di cui sopra. Qui illustra la costruzione e l'utilizzo della squadra mobile o zoppa (fig. 1) a fini di rilievo, di misura di angoli, distanze, altezze e profondità, oltre che per la rappresentazione del disegno in carta (Fabri, 1673).
Come l'autore spiega (fig. 2), il rilievo del territorio può essere eseguito a partire da una base (AB in figura 2) di lunghezza nota (tramite "*pertegadura*", ossia canneggiamento), dai cui due vertici, sufficientemente alti sul piano campagna, si possano collimare altri punti circostanti, che siano ben distinguibili da entrambi. Le misure che si eseguono sono di tipo azimutale, avendo come riferimento la congiungente il vertice (A o B), su cui si trova l'operatore, con un altro punto (C) del piano di campagna. Con lo stesso strumento e nello stesso modo in cui le misure sono state effettuate in campagna, esse vengono riportate sulla carta. Notevole il fatto che nel manuale il Fabri non accenni mai esplicitamente a misure di orientamento rispetto al nord magnetico (da eseguirsi con "*il bossolo*", la bussola), benché inevitabili per la costruzione dell'intero impianto grafico, come chiaramente affermato da altri autori dell'epoca (Bartoli, 1564). Sembra quasi che il Fabri privilegi esclusivamente i traguardi ottici, al fine di contenere entità e propagazione degli errori; forse proprio a tale aspetto è da ricollegare una parte delle questioni tuttora non chiarite nei dettagli costruttivi della carta.



Figura 1. Prospetto della squadra mobile di Fabri
(Fabri, 1673, conservato presso la Biblioteca Dore dell'Università di Bologna).



- A, B = punti di stazione
- AB = base nota
- AC, BC = direzioni di riferimento
- CAD, CAE, ..., CBD, CBE, ... = angoli misurati

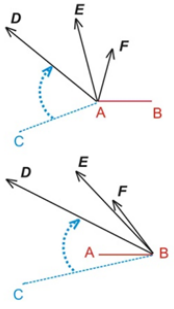


Figura 2. Schema esplicativo dell'intersezione in avanti illustrata nel manuale del Fabri (1673).

Nell'esemplare originale, ad esempio, è conservata un'interessante, multiforme semiologia, ampiamente illustrata da Bitelli et al. (2012). Da sottolineare è in particolare la presenza di un reticolo a maglia, esteso all'intera carta: la dimensione della maglia risulta pari a metà della

lunghezza della scala grafica (poco più di 1 km). Essa inoltre pare intrattenere un rapporto cronologico relativo sia con la vestizione cromatica (acquerello) - talvolta di posteriorità e forse in alcuni casi anche di anteriorità - sia con la fase di assemblaggio generale dei singoli fogli - anteriorità (cfr. dislocazione delle linee del reticolato) - suggerendone un carattere in qualche misura sin-redazionale. Dubbia resta quindi la reale destinazione d'uso del reticolo: se strumento d'ausilio alla fase di disegno originale, od eventuale mero reticolo di riduzione per la restituzione di copie scalate.

3 - Problematiche intrinseche all'esemplare esaminato

Disporre di un manuale tecnico redatto dal perito rilevatore accanto ad uno dei suoi prodotti cartografici risulta indubbiamente un caso fortunato. Il primo diviene infatti inevitabilmente la chiave di partenza per lo studio della carta. Una seconda fonte di informazioni più diretta della precedente è poi costituita dalle indicazioni vergate nel cartiglio a corredo della carta. Nel caso specifico, l'autore asserisce esplicitamente trattarsi di un "*Disegno fatto da me Ottavio Fabri [...] qvasi tutto tratto da me [...] et alcune parte cavata d'altri dissegni*". Questa affermazione chiaramente indica che il disegno è il risultato di differenti rilievi parziali.

Una tale implicazione si sarebbe comunque dovuta supporre anche a prescindere dalle indicazioni di cartiglio, in considerazione dell'elevata estensione territoriale rappresentata sulla carta. E' allora anche giocoforza intendere che il rilievo delle differenti sub-aree sia avvenuto in momenti successivi e forse per mano di persone diverse. Inoltre, poiché il territorio complessivamente rappresentato nella carta era certamente caratterizzato da zone con estensione e morfologia differenti, e quindi con numero ed entità variabili di vertici disponibili (ad esempio nelle aree deltizie di neogenesi), è molto probabile che si siano rese necessarie tecniche di rilievo specifiche per ogni zona, accoppiando l'uso della squadra zoppa a metodi di rilievo più semplici.

Tutto ciò ha certamente contribuito ad introdurre nel documento errori anche consistenti, dei quali si necessita l'individuazione. In tal senso risulta allora fondamentale capire in che modo sia avvenuta l'operazione di "assemblaggio" delle varie "citazioni cartografiche", e come questa abbia influito sulla qualità metrica della carta nel suo complesso. Per raggiungere tale scopo è possibile avvalersi dei moderni strumenti digitali.

4 - Un possibile approccio allo studio della carta

Un esame preliminare della carta storica in ambiente digitale, condotto tramite un software di analisi delle deformazioni basato sull'individuazione di un adeguato numero di punti omologhi tra carta storica e cartografia attuale (Jenny e Hurny, 2011), ha permesso di evidenziare due aree di "anomala" deformazione, situate lungo la zona costiera rispettivamente a nord e a sud del delta padano rinascimentale. In tali zone erano già stati registrati alti valori di residui in uscita dalla fase di georeferenziazione, condotta per mezzo di trasformazioni polinomiali sulla scorta di circa 80 GCP (Ground Control Point) riconosciuti sia sul documento storico sia sull'attuale cartografia IGM 1:25.000 (Bitelli et al., 2009).

Questi risultati hanno contribuito a rafforzare l'ipotesi che il rilevamento del territorio rappresentato in carta sia avvenuto per sub-aree. E' ipotizzabile che per il rilievo dell'ambito centrale della carta sia stato utilizzato il metodo dell'intersezione in avanti, a partire da una base AB inevitabilmente identificabile con la congiungente geometrica dei centri abitati di Loreo (il cui toponimo, a differenza di altri, in carta risulta finemente decorato) e di Tornova, visualizzata fisicamente dal rettilineo del canale navigabile della "*Rettinella*". Nei paesi di Loreo e Tornova sono ancora oggi presenti due campanili, alti rispettivamente circa 20 m e 9 m, dalla cui sommità poteva essere traguardato un consistente novero di altri punti ben distinguibili, poi destinati al riporto in mappa secondo la metodologia sopra accennata (fig. 2).

Conviene qui non sottacere il problema relativo alla massima lunghezza operativa traguardabile ad occhio nudo dagli antichi rilevatori. Una lunghezza massima di 8-9 km potrebbe essere ragionevolmente proposta, sia dalle caratteristiche delle tracce di traguardo ancora visibili su carte

coeve redatte da Fabri ed altri autori (Bitelli et al., 2012), sia da considerazioni concernenti l'intervisibilità dei punti in funzione della altezza minima di questi (nella fattispecie campanili), della curvatura terrestre e dell'entità della copertura vegetale (fig. 3). Infatti, supposta un'altezza minima di 20 m (come è per il campanile della chiesa di Loreo), la relativa distanza massima di traguardo teorica sarebbe di circa 16 km, valore da ridurre ulteriormente fino ad almeno 11 km per assicurare una visibilità realistica. Occorre inoltre tener presente che nel caso di una coppia di monumenti di differente altezza, quello maggiormente vincolante risulta il più basso dei due, in quanto condiziona negativamente la lunghezza del campo visivo operativo.

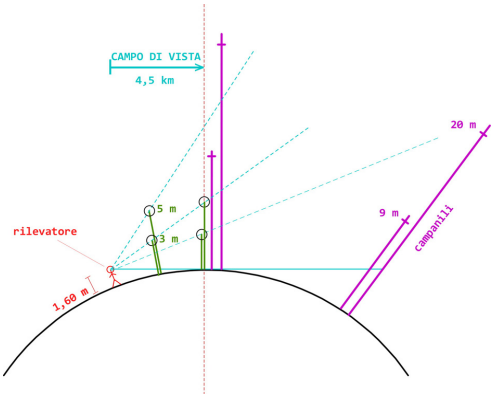
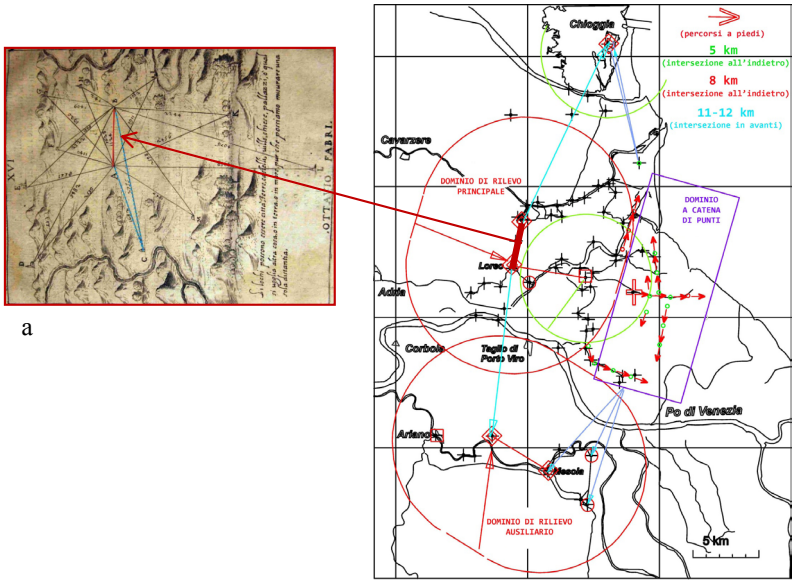


Figura 3. Valutazioni sulla massima lunghezza operativa di traguardo (in celeste), in funzione dell'altezza dei vertici della base AB (campanili: in magenta), della curvatura terrestre (in nero) e della vegetazione (in verde).

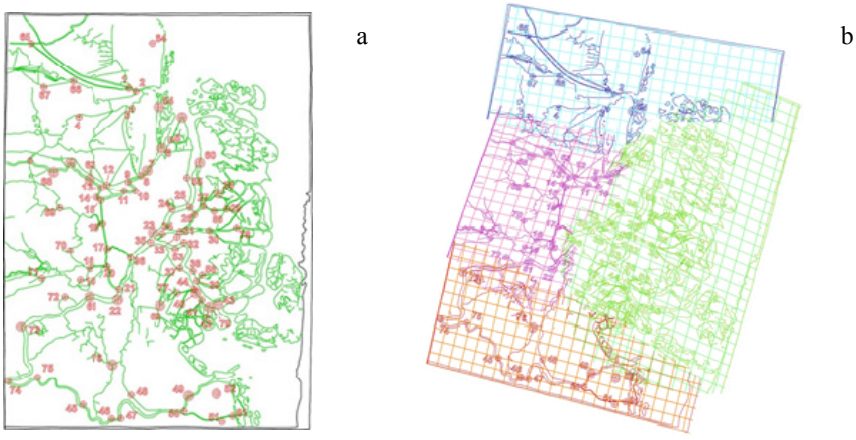
L'entità di un valore di soglia pari a ca. 8-9 km può essere ulteriormente corroborata dal mutuo confronto tra carta storica e cartografia attuale. In tal caso i risultati della georeferenziazione evidenziano che la deformazione della carta antica ricampionata dalla georeferenziazione subisce un cambiamento in corrispondenza di un punto baricentrale (La Crose), evidenziato sulla carta storica dal simbolo di una croce, localizzato circa 9 km ad est della presunta base di riferimento AB rappresentata dal canale della *Rettinella*, che continua a presentarsi indeformata anche in seguito al ricampionamento. E' dunque possibile che per mappare l'intero territorio si sia reso necessario individuare almeno quattro sottoaree operative, caratterizzate da differenti modalità di approccio al rilievo di campo (fig. 4). Nel dominio di rilievo principale è ragionevole ritenere che sia stata applicata la tecnica della intersezione in avanti, e che il collegamento tra le quattro sub-aree sia stato assicurato da traguardi reciproci dei punti delle sub-aree dai vertici principali A e B. Invece in tutte le aree costiere, giacenti dalla base AB a distanze maggiori della soglia operativa di 8-9 km, fu probabilmente utilizzata una tecnica di rilievo più semplice, basata su tracciati fisicamente percorribili coincidenti con rive di canali, come chiaramente testimoniato da un'altra carta redatta dal Fabri e dal Lorini nel 1599 (Bitelli et al., 2012, L map). Tale tecnica potrebbe in parte giustificare gli alti valori dei residui di georeferenziazione registrabili nelle aree costiere.
Un ulteriore test effettuato per avvalorare l'ipotesi interpretativa di cui sopra è consistito in una "georeferenziazione a zone", eseguita cioè trasponendo sulla carta originale le quattro sub-aree ipotizzate, e georeferenziando ognuna di esse separatamente, tramite i GCP di pertinenza (Gatta, 2010). In tale test l'applicazione di trasformazioni geometriche semplici come la conforme o l'affine fa sì che in fase di ricampionamento le quattro pertinenze vengano deformate il meno possibile, permettendo in tal modo di valutare quanto queste approssimino o meno la realtà dei dettagli fisici del territorio ancor oggi conservati nel paesaggio attuale e per analizzare in che modo ogni sub-area rototrasli rispetto alle contermini. Per meglio evidenziare l'effetto della trasformazione e le reciproche differenze tra le aree ricampionate (identificate dal rispettivo punto

cardinale e da un diverso colore ciascuna), sulle carte è stato preventivamente sovraimposto un reticolo di riferimento a maglia quadrata di lato pari a circa 1 km (fig. 5). Nella tabella di figura 6 vengono riportati i valori del fattore di scala e dell'angolo di rotazione della carta rispetto al nord cartografico, calcolati per ogni sub-area e per l'intera carta.



a

Figura 4. Domini operativi definibili in base alla probabile tecnica di rilievo adottata, quale ipotizzabile dalle indicazioni di fig. 3 nonché da considerazioni sulle caratteristiche delle aree rilevate e dalle indicazioni del manuale del Fabri: la Rettinella *(in rosso) coinciderebbe con la base AB teorizzata in (a).*



a b

Figura 5. a) Linedraw schematico delle carta analizzata, con i GCP (in rosso) utilizzati per la georeferenziazione e l'analisi delle deformazioni; b) Risultato del test di "georeferenziazione a zone" del linedraw (a), mediante trasformazione affine a 6 parametri (aree: N = blu, W = viola, S = rosso, E = verde).

		sub-aree di georeferenziazione				carta
		N	W	S	E	
n° GCP		9	23	13	34	79
fattore di scala	medio	10.900	10.400	10.700	10.700	10.600
	calcolato in base alla scala grafica	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500
angolo di rotazione antiorario [°]		9,8	18,3	15,5	16,3	15,7
scarto quadratico medio [m]		298	445	612	570	419

Figura 6. Valori del fattore di scala e dell'angolo di rotazione rispetto al nord cartografico, calcolati per le sub-aree di fig. 5 e per l'intera carta (Jenny e Hurny, 2011).

5 - Discussione

I risultati di una trasformazione affine a 6 parametri evidenziano andamenti (in termini di scala e angolo di rotazione) leggermente differenti per le varie sub-aree identificate. In particolare risulta una non buona corrispondenza reciproca delle aree N ed E (evidenziato in figura 5 dallo scostamento in corrispondenza del gruppo di isole settentrionali). Bitelli et al. (2012) hanno suggerito una possibile spiegazione per questa osservazione, proponendo un tentativo di parziale rigenerazione palinspastica del documento originale.

Nella tabella di figura 6 è possibile notare che l'area N presenta un angolo di rotazione diverso da quello delle rimanenti aree, ma con i minori residui sui singoli GCP. Ciò potrebbe effettivamente deporre a favore di un autonomo rilievo di quest'area, forse sviluppato scegliendo una differente base di appoggio rispetto a quella delle altre aree, ed utilizzando l'intersezione all'indietro con successivo aggancio mediante traguardi alla *Rettinella*, base principale della sub-area W (fig. 4). Inoltre, il fatto che l'area S presenti alti valori di scarto quadratico medio potrebbe dipendere da una maggiore incertezza nella determinazione topografica dei punti battuti, dovuta all'elevata distanza dalla *Rettinella*. Ma il medesimo effetto potrebbe anche derivare da un non troppo accorto assemblaggio meccanico di informazioni grafiche da fonti cartacee preesistenti.

Il vantaggio derivante dall'applicazione dell'iter analitico adottato consiste nel fatto che la georeferenziazione di aree di estensione minore di quella dell'intero documento cartografico originale permette di evitare la ripartizione degli errori su tutti i GCP, caratteristica invece delle trasformazioni geometriche globali. L'analisi dei residui delle singole georeferenziazioni permette di valutare la qualità della rappresentazione cartografica delle specifiche sub-aree, e in tal modo di individuare zone critiche caratterizzate da alti valori dei residui. Occorre comunque tener presente che la scelta a priori di quali GCP ritenere pertinenti alle differenti aree incide in qualche misura sul risultato finale. Tuttavia questo procedimento è in grado di evidenziare un'eventuale concordanza di scala ed angolo di rotazione tra le varie sub-aree, indice di un prodotto cartografico complessivo caratterizzato da elevate precisione ed uniformità di scala.

6 - Conclusioni

La ricerca illustrata vuole fornire un esempio di come il trattamento in ambiente digitale di cartografia storica mediante modalità anche "non convenzionali", secondo indicazioni suggerite da una preventiva ricerca storica e semiologica, consenta di approfondire le conoscenze sulla qualità metrica dei documenti in esame, al fine di un loro utilizzo quantitativo per studi applicativi di vario genere.

Nel caso specifico, la carta antica esaminata (1592) è stata georeferenziata per singole sub-aree, le cui caratteristiche dimensionali e morfologiche sono state suggerite da ipotesi preliminari relative alle modalità originariamente adottate per il rilievo di campagna, inferite dalla documentazione storica disponibile e da considerazioni concernenti le massime distanze traguardabili a vista. Un miglioramento della ricerca potrebbe derivare dal reperimento in Archivio dei libretti di campagna originariamente utilizzati dal cartografo, oggi eventualmente conservati nei fondi archivistici.

Ringraziamenti
Si ringraziano l'Archivio di Stato di Venezia, per la consultazione della carta di Ottavio Fabri in originale, e la Biblioteca Dore della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, per la consultazione del manuale *L'uso della squadra mobile* di Ottavio Fabri.

Riferimenti bibliografici
Bartoli C. (1564), *Del modo di misurare le distantie, le superfici, i corpi, le piante, le province, le prospettive, et tutte le altre cose terrene, che possono occorrere a gli huomini, secondo le vere regole d'Euclide, et de gl'altri più lodati scrittori*, Franceschini, Venezia
Bitelli G., Cremonini S., Gatta G. (2009), "*Ancient maps comparisons and georeferencing techniques: a case study from the Po river delta (Italy)", e-Perimetron*, 4-4: 221-228. Disponibile su: http://www.e-perimetron.org/Vol_4_4/Vol4_4.htm
Bitelli G., Cremonini S., Gatta G. (2012), "*Analysis of Pre-Geodetic Maps in Search of Construction Steps Details*", *Cartography - A Tool for Spatial Analysis*, Carlos Bateira (Ed.), InTech, 75-98. Disponibile su: http://www.intechopen.com/books/cartography-a-tool-for-spatial-analysis/analysis-of-pre-geodetic-maps-in-search-of-construction-steps-details
Cremonini S., Samonati E. (2009), "*Value of ancient cartography for geoenvironmental purposes. A case study from the Po river delta coast (Italy)*", *Geografia, Fisica e dinamica del Quaternario*, 32: 135-144
Fabri O. (1673), *L'uso della squadra mobile. Con la quale per teoria et per pratica si misura geometricamente ogni distanza, altezza, e profondità. S'impara à perticare, liuellare, et pigliare in dissegno le Città, Paesi, et Provincie. [...]*, Gattella, Padova
Furlanetto P. (2004). "Un'applicazione della cartografia storica alla geomorfologia: il progetto IMAGO". In Meneghel M., Bondesan A., *Geomorfologia della provincia di Venezia*, Esedra editrice, Padova: 73-76
Gatta G. (2010), *Valorizzazione di cartografia storica attraverso moderne tecniche geomatiche: recupero metrico, elaborazione e consultazione in ambiente digitale*, tesi di Dottorato in Scienze Geodetiche e Topografiche, Università di Bologna
Jenny B., Hurny L. (2011), "*Studying cartographic heritage: analysis and visualization of geometric distortions*". *Computers & Graphics*, Elsevier, 35-2: 402–411
Panepinto E. (2009), *Ottavio Fabri, Perito et Ingegnero Publico*, Tesi di laurea in Storia e Geografia dell'Europa, Università di Verona, Facoltà di Arte and Filosofia

Aspetti applicativi nell'uso della termografia aerea per la mappatura delle dispersioni termiche in ambito urbano

Gabriele Bitelli (*), Rita Blanos (**), Paolo Conte (*),
Franco Coren (**), Emanuele Mandanici (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna
(**) Istituto di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS) – Trieste

Riassunto
Il lavoro fa riferimento al progetto europeo "EnergyCity" (programma Central Europe), che mira a creare un sistema a supporto delle decisioni su piattaforma GIS ai fini della riduzione dei consumi energetici e della produzione di CO_2, utilizzando come dato di partenza immagini termiche aeree. La sperimentazione viene condotta su sette città dell'Europa Centrale. Nel presente lavoro vengono descritti strumenti, metodologie operative e fasi di *processing* dei dati per la creazione dei mosaici di temperatura superficiale sulle aree di *test*.
L'acquisizione delle immagini aeree (TIR ed iperspettrali VNIR) sulle aree di *test* è stata effettuata da OGS; contemporaneamente ai voli termici, il DICAM ha condotto rilievi terrestri georeferenziati a fini di calibrazione e taratura dei modelli. Il *processing* dei dati per la creazione delle mappe di temperatura superficiale delle coperture edilizie consiste nell'ortorettifica e *mosaicking* delle immagini termiche, nella correzione radiometrica delle stesse per gli effetti atmosferici e nell'assegnazione dell'emissività dei materiali che compongono la scena a partire dalla classificazione delle immagini iperspettrali.

Abstract
This paper deals with activities that have been carried out within the European Project EnergyCity which aims to create a WebGIS SDSS system, based on thermal airborne images, for the reduction of energy consumptions and CO2 emissions in seven cities of Central Europe. In particular, this article describes the tools, the methodology and the processing steps to obtain mosaics of surface temperatures in the test areas.
The acquisition of the airborne images (TIR and hyperspectral VNIR) over the test areas has been done by OGS while, contemporaneously at the flights, DICAM has performed ground georeferenced measurements for the calibration of the models. Processing steps consist in the rectification and mosaicking of thermal images, radiometric correction to remove atmospheric effects and emissivity calculation of the roofing materials through the classification of the hyperspectral data.

Introduzione

L'analisi della radiazione infrarossa emessa o riflessa dagli oggetti al suolo offre la possibilità di analizzare sia le proprietà termiche e in generale fisico-chimiche dei materiali che molti processi transitori legati allo scambio di calore tra corpi e superfici: un sensore termico può essere utilizzato per misurare la temperatura di una superficie d'interesse, per fornire mappe bidimensionali della distribuzione di temperatura o per identificare targets che si trovino a temperatura differente rispetto al loro contesto (Williams, 2009).
La termografia, ovvero l'acquisizione ed elaborazione di immagini digitali acquisite da sensori operanti nella regione spettrale dell'Infrarosso Termico, permette l'acquisizione a distanza di informazioni sullo stato termico delle superfici osservate, interessando tra gli altri diversi settori della modellistica ambientale come l'analisi degli scambi d'acqua ed energia tra superficie terrestre e atmosfera, i sistemi numerici di previsione metereologica, la circolazione delle masse d'acqua

negli oceani, gli studi sui cambiamenti climatici, l'analisi dell'evaporazione / evapotraspirazione / umidità dei suoli, lo studio del fenomeno dello *Urban Heat Island* (Arnfield, 2002, Brivio et al., 2006, Quattrocchi & Luvall, 2000, Stockton & Tache, 2006).
In una recente lettera al Presidente degli Stati Uniti (Hay et al., 2011) un consorzio di *partner* industriali ha richiesto all'amministrazione pubblica di adottare strategie adeguate per fornire ai cittadini e ai proprietari immobiliari delle informazioni fruibili su larga scala circa l'utilizzo e lo spreco d'energia negli edifici, in modo da attivarsi per migliorarne l'efficienza energetica; il telerilevamento termico da piattaforma aerea si offre come possibile candidato alla realizzazione di questo obiettivo, in quanto consente di coprire superfici anche molto vaste a costi relativamente contenuti ottenendo delle immagini termiche a risoluzione sub-metrica che possano essere utilizzate per analisi a scala d'edificio.
Gli studi termografici quantitativi da piattaforma aerea per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici sono applicazioni relativamente recenti, e hanno finora trovato impiego principalmente in aree continentali o con climi molto freddi come la Gran Bretagna, il Canada o il Nord degli Stati Uniti (Allinson, 2007, Hay et al., 2011); essi sono oggetto di crescente interesse da parte della comunità scientifica a causa delle prestazioni odierne offerte dai sensori e del potenziale scientifico e commerciale che tali sistemi offrono, in particolare in combinazione con sistemi GIS di analisi spaziale dei dati. I sistemi di supporto spaziale delle decisioni (SDSS) finalizzati all'aumento dell'efficienza energetica degli edifici interessano diverse tipologie di *stakeholder* sia pubblici che privati (Hay et al., 2011): enti territoriali e municipalità che intendano monitorare o incrementare l'efficienza energetica nelle aree di propria competenza; proprietari di casa e affittuari che desiderino valutare lo stato d'efficienza dei propri immobili; imprenditori nei campi dell'adeguamento e certificazione energetica che vogliano individuare la aree bisognose d'intervento; urbanisti e pianificatori che vogliano stabilire le aree prioritarie d'intervento per recuperi o ristrutturazioni edilizie oltre a fornitori di servizi energetici, agenzie immobiliari, imprese di costruzione e agenzie governative.
Per effettuare analisi termografiche quantitative sono necessari, oltre ad una strumentazione adeguata, ad una corretta pianificazione ed esecuzione dei rilievi e a condizioni meteorologiche congrue, anche una serie di informazioni aggiuntive riguardanti sia le caratteristiche geometriche e strutturali degli edifici sia le caratteristiche microclimatiche esistenti al tempo del rilievo, dati che interessano le diverse fasi di *processing* geometrico e radiometrico delle immagini; infine, per ottenere dati fruibili sullo stato d'efficienza degli involucri edilizi, risultano indispensabili modelli energetici appositamente studiati che valutino le prestazioni energetiche degli edifici dai valori di temperatura superficiale delle relative coperture.
Il progetto *Central Europe* denominato "*EnergyCity*" coinvolge dieci partner appartenenti a cinque nazioni europee, e mira appunto a creare un sistema SDSS su piattaforma WebGIS finalizzato all'incremento delle prestazioni energetiche e alla riduzione della produzione di gas serra su sette città dell'Europa Centrale (Bologna, Budapest, Ludwigsburg, Monaco, Praga, Treviso, Velenje); a questo scopo sono stati acquisiti diversi *set* di dati digitali sulle aree di *test* delle città interessate per la valutazione della temperatura superficiale delle coperture e la creazione di mappe georiferite di "*heat loss*".
Le attività del progetto sono finalizzate anche alla creazione di una base di conoscenza comune e coordinata sulle tematiche energetiche tra i diversi paesi, all'effettuazione di una serie di azioni pilota e infine alla definizione di una strategia transnazionale tramite un documento di guida politica da sottoporre alla comunità europea e alle amministrazioni nazionali e locali.
I rilievi aerei sono stati effettuati dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS) in stretta collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna che ha provveduto all'esecuzione dei rilievi terrestri e alla collezione di tutti i *dataset* ancillari. L'elaborazione dei dati è in carico ad entrambi i gruppi con procedure differenziate.

Rilievi da aereo

L'acquisizione di immagini termiche e iperspettrali è stata effettuata con una piattaforma aerea "Piper Seneca II" (di proprietà OGS), su cui sono stati installati, in base alle necessità, il sensore termico "Thermo Tracer TS9260" della NEC (con risoluzione spaziale di 640x480 *pixel*) operante nell'infrarosso termico, e il sensore iperspettrale "AISA Eagle 1k" della Specim, (*pushbroom* da 1024 *pixel*) operante nel visibile e nel vicino infrarosso.

Le zone di interesse sono state sorvolate secondo linee parallele; per ottenere una copertura ottimale è stato pianificato un *overlap* longitudinale del 60% tra singoli fotogrammi ed un *overlap* trasversale del 20% tra strisciate parallele. La quota di volo e la velocità dell'aeromobile sono state calcolate in modo da ottenere immagini termiche e iperspettrali con *pixel* a terra rispettivamente di 0,50 m e 0,75 m. Per migliorare l'accuratezza delle successive operazioni di georettifica tramite l'algoritmo di *boresight calibration,* per ogni rilievo (sia termico sia iperspettrale) sono state effettuate delle strisciate in direzione perpendicolare alle altre.

L'esecuzione di un volo fotogrammetrico termico per gli scopi descritti richiede condizioni climatiche particolari: assenza di turbolenza in quota (che ostacola il mantenimento della rotta durante il volo), assenza di copertura nevosa o condensa sulle coperture dell'edificato urbano (che precludono una misura corretta della radianza proveniente dalle coperture degli edifici), bassa copertura nuvolosa e temperature atmosferiche piuttosto basse (che enfatizzano il contrasto tra gli edifici e l'ambiente circostante).

Nella Figura 1 viene riportata a titolo d'esempio la traiettoria del volo iperspettrale effettuato sulla città di Budapest.

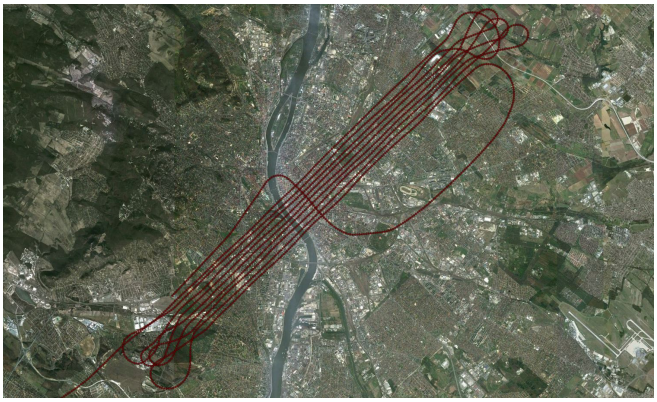


Figura 1. Traiettoria del volo iperspettrale sulla città di Budapest.

Rilievi a terra

Simultaneamente ai rilievi termografici aerei il DICAM ha effettuato delle campagne di rilievo terrestre nelle aree di *test*, con lo scopo di acquisire dati di verità a terra e di misurare una serie di parametri atmosferici da utilizzare come dati di *input* nelle successive operazioni di *processing*. La strumentazione utilizzata consiste in una termocamera "FLIR P620", in un ricevitore GNSS "Ashtech ProMark 500" e in alcuni *datalogger* per la misura di temperatura atmosferica e umidità relativa; è stato utilizzato anche un dispositivo multifunzione "DeltaOHM DO9847" per la misura della temperatura superficiale a contatto e della pressione atmosferica.

Nella scelta della posizione dei punti da rilevare sono stati seguiti dei criteri che permettessero di rilevare il maggior numero di dati possibile nel breve intervallo di tempo in cui vengono effettuati i voli aerei (un paio di ore per città): le *ground truth* sono state acquisite su pavimentazioni esterne lisce ed omogenee, posizionate in maniera distribuita sull'area di *test* ma nonostante ciò facilmente

accessibili; sono state inoltre scelte su aree pubbliche pianeggianti, orizzontali, senza eccessivo affollamento e circondate da edifici di altezza limitata.
Il rilievi terrestri si articolano in due fasi: nella prima (precedente al volo) viene preparata la superficie, viene misurata la posizione dei punti e viene posizionato un *datalogger* all'altezza di 2 m per la misura delle variazioni temporali delle caratteristiche microclimatiche durante il rilievo aereo notturno; nella seconda fase (simultanea al volo aereo) vengono misurate temperatura atmosferica e umidità relativa, e viene utilizzata la procedura "*non-contact*" descritta dallo standard ASTM E 1933-99 per la stima dell'emissività a banda larga della superficie e la misura della temperatura superficiale del *target*. Poiché le pavimentazioni oggetto di misura presentano diversi materiali e tessiture nell'acquisizione, nell'acquisizione delle verità a terra si è tenuto conto della scala operativa effettuando le misurazioni su un'area di dimensioni comparabili con i *pixel* delle immagini aeree (≅ 50 cm).

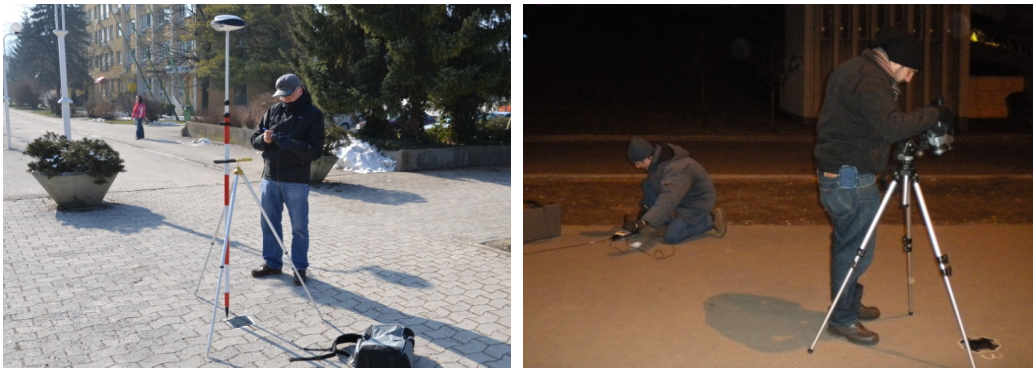


Figura 2. Fasi del rilievo terrestre.

Per ogni pavimentazione rilevata è stata redatta una monografia contenente, oltre alle immagini per l'identificazione del punto, le coordinate, l'ora del rilievo, le caratteristiche della pavimentazione, i parametri atmosferici misurati, l'emissività e la temperatura della superficie.

Metodologia di elaborazione dei dati
Il trattamento del dato termografico, per quanto concerne la geometria ed ancor più la radiometria, presenta notevoli criticità, legate da un lato alla molteplicità di fattori che concorrono alla generazione dell'osservabile, dall'altro alla debolezza strutturale dei modelli disponibili, in parte dovuta alla carenza di fondamentali informazioni ancillari. Il DICAM ha provveduto alla collezione e organizzazione di tutti i *dataset* aggiuntivi esistenti sulle aree di *test* che potessero risultare utili per le successive fasi di *processing*, tra cui una cartografia numerica a grande scala (contenente un *layer* relativo agli edifici) e il *Digital Elevation Model* e/o *Digital Surface Model*, le registrazioni con frequenza di *sampling* di 1" da stazioni GNSS permanenti in prossimità dell'area e le osservazioni da stazioni meteorologiche contemporanee al rilievo termografico aereo.
Il problema dell'estrazione da immagini termiche dei valori di temperatura assoluta delle superfici si presenta quanto mai complesso, non tanto dal punto di vista strettamente teorico, quanto piuttosto sotto il profilo della determinazione numerica coerente ed accurata delle diverse quantità che figurano nelle equazioni dei modelli: per il calcolo della temperatura bisogna in particolare tener conto delle caratteristiche fisiche del materiali, dell'interferenza della radiazione con l'atmosfera circostante e della topografia della scena.
Prima di essere corrette radiometricamente, le singole immagini acquisite con la termocamera sono state ortorettificate dall'OGS; l'ortorettifica permette di trasformare un'immagine *raw* da un sistema arbitrario di coordinate ad un sistema di proiezione cartografico.

L'accurato posizionamento spaziale delle immagini aeree dipende dalla corretta misura degli angoli di *pitch*, *roll* e *heading*, derivati dall'unità inerziale (IMU) a bordo, che definiscono l'assetto dell'aereo al momento dello scatto di ciascuna immagine. È ovviamente determinante conoscere la posizione e l'assetto dei sensori montati sull'aereo rispetto al sistema di posizionamento: per questo sono state effettuate delle procedure di calibrazione (*boresight calibration*) che determinano il disallineamento degli angoli tra l'unità inerziale e la camera termica utilizzando un numero elevato di punti di legame.
La successiva operazione di ortorettifica è stata eseguita con il *software* "Terraphoto" della Terrasolid che tramite il file di calibrazione precedentemente ottenuto elabora le posizioni dei centri di presa e gli angoli d'assetto della termocamera; l'orientamento dei fotogrammi e la correzione per gli effetti topografici avviene inserendo come dati di *input* il DTM dell'area di interesse ed una serie di punti omologhi identificati automaticamente su due o più fotogrammi adiacenti. A differenza di un'immagine RGB, dove l'identificazione di questi punti risulta piuttosto semplice e precisa, nelle immagini termiche la loro individuazione automatica risulta maggiormente complessa aumentando notevolmente il tempo di *processing*. I singoli fotogrammi ortorettificati sono stati successivamente assemblati formando il mosaico termico dell'intera area di test; non è stato applicato alcun algoritmo di normalizzazione radiometrica al fine di conservare i valori originali di *digital number* per le successive operazioni di correzione radiometrica. Nella Figura 3 viene riportato il mosaico di temperatura apparente ottenuto dall'unione dei singoli fotogrammi acquisiti sulla città di Monaco.

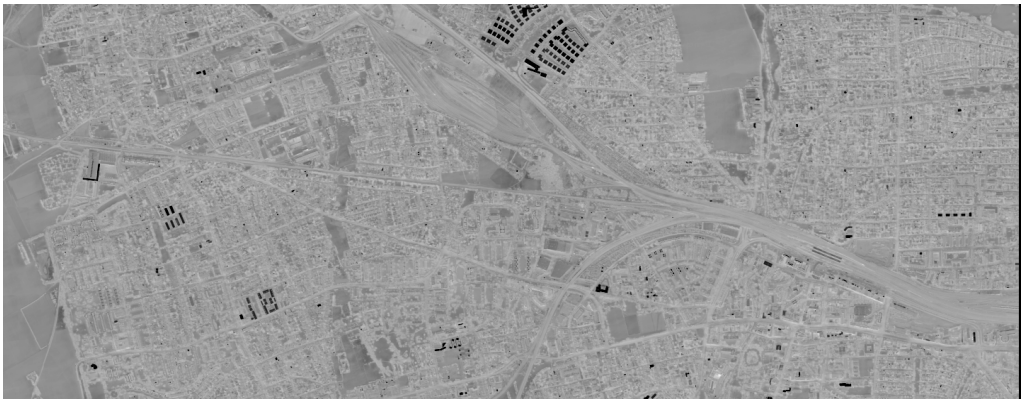


Figura 3. Ortomosaico termico della città di Monaco.

Come noto, la grandezza fisica fondamentale in studio è la radianza emessa dalle superfici nella direzione del sensore. La relazione tra temperatura assoluta e radianza spettrale è poi fornita dalla legge di Planck, che nel caso si consideri un valore di emissività costante e pari all'unità permette di calcolare la cosiddetta temperatura di brillanza, ossia quella che avrebbe la superficie nell'ipotesi di corpo nero; questa temperatura fornisce una prima informazione sullo stato termico delle superfici, ma tuttavia risulta poco realistica come valore assoluto. Al segnale registrato dal sensore infatti concorrono altri fattori, tutt'altro che trascurabili, quali la radianza riflessa e l'interazione atmosferica; inoltre, la deduzione della temperatura superficiale richiede la conoscenza con buona approssimazione dell'emissività di banda larga del materiale di cui è costituita la superficie.
Tutti i parametri di cui deve tener conto il modello, contributo atmosferico, emissività e temperatura, risultano fortemente relati. Di qui la necessità di un approccio semplificato che trascuri alcune interdipendenze a prezzo, però, di una forte sensitività alle determinazioni dei singoli parametri. La formulazione scelta nell'ambito del presente progetto deriva dal modello proposto da Allinson (2007), sotto l'ipotesi di superfici lambertiane, a seguito di alcune semplificazioni:

$$L_T = \frac{L_S - (1-\varepsilon)L_d - L_u}{\tau \cdot \varepsilon} \quad [1]$$

La radianza L_T emessa dalla superficie è quindi ottenuta sottraendo alla radianza L_S registrata dal sensore il contributo della radianza *downwelling* L_d riflessa dalla superficie ed il contributo della radianza *upwelling* L_u emessa dall'atmosfera in direzione del sensore. L'equazione [1] tiene conto dell'emissività ε e della riflettività della superficie (pari a 1 - ε nell'ipotesi di trasmissività del corpo nulla nelle frequenze TIR), oltre che della trasmissività τ dell'atmosfera. Tutte le grandezze si intendono integrate sull'intervallo di lunghezze d'onda in cui opera il sensore termico, cioè tra gli 8 e i 16 µm.

Tutti i parametri atmosferici, L_d, L_u, τ, sono calcolati attraverso simulazioni con il modello di trasferimento radiativo "Modtran 5", il quale richiede in *input* profili verticali di parametri fisici (pressione, temperatura) e chimici (concentrazione delle differenti specie di gas). Nell'intervallo di lunghezze d'onda proprio delle applicazioni termografiche, i parametri più influenti sono evidentemente la temperatura della colonna d'aria (almeno fino alla quota di volo) ed il contenuto di vapore d'acqua e anidride carbonica. Se quest'ultimo può considerarsi relativamente uniforme e può quindi essere ricavato da valutazioni globali, quali le stime fornite dall'*Earth System Research Laboratory* del NOAA, per gli altri parametri sensibili si è fatto ricorso ad una combinazione di dati derivati dai prodotti satellitari MODIS (Figura 4), da misure di stazioni metereologiche locali e da misure di temperatura e umidità a livello del suolo effettuate appositamente durante le operazioni di rilievo a terra contemporanee ai voli termici. I dati di verità a terra misurati sul campo mediante termocamera e sonda di temperatura a contatto sono stati impiegati per verificare i valori di temperatura superficiale ricavati dall'applicazione del modello descritto all'equazione [1] sugli stessi punti.

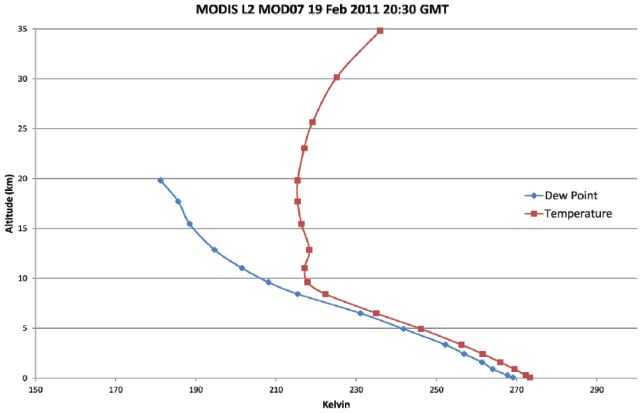


Figura 4. Profili di temperatura e punto di rugiada estratti da una ripresa MODIS sulla città di Treviso, quasi contemporanea al volo termico.

L'emissività delle superfici ha un forte impatto sul valore numerico della temperatura ed è di per sé un parametro estremamente variabile in ambito urbano, sia perché i differenti materiali costruttivi impiegati nella realizzazione delle coperture edilizie presentano comportamenti radiometrici molto diversi, sia a causa del differente orientamento delle superfici che compongono il tessuto urbano. Per l'assegnazione dei valori di ε ai *pixel* del mosaico termico si è fatto ricorso alle immagini iperspettrali, procedendo su alcune aree *test* alla classificazione *pixel-based* delle principali macro-categorie di materiali di copertura, ispirate alle differenze più significative in termini di emissività. La classificazione è stata effettuata utilizzando l'algoritmo supervisionato *Spectral Angle Mapper* (SAM, Kruse et al.,1993) basandosi su *set* di *training site* sui quali sono stati verificati gli effettivi

materiali di copertura; a ciascuna macro-classe è stato quindi attribuito un differente valore di emissività sulla base di dati tabellari reperibili in letteratura.
Le immagini iperspettrali sono state precedentemente calibrate in radianza tramite il file di calibrazione del sensore, e sono state georettificate con il pacchetto *software* "Caligeo" della Specim. Il modulo di georettifica utilizza i dati di posizione e assetto (rollio, imbardata e beccheggio) raccolti dagli strumenti GPS/INS sulla piattaforma aerea in maniera sincrona con i dati AISA.

Conclusioni
Il notevole interesse che riveste oggi il monitoraggio delle dispersioni energetiche in ambito urbano ai fini della messa a punto di opportune strategie sostenibili, anche ai fini della riduzione delle emissioni di CO2, richiede informazioni a scala di singolo edificio, correlabili ad altre informazioni georiferite in ambiente GIS. La termografia aerea consente, nel caso si disponga di tutti i dati necessari e si applichino gli algoritmi di calcolo adeguati, di ricavare mappe di temperatura sinottiche e affidabili che sarebbe impossibile ottenere diversamente; di contro, i costi rilevanti e la complessità delle operazioni di pianificazione e svolgimento dei rilievi rendono difficili analisi di *change detection*.
La creazione di mappe di temperatura superficiale delle coperture edilizie richiede inoltre complesse procedure di correzione geometrica e radiometrica delle immagini; nel lavoro si sono evidenziati alcuni di questi aspetti, ed alcune delle criticità esistenti, sulla base di una interessante sperimentazione condotta su alcune città europee nell'ambito del progetto "EnergyCity" del programma Central Europe.

Ringraziamenti
Il lavoro è stato effettuato nell'ambito del progetto EnergyCity "Reducing energy consumption and CO_2 emissions in cities across Central Europe" (EU CENTRAL EUROPE 2CE126P3).

Bibliografia
Allinson, D. (2007), *Evaluation of aerial thermography to discriminate loft insulation in residential housing*, PhD thesis, University of Nottingham.
Arnfield, A.J. (2002), "Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchange of energy and water, and the urban heat island", *International Journal of Climatology*, 23: 1–26.
ASTM, E 1933-99a (2002), "Standard test methods for measuring and compensating for emissivity using infrared imaging radiometers".
Brivio P.A., Lechi G., Zilioli E. (2006), *Principi e metodi di telerilevamento*, Città Studi, Torino.
Hay, G.J., Kyle C., Hemachandran B., Chen G., Rahman M.M., Fung T.S., Arvai J.L., (2011), "Geospatial Technologies to Improve Urban Energy Efficiency", *Remote Sensing*, 3.
Kruse F.A., Lefkof A.B., Boardman J.W., Heidebrech K.B., Shapiro A.T., Barloon J.P., Goetz A.F.H. (1993), "The spectral image processing system (SIPS). Intercative visualization and analysis of imaging spectrometer data", *Remote Sensing of Environment*, 44: 145-163.
Quattrocchi, D.A, Luvall, J.C, (2000), *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes*, CRC.
Sobrino, J.A., Oltra-Carrió, R., Jiménez-Muñoz, J.C., Julien, Y., Sòria, G., Franch, B., Mattar, C. (2012), "Emissivity mapping over urban areas using a classification-based approach: Application to the Dual-use European Security IR Experiment (DESIREX)", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18: 141-147.
Stockton, G.R. & Tache, A. (2006), "Advances in Applications for Aerial Infrared Thermography", *Thermosense* XXVIII, 62050C.
Williams, T.L. (2009), *Thermal Imaging Cameras. Characteristics and performance*, CRC Press.

Progetto pilota per la formazione di crisis mappers e la produzione di mappe post evento da dati multisensore

Piero Boccardo (*,**), Filiberto Chiabrando (*), Anna Facello (*), Loretta Gnavi (*), Andrea Lingua (*), Paolo Maschio (*), Fabio Pasquale (***), Antonia Spanò (*)

(*) Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Tel. +39 011 090 4380, piero.boccardo, filiberto.chiabrando, anna.facello, loretta.gnavi, andrea.lingua, paolo.maschio, antonia.spano@polito.it
(**) ITHACA (Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action), Via Pier Carlo Boggio 61, 10138 Torino
(***) SiTi (Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione), Via Pier Carlo Boggio 61, 10138 Torino

Riassunto

Nel primo scorcio del 2012 è stato elaborato un progetto pilota per la formazione e lo sviluppo di competenze nel campo dell'acquisizione, integrazione e condivisione in tempo reale di dati spaziali derivati da piattaforme aeree e terrestri, finalizzato alla documentazione del patrimonio ambientale e costruito colpito da eventi catastrofici.

Il progetto è sviluppato in collaborazione dal Politecnico di Torino e da ITHACA (Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action), coinvolge studenti di diversa estrazione e provenienti dalle diverse aree di formazione dell'Ingegneria e dell'Architettura, ed è volto alla costituzione di un nucleo di "*volunteer mappers*" o "*crisis mappers*". Analogamente ad esperienze internazionali, il gruppo si attiva per aggiornare la cartografia disponibile sul web tramite la realizzazione di un Web GIS che raccolga dati eterogenei derivanti da metodologie consolidate (voli aerei, LiDAR, campagne di rilevamento a terra tramite scansioni laser terrestri) e dai contributi di tecniche innovative, con caratteristiche speditive di rapidità da emergenza e ad alta produttività (integrazione di fotogrammetria digitale e sensori di posizione, con uso di fotocamere o telecamere montate su veicoli 4X4, mountain bike, elmetti da arrampicatori, ecc.).

La sperimentazione delle attività volte alla documentazione delle emergenze ambientali per la conservazione e tutela dei beni paesaggistici e culturali sarà svolta in un *test site* d'eccezione, il parco delle Cinque Terre, iscritto nella Lista del Patrimonio Mondiale dell'Umanità dell'UNESCO nel 1997, e colpito dall'evento alluvionale del 25 Ottobre 2011. E' prevista la collaborazione con enti locali e pubblici, come la Protezione Civile, il Corpo dei Vigili del Fuoco, la Regione Liguria, l'ente Parco Cinque Terre, e la Soprintendenza dei Beni architettonici e paesaggistici della Liguria per la sensibilizzazione e la promozione di politiche di protezione e prevenzione.

Abstract

During last months a model project has been developed for training purposes; the aim is to amplify capabilities in the fields of collecting, integrate and share spatial data acquired by aerial or terrestrial platform and concerning the environmental and built heritage subject to disasters.

The project is carried out by a cooperation between Politecnico di Torino and ITHACA (Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action), and it is directed to diverse background students, attending courses of the Engineering or Architecture areas. The final object is starting up a team of "volunteer mappers" or "crisis mappers".

Similarly to international experiences, the group is expected to be active after emergencies in order to upgrade maps managed by a WebGIS, which collects data acquired by well established methods

(aerial Lidar data, terrestrial laser scanning data collections) or by innovative techniques featured by high profitability (digital photogrammetry application integrated to positioning devices, use of cameras or videocameras installed on different kind or vehicles, included mountain bikes, connected to positioning systems).
The testing of activities purposed to document environmental emergencies for the protection of cultural and landscapes assets has took place in a unique test site, the Cinque Terre Park, registered in the World Heritage List since 1997. The area has been affected by flood in 25th October 2011.
A cooperation with local and public institution such as Civil Protection, Regione Liguria, Cinque Terre Park, and Soprintendenza Beni architettonici e paesaggistici of Liguria, is expected to promote prevention and protection strategies.

Introduzione e finalità del progetto
Il progetto intende fornire specifici contributi per diffondere l'attenzione verso la salvaguardia ambientale e la valorizzazione del patrimonio paesaggistico e culturale attraverso la tutela del territorio, del patrimonio edilizio e dei beni ambientali, architettonici e archeologici esposti a danni o a rischi ambientali di varia natura.
Tale proposito è indirizzato alla formazione di competenze nel settore del rilievo metrico avanzato, mediante l'utilizzo di strumentazioni e tecniche innovative e sperimentando l'integrazione dati da rilievi multi-sensore, satellitari, aviotrasportati e terrestri. L'iniziativa è stata proposta agli studenti dei corsi di laurea di Architettura e di Ingegneria del Politecnico di Torino ed è stata accolta con significativi riscontri, dal momento che la prima fase del progetto finalizzato a formare e mantenere un alto livello di competenze per un team di *crisis mappers* si è potuta svolgere nei mesi di Giugno-Luglio 2012, cioè nel periodo direttamente successivo all'esito della selezione che l'ha finanziata[1].
Insieme alla collaborazione interdisciplinare, l'indirizzare nuove tecnologie (dal laser scanning e fotogrammetria digitale integrate, a rilievi speditivi ad alta produttività come ad esempio quelli prodotti da telecamere dotate di ricevitori GPS montati su mountain bike o su elmetti da arrampicatori, la formazione ed aggiornamento di cartografia speditiva da dati satellitari ed aerei e la relativa realizzazione di Web GIS per la condivisione dei dati sensibili con altri soggetti coinvolti) al supporto di tematiche complesse e delicate quali le emergenze ambientali e quelle attinenti i beni culturali a rischio promuove e stimola la diffusione del valore etico-culturale della protezione del patrimonio ambientale e costruito.

Il *test site*: le Cinque Terre
L'area individuata per testare il progetto formativo è d'eccezione sia per gli elevati valori paesaggistico ambientali, sia per la gravità dell'evento alluvionale e la precarietà a cui è tuttora soggetto il territorio interessato.
Si tratta delle 5 Terre, cosiddette poiché nel frastagliato tratto di costa della riviera ligure di levante, in provincia della Spezia, situato fra Punta Mesco, presso Levanto, e il Capo di Montenero, presso Portovenere, sono presenti i centri di Monterosso, Vernazza e Riomaggiore, con Corniglia (frazione di Vernazza) e Manarola (frazione di Riomaggiore). Fra questi l'area in cui si sono concentrati i rilievi terrestri corrisponde al tratto esondato dell'alveo del Vernazzola, il torrente che sfocia proprio nel centro di Vernazza e che durante l'evento alluvionale del 25 Ottobre 2011 ha determinato ingenti danni e la perdita di vite umane.
Il sito UNESCO denominato Portovenere, Cinque Terre, and the Islands (Palmaria, Tino and Tinetto) è stato iscritto nella World Heritage List dell'UNESCO come *continuing living landscape* (paesaggio tutt'ora "vivente"): ciò implica che sia stata attribuita particolare importanza all'azione e alla presenza dell'uomo che, nel tempo, ha contribuito alla sua modificazione, evoluzione e anche manutenzione.[2]

[1] Il progetto è stato finanziato dal Politecnico di Torino mediante i fondi del 5xmille.
[2] La motivazione dell'iscrizione al World Heritage List recita:

Morfologia dell'area

La costa delle Cinque Terre costituisce una delle quattro zone morfologicamente distinguibili della provincia della Spezia.

Nelle Cinque Terre sono presenti due grandi unità litologico-strutturali: le unità toscane e le unità liguri. Le prime (Triassico-Oligocene) in seguito a movimenti tettonici si sono sovrapposte al nucleo apuano di base e, attraverso fenomeni di sovrascorrimento, sono state a loro volta ricoperte dalle falde liguri formatesi tra il Giurassico sup. e l'Eocene. Fenomeni successivi di erosione e movimenti tettonici hanno condotto all'affioramento localizzato delle falde toscane.

Le caratteristiche geologiche, quali composizione, scistosità, stratificazione, grado di erosione sono alla base della particolare morfologia dell'area costiera. Gli agenti esterni, in particolare il moto ondoso, incidono in modo diverso in relazione alla diversa natura litologica del substrato: le formazioni scistose-argillose e marnose, più facilmente erodibili, danno luogo a versanti con minore pendenza e ricchi di depositi detritici; le formazioni ofiolitiche e carbonatiche danno luogo a pendii più ripidi.

La conoscenza del grado di instabilità di un dato territorio è importante per definire interventi preventivi di salvaguardia del territorio e prevenire situazioni di pericolo. I processi di evoluzione gravitativa dei versanti dipendono sia da cause naturali, riconducibili alle caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche del territorio, sia da fattori antropici, legati ai cambiamenti delle condizioni di equilibrio naturale determinate dall'attività dell'uomo.

Nel territorio del Parco, l'instabilità dei versanti è dovuta principalmente alla presenza di affioramenti a franappoggio e alla composizione litologica del substrato a cui si è aggiunta negli ultimi decenni la graduale perdita di manutenzione e presidio del territorio operato dall'uomo con l'esercizio delle attività agricole.[3] (Federici P.R., et alii., 2001)

Evento Alluvionale (25 Ottobre 2011)

L'evento catastrofico occorso lo scorso ottobre ha interessato un'area complessiva di circa 10 x 40 km, dalla costa tirrenica fino allo spartiacque appenninico. Le precipitazioni eccezionali sono state tipicamente connesse al transito di cumulo nembi e sono perdurate con la massima intensità per circa 6 ore inondando la superficie del suolo lungo una fascia, ampia mediamente circa 10 km, con un volume d'acqua stimato di circa 200 milioni di metri cubi; lateralmente a tale fascia le piogge sono state progressivamente inferiori.

La quantità d'acqua precipitata con picchi superiori a 100 mm/ora ha causato un vero e proprio disastro idrogeologico nella fascia attraversata dai cumulo nembi.

Lungo i versanti montani e collinari, costituiti da un substrato con una copertura di terreni alterati non ancorati (come quelli che caratterizzano le Cinque Terre), le piogge hanno causato numerosi dissesti prevalentemente superficiali che hanno coinvolto il suolo, la copertura vegetale e la porzione alterata del substrato. Il ruscellamento superficiale, a causa dell'accentuata inclinazione dei versanti e della presenza di terreni erodibili, si è trasformato in un flusso detritico diffuso defluente lungo le pendici fino ad incanalarsi nell'alveo di fondo valle. Gli apporti detritici derivanti

---

"*La riviera ligure delle Cinque Terre è un paesaggio culturale di valore eccezionale, che rappresenta l'armoniosa interazione stabilitasi tra l'uomo e la natura per realizzare un paesaggio di qualità eccezionale, che manifesta un modo di vita tradizionale millenario e che continua a giocare un ruolo socioeconomico di primo piano nella vita della comunità*". http://www.parconazionale5terre.it/documentazione.asp

[3] "Per il territorio delle Cinque Terre, tuttavia, l'agente morfogenetico sicuramente più significativo e peculiare è rappresentato dall'uomo, che nei secoli, con il terrazzamento quasi completo della fascia al di sotto dei 350-450 m di altezza, ha scolpito i versanti con una trama geometrica di muri di contenimento a secco che hanno conferito un'impronta di plastica omogeneità al paesaggio che è la caratteristica identificativa di questo territorio. Inoltre, allo stato attuale, con il progressivo abbandono delle coltivazioni, si sono instaurati e si stanno sviluppando dei processi di evoluzione geomorfologica e di dissesto molto peculiari e significativi (quali ad esempio i debris flow o gli sfasciumi e gli accumuli di pietrame pedemontani di tutto il settore orientale) che evidentemente hanno un significato ed un'importanza fondamentale sia dal punto di vista paesaggistico sia da quello della gestione del territorio." da Il Piano di Gestione del sito UNESCO "Portovenere, Cinque Terre e le Isole". Subambito Cinque Terre.

dai diffusi franamenti del suolo e della copertura alterata ha continuamente alimentato l'alveo lungo il quale si sono innescati ripetuti flussi fangoso-detritici che si sono riversati nelle aree abitate alcune ore dopo che erano iniziate le precipitazioni eccezionali. (Ortolani, 2011)

Raccolta delle informazioni cartografiche e metriche pre e post evento

Data l'estensione e la complessità del territorio, lo strumento più adatto per valutare impatti e danni subiti a seguito dell'alluvione è l'analisi di immagini acquisite da piattaforma aerea o satellitare, opportunamente integrate da rilievi a terra.

Per pianificare l'area di approfondimento e oggetto dei rilevamenti a terra, per localizzare e contabilizzare i principali danneggiamenti, nonché verificare l'accessibilità e l'opportunità di realizzare le attività formative è stata raccolta un gran mole di prodotti cartografici a diverse scale, di base e tematici, nonché i più significativi dati LiDAR (Light Detection And Ranging) e ortofoto post evento disponibili.



Figura 1. In alto stralcio ortofoto pre-evento (Regione Liguria), in basso stralcio ortofoto post evento (28 Novembre 2011 BLOM-CGR Parma).

La Regione Liguria oltre alla cartografia di base (Carta Regionale 1:25.000 ed 1994/95; CTR 1:10000 ed 2007; CTR 1:5000 ed. 2007), ha reso disponibili un complesso di dati e carte tematiche di diverso argomento, dalla Carta Geologica regionale 1:25000, all'Inventario dei fenomeni franosi 1:10000 (progetto IFFI), alla rete di monitoraggio dei versanti 1:10000 (Remover), alle Carte Erosione / Accumulo post alluvione del 25/11/2011, prodotte queste ultime per differenza dei dati LiDAR 2008 e 2011 realizzati da FVG.
Fra i dati LiDAR e ortofoto ad alta risoluzione realizzati e resi disponibili per il progetto, i più rilevanti sono quelli realizzati dalla Blom CGR di Parma (fig. 1 in basso) e da Helica per la Regione FVG, realizzati questi ultimi tra l'11 ed il 13 Novembre 2011.[4]

Rilievi terrestri
Come anticipato, l'obiettivo principale dei rilievi eseguiti a terra è stato l'alveo del torrente Vernazzola nonché la strada provinciale che si snoda parallelamente al corso d'acqua e che in più punti è stata inghiottita dalle acque. Lungo il Vernazzola, numerosi manufatti, tra i quali attraversamenti a ponte, strutture murarie di contenimento delle acque del torrente, orti, case, terrazzamenti e altre costruzioni di servizio, prevalentemente in pietra e messi in opera con tecniche tradizionali, sono stati fortemente danneggiati se non completamente distrutti.
L'individuazione della tecnica di rilievo doveva soddisfare sia le esigenze puntuali di documentazione della nuova forma dell'alveo per consentire la realizzazione di un modello idraulico per le opportune simulazioni e il progetto di messa in sicurezza e ripristino, sia la descrizione dello stato di conservazione dei tanti manufatti che testimoniano o che attestavano l'interazione dell'uomo-ambiente e che costituiscono nel loro complesso l'identità del paesaggio di quei luoghi.
Sempre più le esigenze di rappresentazione finalizzate al ruolo conoscitivo del patrimonio esistente sono coniugate alle necessità di modellare l'interazione dei fenomeni territoriali, ambientali e urbani, nella prospettiva di considerare le complesse dinamiche temporali e di costituire supporto ai processi progettuali e decisionali; quanto offrono le tecnologie a scansione laser, integrate anche dalla fotogrammetria digitale, per la produzione più estesa, puntuale, densa e tridimensionale dell'informazione spaziale risponde tramite anche l'alta produttività e i requisiti di rapidità, a soluzioni sostenibili e flessibili ad esigenze diversificate.



Figura 2. Esempi di danni a manufatti edilizi lungo il corso del Vernazzola (foto P. Maschio).

Lo scanner Focus 3D (Faro Cam2) con le sue caratteristiche di maneggevolezza e facilità d'uso, il *range* di distanze di scansione variabile da 0.6 m a 120 m per superfici riflettenti (>90%), l'errore di distanza lineare pari a ±2 mm a 10 m e 25 m per riflettività del 10% e 90%, la velocità di scansione fino a più di 900000 punti al secondo, il rumore contenuto e l'acquisizione di informazioni radiometriche grazie alla

[4] Quota del volo 700m AGL (*Above Ground Level*), densità teorica dei punti a terra è pari a 5.45 punti per metro quadro, dimensione del pixel a terra dell'ortofoto 0.15m

camera integrata con asse ottico coassiale al raggio laser, ha risposto efficacemente alle esigenze del rilievo, sia del corso del torrente (circa 2Km tra l'inizio del fenomeno e la foce), sia della zona del borgo oggetto dei rilievi (la via principale, la piazza del porto, il castello che dalla rocca domina l'abitato), sia ancora della spiaggia formatasi in seguito all'accumulo dei detriti trasportati dall'evento alluvionale.



Figura 3. Scorci della via principale del borgo e della spiaggia formata dall'accumulo dei detriti alla foce del Vernazzola, anch'essi oggetto del rilievo laser scanning (foto P. Maschio).

Strategie di registrazione e georeferenziazione delle scansioni

Data la direzionalità prevalente dell'area oggetto di studio, la sua estensione e l'esigenza di garantire successive operazioni di elaborazione e modellazione di dati tridimensionali multi-scala, sono state attentamente valutate le risoluzioni di acquisizione e le strategie di registrazione delle scansioni. Per queste ragioni la risoluzione delle scansioni è stata scelta medio alta per la contemporanea presenza di forme naturali e antropiche (passo scansione 1 punto ogni 6 mm a distanze pari a 10 metri) e per la prima fase di registrazione e trasformazione delle coordinate in un unico sistema di riferimento per l'estrazione di sezioni speditive a passo regolare di circa 10 m non sono state eseguite procedure accurate di filtratura e colorazione delle nuvole.



Figura 4. Allievi e tutors impegnati nelle operazioni di misura e localizzazione dei vertici della rete topografica lungo il corso del Vernazzola.

La disponibilità di automatismi sempre più sofisticati nei software di gestione dei dati laser terrestri[5], consentono l'impiego di tecniche di registrazione delle nuvole tramite procedure di riconoscimento automatico di corrispondenze geometriche (*best fitting*); ma le caratteristiche dell'oggetto rilevato, caratterizzato da scarse forme dalla geometria facilmente individuabile e l'abbondanza di elementi ripetitivi simili (il pietrame del fiume) hanno consigliato di impiegare procedure rigorosamente controllate da *target*, sia misurati con funzione di punti di controllo per la trasformazione in un

[5] Per tutte le procedure di registrazione delle scansioni acquisiti dallo scanner Faro è stato impiegato il software *Scene* della *Faro Technologies.*

unico sistema coordinate basato sul sistema di riferimento WGS84-ETRF2000, sia dalle coordinate non note (segnalizzati mediante *target* sferici) con la sola funzione di *tie points* tra scansioni contigue. L'utilizzo di questa strategia insieme al posizionamento di *target* ben distribuiti sull'oggetto, ha consentito tempi rapidi di registrazione delle scansioni, ottenendo la loro georeferenziazione contestuale, e anche un accurato controllo degli errori residui delle procedure di orientamento relative ai tronchi di alveo relativi a insiemi di circa 10÷15 scansioni, nonché la qualità globale del rilievo complessivo.
La rete topografica d'inquadramento dell'area, determinata con metodologia GPS/GNNS, collegata alle stazioni permanenti ITALPOS di BRUGNATO (BRU1) a 11 km circa, e di La SPEZIA a 15 km circa, ha consentito la georeferenziazione dei rilievi eseguiti che è la base per i prossimi aggiornamenti cartografici e le integrazioni multi-scala che supporteranno i progetti di recupero e risanamento del territorio.



Figura 5. Vista d'insieme delle nuvole registrate dell'intero tratto di Vernazzola rilevato mediante metodo laser terrestre e stralcio di una vista 3D di sezioni trasversali speditive.

Documentazione dello stato dei sentieri
I tipici versanti scoscesi coltivati a vite per mezzo di faticosi impianti di terrazzamenti, sono una testimonianza unica della trasformazione operata dalla attività umana sul territorio oltre che tipici delle zone d'interesse. La difficile accessibilità dovuta alla morfologia del territorio, è resa possibile da una fitta rete di sentieri, a volte a picco sul mare, che costituiscono una componente importante del patrimonio paesaggistico ed escursionistico del Parco delle Cinque Terre.



Figura 6. Esempio di coppia di immagini tratte da video 3D e relativa localizzazione geografica. Il manubrio di una mountain bike equipaggiato con il sistema stereo 3D go-pro e ricevitore GPS.

Malgrado il comprensorio sentieristico sia valutato come percorribile a piedi, una squadra di ciclisti esperti[6] ha percorso e perlustrato la quasi totalità dei tracciati sentieristici in *montain bike*, eseguendo rilievi speditivi mediante telecamere stereo dotate di ricevitori GPS, in modo da poter raccogliere e georeferenziare importanti dati sullo stato dei sentieri del parco, che in seguito

[6] Gruppo Protezione Civile MTV Val Sangone, resp. Fabio Pasquale; www.valsangone-mtb.it

all'ultima alluvione sono oggi afflitti da numerosissime interruzioni dovute a frane, microfrane o semplici scivolamenti di tratti dei muretti a secco che spesso segnano i sentieri.

Acquisizione dati integrativi

Oltre alle campagne di rilievo già esposte sono stati acquisiti dati di diversa natura e da diversi sensori:

- Rilievo Laser terrestre, tramite lo scanner RIEGL LMS-Z210 (s_r = ± 25 mm) di un'imponente frana a monte del tratto di Vernazzola esondato, che ha contribuito insieme ad altre all'ingente verificarsi di colate detritiche.
- Rilievo batimetrico tramite eco-scandaglio e georeferenziazione con tecnica GNNS dei fondali del porto di Vernazza e delle zone costiere prossime alla rocca ed alla piaggia di nuova formazione
- Riprese subacquee (mediante videocamere stereo Go-pro) dei fondali della zona antistante la spiaggia di nuova formazione.



Figura 7. Fase del rilievo batimetrico dei fondali della costa prossima al borgo di Vernazza.

Ringraziamenti

Per aver potuto svolgere con successo le fasi di avvio e centrali del progetto, comprendenti la fase di acquisizione sul terreno, si ringraziano la Regione Liguria per aver messo a disposizione tutta la documentazione cartografica di base e tematica esistente, il comune di Vernazza, rappresentato da Matteo Spona, per aver messo a disposizione un'intera struttura scolastica per offrire alloggio al gruppo di lavoro costituito da circa 30 studenti ed una decina di ricercatori, tra tutor e studenti della scuola di Dottorato. Si ringraziano inoltre la FAROEurope – CAM2, nella persona di Alberto Sardo, che ha messo a disposizione per entrambe le tornate di stage (giugno e luglio 2012) un secondo strumento laser a scansione; il Ristorante Gianni Franzi di Vernazza che ha garantito grande ospitalità al gruppo di lavoro, la ditta Blom CGR per le facilitazioni di utilizzo dei dati dei voli a bassa quota fotogrammetrici e Lidar post evento.

Riferimenti bibliografici

Ortolani F. (2011), "Alluvione nelle Cinque Terre-Lunigiana: evento da manuale, difesa da migliorare con l'Allarme Idrogeologico Immediato", http://www.climatemonitor.it/?p=20863.

Boccardo P.; Giulio Tonolo F. (2008) "Natural disaster management: activities in support of the UN system". In: Advances in Photogrammetry, Remote sensing and Spatial information sciences: 2008 ISPRS Congress book / Zhilin Li; Jun Chen; Emmanuel Baltsavias. Taylor & Francis Group, London, pp. 385-396.

Dongiovanni A., Valle M. (a cura di) (2007), "Il Piano di Gestione del sito UNESCO "Portovenere, Cinque Terre e le Isole". Subambito Cinque Terre", SiTI – Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione.

Regione Liguria, 2004 - Relazione sullo stato dell'ambiente - Parco Nazionale delle Cinque Terre.

Bornaz L.; Lingua A.; Rinaudo F. (2003), "Multiple scan registration in LIDAR close-range applications*"* In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 5/W12, pp. 72-77.

Federici P.R., Baldacci F.,Petresi A., Serani A., 2001 - Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria, in Provincia della Spezia- Regione Liguria.

Spano' A.T., Costamagna E. (2010) , "Geomatic training experiences for a high vulnerability cultural heritage item.*"* In: Remote Sensing And Geo-Information For Environmental Emergencies, Torino, 2-4 Febbraio 2010.

www.parconazionale5terre.it/documentazione.asp

www.Ithacaweb.org

www.valsangone-mtb.it

Analisi di dati laser scanner terrestre per la valutazione del rischio potenziale da instabilità di una parete rocciosa sulla Costa di Serravalle (Vittorio Veneto, TV)

Aldino Bondesan (*),Simone Busoni (**), F. Coren (***),
Francesco Ferrarese (****), Roberto Francese (***)

(*) Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze, Via Gradenigo 6, 35131 Padova (PD),
aldino.bondesan@unipd.it, +39-049-8274085, +39-0421-326532
(**) Provincia di Treviso, Settore Ambiente e Pianificazione Territoriale, Via Cal di Breda 116, 31100 Treviso (TV),
sbusoni@provincia.treviso.it
(***) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, OGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, Sgonico (TS),
fcoren@inogs.it; rfrancese@inogs.it
(****) Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Scienze Storiche Geografiche e dell'Antichità, DiSSGeA,
Sezione di Geografia, Via del Santo 26, 35123 Padova (PD)

Riassunto
Si presentano i risultati del rilievo laser a scansione di una parete rocciosa ubicata nel Comune di Vittorio Veneto (Treviso). Si tratta di un versante in roccia estremamente acclive interessato da fenomeni di dissesto, appartenete alla serie di *hogback* subalpini che caratterizzano il passaggio al margine prealpino nel territorio provinciale trevigiano. Lo studio prevede la sperimentazione di tecniche di rilievo a distanza delle condizioni della parete rocciosa per la classificazione morfologica e la definizione dei settori a rischio potenziale di crollo superficiale. Viene illustrata la strumentazione utilizzata, i metodi di rilievo e di analisi dei risultati. Il rilievo laserscan è stato integrato da un'indagine termografica. Le diverse informazioni dei dati elaborati dal modello della superficie e - laddove necessario - corretti dalla foto terrestre georiferita sono stati sintetizzati per ottenere la mappa da rischio instabilità di versante. I dati sono stati elaborati attraverso un algoritmo *multicriteria evaluation* (MCE) che ha permesso di pesare le variabili a disposizione e di sintetizzarle in una mappa finale che indica il diverso grado di rischio di distacco.

Abstract
We present the results of a laser scanning survey of a rock wall located in Vittorio Veneto (Treviso). This is an extremely steep slope in rock affected by instability phenomena, belonging to the series of hogback that characterize the transition from the prealpine margin within the province of Treviso. The study involves the testing of remote surveying techniques for the definition of areas at potential risk of collapse. The paper shows the used devices, the survey methods and results. The different information of the data processed by the model of the surface and - where necessary - corrected by terrestrial geo-referenced photos were synthesized to obtain the map of risk of slope instability. The data were processed through an multi criteria evaluation algorithm (MCE) that has allowed us to weigh the available variables and to synthesize them into a final map that shows the different levels of risk of detachment.

Introduzione

A seguito di un fenomeno di dissesto verificatosi sul versante in roccia posto a monte della "Strada Comunale dei Sassi" in località Costa di Serravalle (Vittorio Veneto, Treviso) è stata intrapresa una campagna di misure al fine di caratterizzare la parete rocciosa e di individuare gli eventuali rischi

connessi a possibili distacchi. Il rilievo laser a scansione da terra è è stato realizzato con la collaborazione del Dipartimento di Protezione Civile del Friuli Venezia Giulia e integrato dal rilievo LIDAR del territorio della Provincia di Treviso eseguito dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste.

Inquadramento generale

Dal punto di vista geologico l'intera Costa di Serravalle risulta costituita da arenarie, calcareniti e calcari terziari. La parete presenta uno sviluppo altimetrico che va dai circa 270 metri s.l.m.m. della strada comunale ai circa 570 metri s.l.m.m. della sommità della linea di cresta. La parete rocciosa in esame presenta un forte controllo strutturale con una morfologia fortemente influenzata dalla giacitura dei piani di stratificazione.

Rilievo laserscan

I dati ottenuti dal rilievo laser scan terreste (Riegl Vz-1000) sono stati aggregati in forma di punti vettoriali formato ESRI (shapefile) e georiferiti. Il dataset consta di 3.336.728 punti distribuiti su un'area - in piano, a visione zenitale - di 37.257 m^2, lunga 585 m e larga, nel punto massimo, circa 160 m. La nuvola di punti è stata opportunamente trasformata in modo da avere una visione frontale della parete - e non più zenitale - lungo l'asse di maggior sviluppo della stessa. I dati così ruotati si sono distribuiti su un' area di 60.663 m^2, fornendo una densità di 55 punti per m^2, ma se non si considerano le aree non battute dallo strumento per disturbi di vario tipo (soprattutto vegetazione) la superficie utile è di 46.607 m^2, con una densità di 71 punti per m^2, dove però ben l'80% dei punti ha un passo medio inferiore ai 14 cm e il 50% ha passo medio inferiore a 10 - 11 cm.

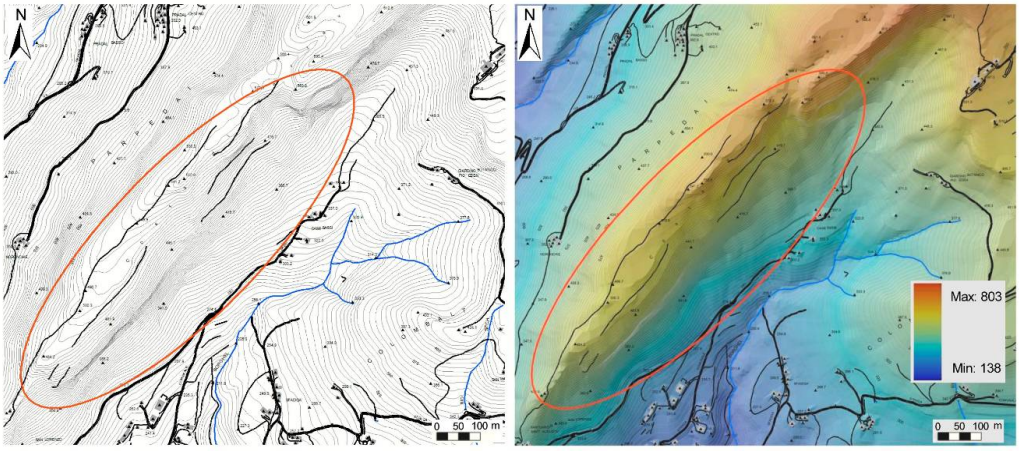


Figura 1. Ubicazione (sinistra) e carta altimetrica (a destra) dell'area di indagine. Le quote sono espresse in m.sl.m.m.

Il modello della parete

Si sono applicati due metodi d'interpolazione data la grande densità di punti a disposizione. Il primo metodo applicato è stato un classico TIN (*Triangular Irregular Network*) secondo le regole di Delaunay, con una risoluzione di 0.1 m, praticamente equivalente al passo medio dei punti ottenuti dalla scansione su superficie indisturbata.

Il secondo metodo d'interpolazione utilizzato è un IDW (*Inverse Distance Weighted*) ad esponente 2 per la distanza ($1/d^2$), raggio di ricerca variabile tra punto e suoi vicini per un massimo di 12 punti in prossimità di ciascun dato. I modelli della superficie sono stati trattati con gli algoritmi di *surface analysis* per i comuni DEM (modelli d'elevazione digitale), tenendo in dovuto conto l'inversione dei

dati tra y e z; sono state calcolate in prima istanza, le derivate prime, ossia pendenza, direzione di massima pendenza (esposizione) e lumeggiamento.

Rimozione degli elementi di disturbo

Una questione interessante si è posta nell'individuazione e rimozione degli errori. Essi sono classificabili in due più evidenti categorie: a) errori di acquisizione dello strumento; b) errori dovuti alla presenza di ostacoli fisici.

Il primo errore a sua volta è divisibile in: 1) errore di giunzione di acquisizioni contigue; 2) *striping*, dovuti forse ad un difetto meccanico dello strumento in fase d'acquisizione.

Su questo tipo di errori si è operata una rimozione tramite filtraggi della superficie via FFT (*Fast Fourier Transform*) applicata a diverse frequenze.

Diverso approccio è stato applicato al disturbo provocato dalla presenza della vegetazione arboreo-arbustiva, che è stata identificata, quantificata e isolata. Si è agito in tal senso per due motivi:

1. ragionare su statistiche della sola superficie rocciosa o al massimo della superficie rocciosa coperta da un debole strato di suolo;
2. creare delle statistiche sulla distribuzione e grandezza degli impianti arboreo arbustivi.

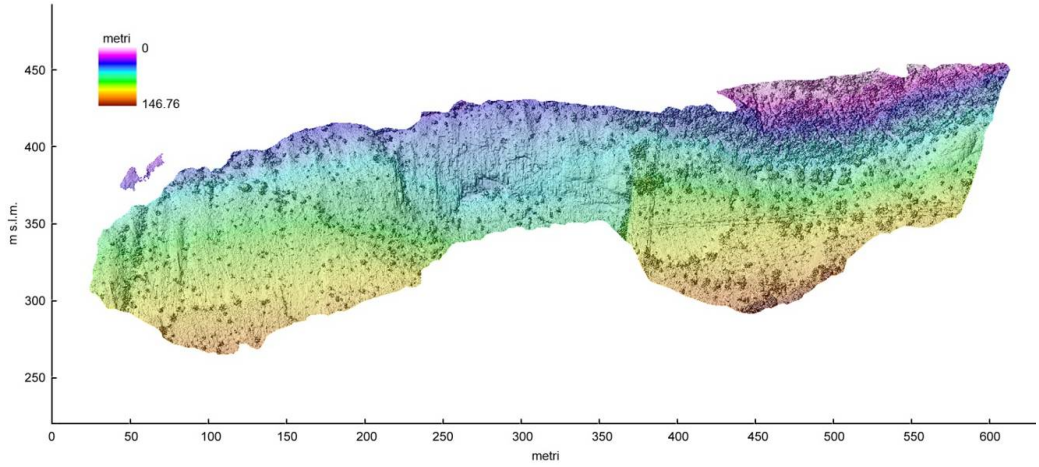


Figura 2. Modello della parete di Serravalle realizzato con interpolazione IDW. Tinte ipsometriche di profondità verso l'osservatore con lumeggiamento. Le zone frastagliate subcircolari, di diversa grandezza corrispondono a vegetazione arboreo-arbustiva.

FFT (Fast Fourier Transform)

Questa operazione consiste in una tecnica di filtraggio dei valori dei pixel atti ad enfatizzare o a ridurre certe classi di valori stessi. L'immagine originaria, la cui distribuzione di valori viene considerata come la somma di più onde armoniche a diversa frequenza ed ampiezza, viene scomposta nella parte reale e immaginaria di un numero complesso, più un esponente per cui questi due valori vanno elevati per ottenere il dato originario. Modificando opportunamente questo esponente è possibile ricomporre l'immagine originaria filtrando certe lunghezze d'onda in modo da eliminarle o ridurne l'importanza. In particolare è molto efficace per ridurre le armoniche della superficie verso forme più semplici e ampie che contengono forme più complesse; ad esempio con filtri *low pass* è possibile isolare le morfologie più estese ed elementari.

Nel nostro caso si sono applicati filtri *low pass* nella modalità di Hannings che, utilizzando una funzione sigmoidale, rende il passaggio graduale tra i valori filtrati: il raggio di *cut off* con cui si

escludono le frequenze meno rappresentative dei dati originali è stato posto a 25 m, 15 m, 6.5 m e 4.5 m, ottenendo via via *smoothing* sempre più incisivi sulle piccole forme. Questa tecnica di filtraggio permette da un lato di attenuare disturbi dati dalla presenza di piccoli *cluster* di valori anomali (la vegetazione) e dall'altro di ottenere delle forme principali, riconducibili a scale di analisi più ampie.

Identificazione della vegetazione

La vegetazione è stata isolata mediante due metodi. Il primo, più classico, tramite *unsupervised classification* di foto georiferita (rispetto al modello); il secondo tramite riclassificazione del modello della parete.

Nel primo metodo si è georiferita, in ArcGIS10.0, una foto della parete rispetto al modello della superficie: tramite l'ancoraggio di 52 punti e applicando una correzione *spline* che forza i punti di ancoraggio a coincidere, si realizza una ridistribuzione graduale tra i valori dei pixel, evitando effetti drastici e irrealistici. La foto così corretta è stata scomposta nelle tre bande rosso, verde e blu, e riclassificata tramite algoritmi di *clustering* in 9 classi (*cluster*) principali. Questa procedura è stata applicata in ambiente ENVI 4.8 con algoritmo ISODATA. Successivamente una lieve correzione della parte centrale, ha completato l'operazione. Aggregando opportunamente le 9 classi risultanti, è possibile ottenere una buona individuazione ed estensione della vegetazione.

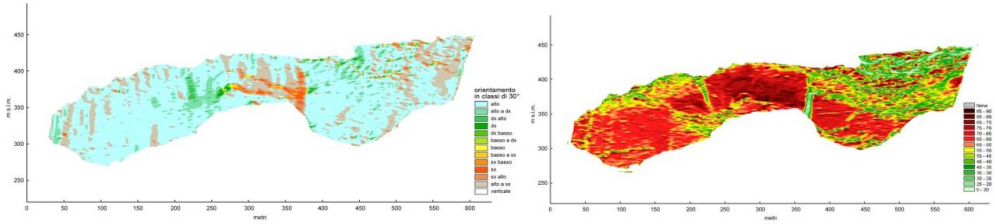


Figura 3. Mappe di orientamento (sx) e di inclinazione (dx) della parete di Serravalle sul modello dopo filtraggio Hanning low pass con "cutoff" a 6,5 m che consente di mantenere più del 99% di frequenze cumulative dell'immagine originaria. Si noti la riduzione in elementi più grandi e semplici della parete stessa.

Nel secondo metodo si sono isolate le inclinazioni del modello della parete superiori a 70° (20° reali) e si sono incrociate con la differenza tra il modello stesso e una sua versione filtrata tramite FFT Hanning *low pass* a 15 m (si ottiene così una versione più blanda di un filtro *high pass*, che individua le differenze maggiori a una certa soglia tra un valore e quelli adiacenti).
La vegetazione così individuata è stata utilizzata come elemento per il calcolo dell'indice di rischio della parete. In particolare si è suddiviso in quattro classi la presenza di vegetazione:

1. piccoli arbusti isolati;
2. arbusti di medie dimensioni, isolati o vicini tra loro;
3. grossi arbusti o alberi, probabilmente in più piante per stazione:
4. tessuto arboreo-arbustivo continuo, tipico delle pendenze minori come cenge, sommità e piede del rilievo.

Rischio connesso alla morfologia della parete in roccia

Inclinazione e sua direzione

Il modello della parete in roccia è stato analizzato nelle sue derivate prime di inclinazione e direzione di massima inclinazione. Si sono raccolti i dati di inclinazione in classi di 5° ciascuna, eccetto per l'ultima classe che raccoglie i valori da 0° a 20°; si sono poi raccolti i dati di esposizione in classi di 30° secondo il valore centrale (la classe 0°, indicante i valori orientati verso l'alto, comprende valori orientati in direzioni da 345° a 15°; la classe 30° valori orientati tra 15° e 45° è così via). Quindi si è moltiplicato il seno dell'angolo (classe di angolo) dell'inclinazione per il

coseno della classe d'angolo di esposizione e, per avere una scala di valori positivi, si è cambiato il segno alla moltiplicazione e si è sommato il valore costante "1.1".
Il primo calcolo di questo tipo è stata condotto sul modello filtrato tramite FFT Hanning low pass, *cut off* a 6,5 m (fig. 3), per avere un dato più generale sulla parete intera, il secondo invece è stato applicato sulle derivate del modello originario, privo di filtraggi.

Fratture e irregolarità della massa rocciosa
Di possibile interesse per una mappa di instabilità, l'individuazione e classificazione del reticolo di fratture, solchi, diedri e altre irregolarità della superficie rocciosa. Essi sono stati individuati calcolando il dislivello tra ogni quota e la sua minore adiacente, ottenendo una pendenza misurata come dislivello, a volte classificata come "energia del rilievo". Questo risultato è stato trattato come modello di superficie, essendo del resto un *raster* a valori reali, da cui si è ricavato il *runoff*, ovvero l'accumulo di unità di precipitazione per unità di superficie.

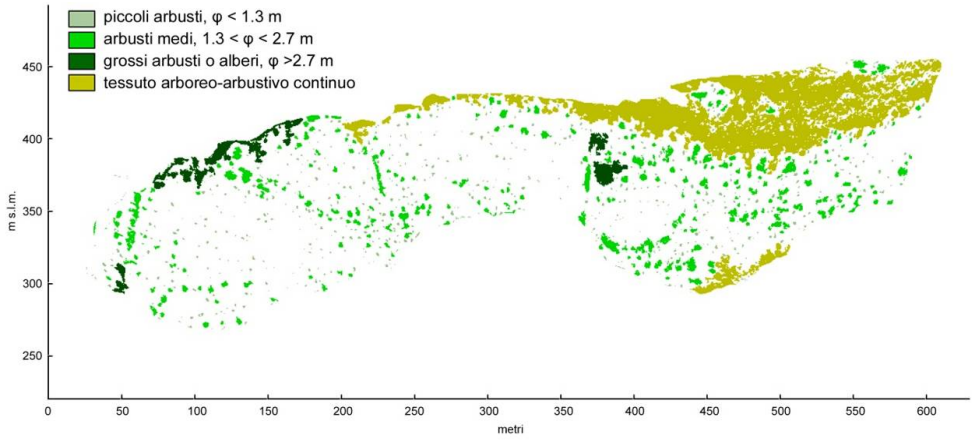


Figura 4. Riclassificazione della presenza di vegetazione in base all'estensione delle stazioni individuate.

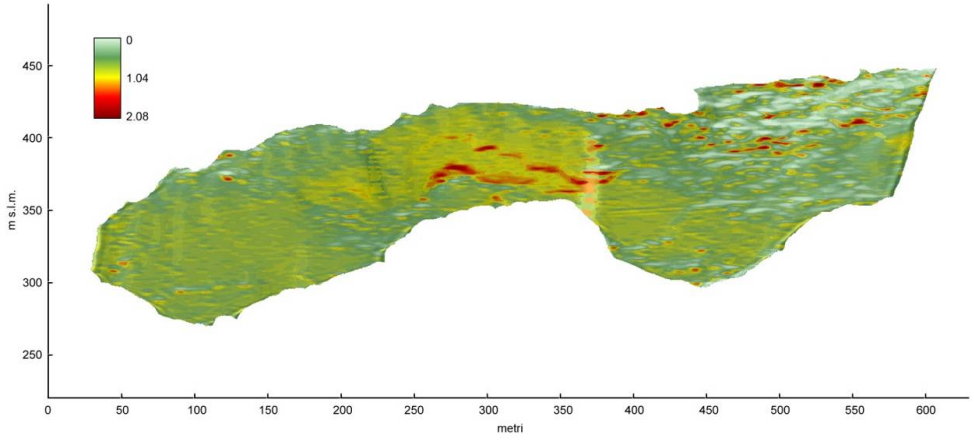


Figura 5. Mappa del rischio legato alla combinazione di inclinazione ed esposizione sul modello FFT Hanning low pass, cutoff 6.5 m. Il rischio aumenta andando dal verde al rosso.

Verso una mappa del rischio da instabilità

Le diverse informazioni dei dati elaborati dal modello della superficie per la morfologia e dalla foto terrestre georiferita per il tipo di copertura, sono state sintetizzate per testare la possibilità di creare una mappa tematica utile a definire il rischio di instabilità del versante. In questo caso si dispone di:

1. inclinazione della superficie;
2. esposizione morfologica della superficie rocciosa;
3. reticolo di fratture e irregolarità;
4. entità del dislivello del reticolo di fratture e irregolarità;
5. ubicazione ed entità della copertura arboreo arbustiva.

   Per la zona studiata, inoltre, sono reperibili le informazioni inerenti:
   - inclinazione media degli strati rocciosi;
   - escursione termica giornaliera proveniente da fotocamera.

Tutti questi dati possono essere caricati su un algoritmo *multi criteria evaluation* (MCE) che permette di pesare le variabili a disposizione e di sintetizzarle in una mappa finale che indicherà il diverso grado di rischio di distacco.

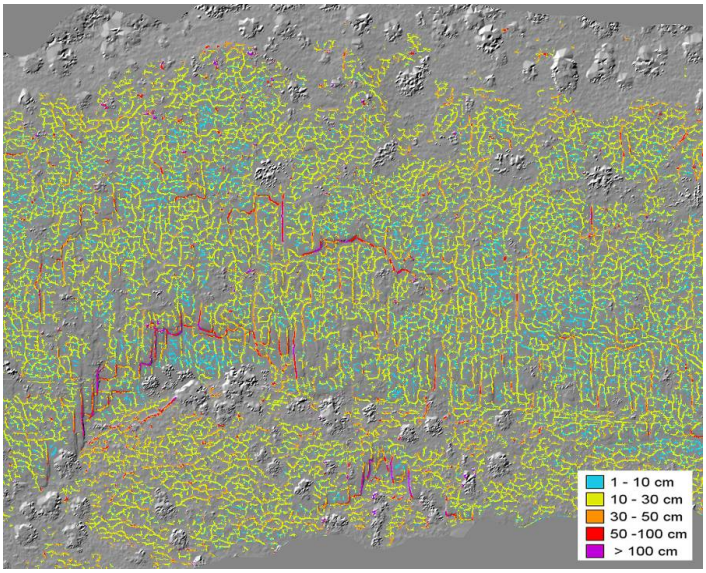


Figura 6. Particolare di reticolo di irregolarità della superficie rocciosa in cinque classi di entità di dislivello che esso realizza localmente. Il lato inferiore è lungo poco più di 100 m. Si noti come la vegetazione sia stata mascherata e come i dislivelli maggiori appartengano a fratture principali ad andamento rettilineo e/o parallelo.

Mappa della vulnerabilità della superficie

Attraverso una procedura *Multi Criteria Evaluation* (MCE) si è realizzata una mappa di vulnerabilità della parete in oggetto di studio. I vari fattori sono stati sintetizzati in un'unica rappresentazione. In questo caso sono stati considerati:

1. inclinazione della superficie
2. esposizione della superficie rocciosa
3. reticolo di fratture e irregolarità comprensivo del dislivello tra facce omologhe
4. ubicazione ed entità della copertura arboreo arbustiva

Questi quattro fattori, rappresentati come mappe della parete, sono stati standardizzati in modo da utilizzare un'unica scala di valori, ricampionando gli stessi tramite *stretch* lineare su scala valori *byte*, ovvero numeri interi nell'intervallo 0 - 255. Così, ad esempio, un'inclinazione di 90° diverrà 255, di 45° diverrà 127, e di 0° sarà 0.

I fattori standardizzati sono poi stati pesati con la tecnica *pairwise comparison*, in cui tutti i fattori vengono paragonati a due a due e viene assegnata l'importanza relativa dell'uno rispetto all'altro.
Nel caso in questione è stata data più importanza alla disposizione e entità della fratturazione e sfaccettatura (45%), chiaramente indice anche dei pregressi movimenti di materiale in parete, quindi a scalare all'esposizione delle faccette (32%), all'inclinazione delle stesse (13%) e infine minor peso alla presenza e consistenza della copertura della vegetazione (10%). Ottenuti i pesi i fattori vengono sommati, tramite MCE: quello che si ottiene è una mappa di sintesi i cui valori rappresentano la somma totale dei fattori di vulnerabilità concorrenti presi in considerazione.

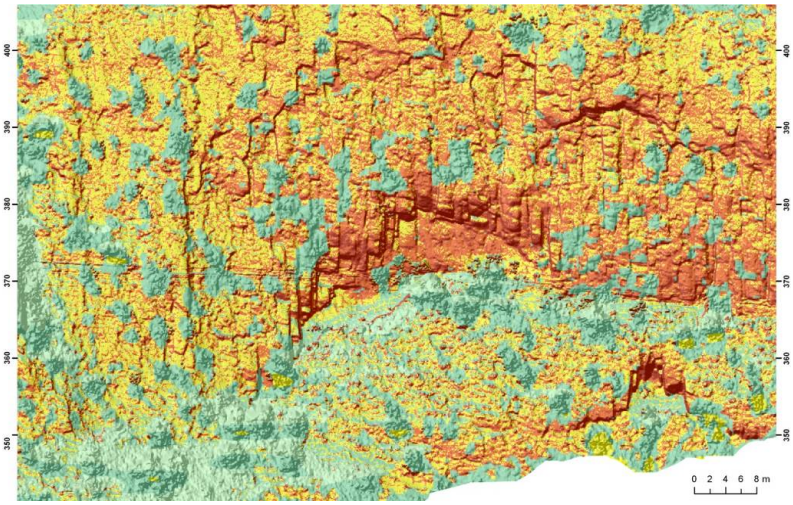


Figura 7. Mappa della vulnerabilità di superficie. Dettaglio della porzione centrale della parete di Serravalle. Si noti l'ambigua resa della vegetazione che in alcuni punti ha limitato l'individuazione, pur intuibile, del reticolo di fratture.

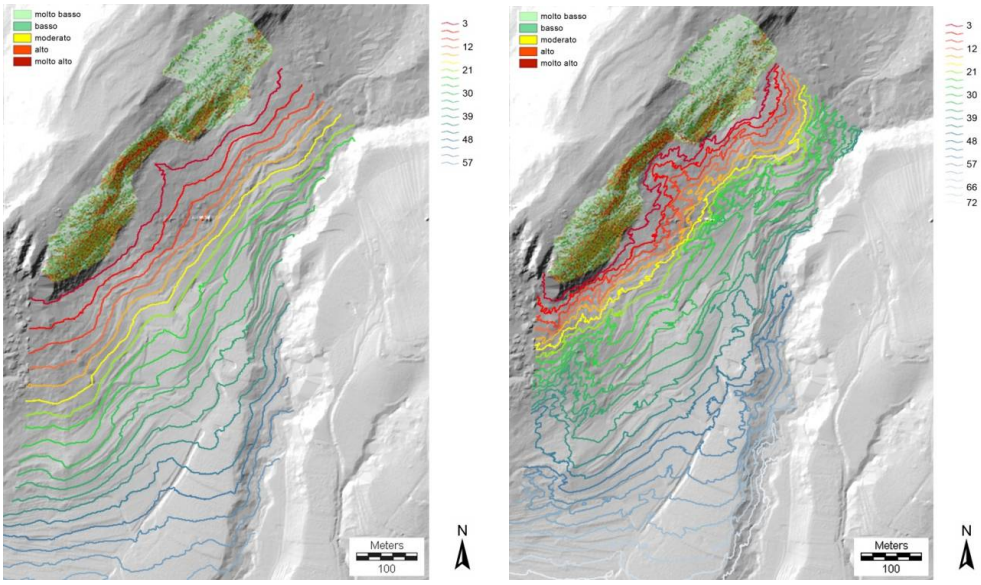


Figura 8. Mappa di "isoenergetiche" per movimenti gravitativi dalla parete di Serravalle, valori alto e molto alto. A sinistra isolinee ottenute dalle quote e in funzione delle pendenze. A destra mappa ottenuta da quote in funzione della pendenze e dal tipo di uso del suolo insistente.

Cost analysis

Dalla mappa di vulnerabilità della parete di Serravalle si è calcolata la distanza, in termini di costo energetico, dalle zone a vulnerabilità alta e molto alta. In questo approccio si sono riorientati i dati in senso zenitale e ricollocati in posizione georiferita. Quindi si è calcolata la distanza dalla zone suddette in funzione anche della morfologia (pendenza) effettiva presente poiché, ovviamente, essa influenza gli eventuali moti gravitativi che possono innescarsi. Per tale morfologia è stato utilizzato un LiDAR DTM a passo 1 m. Inoltre un secondo calcolo introduce anche frizioni derivanti dal tipo di uso del suolo, ottenute da riclassificazione di foto aeree.

Questa analisi è stata svolta sia in ambiente ArcGIS che Idrisigis, quest'ultimo per l'applicazione anche di frizioni isotropiche.

La *cost analysis* assegna ad ogni punto dell'area di studio l'ammontare di "energia" necessaria per raggiungere quel punto partendo dalle zone target (in questo caso gli elementi più vulnerabili della parete), considerando dove e quanto il terreno è favorevole (quanto attrito oppone) o sfavorevole. In tal modo è possibile ottenere una mappa di vulnerabilità o di rischio nel caso a essa si abbinasse una carta dell'uso del suolo.

Il tipo di uso del suolo è stato suddiviso in poche classi, essendoci nella scena essenzialmente bosco, vite, prato, strade e alcune abitazioni. Certo che la presenza del bosco può essere in grado di creare forti attriti ad eventuali movimenti e a questo è dovuta la contrazione delle isolinee di figura 8, a destra. Questo tipo di analisi non eccessivamente sofisticata, può comunque individuare in prima battuta criticità del territorio legate a fenomeni di questo tipo, inoltre, segmentando ulteriormente le *target zones*, si possono fornire indicazioni per zone più mirate.

Conclusioni

Come analizzato in questo studio, la morfologia delle pareti rocciose individuate da telerilevamento ad alta definizione è in grado di supportare con una messe di informazioni prima impensabile, i consolidati studi di geologia e geomorfologia applicati alla gestione del territorio, soprattutto con finalità di sicurezza dello stesso. Lo strumento laser scanner si presta per maneggevolezza e precisione all'acquisizione di questo tipo di dati che poi, elaborati in ambiente GIS, sono in grado di fornire conoscenze sempre più utili e raffinate.

Naturalmente ulteriori combinazioni con dati strutturali e stratigrafici, nonché termici o di tensione meccanica, concorreranno a formare un quadro sempre più esaustivo dello stato di conoscenza dei luoghi.

Bibliografia

Bondesan A., Busoni S. e Preto N. (2010) *Carta geologica della provincia di Treviso. Sezione 063160 – San Floriano, scala 1:10.000*

Drăguț L., Eisank C. "Object representations at multiple scales from digital elevation models." *Geomorphology* 129, (2011), 183-189.

Glenn, N.F., Streutker, D.R., Chadwick, D.J., Thackray, G.D., Dorsch, S.J. "Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity". *Geomorphology* 73, (2006), 131-148.

Guarnieri A., Vettore A. , Pirotti F., Menenti M., Marani M. "Retrieval of small-relief marsh morphology from Terrestrial Laser Scanner, optimal spatial filtering, and laser return intensity". *Geomorphology* 113, (2009),12–20.

Qiming Z., Pilesjö P. &. Y. "Estimating surface flow paths on a digital elevation model using a triangular facet network." *Water Resources Research* 47, no. 7 (2011).

Teza G., Galgaro A., Zaltron N., Genevois R. "Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: a new approach". Int. J. Rem. Sens. 28 (16), (2007), 3425-3446.

Ticci M., Kelson K., Brossy C. & Amos C. "Applications of LiDAR Data Analysis for Geomorphic Study." In *Geomorphometry 2011*, edited by T. Hengl, I. S. Evans, J. P. Wilson and M. Gould, 151-154. Redlands, CA, (2011).

Ricerca di un optimum nell'aggiornamento della Carta Tecnica Regionale Numerica e DB geografico presso il B.I.M. dell'Adige della Provincia di Verona

Narciso Bonuzzi (*), Andrea Cavalli (**), Giorgio Frigerio (***),
Mario Fondelli (****), Maurizio De Gennaro (*****)

(*) Responsabile area tecnica del Consorzio di Bacino Imbrifero Montano dell'Adige della Provincia di Verona,
Via Cà di Cozzi 41, 37124 Verona, Tel. 045.8344397, e-mail: info@bimadige.vr.it
(**) Responsabile tecnologia immagini oblique, Blom CGR, Via Cremonese 35/a, 43100 Parma,
Tel. 0521.994948, e-mail: andrea.cavalli@blomasa.com
(***) Direttore tecnico soc. AcadiaSIT, via Eleonora Duse 4. 27029 Vigevano (PV),
Tel. 0381.79689, e-mail: gfrigerio@arcadiasit.it
(****) Già Professore Ordinario di Topografia nella facoltà di ingegneria dell'Università di Firenze e
Università IUAV di Venezia, Facoltà di Pianificazione del Territorio, Via Jacopo Nardi 50,
50132 Firenze, Tel. 055.243898, e-mail: m.fondelli@3consulting.it
(*****) Dirigente dell'Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia della Regione del Veneto,
Calle Priuli, Cannaregio 99, 30121 Venezia, Tel. 041.2792577, e-mail: maurizio.degennaro@regione.veneto.it

Riassunto

La gestione del sistema informativo territoriale del B.I.M. Adige pone il problema della sua affidabilità nel tempo per gli effetti dei diversi eventi naturali ed antropogeografici che tendono a modificare i contenuti acquisiti alla data di riferimento.

Un invecchiamento degli stessi elaborati geotopocartografici sollecita quindi un loro aggiornamento dinamico capace di salvaguardare nel tempo il grado della loro affidabilità statistica informativa di partenza. Questione che in questi territori è stata finora affrontata attraverso un completo rifacimento degli elaborati cartografici.

Per assicurare la necessaria tempestività delle operazioni di aggiornamento, appare pertanto indispensabile snellire la prassi finora seguita ricorrendo ad una integrazione degli elaborati con delle priorità adeguate alla rapidità degli stessi processi di invecchiamento.

L'esperienza effettuata dal consorzio B.I.M. Adige, ha evidenziato come possa giocare un ruolo di particolare importanza per la conoscenza dei luoghi e dell'ambiente, la disponibilità del *"pentaview"* relativo alle aree di interesse. Una documentazione georeferenziata nello stesso sistema di riferimento, utilizzabile secondo la sperimentata prassi del 'survolo' e agevolmente trattabile ai fini della relativa restituzione per '*overlay*' tramite un ordinario '*best fitting 3D*',è in grado di integrare e correggere i dati geografici inizialmente acquisiti per il contestuale periodico aggiornamento '*up to date*'.

Abstract

The management of geographic information system of "BIM Adige" raises up the question of its reliability in the future, the effects of different natural events and antropogeographical which modify the content obtained at the date.

Aging of the studies geotopocartographical forces a dynamic update that makes them capable of maintaining over time the level of their statistical reliability information. To ensure the necessary timeliness of update operations, it is therefore essential to streamline the current practice using an integration of the projects with the priorities appropriate to the speed of the same processes of aging.

The experience of the consortium B.I.M. Adige, showed how it can play a particularly important role for local knowledge and the environment, the availability of "PentaView" relating to areas of interest. The Documentation georeferenced in the same reference system, used in accordance with the practice of 'survolo', and easily manageable for the purposes of their return to 'overlay' by an ordinary 'best fitting 3D', is able to integrate and adjust the geographic data initially acquired for their contextual periodic update 'up to date'.

Premessa

Il Consorzio del Bacino Imbrifero Montano dell'Adige di Verona, di seguito denominato Consorzio B.I.M. Adige, riunisce quell'insieme di territori, perimetrati per decreto del Ministero dei Lavori Pubblici, le cui acque confluiscono in un ampio territorio circostante, punto di confluenza di un intero sistema idrografico, ovvero la valle dell'Adige e il Lago di Garda.

Ad esso aderiscono ventinove comuni: Malcesine, Ferrara di Monte Baldo, Brentino Belluno, San Zeno di Montagna, Caprino Veronese, Rivoli Veronese, Dolcè, Sant'Anna d'Alfaedo, Fumane, Sant'Ambrogio di Valpolicella, Marano di Valpolicella, Negrar, Boscochiesanuova, Grezzana, Cerro Veronese, Roveré Veronese, Erbezzo, Velo Veronese, San Mauro di Saline, Verona, Mezzane di Sotto, Selva di Progno, Badia Calavena, Tregnago, Vestenanova, San Giovanni Ilarione, Cazzano di Tramigna, Roncà, Montecchia di Crosara.

Il Consorzio B.I.M. Adige, costituitosi nel 1954, è il destinatario degli indennizzi per i disagi conseguenti alla realizzazione di bacini, impianti per la produzione di energia idroelettrica nelle aree montane previsti dall'applicazione della Legge 27 dicembre 1953 n. 959, la quale prevede un sovracanone a carico dei concessionari di derivazioni d'acqua pubblica finalizzata alla produzione di forza motrice, e di quanti hanno opere di presa sopra i 500 metri all'interno del bacino imbrifero dell'Adige.

In coerenza con quanto indicato nella Legge suddetta, il Consorzio B.I.M. Adige, all'art. 2 del proprio Statuto, ha posto, quale obiettivo centrale della propria operatività, l'attivazione di tutte le iniziative e le incentivazioni idonee a favorire lo sviluppo economico e sociale della montagna veronese secondo una programmazione triennale da realizzare con investimenti annuali specificamente destinati.

Considerato che le realtà comunali ricomprese nell'ambito territoriale consortile, sono caratterizzate da:

- territori di dimensioni modeste con peculiarità altimetriche tali da comportare disagi nella fornitura dei servizi e nelle attività di controllo;
- strutture gestionali assai ridotte (uffici tecnici sguarniti e/o affidati a personale esterno);
- conoscenza approssimativa del territorio, conseguente a rilievi parziali, spesso realizzati in modo impreciso e/o da terzi con inadeguata competenza;
- cronica carenza di risorse umane e tecnologiche.

e rilevato, altresì, che per tutti i Comuni è vitale la conoscenza puntuale del proprio territorio e la possibilità di seguirne l'evoluzione in tempo reale, il Consorzio B.I.M. Adige ha da tempo posto in essere il progetto "SER.P.I.CO." (Servizi Permanenti Informativi Comunali), che si configura come un intervento strategico globale di sistema finalizzato a fronteggiare e risolvere le difficoltà funzionali proprie dei sistemi operativi dei singoli Comuni.

L'impiego costante e organicamente strutturato di tecnologie innovative al servizio della struttura organizzativa del Consorzio B.I.M. Adige in appoggio alle realtà locali, ha consentito di sviluppare sinergie ad alta efficienza e stringente efficacia operativa.

Ciò ha garantito, oltre ad un'altrimenti impensabile linearità di funzionamento, anche notevoli vantaggi in termini economici e temporali, favorendo, aspetto di non minore importanza, l'integrazione armonica di ambienti amministrativi non sempre in grado di assettarsi adeguatamente fra loro in modo veloce e proficuo.

Ne è nata una sorta di holding tecnico-amministrativa funzionalmente calibrata sulle complesse esigenze di un territorio articolato e multiforme, ancorché sostanzialmente omogeneo sul piano ambientale, morfo-geologico e amministrativo.
Dopo la costituzione del polo tecnico oggi strutturato su tecnologia cluod computing, che garantisce nel tempo, la raccolta e la diffusione di dati e servizi ai Comuni, è scaturita l'urgenza di adeguare i sistemi informativi comunali con dati aggiornati e innovativi, pertanto sono già stati realizzati: una nuova CTRN e DB geografico in collaborazione con la Regione del Veneto, una scansione laser aerea integrata nel Progetto Nazionale di Telerilevamento del Ministero dell'Ambiente e un visualizzatore nadirale/prospettico metricamente sensibile denominato 'Pentaview'. Strumenti strutturati e perfettamente integrati nel geoportale del Consorzio a disposizione dei Comuni.
Su sollecitazione dei Comuni consortili si pone ora il problema di mantenere in manutenzione il sistema delle informazioni sia funzionalmente, che temporalmente. Il sistema di comunicazione Comuni/Consorzio deve essere garantito durante gli orari d'ufficio, affidabile e stabile nel tempo; contemporaneamente si pone il problema dell'aggiornamento dei dati fotografici, cartografici ed alfanumerici già prodotti. E' questo il tema che questo Consorzio si appresta ad affrontare sia da un punto di vista organizzativo che funzionale.

Accuratezza temporale del sistema
Messo a punto un sistema informativo geografico come quello del B.I.M. Adige, è senza dubbio la sua accuratezza temporale ad essere più labile, considerando che in generale un GeoDB assembla entità di natura alquanto eterogenea e differenziata, tutte identicamente datate, ma suscettibili di verificare ognuna un proprio specifico tasso di invecchiamento naturale, variamente accelerato nel tempo in relazione alle proprie caratteristiche fisiche ed allo sviluppo del territorio interessato. E questo logicamente comporta, la necessità di evidenziare nella forma più chiara possibile, per ciascuna di esse, la rispettiva epoca di riferimento, od epoca di aggiornamento.
Il problema della definizione dell'accuratezza temporale, o per meglio dire della reale affidabilità temporale, dei dati geografici collazionati dal sistema, può essere risolto in base a valutazioni contingenti e soggettive, ma deve essere comunque affrontato sul piano teorico facendo sempre riferimento a criteri oggettivi di stima, ispirati possibilmente al principio della massima verosimiglianza statistica, in relazione alla corrispondenza biunivoca di volta in volta assicurata dal sistema in esame.
Come noto, la corrispondenza biunivoca metrica e informativa di un sistema informativo geografico viene correntemente assicurata con la probabilità massima del 95%, appare quindi del tutto legittimo che, stabilito il limite fiduciario della significatività statistica intorno al 5% per le possibilità di rigetto, si debba far riferimento sempre a questo stesso limite fiduciario per valutare la perdita di affidabilità generale dello stesso sistema geografico, col progredire dei fenomeni ricorrenti nel processo di invecchiamento naturale.
Un processo che, modificando la significatività statistica intrinseca del sistema informativo geografico medesimo, compromette di fatto anche la sua specifica corrispondenza biunivoca, che non risulta più in grado di garantire l'originaria affidabilità delle informazioni geografiche, metriche e tematiche, collazionate con la presunta probabilità del 95%.
Logicamente, col progredire del processo di invecchiamento, l'originaria regione critica dei tests si modifica, superando gradualmente il limite fiduciario prefissato, e la significatività statistica del campione regredisce, per cui l'ipotesi di progetto viene gradualmente compromessa e l'elaborato tecnico diviene sempre meno affidabile. E proseguendo il fenomeno, in prosieguo di tempo, allorché la sua significatività statistica residua finirà per ridursi al livello del 50%, corrispondente all'incertezza matematica, il sistema medesimo dovrà essere dichiarato obsoleto.
Naturalmente, non tutti i dati geografici metrici, descrittivi e tematici, recepiti nei GeoDB geografico, potranno essere dichiarati uniformemente obsoleti, poiché non tutti colpiti dallo stesso tasso di invecchiamento temporale. Ragione per cui, si porrà il problema di ripristinare la perduta significatività complessiva, e questo comporterà a seconda dei casi, un'operazione di semplice

aggiornamento parziale dell'elaborato medesimo, allorché si richieda di reintegrare una continuità informativa vulnerata nella documentazione del territorio interessato, oppure una sua completa formazione ex-novo, quando risulti alquanto più conveniente rinnovare la sua sconvolta corrispondenza biunivoca, per adeguare lo stesso sistema informativo geografico alla nuova realtà oggettiva territoriale.

Prospettive nel "updating" del sistema geografico

Come noto, la formazione della Cartografia Tecnica Regionale Numerica e DB Geografico si sviluppa sempre per fasi operative distinte e successive, regolate ciascuna da specifiche prescrizioni tecniche, e i relativi elaborati intermedi prodotti sono controllati sempre in corso d'opera, prima di essere ammessi ad ogni trattamento successivo. Una prassi operativa che non può esser certo tralasciata nell'aggiornamento, o "updating", del sistema in oggetto.

Il processo di invecchiamento degrada l'accuratezza del sistema, nelle sue essenziali espressioni di accuratezza temporale, accuratezza posizionale e accuratezza tematica. Ripristinare l'accuratezza temporale, secondo la prassi consolidata, consente di recuperare contestualmente anche le altre accuratezze.

E' stato già rilevato, come questo ripristino possa realizzarsi, sia attraverso la ripetizione ex-novo della formazione della CTRN e del DB Geografico, riproponendo un nuovo prodotto informativo completamente in linea col tempo, sia attraverso nuove porzioni aggiornate degli stessi elaborati nelle aree territoriali sottoposte a degrado od obsolete.

Due possibilità alternative, che possono rivelare due diversi rapporti tra costo e beneficio, e che sul piano operativo possono peraltro pervenire a prodotti di scarsa qualità temporale, soprattutto quando la copertura aerofotogrammetria necessaria sia molto estesa e, per impreviste circostanze di forza maggiore, venga a dilatarsi in un lungo arco di tempo di incerta datazione.

Un immediato e semplice contributo alla soluzione del problema del periodico aggiornamento degli elaborati predetti, può essere offerto dall'utilizzazione integrata del *Lidar* e delle prese nadirali ed oblique del visualizzatore *Pentaview*.

L'utilizzazione fotogrammetrica delle prese fotografiche oblique è stato oggetto in passato di mirate ricerche teoriche e sperimentali a livello internazionale. Il trattamento fotogrammetrico delle prese oblique presenta infatti, rispetto al trattamento delle normali prese nadirali, la soluzione di complesse problematiche inerenti alle deformazioni prospettiche delle immagini, prodotte dall'inclinazione dell'asse ottico di presa che induce una variazione continua della scala dimensionale degli oggetti fotografati.

La tecnologia che realizza la visione prospettica disponibile nel visualizzatore *Pentaview* si è sviluppata, come noto, da una fusione delle tecnologie avanzate di *Airborne remote sensing, Inertial measurement, Precision airborne GPS, Geo-referenced digital imaging, Digital image processing, Digital fotogrammetry, Data processing, Warehouse and management, e Softcopy data extraction*.

Un processo integrato, che definisce nei fatti un vero e proprio sistema informativo territoriale, costituito essenzialmente da immagini digitali nadirali ed oblique a colori ed alta risoluzione degli spazi territoriali considerati, osservabili e analizzabili da varie direzioni contrapposte ed a scale dimensionali variabili, attraverso un apposito software di gestione ed elaborazione *Pentaview*.

Il sistema di visualizzazione consente infatti di analizzare agevolmente "a volo di uccello" le immagini solide degli stessi oggetti e di analizzarne altresì accuratamente ogni delineazione di dettaglio (*figura 1*). La georeferenziazione delle immagini a livello del pixel, consente infatti di esplorare tutto il campo visibile dell'immagine obliqua, di misurare le dimensioni spaziali dei diversi oggetti ritratti, di effettuare degli zoom sugli elementi o porzione di particolare interesse, e di ottenere infine informazioni sulla forma, sulla posizione, sul colore, sulle dimensioni (distanze, superfici, altezza) sulla quota riferita al livello del mare, sulla destinazione d'uso, ecc. di tutti gli elementi visibili nelle molteplici immagini disponibili (circa 10 per le oblique e circa 10 per le nadirali).

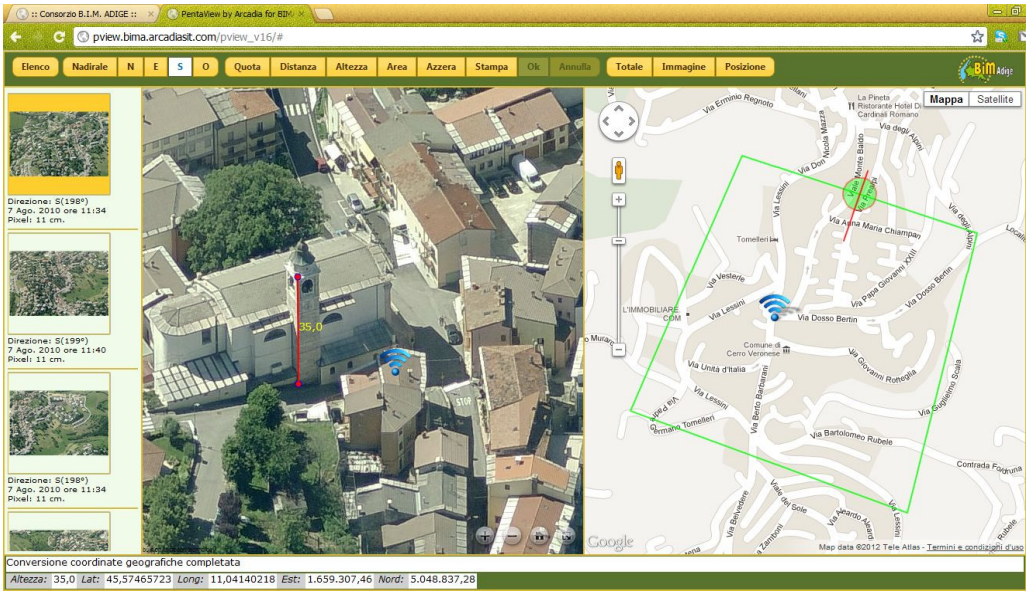


Figura 1. Vista prospettica con misura di altezza, ingombro al suolo del fotogramma e immagini disponibili.

Una documentazione fotogrammetrica che può essere, a seconda delle urgenze, sistematicamente rinnovata a basso costo e in tempi alquanto ristretti, per fornire informazioni sulle variazioni delle consistenze e degli stati di conservazione del patrimonio edilizio considerato, nonché sull'evoluzione dell'ambiente urbano e delle diverse risorse naturali territoriali coinvolte.
Il software di gestione *Pentaview* assicura infatti la possibilità di sostituire celermente, nell'esplorazione dell'area ritratta e nelle osservazioni di misura, una veduta prospettica dopo l'altra realizzate anche in epoche diverse; di variarne la scala di esplorazione in progressione geometrica, dall'ingrandimento del 100% fino a quello del 1600 %; di determinare le relative posizioni geografiche nel sistema di riferimento adottato, con approssimazioni compatibili con la risoluzione propria delle diverse immagini digitali a colori osservate.
Uno strumento di indagine piuttosto prezioso per l'aggiornamento del sistema in oggetto e che, dal punto di vista del suo inquadramento geometrico generale, può sostituire l'aerotriangolazione spaziale con la più flessibile applicazione della metodologia del survolo (che costituisce una elementare triangolazione aerea ad un solo fotogramma) e la ricognizione tradizionale con l'osservazione diretta di qualsiasi emergenza antropica o naturale da molteplici punti di vista.

Sperimentazione di '*updating*' realizzata dal B.I.M. dell'Adige di Verona

L'applicazione di questa metodologia comporta logicamente la disponibilità di appropriate prese fotogrammetriche aeree, effettuate con la stessa camera metrica o con altra simile, da quota relativa diversa. Costituenti nel loro insieme un ridottissimo insieme di stereogrammi, idonei a coprire sia l'insieme dei punti noti a terra, che le strisciate o i blocchi di strisciate, oggetto del rilevamento.
La prassi operativa relativa è quella aerofotogrammetrica servoassistita dal sistema inerziale Applanix il quale, attraverso l'integrazione dei dati GPS, con i dati raccolti dall'IMU, permette di determinare sia le coordinate dei singoli centri di presa (latitudine, longitudine e quota ellissoidica) sia l'assetto angolare (ω, φ e κ) dell'asse ottico della camera al momento dello scatto al fine di garantire per cui ogni singolo fotogramma la georeferenziazione e l'orientamento nello spazio.
Appare evidente che, nel caso specifico dell'aggiornamento parziale del sistema in oggetto, debba essere la primitiva copertura fotogrammetrica del territorio ottenuta attraverso la originaria presa

nadirale, oppure la restituzione numerica della CTRN o del DB Geografico, ad assolvere la funzione propria della copertura di base. Ragion per cui, la nuova copertura fotogrammetrica aerea Pentaviews dovrà presentare nel suo insieme una scala fotografica diversa da quella di impianto, suscettibile di individuare così l'insieme dei nuovi punti fotografici di appoggio da utilizzare per l'aggiornamento in oggetto

La sovrabbondanza dei dati disponibili consentirà di ricavare, insieme alle coordinate dei punti di appoggio necessari per le operazioni di aggiornamento, anche un saggio della precisione formale dell'operazione compiuta.

Una documentazione fotogrammetrica georeferenziata nel sistema di riferimento degli elaborati invecchiati, con una copertura equipollente non generalizzata sul territorio interessato, ma bensì frazionata in funzione delle richieste di urgenti priorità, utilizzabile secondo la sperimentata prassi del "survolo", e agevolmente trattabile ai fini della relativa restituzione per "overlay" tramite un ordinario "best fitting 3D", in grado di integrare e correggere i dati geografici inizialmente acquisiti, per il loro contestuale periodico aggiornamento "up to date".

È appunto partendo da queste premesse ed usufruendo di una collaborazione interdisciplinare che è stata resa possibile una sperimentazione tesa a mettere a punto una procedura operativa più snella e più rapida di aggiornamento dei dati geografici in oggetto. Un saggio che, opportunamente verificato e controllato sul terreno, ha consentito di raggiungere un "optimum" del rapporto di base fra costo e benefici e che ha suggerito l'ulteriore applicazione della procedura messa a punto nella ordinaria manutenzione dinamica del sistema informativo del B.I.M. Adige.

I tests sono stati effettuati sul fabbricato in quanto sul manufatto edilizio si concentra soprattutto l'interesse dei Comuni e lo stesso può presentare forme articolate e complesse che ben si prestano per verificare le potenzialità del visualizzatore/digitalizzatore. In particolare sono stati testati i dati altimetrici e le misure di altezza dei manufatti, misura che presenta le maggiori incertezze nella misurazione.

I manufatti sono stati dapprima visionati 'a tutto tondo' misurando/valutando lo sporto di gronda e le eventuali variazioni volumetriche, successivamente è stato digitalizzato il sedime del fabbricato registrandone automaticamente le coordinate planimetriche, la quota al piede e l'altezza in gronda (figura 2 e 3).



Figura 2 e 3. Viste prospettiche con misure di altezza.

L'osservazione delle immagini disponibili hanno consentito anche l'individuazione della tipologia edilizia, la categoria d'uso, lo stato d'uso ecc. popolando di fatto il DB associato.

Acquisiti con *pentaview* tutti gli oggetti territoriali che costituiranno *l'updating* della CTRN e DB geografico si provvederà al successiva fase di strutturazione del geodatabase sul modello IntesaGis secondo le specifiche di cui al Decreto 10/11/2011 – Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici.

Analisi metrica dei risultati e osservazioni conclusive

L'esame della qualità informativa offerta nell'*updating* mediante survolo *pentaview* ha comportato un confronto descrittivo e posizionale coniugato di oltre 40 entità virtuali topografiche coniugate individuate nei due diversi modelli digitali risultanti, quello fornito dal sistema informativo geografico originario e quello misurato con *pentaview* dagli esiti planimetrici scontati come risulta dalle immagini seguenti (figura 4 e 5):





Figura 4 e 5. Sovrapposizione rilievo cartografico su pentaview.

Dall'insieme dei tests realizzati si deducono le seguenti risultanze valutate in scarti quadratici medi:

misure di altezza su fabbricati SQM= ± 0,22 m
altimetria(riferita al DTM) SQM= ± 0,22 m

precisioni che rientrano ampiamente nelle prescrizioni dei capitolati tecnici di produzione della CTRN e DB geografico.

Parimenti più conveniente è risultato infine, al confronto per ettaro, il rapporto fra costo e beneficio dell'applicazione del survolo frammentato, rispetto al rifacimento ex-novo dell'insieme.

Il rappezzo "updating" proposto recupera dunque a pieno il "grado di conformità" allo standard preordinato per il sistema informativo geografico del B.I.M. dell'Adige secondo le sue diverse precisazioni specifiche di accuratezza posizionale, accuratezza tematica e accuratezza temporale, riferito alla qualità dei risultati conseguiti, che come noto si differenzia dalla precisione dei dati, che attiene invece alla qualità metrica delle operazioni svolte per il relativo conseguimento. Un parametro, quello della precisione, da associare sempre al grado di approssimazione dei mezzi impiegati e delle operazioni tese ad assicurare l'omogeneità dei dati acquisiti.

Un'operazione realizzabile però fino a quando la significatività statistica residua del sistema informativo geografico del B.I.M. Adige non abbia a ridursi al livello del 50%, e il sistema medesimo non debba rivelarsi ormai completamente obsoleto. Un limite oltre il quale dovrà evidentemente predisporsi una sua integrale riedizione, facendo astrazione dagli oneri di impresa e dal relativo rapporto fra costo e beneficio.

Riferimenti bibliografici

Fondelli M. (1991), "Manuale di Topografia". *Volume terzo. Editori Laterza*.

Surace L. (1998), "La georeferenziazione delle informazioni territoriali. Bollettino di Geodesia e Scienze affini", *Anno LVII, N. 2*.

Kasser M. and Egels Y. (2002), "Digital Photogrammetry". *Taylor & Francis Ltd. London*.
De Gennaro M. Fondelli M. (2003), "La Carta Tecnica Regionale Numerica della Regione del Veneto: l'aggiornamento dei dati geografici". *7a Conferenza Nazionale ASITA. ATTI, Volume primo.*
Fondelli M. (2005), "Precisione e obsolescenza dei database geografici della Cartografia tecnica regionale numerica". *CartoGraphica N. 14.*
Fondelli M. (2008), "Nuove prospettive nel rilievo urbano applicate ai sistemi a tre dimensioni. Il cantiere della conoscenza". *Arte Tipografica Editrice.*
US Geological Service NGP (2010), "Lidar Guidelines and Base Specification".
Fondelli M., Gasperi M., Floris A. (2010), "Analisi qualitativa del dato Lidar nell'informazione territoriale ad alta risoluzione". *Atti 14° Conferenza Nazionale ASITA. Brescia.*.

Tecniche di telerilevamento integrate e GIS a supporto della stima del potenziale fotovoltaico dei tetti nel comune di Avellino

Flavio Borfecchia (*), Luigi De Cecco (*), Sandro Martini (*), Maurizio Pollino (*), Luigi La Porta (*), Alessandro Marucci (**), Emanuela Caiaffa (*)

(*) ENEA UTMEA, Unità Tecnica Modellistica Energetica ed Ambientale, C.R. Casaccia, Via Anguillarese 301, 00123 Roma, Tel. 06.3048.6042, Fax 06.3048.3362, e-mail flavio.borfecchia@enea.it
(**) PhD, Università dell'Aquila

Riassunto

Negli ultimi decreti legge (4° Conto Energia (C.E.) del Gennaio 2012 e successivi) del Governo Italiano relativi all'incentivazione del fotovoltaico (PV) c'è, tra l'altro, un chiaro orientamento teso a supportare e sviluppare maggiormente la diffusione degli impianti PV sui tetti degli edifici rispetto a quelli installati a terra, al fine di evitare la competizione con gli altri usi strategici dei suoli, come ad esempio quelli naturali ed agricoli. In questo contesto assume, quindi, un'importanza rilevante, in termini di pianificazione e controllo per il PV, la stima estensiva ed efficace della disponibilità e qualità di superficie utile in corrispondenza di coperture di strutture residenziali ed industriali esistenti. Tale tipologia di "*land use*" è densamente rappresentata, ovviamente, negli agglomerati urbani la cui notevole eterogeneità 3D ed in termini di albedo, torbidità atmosferica ed ombreggiature, influenza notevolmente l'irradianza solare locale e rende necessario tener conto in modo adeguato di tali fattori distribuiti con strumenti GIS e di modellistica avanzati per ottenere stime realistiche ed affidabili a livello dei tetti. In quest'ottica, sono state sviluppate metodologie basate su tecniche di *Remote Sensing* da piattaforme satellitari ed aeree per l'analisi estensiva dei parametri geometrici e tipologici degli edifici e delle loro coperture in aree urbane, a supporto della stima estensiva del potenziale PV locale e di una sua mappatura. Per la caratterizzazione delle specifiche aree urbanizzate selezionate nel territorio del Comune di Avellino, sono stati utilizzati in maniera integrata rilievi di tipo aerofotogrammetrico e LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) unitamente a dati multispettrali satellitari ed aerei. E' stata dapprima ottenuta una stima estensiva dei parametri geometrici e delle caratteristiche planimetriche tridimensionali delle coperture di ogni edificio nelle aree d'interesse attraverso il DSM (*Digital Surface Model*) derivato dai rilievi LIDAR sotto forma di nuvola di punti *(point cloud*). Successivamente per tener conto della componente diffusa e riflessa della radiazione solare, inclusa la copertura nuvolosa, ci si è avvalsi anche delle risorse GIS messe a disposizione, a livello Europeo, per lo specifico settore PV (PVGIS),integrandole opportunamente con elaborazioni derivate da rilievi satellitari. Infine, dopo la valutazione dell'albedo effettuata tramite tecniche di *Remote Sensing* passivo multispettrale e modellistica, tramite gli specifici applicativi, attualmente disponibili anche in ambienti open-source, sono state prodotte le mappe finali di radiazione solare ottimizzate per ciascun edificio nelle aree di interesse.

Abstract

The last rules approved by Italian government to financially support the solar Photovoltaic (PV) Energy production development (4° Conto Energia (C.E.) del Gennaio 2012 e successivi), include specific indications for exploiting to this end the roofs or covers of the buildings or other infrastructures where the PV installations are more favorably funded than those placed on ground in order to avoid the competition with other strategic land uses like those of agriculture or naturals. In this context it becomes important, for proper PV potential planning and monitoring, the

extensive mapping of the available surface corresponding to cover and properly assessing its quality in term of PV potential. Since the covers are mainly located in urban or industrial areas whose 3d heterogeneity, albedo, atmospheric turbidity and casting shadows significantly influence the local solar irradiance it is necessary to suitably account for these distributed factor by means of GIS mapping and advanced modeling tools in order to provide realistic estimates of solar available radiance at roofs level. The implemented methodologies based on satellite/aircraft remote sensing techniques allowed us to estimate and map the global solar radiance over all the Avellino municipality's roofs starting from LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) data acquired on 2009. From these formers as point clouds the DSM (Digital Surface Model) of the entire area of interest (about 42 Km^2) was firstly obtained then the 3d model of each building and related cover was derived. In order to account for the atmospheric transparency and the related time-dependent diffuse/direct radiation percentage on the area, we utilized the data and tools resources available al EU level for the specific PV sector(1) by integrating them with results obtained using remotely sensed data within "ad hoc" developed procedures. The final processing to obtain the solar radiance maps was finally carried out using specific applications available within sw commercially and/or open source environments.

Introduzione

Con l'entrata in vigore del Dec. 5 maggio 2011 e successivi (Dec. liberalizzazioni del 24 gennaio 2012) le incentivazioni al PV sono normate attualmente dall'insieme delle disposizioni applicative contenute nel cosiddetto 4° Conto Energia (C.E.) con cui si è inteso continuare a sostenere la crescita nazionale del mercato fotovoltaico, seppure secondo un nuovo regime di riduzione progressiva delle tariffe incentivanti tendente ad eliminare alcune distorsioni. Nel decreto, infatti, c'è un chiaro orientamento teso a supportare e sviluppare maggiormente la diffusione degli impianti PV sui tetti degli edifici rispetto a quelli installati a terra al fine di evitare la competizione con gli altri usi dei suoli, tipicamente quelli agricoli, che potrebbe avere implicazioni relative al settore alimentare, strategico nel prossimo futuro.

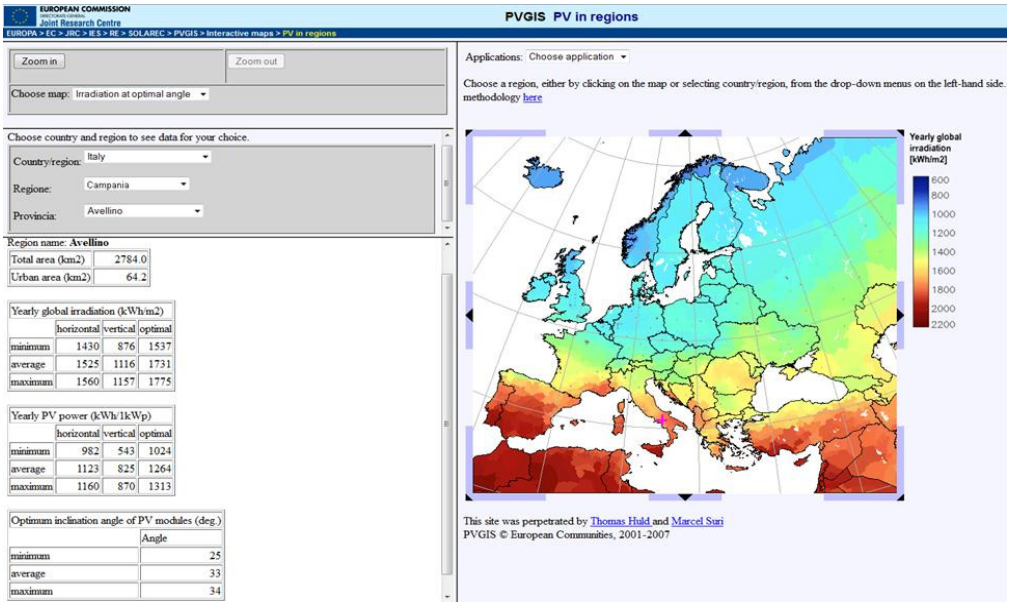


Figura 1. Mappa di radiazione solare media annuale su superficie inclinata in modo ottimale (destra) e stima per l'area urbana di Avellino unitamente alla produzione elettrica ottenibile.

In questo contesto assume quindi un'importanza rilevante per il PV, in termini di pianificazione e controllo, la stima estensiva ed efficace della disponibilità di superficie utile relativa alle coperture di strutture residenziali ed industriali esistenti, ivi incluse quelle degli agglomerati urbani, dove questo tipo di "*land cover*" è densamente rappresentato. Se, quindi, al fine di una mappatura del potenziale PV nella realtà italiana, utilizzando strumenti GIS (Caiaffa et al., 2012), sinora si è operato calcolando la radianza solare sulla base dei parametri di orientamento ed esposizione derivati dalle mappe di rilievo naturale denominate DEM (*Digital Elevation Model*) o DTM (*Digital Terrain Model*), attualmente per pervenire ad una stima maggiormente realistica, specialmente in ambiente urbano, è necessario tener conto delle superfici di copertura e dei loro parametri geometrici e radiometrici in modo più dettagliato.
In Figura 1 è riportato un output ottenuto utilizzando gli strumenti attualmente disponibili presso il sito PVGIS (http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis), supportato dall'UE per lo sviluppo del fotovoltaico Europeo, in particolare a destra c'è la mappa europea di radiazione media annuale per angolo d'inclinazione ottimale mentre a sinistra sono riportati i valori di radiazione e della potenziale produzione elettrica relativa per l'area urbana della provincia di Avellino derivata dalla mappa *Corine Land Cover* (CLC) 2006 di utilizzo del suolo ottenuta da dati satellitari telerilevati.
In tali approcci alternativi, mirati alla migliore caratterizzazione delle aree urbane, ovviamente, si tende a sovrastimare eccessivamente tali valori in quanto le aree di copertura sfruttabili entro quelle urbanizzate sono una frazione di quelle complessive. Inoltre, esse solitamente hanno parametri di inclinazione ed orientamento diversi da quelli della superficie naturale sottostante (DTM) e ben diversi da quelli ottimali. Come si vede, in definitiva, per migliorare le valutazioni estensive del potenziale fotovoltaico dei tetti è necessario tener conto in modo maggiormente dettagliato della reale superficie disponibile nonché della sua orientazione ed inclinazione. In quest'ottica l'individuazione delle coperture potenzialmente sfruttabili per impianti fotovoltaici presuppone quella dell'edificio o infrastruttura relativa, sintetizzata nel modello tridimensionale reale della superficie terrestre, includente sia le altimetrie naturali che gli oggetti artificiali come le strutture residenziali ed industriali. Un tale prodotto denominato DSM (*Digital Surface Model*), differente dal DTM, può essere derivato dai rilievi LIDAR sotto forma di nuvola di punti (*point cloud*) ad adeguata risoluzione e convenientemente sfruttato per una caratterizzazione più efficace dell'ambiente urbano anche ai fini di una migliore stima del potenziale fotovoltaico delle coperture. In quest'ottica, tenendo conto della struttura tridimensionale e dell'eterogeneità dell'ambiente urbano in termini di albedo, torbidità atmosferica ed ombreggiature che influenzano notevolmente l'irradianza solare locale, fonte primaria per la produzione fotovoltaica, è necessario considerare in modo più adeguato anche ulteriori fattori attinenti alla trasparenza atmosferica ed al contributo d'irradianza riflessa sull'intero spettro (albedo) dovuto alle superfici circostanti quella potenzialmente sfruttabile per il PV. Per la torbidità atmosferica, stimata sistematicamente sulla base di misure a terra o aerospaziali, sono disponibili serie storiche delle sue distribuzioni anche sotto forma di mappe tematiche da utilizzare per valutare le componenti diretta e diffusa corrispondenti ad una certa locazione geografica. Per la componente dovuta all'albedo locale, oltre che la riflettanza e la posizione dei singoli oggetti nello spazio tridimensionale circostante la superficie PV, assume importanza anche la loro forma derivabile dal DSM. Tenendo conto di queste esigenze sono state sviluppate metodologie e strumenti innovativi basati su dati aerospaziali, per l'analisi estensiva dei parametri geometrici e tipologici degli edifici in aree urbane del comune di Avellino a supporto della stima estensiva del potenziale PV locale ed una sua mappatura. Le metodologie sviluppate si basano sull'uso integrato di dati aerospaziali per la caratterizzazione di aree urbanizzate mediante rilievi di tipo LIDAR unitamente a dati multispettrali satellitari ed aerei. E' stata dapprima ottenuta una stima estensiva dei parametri geometrici e delle caratteristiche planimetriche tridimensionali delle coperture di ogni edificio nelle aree d'interesse attraverso il DSM derivato dai rilievi LIDAR rilevati nel 2008. Successivamente, per tener conto della componente diffusa e riflessa della radiazione solare, inclusa la copertura nuvolosa, ci si è avvalsi anche dei prodotti e funzionalità messi a disposizione dal sistema GIS Europeo PVGIS.

Irradianza solare

La radiazione solare che arriva sulla terra fuori dall'atmosfera su un piano perpendicolare ai raggi, ammonta mediamente a 1360 W/m^2, con variazioni sino a circa il 7% dipendenti principalmente da quelle della distanza Terra-Sole. La sua distribuzione spettrale è approssimativamente quella di un corpo nero a circa 6000 C° con massimo nell'intervallo del visibile e linee d'assorbimento dovute ai vari elementi diffusi nello spazio percorso dal sole. Nell'attraversare l'atmosfera, una parte dell'energia incidente si perde nelle varie interazioni sino ad arrivare ad una disponibilità media al suolo di circa 900-1000 W/m^2 con un andamento stagionale dipendente dall'altezza del sole e conseguentemente dalla latitudine. Questo valore è dato dal contributo di diverse componenti la cui entità varia in funzione della trasparenza atmosferica locale, dell'assetto geometrico della superficie d'incidenza, nonché della sua collocazione e delle proprietà di riflettanza (albedo) dell'ambiente tridimensionale circostante. Dal valore di trasparenza/torbidità atmosferica dipende la percentuale di radianza che arriva direttamente dal sole (*beam radiation*) a cui si aggiunge la componente indiretta (*diffuse radiation*) proveniente dalle varie direzioni dell'emisfero atmosferico sovrastante. Quest'ultima cresce con il diminuire della trasparenza atmosferica che riduce parallelamente la componente diretta ed è caratterizzata dal fattore di torbidità atmosferica di Linke definito come il rapporto tra l'attenuazione attuale dell'atmosfera e quella corrispondente ad una situazione di "*clear-sky*" sull'intero spettro.

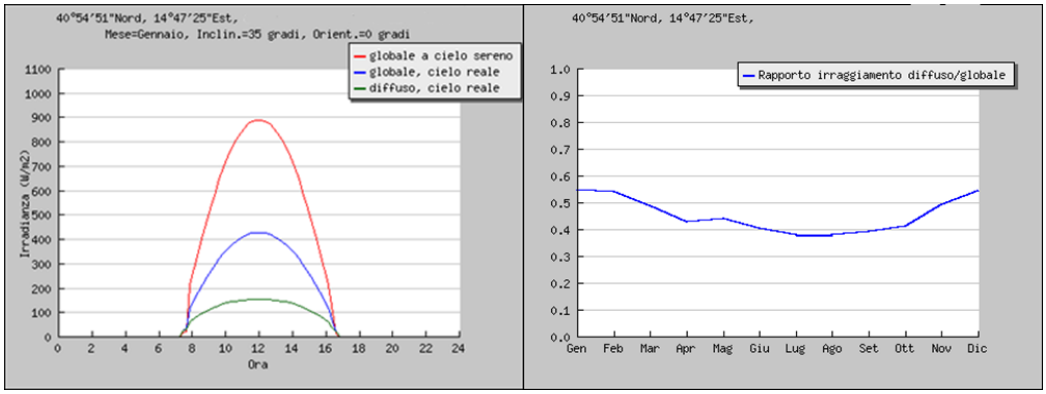


Figura 2. Irradianza solare oraria e percentuale di diffusa media mensile nell'area di Avellino in Gennaio sulla base della torbidità atmosferica media mensile derivata dalla serie storica registrata

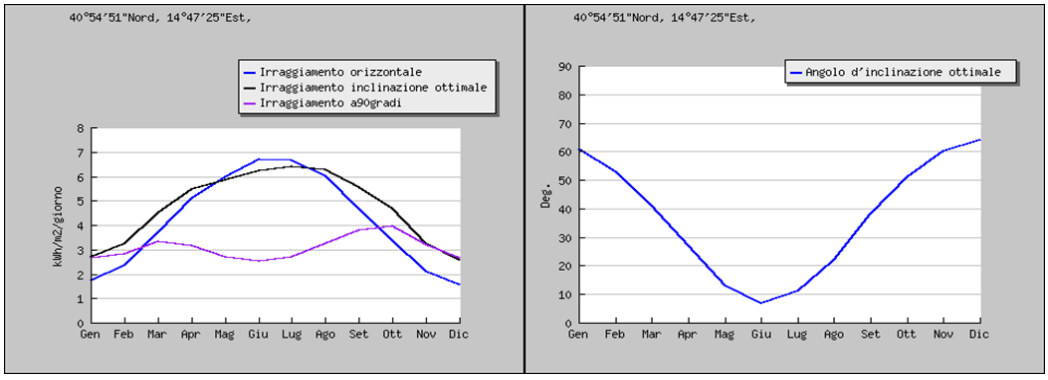


Figura 3. Stima dell'irradianza su superfici a diversa inclinazione ed orientamento a sud (sinistra) ed inclinazione ottimale (destra) per la locazione del Comune di Avellino.

In Figura 2, ad esempio, sono riportati gli andamenti giornalieri (sinistra) dell'irradianza diretta e diffusa su una superficie inclinata di 35° ed orientata a sud (0°) per il sito di Avellino calcolati sulla base della torbidità atmosferica media locale del mese di Gennaio derivata dalla serie storica utilizzando i tools messi a disposizione sul sito PVGIS. Nello stesso grafico è riportata altresì l'irradianza diretta in situazione di "*clear sky*". A destra è riportato l'andamento medio mensile della frazione diffusa per lo stesso sito. Come si vede la percentuale diffusa risulta rilevante e può arrivare a circa 35-55% del totale con massimi nei mesi invernali. L'altro fattore che incide notevolmente sull'energia solare intercettata da una superficie è il suo assetto geometrico in termini di pendenza ed esposizione che richiede di essere mantenuto quanto possibile perpendicolare ai raggi solari per massimizzare l'irraggiamento globale.
Dai grafici in Figura 3 ottenuti dalle utilities messe a disposizione dall'UE a supporto dello sviluppo del fotovoltaico (1) si evidenzia come per il sito di Avellino ed orientamento a sud, l'angolo d'inclinazione ottimale vari durante l'anno con l'altezza del sole, ma per impianti fissi la selezione ricade su un valore di circa 33° che corrisponde all'andamento dell'irradianza totale della curva in nero nel grafico di sinistra che comporta un valore massimo cumulato annuale. Sebbene in generale il potenziale fotovoltaico si valuti estensivamente con tecniche GIS in base all'irradianza stimata al suolo considerando i parametri di assetto ottenuti dalla mappa delle altimetrie naturali (Forni et al., 2011) sotto forma di DEM, quest'ultimi risultano generalmente differenti da quelli delle coperture degli edifici che insistono sulla stessa area eventualmente sfruttabili per la produzione fotovoltaica in linea con la nuova normativa. In quest'ottica un DSM ottenuto tramite rilevi LIDAR e consistente in un prodotto simile al DEM ma con una risoluzione notevolmente più spinta ed includente anche la mappatura 3D delle infrastrutture e degli edifici, è utilizzabile più proficuamente sia per l'individuazione delle coperture che per una loro caratterizzazione in termini di superficie utile e relativi parametri di assetto necessari per una stima realistica del potenziale fotovoltaico. Inoltre la ricostruzione 3D, cosi ottenuta unitamente ad una mappa dell'albedo a larga banda, permette di stimare i rimanenti contributi d'irradianza in termini di ombreggiamento e di riflettanza da parte dell'ambiente circostante. In particolare ai fini della massimizzazione dell'energia solare intercettata risultano importanti le pendenze e soprattutto l'orientamento delle coperture potenzialmente sfruttabili per impianti fotovoltaici, tenendo conto anche che tali parametri sono solitamente variabili per le diverse falde che compongono i tetti. Infatti, specialmente la componente diretta dell'irradianza solare I_s su una superficie ha una dipendenza direzionale:

$$I_s = I_{0s} \cos \phi$$

dove I_{0s} esprime il valore che si ha su una superficie perpendicolare ($\phi = 0°$) e ϕ è l'angolo tra la normale alla superficie ed il raggio solare. In quest'ottica dai rilievi LIDAR è possibile ricavare una caratterizzazione tridimensionale dell'ambiente urbano inclusiva degli edifici e delle coperture con l'individuazione delle superfici delle falde con i relativi parametri di assetto tramite procedure semiautomatiche utilizzando software dedicati, disponibili anche commercialmente (Esri ArcGIS).

LIDAR e DSM

La ricostruzione 3D del terreno e dell'edificato dell'area di interesse è stata ottenuta mediante il ricorso a tecniche e metodologie per l'elaborazione di dati LIDAR, opportunamente acquisiti su tutto il territorio comunale di Avellino. Tenuto conto delle esigenze specifiche, il rilievo è stato condotto mediante un sistema LIDAR tipo ALTM3100 della canadese Optech, con frequenza di acquisizione di 100 kHz ed altezza di volo di circa 1000 m, al fine di rendere praticabile un piano di volo adeguato a ricoprire l'intero territorio Comunale con possibilità di delineazione ottimale delle aree urbanizzate. L'informazione di ampiezza del dato laser (4 impulsi di ritorno) è stata calibrata radiometricamente in maniera da poter essere impiegata nelle successive analisi spaziali.
La nuvola di punti acquisita è tale che, in seguito al pre-processing operato subito dopo l'acquisizione, i modelli digitali risultanti contengono non meno di quattro misure/punti per metro

quadrato, con accuratezza verticale decimetrica. I dati in formato interoperabile sono caratterizzati dai seguenti parametri: Incertezza HMax ≤ 40cm; Incertezza $V_{Max} \leq 2\ H_{Max}$; Densità DSM/DTM ≥ 4 punti al m^2; Formato: ID, X, Y, Z, I. L'acquisizione è avvenuta mediante elicottero ad una quota media di 900÷1000 metri rispetto al suolo e con una velocità compatibile con la risoluzione prevista. Il prodotto finale del rilievo ottenuto da un processo di preelaborazione dei dati grezzi è stato organizzato in *file* contenenti i dati sotto forma di *point cloud* (formato *.las*) per un totale di 48 tavole di 1 km x 1 km, corrispondenti ad una estensione superficiale complessiva di circa 42 Km^2 dell'intero comune. In corrispondenza di ogni tavola sono state effettuate almeno 2 delle linee di controllo acquisite normalmente alla direzione media delle strisciate principali. Queste acquisizioni definite come "*tie lines*" sono state eseguite ogni 10 km circa e servono da verifica al corretto funzionamento del sistema a scansione nonché a determinare e correggere eventuali derive strumentali. Si è operato riducendo le distanze massime (inferiori ai 25 km) fra l'elicottero e la stazione GPS-master a terra. I rilievi sono stati effettuati unicamente durante periodi della giornata durante i quali si sono verificate simultaneamente le seguenti condizioni: PDOP < 3 e numero di satelliti > 6, con una maschera di elevazione di 15°. L'UTM-WGS84 è il Sistema geodetico di riferimento adottato. Infine, sono stati utilizzati come *Ground Reference Stations* (GRS) i capisaldi della rete IGM 95 per le tutte le operazioni di rilievo. Dall'elaborazione e mosaicatura dei dati LIDAR, sotto forma di *point cloud*, sono stati ottenuti DTM e DSM (Borfecchia et al., 2009). Tali modelli digitali descrivono la conformazione altimetrica naturale, comprensiva delle caratteristiche collinari (circa 300 m a.s.l.), dei bacini idrologici e delle strutture antropiche viarie (e.g., l'Autostrada A16) e residenziali. Per quest'ultime è stata implementata una procedura opportunamente calibrata sulle aree d'interesse che ci ha permesso di ricavare estensivamente il modello 3D di ogni edificio (Borfecchia et al., 2010) incluse le relative coperture con i corrispettivi parametri di superficie, orientamento ed inclinazione che sono stati poi utilizzati per la realizzazione della mappa d'irradiazione estesa a tutto il comune.

Radiazione e coperture

Per la stima della radiazione solare sulle coperture degli edifici dell'intero comune di Avellino si è partiti quindi dal DSM precedentemente ottenuto, ed utilizzando una procedura disponibile su software commerciale (Esri ArcGIS) è stata dapprima valutata la radiazione cumulata in Wh/m^2 relativamente ai mesi di giugno e luglio che forniscono il maggior contributo annuale. Con tale procedura sono state calcolate sia la componente diretta che diffusa sulla base di un valore di trasmissività atmosferica e di percentuale di diffusione per i mesi di riferimento derivati dalle stime effettuate per l'area di Avellino sulla base delle serie storiche disponibili sul sito PVGIS. Per la diffusione atmosferica è stato adottato un modello anisotropico di *scattering* con il flusso della radiazione incidente variabile con l'angolo zenitale locale, che risulta maggiormente adeguato a tener conto dell'eterogeneità del tessuto urbano.

Nella Figura 4, unitamente ai confini comunali in viola, è riportata a sinistra la componente diretta restituita in tonalità di grigio con un massimo di 298 Kwh/m^2 circa, nella quale si evidenziano gli effetti delle ombreggiature delle strutture tridimensionali degli edifici sulla base del percorso solare sotto forma di striature più scure. Un effetto meno accentuato e maggiormente concentrato sull'edificio o struttura 3D, si nota anche nell'immagine della componente diffusa (a destra) che presenta un massimo di 85 Kwh/m^2 circa. Successivamente, la valutazione della radianza totale è stata effettuata esclusivamente sulle coperture degli edifici ed infrastrutture 3D preventivamente individuate utilizzando il DSM per ottenere una loro mappatura vettoriale plano-altimetrica.

Nella Figura 5 tale radianza totale incidente sulle coperture, stimata per i mesi di Giugno e Luglio 2012, è riportata a falsi colori con massimi sul rosso e minimi in blu in sovrapposizione ad un'immagine Quick-Bird (2,5 m. di risoluzione a terra) in *true color* per l'intero comune di Avellino.

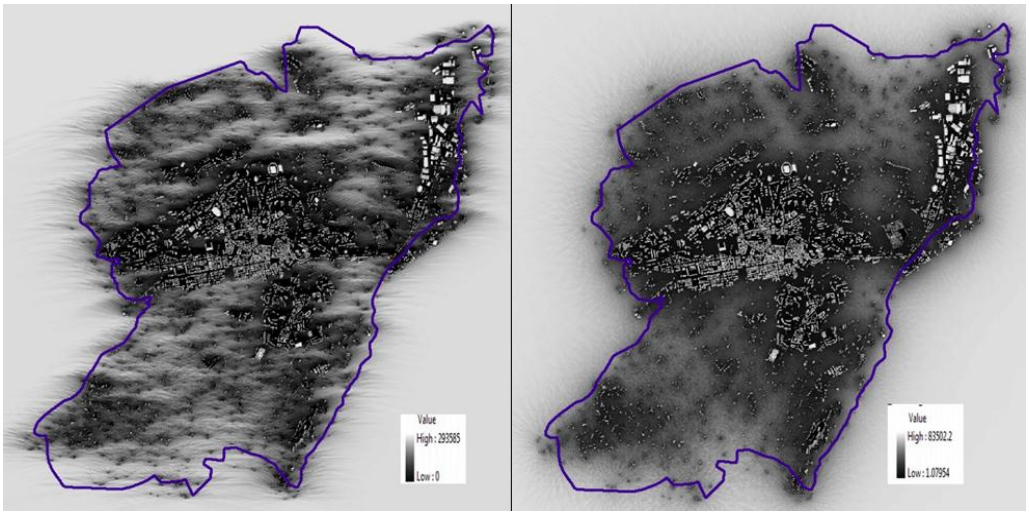


Figura 4. Mappe di distribuzione della radianza solare cumulata (Wh/m^2): componenti diretta (sinistra) e diffusa (destra), relative ai mesi di giugno e luglio 2012.

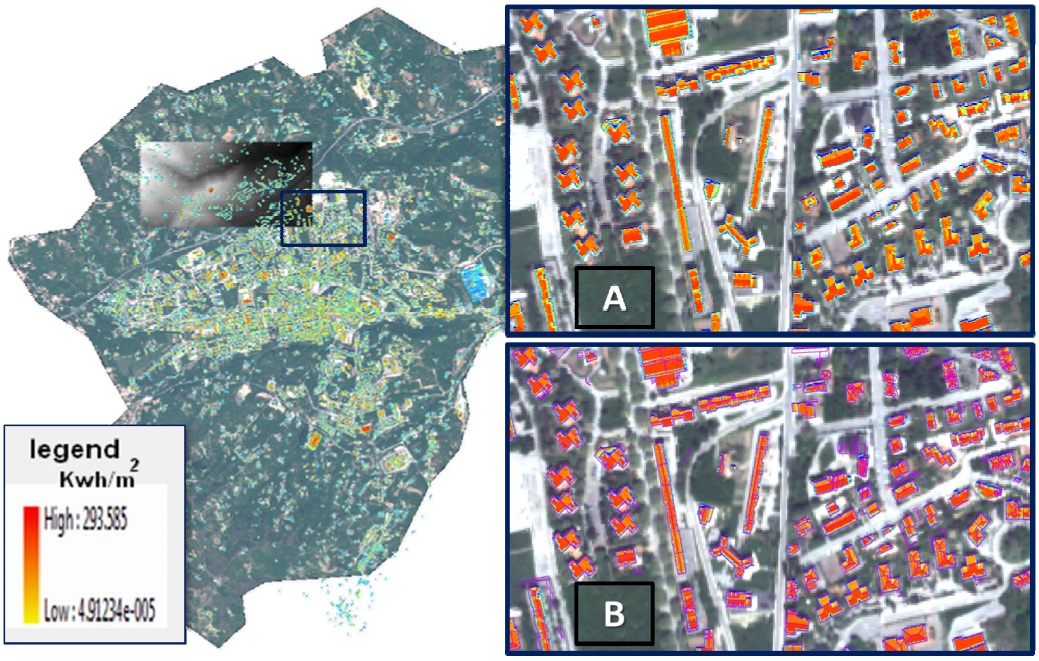


Figura 5. Radiazione solare totale in Kwh/m^2 calcolata per le coperture degli edifici ed infrastrutture del comune di Avellino e particolare.

Nella zona superiore a sinistra dell'immagine corrispondente a due tavole delle 48 totali, il sottofondo è costituito dal DSM in tonalità di grigio (le tonalità chiare rappresentano altimetrie maggiori). Su tale sub-area è stata messa a punto e testata la procedura, maggiormente efficace, descritta nel successivo paragrafo. La radiazione solare in Kwh/m^2, relativa ai mesi di giugno e

luglio 2012, calcolata per le coperture nell'area d'interesse tenendo conto dei loro parametri di esposizione ed inclinazione derivati dal DSM, dà luogo evidentemente a valori diversi in corrispondenza dei diversi orientamenti e geometrie come si rileva dalle immagini di dettaglio riportate nel lato destro della Figura 5. Nella prima immagine di dettaglio (indicata con "A") si possono rilevare le variazioni di radianza cumulata calcolate per le singole falde di tetto con differenti orientazione ed inclinazione con valori uniformi per le coperture piane ed effetto delle ombreggiature per quelle con elementi strutturali 3D che si schermano reciprocamente. Nell'immagine di dettaglio "B" di Figura 5, invece, si evidenziano i diversi elementi geometrici delle falde ottenuti dal DSM per ognuno dei quali tramite tecniche GIS è stata stimata la radianza cumulata utilizzabile a fini della produzione fotovoltaica.

Diffusione ed albedo

Nelle valutazioni precedenti sono stati utilizzati i *tool* ed i dati disponibili sul sito PVGIS per stimare i parametri di torbidità atmosferica per i mesi di riferimento su base puntuale, da utilizzare per il calcolo della radiazione solare cumulata disponibile sulle varie coperture caratterizzate tramite il DSM. Inoltre, in una prima approssimazione non si è tenuto conto del contributo alla radiazione totale riflesso da parte delle superfici dell'intorno caratterizzate per quest'aspetto in base alle loro proprietà di riflettanza emisferica a larga banda usualmente denominate albedo.

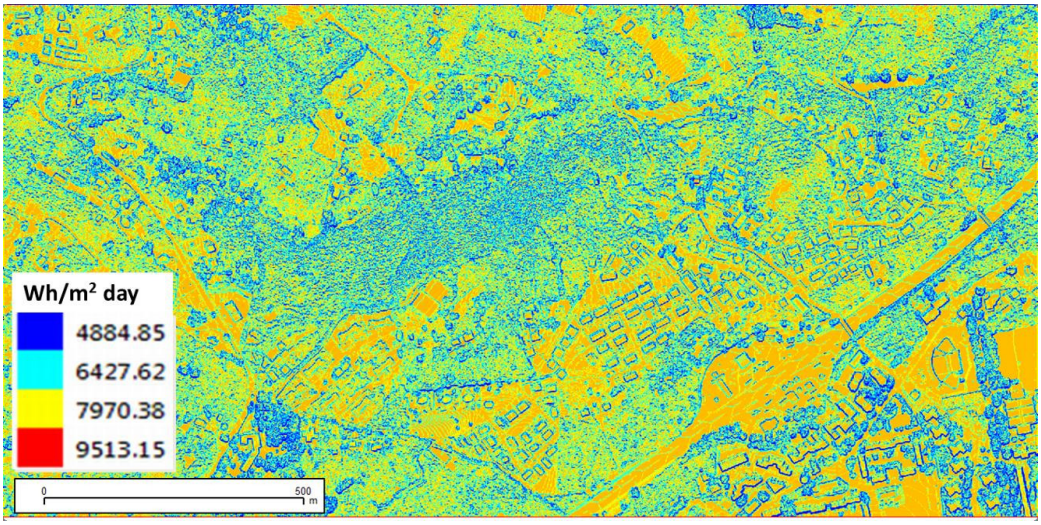


Figura 6. Mappa della radiazione solare globale stimata nel giorno 14-7-2012 per l'area evidenziata tramite il DSM in Figura 5.

Sebbene la torbidità media mensile in termini di "*Linke turbidity*" sia nel sito PVGIS fornita sotto forma di mappe con accuratezza di 1 Km, stimate a partire dall'atlante globale implementato inizialmente da Remund et al. (2003) e successivamente integrato ed aggiornato con dati rilevati dalle piattaforme satellitari (tipicamente geostazionarie) e dalle stazioni meteoclimatiche a terra, per la città di Avellino, su una superficie totale di circa 42 Km^2 con dimensioni di circa 6x6 km, si è ragionevolmente assunto che sia ben caratterizzata in termini di trasparenza atmosferica da valori puntuali. Per poter valutare l'effetto dell'albedo locale, è stata elaborata un'immagine multispettrale Landsat ETM+ dell'agosto 2012, utilizzando (Liang, 2000) le riflettanze nelle bande del visibile, NIR e SWIR, da questa derivate dopo una correzione atmosferica effettuata sulla base di valore di visibilità di 20 km.

La radiazione globale solare (Wh/m^2 day) sull'area d'interesse (Figura 6) è stata stimata con un tool *software* disponibile in ambiente *open source* (GRASS), utilizzando le mappe del DSM e dell'albedo precedentemente ottenute, unitamente ai parametri di torbidità puntuali per il mese di giugno/luglio. La stima è stata effettuata per ciascuna delle 3 componenti: diretta, diffusa e riflessa. Quest'ultima, non considerata precedentemente perché minore delle altre due, è risultata comunque significativa e pari circa ad 1/3 della diffusa.

Risultati e conclusioni

Le metodologie implementate utilizzando in modo integrato le tecniche di rilevazione LIDAR ed aerospaziali satellitari con una serie di risorse sia *software* che di dati resi disponibili in ambito europeo hanno permesso di stimare efficacemente per l'intero Comune di Avellino la radianza solare disponibile a livello delle coperture per la produzione fotovoltaica sulla base delle componenti diretta e diffusa. Successivamente un ulteriore raffinamento della procedura ha permesso di valutare in aggiunta anche la componente riflessa derivante dall'albedo locale preliminarmente mappata attraverso un'immagine multispettrale Landsat ETM+ corretta atmosfericamente.

Tenendo conto dell'alta eterogeneità dell'ambiente urbano con la forte presenza di contributi di origine antropica (trasporti, riscaldamento,…) alla trasparenza atmosferica sulla quale impattano anche fenomeni legati ai cambiamenti climatici, in prospettiva si mira ad utilizzare maggiormente i prodotti tematici operativi delle missioni satellitari di Osservazione della Terra (EO) attualmente o prossimamente disponibili per migliorare la caratterizzazione spaziale e temporale della torbidità a larga banda (Linke Turbidity) finalizzata specificamente al supporto della produzione fotovoltaica. In tale contesto, assume rilevanza anche la miglior stima dell'albedo tenendo conto degli effetti di riflessione tipicamente non lambertiani del tessuto urbano, eventualmente valutabili anche tramite i prodotti di EO attualmente disponibili (ex. BRDF/albedo MODIS products).

Bibliografia

Borfecchia F., Pollino M., De Cecco L., Lugari A., Martini S., La Porta L., Ristoratore E., Pascale C. (2010), "Active and passive remote sensing for supporting the evaluation of the urban seismic vulnerability", European Journal of Remote Sensing, 42(3):129-141.

Borfecchia F., De Cecco L., Pollino M., Lugari A., Martini S., La Porta L. (2009) "Tecniche aerospaziali attive (LIDAR) e passive (multi/iperspettrali) per la stima della vulnerabilità sismica del tessuto urbano", Atti 13ª Conferenza Nazionale ASITA 2009, 469-474.

Caiaffa E., Marucci A., Pollino M. (2012), "Study of sustainability of renewable energy sources through GIS analysis techniques", Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7334 - Part II, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 532-547.

Forni A., Colonna N., Del Ciello R., Disi A., Iaboni V., Mancuso E., Notaro C., Olivetti I., Torrez N., Vieri C. (2011), "Metodologia di Stima dei potenziali regionali da fonti rinnovabili e per l'efficienza energetica, e azioni per il raggiungimento degli obiettivi UE 20-20-20 al 2020". Atti 15ª Conferenza Nazionale ASITA 2011, 1060-1077.

Liang S. (2000) "Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I – Algorithms", Remote Sensing of Environment, 76:213-238.

PVGIS - Photovoltaic Geographical Information System. Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology- Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis (ultimo accesso Agosto 2012).

Remund J., Wald L., Lefèvre M., Ranchin T., Page J. (2003) "Worldwide Linke turbidity information", Proceedings of the ISES solar world congress 2003, Göteborg, Sweden.

Valutazione del sensore aereo TABI per lo studio delle dispersioni energetiche degli edifici

Mirco Boschetti (*), Alberto Crema (*), Gianluca Ruggieri (**), Giuseppe Maffeis (***), Luisa Geronimi (***), Francesco Zucca (****)

(*) IREA-CNR, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Bassini 15, Milano, Tel. +39 0223699454, Fax +39 0223699300, boschetti.m@irea.cnr.it , crema.a@irea.cnr.it
(**) Dipartimento di scienze teoriche e applicate Facoltà di Scienze mm.ff.nn., Università dell'Insubria, sede di Varese, gianluca.ruggieri@uninsubria.it
(***) TerrAria s.r.l., Via Melchiorre Gioia 132, 20125 Milano, Tel. +39 0287085650, Fax +39 0297376569, geronimi@terraria.com , g.maffeis@terraria.com
(****) Dipartimento di Scienze della terra e dell'ambiente, Università di Pavia, Via A. Ferrara 1, 27100 Pavia, Tel. 0382985823/38, Fax 0382985890, francesco.zucca@unipv.it

Riassunto
Il presente lavoro descrive un esperimento condotto per testare il contributo di termografie aeree per la valutazione su ampia scala delle dispersioni energetiche degli edifici, in particolare delle coperture. Le termografie aeree si candidano a ricoprire un ruolo importante nella definizione di strategie di pianificazione energetica attraverso la valutazione dei possibili effetti di azioni di riqualificazione delle coperture. Una primo valutazione è stata condotta nell'inverno del 2012 sui comuni di Agenda 21 laghi della Provincia di Varese, circa 120 km^2, acquisendo immagini notturne con il sensore TABI, della canadese ITRES, ad una risoluzione di 50 cm. Un test è stato condotto sul comune di Cittiglio, per il quale è disponibile un Data Base Topografico alla scala 1:20.000, al fine di valutare discontinuità termiche delle superfici. Le prime analisi hanno mostrato come le immagini termiche TABI, opportunamente processate, forniscano un *layer* tematico perfettamente a registro con la cartografia tecnica comunale utile a identificare quali edifici presentino un comportamento anomalo rispetto al contesto urbano. L'alta risoluzione spaziale dei dati ha anche permesso di evidenziare gradienti nelle coperture dei tetti riconducibili a differenti proprietà termiche come conseguenza di differenti tipi di coibentazioni.

Abstract
The present work describes an experiment conducted to test the contribution of aerial thermography for the evaluation of large scale buildings energy losses. The aerial thermography are candidate to play an important role in defining strategies for energy planning by assessing the possible effects of retraining the covers. A first test was conducted in the winter of 2012 acquiring night images with the TABI sensor at 50 cm spatial resolution for the municipalities of Agenda 21 Laghi in the Province of Varese (120 km^2). An assessment of the information that can be derived to identify buildings with thermal discontinuity surfaces respect the surrounding zones has been carried out for the urban areas of Cittiglio. The first results showed that thermal images, properly processed, provide a thematic layer that can precisely highlight anomalous situations within the urban areas identifying which building are probably not efficient. The high spatial resolution of the data has also allowed to analyze the thermal discontinuity of a single buildings as possible clues to energy losses.

Introduzione

Nel quadro degli obiettivi di riduzione di gas climalteranti definiti a partire dal Protocollo di Kyoto, i consumi energetici ma in particolare le prestazioni energetiche degli edifici hanno un ruolo di

primo piano. A partire dalla definizione del cosiddetto Pacchetto Clima del 2008, l'Unione Europea si è data dei precisi obiettivi da raggiungere entro il 2020, tra i quali la riduzione delle emissioni di CO^2 del 20% e l'aumento del 20% dell'efficienza energetica (Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia; recentemente aggiornata dalla Direttiva 2010/31/UE). Al settore pubblico è richiesto un ruolo di primo piano e le amministrazioni locali dovrebbero partecipare allo sforzo complessivo attraverso importanti azioni locali come l'adozione di un Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES). Per questo motivo, è importante sviluppare nuovi strumenti di diagnosi e verifica, che siano in grado di supportare la pianificazione energetica e le azioni dirette per la riduzione delle emissioni. In anni recenti la termografia ha assunto un ruolo di primo piano nella diagnosi energetica degli edifici, in supporto alla certificazione ma soprattutto ad eventuali interventi di miglioramento delle prestazioni. È quindi possibile confrontare gli esiti diagnostici con le previsioni di progetto, ma soprattutto è possibile verificare la presenza di criticità localizzate su cui intervenire prioritariamente. Il presente lavoro è finalizzato a verificare i possibili esiti di un allargamento di queste analisi utilizzando termografiche aeree dalla scala del singolo edificio (certificazione e diagnosi) alla scala urbanistica (pianificazione e verifiche). La termografia aerea può essere utilizzata per ottenere importanti informazioni sia in assetto invernale, sia in assetto estivo. In assetto invernale per la verifica della correttezza delle certificazione energetica degli edifici e in assetto estivo per identificare la dinamica del fenomeno dell'isola di calore urbano, ipotizzando possibili interventi per la riduzione delle temperature e il miglioramento del benessere urbano.
Obiettivo del presente lavoro è quindi la verifica del contributo di termografie aeree in assetto invernale e di sistemi di informazione geografica a supporto della valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici. L'ipotesi è che edifici statisticamente più caldi possano risentire di elevate dispersioni energetiche attraverso le coperture mentre quelli statisticamente più freddi possano al contrario essere disabitati, ben coibentati o possano ospitare un sottotetto non riscaldato. In virtù della capacità di definizione del sensore utilizzato, tale contributo può avvenire a due scale differenti. A scala urbana, è possibile identificare edifici con temperature anomale a supporto di verifiche e pianificazione comunale. A scala di singolo lotto, può contribuire all'analisi di anomalie e discontinuità termiche per singoli edifici.

Materiale e metodi

Area di studio

L'area di studio comprende alcune zone della provincia di Varese e più precisamente i comuni situati nella parte ovest della provincia e confinanti con il Lago Maggiore. Su quest'area di circa 120 Km^2 sono state acquisite termografie aeree del sensore TABI (*ITRES* – Canada) rilevate durante un volo effettuato la notte tra il 10 e l'11 Marzo 2012 dalle ore 10.30 p.m alle 1.00 a.m (GMT+1). Il comune di Cittiglio, di cui si dispone di altri dati spaziali, è stato selezionato tra le aree sorvolate per valutare le potenzialità delle termografie aeree. Il comune è situato a circa 15 Km a nord-ovest rispetto a Varese ed è stato previsto come area test avendo all'interno del suo territorio comunale zone residenziali di nuova costruzione, edifici storici concentrati nel centro del paese, case sparse e una piccola zona industriale. L'area di studio contiene perciò molteplici tipologie di edificato con differenti tipi di coperture e conseguentemente edifici con età molto diverse e che probabilmente presentano diversi tipi di coibentazione.

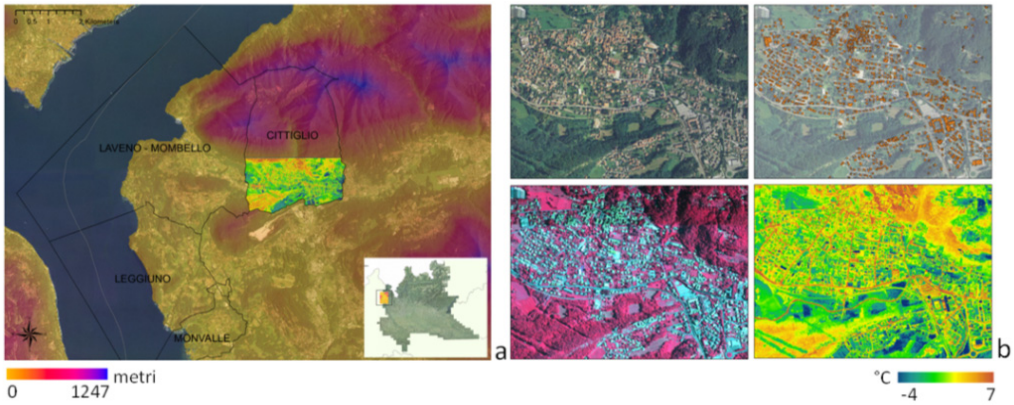


Figura 1. Area di studio: il comune di Cittiglio (Va) (a) e un dettaglio dei dati a disposizione (b). In senso orario dall'angolo in alto a destra: Ortofoto a colori, DB topografico, termografia TABI e immagine digitale in falsi colori.

Dati

Rilievo tabi

Il sensore TABI-1800 (*Thermal Airborne Broadband Imager*[1]) della canadese *ITRES* è in grado di registrare immagini nella banda del termico ad alta risoluzione spaziale (da 10 cm a 1.25 m con aerei fino a 2 cm con elicotteri) e con grande abbracciamento per ogni singola strisciata (1800 pixel). L'intera area di studio è stata ripresa con 12 strisciate con risoluzione spaziale di 0.5 m in grado di fornire un'immagine della temperatura delle superfici in gradi centigradi (precisione di 0.05 °C). Dopo l'acquisizione le immagini sono state pre-processate da *ITRES* per ottenere un dato ortorettificato, proiezione UTM-WGS84, e corretto radiometricamente; in seguito i dati sono stati analizzati per valutare le potenzialità del sensore e il livello di dettaglio del dato.

Digital Surface Model (DSM)

Il *Digital Surface Model* DSM della provincia di Varese è un prodotto che fornisce il modello digitale del terreno e che è stato utilizzato per l'ortorettifica delle termografie aeree. Essendo le immagini acquisite dal sensore TABI delle ortofoto queste vanno geometricamente corrette per correggere gli errori di deformazione accorsi durante le fasi di ripresa e connessi alla strumentazione utilizzata. Il DSM è disponibile con il sistema di coordinate UTM-WGS84, con una risoluzione di 2x2 metri e con una dimensione che copre i circa 570 km2 della provincia di Varese. Il prodotto è un dato raster dove ogni cella porta l'informazione della quota assoluta del punto che rappresenta quella cella con una tolleranza minima di ± 3 m.

Ortofoto colori reali e CIR

La Lombardia dispone di una copertura dell'intero territorio regionale con immagini aeree. L'ortofoto è un immagine aerea ad alta risoluzione ripresa con sistemi ottici aviotrasportati a più bande (blu, verde, rosso, infrarosso vicino). in funzione della sensoristica utilizzata. Il prodotto tradizionale più aggiornato, rilievi del 2007, è un mosaico dell'intera regione ortorettificato e georiferito e disponibile in scala nominale 1:10000 con risoluzione spaziale di 2x2 m. Questo dato risulta essere un'immagine digitale a colori reali utile per caratterizzare il territorio e dove si possono effettuare elaborazioni e/o misure spaziali in quanto rappresenta in dimensione reali la superficie investigata. Oltre a questo dato sono state analizzate anche immagini in infrarosso a falso colore (CIR) Questi dati, grazie alla presenza della banda che riprende nell'infrarosso vicino, consentono di estendere la possibilità di elaborazione automatica con tecniche di Image Processing per la classificazione delle superfici. Entrambi i dati sono stati forniti proiezione Gauss-Boaga (Roma 40).

DB topografico
Per l'interpretazione dei dati aerei è stata utilizzata come base cartografica il database topografico (aggiornato all'anno 2007). Tale base cartografica in formato vettoriale mette a disposizione elementi conoscitivi necessari alle scelte di pianificazione e gestione del territorio. I dati sono stati prodotti utilizzando specifiche tecniche omogenee, in materia di basi geografiche di interesse generale, definite a livello regionale in conformità alle direttive dell'intesa Stato-Regioni-Enti locali sul sistema cartografico di riferimento (Intesa GIS) e delle indicazioni del Comitato Tecnico Nazionale per il coordinamento informatico dei dati territoriali.

Schema del lavoro
La Figura 3 riporta lo schema concettuale del lavoro e i differenti *steps* di processamento dei dati utilizzati per identificare edifici del comune di Cittiglio con temperature anomale e riconducibili a potenziali problemi di dispersioni energetiche. La termografia ci permette di analizzare la variabilità delle temperature per tutto l'edificato. Tali temperature sono però riferite ad un corpo nero con emissività pari ad 1. Le reali variazioni di temperatura sono però funzione delle caratteristiche dei differenti materiali espresse da specifici coefficienti di emissività. La Figura 2 (Brivio et al., 2006) riporta, a titolo di esempio, quale sia l'effetto di una variazione del valore di emissività sulla stima della reale temperatura di un corpo.

Superficie	ε	Δ ε	T_s	T_{rad}	ΔT
Corpo nero	1.00	-	300.0	300.0	-
Vegetazione	0.98	-2%	300.0	298.5	-1.5
Suolo umido	0.95	-5%2	300.0	296.2	-3.8
Suolo asciutto	0.92	-8%	300.0	293.8	-6.2

Figura 2.Temperatuta termodinamica T_s e temperatura radiometrica T_{rad}

Per poter quindi identificare edifici con temperature anomale e riconducibili a potenziali problemi di dispersioni energetiche è necessario analizzare i dati per classi di copertura omogenee. A tale scopo sono state utilizzate le ortofoto digitali (RGB a colori reali e CIR all'infrarosso) riprese da aereo. L'elaborazione di tali dati ha consentito di classificare gli edifici in differenti gruppi. Cartografia digitale proveniente dai DB topografici ha permesso una precisa delimitazione degli edifici che ha facilitato la classificazione delle immagini. Infine la conoscenza di strategie e di tecnologie utilizzabili per la coibentazione degli edifici ha consentito di derivare ipotesi su aree a potenziale anomalia.

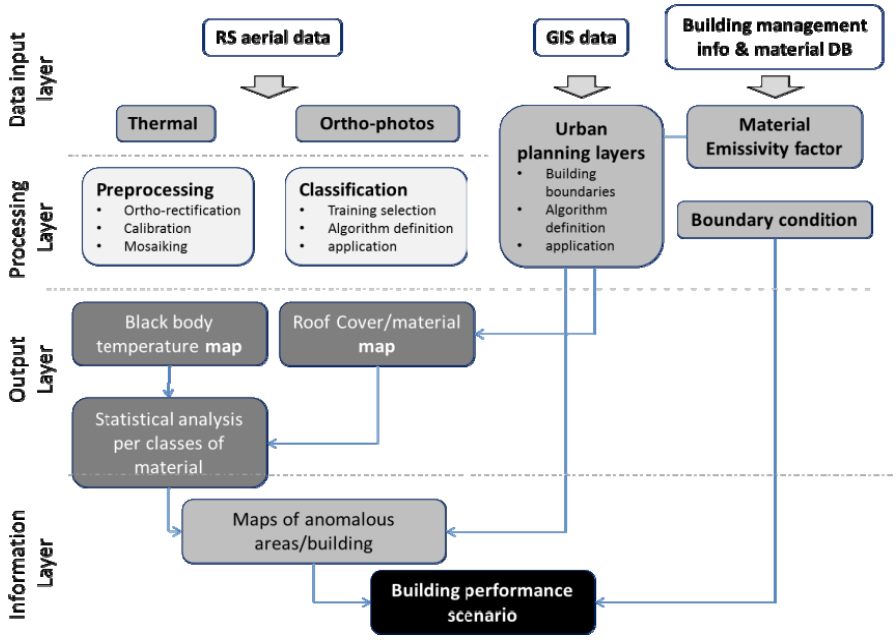


Figura 3. Schema concettuale del processamento dei dati per ottenere informazioni territoriali e puntuale su anomalie termiche degli edifici.

Classificazione delle coperture

Poiché il *range* di temperature misurate varia tra i -4.5°C e i 7°C si è scelto di analizzare il comportamento termico degli edifici per classi di coperture. Le categorie selezionate per classificare gli edifici con valori di emissività paragonabili sono le seguenti: tetti chiari ad elevato albedo (alluminio), tetti rossi (coppi chiari), tetti marroni (coppi scuri), tetti grigi (cementi e prefabbricate) e tetti scuri (materiali bituminosi).

L'identificazione automatica delle coperture da immagini aeree è avvenuta con classificazione supervisionata ed ha previsto i seguenti passi di elaborazione: i) messa a registro dei dati e ri-proiezione delle fotografie aeree nel comune sistema di riferimento UTM 32N WGS84; ii) ricerca dei training per la classificazione; iii) test per selezione del algoritmo di classificazione; iv) mascheratura, realizzazione delle mappe e valutazione dei risultati.

La ricerca dei training per la classificazione, circa 200 pixels per ciascuna categoria, è avvenuta per fotointerpretazione da parte di operatore, sia delle immagini CIR che colori reali. Differenti algoritmi di classificazione supervisionata (Richards,1993) presenti nel *software* commerciale ENVI i.e. *Maximum likelihood* (MLC, Richards, 1993), *Spectral Information Divergence* (SID, Du et al., 2004), *Spectral Angle Mapper* (SAM, Kruse et al, 1993) sono stati testati su entrambi i *dataset* di ortofoto. La comparazione delle mappe per alcune aree test ha indicato come l'algoritmo SAM (Wang, 1999) applicato ad immagini CIR desse i migliori risultati. Per ottimizzare la classificazione sull'intero comune di Cittiglio è stata preliminarmente creata una maschera che eliminasse tutte quelle aree che non fossero edifici sfruttando le unita volumetriche censite e presenti nel *layer* vettoriale della destinazione d'uso del suolo (*Masking procedure*). La risultante mappa finale delle coperture è stata poi valutata per definirne una accuratezza preliminare. I risultati della classificazione pixel a pixel hanno mostrato accuratezze maggiori dell' 85%. A partire da questo dato *raster* ogni edificio è stato etichettato in base alla classe dominante (n° di pixels) all'interno di ogni poligono che ne identificasse i confini (*GIS majority analysis*).

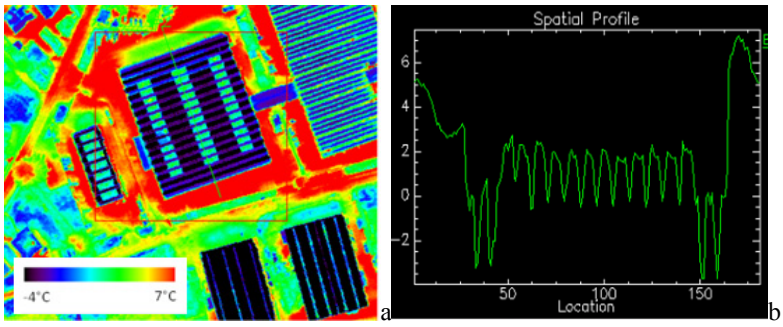
Analisi GIS: statistica spaziale delle temperature delle coperture

Una volta ottenuto il *layer* delle coperture si è proceduto ad analizzare il dato TABI per classi omogenee. Per ogni classe di copertura è stata calcolata la statistica delle temperature di ogni edificio e comparata a quella della classe di appartenenza al fine di identificare *outliers* dal comportamento anomalo. Si è scelto di considerare anomali gli edifici che per ogni classe cadessero nel primo (edifici anomali "freddi") e quarto quantile (edifici anomali "caldi"), i primi possono rappresentare case non occupate/riscaldate al momento della ripresa mentre i secondi possono indicare potenziali situazioni con problemi di coibentazione. L'estrazione spaziali dei dati è stata condotta con il software ARCGIS mentre l'analisi statistica è stata condotta con il software open source R.

Risultati

Termografie aeree: esempio delle potenzialità del dato

La Figura 4 mostra un dettaglio delle termografie TABI per un edificio industriale. L'immagine ci permette di apprezzare il dettaglio del dato (50 cm di risoluzione) nonché la sensibilità dello strumento nel misurare variazioni di temperatura di poche decimi di grado. Il profilo di Figura 4b riporta le variazioni di temperature funzione dei diversi materiali del tetto: coperture a cementi prefabbricati e vetri. In corrispondenza dei lucernari si nota un regolare incremento delle temperature di che passano dai 0 ai 2-3 °C.



a b

Figura 4. Dettaglio della termografia aerea per edificio industriale (a) e profilo spaziale delle temperature per la copertura del tetto (b).

Classificazione delle coperture

La Figura 5 mostra gli *steps* di classificazione per ottenere il *layer* finale delle coperture degli edifici del comune di Cittiglio. A partire dalla selezione dei *training* per fotointepretazione delle immagini aeree (a) si ottiene una classificazione *pixel based* per le sole porzioni di immagine corrispondenti ai tetti (b). L'analisi GIS del dato consente di attribuire per ogni poligono quale classe di copertura è statisticamente più rappresentativa (c) fornendo perciò il *layer* finale delle coperture (d).

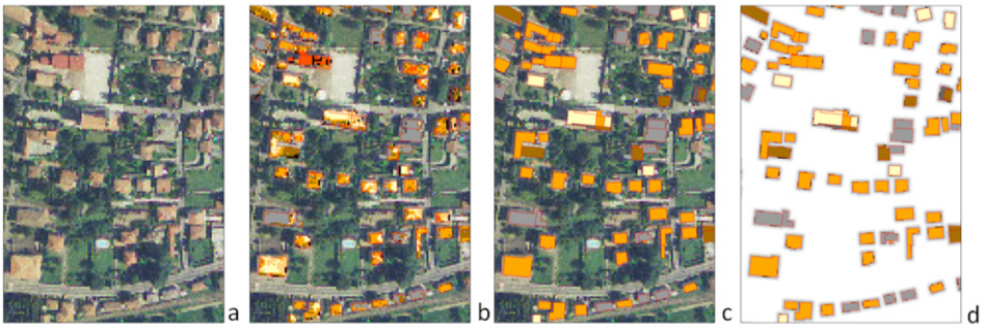


Figura 5. Cclassificazione delle coperture degli edifici: immagine RGB (a), classificazione pixel based (b), majority analysis in ambiente GIS (c) e layer finale delle coperture per ogni edificio.

Individuazione edifici con temperature anomale

Dei 1720 edifici analizzati la maggior parte è risultata avere una copertura a coppi tradizionale con diverse caratteristiche di materiale o stato di alterazione (1070 rossi e 185 marroni). A questa classe, principalmente riferibile ad edifici residenziali, seguono quella delle coperture cementizie e prefabbricate (185) tipiche di edifici industriali o nuove costruzioni. In maniera minoritaria sono presenti anche tetti in alluminio o coperture alto riflettenti (70) e con superfici riconducibili a mescole bituminose (15). La Figura 6 descrive il *box-plot* delle statistiche termiche delle classi di copertura identificate, la numerosità delle classi ed i valori per i differenti quartili sono riportati in figura 7.

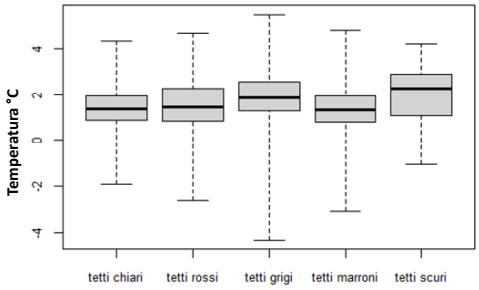


Figura 6. Box plot delle temperature per ogni classe di copertura.

La figura 7 mostra come la classe dei tetti grigi sia quella che mostra la più grande variabilità, ciò può essere dovuto ad un accorpamento in unica classe di materiali termicamente differenti.

Range di temperatura dei quartili per classi di copertura					
	1	2	3	4	5
# classi	70	1070	380	185	15
quartile	*tetti chiari*	*tetti rossi*	*tetti grigi*	*tetti marroni*	*tetti scuri*
[1]	-1.91	-2.66	-4.34	-3.09	-1.07
[2]	0.88	0.86	1.3	0.78	1.075
[3]	1.37	1.46	1.87	1.32	2.26
[4,]	1.95	2.29	2.565	1.96	2.895
-	4.37	4.71	5.49	4.84	4.24

Figura 7. Statistiche per le classi di copertura degli edifici presenti nel comune di Cittiglio.

I valori identificati per il 4° quartile per ogni classe di copertura sono stati utilizzati per identificare gli edifici con comportamento anomalo per ogni classe. La Figura 8 riporta il risultato di questa analisi per l'intera area di studio (a). E' interessante notare come le anomalie maggiori siano concentrate in una specifica aree geografica riconducibile al centro storico del comune di Cittiglio dove si concentrano edifici di più antica formazione (b).

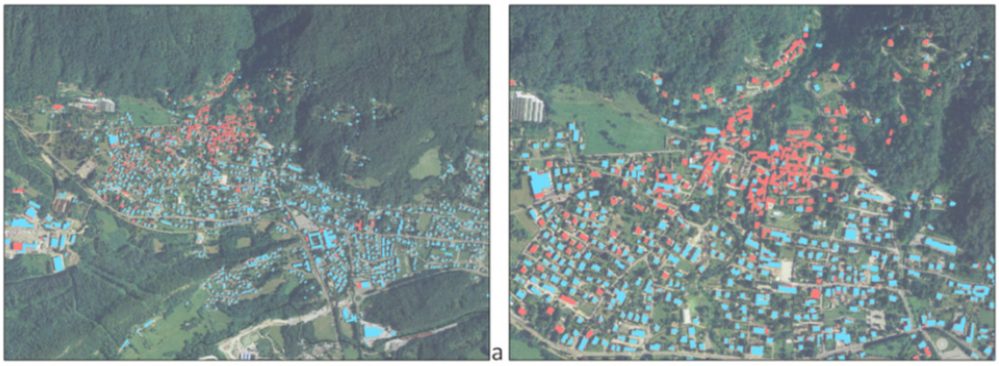


Figura 8. Mappa degli edifici anomali (4° quartile) e dettaglio dell'area del centro storico (b).

Individuazione anomalie nelle coperture di un edificio

Le termografie aeree ci hanno consentito non solo di condurre analisi a scala territoriale ma anche di studiare le caratteristiche di un singolo edificio. Di seguito si restituisce un focus di dettaglio di un fabbricato particolare (Ospedale di Cittiglio), che per il differente uso interno degli spazi e continui recuperi e ampliamenti, mostra significative variazioni nella dispersione delle copertura.

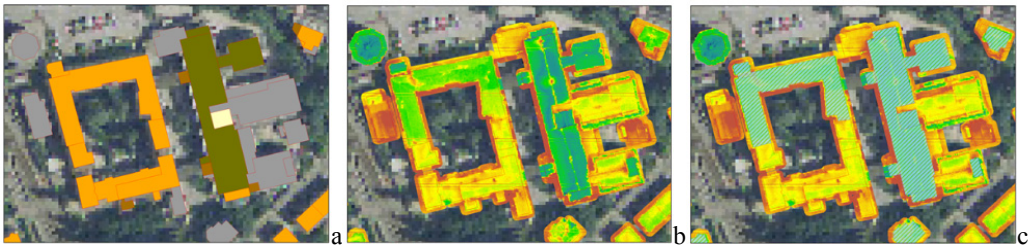


Figura 9. Dettaglio della termografia dell'ospedale di Cittiglio. a) identificazione delle classi di copertura (a coppo e con materiali bituminosi), b) la termografia aerea con pattern di temperature diversi (c) e l'identificazione di parti della copertura anomale ovvero sensibilmente più fredde (isolate) del restante.

Figura 9 mostra un dettaglio in corrispondenza dell'ospedale di Cittiglio. Sono evidenti comportamenti termici diversi tra la parte più nuova con coperture moderne bituminose e quella antica con tetti a coppi (a). E' interessante notare come la parte recentemente ristrutturata nella sezione nord dell'edificio abbia temperature comparabili alle nuove coperture e sensibilmente inferiori a quelle della parte a sud (b). La parte a nord risulta appartenere statisticamente al primo quantile delle coperture a coppi ovvero a quella parte di popolazione che mostra basse temperature ricongiungibili quindi a recenti interventi di coibentazione (c). Infine si può notare come l'alta risoluzione delle immagini sia in grado di identificare gli hot-spot puntuali presenti su tetti corrispondenti ai camini delle centrali termiche (b).

Discussioni

In assetto invernale, la termografia aerea può fornire utili informazioni per valutare in prima approssimazione la dispersione termica osservata attraverso le coperture, che dipende dalla temperatura interna e dalla trasmittanza della superficie. Dal punto di vista della pianificazione energetica comunale (ad esempio nel supporto alla stesura del Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile) risulta interessante identificare la relazione esistente tra le dispersioni termiche osservate e una serie di altre caratteristiche dell'edificio considerato quali la destinazione d'uso, l'anno di costruzione, l'inserimento in contesto ad alta o bassa densità del costruito. Tale relazione può contribuire a identificare con buona approssimazione i consumi energetici per la climatizzazione invernale, i potenziali di risparmio e le priorità di intervento.

In questo caso, la principale difficoltà consiste nel fatto che la temperatura rilevata dipende non solo dalla temperatura superficiale ma anche dall'emissività del materiale presente in copertura. Data l'estrema variabilità di materiali utilizzati in edilizia, è molto complicato assegnare a ogni singola copertura un valore di emissività sufficientemente preciso. Per questo motivo si è preferito scegliere una strada alternativa, identificando delle classi, ciascuna delle quali caratterizzata da valori di emissività paragonabili. La scelta di non identificare con precisione un valore di emissività ci impedisce di conseguenza di calcolare i valori di temperatura superficiale. Allo stesso tempo, l'identificazione di classi rende però possibile l'identificazione all'interno della singola classe degli edifici caratterizzati dalle temperature superficiali più elevate. Come già mostrato, il quarto quartile di ciascuna classe identifica gli edifici che sono riscaldati e che mostrano le prestazioni termiche più deficitarie (elevata trasmittanza delle coperture). Nel caso del comune di Cittiglio, risulta significativo il fatto che tali edifici siano ben concentrati all'interno della zona del centro storico.

Per gli edifici dotati dell'Attestato di Certificazione Energetica è inoltre possibile realizzare un confronto tra la trasmittanza indicata nell'attestato e quella che è ragionevolmente possibile stimare a partire dalle rilevazioni termografiche. Questo dato potrebbe servire a indirizzare le campagne di verifica degli enti preposti semplicemente come indicazione degli edifici su cui può essere opportuno realizzare un approfondimento di indagine. A valle di una estesa campagna di termografia aerea, ad esempio sull'intero territorio regionale, le verifiche si concentrerebbero chiaramente su edifici riscaldati, che dal punto di vista della riduzione dei consumi energetici risultano più interessanti rispetto a quelli sfitti. Non è stato possibile realizzare un confronto nel corso del presente lavoro a causa dell'indisponibilità di dati presenti negli attestati di certificazione.

Grazie alla elevata definizione consentita dal sensore utilizzato, è stato inoltre possibile realizzare la verifica delle discontinuità delle prestazioni termiche nella copertura di un singolo edificio. L'ospedale di Cittiglio è composto da un complesso di edifici distinti. È possibile identificare nella Figura 9 una parte storica di edifici (coperture con coppi sulla sinistra) e gli edifici più recenti. Si verifica facilmente come gli edifici più recenti siano caratterizzati da temperature più basse, e quindi da prestazioni migliori. Inoltre, nel complesso di edifici storici, è possibile identificare la parte recentemente ristrutturata (ala posta a nord) e la parte ancora in attesa di ristrutturazione. L'evidenza sperimentale è quindi in linea con quanto ci si attende a partire dalla conoscenza delle reali condizioni degli edifici.

Questo livello di dettaglio può risultare interessante per un ente pubblico su più livelli. Considerando l'ente pubblico come proprietario di edifici (e consumatore di energia), la termografia può supportare l'identificazione degli edifici (o delle frazioni di edificio) di propria competenza che richiedono un intervento prioritario. Se consideriamo invece l'ente pubblico come possibile fornitore di servizi ai propri cittadini, la termografia aerea può aiutare il singolo cittadino a verificare la prestazione energetica dell'edificio in cui abita, in particolare delle coperture.

Ringraziamenti

Si ringrazia Fagiani Fulvio Coordinatore di Agenda 21 Laghi per l'aiuto nella realizzazione del presente lavoro, l'Ing. Leonardo Bastianelli della Intermark Aviosistemi per il supporto tecnico all'installazione del sensore e La Rossi S.r.l di Brescia per aver condotto le riprese aeree.

Referenze

Brivio P.A., Lechi G., Zilioli E., : "Principi e metodi di Telerilevamento" edito da Città Studi (2006)

Du, H., C.-I. Chang, H. Ren, F.M. D'Amico, J. O. Jensen, J., "New Hyperspectral Discrimination Measure for Spectral Characterization," *Optical Engineering*, Vol. 43, No. 8, 2004, 1777-1786

ITRES: http://www.itres.com/products/imagers/tabi1800/

Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. B. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon, and A. F. H. Goetz, 1993, "The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data." *Remote Sensing of the Environment*, v. 44, p. 145 - 163.

Richards J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduction. , 2nd ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1993

Valutazione di dati LiDAR per la stima di parametri dendrometrici in soprassuoli coetanei di pino domestico

Lorenzo Bottai (*), Lorenzo Arcidiaco (*), Marta Chiesi (**), Fabio Maselli (**)

(*) Consorzio Lamma, Tel. +39 055 4483035, Fax +39 055 444083, bottai@lamma.rete.toscana.it
(**) CNR IBIMET, Tel. +39 055 5226024, Fax+39 055 444083, maselli@ibimet.cnr.it

Riassunto
Negli ultimi anni la tecnologia LiDAR (*Light Detection And Rating*) è stata sempre più applicata per lo studio dei parametri biometrici che caratterizzano i soprassuoli forestali (es. altezza delle piante, forma delle chiome, stima della biomassa dei soprassuoli, etc.). Nell'ambito di questo lavoro viene descritta una tecnica di stima delle altezze degli alberi e della forma delle rispettive chiome, di popolamenti di pino domestico (*Pinus pinea* L.), che caratterizzano il PARCO REGIONALE DI MIGLIARINO, SAN ROSSORE, MASSACIUCCOLI. In particolare, lo scopo principale del lavoro è stato quello di sviluppare una metodologia che, partendo dai dati XYZ, permetta di determinare l'altezza e forma della proiezione orizzontale della chioma di ogni singolo albero. Questo lavoro si è basato sullo sviluppo di una procedura innovativa che a partire dalle immagini dei massimi dei due ritorni (*pulse*) ha permesso di generare il *Digital Surface Model* (DSM). Il relativo *Digital Terrain Model* (DTM) è stato generato a partire dai valori minimi dei punti codificati "2".

Abstract
During the last few years LiDAR (*Light Detection And Rating*) data has been used to study forest biometric parameters (e.g. tree height, crown shape, forest biomass, etc.). In the current paper a methodology was developed to estimate tree height and crown shape of pine trees (*Pinus pinea* L.) situated within the Natural Park of San Rossore. In particular, the main aim was to develop a methodology that, starting from XYZ data, is capable of determining height and crown shape of each single tree. This activity is based on the development of an innovative procedure to create the *Digital Surface Model* (DSM) using the maxima of the two-pulse images; the *Digital Terrain Model* (DTM) was then created based on the minima of the second pulse.

Introduzione

Negli ultimi anni numerosi sono state le applicazioni in ambito topografico e di rilievo a terra attraverso l'utilizzo di telerilevamento attivo con *Laser scanner*. In particolare i rilevi LiDAR si sono sviluppati anche in campo ambientale ed in particolare nel settore forestale dove si sta rilevando un ottimo strumento per l'analisi e l'individuazione di parametri forestali (es. area basimetrica, altezza delle piante e volume) (PIROTTI *et al.,* 2012; MASELLI *et al*., 2011). Tali parametri sono fondamentali per la caratterizzazione dei soprassuoli forestali in termini di stock di carbonio.
Il presente lavoro ha avuto come obiettivo quello di definire una procedura che, a partire dai dati LiDAR di tipo XYZ, permetta di determinare in maniera automatica altezza e forma della proiezione orizzontale della chioma di ogni singolo albero, previo calcolo del DSM (*Digital Surface Model*) a partire dai dati puntuali in formato XYZ.

Area di studio

L'algoritmo viene applicato all'interno di un popolamento coetaneo a pino domestico (*Pinus pinea* L.) che ricade all'interno del vasto territorio del Parco Regionale di San Rossore (43.6-43.8° N, 10.4-10.6° E). Si tratta di una zona costiera pianeggiante appartenente alla fascia del *Lauretum* (*sensu* Pavari). Il clima è caratterizzato da estati calde e siccitose e da inverni mitigati dalla presenza del mare; la temperatura media annua è, infatti, intorno ai 14.8°C e la piovosità, di circa 900 mm, è distribuita con due massimi (uno primaverile ed uno autunnale).

All'interno del Parco il pino domestico è presente sia in popolamenti monoplani, dell'età di circa 110-120 anni, dove esso occupa interamente il piano dominante; sia in formazioni biplane o disetaneiformi, dove il pino interessa prevalentemente il piano dominante, mentre quello secondario è caratterizzato dalla presenza del leccio (*Quercus ilex* L.) e/o frassino ossifillo (*Fraxinus angustifolia* VAHL) alternato a pioppo nero (*Populus nigra* L.), carpino nero (*Ostrya carpinifolia* SCOP.), orniello (*Fraxinus ornus* L.) e farnia (*Quercus robur* L.) (DREAM, 2003).

Dati di studio

I parametri dendrometrici relativi alle singole particelle del Parco sono stati ricavati dal piano di gestione forestale della pineta (DREAM, 2003). In particolare, per ogni particella a pino domestico, erano disponibili le seguenti informazioni: specie, età, altezza media e dominante, diametro medio, volume ed incremento.

Le immagini LiDAR sono state ottenute dagli archivi di Regione Toscana e realizzati in occasione del "PIANO STRAORDINARIO DI TELERILEVAMENTO AMBIENTALE" (PST-A). Questo ha previsto l'acquisizione di tutta la linea di costa italiana con un buffer di 800 m verso l'interno, di tutte le aste fluviali di I, II e III ordine con un buffer di 700 m. Le riprese su la Regione Toscana sono state eseguite nel mese di maggio del 2009, con pianificazione del volo realizzata in modo tale da ottenere una densità di punti al suolo di circa 0.8 – 1 punti al mq relativamente alla costa e 1,5 punti a mq sulle aree interne. I dati sono costituiti essenzialmente da punti a terra che oltre ad avere le coordinate della posizione riportano la quota a terra, l'intensità e il tipo di ritorno (*ground, no-ground*). Poiché lo strumento acquisisce la posizione di molteplici impulsi, l'insieme dei punti viene anche chiamata "nuvola di punti" che sulla base delle informazioni registrate ci consente di attribuire ad ogni elemento rilevato un significato fisico ben preciso. Nel nostro caso il *pre-processing* operato sui dati grezzi ci consente di avere il segnale classificato come 1 e 2; rispettivamente *ground* e *no-ground.*

Metodologia sviluppata

I dati LIDAR disponibili per l'area di studio sono costituiti da 29 file forniti in formato XYZ che contengono le informazioni relative alle coordinate dei punti (espresse in latitudine e longitudine riferite all'ellissoide WGS 84), altezza, intensità e tipo di ritorno. Ai fini del presente lavoro si è provveduto a realizzare dei programmi in linguaggio PYTON che hanno permesso di: 1) analizzare i dati "grezzi" XYZ; 2) derivare una immagine digitale relativa al DSM ed una relativa al DTM; 3) analizzare ed elaborare il DSM al fine di ricavarne i dati di altezza e forma della chioma. La metodologia qui esposta è schematizzata in Figura 1.

A partire dai dati grezzi disponibili, che costituiscono le "nuvole di punti" (Figura 2) dei dati LIDAR, si è proceduto a generare immagini DSM (Figura 3) e DTM, aventi risoluzione a terra pari ad 1 metro in coordinate piane (UTM32 WGS84 EPSG:32632).

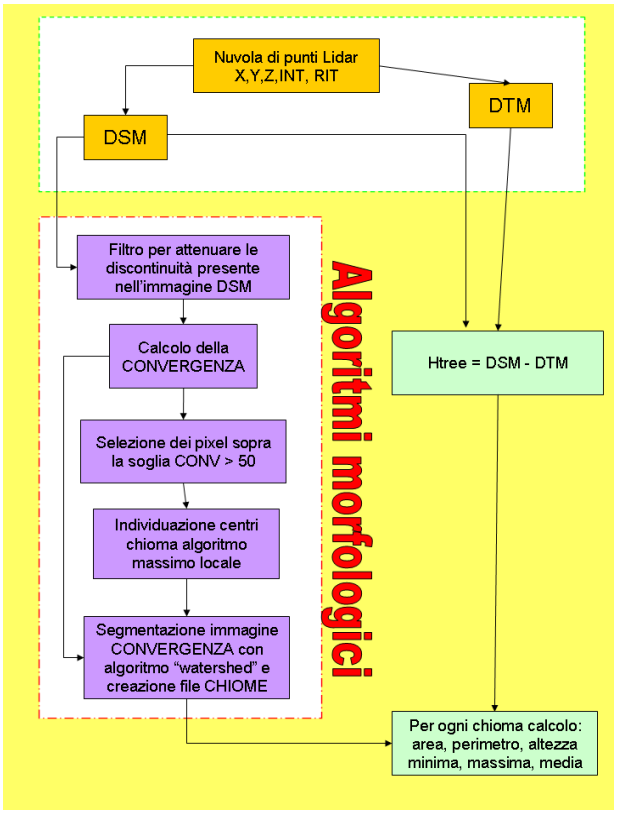


Figura 1. Schema della procedura adottata per l'elaborazione dei dati LiDAR originali.

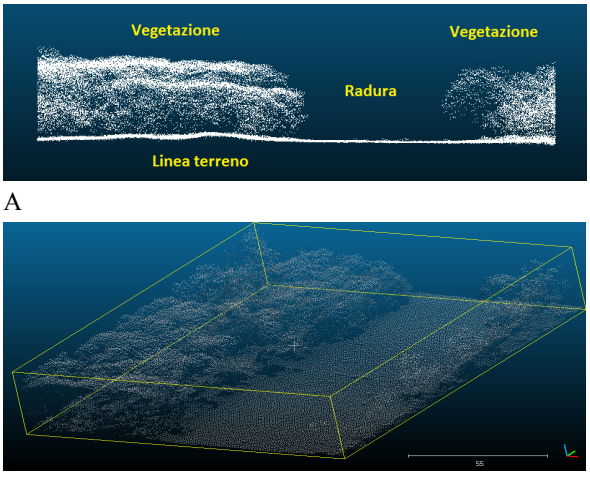
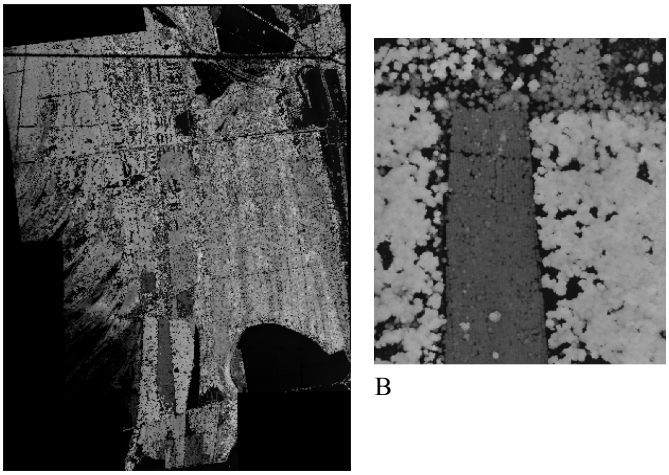


Figura 2. La "nuvola dei punti" nei dati grezzi: vista prospettica (a) e frontale (b).



B

A

Figura 3. Digital Surface Model (a) ed un suo particolare (b) nel quale sono evidenti le chiome dei singoli alberi.

Nello specifico, si è provveduto ad analizzare la lista dei file in formato ASCII; convertire le coordinate da LAT/LONG in coordinate piane UTM32; generare, per ogni file di partenza, due file in formato GEOTIFF; uno per ogni tipo di ritorno. Per ogni cella del *GRID* realizzato vengono calcolati: il numero dei punti grezzi che vi ricadono, il valore di altezza minimo, il valore di altezza massimo ed il valore medio.
Successivamente si è passati alla realizzazione del DSM che è servito come successivo input per la determinazione delle caratteristiche delle chiome dei soprassuoli presenti. Esso è stato generato a partire dalle immagini dei massimi dei due ritorni, le quali vengono elaborate e sulla base del confronto dei due pixel viene scelto quello con il valore maggiore. In questa fase è stata posta particolare attenzione sui pixel all'interno dei quali non ricadeva nessuna informazione (pixel con informazione "numero dei punti = 0"). Infatti, nonostante la densità media dichiarata nella meta informazione allegata sia di 0.8 punti/m^2, alcune aree sono risultate prive di informazioni ovvero non erano presenti punti grezzi. In questi casi, il valore dei pixel privi di "punti grezzi" è stato determinato effettuando un'interpolazione secondo il metodo dell'Inverso della Distanza (IDW).
Successivamente per evitare le discontinuità che si possono verificare all'interno delle aree boscate, i pixel che presentano una differenza rispetto al loro intorno superiore ad una certa soglia (che in questo caso è stata posta maggiore di 3 metri) viene sostituita con la media dei pixel dell'intorno.
Il DTM è stato realizzato a seguito dell'elaborazione dal file raster dei secondi ritorni, prendendo il valore minimo. Nello specifico, e ai fini del presente lavoro, il DTM è stato generato direttamente dall'output della prima procedura, utilizzando l'immagine relativa al minimo dei punti codificati come "2". In questo caso molti pixel risultano privi di informazioni e solo per questi è stato adottato un metodo di interpolazione "SPLINE" in modo da eliminare pixel senza informazione.
Per il calcolo dell'altezza delle singole chiome è stata effettuata la differenza tra DSM e DTM che restituisce per ogni pixel l'altezza rispetto al suolo. Al fine di migliorare la qualità del DSM e rendere più continue e omogenee le variazione di altezza nell'ambito della stessa chioma senza modificare il valore di altezza massima della stessa, si è provveduto ad applicare all'immagine un filtro di FOURIER di tipo gaussiano. Assumendo che il profilo del campo delle altezze di una ipotetica linea che attraversa un dato DSM possa essere rappresentata in termini di un singolo coefficiente *a* moltiplicato per una funzione *sin(x)* e *cos(x),* è possibile circoscrivere le alte

frequenze spaziali (repentini cambiamenti dei valori di altezze in brevi tratti) che possono essere eliminate, e in parte filtrate, individuandole nel corrispondente dominio delle frequenze; quest'ultimo desunto applicando una trasformata diretta di FOURIER. Così facendo è stato possibile preservare i valori di altezza alle basse frequenze spaziali che altrimenti verrebbero "compromesse" adottando i classici filtri spaziali.
Nello specifico l'immagine del DSM è stata convertita dal dominio spaziale al dominio delle frequenze applicando una FFT (trasformata veloce diretta di FOURIER). Ciò ha permesso di eliminare le repentine oscillazione di altezza che si registrano entro tratti brevi, applicando un filtro di tipo gaussiano a tutte le frequenze che presentarono un valore inferiore a 1.5m. In seguito l'immagine è stata riportata nel dominio spaziale ottenendo il DSM filtrato.
Al fine di ricavare parametri per la caratterizzazione dei soprassuoli forestali si è provveduto ad estrarre dalla coppia DSM e DTM i punti relativi ai singoli alberi e la geometria (in formato shape file) delle singole chiome derivando, con strumenti GIS, la loro superficie, il perimetro, il valore dell'altezza massima, minima e media.
La determinazione dei singoli punti rappresentanti i singoli alberi è stata basata sull'assunto che la chioma di soprassuolo di pino domestico è cupoliforme e di tipo irregolare, conseguentemente la distinzione tra una chioma e l'altra viene determinata attraverso un approccio di tipo morfologico.
In pratica utilizzando il DSM si determinano le situazioni di flesso e di massimo utilizzando l'algoritmo chiamato "INDICE DI CONVERGENZA". Esso viene calcolato come media delle differenze tra il valore di esposizione delle celle adiacenti e l'esposizione della cella centrale. In pratica l'indice è informativo di quanto le celle di confine, rispetto alla cella centrale in esame hanno il valore di esposizione (direzione della massima pendenza) rivolto verso di essa. L'indice assume valori compresi tra -90 (zone di flesso) e + 90 (zone di culmine) (Figura 4).

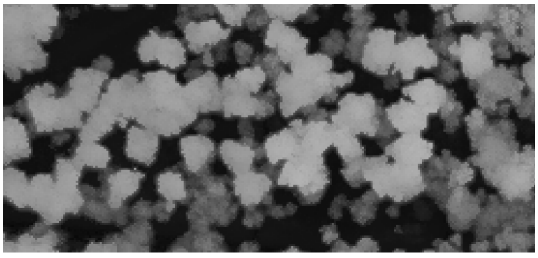


Figura 4. Particolare del DSM.

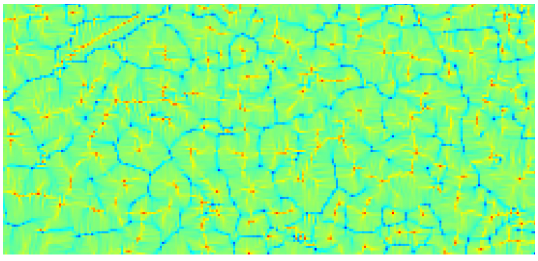


Figura 4b. Indice di Convergenza.

Le aree di colore rosso (vedi figura) mettono in evidenza le parti sommitali delle cupole mentre quelle in blu le aree di flesso e di inversione della convessità e di conseguenza le aree di stacco tra una chioma e l'altra. I singoli punti rappresentanti le singole chiome vengono determinate elaborando tutti i pixel dell'Indice di Convergenza che superano una determinata soglia (posto maggiore di 50) secondo l'algoritmo di "massimo locale" . In pratica viene riconosciuto il punto se l'Indice di Convergenza supera 50 e se questo risulta un massimo locale..
L'immagine relativa all'Indice di Convergenza, è stata successivamente processata con un algoritmo, anch'esso sviluppato in linguaggio PYTON, basato sulla segmentazione delle immagini attraverso la tecnica di morfologia matematica, presente nelle librerie SCILAB e SCIKIT. Nello specifico si è proceduto a segmentare l'immagine secondo l'algoritmo "WATERSHED" che a partire dai punti di massimo locale utilizza lo stesso Indice di Convergenza per classificare ogni cella con il codice di appartenenza ad una singola chioma.

Risultati
In Figura 5 viene riportato il profilo altimetrico calcolato su DSM e DTM in sovrapposizione al relativo Indice di Convergenza.

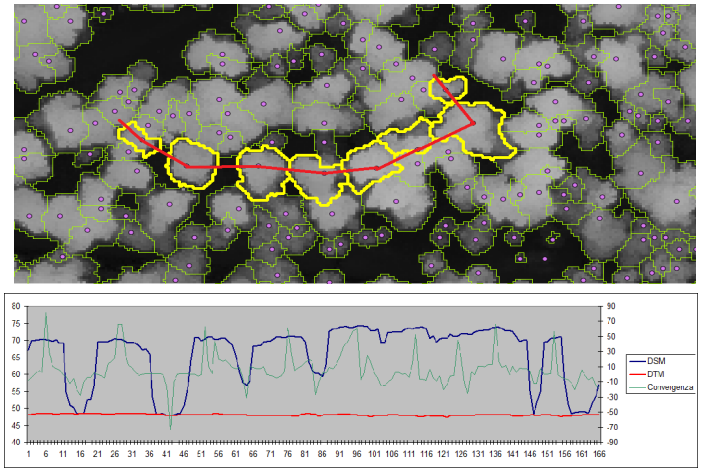
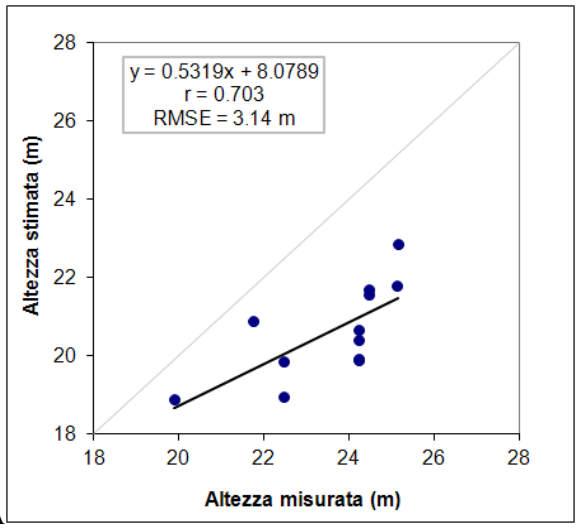


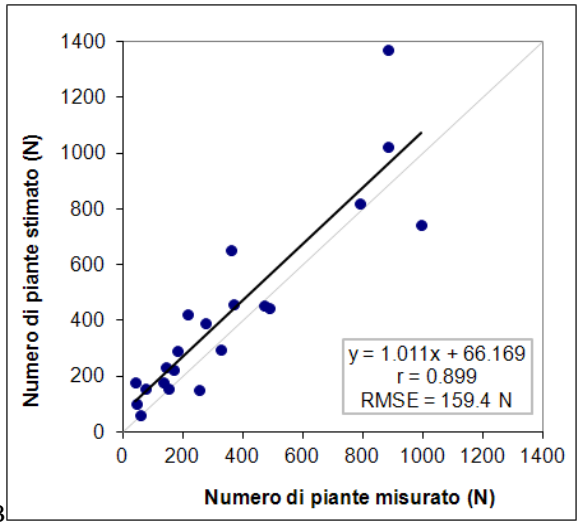
Figura 5. Esempio di sezione trasversale riferita alle elaborazioni dati LiDAR. In rosso la linea che rappresenta il terreno (DTM) in blu la linea che rappresenta le altezze massime del soprassuolo forestale e non (DSM) in verde l'andamento dell'Indice di Convergenza. Nel nostro caso la chioma viene selezionata quando l'indice supera il valore di 50.

Per una verifica della procedura utilizzata, sono stati confrontati i dati relativi al Piano Generale di Gestione Forestale, selezionando solamente i dati relativi ai popolamenti di pino domestico.
Dall'analisi dei risultati ottenuti si evince che esiste una buona correlazione tra il numero di piante rilevato in occasione della redazione del piano di gestione e il numero di piante stimato con il presente lavoro. In alcune particelle (n° 164, n° 145, n° 182, n° 186, n° 146, n°162) la differenza è contenuta entro il 10%, e in un caso (Part. n° 164) il numero di piante è praticamente coincidente.
Di contro, in alcune particelle (n° 60, n° 159, n° 269) è stato osservato che un numero di piante stimato rispetto a quello rilevato differisce notevolmente, come nel caso della part. N° 60, dove si passa da un valore di 177 piante a 43. Ad una successiva analisi è risultato che, così come previsto anche dal piano di gestione, su queste particelle sono stati eseguiti degli interventi selvicolturali, consistenti in tagli di diradamento, tagli di rinnovazione e tagli colturali di carattere fitosanitario. A riprova di ciò, per alcune aree è stato effettuato anche un controllo visivo, confrontando le ortofoto

dell'anno 2010 con quelle degli anni passati (2007, 2003), che ha confermato una notevole differenza in termini di numero di piante.
L'analisi dei risultati della stima delle altezze ha presentato maggiori difficoltà in quanto nel piano di gestione sono state riportate solo le altezze, intese come altezze medie di diametro medio di particella, ricavate dalla curva ipsometrica generale costruita per il pino domestico. Dal confronto di queste altezze con quelle stimate si evince che le differenze, in termini percentuali, sono più marcate rispetto a quelle relative al numero di piante, anche se queste risultano essere sempre contenute entro il 20% (Figura 6).



A



B

Figura 6. Altezza media (A) e numero di piante per particella (B) ricavate da dati LiDAR confrontate con quelle desunte dal piano di gestione della pineta (N = 12 per le altezze ed N = 21 per il numero di piante per particella).

Conclusioni

La metodologia sviluppata ha consentito di creare sia DTM che DSM della pineta oggetto di studio con elevato grado di dettaglio. A partire da questi, attraverso un'apposita procedura, è stato possibile stimare l'altezza delle piante di pino domestico presenti all'interno del Parco e identificare il numero di piante presenti all'interno di ciascuna particella. I risultati ottenuti sono stati validati con le informazioni desunte dal piano di assestamento forestale della pineta. Nonostante esso fosse riferito ad un periodo precedente rispetto alla data del volo LiDAR, l'accuratezza ottenuta è abbastanza soddisfacente. Si auspica che la metodologia qui adottata possa essere testata utilizzando dati Lidar che coprono aree più vaste per le quali siano disponi dati biometrici altrettanto dettagliati.

Bibliografia

DREAM ITALIA, 2003. *Piano Generale di Gestione Forestale della ex Tenuta Presidenziale di San Rossore;* manoscritto non pubblicato.

KISS R., 2004 - "*Determination of drainage network in digital elevation model, utilities and limitations"*, Journal of Hungarian Geomathematics, 2, 16-29.

MASELLI, F., CHIESI, M., MONTAGHI A., PRANZINI E., 2011. "*Use of ETM+ images to extend stem volume estimates obtained from LiDAR data*". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66, 662–671.

PIROTTI F., GRIGOLATO S., LINGUA E., SITZIA T. AND TAROLLI P., 2012 – "*Laser Scanner Applications in Forest and Environmental Science*", Italian Journal of Remote Sensing, 44 (1), 109-123.

Caratterizzazione delle proprietà ottiche delle acque costiere del Mar Adriatico per il progetto CLAM-PHYM

Federica Braga (*), Mariano Bresciani (**), Erica Matta (**), Claudia Giardino (**), Cristiana Bassani (***), Giacomo DeCarolis (**), Luigi Alberotanza (*) e Cristina Ananasso (****)

(*) Istituto di Scienze Marine, CNR-ISMAR, Arsenale, Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia, Tel. 0412407950, e-mail: f.braga; l.alberotanza@ismar.cnr.it
(**) Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, CNR-IREA, Via Bassini 15, 20133 Milano, Tel. 02-23699298; e-mail: bresciani.m; matta.e; decarolis.g@irea.cnr.it
(***) Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, CNR-IIA, Area di ricerca di Roma 1, Via Salaria Km 29,300, 00016 Monterotondo Scalo, Roma, Tel. 06 90672398. e-mail: cristiana.bassani@iia.cnr.it
(****) Agenzia Spaziale Italiana, ASI, UO Osservazione della Terra, Via di Villa Grazioli 23, 00198 Roma, Tel. 06 8567354, e-mail: cristina.ananasso@asi.it

Riassunto
Le proprietà ottiche delle acque costiere possono variare in modo rilevante sia spazialmente, sia temporalmente, in funzione del contributo terrestre e dei processi marino-costieri. Per caratterizzare la variabilità bio-ottica delle acque del Mar Adriatico è stata svolta la campagna oceanografica ENVADR-LTER-CLAM-PHYM nel periodo 3-17 maggio 2012. Sono state effettuate misure di concentrazione delle sostanze otticamente attive e misure di assorbimento e back-scattering delle acque, in modo da definire le proprietà ottiche inerenti e apparenti dell'acqua in 48 stazioni. L'analisi preliminare dell'intero *dataset* ha evidenziato la presenza di tre principali domini spaziali ottici, che corrispondono ai 3 sotto-bacini del Mar Adriatico (Nord, Centro e Sud). Inoltre, nell'arco di qualche giorno, sono state registrate, in prossimità della foce del fiume Po, tre diverse situazioni idro-biologiche (dovute a portata normale, piena fluviale e bloom fitoplanctonico) che hanno fortemente condizionato le proprietà ottiche dell'acqua.

Abstract
The optical properties of coastal waters could vary significantly, both spatially and temporally, in function of terrestrial input of material and marine processes. The ENVADR-LTER-CLAM-PHYM oceanographic survey has been carried out between 3rd and 17th of May 2012, for the characterization of optical variability of Adriatic Sea waters. Biogeochemical concentrations and key water optical parameters have been sampled, in order to define the inherent and apparent optical properties of the water column at 48 stations. The preliminary analysis of the dataset has revealed three main optical regional domains, which correspond to the 3 sub-basin of Adriatic Sea (Northern, Central and Southern). Moreover, during a few days, we have registered three different situations near the mouth of Po river (due to normal fluvial regime, river flood and phytoplankton bloom), which have considerably modified the water optical properties.

Introduzione

Le aree costiere sono spesso caratterizzate da un'alta variabilità delle proprietà ottiche e delle sostanze biogeochimiche, che dipendono dalle specifiche ambientali e stagionali, da processi idrodinamici e da *input* di materiale proveniente dall'ambiente continentale (Babin et al., 2003; Blondeau-Patissier et al., 2009; Aurin et al., 2010). Alcune sostanze (disciolte/sospese, organiche/inorganiche) presenti nella colonna d'acqua interagiscono con la radiazione solare (IOCCG, 2000), cioè sono in grado di assorbire e diffondere la luce. Per questo motivo, sono

definite sostanze otticamente attive (i.e. Clorofilla, sostanze organiche colorate disciolte, materiale sospeso) e, a seconda della loro concentrazione e composizione qualitativa, dimensione e forma, condizionano direttamente le proprietà ottiche inerenti (IOP) e indirettamente le proprietà ottiche apparenti (AOP) che dipendono, a loro volta, dalle condizioni di illuminazione e dalle IOP dell'acqua. Tra le principali IOP della colonna d'acqua si ricordano il coefficiente di assorbimento $a(\lambda)$, il coefficiente di back-scattering $b_b(\lambda)$ e il coefficiente di attenuazione $c(\lambda)$, espressi in unità fisiche di m^{-1} (Preisendorfer, 1961). Tra le principali AOP ricordiamo la riflettanza al di sotto della superficie acquatica $R(0-; \lambda)$ e la radianza riflessa sopra la superficie acquatica $Rrs(\theta,\varphi;\lambda)$. Il legame tra le IOP e le AOP è descritto in modo rigoroso dalla fisica del trasferimento radiativo nella colonna d'acqua (si pensi per analogia al trasferimento radiativo in atmosfera) una cui semplificazione può essere rappresentata dalla modellistica bio-ottica. Esistono numerosi studi che analizzano il modo in cui le variazioni delle caratteristiche dei materiali sospesi e disciolti incidono sulle IOP e quindi sulle AOP, e, invertendo la relazione, come misure quantitative dei parametri biogeochimici siano ottenibili da dati ottici (Brando e Dekker, 2003). Uno dei requisiti per poter ottenere accurate e validate mappe quantitative da immagini satellitari è migliorare gli algoritmi e i modelli bio-ottici usati per invertire il segnale di riflettanza misurato da remoto. Questo richiede una parametrizzazione *ad hoc* che rappresenti in modo adeguato la variabilità regionale e stagionale delle IOP e tenga conto delle dinamiche fisiche e biologiche delle aree di interesse.

Il Mare Adriatico è un sotto-bacino del Mediterraneo nord-orientale e divide la penisola italiana da quella balcanica. Ha una forma allungata che si estende in direzione NO-SE e può essere diviso in un settore a Nord con acque basse (profondità media 35 m) che comprende il golfo di Venezia e arriva fino ad Ancona, un settore centrale più profondo (profondità media 140 m) che si estende fino alla penisola del Gargano e un altro a Sud, ancora più profondo (profondità massima 1200 m), che termina allo stretto di Otranto. L'idrologia e i processi dinamici del Mare Adriatico sono principalmente influenzati dalle forzanti metereologiche (in particolare, il vento), variazioni termiche e input di acqua dolce dai fiumi. La zona costiera è ricca di estuari, soprattutto nel settore Nord, ed il Po rappresenta circa il 70 % del *run-off* totale, con una notevole variabilità stagionale della portata, con picchi in primavera e in autunno. L'Adriatico è considerato una delle regioni più produttive del Mar Mediterraneo, anche se recenti studi hanno evidenziato una diminuzione di produttività negli ultimi decenni. Le maggiori fioriture fitoplanctoniche si verificano negli strati superficiali della colonna d'acqua nel tardo inverno e in estate, soprattutto vicino al delta del Po nella parte occidentale.

In questo studio, presentiamo il *dataset* dei parametri bio-ottici raccolti durante la campagna oceanografica ENVADR-LTER-CLAM-PHYM nel Mar Adriatico, a bordo della N/O URANIA (3-17 maggio 2012), eseguita nell'ambito delle attività previste dal progetto CLAM-PHYM (*Coasts and Lake Assessment and Monitoring by PRISMA HYperspectral Mission*), finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

Lo scopo principale della campagna oceanografica era la raccolta di proprietà ottiche inerenti, proprietà ottiche apparenti e concentrazioni di parametri otticamente attivi e le strategie di campionamento erano state definite con l'obiettivo di costruire un *data-set* ottimale per la calibrazione del modello bio-ottico e per la definizione, lo sviluppo e la validazione di prodotti ed algoritmi PRISMA-*oriented*. L'obiettivo del presente studio è di analizzare la variabilità naturale regionale e temporale delle proprietà ottiche e delle componenti biogeochimiche, misurate nel corso della campagna, in modo da identificare e distinguere comportamenti ottici tipici di specifiche masse d'acqua superficiali presenti nel Mar Adriatico per la parametrizzazione regionale di modelli bio-ottici *ad-hoc,* in particolare verranno utilizzati all'interno della modellistica bio-ottica BOMBER (Giardino et al., 2012).

Materiali e Metodi

Nell'ambito della campagna oceanografica ENVADR-LTER-CLAM-PHYM sono stati effettuati 183 campionamenti in 48 differenti stazioni (Figura 1) per l'acquisizione di dati oceanografici stagionali lungo transetti nei golfi di Trieste e di Venezia, nel Delta del Po, nella zona costiera di Rimini e Senigallia, e nella zona tra le isole Tremiti e Manfredonia. Le aree di campionamento sono state scelte sulla base delle peculiarità sito-specifiche: stato di qualità delle acque, grado di trofia, trasparenza e complessità di morfologia, plume fluviale, bloom fitoplanctonico, siti inquinati. Le misure delle proprietà ottiche sono state effettuate in 48 stazioni, alcune delle quali (12 stazioni) fanno parte della Rete internazionale per le Ricerche Ecologiche di Lungo Termine (LTER). I transetti in prossimità della foce del Po sono stati ripetuti nel corso della crociera allo scopo di mappare i cambiamenti repentini che si sono verificati (piena fluviale-fioritura algale) nel giro di pochi giorni.

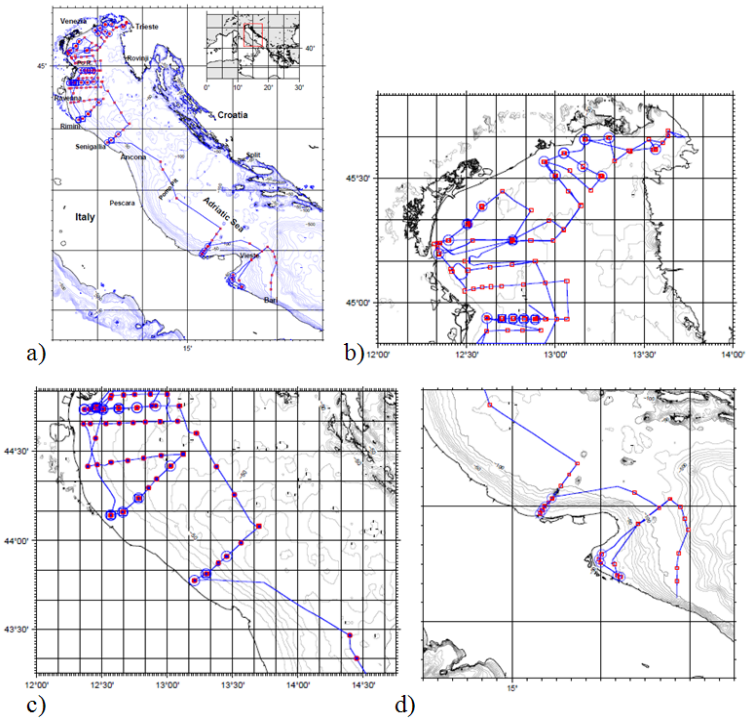


Figura 1. a) Mappa della rotta e delle stazioni effettuate durante la crociera oceanografica ENVADR-LTER-CLAM-PHYM; b), c) e d) dettaglio dei 3 settori in cui è suddiviso il Mar Adriatico (Nord, Centro e Sud). Le stazioni cerchiate in blu indicano i 48 siti nei quali sono state effettuate le misure ottiche (da Bastianini et al., 2012).

Durante la campagna, nei 48 siti, per prima cosa, sono state fatte misure di trasparenza con il disco di Secchi per una caratterizzazione generica del sito. Sono stati raccolti campioni d'acqua discreti nel I° metro e alla profondità del disco di Secchi (DS) e sono state eseguite misure ottiche in superficie e lungo la colonna d'acqua. La strumentazione utilizzata è specifica per misurare AOP e IOP e le metodologie di misura hanno seguito i protocolli SeaWiFS (Fargion and Mueller, 2000).

Le misure di AOP sono state eseguite con più spettroradiometri. In dettaglio, sono stati utilizzati: WISP-3 (Water Insight), progettato specificatamente per il monitoraggio della qualità dell'acqua, eseguendo automaticamente e contemporaneamente misure con tre radiometri, due per misure di

radianza e uno di irradianza, per ottenere la riflettanza superficiale nel range 380-800 nm con 4 nm di risoluzione spettrale; SPECTRASCAN PR-650 (Photo Research), che misura la radianza superficiale nel range 380-780 nm con 4 nm di risoluzione spettrale; RAMSES ACC-ARC (TrioS), un sistema immergibile composto da un radiometro e un irradiometro per la misura della riflettanza in superficie e lungo la colonna d'acqua (350-900 nm e 3 nm di risoluzione spettrale); Multispectral Profiler-II (Satlantic), 1 radiometro e due irradiometri immergibili multi spettrali con 7 canali spettrali nel range 400-700 nm (10 nm di risoluzione spettrale). Queste misure radiometriche sono state eseguite per caratterizzare il campo di luce fuori dall'acqua e lungo la colonna. Le misure emerse caratterizzano l'irradianza superficiale e la radianza superficiale. Quelle immerse sono prese lungo la colonna d'acqua con profili ascendenti e discendenti, dalla superficie al fondo e per ogni profondità identificano: l'irradianza discendente, cioè il campo di luce penetrata nell'acqua e filtrata dai costituenti della colonna d'acqua; la radianza ascendente, cioè il campo di luce deviata indietro dai costituenti della colonna d'acqua più eventualmente la luce riflessa dal fondale. Queste misure dipendono dalle condizioni meteorologiche, dal campo di luce e dalle proprietà inerenti della colonna d'acqua. Dalle misure di radianza ascendente ed irradianza discendente si ottengono misure di Rrs e R(0-).

Le misure di IOP sono state eseguite in continuo lungo la colonna d'acqua con profili ascendenti e discendenti, dalla superficie al fondo. Il coefficiente di *backscattering* (b_b) è stato misurato in sei lunghezze d'onda (442, 488, 510, 550, 620, 676 nm) mediante lo strumento Hydroscat-6 della Hobi Labs Inc.. La correzione preliminare dei dati di b_b è stata fatta applicando la sigma correction (Maffione e Dana, 1997). Sono previste ulteriori correzioni di b_b basate sul metodo sviluppato da Strömbeck (2001). Il coefficiente di attenuazione (c) è stato misurato a 650 nm con lo strumento C-Star di WetLabs, montato sulla rosette. Per la misura della fluorescenza è stato utilizzato Cyclops- 7 (Turner Designs), attrezzato con 4 sensori specifici per la misura dei pigmenti algali e del disciolto (CDOM, Chl-a, Ficocianine e Ficoeritrine). È stato utilizzato il LISST-100X (Sequoia) per misure di *volume scattering function* e derivare la distribuzione delle dimensioni del particolato sospesa nel *range* 1.25-500 μm.

Misure di assorbimento $a_{CDOM}(\lambda)$,$a_{ph}(\lambda)$ e $a_{NAP}(\lambda)$ divise nelle componenti principali (CDOM, fitoplancton e particolato non algale) sono state ottenute da campioni d'acqua filtrati durante la campagna, conservati in condizioni idonee e successivamente analizzati in laboratorio secondo le procedure descritte da Ferrari et al. (1996), Mitchell (1990) e Cleveland and Weideman, (1993), e successivamente modellate in accordo con Fargion e Mueller (2000) e Strömbeck e Pierson (2001). La misura delle concentrazioni di chl-a e TSM sono state effettuate con metodo spettrofotometrico (Lorenzen, 1967) e gravimetrico (Van der Linde, 1998) rispettivamente. Il TSM è stato suddiviso nelle sue componenti organiche SPOM e inorganiche SPOM.

Profili di parametri chimico-fisici sono stati eseguiti con sonda multiparametrica SeaBird in dotazione della N/O Urania. Le misure effettuate sono: temperatura, profondità, salinità, O_2 disciolto, pH, fluorescenza, densità.

Risultati

Lo studio della variabilità naturale regionale e temporale delle proprietà ottiche e delle relazioni con le componenti biogeochimiche è tutt'ora in corso. Tuttavia i risultati preliminari hanno permesso di distinguere i comportamenti ottici delle masse d'acqua superficiali dei tre settori che caratterizzano il Mar Adriatico. Nella figura 2 sono riportate le relazioni tra le 3 sostanze otticamente attive (SOA) misurate nelle stazioni, escluse quelle vicine o direttamente influenzate dalla plume del Po. Il grafico in figura 2a che riporta la concentrazione della clorofilla (chl-a) e l'assorbimento delle Sostanze Organiche Colorate Disciolte (CDOM) a 440 nm ($a_{CDOM}(440)$) evidenzia valori molto bassi e dello stesso ordine di grandezza per le stazioni del Sud Adriatico (SA), mentre i valori del Centro Adriatico (CA) e del Nord Adriatico (NA) sono più dispersi. Il grafico in figura 2b che riporta la concentrazione della chl-a e la concentrazione di Materiale Sospeso Totale (TSM) evidenzia una maggiore dispersione per tutte le stazioni. Va considerato che le stazioni sono state

eseguite lungo transetti dal largo verso costa e infatti nei due grafici si possono distinguere le stazioni più oceaniche da quelle costiere: in figura 2a le stazioni al largo del CA e NA hanno valori più bassi e simili a quelli del SA.

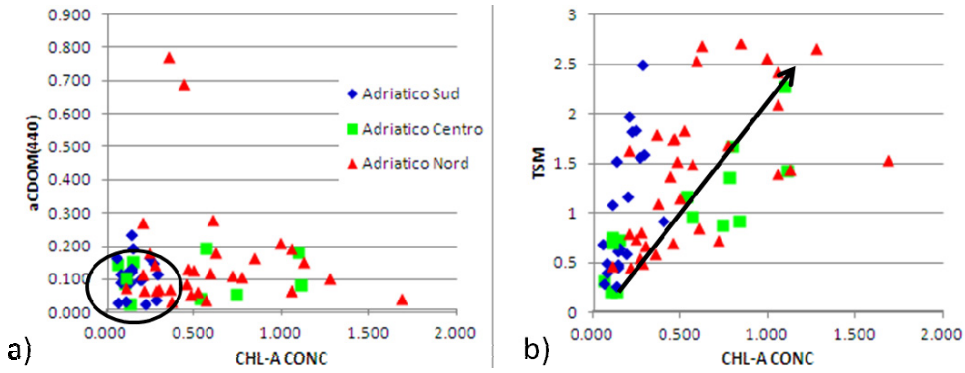


Figura 2. Relazioni tra a) $a_{CDOM}(440)$ e b) concentrazione di TSM in funzione della concentrazione di chl-a. In a) sono evidenziate le stazioni più lontane dalla costa, in b) la freccia indica la direzione dal largo verso costa delle stazioni.

Per verificare se le IOP e AOP dei 3 settori variano, sono state scelte le stazioni più costiere, considerando che le stazioni più al largo presentano valori di SOA più simili tra loro. Le specifiche delle 3 stazioni dell'Adriatico (Sud, Centro e Nord) e del Po sono riportate in Figura 3.

	Concentrazioni					
	chl-a ($\mu g\ m^{-3}$)	TSM ($mg\ m^{-3}$)	$a_{CDOM}(440)$ (m^{-1})	S_{CDOM} (nm^{-1})	DS (m)	$b_b(676)$ (m^{-1})
Adriatico Sud	0.14	1.52	0.090	0.11	7.5	0.006
Adriatico Centro	0.15	0.72	0.150	0.18	3.5	0.014
Adriatico Nord	0.52	1.83	0.061	0.10	5.0	0.015
Po (7 maggio)	1.87	9.63	0.102	0.16	0.7	0.060
Po (9 maggio)	8.65	5.42	0.049	0.09	1.5	0.034
Po (15 maggio)	2.31	4.29	0.205	0.27	1.5	0.037

Figura 3. Valori delle IOP e delle concentrazioni delle 6 stazioni scelte come rappresentative di diverse condizioni ambientali e/o di settori del Mar Adriatico.

In figura 4 sono riportati i grafici dei coefficienti di assorbimento di CDOM, *Non Algal Particle* (NAP) e chl-a, gli spettri di riflettanza superficiale e i coefficienti di b_b per 3 stazioni costiere dell'Adriatico Sud, Centro e Nord. I coefficienti di assorbimento hanno valori contenuti, compresi tra 0 e 0.1 m^{-1}, e non sono rilevabili grandi differenze nella forma. Il NA presenta valori di a_{ph} leggermente più elevati, mentre il CA ha valori più alti di a_{CDOM}. Questo può essere dovuto nel caso di NA alla presenza di fitoplancton legato ai nutrienti portati dai fiumi alpini, e per il CA la maggiore quantità di CDOM è probabilmente di origine autoctona, per degradazione batterica di precedenti fioriture algali, e qui trasportato dalla zona del Po grazie al forte vento di Bora (vento da N-E) che si è verificato nei giorni precedenti la misura. Le AOP sono simili in magnitudo, ma presentano differenze nella forma dovute alla maggiore quantità di particolato presente in NA e CA rispetto a SA, questo è evidente anche nel grafico del b_b, nel quale il SA presenta valori più bassi.

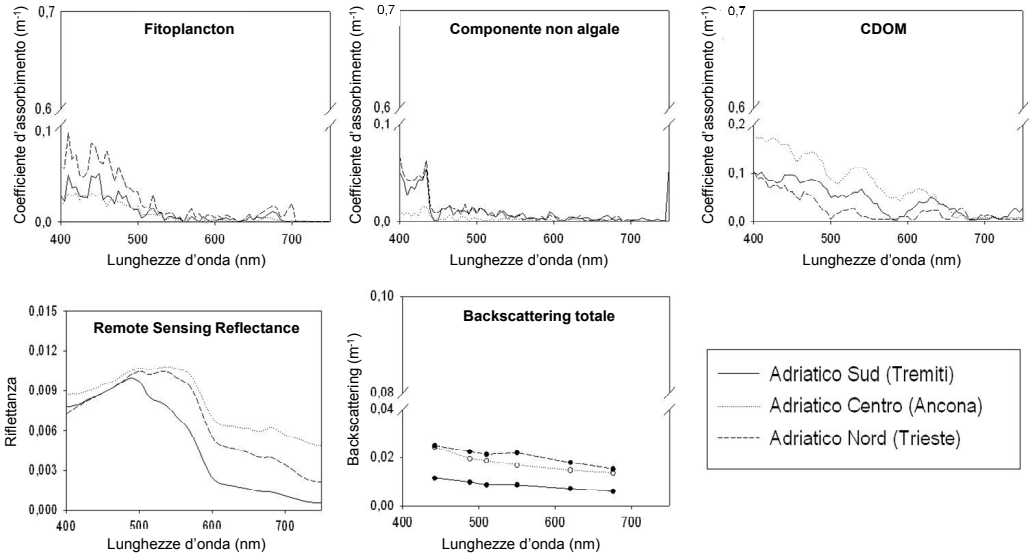


Figura 4. Curve dei coefficienti di assorbimento di chl-a, NAP e CDOM, firme di Rrs e coefficienti di b_b, delle 3 stazioni scelte come rappresentative dei settori Sud, Centro e Nord del Mar Adriatico.

Le stazioni in vicinanza della foce del Po e quelle direttamente influenzate dalla sua plume, come detto precedentemente, sono state ripetute in giorni differenti allo scopo di mappare i cambiamenti repentini che si sono verificati nel giro di pochi giorni. L'analisi dei dati mostra che le acque della plume del Po presentano in media valori maggiori anche di un ordine di grandezza rispetto alle altre stazioni, come si può vedere dai dati riportati in Figura 3; inoltre è ben evidente la variabilità temporale. La stessa area campionata in 3 giorni diversi presenta differenti situazioni (figura 5): in corrispondenza della piena fluviale (7 maggio), tra le SOA prevale il contributo del TSM e i valori di b_b e di $a_{NAP}(\lambda)$ sono i più alti. Come prevedibile, le IOP sono principalmente influenzate dalla presenza di materiale sospeso portato dal Po e ciò si riflette sullo spettro di Rrs che ha magnitudo più grande rispetto alle altre e presenta la forma caratteristica di acque torbide, con valori alti e senza la presenza di picchi di assorbimento nel range 650-700 nm. Successivamente (9 maggio) si è verificata la fioritura di fitoplancton, attivata dal carico di nutrienti provenienti dal Po e dalle buone condizioni di illuminazione: si sono misurate concentrazioni alte di chl-a e la curva di $a_{ph}(\lambda)$ presenta valori molto alti e i picchi di assorbimento sono evidenti. I dati del 15 maggio evidenziano minori concentrazioni di chl-a e TSM e un maggior contributo di CDOM, rispetto alle altre stazioni, sia per quanto riguarda $a_{CDOM}(\lambda)$ sia per il valore della slope (S_{CDOM}) della curva di assorbimento. Questo potrebbe essere connesso in parte alla degradazione batterica in seguito al bloom algale, e anche alle sostanze disciolte che caratterizzano le masse d'acqua provenienti dal fiume.

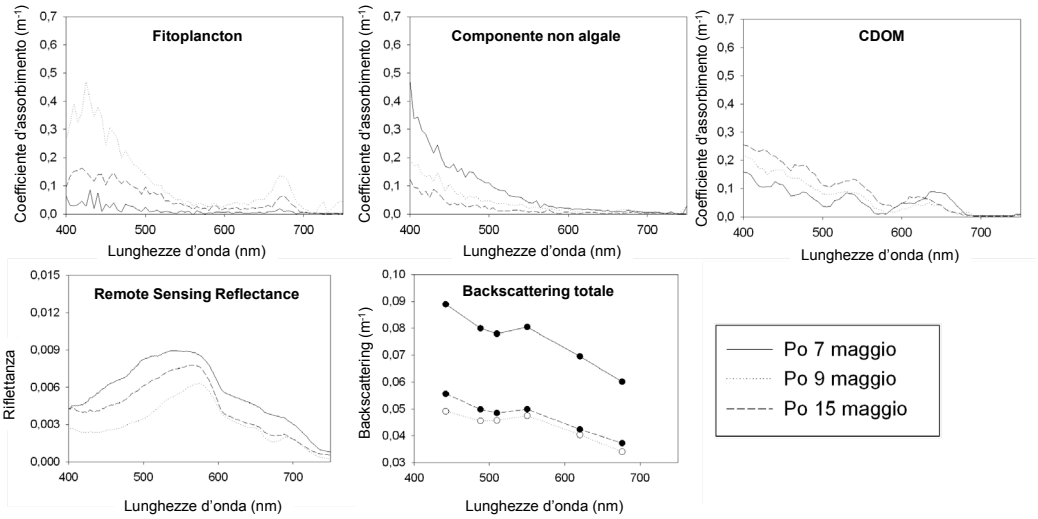


Figura 5. Curve dei coefficienti di assorbimento di chl-a, NAP e CDOM, firme di Rrs e coefficienti di b_b, delle 3 stazioni scelte come rappresentative delle differenti condizioni ambientali dell'area costiera davanti al Po.

Conclusioni

Le proprietà bio-ottiche delle acque costiere del Mar Adriatico presentano un'ampia variabilità spaziale e temporale per alcuni dei parametri analizzati. Spazialmente è osservabile un gradiente decrescente nelle concentrazioni delle SOA dalle acque più vicine alla costa a quelle più al largo. Le IOP sono risultate differenti nei tre settori dell'Adriatico. Nel periodo in cui si è svolta la crociera, l'evento eccezionale di piena del fiume Po ha indotto complessi processi di mescolamento acqua dolce/acqua salata/sedimenti e attività biologica, condizionando fortemente le caratteristiche ottiche delle acque dell'area costiera prospiciente, in tempi molto rapidi. Il monitoraggio dell'evento di piena sarà ulteriormente approfondito con l'analisi di tutto il *dataset* di dati a disposizione. Successive indagini sul *dataset* saranno necessarie per definire una caratterizzazione regionale in termini di IOP per la parametrizzazione della modellistica bio-ottica BOMBER. Infatti, tutti i dati acquisiti hanno lo scopo di poter ottenere tramite l'applicazione della modellistica bio-ottica, mappe quantitative dei parametri otticamente attivi delle acque dell'Adriatico, con un buon grado d'accuratezza, dalle future immagini satellitari PRISMA.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Comandante Vincenzo Lubrano Lavadera e l'equipaggio della N/O Urania per la professionalità e l'impegno dimostrato nell'esecuzione delle attività di campagna.
Lo studio è stato finanziato dai progetti CLAM-PHYM (ASI), Cyan-Is-Was (MIUR) e MELINOS (ESA).

Bibliografia

Aurin D. A., Dierssen H. M., Twardowski M. S., Roesler C. S. (2010), "Optical complexity in Long Island Sound and implications for coastal ocean color remote sensing", *Journal of Geophysical Research*, 115, C07011.
Babin M., Stramski, D., Ferrari, G. M., Claustre, H., Bricaud, A., Obolensky, G., Hoepffner, N. (2003), "Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, nonalgal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe", *Journal of Geophysical Research*, 108 (C7), 3211.

Bastianini M., Bortoluzzi G., Braga F. et al., (2012), *Report on the oceanographical, bio-geochemical, geophysical and geological activities during Cruise with R/V Urania : Adriatic Sea, 2012-05-03- 2012-05-17. Projects ENVEUROPE (coordinated by ISMAR CNR), EU LTER network and ASI CLAM-PHYM (coordinated by ISMAR CNR),* May 2012.

Blondeau-Patissier D., Brando V. E., Oubelkheir K., Dekker A. G., Clementson L. A., Daniel P. (2009), "Bio-optical variability of the absorption and scattering properties of the Queensland inshore and reef waters, Australia", *Journal of Geophysical Research*, 114, C05003.

Brando V. E., Dekker A. G. (2003), "Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 41: 1378-1387.

Cleveland J.S., Weidemann A. D. (1993). "Quantifying absorption by aquatic particles: A multiple scattering correction for glass-fiber filters", *Limnology and Oceanography*. 38:1321-1327.

Fargion G. S., Mueller J. L. (2000) "Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation, Revision 2", *NASA Technical Memorandum 209966* (*SeaWiFS Technical Report Series*) (Greenbelt,MD: NASA Goddard Space Flight Center).

Ferrari G. M., Dowell M. D., Grossi S., Targa C., (1996), "Relationship between the optical properties of chomophoric dissolved organic matter and total concentration of dissolved organic carbon in the southern Baltic Sea region", *Marine Chemistry*, 55(3–4):299 –316.

Giardino C., Candiani G., Bresciani M., Lee Z., Gagliano S., Pepe M., (2012), "BOMBER: a tool for estimating water quality and bottom properties from remote sensing images", *Computers & Geosciences*, 45: 313–318.

IOCCG (2000), *Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal and Other Optically Complex Waters*, S. Sathyendranath, ed., reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 3 (IOCCG, Dartmouth, Nova Scotia, Canada, 2000).

Lorenzen C. J., (1967), "Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations", *Limnology and Oceanography*, 12 (2): 343–346.

Maffione R.A., Dana D.R.., (1997), "Instruments and methods for measuring the backward-scattering coefficient of ocean waters", *Applied Optics*, 36(24): 6057-6067.

Mitchell B.G., (1990), "Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT)". *SPIE Ocean Optics X*, 1302: 137-148.

Preisendorfer, R. W. (1961), "Application of radiative transfer theory to light measurements in the sea", *International Union of Geodesy and Geophysics Monograph*, 10: 11 –30.

Strömbeck N., (2001), *Water quality and optical properties of Swedish lakes and coastal waters in relation to remote sensing*, Ph.D. thesis, Acta Universitatis Upsalainsis 633.

Strömbeck N., Pierson, D. C., (2001), "The effects of variability in the inherent optical properties on estimations of chlorophyll a by remote sensing in Swedish reservoirs", *Science of the Total Environment*, 268:123–137.

Van der Linde, D. W. (1998), *Protocol for determination of total suspended matter in oceans and coastal zones, Report*, Joint Res. Cent., Ispra, 182 pp.

Studio delle fioriture di cianobatteri attraverso le tecniche di telerilevamento

Bresciani M. (*,**), Giardino C. (*), Kratzer S. (***), Matta E. (*),
Braga F. (****), Morabito G. (*****), Bartoli M. (**), Strömbeck N. (******)

(*) CNR-IREA, Via Bassini 15, Milano, Tel. 02-23699298, Fax 02-236999300,
e-mail: bresciani.m@irea.cnr.it; giardino.c@irea.cnr.it; matta.e@irea.cnr.it
(**) Dipartimento Scienze Ambientali, Università degli studi di Parma, Viale G.P. Usberti 11/A, 43124 Parma,
Tel. 0521-905048, Fax e-mail: marco.bartoli@unipr.it
(***) Department of Systems Ecology, Stockholm University, Tel. +46-8-161059, Fax +46 (0)8 15 84 17,
e-mail: Susanne.Kratzer@ecology.su.se
(****) Istituto di Scienze Marine, CNR-ISMAR, Venezia, e-mail: federica.braga @ismar.cnr.it
(*****) Istituto Studio Ecosistemi, CNR-ISE, Largo Tonolli 50, 28922 Pallanza (VB),
Tel. 0323-518300, Fax 0323-556513, e-mail: g.morabito@ise.cnr.it

Sommario
Con l'obiettivo di poter approfondire le conoscenze dei fenomeni di fioritura dei cianobatteri nelle acque è in corso (2010-2012) il progetto di cooperazione bilaterale Italia-Svezia denominato "Cyanobacteria Assessment in Italian and Swedish water from space" (cyan-IS-was). Tramite misure in situ, in laboratorio si è creato un data-set di firme spettrali con differenti fioriture di cianobatteri che ha permesso di valutare gli algoritmi disponibili in bibliografia e d'implementare nuovi algoritmi specifici per l'individuazione e quantificazione dei differenti eventi di fioritura da immagini telerilevate (MERIS, CHRIS-PROBA) e aerotrasportate (MIVIS, APEX). Le mappe, integrate con dati fisico-chimici delle acque e dati meteorologici, sono alla base della possibilità di comprensione dei fenomeni di fioritura e del loro impatto sugli ecosistemi acquatici considerati.

Abstract
In order to improve the actual knowledge about cyanobacteria blooms, the project cyan-IS-was is currently under way. Through in situ measures a data-set has been realized collecting different cyanobacteria blooms spectral signatures. It allowed the evaluation of algorithms already present in bibliography and the implementation of new ones, specific for the characterization of different bloom events from remote sensed images. Maps, together with water physical-chemical parameters and weather data, can be used to understand the impact of blooms on the aquatic ecosystems.

Introduzione

Le elevate concentrazioni di nutrienti organici nelle acque e nei sedimenti, associate agli aumenti di temperatura ed alle variazioni dei livelli delle acque determinano dei fenomeni di "bloom algale", tanto più probabili e intensi quanto maggiore sarà la compartecipazione di questi fattori. Alcuni *bloom* fitoplanctonici vengono definiti *Freshwater harmful algal blooms* (FHABs) poiché comprendono specie che possono portare alla produzione di pericolose tossine; tra questi gli organismi predominanti risultano essere i cianobatteri (Jhonk et al., 2008). I *blooms* dei cianobatteri hanno differenti impatti negativi sugli ecosistemi acquatici: infatti, determinano un aumento della torbidità delle acque e una carenza notturna di ossigeno, possono produrre cianotossine che determinano seri rischi per la salute umana e per gli animali acquatici, rendono difficilmente utilizzabili le acque a livello potabile (Chorus, 2001). Negli ultimi 20 anni le fioriture dei cianobatteri negli ambienti acquatici lacustri sono aumentate sia in termini di frequenza, sia di

intensità (es. Hudnell, 2008). I principali fattori alla base di questi aumenti sono collegati ai *changing environment*, che includono *global climate change* e *global eutrophication* (es. Granèli e Flynn 2006). La complessità delle caratteristiche specifiche e di adattamento di questi organismi, rende necessaria l'integrazione di differenti discipline. Ad integrazione della limnologia, il telerilevamento è una disciplina che permette di ottenere informazioni quantitative sulla qualità delle acque con il vantaggio della visione sinottica e della multitemporalità. In particolare i cianobatteri, essendo dotati di pigmenti secondari (ficocianine e ficoeritrine) che producono caratteristici picchi di assorbimento/riflessione della radiazione elettromagnetica emergente dalla colonna d'acqua, possono essere rilevati dai sensori satellitari.

Obiettivi del progetto

Il progetto si è preposto e si propone di i) aumentare la conoscenza delle proprietà ottiche inerenti ed apparenti delle acque in presenza di cianobatteri; ii) analizzare i differenti algoritmi di letteratura per la discriminazione delle fioriture e implementare algoritmi semi-empirici dedicati ai differenti casi di studio e iii) utilizzare le immagini multi-iperspettrali da aereo e satellite per mappare e quantificare i fenomeni di fioritura e motivare le possibili cause di tali eventi.

Attività e risultati del progetto

Le aree di studio studiate all'interno del progetto hanno compreso un' estrema varietà di ecosistemi acquatici italiani e svedesi al fine di poter considerare la variabilità dal punto di vista morfologico, climatico e di stato trofico (lago Trasimeno, Idro, Mantova, Garda, Vänern, Mar Baltico e Adriatico). L'analisi delle proprietà ottiche delle acque in presenza di cianobatteri è stata effettuata sia su campioni d'acqua in laboratorio, sia in situ. Sono state effettuate misure delle proprietà ottiche inerenti e apparenti che hanno permesso di valutare come assorbimento e back-scattering dei pigmenti fotosintetici siano utilizzabili per creare algoritmi semi-empirici e modelli bio-ottici dedicati alla loro mappatura. Queste informazioni sono state riportate alle immagini telerilevate appositamente corrette atmosfericamente e si sono potute ottenere mappe di concentrazioni e distribuzione dei cianobatteri. L'analisi delle immagini ha evidenziato come lo studio dei cianobatteri necessiti di immagini iperspettrali con un elevato rapporto segnale/rumore e, data la loro dinamica temporale, di elevati tempi di rivisitazione. I risultati hanno evidenziato l'estrema variabilità dei fenomeni di fioritura dei cianobatteri, che per le differenze nell'intensità, nell'eterogeneità e nelle caratteristiche della fioritura necessitano di algoritmi e parametrizzazioni di modelli sito-specifici. L'analisi ha evidenziato come la clorofilla-a sia un buon *proxy* dei fenomeni di fioritura quando questi sono intensi e monospecifici, mentre, quando si hanno fioriture eterogenee, è necessario utilizzare i pigmenti secondari caratteristici (ficocianina e ficoeritrina). L'analisi ecologica dei fenomeni di fioritura considerati ha sottolineato come la temperatura, l'irradianza incidente, le condizioni di vento e la quantità di nutrienti disponibili nelle acque siano i parametri fondamentali che determinano i *blooms* di cianobatteri.

Riferimenti bibliografici

Chorus I, Bartram J. eds. (1999). *Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. Published by E & FN Spon, London, on behalf of the World Health Organization, Geneva.

Granèli E, Flynn K, (2006). *Chemical and physical factors influencing toxin content*. In: Granèli E, Turner JT (Eds.), Ecology of Harmful Algae. Ecological Studies, vol. 189. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 229–241.

Hudnell HK, Jones C, Labisi B, Lucero V, Hill D R, Eilers J. (2010). Freshwater harmful algal bloom (FHAB) suppression with solar powered circulation (SPC), *Harmful Algae,* 9: 208-217.

Johnk KD, Huisman J, Sharples J, Sommeijer B, Visser PM, Stroom JM, (2008). Summer heat waves promote blooms of harmful cyanobacteria, *Glob. Change Biol.* 14: 495-512.

Sistemi Informativi Architettonici per la gestione, tutela e fruizione dell'edilizia storica

Stefano Brusaporci (*), Mario Centofanti (*), Romolo Continenza (*), Ilaria Trizio (**)

(*) DICEAA, Dipartimento di Ingegneria Civile Edile-Architettura Ambientale, Università degli Studi di L'Aquila
Via G. Gronchi 18 (complesso ex-Felix), 67100 L'Aquila (AQ), Tel. +39 0862.43.4102, Fax +39 0862.43.4143
stefano.brusaporci@univaq.it, mario.centofanti@univaq.it, romolo.continenza@univaq.it
(**) ITC-CNR, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Via Carducci 32, 67100 L'Aquila (AQ), Tel. +39 0862.316669, Fax +39 0862.318429, ilaria.trizio@itc.cnr.it

Riassunto[1]
Nel tempo si è molto arricchito e articolato il campo di interesse in ordine alle azioni di tutela, conservazione e valorizzazione dei beni architettonici, azioni che presuppongono un'ampia, interdisciplinare e organizzata base conoscitiva dei manufatti. In particolare, il rilevamento architettonico, in conseguenza alla diffusione delle tecnologie digitali quali laser scanner e fotogrammetria digitale, offre, quale esito del processo di conoscenza, modelli digitali atti a favorire la costruzione di sistemi informativi dedicati all'architettura, in cui il requisito fondamentale è il riferimento spaziale tridimensionale dei dati.
Obiettivo della ricerca che ha portato alla definizione di un Sistema Informativo Architettonico, il SIArch-Univaq -condotta dal gruppo di lavoro composto da membri dell' ITC-CNR e del Dipartimento di Architettura e Urbanistica dell'Università di L'Aquila- è studiare le possibilità di integrazione di modelli digitali 3D dell'architettura storica con sistemi GIS.
Le problematiche affrontate pertanto spaziano dalla definizione degli standard cui il modello deve rispondere, all'integrazione di differenti tecnologie, dalla determinazione del livello di dettaglio, alla definizione di procedure di importazione, alla struttura del database. Il SIArch è stato testato su differenti manufatti e consente di supportare le decisioni da assumere in fase di pianificazione, progetto ed esecuzione degli interventi, ma anche di creare un adeguato spazio operativo per l'espletamento di attività di ricerca.

Abstract
As time goes by become increasingly complex the architectural heritage protection and conservation field. Indeed it requires a wide, interdisciplinary and organized knowledge base of the architectural buildings. Because of the widespread of digital technologies (as laser scanner and photogrammetry) the architectural survey offers easily digital models that fits in the architectural information systems having as a basic requirement its spatial reference.
The aim of the research group -composed by member of members of ITC-CNR and Department of Architecture and Urbanism of the University of L'Aquila- that created the SIArch-Univaq (a new Architectural Information System) was to set down the integration of 3D digital models of historical architecture with GIS. The research defined the standards needed in order to integrate the different modeling technologies, the model's detail level, the importing procedures and the whole database structure. The SIArch was tested on different architectural typologies as a tool in supporting the decisions to be taken in planning, design and implementation of interventions, but also to create an adequate working space to carry out research activities.

[1]Sebbene il contributo sia stato concepito unitariamente dagli autori, si può attribuire il paragrafo 1 a Mario Centofanti, il paragrafo 2, il rilievo dell'apparecchiatura costruttiva ed il modello 3D del caso di studio a Stefano Brusaporci, il paragrafo 3 e l'elaborazione del Sistema Informativo tridimensionale a Ilaria Trizio; il paragrafo 4 a Romolo Continenza.

1. Il SIArch-Univaq

In occasione della Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale PRIN COFIN 2006 "Sistemi informativi integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano", coordinatore scientifico nazionale Mario Centofanti, il gruppo di ricerca composto dagli autori del presente articolo ha sviluppato uno studio sulla "Modellazione infografica del rilievo ed analisi del patrimonio storico-architettonico nelle procedure integrate per la conservazione, tutela e valorizzazione". Particolare esito è stato la definizione di un sistema informativo per l'architettura denominato SIArch-Univaq, realizzato attraverso l'integrazione di modelli 3D in ambiente GIS della ESRI Company.

Rispetto a finalità quali la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio storico-architettonico, le moderne tecnologie digitali offrono straordinarie possibilità in ordine alla organizzazione della conoscenza, multidisciplinare e pluriscalare, e alla costruzione di strumenti temporalmente dinamici e idonei alla manipolazione delle informazioni e alla strutturazione delle proposte progettali (siano esse il monitoraggio permanente e/o la manutenzione programmata) che gli interventi di restauro. Il Sistema Informativo per l'Architettura SIArch-Univaq costituisce un database 2D-3D dedicato all'architettura su piattaforma GIS (Geographical Information System) che si propone di conseguire analisi e interrogabilità di una base dati, topologicamente strutturata su visualizzazioni di tipo vettoriale bidimensionali e tridimensionali.

In particolare, è stata sviluppata la sequenza logico-operativa della selezione e immissione dei dati, la definizione della struttura del data-base, la costruzione del modello 3D, la importazione del modello 3D all'interno del GIS, la verifica, attraverso la sperimentazione applicativa su casi di studio, della interoperabilità tra modelli 3D e GIS e della interrogabilità del modello.

Uno dei problemi fondamentali in un data base integrato è quello relativo alla complessità della architettura come realtà tridimensionale caratterizzata da una elevata densità informativa accompagnata da una notevole eterogeneità degli elementi informativi. È necessario pertanto un modello restituivo che svolga, nelle forme e nei modi della innovazione tecnologica, le funzioni di intermediario tra il dato sensibile fenomenico e le categorie intellettive della cognizione e della prefigurazione progettuale, che sia esso stesso documento interpretabile e in grado di riproporre il medesimo rapporto di specularità (del modello bidimensionale tradizionale) tra modello rappresentativo (rilievo interpretativo e documentativo), e modello predittivo progettuale. Un modello globale (integrale, unitario, pluriscalare) capace di contenere tutte le informazioni sulle caratteristiche storiche, geometrico-dimensionali, morfologico-figurative, tecnico-costruttive dell'architettura.

Si è deciso di proseguire la ricerca, testando il sistema su differenti casi di studio, ovvero relativi ad edifici di diverse epoche, tipologie e caratteristiche architettoniche. In particolare nel presente contributo il SIArch viene implementato attraverso l'utilizzo del modello 3D della chiesa di S. Giustino a Paganica (L'Aquila), manufatto caratterizzato da profondi fenomeni di stratificazione, culminati con l'intervento di restauro degli anni Quaranta del secolo scorso, che ne ha definitivamente modificato la *facies* originale.

Il fine del paper è quello di tracciare le somme della ricerca condotta sino ad oggi sui sistemi informativi per l'architettura, evidenziando i risultati raggiunti, le problematiche riscontrate, gli sviluppi ancora prevedibili.

2. CAD vs OOCAD

Le tecnologie digitali di archiviazione, analisi e gestione delle informazioni hanno trovato nel modello tridimensionale il naturale supporto per un sinergico sviluppo delle potenzialità offerte.

Il modello 3D matematico di per sé si pone come entità costituita da "informazioni", in primo luogo geometriche, topologiche, sui materiali, tutte georeferenziabili. Inoltre il modello, inteso come simulazione, al limite in scala reale, del fenomeno architettonico, ne raccoglie le qualità architettoniche, spaziali, figurative. Qualora il modello 3D sia diacronico, è atto a rappresentare le modificazioni e trasformazioni occorse durante la sua esistenza. Ultimo ma non ultimo il modello

può essere dotato di informazioni relative all'apparecchiatura costruttiva, riproducendo le caratteristiche tecnologiche del manufatto ovvero raffigurando la cultura, la sapienza e la perizia costruttiva degli autori.
Se poi il modello 3D diviene interfaccia e substrato di un archivio costituito dalla grande ed eterogenea massa di informazioni che correlano una architettura, numerose sono le potenzialità che si vengono ad offrire, in ordine allo studio storico-critico, al progetto di restauro, alla manutenzione e gestione del bene, alla sua tutela, salvaguardia e valorizzazione. A tutto questo non sono estranei discorsi di natura economica, gestionale e programmatoria.
Pertanto il modello 3D si presta quale supporto per sistemi informativi architettonici e nella sua costitutiva tridimensionalità favorisce l'organizzazione e l'interrogazione delle informazioni. È evidente come l'organizzazione semantica del modello e della banca dati del sistema informativo non rappresentino altro che due facce della stessa medaglia.
Posto che il modello 3D, quale rilievo di un'architettura storica, rappresenti una restituzione critica operata dal/dai rilevatore/i, si pone in primo luogo la questione di quali siano gli strumenti software di modellazione più adatti per raggiungere gli obiettivi stabiliti. Lo sviluppo delle tecniche digitali di rilevamento architettonico – laser scanner e fotogrammetria digitale in primis – ha favorito la realizzazione di modelli 3D, ottenuti quali elaborazioni di superfici derivanti da nuvole di punti o interpolazione di linee e curve nello spazio. Al contempo nella pratica, il rilevamento condotto con metodo integrato resta il più diffuso.

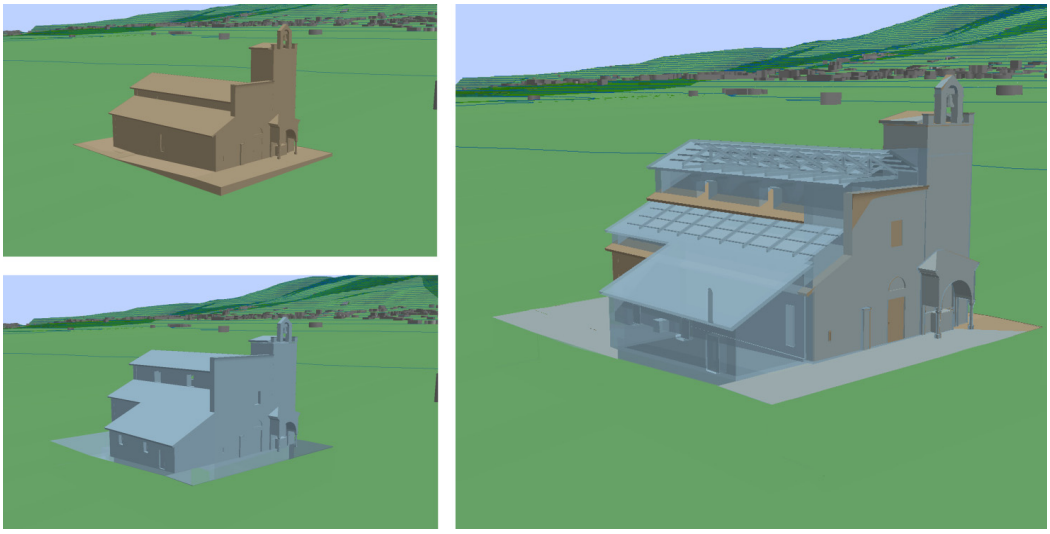


Figura 1. Sistema Informativo Architettonico della chiesa di S. Giustino a Paganica (AQ). Visualizzazione, in ArcScene, rispettivamente: del modello 3D della chiesa nella sua configurazione attuale (in alto a sinistra), in quella precedente al restauro del 1945 (in basso a sinistra) e loro sovrapposizione (a destra).

Il rilievo alla scala dell'apparecchiatura costruttiva evidenzia la necessità di approfondire le specifiche problematiche. Pertanto si ritiene ineludibile ampliare il tema della semantizzazione del modello digitale ad includere il sistema costruttivo. Numerose sono le chiavi di lettura offerte dalle discipline per la scomposizione del costruito storico secondo l'articolazione dell'apparecchiatura costruttiva: murature, chiusure orizzontali intermedie, di copertura, voltate, porte/finestre, etc. e loro componenti costruttivi. Questa scomposizione, oltre a favorire l'analisi del sistema costruttivo dell'architettura storica, facilita la correlazione con il sistema informativo dedicato, attraverso l'interrogabilità delle componenti.

I focus della interpretazione del modello quale 'modello informativo' e la sua definizione in ordine all'apparecchiatura costruttiva, di per sé potrebbero suggerire il ricorso a *software* di tipo Object Oriented CAD, che trovano in queste due tematiche ragion d'essere: infatti i *software* cosiddetti building information modeling oriented (tipo Autodesk Revit, Archicad/Allplan, Bentley Systems, Digital Project) realizzano i modelli 3D non attraverso oggetti base generali – linee, spline, superfici, volumi creati con operazioni booleane, etc. – ma con componenti pre-definiti attraverso librerie, cioè tipizzati.
L'acronimo BIM al contempo rinvia al concetto di modello e a quello di creazione e gestione delle informazioni correlate, secondo le due definizioni – in vero la seconda più diffusa – di Building Information Model e di Building Information Modeling.
I BIM pongono al centro dell'intero processo modelli 3D, basandosi sul concetto di costruzione del modello quale strumento di elaborazione del progetto, interfaccia comune ed interoperabile tra le differenti figure professionali coinvolte, quali architetti, strutturisti, impiantisti. A differenza degli altri tipi di *software*, sviluppati nelle loro applicazioni architettoniche a partire da applicazioni di *reverse engineering* – proprie dell'ingegneria meccanica e del design – i BIM nascono specificatamente per il progetto architettonico.
L'accezione al concetto di informazione è centrale in quanto rinvia a modelli di riferimento composti da oggetti semanticamente definiti come componenti dell'apparecchiatura costruttiva. Pertanto tali elementi digitali sono espressione di per se stessi delle componenti costruttive dell'edificio, tanto in ordine ai caratteri metrici che in relazione ai materiali ed alle loro caratteristiche strutturali, energetiche, etc. Tuttavia non riferendosi ad oggetti base generali – linee, *spline*, superfici, volumi creati con operazioni booleane, etc. – ma a componenti quali chiusure verticali, orizzontali, porte, finestre, etc., richiede che queste siano pre-definite attraverso librerie, cioè che tali componenti siano tipizzati.
Questo aspetto difficilmente si coniuga alle necessità proprie del rilevamento di architetture storiche, ove ogni elemento possiede una propria valenza storica ed architettonica, a meno di non creare tante librerie quanti gli oggetti modellati in fase di rilievo.
Le ragioni stesse della nascita e dello sviluppo dei BIM si fondano sulla ricerca di software adatti allo sviluppo del progetto architettonico e alla gestione delle informazioni relative all'intero ciclo di vita dell'edificio, dalla sua nascita alla realizzazione alla manutenzione, con particolare attenzione agli aspetti economici – computi e tempistiche –. Il fine è di ottimizzare il rapporto costi/tempi/benefici proprio di un procedimento progettuale basato sull'industrializzazione, prefabbricazione e tipizzazione di componenti commerciali.
Tali presupposti sono di per sè in antitesi alle istanze proprie di un processo di attento ascolto e dialogo tra rilevatore/restauratore ed edificio storico, secondo un sistema di conoscenza sempre aperto ed in continua evoluzione – si pensi solo alle specifiche del cantiere di restauro –.
Ciò non toglie che i BIM possano offrire elementi di interesse, permettendo, anche se al momento in maniera limitata, un qualche grado di integrazione con modellazioni 3D complesse. In tale senso la recente possibilità di importare nuvole di punti rappresenta una utile integrazione, al contempo suggerendo l'intenzione di sviluppare il software così da offrire soluzioni di tipo integrato. E si può dire che questo sta avvenendo anche nell'ambito dei GIS, implementati con sistemi di modellazione sempre più raffinati.

3. I Sistemi Informativi Architettonici: analisi critica e prospettive future

All'attualità il Siarch-Univaq si pone come un Sistema Informativo Architettonico aperto, vale a dire progettato per rispondere alle più svariate esigenze di rappresentazione, tutela, gestione e fruizione dell'edilizia storica, da parte di tecnici e non. Il Sistema, per la cui descrizione dettagliata si rimanda alla bibliografia (in particolare: Brusaporci 2010, Centofanti 2011 e Centofanti 2008), ha strettamente legato la sua evoluzione allo sviluppo del *software* utilizzato (la *suite* ArcGis Desktop della ESRI), passando da una fase embrionale in cui non era possibile una rappresentazione tridimensionale dei modelli architettonici alla base del Sistema – evocata solo attraverso una serie

significativa di sezioni verticali ed orizzontali correlate da una complessa rete di riferimenti interni e collegamenti ipertestuali - ad una fase, conclusiva, seguita al rilascio della *release* 9.2 del *software*, che ha reso possibile la corretta visualizzazione tridimensionale ed interrogazione di modelli 3D complessi, georeferenziati, con un elevato livello di dettaglio.

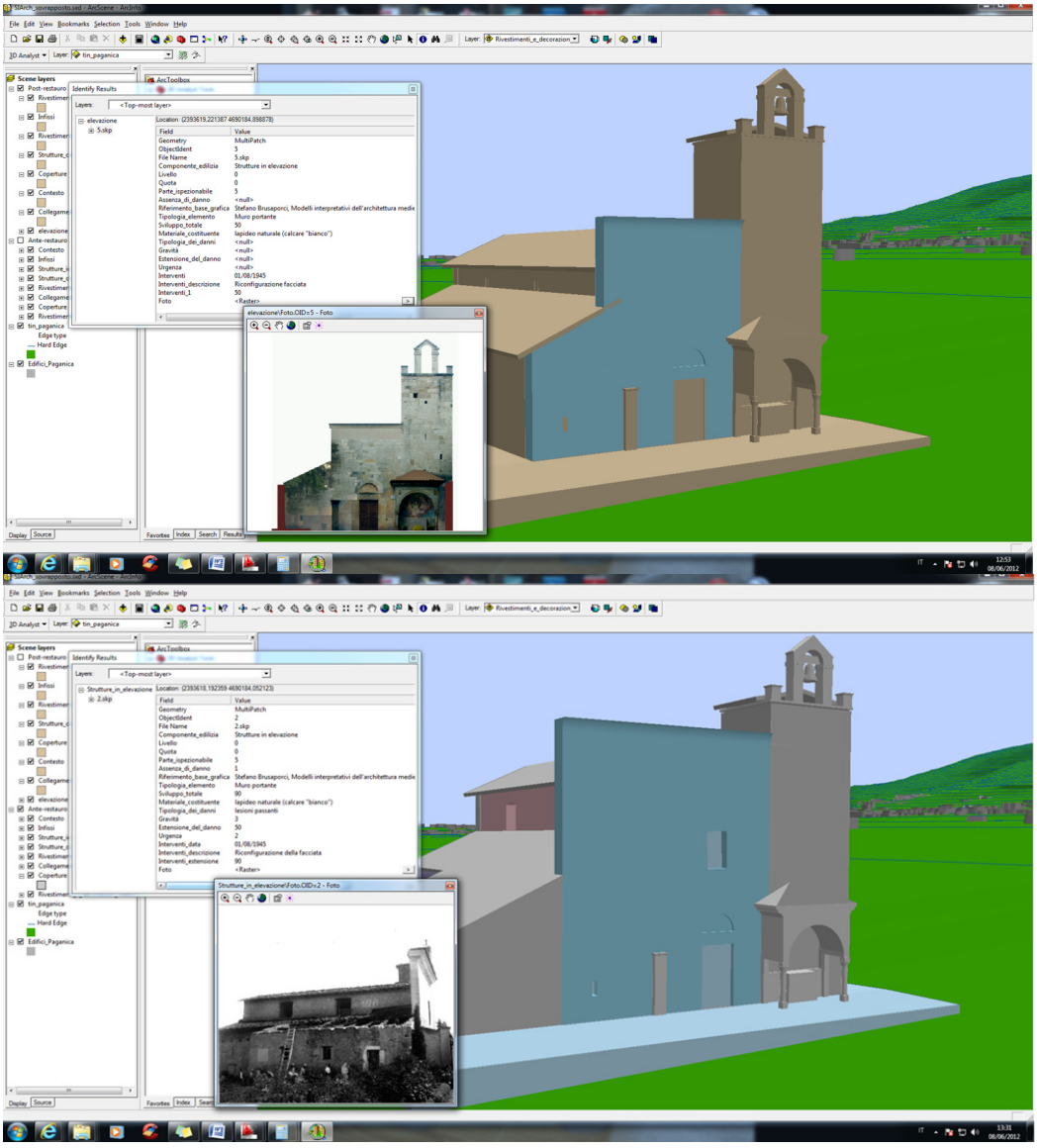


Figura 2. Software ArcScene della ESRI, con l'interrogazione della facciata del modello 3D della chiesa nella sua configurazione attuale ed in quella precedente al cantiere di restauro del 1945.

Le principali problematiche affrontate dalla ricerca sono state: da un lato la definizione degli *standard* dei modelli (ci si riferisce, in particolare, a quelli tridimensionali) da importare all'interno del Sistema Informativo – legate tanto alle esigenze di pluriscalarità quanto agli *output* da ottenere – dall'altro la progettazione del *database*, la cui architettura è stata progettata a partire dalle schede

messe a punto dall'ISCR (Istituto Superiore Centrale per il Restauro) per la costruzione della Carta del Rischio del Patrimonio Culturale. Tali aspetti erano a loro volta legati dalla corretta definizione di procedure di importazione, in ambiente GIS, dei modelli 3D generati in appositi ambienti di modellazione.

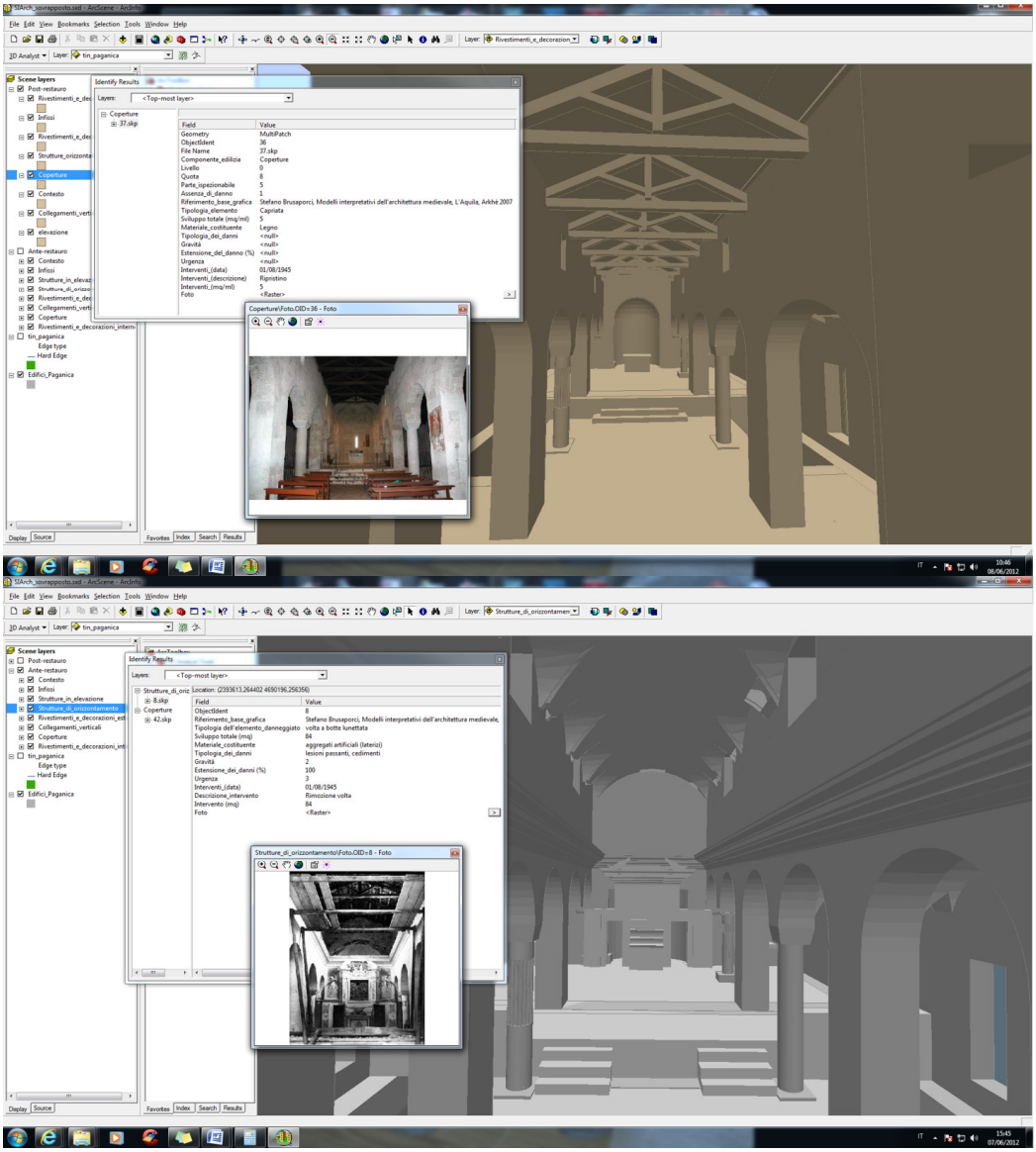


Figura 3. Software ArcScene della ESRI, con le viste interne della chiesa nella sua conformazione attuale ed in quella originaria, con rispettivamente l'interrogazione di una delle capriate in legno (in alto) e delle volte rimossa durante l'intervento del 1945 (in basso).

Le immagini del contributo (figg. 1-3) si riferiscono, a titolo di esempio, ad una particolare applicazione del SIArch, in cui è stata sperimentata la sovrapposizione diacronica dei due modelli 3D della chiesa di S. Giustino a Paganica (AQ) e nella quale i Sistemi Informativi si sdoppiano: il

primo, relativo al modello della chiesa precedente al cantiere di restauro del 1945 con la sola funzione di contenere, correlandole topologicamente agli elementi del modello, le informazioni storiche (immagini d'epoca, documenti d'archivio, etc.); il secondo, visualizzabile anche contemporaneamente al primo, assolve alle funzioni più classiche di un Sistema Informativo Architettonico (informazioni quali-quantitative legate principalmente allo stato di conservazione dei materiali componenti, localizzazione e tipologia degli interventi eseguiti, controllo dello stato complessivo del manufatto, stima del grado di urgenza di eventuali interventi, etc.).
Oggi che la ricerca sul SIArch è ad uno stadio molto avanzato, essendo stato testato su differenti tipologie architettoniche (principalmente palazzi, ville e chiese) ed avendo già fornito risultati apprezzabili attraverso i numerosi test effettuati, orientati al conseguimento di *output* di volta in volta differenti – pensati per rispondere alle esigenze molteplici di un'utenza eterogenea - possiamo tentare di avanzare delle riflessioni generali su questa esperienza specifica come anche sul tema più generale dell'applicazione all'Architettura dei Sistemi Informativi.
In primo luogo bisogna segnalare una certa macchinosità dovuta alla importazione del modello 3D all'interno del Sistema; la complessità del modello è destinata a crescere esponenzialmente in relazione all'aumentare del livello di dettaglio utilizzato per la costruzione dello stesso e, di conseguenza, del *database* ad esso collegato. Con analoga progressione è destinata a crescere la dimensione complessiva dell'intero Sistema Informativo. A fronte di ciò osserviamo che, se da un lato un elevato livello di dettaglio garantisce dei risultati più che soddisfacenti dal punto di vista logico-funzionale (ampia possibilità di informazioni tramite interrogazione diretta o analisi spaziali), dall'altro impone tempi lunghi per la sua costruzione e la necessità che sia approntato e gestito da personale altamente formato.
Infine, nonostante il SIArch-Univaq abbia ormai raggiunto un compiuto livello di configurazione e quindi possa sembrare che il risultato atteso sia stato raggiunto, non è detto che la nostra ricerca sui sistemi informativi per l'Architettura debba considerarsi conclusa. Futuri approfondimenti, quali ad esempio lo snellimento delle procedure di importazione dei modelli attraverso lo studio della integrazione tra BIM e GIS (con l'importazione, in GIS, di modelli derivanti da ambienti BIM) e un miglior livello di integrazione e di immagazzinamento delle informazioni costituiscono ancora un fecondo terreno di ricerca.

4. Conclusioni

E' innegabile l'utilità di un Sistema Informativo per l'Architettura nello sviluppo di ipotesi progettuali di restauro architettonico e nei processi di manutenzione controllata e, di certo, una maggiore semplicità nella costruzione, ma soprattutto nell'uso, ne potrà certamente favorire la diffusione nelle Amministrazioni locali e tra tutti gli organi e operatori preposti al controllo, alla tutela e valorizzazione del nostro patrimonio architettonico.
Il percorso della ricerca, allora, si biforca, da quello della concezione complessiva del sistema secondo due diversi itinerari: quello volto alla predisposizione di uno strumento che sia semplice da concepire e realizzare e quello che mira ad una strutturazione interna volta a soddisfare le esigenze dell'utente finale.
Nel primo caso occorrerà affrontare i temi della costruzione e della evoluzione del/i modello/i all'interno dello stesso sistema, si potrebbero così evitare tutte le difficoltà connesse alla importazione ed integrazione nel sistema di modelli costruiti in ambienti grafici diversi come anche quelle connesse all'incremento delle loro dimensioni, in termini di occupazione di memoria, in funzione del livello di dettaglio richiesto. Analogamente è certamente possibile elaborare metodologie di compattazione e di archiviazione dei dati in grado di snellire, anche sotto questo profilo, le modalità di conservazione e di accesso. Questa linea di ricerca postula una collaborazione intensa fra due mondi non sempre fra loro interagenti: quello della ricerca in e sull'architettura e quello degli sviluppatori delle procedure digitali, non ultima la casa produttrice della piattaforma digitale sulla quale si intende operare, nel caso di specie la ESRI. Diversità nei linguaggi, nella impostazione concettuale dei problemi, difficoltà ad interloquire su argomenti di volta in volta fra

loro assolutamente alieni saranno delle oggettive barriere che, una volta superate, potranno però condurre a profonde rivoluzioni nell'intera architettura di sistema ed alla creazione di uno strumento certamente più agile e funzionale.
L'altro itinerario di ricerca è mirato più specificatamente alla soddisfazione delle istanze esprimibili dalle diverse fasce d'utenza. Diverse, infatti, sono le esigenze di un progettista da quelle di uno storico a quelle di un tecnologo a quelle di un'amministrazione pubblica o di un investitore. Ognuno di questi personaggi desidera approcciare in maniera diversa, ma sempre il più semplice possibile, le informazioni che possono essere fornite dalla base di dati del sistema e, soprattutto, estrarre le informazioni ordinate nel modo più adeguato ai suoi fini particolari, sia essa una relazione, dei disegni, la valutazione di alcune determinate quantità, un report fotografico strutturato. La soluzione che appare più semplice è quella della creazione di interfacce fra il Sistema e l'utente il più possibile "amichevoli" e, soprattutto orientate direttamente ad ogni specifica tipologia d'utente. Alla medesima base di dati ed ai medesimi modelli si può pensare possano attingere moduli di *software* diversi, ognuno dotato di una veste specifica volta al soddisfacimento di una diversa fascia d'utenza. Potrebbero così venire ordinate e strutturate le diverse possibilità di accreditamento dell'utente presso il Sistema, potrebbero essere semplificati i modi di accesso alle informazioni e, più in particolare, le maschere per l'estrazione e la visualizzazione dati come anche le modalità di confezionamento delle informazioni da estrarre nella forma più adeguata alle diverse necessità.
Il percorso della ricerca in quest'ambito tende a spostarsi, come si è visto, dal terreno dell'impostazione generale a quello del raffinamento della strumentazione, sia quella di sistema che quella d'interfaccia con l'utenza; si tratta di un itinerario che soltanto apparentemente sembra puntare ad un affinamento degli strumenti ma che, in realtà, attraverso la conoscenza approfondita delle logiche che legano ogni passaggio strumentale, potrà condurre, come è già accaduto nel caso di molte altre procedure informatizzate, alla attesa rivoluzione e ad una radicale semplificazione di questa importante strumentazione.

Bibliografia

Brusaporci S. (2010), a cura di*, Sistemi informativi integrati per la tutela la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*, Gangemi, Roma.

Centofanti M., Brusaporci S. (2012), *Architectural 3D modeling in historical buildings knowledge and restoration processes*, in: Less More architecture design landscape, La Scuola di Pitagora, Napoli.

Centofanti M., Continenza R., Brusaporci S., Trizio I. (2011), "The Architectural Information System SIArch3D-Univaq for analysis and preservation of architectural heritage", The international archives of the photogrammetry remote sensing and spatial information sciences, XXXVIII-5/W16

Centofanti M., Continenza R., Ruggieri G., BrusaporciS.,Trizio I. (2008), "Il progetto del SIArch - Sistema Informativo per l'Architettura", *Disegnare con*, 2: 1-7

De Luca L., Bussayarat C., Stefani C., Véron P., Florenzano M. (2011), "A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage", *Computers & Graphics*, 35: 227-241

Gaiani M., Benedetti B., Apollonio F. I. (2009), "Acquisition standards and structuralisation of digital models to create three-dimensional IT systems of archaelogical areas: the case study of Pompeii", *Disegnare idee immagini*, 39: 60-73

Trizio I. (2007), *GIS-technologies and Cultural Heritage: stocktaking, documentation and managment*, In: Rethinking Cultural Heritage. Experiences from Europe and Asia, TechnischeUniversität Dresden, Dresden, 75-91

Trizio I. (2009), "Indagini Stratigrafiche e Sistemi Informativi Architettonici: il GIS della chiesa di S. Maria in Valle Porclaneta", *Arqueología de la Arquitectura*, 6: 91-111

Rilievi multibeam per il monitoraggio morfo-batimetrico della coltivazione di bacini di cava sottofalda

Simone Busoni (*), Roberto Francese (**), Massimo Giorgi (**), Aldino Bondesan (***)

(*) Provincia di Treviso, Settore Ecologia e Ambiente, Via Cal di Breda n. 116, 31100 Treviso, sbusoni@provincia.treviso.it
(**) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, OGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, Sgonico (TS), rfrancese@inogs.it; mgiorgi@inogs.it
(***) Università di Padova, Dipartimento di Geoscienze, Via Gradenigo 6, 35131 Padova (Italy), aldino.bondesan@unipd.it, +39-049-8274085, +39-0421-326532

Riassunto
Il lavoro descrive le basi teoriche e le metodologie operative dei rilievi morfo-batimetrici dei fondali di una serie di cave sottofalda ubicate nel settore occidentale del territorio provinciale di Treviso. Le misure sono state effettuate con un dispositivo MBES (Multi Beam Echo Sounder) installato a bordo di un'imbarcazione, predisposta per gli scopi del progetto, dotata di sistema di navigazione e di posizionamento GPS (Global Positioning System) differenziale. I rilievi hanno riguardato un totale di 20 unità lacustri, appartenenti a 13 bacini, ubicati nella fascia di media pianura compresa tra Treviso e Castelfranco Veneto.

Abstract
This paper describes the theoretical basis and operational methods of morpho-bathymetric surveys of the seabed in a series of inundated quarries located in the western part of the province of Treviso. The measurements were performed with a MBES device (Multi Beam Echo Sounder) installed on board of a boat, prepared for the purposes of the project, with a differential GPS navigation and positioning system . The surveys covered a total of 20 quarries, from 13 basins, located in the plain between Treviso and Castelfranco Veneto.

Parole chiave: rilievo morfobatimetrico, *Multi Beam Echo Sounder* (MBES), cave

Inquadramento generale

La porzione della pianura padana compresa nel territorio della provincia di Treviso è caratterizzata dalla presenza di sistemi sedimentari aventi la morfologia a ventaglio tipica dei conoidi alluvionali, il cui apice si pone in corrispondenza degli sbocchi delle vallate prealpine, percorse durante le fasi glaciali del Quaternario dai ghiacciai del Piave e del Brenta [Fontana A. *et alii* (2004)].
I materiali solidi trasportati dai corsi d'acqua, in particolare durante le fasi di arretramento delle lingue glaciali, hanno dato luogo al materasso alluvionale che presenta una composizione stratigrafica peculiare, frutto del processo deposizionale alla sua stessa origine: interamente ghiaioso nella parte apicale prossima ai rilievi prealpini, si arricchisce, spostandosi verso la costa adriatica, in frazioni più fini (limoso – argillose) sino a interdigitarsi con i depositi marini e lagunari.
La struttura della pianura trevigiana è solitamente distinta in una zona di alta pianura, formata dalle porzioni apicali dei conoidi alluvionali, dove si rinvengono materiali prevalentemente grossolani (ciottoli pluricentimetrici, ghiaia in percentuale anche del 30% e sabbia) in spessori di centinaia di metri (almeno 300 nella parte più a ridosso dei rilievi), a cui segue una zona detta di media pianura, in cui la minore capacità di trasporto solido dei corsi d'acqua porta alla comparsa delle prime e via

via più frequenti lingue limoso – argillose a scapito dei termini a granulometria più grossolana, alla quale succede la bassa pianura, la parte più distale dei conoidi, caratterizzata dall'alternanza di materiali fini (limi e argille) con sabbie più o meno limose [Dal Prà *et alii* (1976) e Dal Prà *et alii* (1977)].
Questo assetto del sottosuolo riverbera sull'idrogeologia della pianura trevigiana, contraddistinta da un importante acquifero freatico alloggiato entro i depositi di alta e media pianura, al quale si sostituisce, dopo la cosiddetta "fascia delle risorgive" (dove l'acqua di falda viene spontaneamente a giorno), una struttura a falde confinate tra loro sovrapposte.

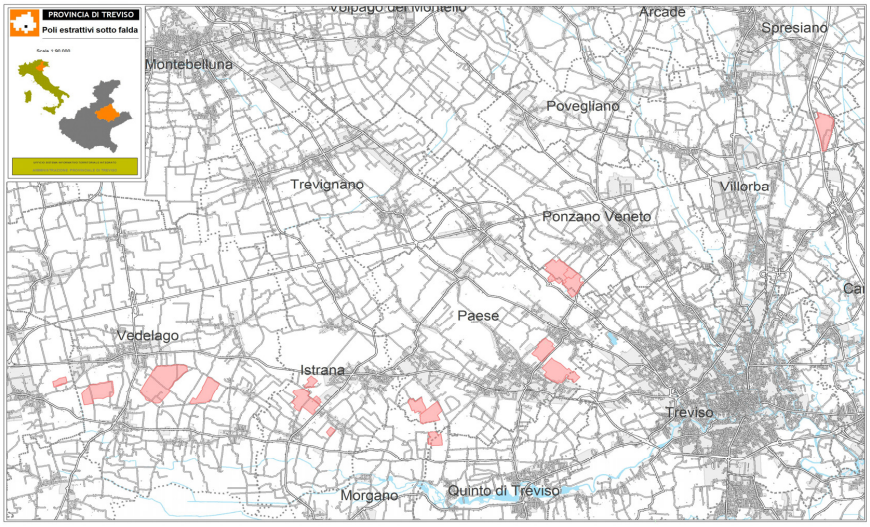


Figura 1. Ubicazione dei bacini investigati nella pianura trevigiana.

Nella zona di alta e media pianura, per l'elevata presenza di depositi grossolani, si concentra l'attività estrattiva di ghiaia e sabbia che assume, a livello regionale, notevole rilevanza (37 cave attive su 96 censite in Regione). Nelle cave di media pianura, dove il livello freatimetrico si trova più prossimo alla superficie, le profondità di scavo sono tali da superare il livello superiore della falda, in forza di autorizzazioni precedenti all'apposizione dello specifico divieto oggi vigente, con il risultato che in molte cave si formano veri e propri laghi, profondi talvolta svariate decine di metri.
In questa situazione, lo svolgimento dell'attività di controllo di competenza della Amministrazione Provinciale rappresenta una vera sfida alle difficoltà tecniche e operative che inevitabilmente si presentano nell'effettuare un rilievo batimetrico. Costi elevati e lentezza esecutiva hanno reso di fatto sinora irrealizzabile una campagna sistematica di controllo da parte degli uffici provinciali. È nata, quindi, la necessità di sperimentare un metodo di misurazione della batimetria e della morfologia dei fondali di cava che, oltre a essere rapido ed economicamente accessibile, fosse in grado di assicurare sia un'alta risoluzione, sia un'elevata attendibilità del dato finale.
I rilievi hanno riguardato un totale di 20 laghi di cava, appartenenti a 13 bacini estrattivi, ubicati principalmente nella fascia di media pianura compresa tra Treviso e Castelfranco Veneto (Figura 1). La superficie media di ciascun lago di cava è risultata pari a 136˙100 m^2, con valori che variano da un massimo di circa 415˙000 m^2 a un minimo di 23˙300 m^2.

Metodologia di misura
Per le ragioni suddette, la scelta del metodo di rilevamento della morfologia del fondale si è basata sull'impiego del sistema *Multi Beam Echo Sounder* (MBES).

Strumentazione e cenni di teoria del metodo

Il sistema MBES rappresenta l'evoluzione del classico sonar batimetrico (*Single Beam Echo Sounder* – SBES). Si tratta di uno strumento capace di gestire simultaneamente molteplici energizzazioni e ascoltare ritorni su angoli anche superiori al centinaio di gradi. Il sistema MBES può essere descritto come un *sonar* acustico che rileva le distanze (noti il tempo di ritorno e la velocità del suono in acqua) tra la sorgente e il fondale o qualsiasi altro bersaglio presente sopra il fondale stesso. Il sistema si basa su un trasduttore composto da una serie di ricevitori che rilevano l'eco di ritorno del suono emesso dal trasmettitore dopo la riflessione da parte del fondale. Nel complesso si tratta di un sistema simile a quello del rilevamento *laser* da piattaforma aerea.

Nell'esecuzione del rilievo è stato impiegato un sistema RESON Sea Bat 8125 capace di misurare simultaneamente 240 fasci *sonar* su una apertura angolare di 120 gradi e con una frequenza di energizzazione massima di 40 Hz.

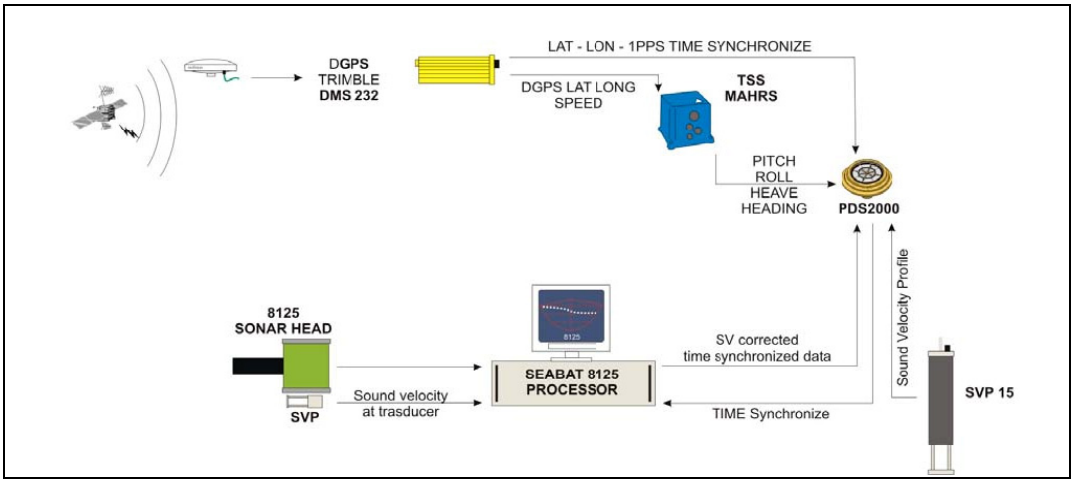


Figura 2. Schema di funzionamento del multibeam impiegato per il progetto (elaborata da E. Gordini modificato da L, Facchin, R. Romeo).

L'intero sistema è piuttosto articolato, in relazione alla necessità di conoscere per ciascuna energizzazione la posizione spaziale e l'orientamento della "testa" radiante (*Sonar Head* in Figura 2). Il segnale in uscita dal trasduttore ha una frequenza centrale di 455 KHz che consente di ottenere dei ritorni sino ad una profondità massima di 120 m. In condizioni ottimali la risoluzione verticale nominale risulta pari a 0.006 m mentre la risoluzione orizzontale, con una spaziatura tra i singoli fasci pari a 0.5 gradi, risulta di 0.025 m. L'apertura angolare di 120 gradi del fascio radiante consente di realizzare uno *swath* di copertura la cui larghezza, su un fondale piatto, è di circa 3.5 volte la distanza tra il trasduttore e il fondo (sostanzialmente pari alla profondità dello specchio d'acqua al di sotto dell'imbarcazione). In presenza di fondali inclinati (come nel caso dei bacini di cava sottofalda), lo *swath* copre una fascia di maggior larghezza con una leggera diminuzione del potere risolvente orizzontale, che rimane comunque di ordine centimetrico.

Gli altri componenti più importanti del sistema, oltre all'ecoscandaglio Sea Bat 8125, sono:

1. un dispositivo GPS differenziale Trimble DSM 232 su rete Omnistar HP;
2. un'unità inerziale (IMU – *Inertial Measurement Unit*) TSS MAHRS (*Meridian Attitude & Heading Reference System*);
3. una sonda per la misura del profilo verticale della velocità di propagazione del suono nella colonna d'acqua.

I dati in uscita dai diversi sensori di posizione, di orientamento e di velocità vengono gestiti simultaneamente mediante un apposito *software* di controllo (RESON PDS2000) che, oltre all'analisi in tempo reale dei dati, consente (in virtù della ricezione del segnale GPS) di percorrere con l'imbarcazione traiettorie di misura pre-impostate.

Procedure di acquisizione e rete di misura

Il sistema utilizzato ha permesso di rispondere positivamente alle esigenze di certezza sulla posizione della apparecchiatura di misurazione, tramite dispositivi GPS, e sulla univocità tra la lettura strumentale effettuata e il bersaglio "illuminato", rapporto tutt'altro che scontato quando si impiegano piattaforme di acquisizione soggette a svariati movimenti non controllabili a priori, attraverso una complessa procedura di calibrazione che sarà illustrata nel seguito.

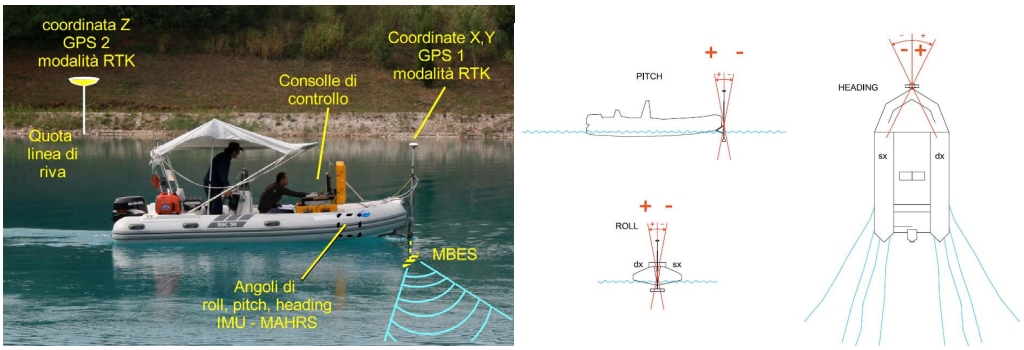


Figura 3a (sinistra). Sistema di misura impiegato per il progetto montato su natante; fig. 3b (destra) – Schema degli angoli di roll/pitch ed heading di un sensore installato su imbarcazione.

Per il rilievo dei fondali di cava il sistema MBES, è stato installato a bordo di un'imbarcazione predisposta e ottimizzata per il rilievo (Figura 3a). In particolare, per gli scopi del progetto, è stato realizzato uno specifico supporto frontale, montato nella zona di prua della chiglia, che consentisse il movimento e la rotazione della "testa" in fase di installazione o durante il superamento di cavi di ormeggio e trazione delle draghe galleggianti (*redinger*), spesso presenti a pelo d'acqua. La "testa" propriamente detta viene infilata su un tubo metallico, a sua volta inserito nella guida del supporto frontale descritto in precedenza. All'estremità superiore del tubo in metallo e, quindi, sulla verticale della "testa", è stata installata una prima antenna GPS per il rilievo in continuo della posizione planimetrica del centroide del sistema MBES. Questo primo dispositivo GPS (Trimble DMS 232) riceve la correzione differenziale dalla rete FUGRO Omnistar HP e consente di ottenere, in tempo reale, la posizione planimetrica della "testa", con una precisione di ordine decimetrico.
Un secondo dispositivo GPS (Trimble R7 GNSS), in configurazione differenziale *master/rover*, è stato utilizzato per il rilievo plani-altimetrico dei capisaldi di cava e della quota zero del rilievo MBES, posta in corrispondenza della linea di riva esistente il giorno del rilievo. La stazione base durante il rilievo dei bacini orientali è stata ubicata sul caposaldo OGS sito in comune di Morgano (zona sud – est del territorio provinciale) e collegata al *rover* per mezzo della rete di telefonia cellulare. Le misure sono state successivamente effettuate con base libera nella zona di cava, "agganciata" alla rete regionale Trimble via rete di telefonia cellulare e contemporaneamente in collegamento via radio con il *rover* per la trasmissione in tempo reale (RTK – *Real Time Kinematic*) delle correzione differenziale. La precisione di questo secondo rilievo è risultata uguale o inferiore al centimetro. Per ragioni di consistenza, il dato GPS, acquisito come Latitudine/Longitudine riferite all'ellissoide nativo (WGS84), è stato convertito in coordinate metriche utilizzando la proiezione UTM33, sia per la visualizzazione che per la pre-elaborazione del dato. Le quote sono

state invece trasformate da elissoidiche in ortometriche impiegando un modello geoidico di elevato dettaglio della pianura veneto-friulana.
Nella fase iniziale del rilievo sono stati misurati i parametri geometrici del sistema di rilevazione, calcolando gli *offset* orizzontali e verticali esistenti tra GPS, IMU e MBES, determinando, inoltre, la profondità della "testa" rispetto alla superficie dell'acqua.
Questi parametri sono stati inseriti nel *software* (PDS2000) di controllo sia della navigazione che dell'acquisizione. Il medesimo *software* ha ricevuto ed elaborato in tempo reale anche i dati di posizione derivanti dalla lettura del segnale GPS e di assetto dell'imbarcazione ottenuti con la lettura della IMU.

Calibrazione
La posizione della "testa" nel corso delle misurazioni è affetta da un errore di posizione dovuto sia all'imperfetta installazione sull'imbarcazione (componente "statica"), sia ai movimenti del natante stesso durante la navigazione (componente "dinamica"); questo errore di posizione è rappresentato mediante gli angoli di *roll*, *pitch* e *heading* (Figura 3b).
Lo scopo della fase di calibrazione della strumentazione è determinare l'orientamento spaziale della "testa" installata su una imbarcazione ipoteticamente ferma, stimando una terna "statica" degli angoli di *roll*, *pitch* e *heading*. Nel caso in cui la "testa" sia perfettamente orrizontale e con l'asse maggiore ortogonale all'asse dell'imbarcazione, i tre angoli assumono un valore pari a 0 gradi.
La stima della componente statica di *roll, pitch* e *heading* viene eseguita effettuando una serie di scansioni di calibrazione; nella fase iniziale del rilievo essa viene stimata grossolanamente e inserita nel *software* di gestione del sistema, per essere successivamente ricalcolata in modo fine durante le procedure di elaborazione del dato.
Il valore dell'angolo di *pitch* viene stimato acquisendo i dati lungo due linee, alla stessa velocità e sulla stessa rotta ma con direzione opposta, di una porzione del fondale dove sia presente una struttura ben evidente e di dimensioni tali da poter essere rilevata dal sistema MBES. Lo spostamento apparente della struttura, in avanti o indietro, in uno *swath* rispetto all'altro, consente di determinare questo angolo.
Per stimare il valore dell'angolo di *roll,* si acquisiscono i dati, sempre da due linee in direzione opposta e alla stessa velocità lungo la medesima rotta, ma di un fondale possibilmente piatto (condizione non frequente nei laghi di cava). La traslazione in quota del fondo in uno *swath* rispetto all'altro consente di ottenere una stima del valore dell'angolo di *roll*.
Per la stima dell'angolo di *heading*, infine, si acquisiscono i dati lungo due rotte tra loro parallele, identificando chiaramente un bersaglio da "illuminare", prima sul lato sinistro e poi sul lato destro delle due diverse linee di acquisizione. La stima del valore di *heading* si ottiene ruotando i dati sino a portare in sovrapposizione il bersaglio.

Alla componente statica si somma una terna "dinamica" degli angoli di *roll, pitch* e *heading*, espressione delle continue variazioni di assetto della imbarcazione causate dal moto irregolare del natante (con accelerazioni e rallentamenti che ne determinano l'affondamento di poppa o di prua) e dal moto ondoso. La terna angolare dinamica viene acquisita in tempo reale dal *software* PDS2000, interfacciato con le bussole giroscopiche della IMU, che opera la correzione, parimenti in tempo reale, per ciascun fascio.
Un ultimo errore da compensare, detto di *time*, è dovuto al ritardo temporale, di natura elettronica, esistente tra la ricezione del segnale GPS e l'associazione tra posizione dell'imbarcazione (e quindi della "testa") e dati acquisiti. Per stimare questo errore si acquisisce la stessa linea per due volte con velocità differenti. Un eventuale bersaglio (chiaramente identificabile nei due *swath*), risulterà più avanti o più indietro a seconda che vi sia un anticipo o un ritardo di sincronia.
In fase di acquisizione si procede anche alla misura del profilo verticale della velocità di propagazione del suono in acqua. La velocità, infatti, cambia in funzione della temperatura

dell'acqua stessa. La funzione profondità/velocità viene utilizzata per migliorare la trasposizione in distanza sorgente/bersaglio, dei tempi di arrivo rilevati.

Copertura

La copertura delle unità lacustri dei bacini di cava è stata ridondante, nel senso che gli *swath* ottenuti con le singole "spazzate" sono stati acquisiti in condizioni di parziale sovrapposizione tra loro. Questo tipo di acquisizione è stata possibile in virtù del controllo in tempo reale sia della navigazione che della mappatura morfobatimetrica del fondale.
La risoluzione orizzontale della griglia di acquisizione, dipendente anche dalla profondità investigata, è risultata in ogni caso di ordine pluricentimetrico, garantendo un estremo dettaglio nella lettura dei gradienti di quota presenti sul fondale.

Elaborazione dei dati

L'elaborazione del dato è stata effettuata inizialmente su piattaforma PDS2000 (lo stesso *software* impiegato per l'acquisizione), un programma utilizzato in campo scientifico e industriale per l'elaborazione di batimetrie marine e terrestri. Successivamente i dati sono stati elaborati mediante il software MATHWORKS Matlab e infine importati nel programma AUTODESK Autocad per la generazione delle mappe definitive. L'elaborazione è stata piuttosto articolata ed è risultata composta dalle seguenti fasi:

- stima e correzione "fine" degli errori di *roll/pitch/heading* e di *time* delle singole scansioni;
- rimozione con metodi di analisi visuale e/o statistici di eventuali valori dispersi e costruzione di un primo modello *grid* ad alta risoluzione con apertura di maglia variabile da 0.25 m a 0.50 m;
- analisi del modello *grid* e ulteriore rimozione di eventuali *spike* presenti nei dati;
- esportazione della mappa morfobatimetrica in formato ASCII XYZ;
- importazione dei dati in Matlab e inserimento nei dati di una fascia di vincolo composta dalla linea di riva (quota zero del rilievo) e da altri due anelli a quota superiore e inferiore alla linea di riva;
- costruzione di un nuovo modello *grid* a media risoluzione;
- traslazione verticale della mappa utilizzando la quota della linea di riva riferita ai capisaldi del bacino di cava e inserimento dei capisaldi di cava nel sistema di coordinate WGS84/UTM33;
- ri-proiezione dei dati, sulla base delle coordinate dei capisaldi, dal sistema WGS84/UTM33 al sistema di coordinate locali;
- importazione del *cluster* batimetrico, della linea di riva e dei capisaldi nel programma Autocad e generazione del *file* di uscita nel formato previsto.

Le correzioni angolari statiche dei valori di *roll*, *pitch* e *heading* vengono effettuate mediante un modulo specifico del software PDS2000. L'algoritmo di analisi stima, con un metodo di *trial and error best fitting* per diversi valori angolari di rotazione, la minima differenza esistente tra i due insiemi di dati, acquisiti secondo rotte "andata e ritorno" oppure lungo due linee parallele, come illustrato al paragrafo precedente.
La seconda fase di elaborazione consiste nell'individuazione e nella rimozione di eventuali valori dispersi all'interno della spazzata. Per questo tipo di analisi vengono comunemente impiegati dei filtri di tipo statistico (devianza, coerenza, etc.) e dei filtri di tipo spaziale (angoli di uscita, quota, etc.). Questa operazione, effettuata su ogni singola linea di acquisizione, è risultata essere la più onerosa in termini temporali.
L'aggregazione delle diverse linee e la costruzione del modello *grid* è stato, al contrario, un processo relativamente breve, pur risultando molto influenzato dalla capacità del processore, in particolare se il numero di punti-misura non è ingente.

L'elaborazione successiva è stata condotta in ambiente Matlab ed è stata particolarmente critica in quanto in questa fase il dato MBES è stato "chiuso", imponendo come condizione al contorno la linea di riva, e ri-strutturato su una nuova griglia. La linea di riva è stata associata ai dati con l'impiego di tre anelli: la riva alla quota 0.0, un anello inferiore alla quota di – 0.5 m e un anello superiore alla quota di +1.0 m. Dopo questa rielaborazione si è proceduto a un sottocampionamento della mappa morfobatimetrica su una griglia ad apertura da metrica a plurimetrica, per ridurre la dimensione del *dataset* e renderlo facilmente "leggibile" dai *software* comunemente in uso per il monitoraggio dei volumi di estrazione.
A questo punto la mappa, completa della linea di riva, è stata traslata verticalmente agganciando la coordinata Z della linea di riva, rilevata contestualmente all'acquisizione dei dati MBES in diversi punti del bacino, e alla Z della rete locale dei capisaldi di cava.
In virtù del fatto che la coordinata Z del fondale risultante dal rilievo ha anche implicazioni di tipo fiscale, si è proceduto a considerare l'intera catena di potenziali errori di misura (come, ad esempio, la rilevazione della quota con il sistema GPS) e tutte le tolleranze strumentali (velocità del suono in acqua, risoluzione verticale del MBES, etc.).

Gli errori sono stati cautelativamente sommati in modo costruttivo e sottratti dalla quota del fondale che è stato, conseguentemente, traslato verso l'alto di diversi centimetri in modo da prevenire eventuali contestazioni sulla propagazione dell'errore di misura indotto dalla catena strumentale.
Dopo la correzione della coordinata Z sono stati inseriti in mappa i capisaldi locali rilevati nativamente nel sistema di riferimento WGS84/UTM33. La mappa MBES, sulla base delle coordinate planimetriche dei capisaldi, è stata nuovamente proiettata dal sistema WGS88/UTM33 al sistema di riferimento locale.

Risultati
Le misure con sistema MBES hanno consentito di ottenere una mappa morfobatimetrica ad altissima risoluzione dei fondali delle 20 unità lacustri dei 13 bacini estrattivi rilevati nell'ambito di questo progetto.

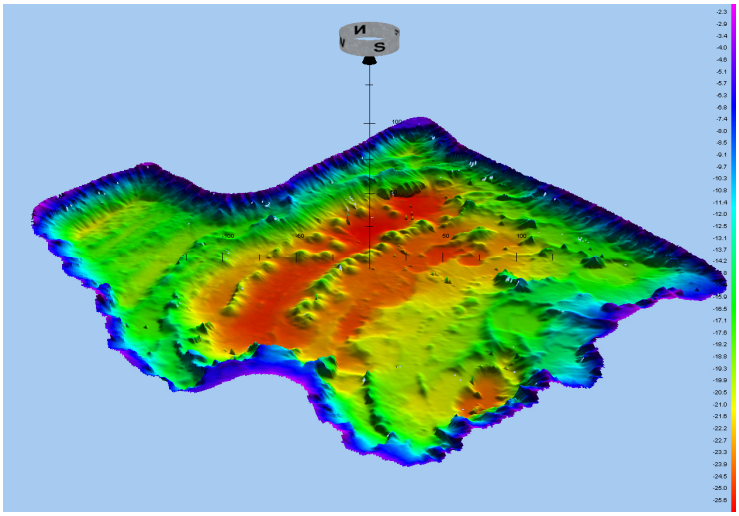


Figura 4. Esempio di batimetria di fondale di cava.

Il dettaglio morfologico del fondale, visibile nella mappa riportata a titolo esemplificativo in figura 4, consente di effettuare delle letture con una risoluzione che, alle basse e medie profondità, può

arrivare anche a 0.1 m. Nell'esempio di figura 4, tra i vari particolari presenti in mappa (scarpate, dossi, canyon, etc.) si possono osservare chiaramente anche i movimenti ad arco eseguiti dalla "cucchiaia" del *redinger* durante l'escavazione del fondale.
È significativo far notare come tutti i punti presenti nelle mappe finali rappresentano delle celle (la cui apertura è compresa tra 0.25 m e 0.50 m), coperte con un numero di echi variabile da uno a qualche decina. Non si tratta di un dato interpolato, bensì di un dato sottocampionato rispetto a quello acquisito durante il rilievo, esattamente l'opposto di quanto normalmente avviene affidandosi ai classici rilievi con ecoscandaglio monocanale.
La presenza in alcune mappe di qualche piccola zona priva di dati (*no-data zone*), la cui estensione non supera comunque qualche frazione di unità percentuale dell'intero bacino, dipende dalla non perfetta "saldatura" tra due *swath* oppure da "gradini" morfologici del fondale che hanno impedito la perfetta "illuminazione" di alcuni settori del fondale stesso. In qualche caso queste zone sono dovute alla presenza di diversi punti-misura dispersi la cui causa può essere attribuita alla forte torbidità dell'acqua in vicinanza della draga in fase di attività. Quest'ultimo problema è stato osservato in tutte le "spazzate" acquisite nelle zone di operazione della draga. In molti casi, proprio in vicinanza della draga, è stato necessario ripetere le scansioni per la presenza di riflettori fantasma causati dalla sospensione di materiale fine.
Dalle mappe morfobatimetriche è stato, inoltre, possibile rielaborare il dato in sezioni verticali del bacino di cava e operare il confronto tra lo stato di fatto rilevato e il progetto di coltivazione di ciascun sito estrattivo, al fine di accertare l'esistenza di escavazioni in difformità rispetto a quanto previsto dalle autorizzazioni rilasciate nonché di quantificare con precisione le volumetrie di scavo in eccesso, elemento, questo, essenziale per l'irrogazione delle sanzioni di legge.

Bibliografia

Fontana A., Mozzi P. e Bondesan A. (2004) *L'evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana* in *Geomorfologia della provincia di Venezia* a cura di Aldino Bondesan e Mirco Meneghel – Esedra Editrice, pp.113-138.

Dal Prà A., Bellati R., Costacurta R. e Sbettega G. (1976) *Distribuzione delle ghiaie nel sottosuolo della pianura veneta* in "Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 28(12)", C.N.R. Roma

Dal Prà A., Bellati R., Antonelli R., Costacurta R. e Sbettega G. (1977) *Distribuzione dei materiali limoso-argillosi nel sottosuolo della pianura veneta* in "Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 34(4)", C.N.R. Roma.

Rilievo speditivo 3d con tecnica fotogrammetrica ZSCAN EVO dell'area templare di Scoglietto (Alberese - Gr)

Debora Caldarelli (*), Francesca Ceccaroni (**),
Paolo Nannini (***), Alessandro Sebastiani (****)

(*) Menci Software srl, loc. Tregozzano 87, 52100 Arezzo, 0575 383960
(**) idem c.s.
(***) Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana, Via Mazzini 24, Grosseto, 0564 23300
(****) BA, RA, PHD, Direttore Scientifico Progetto Archeologico Alberese, Consulting Scholar University of Pennyslvania Museum of Archaeology and Antrophology 3260 South St. Philadelphia, PA 19104

In ambito archeologico le elaborazioni fotogrammetriche, misurando in tre dimensioni le forme dei manufatti, forniscono uno strumento di lettura e analisi rigorosi, supporto per la ricostruzione storica ma anche per attività di progettazione quali interventi di restauro, tutela, monitoraggio e valorizzazione. Obiettivo della presente ricerca è stato quella di testare, attraverso un'attività di rilievo sperimentale che ha interessato l'area dei templi romani dello Scoglietto (Alberese- GR), la soluzione ZSCAN EVO di Menci Software. Si tratta di un sistema che consente, attraverso processi automatici, la ricostruzione di modelli tridimensionali a partire da immagini digitali scattate da diverse posizioni e con una forte percentuale di sovrapposizione tra loro. Il risultato è una nuvola di punti, densa, colorata, corretta dal punto di vista geometrico e cromatico che si presta per l'interpretazione e la misurazione diretta ma anche per ricavarne successive elaborazioni e semplificazioni grafiche.

Menci Software ZSCAN EVO is an innovative photogrammetric processing solution for archaeology, measuring three-dimensional shapes of objects. It is a rigorous easy tool for historical review and analysis, a good support for the historical reconstruction but also for restoration and monitoring task. Present research is an experimental survey in the area of the Roman temples of Scoglietto (Alberese-GR). ZSCAN EVO system allows, through automatic processes, the reconstruction of three-dimensional models from digital images taken from different positions and with a high percentage of overlap between them. The result is a dense, real coloured, 3d point cloud. It is correct from geometrical and chromatic point of view, so it is a quick solution for the interpretation and the direct measurement but also for other photogrammetric processes and graphic vectorialization.

Il lavoro di seguito presentato è stato realizzato d'intesa con la Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana, nella persona di Gabriella Poggesi, funzionario responsabile per il comune di Grosseto, che ringraziamo sentitamente per la preziosa opportunità concessa.

Introduzione

Fino a qualche decennio fa la fotogrammetria era considerata una materia estremamente complessa, che esigeva l'impiego di attrezzature sofisticate e costose e di personale altamente qualificato.
Il rapido sviluppo dell'informatica, oltre a consentire l'utilizzo di tecnologie a basso costo, ha semplificato e velocizzato le procedure, favorendo la diffusione di nuovi metodi di acquisizione e di elaborazione multi-immagine anche in settori precedentemente dominati da un forte scetticismo. La stessa fotogrammetria tradizionale si è ritrovata a doversi confrontare con le nuove esigenze di economia, rapidità e sintesi, connesse a tali nuovi metodi (Menci, 2004).

In ambito archeologico, le elaborazioni fotogrammetriche oltre ai tipici sintetici elaborati quali piante, prospetti e sezioni, con o senza il supporto di punti topografici battuti con stazione totale o di scansioni laser, si pongono l'obiettivo di misurare in tre dimensioni le forme dei manufatti, sia nello studio degli elevati che nella documentazione planimetrica, per darne una rappresentazione esatta, fornendo uno strumento di lettura e di analisi rigorosi, supporto non solo per la ricostruzione storica, ma anche per attività di progettazione quali interventi di restauro, tutela, monitoraggio e valorizzazione (Bianchini, 2008).

ZScan EVO

Nell'ambito del rilievo tridimensionale dei beni culturali, si inserisce la soluzione ZScan EVO, prodotta da Menci Software (www.menci.com), azienda che da 15 anni si occupa di ricerca e sviluppo di sistemi di misura da immagini e produzione di software per la fotogrammetria.

Si tratta di un sistema che consente, attraverso processi automatici, la ricostruzione di modelli tridimensionali a partire da immagini digitali scattate da diverse posizioni e con una forte percentuale di sovrapposizione tra loro (almeno del 60% sia in senso orizzontale che verticale). Il risultato è una densa nuvola di punti, corretta dal punto di vista geometrico e cromatico, in cui ogni punto si caratterizza per avere sei parametri: oltre alle coordinate x,y,z anche quelle RGB. Tale modello tridimensionale si presta per l'interpretazione e la misurazione diretta ma anche per ricavarne successive elaborazioni e restituzioni grafiche.

Il sistema, versatile e di facile utilizzo, si compone di una parte hardware ed una software. Il kit prevede l'uso di una fotocamera digitale reflex ad alta risoluzione appositamente calibrata e dotata di ottica fissa, un tablet, un collegamento usb, un'asta topografica con testa tilt regolabile e portatablet *(Figura 1)*.



Figura 1. Strumentazione EVO di Menci Software.

Il pacchetto software ZScan EVO prevede invece l'utilizzo di più moduli che accompagnano l'operatore dal momento dell'acquisizione fino al post-processamento dei dati:

- EVO Capture, associato al tablet, da utilizzare sul campo per visualizzare il *live view* della camera ed effettuare gli scatti verificando in tempo reale se è stato rispettato il requisito minimo di sovrapposizione tra le foto della strisciata;

- EVO Check, per la verifica preliminare della nuvola di punti ottenuta e avere la garanzia del corretto legame delle immagini catturate prima di lasciare il luogo di rilievo;
- Umap, per il processamento vero e proprio delle immagini e la generazione del modello 3d. Il workflow da seguire è semplice ed intuitivo: una volta specificate le caratteristiche della camera utilizzata (selezione del *camera passport*) si procede con il *Finding Features*, *Matching Images* e *Bundle Adjustment*. Il software cioè, in automatico, procede alla contro-distorsione per l'eliminazione delle aberrazioni ottiche (orientamento interno); le immagini vengono analizzate mediante un operatore di interesse per la ricerca di *features* e per legare il blocco con il calcolo di *bundle adjustment* (orientamento esterno), infine la ricostruzione della superficie avviene per correlazione e filtraggio automatico. I valori di ricostruzione sono parametrizzabili: è l'utente a scegliere la densità e quindi il passo della nuvola di punti a seconda delle esigenze. Per rendere metrico il modello 3d si ha la possibilità di scalarlo attraverso una sola distanza o di georeferenziarlo importando e collimando *GCP* (*ground control points*), per incrementare l'accuratezza geometrica dello stesso. Una volta generata la nuvola di punti, si può passare alle post-elaborazioni nell'ambiente software ZMAP di Menci Software, stazione fotogrammetrica multisensore, per comporre ortofoto e ortofotomosaici grazie ad algoritmi per il calcolo automatico delle linee di taglio; per generare DEM, rappresentazioni cromo-altimetriche raster delle quote di una superficie; per produrre profili e curve di livello; per vettorializzare sia in modalità stereoscopica che monoscopica;
- Site Manager è il modulo per la visualizzazione, archiviazione e gestione del progetto di rilievo 3d. Questo applicativo consente di integrare informazioni di vario tipo mediante link a risorse web, prodotti post elaborazione, misurazioni, file testuali etc. Si evincono subito le potenzialità nella gestione completa della documentazione grafica e per la divulgazione dei risultati raggiunti.

Caso applicativo: il rilievo della *Domus Dianae* e dell'Ambiente II di Scoglietto

Un'attività di rilievo sperimentale della soluzione EVO ha interessato l'area dei templi romani dello Scoglietto, presso Marina di Alberese (GR), all'interno del Parco naturale della Maremma *(Figura 2)*.

Le campagne di scavo, a partire dal 2009, hanno permesso di individuare un'area di circa 600mq costruita a partire dal III secolo a.C. ed utilizzata sino alla metà del VI secolo d.C.

Il primo tempio, c.d. *Domus Dianae*, che rappresenta ad oggi l'edificio più antico rinvenuto a Scoglietto, ha pianta rettangolare terminante con esedra trapezoidale con orientamento NW-SE. Costruito in opera incerta, presenta almeno tre fasi costruttive che terminano nel corso della prima metà del II sec. d.C., quando l'edificio fu dotato di panchine laterali e la sua funzione divenne collegiale. Almeno nella sua ultima fase, l'ambiente presenta un pavimento in malta, costruito al di sopra di un vespaio di pietre. Al suo interno, durante gli scavi del 2010, sono venuti alla luce vari reperti che componevano i depositi votivi, quali lucerne, balsamari in vetro, monete e due statuette, una delle quali rappresentante *Diana Umbronensis*.

Nel corso della prima età imperiale, si assiste ad una riorganizzazione degli spazi, con la costruzione di un santuario, delimitato da un nuovo *temenos* e di un annesso tempio rivenuto come crollo al di sotto di quello ricostruito in epoca severiana. Già in questa fase sembra plausibile collocare la costruzione di una grande cisterna per l'approvvigionamento idrico dell'insediamento, mentre alcune stanze furono addossate al muro di recinzione settentrionale.



Figura 2. Vista aerea dell'area dei templi di Scoglietto (Credit: foto di Paolo Nannini – Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana).

A cavallo tra il I e il II secolo furono realizzati almeno tre altri ambienti, i c.d. Ambienti I, II e VI. I primi due presentano pavimentazioni in *opus signinum* con *tesserae* marmoree disposte in maniera caotica, mentre il terzo presenta un mosaico in bicromia nera e bianca e termina con un'abside. L'Ambiente II nello specifico, presenta una pianta quandrangolare, ed è edificato in opera incerta con ricorsi in laterizi. Le sue pareti sono rivestite sia internamente che esternamente da un buon intonaco, che all'interno doveva essere dipinto in rosso, verde, giallo e nero a formare motivi decorativi, ora perduti.
Entro la metà del II secolo d.C. si completa la costruzione del santuario con la realizzazione di un nuovo ambiente (Ambiente IV), pavimentato in cocciopesto e addossato ai perimetrali esterni dell'Ambiente I. Alla fine dello stesso secolo si data un primo abbandono generale dell'area; il santuario fu poi utilizzato come cava di materiali da costruzione per l'edificazione del c.d. tempio severiano nella metà meridionale della collina.
Se nel corso del V sec. d.C. le rovine del tempio furono frequentate, come dimostra un'ingente quantità di lucerne di produzione africana, e la collina fu convertita ad uso abitativo nel corso della prima metà del VI sec. d.C. successivamente, forse anche a causa dell'impaludamento di numerosi siti lungo la costa tirrenica alla foce del fiume Ombrone, l'area fu abbandonata. Sporadiche frequentazioni si possono datare nella piena età rinascimentale e moderna, dovute per lo più allo stanziamento di pastori e allevatori nella piana sottostante (Chirico, Sebastiani 2010; Cygielman et al 2010; Sebastiani 2011).

Procedura Operativa

La soluzione EVO è stata utilizzata per un rilievo sperimentale della *Domus Dianae* e dell'Ambiente II. Avendo infatti caratteristiche simili, sia per dimensioni che per natura, la procedura seguita per i due ambienti è stata la medesima.

Dal punto di vista operativo la fase più importante è stata quella della progettazione del rilievo: fattori di natura diversa influenzano infatti la scelta dalla strategia da applicare e i parametri da impostare (esposizione, messa a fuoco, distanza di presa, modalità di scatto).

Per ciascuno dei due ambienti sono state innanzitutto scattate delle immagini generali, per contestualizzare il rilievo e avere una visione d'insieme dell'area indagata. Sono state poi utilizzate 9 mire e misurate tutte le distanza, compresa la diagonale e i vari dislivelli, determinando le impostazioni delle riprese, per una rimessa in scala con misure dirette e non con *GCP*. Per quel che concerne le condizioni di ripresa, si è cercato di evitare forti variazioni di luce sia in intensità che in direzione, attendendo momenti di luce diffusa piuttosto che diretta. Sulla camera è stato impostato un diaframma piuttosto chiuso con esposizione a priorità di diaframmi, in modo da avere una buona profondità di campo per una messa a fuoco di tutti gli elementi della superficie ripresa. La distanza di presa, che varia a seconda dell'ottica utilizzata, del livello di dettaglio da ottenere e dalle dimensioni dell'oggetto di interesse, è stata fissata a circa 3m. Per rendere le riprese più vantaggiose per il software di correlazione, si è scelta una modalità di scatto che fosse sempre il più possibile zenitale e pertanto sono state inclinate sia l'asta che la camera.

Il primo ambiente è stato rilevato alzando e abbassando l'asta topografica, a seconda del cambio di quota, dovuto alla presenza dei muri perimetrali, per far si che la distanza di presa si mantenesse più o meno uniforme per tutta la sessione. In modalità di scatto zenitale sono state realizzate 132 immagini, con grande sovrapposizione tra loro sia in senso orizzontale che verticale. Altre due sessioni da 10 immagini ciascuna, hanno invece interessato le sezioni interne, in modo da evitare, in fase di ricostruzione, la presenza di zone lacunose.

Stesso procedimento è stato adottato per l'Ambiente II, dove sono stati realizzati 81 scatti per la sessione zenitale e due sessioni da 8 e 10 immagini per l'interno.

Per effettuare l'attività di ripresa fotografica per i due ambienti sono state necessarie complessivamente 3 ore di tempo.

L'attività di back-office è iniziata con il processamento in Umap. In entrambi i casi, una volta importate le immagini, si è proseguito con la messa in scala del modello. Non avendo punti topografici a disposizione, è stata utilizzata una distanza (quella della diagonale) per scalare l'intero modello. Misure di controllo hanno poi confermato la precisione dell'operazione.

Lo step di ricostruzione, ossia il valore di densità della nuvola di punti è stato di 5: si è scelto cioè di ricostruire 1 punto ogni 5 pixel. Il *Ground Sample Distance* (*GSD*) ossia la risoluzione a terra del pixel è stata di 1 cm. Pertanto la ricostruzione a 5 pixel corrisponde ad una densità della nuvola di 5 cm *(Figura 3)*.

I tempi di processamento si sono aggirati sui 40 minuti per ciascun ambiente.

Una volta generati, i modelli sono stati importati in Zmap, per la revisione dei punti e il ritaglio delle parti esterne al perimetro delle aree di interesse.

Il DEM è stato generato con step pari a 1 cm per i singoli modelli (parte zenitale + sezioni) poi riuniti attraverso un'operazione automatica di media delle aree in comune. Una volta editati, i modelli rendono perfettamente le variazioni di quota.

Sono stati poi realizzati i profili relativi alle quattro sezioni principali e le curve di livello.

Infine sono state generate le ortofoto e l'ortomosaico comprensivo del cartiglio con i riferimenti metrici.

Il progetto di rilievo completo, comprensivo di tutti i risultati delle diverse elaborazioni è stato poi archiviato in Site Manager, per favorirne la visualizzazione e consultazione *(Figura 4)*.

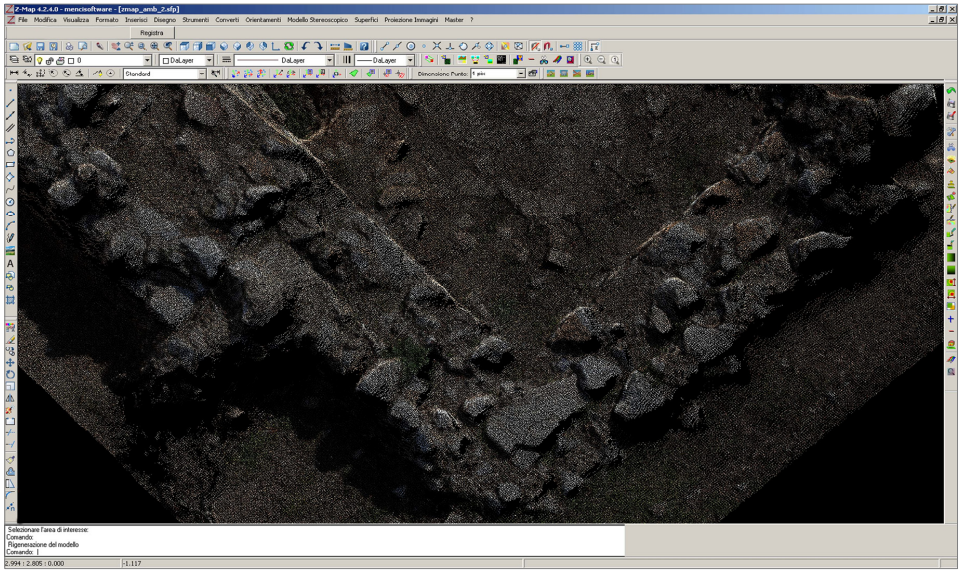


Figura 3. Particolare della nuvola di punti generata con Umap.

Conclusioni

Lo strumento EVO si presta molto bene per attività speditive di rilievo tridimensionale in ambienti archeologici. Emerge innanzitutto come, una volta progettato il lavoro tenendo conto delle esigenze e delle peculiarità dell'oggetto rilevato, la procedura operativa sia estremamente semplice.

Questa facilità di utilizzo, la rapidità sul campo e la qualità dei risultati ottenuti rappresentano gli aspetti più innovativi del sistema: l'idea vincente infatti, è la realizzazione di una nuvola di punti continua, misurabile, che si presta a molteplici operazioni e successive elaborazioni, con poco dispendio in termini economici e di tempo.

EVO, consentendo un'acquisizione morfologica 3d, geometrica e fotografica dell'oggetto o dell'area di interesse, può quindi essere a tutti gli effetti considerato come un valido strumento di conoscenza oltre che di misura, di indagine interpretativa e restituzione grafica e come tale ne sarebbe auspicabile l'utilizzo come vera e propria metodologia di rilievo in tutte le situazioni in cui serva un supporto metrico alla documentazione di scavo.



Figura 4. Modello 3d unito degli ambienti rilevati, visualizzato in Site Manager.

Riferimenti Bibliografici

Bianchini M. (2008), *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia,* Roma.
ChiricoE, Sebastiani A. (2010), L'occupazione tardo antica del promontorio dello Scoglietto ad Alberese (Grosseto – IT*)*, *Archeologia Medievale* XXXVII, pp. 331-344.
Cygielman M, Chirico E, Colombini M, Sebastiani A. (2010), Dinamiche insediative nel territorio della foce dell'Ombrone: nuovi dati dagli scavi dell'area templare dello Scoglietto (Alberese-Gr), *Notiziario della Soprintendenza ai Beni Archeologici della Toscana*, 2010/5, pp. 35-92.
Menci L. (2004), Zmap: stazione digitale multisensore per una moderna produzione di dati cartografici,*Geomedia Reports* 4, pp. 26-29.
Sebastiani A. (2011), Foce dell'Ombrone. Tempio di Diana *Archeologia Viva* 145, p.12.
www.menci.com

Integrazione dei dati EGNOS nel software goGPS: analisi dei miglioramenti ottenuti nel posizionamento cinematico con ricevitori di basso costo

Stefano Caldera (*), Maria Clara de Lacy (**), Antonio Herrera (**),
Eugenio Realini (***), Mirko Reguzzoni (****)

(*) GReD srl, spin-off del Politecnico di Milano, Via Valleggio 11, 22100 Como, Italy
(**) Dpto. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén, España
(***) RISH, Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Japan
(****) DIIAR, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy

Riassunto
goGPS è un *software* di navigazione libero e *open source* (http://www.gogps-project.org) per il processamento di dati GPS, sia in modalità relativa rispetto ad una stazione di riferimento (anche virtuale, VRS), sia in modalità di posizionamento assoluto. goGPS è in grado di utilizzare osservazioni di codice e di fase ottenute da ricevitori geodetici o di basso costo. In particolare è implementato un filtro di Kalman applicato direttamente alle osservazioni GPS e basato su un modello dinamico a velocità o accelerazione costante in caso di posizionamento cinematico. Il posizionamento può essere ulteriormente supportato da vincoli di percorso (ad esempio una ferrovia), oppure mediante osservazioni aggiuntive estratte da un modello digitale del terreno (DTM) per aumentare l'accuratezza lungo la direzione verticale. In questo lavoro sono state aggiunte le correzioni ionosferiche e di pseudorange fornite dal sistema satellitare EGNOS al modulo di posizionamento assoluto del *software*; queste correzioni permettono di migliorare le prestazioni di goGPS anche senza una stazione di riferimento, per esempio in assenza di connettività Internet. L'utilizzo di EGNOS fornisce quindi una soluzione intermedia rispetto al posizionamento assoluto *stand-alone* e quello relativo supportato da un servizio di reti permanenti. In particolare i risultati ottenuti con l'integrazione di EGNOS sono stati studiati sulla base di dati acquisiti dal ricevitore a basso costo u-blox AEK-4T.

Abstract
goGPS is a free and open source navigation software that processes raw GPS data in differential mode with respect to a network of permanent stations and in stand-alone mode. It can use both code (C/A, P) and phase (L1, L2) measurements obtained from geodetic or low-cost devices. goGPS applies a Kalman filter directly on GPS observations, estimating a position at every epoch also by exploiting a dynamic model (constant velocity or acceleration). The positioning is optionally supported by route constraints (e.g. a railway). Moreover, it is possible to introduce into the filter an additional observation extracted from a digital terrain model (DTM) in order to increase the positioning accuracy in the vertical direction. In this work the ionospheric and pseudorange corrections provided by EGNOS have been introduced in the stand-alone module of the software. An analysis of the improvements reached in the presence of EGNOS have been studied from data acquired by low-cost receiver u-blox AEK-4T.

Introduzione
goGPS è un *software* di navigazione sviluppato dal Laboratorio di Geomatica del Politecnico di Milano – Polo Territoriale di Como, in ambiente MATLAB; è stato progettato con l'obiettivo

primario di migliorare l'accuratezza del posizionamento in tempo reale con ricevitori GPS di basso costo (Realini, 2009; Pertusini et al. 2008, 2009, 2010). goGPS può lavorare in modalità assoluta o relativa; nel secondo caso si basa sulle doppie differenze di codice e fase, ricevendo i dati del ricevitore attraverso una porta COM e i dati della stazione permanente / rete attraverso internet per mezzo del protocollo NTRIP (oppure leggendo file RINEX per il post-processamento). Può eseguire il posizionamento sulla base di un semplice minimi quadrati epoca per epoca oppure applicando un filtro di Kalman che consideri anche la dinamica del ricevitore. goGPS può anche utilizzare i dati di un modello digitale del terreno (DTM o DEM), se disponibile, per migliorare l'accuratezza della componente verticale. Le prove condotte e descritte in (Realini, 2009) hanno dimostrato che, in alcuni casi, l'accuratezza del posizionamento ottenuta con strumentazione di basso costo e goGPS era dello stesso ordine di grandezza di quella attesa da ricevitori monofrequenza professionali (Leica GS20), passando da accuratezze di 2-4 metri (strumento di basso costo in modalità *stand-alone*) fino a pochi decimetri (goGPS in modalità relativa in tempo reale con filtro di Kalman). Ulteriori informazioni possono essere trovate sul sito http://www.gogps-project.org/.
E' importante inoltre notare che goGPS è periodicamente aggiornato per aggiungere nuove funzionalità e per tenere in considerazione le novità introdotte nel sistema GNSS; in particolare in questo lavoro si presentato i primi risultati relativi all'introduzione nel *software* del sistema SBAS (*Space-Based Augumentation System*). In particolare, vengono riportati i miglioramenti ottenuti nel posizionamento *stand-alone* in seguito all'utilizzo, all'interno di goGPS, delle correzioni ionosferiche e di pseudorange trasmesse dai satelliti EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*).

Il sistema di navigazione basato sui satelliti EGNOS
Recentemente l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha finanziato l'avviamento del sistema SBAS europeo EGNOS:

- EGNOS Open Service, disponibile dal 1 Ottobre 2009,
- EGNOS Safety of Life, disponibile dal 2 Marzo 2011.

Il segnale EGNOS è trasmesso da tre satelliti geostazionari: due satelliti Inmarsat-3 e il satellite Artemis ESA. I satelliti sono controllati da un segmento terrestre, che consiste in 34 RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations), 4 centri di controllo e 6 stazioni di invio (http://www.egnos-pro.esa.int/publication.html).
Il segnale emesso dai satelliti EGNOS contiene informazioni riguardanti la posizione di ogni satellite GPS, la precisione dei loro orologi atomici e informazioni sul disturbo ionosferico. In Tabella 1 si riportano i miglioramenti introdotti dall'utilizzo congiunto di GPS ed EGNOS nella modellizzazione delle singole componenti dell'errore totale che incidono sul posizionamento GPS in condizioni normali.

Sorgente di errore	**GPS**	**GPS+EGNOS**
Orbite e sincronizzazione degli orologi	1 m	0.5 m
Errore troposferico	0.25 m	0.25 m
Errore ionosferico	2 m	0.3 m
Rumore del ricevitore	0.5 m	0.5 m
Multipath	0.2 m	0.2 m
UERE (Somma quadrata degli errori – 1 σ)	2.31 m	0.83 m
HDOP (geometria dei satelliti visibili)	1.1 m	1.1 m
Accuratezza nel posizionamento orizzontale (1 σ) = UERE x HDOP	2.54 m	0.92 m
Accuratezza nel posizionamento orizzontale (2 σ, 95%)	5.08 m	1.84 m

Tabella 1. Errori GPS-EGNOS: ordini di grandezza in condizioni normali.

Il posizionamento assoluto di codice

Per posizionamento GPS assoluto di un ricevitore si intende la determinazione delle sue coordinate e *offset* d'orologio a partire dalle sole osservazioni satelliti-ricevitore (Hofmann-Wellenhof et al. 1992). Nel caso di ricevitori di basso costo, questo tipo di posizionamento si realizza tipicamente mediante sole osservazioni di codice (al limite lisciate con la fase) attraverso un minimi quadrati basato sulla seguente equazione di osservazione:

$$P_R^S(t) + \upsilon_P(t) = \rho_R^S(t) + c\left(dt_R(t) - dt^S(t)\right) + I_R^S(t) + T_R^S(t) \quad [1]$$

dove:

- $P_R^S(t)$ è l'osservazione di codice o pseudodistanza,
- $\upsilon_P(t)$ è l'errore casuale dell'osservazione di codice,
- $\rho_R^S(t)$ è la distanza geometrica tra ricevitore e satellite,
- $dt_R(t)$, $dt^S(t)$ sono i termini associati agli *offset* degli oscillatori rispettivamente del ricevitore e del satellite,
- $I_R^S(t)$ è il ritardo ionosferico,
- $T_R^S(t)$ è il ritardo troposferico.

Per realizzare questo posizionamento è necessario disporre di osservazioni contemporanee da almeno quattro satelliti: ad ogni epoca, infatti si avranno da stimare le tre coordinate del ricevitore (supposto in movimento) e il suo *offset* d'orologio, che non può essere considerato costante. A partire dal segnale emesso dai satelliti EGNOS è possibile ottenere sia una stima del disturbo ionosferico che una correzione alla pseudodistanza misurata, sfruttando informazioni sulle posizioni dei satelliti GPS e sull'accuratezza dei loro orologi atomici migliori rispetto a quelle trasmesse nelle effemeridi *broadcast*. In questo modo è possibile migliorare la stima della posizione del ricevitore ad ogni epoca, specialmente nel caso di ricevitori di basso costo in grado di acquisire solamente una frequenza (portante L1), come per esempio il ricevitore u-blox AEK-4T (http://www.u-blox.com).
E' stato quindi implementato all'interno di goGPS un modulo in grado di acquisire e processare i dati EGNOS; i risultati ottenuti dalle prime sperimentazioni sono presentati nella seguente sezione.

Sperimentazione e risultati

I miglioramenti ottenuti nel posizionamento assoluto con l'uso dei dati EGNOS sono stati valutati attraverso una sperimentazione effettuata sul tetto dell'edificio del Politecnico di Milano – Polo Territoriale di Como, posizionando il ricevitore u-blox su di un *marker* di coordinate note posto su un pilastrino a pochi metri dalla stazione permanente internazionale COMO, appartenente alla rete europea EPN (*EUREF Permanent Network*), vedi Figura 2. In particolare il rilievo è consistito in misure della durata di dieci minuti, con una frequenza di campionamento di 1 Hz, acquisite collegando il ricevitore a basso costo u-blox AEK-4T al *software* goGPS.
Al fine di valutare quantitativamente il miglioramento apportato da EGNOS, i dati sono stati processati ai minimi quadrati utilizzando l'equazione di osservazione (1) stimando la posizione del ricevitore ad ogni epoca, con e senza le correzioni fornite da EGNOS. I risultati di questa analisi sono presentati in Figura 3: nel grafico si può osservare come la nuvola di punti ottenuta a partire dalle coordinate calcolate con goGPS usando EGNOS (quadrati rossi) sia molto più prossima alla posizione vera (punto origine del grafico) rispetto a quella ottenuta usando solo le osservazioni GPS (rombi blu). I triangoli verdi rappresentano la soluzione GPS+EGNOS fornita dal *software* interno del ricevitore u-blox; si nota come, nonostante tale nuvola di punti sia meno dispersa rispetto alle soluzioni goGPS, essa risulti non centrata nella posizione reale del *marker*. La dispersione ridotta della nuvola di punti è dovuta al fatto che la soluzione interna del ricevitore u-blox è ottenuta utilizzando sia un filtro di Kalman che l'osservazione di fase L1, mentre la soluzione goGPS è di puro codice in *stand-alone*.



Figura 2. Luogo dell'esperimento e monumentazione del marker test.

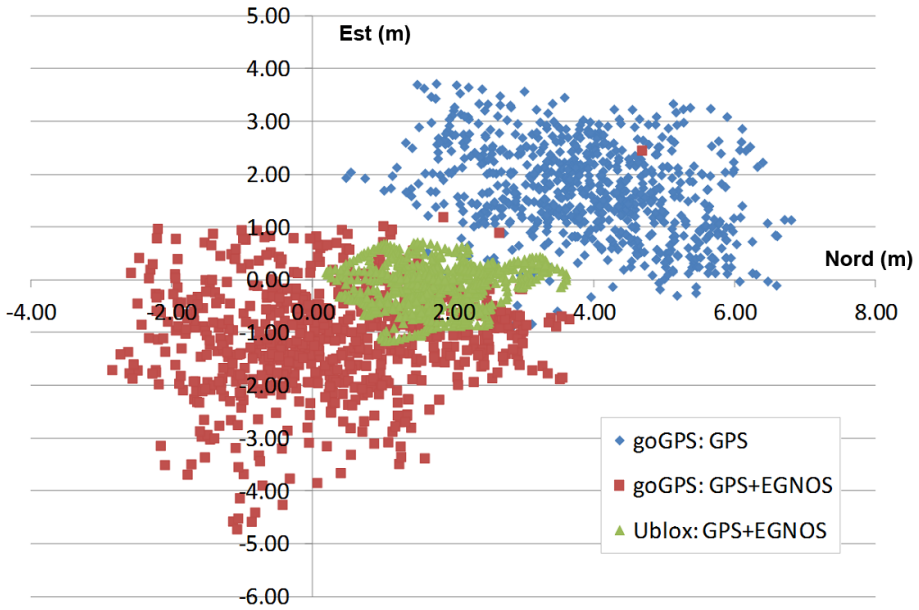


Figura 3. Coordinate ottenute mediante l'utilizzo di goGPS (con e senza EGNOS) e la soluzione interna del ricevitore u-blox (con EGNOS).

Conclusioni

In questo lavoro sono stati studiati i miglioramenti ottenibili tramite EGNOS nel posizionamento assoluto in tempo reale con ricevitori di basso costo. A tal fine si è utilizzato il *software* di posizionamento goGPS per il quale è stato appositamente creato un nuovo modulo in grado di decodificare e utilizzare le correzioni inviate dai satelliti EGNOS. Il modulo è stato sperimentato attraverso l'acquisizione di osservazioni di codice e il loro processamento in modalità *stand-alone* durante una sessione di dieci minuti, (frequenza di campionamento di 1 Hz), utilizzando un ricevitore di basso costo posizionato su un punto di coordinate note; i risultati di questa prova hanno dimostrato l'effettivo miglioramento dell'accuratezza della posizione stimata rispetto all'utilizzo del solo segnale GPS. Attualmente sono in corso ulteriori prove in scenari differenti per confermare la bontà dei primi risultati.

Nel prossimo futuro si intende implementare il modulo di applicazione delle correzioni ionosferiche e di pseudodistanza inviate da EGNOS anche allo stimatore di goGPS che utilizza congiuntamente i dati di codice e fase e sfrutta il filtro di Kalman. Inoltre si prevede di introdurre l'utilizzo della costellazione GLONASS per migliorare ulteriormente la stima della posizione del ricevitore.

Riferimenti bibliografici

Biagi L. (2009), "I fondamentali del GPS", *Geomatic Workbooks, Vol. 8. ISSN 1591-092X*

Brovelli M.A., Realini E., Reguzzoni M., Visconti M.G. (2008), "Comparison of the performance of medium and low level GNSS apparatus, with and without reference networks". *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, El-Sheimy N., Vettore A. (eds), vol. XXXVI, part 5/C55, pp. 54-61.ESA (2009), "User guide for EGNOS application developers", *ED. 1.1, 07/30/2009*

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. (1992), *GPS Theory and Practice*. Springer, New York

Pertusini L., Realini E., Reguzzoni M. (2008), "GoGPS: un software per navigare vincolati a linee e superfici". *Atti della 12ª Conferenza Nazionale ASITA*, 21-24 Ottobre 2008, L'Aquila, Italy, Vol. II, pp. 1627-1632

Pertusini L., Realini E., Reguzzoni M. (2009), "Utilizzo del software goGPS per la navigazione di precisione con ricevitori a basso costo". *Atti della 13ª Conferenza Nazionale ASITA*, 1-4 Dicembre 2009, Bari, Italy

Pertusini L., Realini E., Reguzzoni M., Sampietro D., Valentini L. (2010). "Uso del software goGPS per la produzione della sentieristica di un parco con strumenti a basso costo". *Atti della 14ª Conferenza Nazionale ASITA*, 9-12 Novembre 2010, Brescia, Italy, pp. 1433-1438

Realini E. (2009), "goGPS free and constrained realative positioning with low cost receivers". *Tesi di Dottorato, Politecnico di Milano*

Realini E., Yoshida D., Reguzzoni M., Raghavan V. (2012). "Enhanced satellite positioning as a web service with goGPS open source software. *Applied Geomatics*, Vol. 4, N. 2, pp. 135-142, DOI: 10.1007/s12518-012-0081-5

Sansò F. (2006), *Navigazione geodetica e rilevamento cinematico*. Polipress, Milano

U-blox (2008), "NMEA, UBX Protocol Specification", *GPS.G5-X-07036-D*

DBT e INSPIRE: un percorso semplificato per i dati

Gianni Campanile

Esri Italia, Via Tiburtina 755, 00159 Roma, Tel. 06 40696245, email: campanile@esriitalia.it

Riassunto

La direttiva INSPIRE è ormai da tempo nella fase di implementazione e le prossime scadenze riguardano l'implementazione di dati e servizi. Per quanto riguarda i dati, le specifiche sono ormai consolidate per i temi del primo allegato, e in corso di definizione e revisione per gli altri temi definiti negli allegati II e III. A breve quindi le pubbliche amministrazioni dovranno rendere disponibili i loro dati nella forma definita dalle specifiche INSPIRE. Spesso però è difficile convertire le basi dati esistenti, a causa di applicazione preesistenti, quindi è necessario mantenere la base dati originaria e definire un workflow di trasformazione che, attraverso procedure ETL (Extract-Transform-Load) mantenga allineate le due basi dati.

Per l'Italia però, non esiste solo la specifica INSPIRE ma anche la specifica dei database Geotopografici (DBT) che anch'essa definisce una struttura di base dati. Questa specifica, esistente da tempo ma divenuta legge a Febbraio 2012 non è direttamente compatibile con le specifiche INSPIRE; è quindi necessario per i soggetti interessati definire una seconda conversione dati, dal proprio sistema al formato DBT. La gestione di tutte queste trasformazioni, spesso complesse, e delle varie banche dati è sicuramente onerosa, sia in termini di infrastruttura che in termini di gestione. Oltre ad identificare con chiarezza il problema, Esri Italia sta definendo, per i temi compatibili, una trasformazione DBT-> INSPIRE tramite l'utilizzo di strumenti ETL sofisticati. In questo modo non è più necessario per l'utente definire due trasformazioni, ma solamente quella dal proprio sistema al DBT, essendo la seconda già presente.

Obiettivo di questo documento è quindi quello di mostrare i passaggi necessari e dei casi d'uso per portare dei dati strutturati in modo generico al mondo INSPIRE e DBT, dimostrando in pratica come sia possibile semplificare il problema pur aderendo alle specifiche dei dati e servizi europee ed italiane.

Abstract

INSPIRE Data specifications for Spatial data Themes of Annex I are now finalized, while many Annex II Themes specifications are already available even if in a draft stage. Thus Public Administrations must convert their data in the format defined by INSPIRE. Often this is not straightforward, and a better solution is to defined a transformation workflow that, using ETL (Extract-Transform-Load) procedures, keeps database up-to-date.

Italy has defined a different specifications for databases called DBT. These specs often are not directly compatible with INSPIRE specifications. Thus users should define an additional data transformation from their proprietary format to DBT. The management of these complex transformations and of all different data specifications is costly. Esri Italia, having clearly identified and studied this problem, is defining an ETL transformation from DBT to INSPIRE. This allows users to limit the effort on the single transformation from proprietary DB to DBT.

This paper is focused on steps needed to bring a proprietary DB to INSPIRE e DBT formats, showing in practice how this problem can be simplified still maintaining strict conformance to European and Italian standards.

Riferimenti:

1. INSPIRE Metadata: http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/101
2. INSPIRE Data specifications: http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2
3. INSPIRE Network services: http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/5
4. Database geotopografici - DM 10 novembre 2011
    a. http://www.digitpa.gov.it/sites/default/files/normativa/PCM_DBT su sito.pdf
    b. http://www.digitpa.gov.it/sites/default/files/normativa/PCM_DBT all_1 su sito.pdf
    c. http://www.digitpa.gov.it/sites/default/files/normativa/PCM_DBT all_2 su sito.pdf

Keywords:
Metadati, Dati, servizi, INSPIRE, standard, catalogo, geoportale, ETL, DBT.

1. Introduzione

La Direttiva INSPIRE, sempre più largamente conosciuta ed adottata, prevede delle specifiche ben precise per il formato dei dati per i suoi temi di riferimento. In realtà la Direttiva è un disegno complessivo, in cui dati e metadati sono raggiunti attraverso l'uso dei servizi definiti coadiuvati dalle specifiche e dalle raccomandazioni di interoperabilità (vedi *Figura 1*)

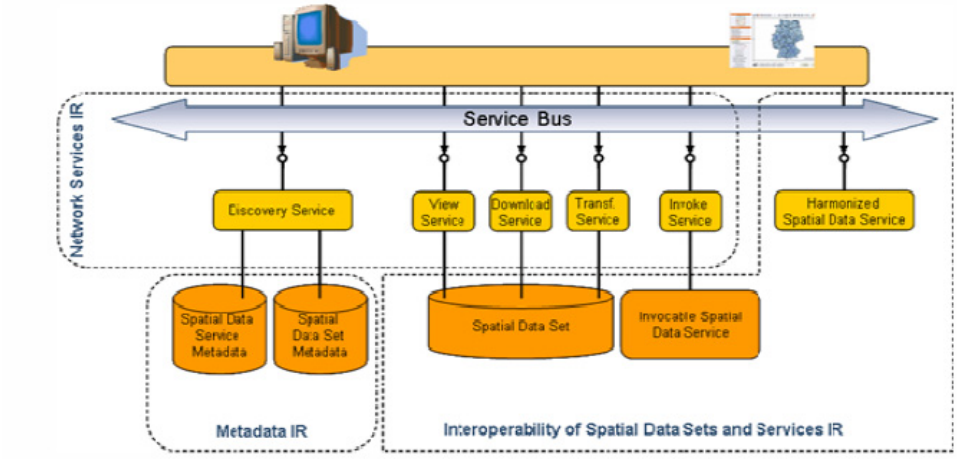


Figura 1. Architettura INSPIRE.

Tenendo comunque a mente il modello generale ma concentrandoci sui dati, dobbiamo prendere in considerazione le Data Specifications di INSPIRE (vedi [2]), un insieme di documenti corposi e complessi.
Pur essendo chiaro l'obiettivo finale però, dal punto di vista utente non è chiaro il *percorso migliore* per raggiungerlo; in altre parole: quali sono le azioni necessarie per avere i dati nel formato richiesto. L'esperienza fatta da Esri Italia con i diversi progetti anche a livello europeo ha permesso di definire alcuni prodotti ed un workflow di trasformazione che permette di rispondere a questa domanda, come già presentato ad ASITA 2011.

A Febbraio 2012 però, sono state approvate in GU le specifiche del database Geotopografico, che quindi impone necessità di soddisfare non solo le specifiche di INSPIRE ma anche quelle del DBT.
Le trasformazioni necessarie diventano quindi due!
Nei capitoli che seguono il problema verrà dettagliato e verrà illustrata una soluzione per ridurre la complessità complessiva.

2. INSPIRE e DBT

Il problema della conversione dati si presenta per tutti quegli elementi che differiscono fra le specifiche INSPIRE e quelle del DBT. I motivi di queste differenze nascono sia dal fatto che, malgrado la recente approvazione, il DBT è stato definito diverso tempo prima che fossero disponibili le specifiche INSPIRE, sia dal fatto che INSPIRE si occupa di una realtà europea, e quindi nella definizione dei dati ha utilizzato spesso l'approccio del "minimo comun denominatore", cercando così di minimizzare l'impatto sui vari paesi e di non favorire un formato rispetto ad un altro.

Per chiarire questo aspetto, prendiamo in esame le unità amministrative di INSPIRE, cioè il Tema Administrative Units dell'allegato 1.

La *Figura 2* mostra un dettaglio delle specifiche di implementazione.

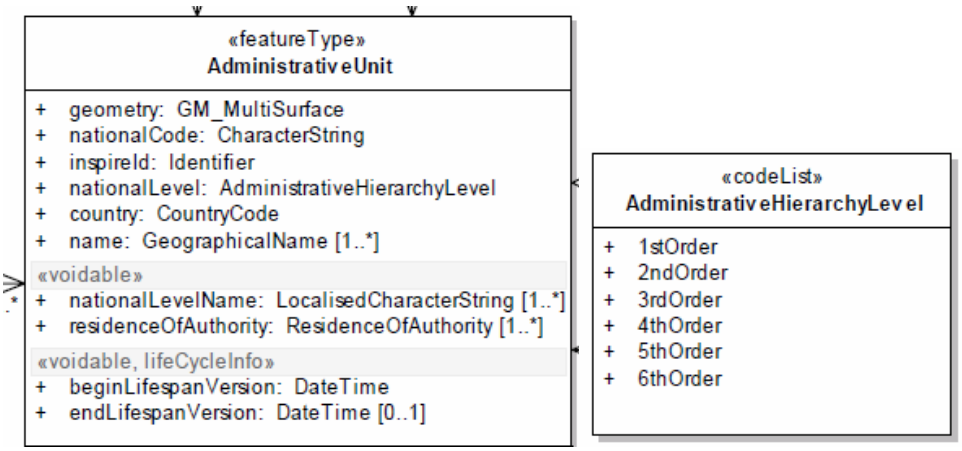


Figura 2. Particolare delle specifiche delle Administraive Units.

Come si può vedere le *AdministrativeUnit* sono rappresentate con dei poligoni e la loro classificazione è effettuata attraverso l'attributo *nationalLevel*, codificato con i valori gerarchici mostrati nella tabella *AdministrativeHierachyLevel*.
In questa struttura, la suddivisione italiana in Stato, Regioni, Province e Comuni viene implementata creando 4 record:

Italia	*nationalLevel* = 1
Lazio (esempio di Regione)	*nationalLevel* = 2
Roma (esempio di Provincia)	*nationalLevel* = 3
Anzio (esempio di Comune)	*nationalLevel* = 4

E' stato stabilito che a livello europeo non ci sia (o quantomeno non interessi) una suddivisione oltre il sesto livello.

Questa struttura, se pure funzionante, non è sicuramente efficiente: ad esempio, per avere i comuni di una regione si deve effettuare una interrogazione gerarchica con un doppio join sulla stessa tabella, passando dalla regione alla provincia e poi al comune.

Questa gerarchia è invece ben esplicitata nello schema adottato dal DBT, che prevede una classe Regione, una Provincia e un Comune (non incluso in figura) legate da opportune relazioni:

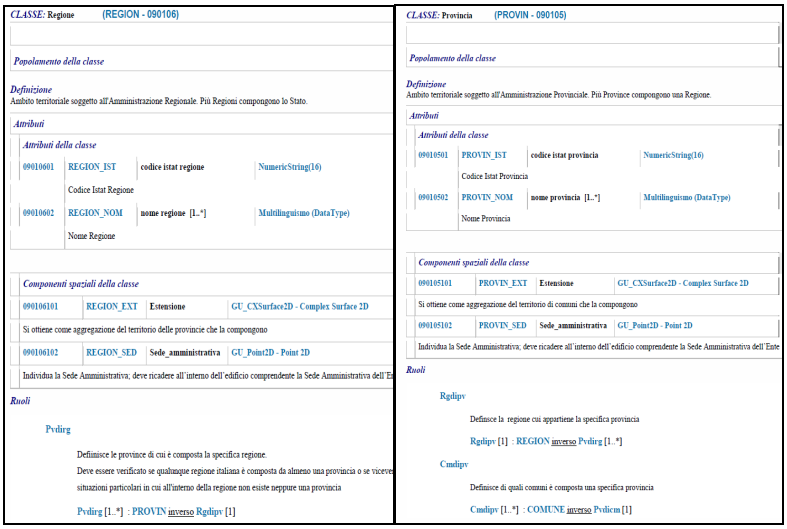


Figura 3. Classe Regione e Provincia del DBT.

Da questo esempio si può capire che per molte classi esiste una differenza sostanziale di struttura dati tra INSPIRE e DBT.

3. La conversione dati

Come accennato in precedenza, in molti sistemi la base dati è integrata con applicativi che possono essere sostituiti solo a seguito di una lunga analisi e sviluppo di nuovo codice. Questo implica che, in molti casi, non è immediato convertire la base dati esistente ma è necessario utilizzare un approccio diverso.

Sulla base dell'esperienza fatta, Esri ha definito un workflow per la conversione dei dati verso il modello INSPIRE. Questo workflow si basa su una serie di strumenti che rispondono pienamente alle necessità di INSPIRE e coprono l'intero disegno architetturale, come mostrato in *Figura 4*

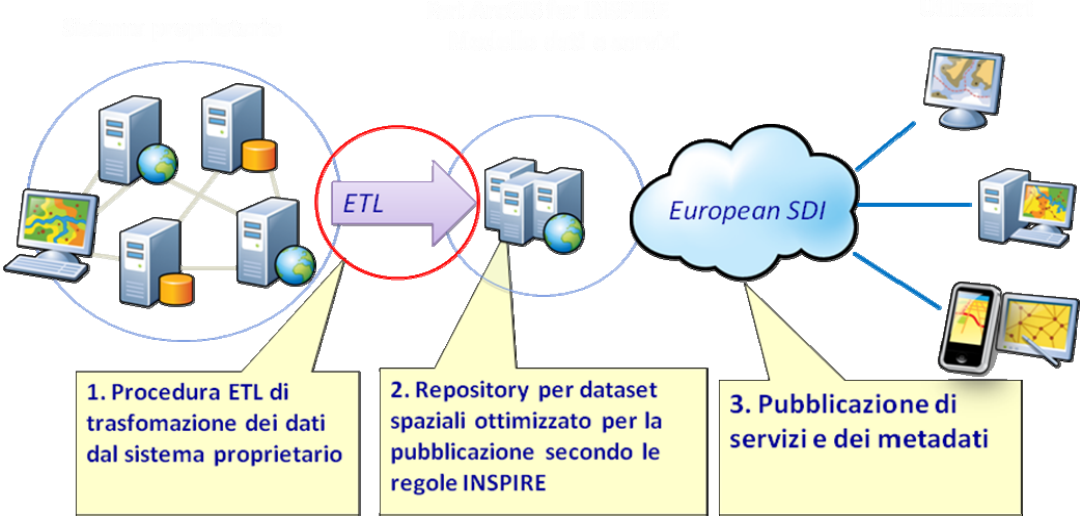


Figura 4. Workflow di trasformazione dati.

In questo workflow l'unico elemento che deve essere implementato è cerchiato in rosso, e cioè la conversione dati dal sistema proprietario verso il geodatabase definito da *ArcGIS for INSPIRE*, il prodotto Esri per la gestione dati e pubblicazione dei servizi secondo le regole INSPIRE.

Questa trasformazione però permette di ottemperare agli obblighi INSPIRE ma non a quelli del DBT. E' quindi necessario creare un'altra trasformazione, e quindi la situazione è quella mostrata in *Figura 5*:

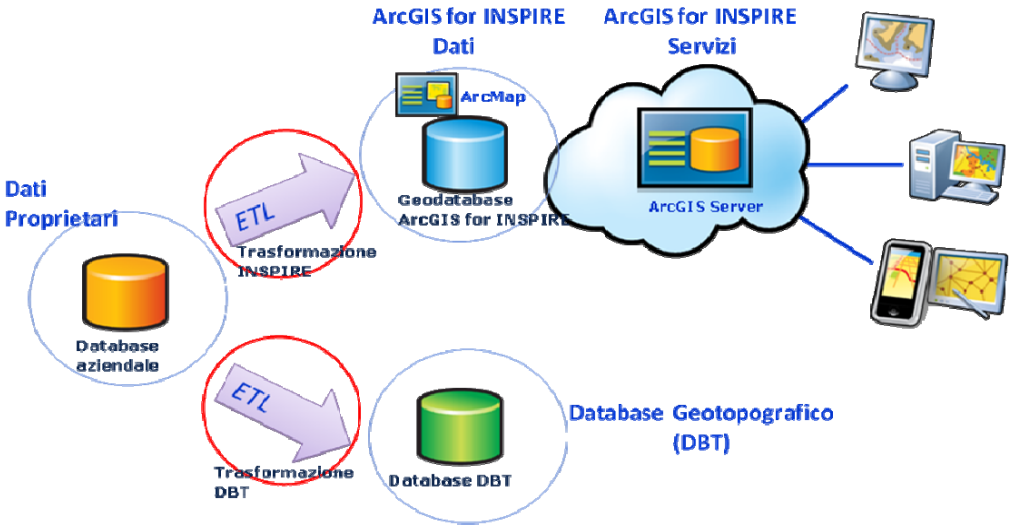


Figura 5. Schema delle trasformazioni dati.

Cioè è necessario creare due trasformazioni complesse e diverse per convertire i dati aziendali nei due formati richiesti, quello di INSPIRE e quello del DBT. Nel prossimo paragrafo vedremo come sia possibile limitare la complessità ad una sola trasformazione.

4. La conversione DBT-INSPIRE

In generale una conversione dati può essere definita univocamente quando sono noti gli schemi di partenza e di destinazione. In effetti questo è il caso di DBT ed INSPIRE: a parte particolarità semantiche, che possono comunque essere risolte in una fase di analisi, è possibile creare una trasformazione DBT➔INSPIRE almeno per i temi di interesse per entrambi gli standard.
Si costruisce quindi una trasformazione come illustrato in *Figura 6*:

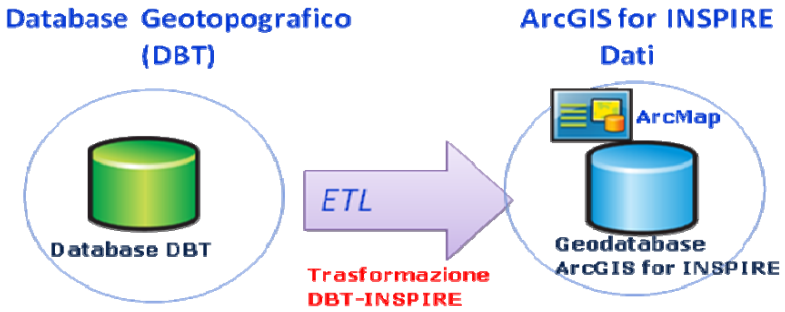


Figura 6. Trasformazione DBT==>INSPIRE.

La scelta di trasformare da DBT ad INSPIRE e non viceversa è dovuta sia al maggior dettaglio costituito da DBT ma soprattutto perché il Decreto pubblicato in Gazzetta impone che le nuove acquisizioni siano comunque nel formato DBT, mentre INSPIRE impone solo la disponibilità di dati e servizi nel formato indicato. Si ha quindi un obbligo di esistenza più forte nei riguardi del DBT.

Questa trasformazione ci permette di ridisegnare lo schema di *Figura 5* nel seguente modo:

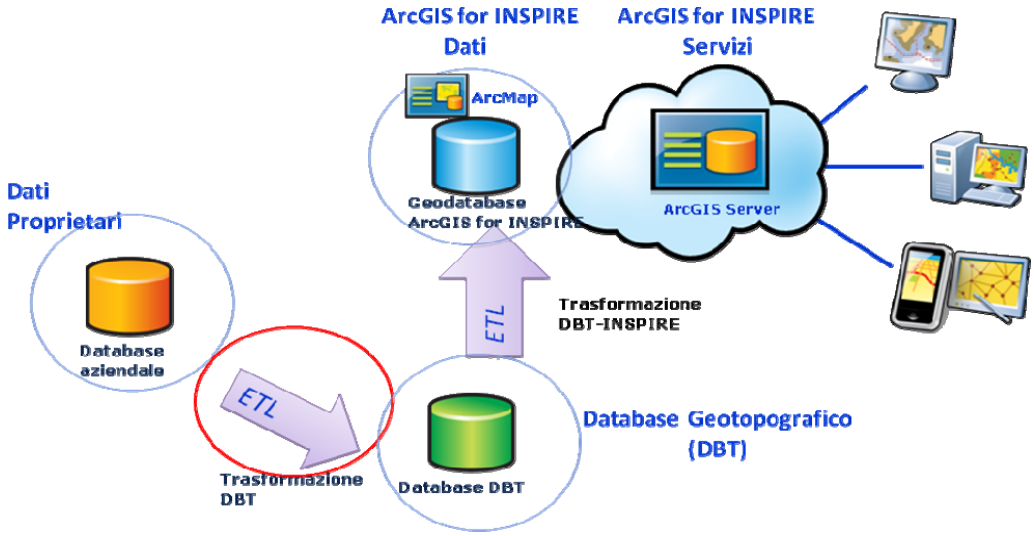


Figura 7. Trasformazione dati semplificata.

Dove si vede che la trasformazione cerchiata in rosso è l'unico elemento che deve essere implementato, mentre la trasformazione DBT-INSPIRE rimane invariante per ogni ambiente.

La realizzazione di questo schema è possibile con le seguenti condizioni:

- lo schema DBT deve essere per la maggior parte un soprainsieme di quello INSPIRE
- la trasformazione deve essere fattibile
- deve essere disponibile uno strumento ETL che permetta la trasformazione

Il primo punto può essere dedotto sia dalla considerazione fatta in precedenza che il DBT si occupa più in dettaglio della realtà italiana (come mostrato per quanto riguarda le unità amministrative), sia da un'analisi sui temi comuni, quali ad esempio l'Idrografia. In altre parole si può dire che, avendo il DBT come obiettivo quello di costituire la base di riferimento per i dati presenti in Italia, comunque non sarebbe possibile avere ulteriori informazioni se pure richieste da INSPIRE.

Il secondo punto riguarda la *fattibilità* della trasformazione, cioè la possibilità di definire una conversione dall'origine alla destinazione che possa essere eseguita in tempi computazionalmente accettabili. Dall'analisi effettuata risulta che per tutte le trasformazioni, per quanto complesse, esiste un algoritmo di trasformazione. Esempi di trasformazione sono: conversione di attributi, split di valori in più campi, trasformazione di geometria, creazione di più geometrie semplici a partire da una complessa, etc.

Infine con *disponibilità* intendiamo la possibilità di avere un prodotto di ETL con costi che siano adeguati ai vari progetti in essere. Per quest'ultimo punto è possibile esaminare il prodotto FME (Feature Manipulation Engine) della Safe Software, prodotto incluso nell'estensione Data Interoperability di ArcGIS Desktop di Esri.
Questo prodotto ha già con sé più di cento trasformatori, cioè operatori logici, alfanumerici, geometrici che, composti attraverso un legame configurabile, costituiscono un workflow di trasformazione, come evidenziato in *Figura 8*

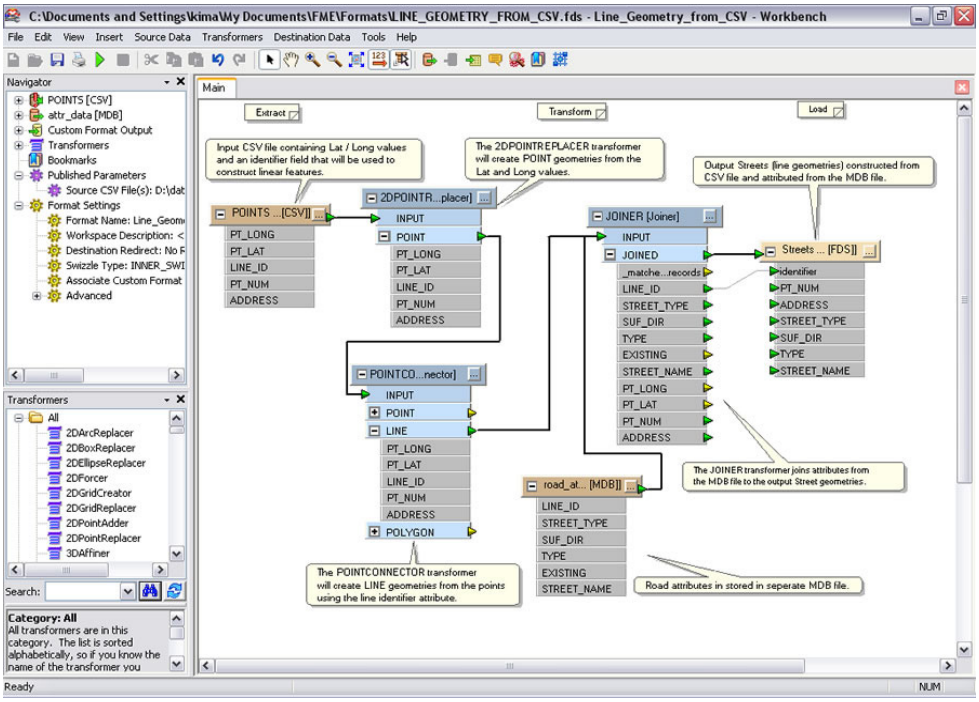


Figura 8. Esempio di Workbench FME.

Dato che è possibile salvare e rilanciare il modello di trasformazione, anche in modalità batch, è possibile mantenere allineate le basi dati senza necessità di ulteriori interventi manuali.
Utilizzando questo strumento Esri Italia sta definendo le trasformazioni necessarie da DBT ad INSPIRE: è già stata implementata la trasformazione per gli Ambiti Amministrativi e per l'Idrografia, e a breve saranno implementate altre Classi.

5. Conclusioni

La fase di implementazione delle Data Specifications di INSPIRE si sta sovrapponendo con l'implementazione del Database Geotopografico definito dalle specifiche Italiane pubblicate in Gazzetta Ufficiale a Febbraio 2012. Questo scenario presuppone per i soggetti interessati una doppia trasformazione di dati, con conseguenti costi da affrontare in termini di formazione e sviluppi software. La soluzione proposta da Esri Italia prevede una trasformazione DBT➔INSPIRE che, unita ai prodotti Esri rivolti ad INSPIRE, permette di ridurre notevolmente l'impegno necessario per un'azienda per convertire i propri dati nei formati richiesti. La trasformazione, in continuo sviluppo man mano che i temi INSPIRE saranno consolidati, può essere anche modificata dagli utilizzatori in modo da fornire una soluzione il più possibile aderente sia agli standard che alle esigenze di ogni sistema.

Conservazione del futuro: fotovoltaico e tradizione paesaggistica mediterranea

Anna Rosa Candura (*), Orio De Paoli (**)[1]

(*) Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Studi Umanistici
(**) Politecnico di Torino, DAD (Dipartimento di Architettura e Design)

Sommario
L'utilizzo di sistemi per la produzione di energia elettrica da fotovoltaico porta molti benefici, ma crea nuovi problemi per l'impatto sul paesaggio. L'articolo è incentrato sui problemi d'inserimento di nuove forme architettoniche nel paesaggio mediterraneo.

Abstract
The use of systems for the production of electricity from photovoltaics brings many benefits, but creates new problems for the impact on the landscape. The article focuses on the problems of integration of new architectural forms in the Mediterranean landscape.

1 – Ricerche parallele

A latere di un progetto volto ad individuare la migliore collocazione di sistemi per la produzione di energia elettrica da fotovoltaico (Candura e De Paoli, 2011; De Paoli e Candura, 2011), si sono poste due importanti questioni: 1) l'istallazione in Italia e 2) l'integrazione architettonica del fotovoltaico nel paesaggio mediterraneo. Considerata la struttura geo-storica del nostro Paese, i due ambiti sono strettamente compenetrati, ma la quantità di problemi che vi si creano ha reso necessaria una distinzione in due filoni di ricerca, pur nell'ambito del medesimo gruppo[2].

[1] I paragrafi 1, 3 e 5 vanno attribuiti ad Anna Rosa Candura; i paragrafi 2 e 4 vanno attribuiti ad Orio De Paoli.

[2] «Nonostante i difetti del progetto *Corine Land Cover*, è ragionevole servirsene per costruire un protocollo preliminare d'indagine, trattandosi di un *databse* omogeneo. In particolare, l'aggiornamento relativo alle variazioni 2000-2006 è uno strumento di grande utilità […]. Basandosi , infatti, sull'analisi delle sole variazioni del quinquennio, si possono raggruppare i comuni in base alla loro maggiore o minore tendenza a modificare il suolo […]. Per scegliere le aree urbane maggiormente interessate alle variazioni dell'uso del suolo, il dato non sarà preciso, ma certamente la proporzione dà idea della distribuzione dei cambiamenti. Imperniando, dunque, la ricerca sulla presenza e sulla distribuzione dei poligoni dal 1.1.1 all'1.3.3 e tenendo sempre come base i confini comunali […] si sta costruendo un'illustrazione dell'uso/permeabilità dei suoli che costituisca una sorta di approfondimento, in scala maggiore, del progetto *Urban Soil Sealing* della EEA (2010a e 2010b), che fa riferimento a CLC. […] EEA (2010 a e 2010b) utilizza due tipi di regionalizzazioni (sempre riferite a CLC). Nell'uno si limita a suddividere gli usi in *urban/rural land use pattern* (EEA, 2010b, p. 23) considerando territori relativamente estesi, mentre nell'altro considera ciò che noi definiamo confini amministrativi, all'interno dei quali misura ad esempio l'impermeabilizzazione dei suoli (EEA, 2010a, p. 21). In questa prima fase del progetto, si stanno formando alcuni studi-campione (basati sui confini amministrativi) che disegnano micro-regioni formate da quei comuni che presentino sensibili variazioni nel progetto CLC 2006. […] Onde poter pensare ad interventi atti a migliorare l'uso del suolo, infatti, è necessario disporre di indicatori che facilmente ne illustrino le caratteristiche. Volendo, ad esempio, progettare la collocazione di sistemi di captazione della radiazione solare, occorre avere almeno due tipi di dati. 1) La dispersione delle superfici urbanizzate. 2) La presenza di superfici artificiali ove si possa intervenire ponendo sugli edifici coperture progettate per la captazione della radiazione solare. Nel primo caso, dal database CLC 2006 si può ottenere un primo indicatore del rapporto fra numero di poligoni 1.1.2 e 1.1.1 (rispettivamente zone residenziali a tessuto discontinuo e zone residenziali a tessuto continuo). Il dato, pur riferito solo al numero dei poligoni e non alle loro dimensioni, consente tuttavia di calcolare un valore nazionale (8,01) al quale paragonare di volta in volta dati regionali, provinciali e comunali, onde avere una prima idea della dispersione dell'uso urbano. […] I valori ricavati non sono certo una sorpresa, vista la morfologia territoriale e la storia urbana delle province citate, tuttavia è importante disporre di una misura di partenza e

2 – Il fotovoltaico in Italia

Nel 2011 il nostro Paese ha visto l'istallazione di un'imponente quantità di sistemi per la produzione di energia elettrica da fotovoltaico[3]. Le ultime rilevazioni indicano l'Italia come il Paese nel quale vi è stata la maggiore diffusione di questo sistema negli ultimi dodici mesi; è stata superata anche la Germania, finora prima nelle classifiche, per diffusione del fotovoltaico. Se questa evoluzione avrà seguito, la diffusione sempre più capillare dell'impiego di moduli solari, insieme ai vantaggi sul piano energetico, comporterà la necessità di trovare corretti metodi per ottenere l'integrazione dei sistemi stessi nel contesto. In particolare, se il luogo di collocazione è fortemente caratterizzato, come il paesaggio mediterraneo, la scelta dei sistemi dovrà essere indirizzata verso tecnologie appropriate, onde evitare stravolgimenti dovuti dall'introduzione di manufatti estranei.

L'attuale situazione vede un approccio alla scelta applicativa che sembra non considerare in modo sufficiente la specificità del panorama italiano. Il captatore fotovoltaico viene assunto nella sua "alterità" di elemento estraneo, inserito in un dato ambito; in pratica viene accettato il fatto che per conseguire il pur nobile obiettivo di produrre energia da fonti rinnovabili, sia consentito all'elemento fotovoltaico di rimanere estraneo rispetto all'architettura nella quale s'inserisce. Questa è una concezione ormai superata: bisognerebbe limitare la posa dei captatori solo a situazioni in cui sia possibile rendere il sistema non visibile o del tutto legato all'immagine del contesto.

3 – Conservare il futuro

Occorre, pertanto, partire dalla tradizione squisitamente geografica del paesaggio antropogeografico come forma di equilibrio (Sestini, 1947), innestarla sulle nuove tecnologie (di rappresentazione, analisi e costruzione) e non dimenticare il ruolo della cartografia non solo come mera rappresentazione, ma come generatrice di punti di vista, grazie alla sua natura trans-scalare (Landini, 1999) esaltata dai nuovi *software*.

Se vorremo continuare a stimolare lo sviluppo del settore della produzione energetica dal sole, oltre a mantenerne la convenienza con forme di incentivazione economica, si dovrà indirizzare la diffusione del sistema solo verso soluzioni tecnologiche di alto profilo che non compromettano il paesaggio umanizzato e quello naturale. Il processo di sviluppo e integrazione delle soluzioni tecnologiche è già avvenuto e, soprattutto da quando la produzione di tecnologia fotovoltaica si è allargata a regioni di produzione in grande espansione (come quelle orientali che stanno favorendo la discesa dei costi[4]), è possibile per i progettisti scegliere e impiegare, già oggi (e presumibilmente

[…] di termini di paragone. Un'elevata dispersione comporta evidentemente maggiori problemi di coordinamento delle migliorie che si desideri apportare all'uso del suolo, pertanto questo dato di partenza può rivelarsi utile per predisporre adeguate normative. 2) Quanto al secondo tipo di dato (le presenza di superfici artificiali sulle quali si possano collocare coperture progettate per la captazione della radiazione solare), anche in questo caso CLC 2006 può essere utilizzato attraverso l'analisi dei poligoni 1.2.1 che indicano la presenza di strutture industriali e commerciali. Su queste ultime, infatti, sarebbe opportuno progettare la collocazione di coperture per la captazione delle radiazioni solari. Una volta individuate le macro-aree, il *database* può essere implementato attraverso l'inserimento di progetti AutoCAD. In altre parole, il progetto *in fieri* si propone di ragionare sullo sfruttamento di superfici artificiali nelle quali è possibile intervenire senza alterare il tipo di uso del suolo.» (De Paoli e Candura, 2011, pp. 119-122).

[3] «Uno studio della Commissione europea ha rilevato che, in Italia, la superficie di tetti disponibili (con orientamento a sud, ovest o est) è di 370 mila metri quadrati. Quella delle facciate è di 200 mila metri quadrati. Se tutti questi spazi fossero coperti da pannelli fotovoltaici, sarebbe possibile produrre circa 130 Twh/anno, pari al consumo annuo di oltre 30 milioni di famiglie. Il calcolo, ovviamente, è del tutto teorico: dà però idea della potenzialità di tali applicazioni.» (http://elettroblackout.altervista.org/csolare.htm; cfr anche www.enerpoint.it/solare/fotovoltaico/architettura.php).

[4] «In arrivo dal Korea Institute of S&T una nuova tipologia di vetri in grado di produrre corrente elettrica sfruttando l'energia irradiata dal sole. La commercializzazione di questa nuova tipologia di moduli fotovoltaici potrebbe avvenire già nel corso del prossimo anno. Dalla Corea del Sud buone nuove per quanto riguarda il mercato del fotovoltaico: un team di scienzati del KIST - Korea Institute of S&T - sta infatti portando a termine una serie di studi su una nuova tipologia di moduli fotovoltaici che potranno essere facilmente utilizzati al posto dei classici vetri. Il progetto, coordinato dal professor Nam-gyu Park, ha avuto inizio verso la fine degli anni '90 ed è costato quasi 3 milioni di dollari. La caratteristica che contraddistingue i moduli fotovoltaici sviluppati dagli scienziati del KIST dagli altri moduli di terza generazione realizzati su film sottile è la trasparenza, ottenuta grazie all'impiego di nano-tecnologie. Il film

ancor più in un prossimo futuro) la componente fotovoltaica con altissimi livelli di compatibilità col paesaggio[5].

4- Pregi e difetti delle soluzioni tecnologiche

Nel nostro Paese, tuttavia, si continua ad impiegare (nella maggior parte dei casi) il modulo fotovoltaico tradizionale in silicio cristallino che, per fornire il massimo rendimento, necessita di essere collocato in posizione vincolata rispetto alla direzione e all'inclinazione della radiazione. Ciò determina, spesso, la necessità di collocare il captatore in posizioni incongruenti rispetto agli allineamenti dell'edificio che lo ospita e di impiegare strutture portanti visibili che rendono il captatore un elemento estraneo alla forma dell'architettura. Pur rispondendo efficacemente all'esigenza produttiva, il sistema a moduli cristallini risulta, pertanto, di difficile integrabilità rispetto alla gran parte dei contesti nazionali. La situazione è cambiata nell'ultimo quinquennio per la diffusione di tecnologie come il Film Sottile di ultima generazione. I pannelli fotovoltaici a Film Sottile a tripla giunzione, rispetto ai tradizionali pannelli fotovoltaici cristallini, sono realizzati su supporto flessibile e sono in grado di adattarsi facilmente al contesto proprio per la duttilità del supporto che può seguire la forma della struttura sulla quale sono collocati. Hanno, inoltre, la caratteristica di mantenere, anche in climi caldi, un livello di efficienza nella conversione della luce solare in energia elettrica superiore a quelli in silicio cristallino (la cui prestazione decade sensibilmente all'aumentare della temperatura del captatore oltre i 25°). Essendo realizzati con quantità di silicio percentualmente inferiori rispetto ai sistemi cristallini, sono, inoltre, meno esposti alle variazioni di costo dovute alle fluttuazioni del prezzi del materiale di base impiegato per produrlo. Queste caratteristiche fanno sì che i sistemi a Film Sottile si adattino particolarmente all'impiego in climi mediterranei. In pratica la "materia fotovoltaica" è diventata un elemento

infatti è costituito di moduli DSSC - Dye Sensitized Solar Cell - in abbinamento a particelle dello spessore di 20 nanometri di biossido di titanio, grazie alle quali la pellicola assume l'aspetto di un normalissimo vetro trasparente colorato. Oltre agli indubbi vantaggi architettonici dovuti alla facile integrazione, questa nuova tipologia di moduli dovrebbe inoltre essere in grado di garantire costi minori e una maggior efficienza. Secondo quanto riportato dal blog Solar Cells Info, i pannelli avranno infatti un efficienza di conversione pari all'11%, produrranno energia anche in assenza di luce solare diretta, avranno una vita utile di 20 anni e costeranno all'incirca un quinto dei tradizionali pannelli solari[…]» (www.fotovoltaicopannelli.it/news/dall-orioente-nuove-idee-per-il-fotovoltaico.php). «Un nuovo rivestimento per i moduli fotovoltaici finalizzato al risparmio dell'acqua destinata alla loro pulizia è al centro di una partnership tecnologica nel campo dell'energia solare della durata di un anno siglata ieri da Siemens Energy e il Masdar Institute of Science and Technology, centro di ricerca degli Emirati Arabi Uniti. L'obiettivo dell'intesa è incrementare l'uso dei moduli fotovoltaici in Medio Oriente, una regione con un enorme potenziale fotovoltaico inficiato in parte dalla sabbia dei deserti che, depositandosi sui moduli, potrebbe ridurne le performance. Per risolvere il problema l'accordo prevede l'avvio di attività di ricerca e test congiunti a partire proprio dal rivestimento dei moduli fotovoltaici affinché siano in grado di sporcarsi di meno e consentano di risparmiare acqua per pulirli. L'intesa rappresenta il rafforzamento di una partnership già esistente tra Siemens e il Masdar Institute con collaborazioni nei settori delle smart grid, edifici intelligenti e nella cattura e stoccaggio delle emissioni di CO2. […]» (Giovedì, 19 Gennaio 2012 - www.zeroemission.eu/news/id/15760).

[5] «È ormai ben noto il grande sviluppo che l'energia solare fotovoltaica sta avendo in molti paesi, in particolare Giappone e Germania. Si tratta non solo di un incremento di tipo quantitativo, ma anche qualitativo, grazie soprattutto a realizzazioni molto avanzate sia a livello tecnologico che architettonico. Oltre agli ormai comuni (per quei paesi) tetti fotovoltaici, costituiti da moduli solari di tipo standard, sempre più frequenti sono gli impianti fotovoltaici integrati negli edifici, che se da una parte rispondono adeguatamente alle crescenti preoccupazioni di carattere ambientale, dall'altra rappresentano un'interessantissima novità non solo per gli architetti, ma anche per enti pubblici, aziende e cittadini. Facciate, tetti o altri tipi di coperture fotovoltaiche consentono di disporre di quantità anche ragguardevoli di energia elettrica, con conseguenti risparmi economici e, nello stesso tempo, mostrano, in modo anche evidente, la "sensibilità ambientale" del proprietario. Non è infatti un caso che questi sistemi siano spesso installati nei palazzi degli uffici di società che vedono nel fotovoltaico un ottimo mezzo per "elevare" l'immagine dell'azienda. Gli impianti fotovoltaici connessi alla rete elettrica rappresentano quindi una fonte integrativa, perché forniscono un contributo, di entità diversa a seconda della dimensione dell'impianto, al bilancio elettrico globale dell'edificio. L'inserimento dei moduli fotovoltaici nei tetti e nelle facciate risponde alla natura distribuita della fonte solare e presenta diversi vantaggi. […]» (www.enerpoint.it/solare/fotovoltaico/architettura.php).

plastico, quindi è possibile collocarla sia in copertura sia sulle facciate, senza modificare lo statuto formale dell'edificio.



Moduli fotovoltaici a Film Sottile a tripla giunzione
www.sorgeniaecopensiero.it/2010/07/12/tegosolar-la-tegola-fotovoltaica/

Un ulteriore argomento sul quale è necessario riflettere, per quanto riguarda l'impiego di tecnologie fotovoltaiche in zone mediterranee, è costituito dall'obbligo, in Italia, di schermare il 70% delle superfici trasparenti (finestre o facciate continue) esposte alla radiazione solare. Gli elementi schermanti, per adempiere alla loro funzione di protezione per le parti trasparenti, devono essere posti in posizioni nelle quali subiscano il massimo dell'irraggiamento solare; questo fatto dà la possibilità di renderle fotovoltaiche trovando una forma d'integrazione particolarmente efficace perché (oltre a limitare il surriscaldamento derivante dal risparmio di energia non impegnata per raffrescare) si produrrebbe energia dalla stessa radiazione che viene schermata. I sistemi a Film Sottile consentono inoltre, di realizzare superfici fotovoltaiche traslucide o semitrasparenti con diversa trasmittanza luminosa e vari livelli di schermatura, anch'essi impiegabili per la realizzazione di sistemi schermati. Un ultimo punto su cui è importante riflettere è legato alla differenza che si genera nel caso di applicazione di sistemi fotovoltaici agli edifici esistenti. La questione integrativa, in questi casi diviene ancora più rilevante rispetto alle nuove realizzazioni[6].
Le incentivazioni economiche e gli obblighi normativi inducono i progettisti a rendere "fotovoltaici" edifici storici non certo predisposti per questo tipo di tecnologia. In questi casi forse si deve parlare di integrazione forzata che il più delle volte stride con l'immagine del contesto esistente[7].

[6] «[…] L'integrazione architettonica dei sistemi solari si basa sulla possibilità di utilizzare il modulo fotovoltaico nella più ampia libertà. È importante saper realizzare moduli aventi forma, misura, colore, caratteristiche strutturali diverse a seconda della situazione in cui si interviene. Nella creazione dei moduli semitrasparenti, le celle sono fissate con una resina tra due lastre di vetro distanziate tra di loro circa 2 mm. I cavi della corrente in uscita sono solitamente fatti passare attraverso dei corridoi creati nella cornice, in modo da rimanere nascosti, oppure si utilizzano le tradizionali junction box di connessione. Nei casi in cui la facciata trasparente debba anche soddisfare requisiti di isolamento termico, il modulo solare è integrabile in un doppio vetro, ottenendo un valore di dispersione termica di 1,1 W/mq K. Tutti i moduli prodotti sono testati elettricamente e meccanicamente secondo un rigido controllo di qualità. Viene così garantito lo standard IP65 contro il rischio dato dalle infiltrazioni di umidità. Gli elementi che stanno alla base del modulo fotovoltaico sono le celle e il vetro. […]» (www.enerpoint.it/solare/fotovoltaico/architettura.php)

[7] Analogamente all'impiego degli elementi schermanti, un altro aspetto rilevante offerto dall'impiego del fotovoltaico è costituito dalla possibile interazione tra nuove tecnologie energetiche e gli sviluppi formali dell'architettura contemporanea. Se, come il *trend* attuale sembra indicare, molta parte dell'architettura contemporanea si indirizza verso la realizzazione di edifici con ampie superfici vetrate esposte alla radiazione, oggi molti spazi trasparenti possono

5- Integrazione dei sistemi e integrazione delle culture

Lo sforzo tecnico necessario per realizzare l'inserimento di queste tecnologie risulta inappropriato, soprattutto nei centri storici che dovrebbero essere salvaguardati in altro modo. L'Italia pullula di tetti storici, già perfetti: fanno parte del paesaggio umanizzato (e ne costituiscono gran parte del carattere).



Uno scorcio del centro storico di Pavia (L. Sollazzi)
www.ilmondodipavia.it/pagina.php?b=1pS7W2MKSh

La vera integrazione del fotovoltaico non è da compiersi esclusivamente sugli edifici, quanto sulla capacità tecnico-culturale dei progettisti. Viviamo ed operiamo in una società nella quale da decenni si parla d'integrazione, collaborazione e lavoro interdisciplinare, ma ne abbiamo colti, per ora, solo i frutti teorici[8]; sarà, pertanto, opportuno cimentarsi praticamente nell'impresa di stabilire precisi canoni di salvaguardia del presente (il risparmio energetico), del passato (la storicità dei paesaggi umani) e del futuro (la vita contro la mera sopravvivenza). Non siamo ancora abituati a vedere uniti questi elementi (sempre a causa dell'eccesso di teoria): se sapremo usarli nell'ossequio e nella ricerca del valore estetico, la loro bellezza sarà il loro miglior passaporto. Non si tratta di subire forzati inserimenti ma di scoprire o inventare o conservare il lato estetico più rilevante.

diventare sede preferenziale per sistemi di captazione della radiazione solare (ciò può divenire elemento presente del nuovo paradigma produttivo).

[8] Intorno alla collaborazione fra architetti e geografi, si è già ampiamente dissertato: «La rappresentazione cartografica dell'uso del suolo produce poligoni irregolari (e disordinati quanto si vuole), ma ordinabili e coordinabili in forma di micro-regioni (dotate di omogeneità antropica) nell'ambito delle quali sarebbe auspicabile una sempre maggiore sinergia fra geografia umana e architettura.» (De Paoli e Candura, 2011, p.119). La sconveniente separazione fra le due discipline, peraltro, è causa anche di altri problemi: «La conoscenza della cartografia e delle discipline del rilevamento sono fondamentali per la figura professionale dell'architetto, urbanista o paesaggista […]. In Italia, di cartografia […] si interessano ingegneri, architetti, geologi, periti edili, periti agrari e forestali ed infine geometri. Lasciamo stare, per amor di patria, questi ultimi che pure hanno nell'etimologia del nome professionale la misura della Terra. […] Gli ingegneri esperti in rilevamento e cartografia sono una sparuta minoranza nonostante la recente introduzione della laurea in ingegneria del territorio […] E gli architetti? […] molti, assai più degli ingegneri e anche dei geometri, sono gli architetti occupati […] negli uffici tecnici dei vari enti pubblici. Parecchi […] si sono dovuti adattare all'autodidattica, dovendo condurre uffici urbanistici o di lavori pubblici o ancora di edilizia privata. […] Non sarebbe più serio, quanto meno nei corsi di architettura che hanno contiguità con l'urbanistica, con l'ambiente ed il territorio, con la famosa 'paesaggistica', istituire corsi di cartografia […]?» (Bezoari e Sellini, 2007, pp. 24 e 31, *passim*).

Riferimenti bibliografici

Abbreviazioni:
Boll. AIC = Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia.
Boll. SGI = Bollettino della Società Geografica Italiana.

Bezoari G. e Selvini A. (2007), "La cartografia e le facoltà di architettura", in *La Cartografia*, 5, pp. 24-31.
Candura A.R. e De Paoli O. (2011), "Classificazione di aree periurbane per interventi ambientali", in *Atti della 15a Conferenza Nazionale ASITA,* Colorno (Parma), 15-18 novembre 2011, pp. 581-590.
Colamonico C. (a cura di) (1956-63), *Carta della Utilizzazione del Suolo d'Italia*, 26 fogli (21 simboli a colori) al 200.000, CNR- Direzione Generale del Catasto e dei SS.TT.EE.-TCI.
D'Amico G. e Sabato P. (2008), "Modelli matriciali finalizzati alla valutazione della vulnerabilità del territorio", in *CAD GIS Magazine*, 5, pp. 39-41.
De Paoli O. e Candura A.R. (2010), "L'impiego di tecnologie eco-compatibili: un project GIS per la descrizione delle conseguenze sull'uso del suolo", in *Atti della 14a Conferenza Nazionale ASITA,* Brescia, 9-12novembre 2010, pp. 1-6.
De Paoli O. e Candura A.R. (2011), "Aree periurbane ed espansione edilizia", in *Boll. AIC*, 143, pp. 111-126.
De Paoli O., Montacchini E. e Candura A. R. (2005), "Tecnologie per la riduzione dell'impatto ambientale: un project GIS come database di riferimento", in *Atti della 9a Conferenza Nazionale ASITA,* Catania, 15-18 novembre 2005, vol. I, Artestampa, Varese, pp. 921-926.
De Paoli O., Montacchini E. e Candura A. R. (2006), "Uso del suolo e tecnologie eco-compatibili su piattaforma GIS: la Lombardia", in *Atti 9a Conferenza Italiana UtentiESRI*, Roma, pp. 1-5.
De Paoli O., Montacchini E., Restaino D., Treves V. e Zich U. (2006), *La rappresentazione tecnologica. Scale dimensionali e dettagli costruttivi*, Edizioni Mariani, Milano.
EEA (European Environment Agency) (2007), "CLC 2006 Technical Guidelines", in EEA Technical Report, 17, pp. 1-66.
EEA (European Environment Agency) (2010a), *The European Environment. State and Outlook 2010. Land Use*, EEA, Copenhagen.
EEA (European Environment Agency) (2010b), *The European Environment. State and Outlook 2010. Urban Environment*, EEA, Copenhagen.
Fouberg E.H., Murphy A.B. and de Blij H.J. (2009), *Human Geography. People, Place and Culture*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken (NJ).
Fouberg H. H., Murphy A. B. e de Blij H. J. (2010), *Geografia umana. Cultura, società, spazio***,** (III ed. it. a cura di A.R. Candura**)**, Zanichelli, Bologna.
Landini P. (1999), "Paesaggio e trans-scalarità", in *Boll. SGI*, Roma, IV, pp. 319-325.
ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) (2010) e SINANET (Sistema Informativo Nazionale Ambientale), *Analisi dei cambiamenti della copertura ed uso del suolo in Italia nel periodo 2000-2006*, Roma.
Sambucini W., Bonora N., Marinosci I. e Azzolini F. (2008), "La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2006 nell'ambito del Land Monitoring FTSP dell'iniziativa GMES", in *Atti della 12a Conferenza Nazionale ASITA,* L'Aquila, 21-24 ottobre 2008, vol. II, Artestampa, Varese, pp. 1791-1796.
Sambucini W., Marinosci I., Bonora N. e Chirici G. (2010), *La realizzazione in Italia del progetto Corine Land Cover 2006*, *ISPRA Rapporti*, 131/2010.
(www.isprambiente.gov.it/site/_contentfiles/00008300/8329_rapporto_131_2010.pdf).
Sestini A. (1947), "Il paesaggio antropogeografico come forma di equilibrio", in *Boll. SGI*, 12, pp. 1-8 (rist. in *Scritti minori*, a cura della Società di Studi Geografici, Firenze, 1989, pp. 181-189).
Sinanet e Ispra, *Dettagli tecnici sul progetto CLC 2006*
(www.sinanet.isprambiente.it/it/coperturasuolo/dettagli_tecnici_clc2006).

Beni culturali e spazio pubblico. L'asse storico Porta Romana – Ponte Vecchio – Porta San Gallo. Rilievo critico per la riqualificazione del paesaggio urbano

Carolina Capitanio

Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura, disegno storia progetto,
Via San Niccolò 93, 50125, Firenze, Tel. 055 2055363, Fax 055 2055399, carolina.capitanio@unifi.it

Riassunto

Il progetto"Il centro Storico di Firenze in trasformazione. Rilievo critico per la riqualificazione del paesaggio urbano", si svolge in collaborazione fra Comune di Firenze, Facoltà di Architettura dell'Università di Firenze e la Regione Toscana ed è stato per gli anni 2007 e 2008 parzialmente finanziato dall'Ente Cassa di Risparmio di Firenze.

Il tema della sostenibilità delle trasformazioni, intesa come equilibrio e compatibilità tra obiettivi economici, tutela delle risorse e qualità dell'ambiente è tema oggi centrale nella progettazione e pianificazione ai diversi livelli. Al fine di una più approfondita conoscenza, tutela, conservazione e valorizzazione del Sito UNESCO, Centro Storico di Firenze, il progetto propone una metodologia di rilievo e analisi critica del paesaggio urbano sperimentata nel corso degli ultimi anni in campo scientifico e professionale, e fondata sull'analisi percettiva-visuale e sul rilievo critico-qualitativo. Il nostro occhio deve essere addestrato a vedere (capire = ri_conoscere) le componenti strutturanti il paesaggio urbano analizzato ed ad individuare gli elementi che possano costituire degrado, come gli elementi che lo qualificano (punti di debolezza e punti di forza).

Questo permette di evidenziare, alle diverse scale nelle quali si intende operare, le dinamiche trasformative in atto, le qualità e non qualità dei luoghi, stabilirne la sensibilità ovvero le vulnerabilità e potenzialità delle singole componenti rispetto alle azioni antropiche, individuare delle linee guida a scala generale come porre le prime basi, a scala di particolare, per linee guida relative alla progettazione di elementi di dettaglio.

La finalità è quella di fornire (anche con l'ausilio di schedature informatizzate), uno strumento di supporto alla fase decisionale, pianificatoria, progettuale.

Il rilievo critico è stato riportato su mappa georeferenziata e gestito attraverso sistema GIS.

La carta tematica ha la finalità di individuare, punti di belvedere, assi di fruizione visuale, percorsi di fruizione visiva, fasce alberate di impostazione del canale visuale, elementi di attrazione visiva, e di detrazione visiva, fasce di interruzione della continuità paesaggistica.

Abstract

Project for "The historical center of Florence in transformation. Critical survey for the requalification of the urban landscape" is carried out in conjunction with the Municipality of Florence, the Department of Architecture of the University of Florence and the Region of Tuscany and it was partially funded by the Ente Cassa di Risparmio di Firenze, in 2007 and 2008.

The theme of sustainable changes, intended to act as a balance between economic goals, overseeing of resources and quality of the environment is today a central theme when planning at all levels. In order to have a deeper understanding, jurisdiction, conservation and development of the Historical Center of Florence, recognized by UNESCO, World Estate of the People, we suggest a method of evaluation and a critical analisis of the urban landscape largely experimented with during the last

years in the scientific and professional fields, based on visual perception analisis, as well as qualitative surveying.
Our eye must be accustomed to see (understand and recognize) the structural components of the urban landscape and to identify the elements that may constitute a deterioration, as well as those that constitute an improvement (points of strength and points of weakness).
This allows elements that constitute chang and the qualities and not the quality of the places to be emphasized; the vulnerability and potential strength of the actors to be established; the guidelines to be recognized.
The end goal is to provide support tool at the deciding, planning and implementing stages.

Premessa
Il Codice dei beni culturali e del paesaggio (Dlgs. 42/2004 e succ. mod), all'art. 10, punto g) definisce come beni culturali, quindi oggetto di tutela, " le pubbliche piazze, vie, strade e altri spazi aperti urbani di interesse artistico o storico". Fra questi rientrano lo spazio pubblico interno al Sito Unesco, Centro storico di Firenze.
Il Centro Storico di Firenze, meta turistica nazionale e internazionale, è sottoposto ad una pressione antropica costante che ha visto nel 2011 circa 8 milioni di presenze, contro i circa i 366.000 residenti. Questo comporta per la città ed in particolar modo per lo spazio pubblico del centro storico, una costante necessità di manutenzione e di adeguamento per la migliore fruizione, compatibilmente con il valore storico-culturale dei luoghi.
Il progetto"Il centro Storico di Firenze in trasformazione. Rilievo critico per la riqualificazione del paesaggio urbano", è ad oggi parte del Piano di Azione per la ricerca e la conoscenza all'interno del Piano di Gestione del Sito UNESCO di Firenze; si svolge in collaborazione fra Comune di Firenze, Facoltà di Architettura dell'Università di Firenze e la Regione Toscana ed è stato per gli anni 2007 e 2008 parzialmente finanziato dall'Ente Cassa di Risparmio di Firenze (Università di Firenze, Comune di Firenze (2009– 2010).
Il tema della sostenibilità delle trasformazioni, intesa come equilibrio e compatibilità tra obiettivi economici, tutela delle risorse e qualità dell'ambiente è tema centrale nella progettazione e pianificazione ai diversi livelli. Per un approfondimento sui temi della conoscenza, tutela, conservazione e valorizzazione del Sito UNESCO, Centro Storico di Firenze, il progetto propone una metodologia di rilievo e analisi critica del paesaggio urbano sperimentata nel corso degli ultimi anni in campo scientifico e professionale, fondata sull'analisi percettiva-visuale (Bini M., Pieri E ,a cura di, 1999) e sul rilievo critico-qualitativo (Capitanio C., 2002).
Il nostro occhio deve essere addestrato a vedere (capire = ri_conoscere) le componenti strutturanti il paesaggio urbano analizzato ed ad individuare gli elementi che possano costituire degrado, come gli elementi che lo qualificano (punti di debolezza e punti di forza).
Questo permette di evidenziare, alle diverse scale nelle quali si intende operare, le dinamiche trasformative in atto, le qualità e non qualità dei luoghi, stabilirne la sensibilità ovvero le vulnerabilità e potenzialità delle singole componenti rispetto alle azioni antropiche, individuare delle linee guida a scala generale come porre le prime basi, a scala di particolare, per indicazioni relative alla progettazione di elementi di dettaglio.
La finalità è quella di fornire (anche con l'ausilio di schedature informatizzate), uno strumento di supporto alla fase decisionale, pianificatoria, progettuale.
Il rilievo critico è stato riportato su mappa georeferenziata e gestito attraverso sistema GIS. La carta tematica di sintesi ha la finalità di individuare, punti di belvedere, assi di fruizione visuale, percorsi di fruizione visiva, fasce alberate di impostazione del canale visuale, elementi di attrazione visiva, e di detrazione visiva, fasce di interruzione della continuità paesaggistica.
La città ha una propria immagine pubblica che è la sovrapposizione di diverse immagini derivanti dalla storia e dalla cultura del luogo. La forma e la riconoscibilità simbolica di alcuni "segni" architettonici rafforzano il significato, la memoria identitaria oltre che all'orientamento. La percezione visuale-qualitativa dello spazio pubblico urbano, bene culturale, avviene anche

attraverso il riconoscimento di alcune forme fisiche principali, che possono essere lineari, puntuali, areali: i percorsi, i margini, i quartieri, i nodi, i riferimenti (Lynch K., *1960*).
Un asse viario è un elemento lineare al quale si collegano elementi areali (*nodi*, *quartieri*) ed elementi puntuali (*riferimenti)*. I limiti della strada sono i fronti degli edifici che costituiscono margini visuali della scena urbana.
Del resto "anche solo sotto il profilo visivo, per non dire poi di quello percettivo, i beni culturali sono elementi che hanno relazioni primarie con l'osservatore e, ampliando, con le popolazioni residenti (o in transito), per le quali essi costituiscono degli elementi visivi con forti caratteri identitari." (Romani V., 2008).
Nell'analisi del percorso compreso tra Porta San Gallo e Porta Romana (3,5 Km) la viabilità ed il tessuto urbano immediatamente adiacente sono stati divisi in n. 11 *Unità di Paesaggio Urbano* (UPU).
Definiamo in generale *unità di paesaggio* "ambito caratterizzato da specifici e distintivi sistemi di relazioni visive, ecologiche, funzionali, storiche e culturali che conferiscono loro una specifica fisionomia ed una riconoscibile identità"(Gambino, 1996).
Gli ambiti di paesaggio urbano identificati, in questa fase di studio, sono unità minime, afferenti al tema trattato. Queste unità, potranno fare parte di unità di paesaggio urbano più ampie, che saranno progettate in funzione dell'area di analisi e della scala di dettaglio.
L'obiettivo finale è quello di porre le basi per la divisione del sito UNESCO in Unità di Paesaggio Urbano più ampie in grado di identificare in maniera organica il centro storico.
In questa prima fase di studio il criterio che ha permesso di circoscrivere gli ambiti è stato quello dell'isolato che si affaccia sull'asse. In corrispondenza delle piazze, ovvero dei "nodi", abbiamo la sovrapposizione di diverse unità in quanto un isolato può avere il fronte sia sulla strada che sulla singola piazza.
La divisione del tratto urbano in diverse "unità minime" di studio permette per ciascun ambito di individuare le componenti che concorrono a definire le qualità della scena urbana, gli elementi di forza e le criticità. Consente in una successiva fase progettuale di individuare *linee guida* di intervento e proposte operative specifiche per la riqualificazione del paesaggio urbano .
Per ciascuna zona sono state analizzate in maniera specifica le relazioni visuali che intercorrono tra il sistema urbano e le zone limitrofe circostanti.
La lettura dello spazio pubblico è avvenuta a scala di maggiore particolare lungo il percorso, elemento lineare e attraverso punti che sono fulcri di relazioni percettive-visive e storico culturali. Il Rilievo critico ha condotto ad una sintesi ideogrammatica tesa ad individuare le criticità ed opportunità del sistema.
Dal punto di vista operativo sono stati individuati:
– *Punti di visuale* privilegiati (*Belvedere*), ovvero luoghi dai quali si può fruire una visione complessiva e significativa lungo l'asse viario del tratto urbano interessato;
– *Elementi di attrazione visiva*: sono in genere emergenze di valore architettonico, storico, paesaggistico. Sono questi *elementi di forza* nel tratto urbano interessato;
– *Elementi di detrazione visiva*, sono oggetti incompatibili con il contesto, estranei, fonte di degrado urbano, *elementi di debolezza*;
– *Elementi identitari* delle comunità locali sono elementi attrattori che le popolazioni riconoscono come propri e come tali necessitano di valorizzazione e integrazione nel sistema urbano, secondo una chiave di lettura che li vede poli delle dinamiche trasformative in atto .
– *Percorsi di fruizione visiva*, sono percorsi unione di luoghi di pregio storico-artistico, con valenza paesaggistica, sono assi di forza del sito. Anche questi percorsi, oltre ad avere una funzione strettamente connessa alla fruizione urbana, posseggono anche una vocazione turistica-ricreativa;
– *Margini visuali*: Fascia di impostazione del canale visuale
– *Assi di fruizione visuale*, sono gli assi principali che partono dai coni prospettici individuati
– *Fascia di interruzione visuale* sono linee di criticità del sito;

– *Punti di allargamento*, *biforcazione*, *restringimento* o *pausa* lungo un tragitto. Sono luoghi in cui si ha una differente sensazione percettivo-visiva. Sono spunto per successive indicazioni di tipo progettuale.
Il paesaggio storico urbano è stato quindi scomposto ed analizzato rispetto a n.12 componenti principali che ne caratterizzano l'immagine. Queste componenti a loro volta possono essere ricomprese in sistemi areali, lineari e puntuali, riferiti all'intero centro storico, oggetto di studio.

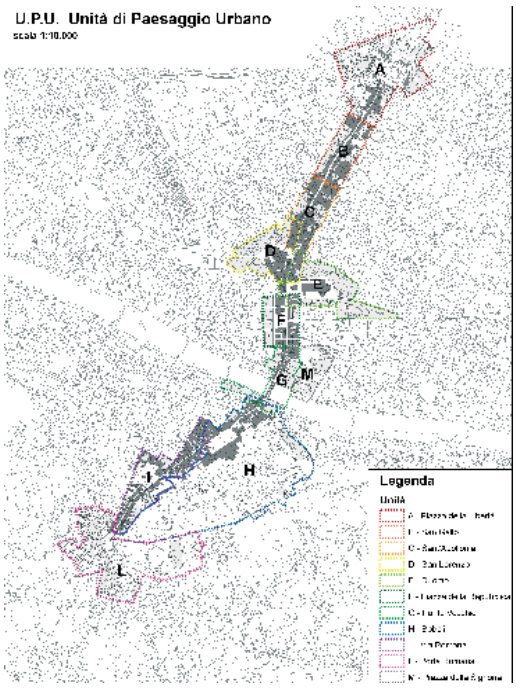


Figura 1. Asse viario rilevato e Unità di Paesaggio Urbano individuate.

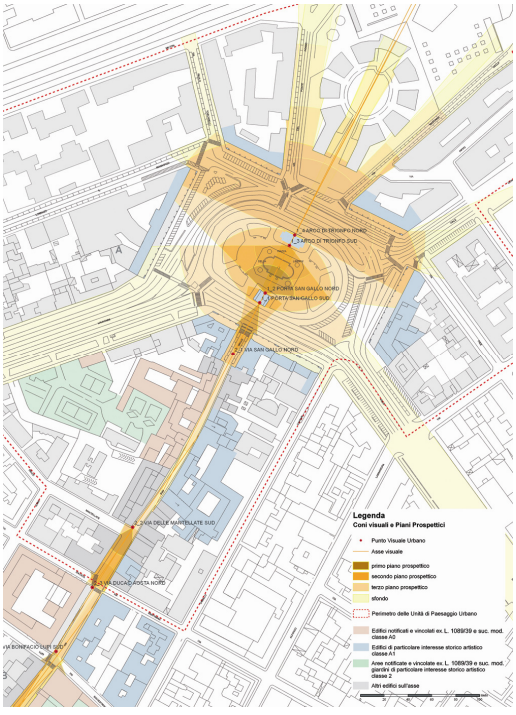


Figura 2. Carta dei punti, coni visuali, assi e piani prospettici.

Le componenti qualitative delle unità di paesaggio urbano
Ogni Unità di Paesaggio Urbano è caratterizzata, dal punto di vista estetico-formale dalle seguenti componenti:

- Ubicazione (sistema areale): localizzazione del tratto di sistema urbano all'interno della città
- Limiti – confini (sistema lineare): margini della quinta scenica urbana caratterizzati principalmente dai fronti degli edifici o dalla stessa quinta verde che caratterizza i viali, o le piazze e la pavimentazione stadale ;
- Percorsi su ruota o tranvia (sistema lineare e areale):
- Percorsi pedonali o piste ciclabili (sistema lineare e areale):
- Verde (sistema lineare, puntuale e areale): elemento organico che si inserisce nello spazio pubblico e contribuisce alla qualificazione della scena urbana
- Ingressi (sistema puntuale e areale): accessi al sistema urbano nel tratto interessato
- Punti di visuale (sistema puntuale):punti di vista accessibili al pubblico collocati lungo assi di visuale preferenziale

- Emergenze architettoniche (sistema puntuale e areale): Edifici di pregio storico artistico architettonico, vincolati ai sensi della ex 1089/39 ed edifici equiparati tutelati dalla pianificazione comunale (edifici in classe A1, secondo l'attuale piano strutturale comunale)
- Arredo urbano (sistema puntuale): gli elementi di arredo sia pubblici che privati che caratterizzano l'immagine dello spazio pubblico
- Cartellonistica (sistema puntuale): gli elementi di informazione sia pubblici che privati, parte consistente dell'arredo urbano, che per motivi di gestione è stata analizzata separatamente;
- Materiali (sistema puntuale e areale): gli elementi materici sia pubblici che privati che qualificano la scena urbana;
- Colore (sistema puntuale e areale): qualità cromatica di elementi sia pubblici che privati che qualificano la scena urbana;
- Luce (sistema puntuale): qualità cromatica fornita da dispositivi sia pubblici che privati che qualificano l'immagine dello spazio pubblico durante le ore notturne

Per le componenti maggiormente significative per il controllo delle future trasformazioni e che con maggior peso concorrono all'attuale immagine del paesaggio urbano, è stato sviluppato un rilievo tematico specifico, georeferenziato e riportato su supporto GIS: punti e margini visuali, fronti e pavimentazione, arredo urbano e cartellonistica.
Questo studio ha permesso di elaborare delle "legende tipo" per i diversi temi trattati.

Rilievo tematico cartellonistica, arredo urbano, pavimentazione e fronti stradali
Nel primo tratto da Via San Gallo fino a Borgo San Lorenzo, si è approntato un rilievo tematico, su carta georeferenziata, a scala 1:500.
I dati relativi alla posizione dei punti, sono stati implementati con il giudizio sullo stato di degrado dell'arredo evidenziando quello in cattivo stato o desueto.
Per i fronti e per il manto stradale è stato dato un giudizio qualitativo adeguato alla scala del rilievo, riportando in legenda: Nuovo, Buono, Sufficiente, Medio degrado, Forte degrado/Elementi lesionati, Riprese in altro materiale (asfalto su pavimentazione in pietra), Rovina/
Lacune.
In occasione del lavoro seminariale interno al Corso di Cartografia Tematica per l'Architettura e L'Urbanistica 5° anno A.A. 2009-10 e A.A. 2010-11, Università di Firenze (prof. arch. C. Capitanio) è' stato inoltre sviluppato, a livello dimostrativo e particolareggiato, il rilievo della zona di Piazza della Libertà e Piazzale di Porta Romana, con relative proposte di riqualificazione dello spazio pubblico, che hanno comunque aiutato ad individuare "buone pratiche" che possono essere messe in atto dalla amministrazione..

Il rilievo dei punti e margini visuali
Sull'intero percorso, lungo l'asse storico oggetto di studio, è stato eseguito un rilievo fotografico, localizzando i punti panoramici e gli scorci prospettici che dall'asse stradale si aprono nei dintorni immediati, individuando la rete di relazioni visuali esistente.
La cartografia di base utilizzata è stata la Carta Tecnica Regionale Toscana 1:2000, integrata con il dato proveniente dalla cartografia numerica 1:2000, elaborata in occasione del quadro conoscitivo del Piano strutturale del Comune di Firenze.
I punti rilevati, i coni prospettici e gli assi visuali sono stati riportati in formato shape file, su carta rielaborata e aggiornata in scala 1:500. Le foto eseguite, raccolte in archivio digitale, sono state correlate alla carta realizzata.
Sono stati complessivamente rilevati lungo l'asse stradale e riportati su supporto GIS n. 46 punti di visuale legati al progetto urbano
Per i punti panoramici/scorci prospettici maggiormente significativi lungo l'asse stradale, è stato rielaborato un *rilievo critico*, dove sono stati associati oltre a dati quantitativi quali, le coordinate georeferenziate del punto, direzione asse visuale, ampiezza cono visuale (lungo il piano orizzontale

e vericale), profondità dei piani prospettici (primo piano, secondo piano, terzo piano e sfondo), anche dati di tipo qualitativo, quali gli elementi connotanti e gli elementi qualificanti i margini visuali.





Figura 3 e 4. Ambito UPU "A" - Piazza della Libertà, rilievo criticità lungo l'asse viario.

Analisi Percettiva – Visuale , punti di forza e criticità – Sintesi ideogrammatica

Per ciascuna delle componenti qualificanti le unità di paesaggio urbano, vengono elencati e riportati in una tabella gli elementi di Forza - Debolezza interni al sistema e Opportunità- Minacce esterne al sistema viario. Su carta tematica georeferenziata (formato shape file) è stata riportata la sintesi ideogrammatica degli elementi forza del sistema e delle criticità rilevate attraverso l'analisi percettiva – visuale.

L'elaborato ha la funzione di evidenziare le generatrici geometrico-morfologiche del progetto di paesaggio urbano e gli elementi che costituiscono degrado e minaccia interne al sistema storico-culturale, oltre agli elementi e alle quinte sceniche che saranno oggetto di successiva proposta di restauro e valorizzazione.

Alla carta si affianca la tabella riassuntiva dove dall'analisi delle matrici SWOT (*S*trengths, *W*eaknesses, *O*pportunities *T*hreats) vengono date le prime linee guida per il progetto.

Nell'Analisi Percettiva – Visuale riportata su supporto GIS sono stati evidenziati e rappresentati in forma ideogrammatica:

- elementi areali, quali gli edifici che costituiscono la quinta scenica urbana. Fra questi vengono evidenziati con colore diverso gli edifici notificati e vincolati ex L.1089/39 e succ. mod. (classe A0), gli edifici di particolare interesse storico artistico (edifici in classe A1) e le aree verdi notificate e vincolate ex L. 1089/39 e succ. mod. e i giardini di particolare interesse storico artistico (classe2). Sono state poi evidenziate, le aree rilevate come degrado visivo e corrispondenti in gran parte a zone degradate della pavimentazione stradale, o dei fronti.
- elementi lineari, quali i margini visuali che sono la quinta scenica dello spazio urbano analizzato, le fasce di interruzione visuale, costituite spesso nel nostro caso, dal traffico urbano, e le linee di filtro percettivo-visuale, costituite principalmente dai filari di alberi.

- elementi puntuali, quali punti di visuale strettamente legati ai relativi assi visuali del bene culturale, parte del progetto di paesaggio urbano, elementi di attrazione visiva, coincidenti con le emergenze architettoniche e ambientali (edifici A0 e A1 e relativi spazi verdi), elementi di detrazione visiva, ovvero elementi di degrado, criticità del sistema viario.

Le criticità sono state rilevate e georeferenziate durante la fase di rilievo tematico della cartellonistica, arredo urbano, fronti e pavimentazione stradale, attraverso l'analisi dello stato di degrado.

Sono stati inoltre individuati elementi prettamente percettivi legati al progetto quali il *contrasto di scala*, *allargamento*, *restringimento* e *pausa* dipendenti dalla sensazione visiva del fruitore rispetto allo spazio urbano percorso.

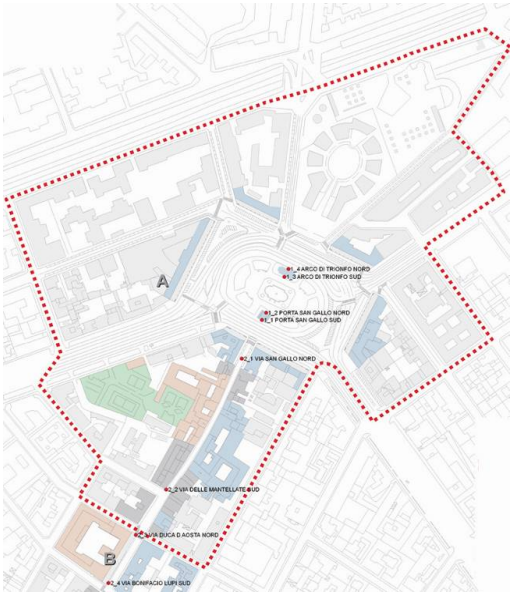


Figura 5. Ambito UPU "A" - Piazza della Libertà.



Figura 6. Analisi percettiva – visuale, legenda.

Per Piazza della Libertà e via San Gallo sono stati quindi proposti interventi puntuali di riqualificazione dell'immagine urbana e di valorizzazione del sistema viario attraverso una planimetria di progetto in scala 1:500 e foto inserimenti.

Alle Azioni proposte è stato attribuito un diverso grado di incidenza sulla singola componente e quindi complessivamente sull'intero ambito.

Secondo criteri di valutazione qualitativa dei progetti (Capitanio C., 2002), è stato attribuito per ogni differente Azione un valore di incidenza che và da 1 a 3 (1=bassa, 2=media, 3=alta) riferito a potenzialità e vulnerabilità.

Si intende per potenzialità la capacità latente insita nella componente, che se correttamente stimolata dalle Azioni di piano o di progetto, può essere sviluppata o realizzata.

Si definisce vulnerabilità la capacità da parte delle azioni di piano o di progetto di alterare i caratteri fisici o i valori culturali della singola componente.

La sensibilità della singola componente è data dalla somma dei valori di potenzialità e vulnerabilità.

Il grado di sensibilità complessiva dell'unità è dato dalla media della somma delle sensibilità relative alle singole componenti.

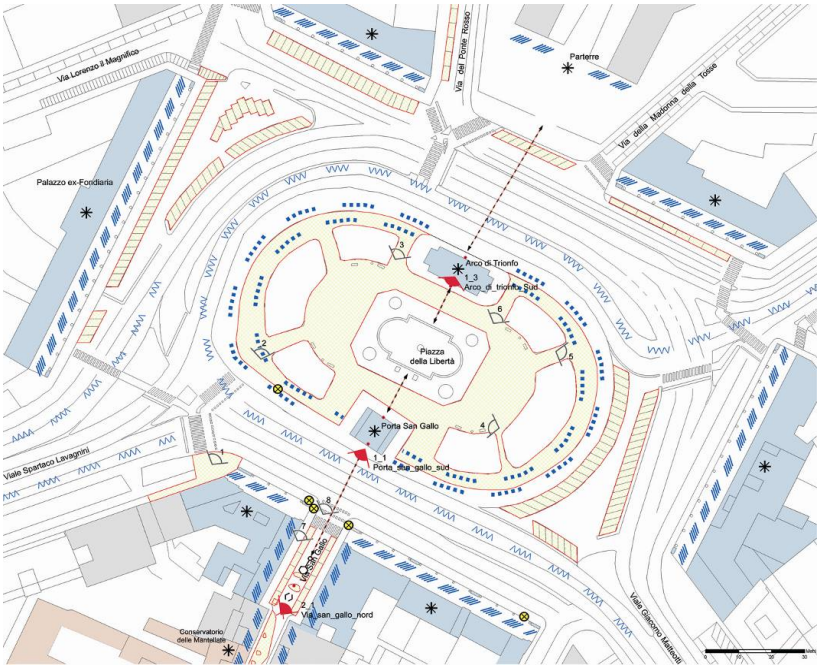


Figura 7. Analisi percettiva – visule, ambito UPU "A" - Piazza della Libertà.

E' stata poi proposta l'indicazione circa la *priorità* delle singole Azioni in base alle verifiche effettuate in occasione dei rilievi ed degli incontri avuti con l'amministazione.
La priorità ha un valore numerico che corrisponde a 1 (bassa) 2 (media) 3 (alta) ed è un moltiplicatore rispetto alla sensibilità. Il prodotto fra sensibilità della singola componente e priorità fornisce l'indicatore di priorità per singola componente. L'indice di priorità di intervento complessivo dell'Unità di Paesaggio Urbano è dato dalla media della somma degli indicatori di priorità relativi alle singole componenti.

Bibliografia

Arnheim R. (1991), *Arte e percezione visiva*, Feltrinelli, Milano
Bini M., Pieri E (a cura di) (1999), *Il Mugello. Un paesaggio in evoluzione*, Polistampa, Firenze
Capitanio C., Francini C. (a cura di) (2008), *bel_Vedere_firenze*, Comune di Firenze e Università degli studi di Firenze, Firenze, http://unesco.comune.fi.it/progetti.html
Capitanio C. (2002), *Il Paesaggio e la sua rappresentazione – Criteri di analisi per il progetto*, Materia e Geometria 10/2002, Alinea, Firenze
Comune di Firenze (2007-2008), *Il Centro Storico di Firenze – Patrimonio Mondiale UNESCO - Piano di Gestione 2006- 2008*, Tipografia nova snc, - http://unesco.comune.fi.it/piano_gestione.html .
Comune di Firenze (2012), Piano Regolatore Generale, http://prg.comune.fi.it/
Comune di Firenze (2010), Piano Strutturale, http://pianostrutturale.comune.fi.it/
Gambino R.(1996), Progetti per l'Ambiente, Franco Angeli Editore, Milano
Lynch K.(*1960)*, *The image of the city, MIT Boston,*
Romani V., *Il paesaggio. Percorsi di studio*, F. Angeli, Milano, 2008
Università di Firenze, Comune di Firenze (2009– 2010), Progetto "Il centro storico di Firenze in Trasformazione. Rilievo critico per la riqualificazione del paesaggio urbano", Responsabile scientifico Università degli studi di Firenze, prof. Marco Bini, Responsabile scientifico Comune di Firenze, ufficio Centro Storico UNESCO, dott. Carlo Francini, Progetto e coordinamento, dr. arch. Carolina Capitanio, gruppo di ricerca: arch. E. Salvadori, arch. C. Zanette, dott. B. Rinchi, dott. I. Romano, dott. E. Brunetti, G. Cotta, A. Sposato, Soggetti coinvolti: Università di Firenze, Comune di Firenze, Regione Toscana

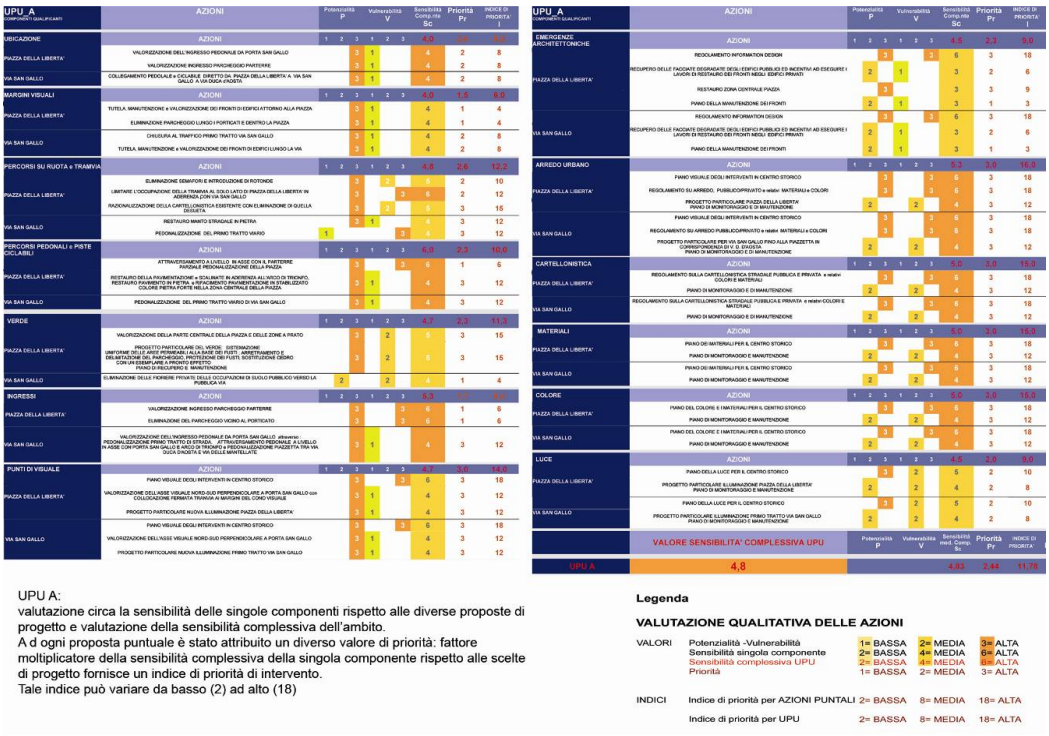


Figura 8. Valutazione qualitativa delle Azioni proposte e priorità di intervento.

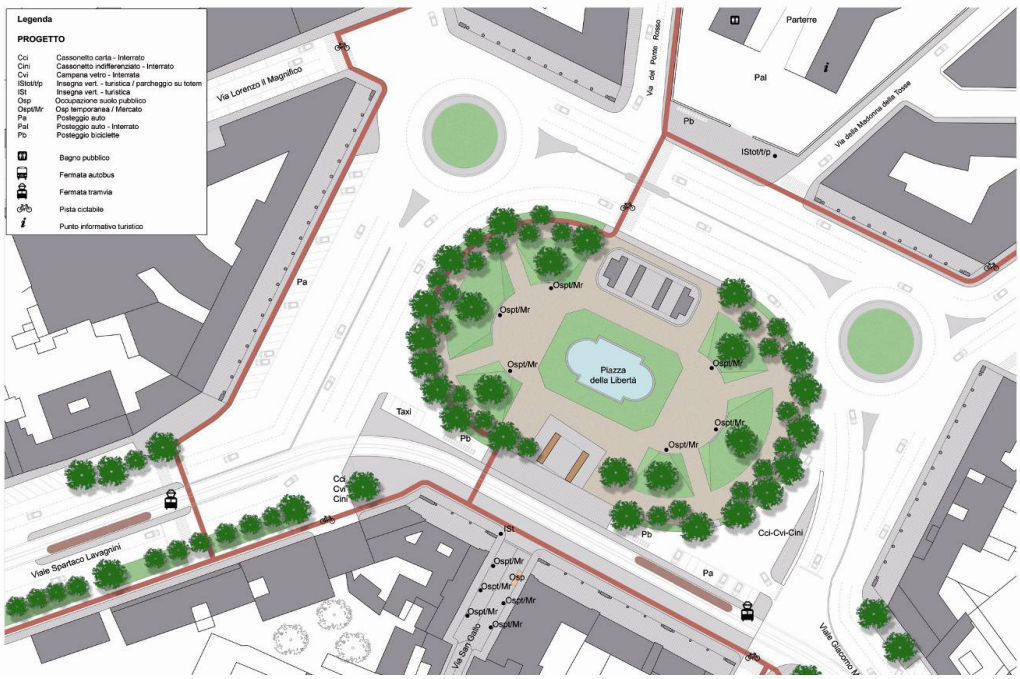


Figura 9. Ambito UPU "A" - Piazza della Libertà, linee guida di progetto.

Impatti della direttiva INSPIRE sugli utenti di dati territoriali sulla biodiversità: il progetto europeo HABITATS

Alberto Cardillo, Michela Gori, Matteo Guccione, Michele Munafò

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA),
Via Vitaliano Brancati 48, Roma, michele.munafo@isprambiente.it

Abstract
Il progetto HABITATS, finanziato nell'ambito del programma CIP–ICT–PSP, si pone come principale obiettivo l'evoluzione degli standard della Direttiva INSPIRE attraverso un innovativo processo di validazione partecipativa. Lo scopo è l'implementazione dei modelli di dati e metadati di 4 tematiche dell'Allegato III della Direttiva legate allo studio e rappresentazione cartografica degli elementi di biodiversità: Regioni marine; Regioni bio-geografiche; Habitats e biotopi; Distribuzione delle specie.
La validazione da parte degli utenti viene svolta all'interno di 7 casi studio riguardanti i temi sopra citati e segue l'approccio indicato dal Social Space for Research and Innovation (SSRI - www.researchspaces.eu) coinvolgendo numerosi gruppi di stakeholders per la costruzione di un social network transeuropeo che generi scenari di utilizzo e che metta in evidenza le esigenze dei portatori di interesse.
Al progetto partecipano 10 partners europei tra cui ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – che è stato coinvolto in veste di utente per la validazione di dati riguardanti la biodiversità e partecipa in attività di User Engagement. All'interno di queste ultime ISPRA ha condotto un'indagine sul grado di conoscenza e utilizzo degli standard INSPIRE tra utenti e fornitori di dati territoriali legati alla biodiversità. Questo studio, svolto tramite la somministrazione di un questionario, non vuole rappresentare un censimento nazionale sul grado di adozione degli standard INSPIRE nelle Amministrazioni Centrali e Regionali, che rientra tra le attività di monitoring previste dalla Direttiva, ma ha il fine di valutare gli impatti della Direttiva sugli stakeholders ed è focalizzato sulle tematiche dell'Allegato III oggetto del progetto HABITATS.

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

Introduzione

Sono diverse le iniziative in corso per stabilire la conformità dei dati alla Direttiva INSPIRE con le norme generali per lo scambio, la condivisione, l'accesso e l'utilizzazione, in maniera integrata con

le realtà regionali e locali, il monitoraggio, il reporting, i requisiti di dati e servizi e l'interoperabilità dei metadati.
Il progetto HABITATS vuole contribuire all'evoluzione degli standard della Direttiva INSPIRE attraverso un innovativo processo di validazione partecipativa finalizzato alla costruzione di un *social network* transeuropeo che generi scenari di utilizzo, metta in evidenza le esigenze dei portatori di interesse, e valuti gli impatti dei risultati di progetto. Lo scopo è l'implementazione dei modelli di dati e dei metadati di quattro tematiche (dalla n.16 alla n.19) dell'Allegato III della Direttiva legate allo studio e rappresentazione cartografica degli elementi di biodiversità: Regioni marine; Regioni bio-geografiche; Habitat e biotopi; Distribuzione delle specie.



Figura 1. Loghi del progetto e dei Partner HABITATS.

I casi di studio
La validazione da parte degli utenti viene svolta all'interno di 7 casi studio riguardanti i temi sopra citati e sviluppati dai partner del progetto.
I casi studio sono:

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

La valutazione dell'impatto della Direttiva

L'ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, inizialmente coinvolto in veste di utente per la validazione di dati riguardanti la biodiversità e per partecipare alle attività di User Engagement, ha introdotto un ottavo caso studio, un'indagine a livello nazionale che, attraverso la selezione di portatori di interesse chiave che lavorano in enti pubblici, o che sono in stretto contatto con loro, sulle attività connesse all'ambiente (come la pianificazione del territorio e l'uso delle risorse naturali) li ha coinvolti al fine di valutare le esigenze degli stakeholder e gli impatti potenziali che potrebbe avere il rispetto degli standard di INSPIRE sui processi decisionali e a livello amministrativo.

A tal fine, non è stata ritenuta sufficiente l'attività di monitoraggio prevista dalla Direttiva INSPIRE con cui le pubbliche amministrazioni hanno fornito gli elementi informativi necessari ad assicurare l'interoperabilità dei set di dati territoriali e del monitoraggio ambientale e dei servizi ad essi relativi. Infatti solo poche amministrazioni hanno fornito informazioni riguardanti i temi dell'allegato III della Direttiva anche in considerazione del fatto che i metadati relativi a tali temi figurano tra quelli che le Autorità pubbliche dovranno aggiornare e rendere disponibili entro il 24 dicembre 2013.

È stato quindi elaborato uno specifico questionario reso disponibile on line e inviato a circa 500 stakeholder nazionali potenzialmente interessati. Il questionario, composto da 61 domande, prevedeva sezioni specifiche per i fornitori e per gli utenti dei dati. Il questionario, chiuso il 10 agosto 2012, ha ottenuto 122 risposte con un tasso di risposta pari al 24,4%.

Risultati e conclusioni

Le risposte ottenute hanno permesso di avere informazioni utili per una prima valutazione degli impatti della direttiva INSPIRE sugli utenti di dati territoriali sulla biodiversità. I rispondenti sono principalmente coinvolti in Amministrazioni Pubbliche, università e istituti di ricerca pubblici (66,7%) e in attività che riguardano la pianificazione territoriale e la conservazione di specie e di habitat (72,2%). Considerando i temi dell'allegato Annex III, oggetto del progetto HABITATS, habitat e biotopi (43,7%) e distribuzione delle specie (26,4%) sono stati i più frequenti.

Come detto, il questionario ha previsto una distinzione tra gli utenti dei dati (77,2%) e i fornitori (28,1%[1]), dedicando una sezione specifica a ciascuna categoria.

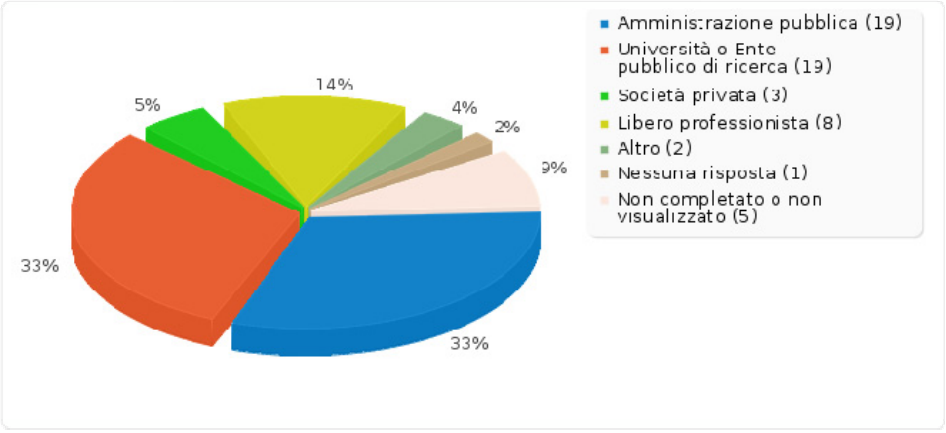


Figura 2. Tipologia degli utenti rispondenti al questionario.

[1] La somma eccede il 100% perché era possibile indicare l'appartenenza ad entrambe le categorie.

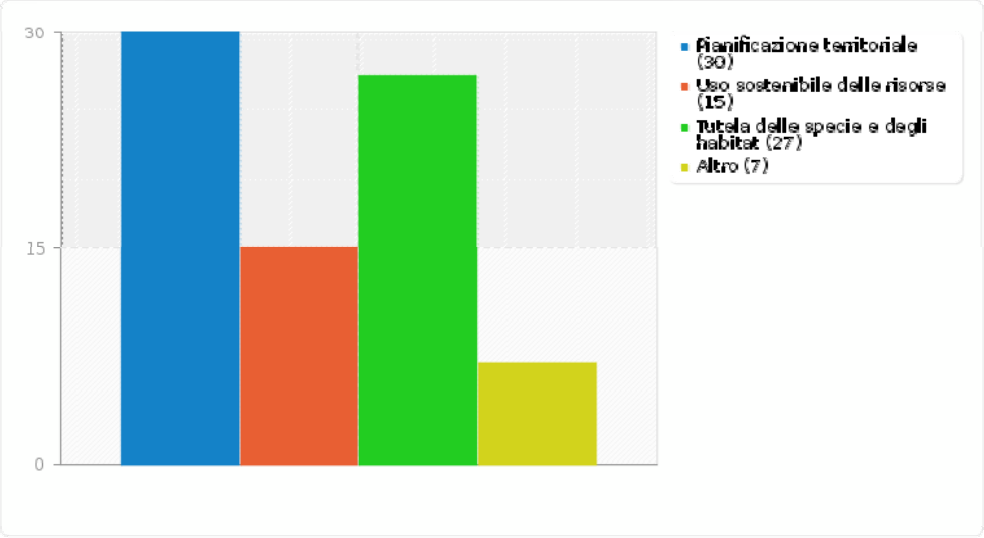


Figura 3. Campo di attività dei rispondenti.

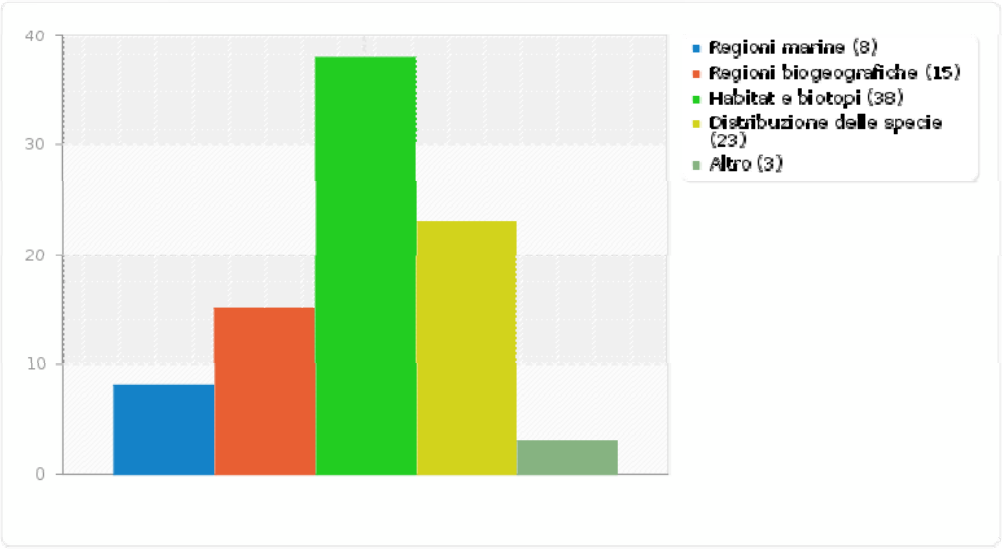


Figura 4. Categorie di dati utilizzati.

Gli utenti dei dati hanno fornito informazioni relative al tipo di utilizzo dei dati, al livello di conoscenza dei servizi di rete previsti dalla Direttiva INSPIRE (discovery, view, download, transformation and invoke services) e all'applicazione degli standard.
In particolare, solo il 50,7% ha sostenuto di aver ottenuto dati attraverso il web, mentre il 46,4% ha risposto di aver avuto accesso alle informazioni attraverso altri canali (CD, DVD, hard disk, etc.).
La rete è comunque molto utilizzata per la ricerca di dati geografici (in particolare Land Use, vegetazione, distribuzione delle specie, habitat, carte forestali), principalmente attraverso siti delle Amministrazioni Pubbliche (37,8%), geoportali (34,7%) e motori di ricerca o cataloghi di dati (complessivamente 23,5%), mentre i servizi di ricerca (discovery services) sono quasi del tutto ignorati (4,1%).

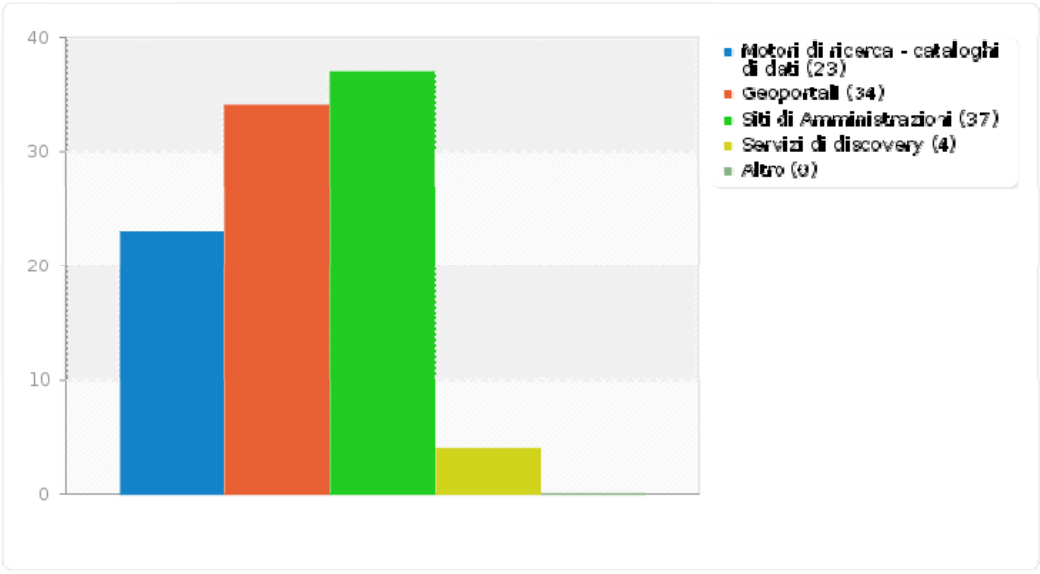


Figura 5. Strumenti di ricerca di dati geografici utilizzati.

Diversa è la situazione per quanto riguarda i servizi di visualizzazione che sono utilizzati da una buona parte dei rispondenti attraverso specifici visualizzatori (WebGIS, 36,8%) o applicazioni desktop (29,9%). I servizi di trasformazione e di invoke sono risultati meno conosciuti (rispettivamente il 23,2% e il 7% del totale dei rispondenti).
Con riferimento all'adozione degli standard, la maggior parte degli intervistati ha ritenuto che l'accesso ai dati spaziali sul web non è adeguato alle necessità degli utenti, ma il 95% ha sostenuto che la futura e piena adozione degli standard INSPIRE potrà facilitare il proprio lavoro.

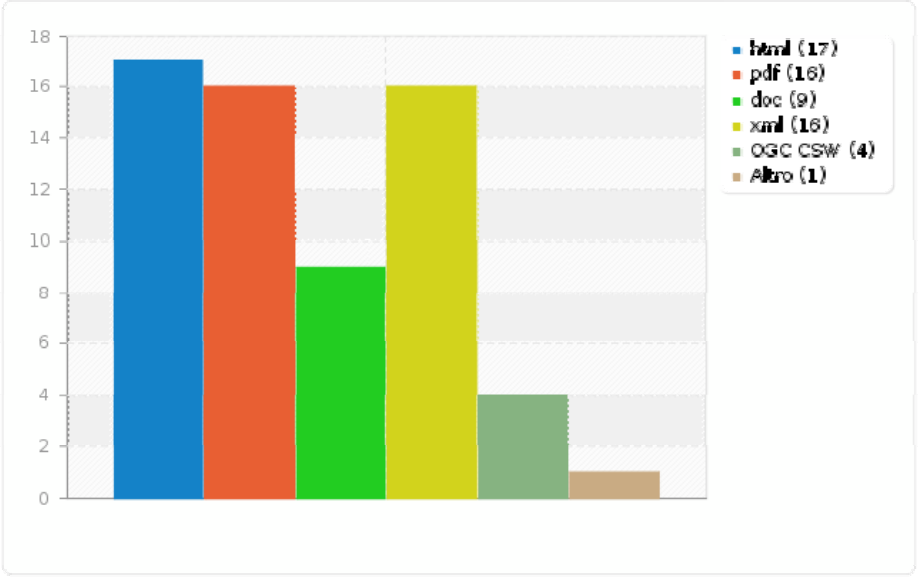


Figura 6. Modalità di accesso ai metadati da parte degli utenti.

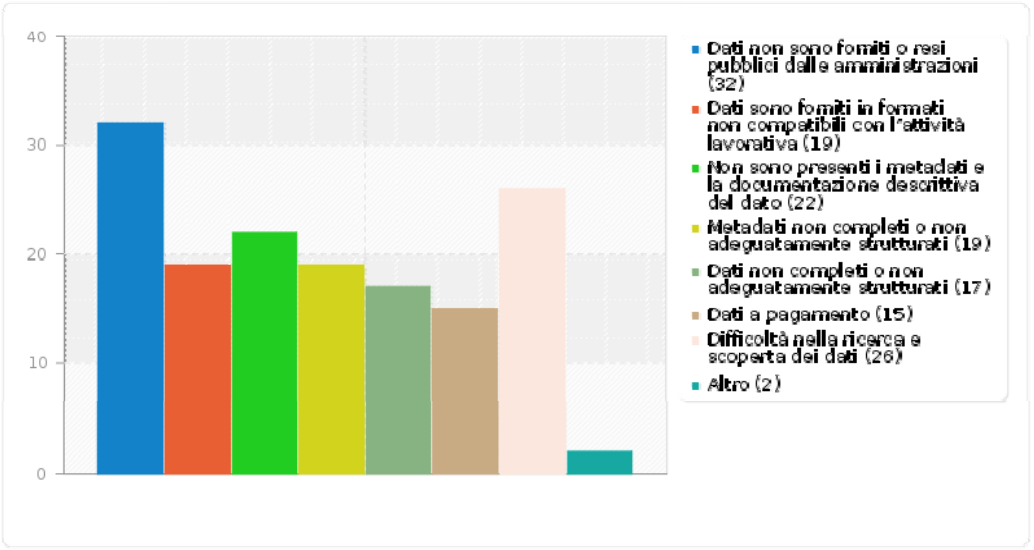


Figura 7. Maggiori difficoltà riscontrate da parte degli utenti nell'accesso ai dati.

I risultati della sezione del questionario indirizzata ai fornitori dei dati ha confermato i principali aspetti sottolineati dagli utenti. In particolare, tra i fornitori, l'80% ha dichiarato che la propria Amministrazione condivide una parte dei dati, ma solo l'8,3% ha sostenuto che tutti i dati pubblici posseduti dalla stessa Amministrazione sono resi accessibili agli utenti. Un sistema di metadatazione è presente per il 75% dei rispondenti anche se solo nella metà dei casi i metadati sono resi disponibili insieme ai dati.
In generale, questo ottavo caso studio ha fornito informazioni rilevanti e sostanziali da un punto di vista istituzionale. Inoltre, ci si aspetta che i benefici associati a questo caso studio portino ad una sensibilizzazione a livello nazionale e che tale esperimento possa servire in futuro ad altre agenzie nazionali e regionali in tutta Europa.

Riferimenti bibliografici

www.inspiredhabitats.eu

www.inspiredhabitats.ning.com/

www.researchspaces.eu

www.isprambiente.gov.it

www.facebook.com/Inspired_Habitats

www.twitter.com/inspiredhabitats

World HEritage monitoring by Remote sEnsing (WHERE)

Renzo Carlucci (*), Alessio Di Iorio (**), Marco Folegani (***),
Maria Marsella(****), Antonio Monteleone (*****), Simone Mantovani (***),
Alessandro Placidi (**), Nazzareno Straccia (**)

(*) A&C2000 srl, Roma
(**) ALMA Sistemi sas, Guidonia
(***) MEEO srl, Ferrara
(****) SurveyLab, Roma
(*****) Nextant Spa, Roma

Abstract
The fast pace of human grow requires a continuous monitoring of World Heritage sites, especially where urbanization poses major risks to the site preservation. Factors like human activities, meteo-climate (including pollution) and structural stability of the remains affect the possibility to preserve these assets for the future generations. The project World HEritage monitoring by Remote sEnsing (WHERE) has the primary objective to develop and demonstrate an operational system and a cost effective service based on remote sensing to monitor UNESCO sites in urban areas. The project aim to address the following factors: urbanization and human activities; small scale meteorological and climate change impact; geotechnical and structural stability of the building and the surrounding land. The above elements will be addressed by implementing three separate data processing chains: *Change Detection*, *Microclimate* and *Interferometry*. The human activities will be monitored by using Change Detection technologies applied to optical and high resolution radar images. The Microclimate will take in consideration air humidity and temperature, soil temperature and particulate (PM2.5 and 10) while structural stability will be addressed using DInSAR Interferometry techniques applied to Cosmo-SkyMed data. The data processing chains will be integrated into a WebGIS system where multi-temporal analysis is performed and final results displayed. The final products include updated risk maps addressing critical situation and the evolution of the parameters under monitoring. The project foresees an extended demonstration phase of 6 months on the following test sites in Italy: Historical center of Rome; The "Sassi e il Parco delle Chiese Rupestri di Matera"; Ostia Antica and Ancient Harbor.
The project is co-funded by Italian Space Agency and is carried out by a consortium of Italian SMEs leaded by NEXTANT SpA and supported by ALMA Sistemi sas, A&C2000 Srl, MEEO Srl and SurveyLAB. The project started in February 2012 and the present article describes the preliminary results of the project.

Introduzione
La crescente urbanizzazione in molte aree del mondo richiede un monitoraggio continuo dei siti UNESCO. Fattori come le attività umane, il microclima (incluso l'inquinamento) e la stabilità strutturale dei monumenti incidono sulla possibilità di preservare i beni culturali (APAT, 2006). Il progetto WHERE (*World HEritage monitoring by Remote sEnsing*) ha come obbiettivo principale lo sviluppo e l'applicazione di un sistema operativo e a basso costo, basato sul processamento di immagini satellitari, per il monitoraggio dei siti UNESCO in area urbana. Verranno quindi monitorati gli elementi antropici, meteo-climatici e geotecnico-strutturali, tramite l'implementazione di tre differenti catene di processamento, denominate rispettivamente *Change Detection*, *Meteoclimate* e *Interferometry*. Queste faranno uso sia di immagini satellitari radar ad

alta risoluzione Cosmo-SkyMed, che di immagini ottiche e multispettrali; i prodotti delle tre catene di processamento verranno inoltre integrate in un sistema Web-GIS in cui saranno eseguite analisi multi-temporali e visualizzati i risultati finali. I prodotti finali includeranno mappe di rischio riguardanti le situazioni critiche e i parametri sotto osservazione. Il progetto prevede un'estesa fase di dimostrazione di sei mesi sui seguenti siti dimostrativi: Centro storico di Roma; Sassi e Parco delle Chiese Rupestri di Matera; Ostia Antica e area dell'Antico Porto.
WHERE è cofinanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e realizzato da un consorzio di PMI guidato da NEXTANT SpA e supportato da ALMA Sistemi sas, la A&C2000 Srl, la MEEO Srl e la SurveyLAB. Il progetto è iniziato nel Febbraio 2012 e il presente articolo intende descriverne i principali elementi e i risultati preliminari.

Il Progetto WHERE
La Commissione per il Patrimonio Mondiale dell'UNESCO ha dichiarato patrimonio mondiale dell'umanità 890 siti nel mondo che formano una parte essenziale del patrimonio culturale e naturale del pianeta. Di questi, una notevole percentuale sono localizzati nell'area mediterranea, dove storicamente si sono sviluppate le culture più antiche del mondo moderno, e ben 44 si trovano in Italia. Molti di questi siti, inoltre, inclusi siti archeologici di notevole rilevanza, coincidono con centri storici di città caratterizzati da un elevato grado di urbanizzazione con conseguente impatto ambientale dovuto al traffico e all'inquinamento con variazioni microclimatiche locali su una scala temporale breve (UNESCO, 2010).
L'iscrizione di un sito alla lista UNESCO richiede che gli Stati membri, attraverso le autorità locali, si impegnino alla gestione, al monitoraggio e alla conservazione di questi; in particolare esiste l'obbligo di redigere con cadenza periodica dei rapporti sullo stato di conservazione dei siti e sulle misure messe in opera per preservare gli stessi (UNESCO, 2011a; 2011b).

Il progetto *World HEritage monitoring by Remote sEnsing* (WHERE), cofinanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), ha come obiettivo primario lo sviluppo e la dimostrazione di un servizio operativo efficiente e a basso costo, basato su immagini satellitari, per il monitoraggio sul breve periodo dei siti UNESCO in aree urbane (Carlucci et al., 2011).
Per offrire un'alternativa completa ai metodi tradizionali attualmente in uso alle autorità locali preposte al monitoraggio dei siti, il progetto intende estendere il monitoraggio ai seguenti elementi:

- Antropici (impatto umano sull'ambiente)
- Meteoclimatici (impatto sulla vulnerabilità dei monumenti)
- Geotecnico-strutturali (deformazioni dei terreni e strutture)

I dati acquisiti da *Remote Sensing* saranno processati utilizzando tre catene di processamento denominate: *Change Detection* (per gli elementi antropici), *Microclimate* (elementi meteo-climatici) e *Interferometry* (elementi geotecnico-strutturali) (Moon et al., 2002; Ben-Arie, Rao, 1993). Le informazioni puntuali ed areali saranno integrate in un sistema Web-GIS che permetterà la loro visualizzazione integrandole con le mappe di cambiamento rilevate da immagini satellitari. Il sistema Web-GIS includerà funzioni di analisi multi-temporali delle informazioni ricavate dai dati satellitari che, con cadenza periodica (settimanale/mensile), permetteranno di evidenziare le variazioni spaziali delle strutture e degli agglomerati urbani. In base alla criticità dell'evento potranno essere predisposti dei sistemi di segnalazione tempestiva, compilate mappe correlate alla vulnerabilità dei siti ed estrapolati degli andamenti di evoluzione dei parametri sotto monitoraggio.
WHERE ha inoltre lo scopo di sviluppare e diffondere *know-how* avanzato e tecnologie innovative nel settore di osservazione della Terra applicabili alla conservazione dei beni culturali, sviluppi resi possibili dalla disponibilità dei dati acquisiti dai nuovi sensori ASI ed in particolare dalla costellazione Cosmo-SkyMed.

Il sistema intende avvalersi di immagini satellitari ad alta risoluzione, in particolare SAR Cosmo-SkyMed per *Change Detection* e *Interferometry*, immagini ottiche per la *Change Detection* e immagini multispettrali (es. Modis, Landsat, Aster) per *Microclimate*, opportunamente processate ed integrate nel sistema Web-GIS (Di Iorio et. al., 2011; Carlucci, Di Iorio, 2010).

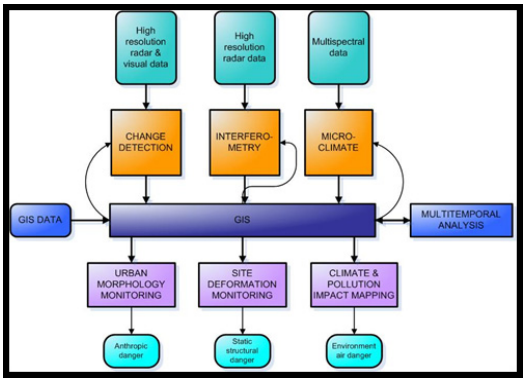


Figura 1. Il sistema WHERE.

Sono stati definiti tre siti dimostrativi in cui la metodologia di servizio sarà applicata, verificata ed infine validata:

- Centro storico di Roma, le proprietà extraterritoriali della Santa Sede nella città e San Paolo fuori le Mura (sito dell'UNESCO dal 1980) con copertura parziale esteso al Parco Regionale dell'Appia Antica;
- i Sassi e il Parco delle Chiese Rupestri di Matera (sito dell'UNESCO dal 1993);
- Ostia Antica e l'area dell'Antico Porto.

Il sistema così sviluppato sarà estensibile all'intero patrimonio dei centri storici Italiani in considerazione dell'attuale politica del Ministero dei Beni Culturali che ha definito le linee guida per l'acquisizione e l'analisi dei dati per una carta del rischio del patrimonio culturale che sia di supporto scientifico e amministrativo agli Enti statali e territoriali preposti alla tutela dello stesso. Il sistema è inoltre in linea con le linee guida del bilancio del Ministero dei Beni Culturali che prevede lo spostamento delle ridotte risorse economiche disponibili dall'intervento "correttivo" al monitoraggio e all'intervento preventivo "leggero".

Definizione dei requisiti utente: i prodotti WHERE

Durante la fase preliminare ed in quella iniziale del progetto sono stati definiti i bisogni utente (ciò che viene ritenuto necessario dagli *stakeholders* per il monitoraggio e la salvaguardia dei siti UNESCO) e i requisiti utente (che ne rappresentano la reale formalizzazione, ciò che è richiesto per condurre il monitoraggio tramite WHERE). L'attività di definizione e programmazione dei requisiti utente si è basata su:

- Studi sulla letteratura: documenti sulla politica di salvaguardia, conservazione, promozione e management dei beni culturali; regolamenti nazionali ed internazionali; documenti UNESCO sulla gestione dei siti affiliati; documenti pubblicati dai manager dei siti UNESCO; documenti pubblicati dagli organi consultivi dell'UNESCO (ICCROM; ICOMOS; IUNC).

- Analisi dei siti dimostrativi: allo scopo di evidenziare le diverse peculiarità e gli specifici requisiti per ciascuno di questi.
- Confronto con i vari *stakeholders*: Comitato UNESCO; Stati membri; organi consultivi dell'UNESCO; autorità e agenzie nazionali e locali; manager e team dei siti UNESCO; Forze Armate nazionali (Arma dei Carabinieri, Corpo Forestale delle Stato ecc.); Protezione Civile nazionale e regionale; istituti e agenzie nazionali (ISPRA) e regionali (ARPA) per la protezione ambientale.

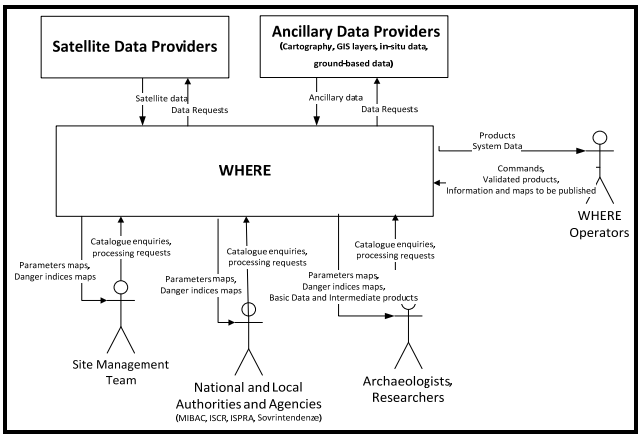


Figura 2. Diagramma del Contesto WHERE.

Sono state quindi identificate alcune priorità circa la salvaguardia e la conservazione dei beni culturali: il punto focale è rappresentato dalla possibilità di usufruire di metodologie efficienti e sostenibili, per gestire e monitorare le risorse culturali riducendo e ottimizzando i costi, ma allo stesso tempo assicurando la conservazione del patrimonio naturalistico e storico. Tale obbiettivo dovrebbe essere raggiunto tramite le attività di prevenzione dei danni e di riduzione dei rischi (approccio preventivo); inoltre, il bene culturale dovrebbe essere preservato in tutte le sue componenti architettoniche, strutturali e ambientali (approccio olistico); infine, viene auspicata l'utilizzazione di tecniche non invasive applicabili ad ampie aree.
Alcune prioritarie emergenze connesse ai rischi naturali e antropici sono state perciò evidenziate:

- Monitoraggio sistematico della pressione antropica
  Strumenti di monitoraggio in grado di identificare discariche illegali, abusivismo edilizio o l'impatto di nuove costruzioni sulla buffer zone; contaminazione dell'atmosfera, del suolo e dell'acqua (sia sotterranea che di superficie).
- Monitoraggio sistematico dei rischi geotecnico-strutturali
  Strumenti di monitoraggio rapidi ed efficienti in grado di fornire informazioni e mappe di rischio geotecnico-strutturale applicabili ad ampie zone con alto dettaglio spaziale al fine di monitorare le condizioni dei singoli edifici.
- Monitoraggio sistematico del rischio idro-geologico
  Strumenti di monitoraggio rapidi ed efficienti in grado di fornire informazioni e mappe di rischio idro-geologico per ampie zone e con grande dettaglio spaziale (soprattutto frane).
- Monitoraggio sistematico dei parametri ambientali, incluso l'inquinamento
  E' riconosciuta l'importanza del monitoraggio dei parametri ambientali, compreso l'inquinamento, per fornire informazioni precise sui fattori che sono causa di accelerazione del processo di deterioramento dei beni culturali.

- Monitoraggio sistematico dell'impatto del cambiamento climatico e dei parametri microclimatici
  Al fine di monitorare e quantificare l'impatto dei cambiamenti climatici e dei parametri microclimatici sui monumenti e gli edifici storici.

Il sistema WHERE si propone quindi di fornire una serie di prodotti ottenuti tramite monitoraggio satellitare, al fine di valutare e quantificare i cambiamenti in corso e di estrarne mappe dei rischi antropico, meteo-climatico e geotecnico-strutturale.
Una serie di mappe di base dei vari parametri sotto osservazione varranno realizzate in modo sistematico, per ampie aree e basate su un approccio economico sostenibile:

- Mappe di variazioni verticali: per il monitoraggio della stabilità degli edifici storici.
- Mappe dei movimenti del suolo: al fine di valutare la propensione di un'area a fenomeni di frane e smottamenti.
- Mappe di pressione antropica: per monitorare ogni cambiamento in atto in una determinata zona (abusivismo edilizio; scavi illegali ecc.).
- Mappe dei principali inquinanti atmosferici associati alla loro variabilità spaziotemporale e analisi statistiche (variazioni massime e minime; gradienti ecc.).
- Mappe di temperatura e umidità associate alla loro variabilità spaziotemporale e analisi statistiche (variazioni massime e minime; gradienti ecc.).

Inoltre, verranno elaborate una serie di mappe di rischio per ognuna dei tre parametri sotto monitoraggio.
Rischio antropico: Indice di degrado per espansione urbana (mappa di abusivismo edilizio); Indice di degrado connesso a discariche abusive; Indice di degrado territoriale connesso a scavi o lavori illegali o legali; Mappe di identificazione di strutture archeologiche (sconosciute o investigate in passato).
Rischio ambientale: Indice di erosione superficiale dei monumenti; Indice di annerimento degli edifici; Indice di stress fisico dei monumenti; Mappe LST HR; Mappe LST MR; Mappe AirTemp; Mappe RH; Mappe PM10; Mappe PM2.5.
Rischio geologico-strutturale: Interferogrammi differenziali; Mappe di coerenza interferometriche SAR; Mappe di intensità; Mappe di deformazione interpolate; mappe di velocità media.

Scenari applicativi e strategia di verifica e validazione
Per quanto riguarda gli obbiettivi e le finalità del progetto WHERE, sono stati identificati una serie di scenari applicativi concernenti le tre differenti catene di processamento precedentemente illustrate:

- Identificazione di costruzioni illegali (abusivismo edilizio) nei siti UNESCO e relative *buffer zones*
- Identificazione di nuovi scavi o aree di lavoro all'interno dei siti UNESCO (es. scavi legali o illegali)
- Monitoraggio della pressione e del rischio antropico nella *buffer zone* dei siti UNESCO
- Monitoraggio dei rischi ambientali, incluso l'inquinamento, nei siti UNESCO
- Monitoraggio dei rischi geologico-strutturali nei siti UNESCO
- Identificazione di strutture archeologiche sepolte, investigate in passato, la cui localizzazione è nota e la cui forma e posizione sono conosciute con scarsa approssimazione
- Identificazione di strutture archeologiche sepolte, investigate in passato, la cui localizzazione è conosciuta con scarsa approssimazione e la cui forma e posizione sono note
- Identificazione di strutture archeologiche sepolte non ancora messe in luce, in un'area caratterizzata da buona probabilità di contenere resti archeologici

- Attività di supporto ai siti UNESCO e alle autorità competenti nella preparazione delle relazioni periodiche
- Attività di supporto ai siti UNESCO e alle autorità competenti nell'esecuzione del Monitoraggio Reattivo
- Attività di supporto ai siti candidati nella raccolta dei dati e nella preparazione delle relazioni periodiche da presentare alla Commissione UNESCO

Le attività di Verifica avranno lo scopo di dimostrare, attraverso specifici processi, che WHERE soddisfi i requisiti di sistema indicati. Tale processo farà quindi uso di metodi qualificativi (test) e di procedure dedicate per ogni specifico requisito di sistema e per ogni *dataset* composto da *imput-data-expected-output-data*.

Le attività di Validazione avranno lo scopo di dimostrare la capacità di WHERE di soddisfare i requisiti utente. Il servizio WHERE opererà perciò all'interno di scenari ben definiti e con prodotti finali che saranno validati tramite l'utilizzazione di dati reali, misurazioni in situ e attraverso il coinvolgimento di professionisti esperti e utenti finali del Servizio.
La strategia di Verifica e Validazione interesserà quindi una serie di casi studio (*Test Cases*) che sono stati individuati per ciascuna catena di processamento e in riferimento ai differenti scenari applicativi, per i tre siti dimostrativi.
In particolare, per quanto concerne la catena di processamento *Change Detection*, sono stati scelti i seguenti *test cases*:

- Roma, Centro Storico: Palatino; Via Giulia; Testaccio.
- Roma, Parco Regionale dell'Appia Antica: Villa Capo di Bove; Villa delle Vignacce; Ninfeo di Egeria.
- Ostia: Area di Ostia Antica; Buffer Zone; Antico Porto di Traiano; Isola Sacra.
- Matera: Parco delle Chiese Rupestri; Buffer Zone.

L'attività di *Change Detection* sarà inoltre estesa all'area archeologica di Tindari, in Sicilia, con particolare riferimento all'identificazione di strutture archeologiche sepolte e non ancora investigate.



Figura 3. Change Detection: Identificazione di nuovi scavi (Roma - Appia Antica, Villa Capo di Bove).

La Verifica e Validazione della catena di processamento *Meteoclimate* avrà lo scopo di fornire mappe dei parametri meteo-climatici riguardanti aree di interesse che includono sia grandi centri storici urbani, sia centri di piccole città con particolari monumenti storici. I prodotti PM10, PM2.5, LST e mappe di temperatura e umidità dell'aria costituiranno quindi i dati di input per stimare l'impatto climatico sui monumenti storici. Tale attività interesserà due *test cases*:

- Roma, Centro Storico.
- Matera, Parco delle Chiese Rupestri.



Figura 4. Interferometry: serie temporali da dati SAR Cosmo-SkyMed (Ostia - Antico Porto).

La Verifica e Validazione della catena di processamento *Interferometry* verrà effettuata tramite: confronto tra mappe di deformazione e risultati delle analisi sui dati SAR ERS-ENVISAT (1992-2010); confronto tra mappe di deformazione ottenute da interferogrammi differenziali Cosmo-SkyMed (2011) e misurazioni in situ e dati bibliografici; confronto tra serie temporali di spostamento ricavate da dati SAR Cosmo-SkyMed (2012) e processati durante il progetto e serie temporali di precedenti progetti, misurazioni in situ e dati bibliografici. Tale attività interesserà i seguenti *test cases*:

- Roma, Centro Storico.
- Ostia, Antico Porto di Traiano.
- Matera, specifiche aree selezionate.

Conclusioni

Alla data di presentazione di questa relazione WHERE ha concluso le due fasi iniziali di progetto. la PDR (Preliminary Data Review) e la CDR (Critical Data Review) dando inizio allo sviluppo vero e proprio del sistema che durerà circa 12 mesi, cioè almeno fino al Settembre 2013. Particolari rapporti con gli utenti finali e le Istituzioni competenti sono stati attivati al fine di validare e verificare i risultati dei processi. Tra questi l'ISCR (Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro) - per il Sistema Informativo della Carta del Rischio del Patrimonio Culturale - e l'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale).
Sarà inoltre possibile seguire i progressi e lo stato di avanzamento del progetto direttamente sul sito web, disponibile all'indirizzo http://www.progetto-where.it/ .

Bibliografia

APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (2006), "L'impatto dell'inquinamento atmosferico sui beni di interesse storico-artistico esposti all'aperto".
Ben-Arie J. and Rao K.R. (1993), "A Novel Approach for Template Matching by Nonorthogonal Image Expansion", *IEEE Trans. Circuits Syste. Video Technol.*, Vol. 3, pp. 71-84.
Carlucci R.; Di Iorio A.; Placidi A.; Pichini M. (2011), "WHERE. Monitoraggio di siti archeologici da satellite"; *Archeomatica*, Anno II, Numero 3.
Carlucci R., Di Iorio A. (2010), "Monitoraggio di siti archeologici da satellite. Un metodo ibrido tramite Remote Sensing, tecniche GIS e un algoritmo di rilevamento della forma utilizzabile su immagini SAR"; *Archeomatica*, Anno I, Numero 4.

Di Iorio A.; Bridgwood I.; Rasmussen M.; Sorensen M.; Carlucci R.; Bernardini F. and Osman A. (2011), "Automatic detection of archaeological sites using a hybrid process of Remote Sensing, GIS techniques and a shape detection algorithm", *Proceedings of the 29th EARSel Symposium*, Chania, Greece.
Moon H.; Chellapa R. and Rosenfeld A. (2002), "Optimal Edge-based Shape Detection", *IEEE Transactions on Image Processing,* Vol. 11, No. 11.
UNESCO (2010), "Managing Disaster Risks for World Heritage", http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-630-1.pdf.
UNESCO (2011a), "Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention", http://whc.unesco.org/en/guidelines.
UNESCO (2011b), "*Preparing World Heritage Nominations*", Second Edition, November 2011.

Metodologia di elaborazione di dati laser scanner per la generazione di modelli utili al calcolo strutturale

G. Caroti, A. Franconi, A. Piemonte

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

Riassunto
Il lavoro si inquadra in una ricerca che ha come obiettivo l'individuazione di metodologie e procedure di rilievo utili a produrre dati metrici per la verifica e la mitigazione del rischio a cui sono sottoposte le strutture in concomitanza di eventi calamitosi (Prin2008). In particolare viene studiata la potenzialità dei dati LIDAR per produrre modelli tridimensionali utili all'analisi e verifica strutturale degli edifici. Nell'ottica di questa ricerca si è utilizzato come *software* di calcolo strutturale il SAP2000 v.14, prodotto commerciale e molto utilizzato dai progettisti, per analizzare quali fossero le problematiche e le potenzialità dell'utilizzo del dato laser per questo tipo di applicazione in campo tecnico. A partire dalla nuvola di punti acquisita durante il rilievo *laser scanner* terrestre del fabbricato principale dello storico stabilimento balneare lo "Scoglio della Regina" sul lungomare di Livorno sono stati prodotti diversi modelli poligonali a densità delle maglie variabile e sono stati generati gli input necessari per creare un modello *shell* computabile dal *software* di calcolo strutturale. La formazione di questi modelli non può seguire una procedura completamente automatica e deve rispettare determinate specifiche imposte da questo *software*. Nel lavoro sono descritte le procedure utilizzate, le problematiche incontrate e i risultati raggiunti.

Abstract
The work is part of a research aimed to identify surveying methods and procedures relevant to the output of data for monitoring and mitigation of risk to which structures are exposed in the event of disasters (Prin2008). Focus is set in particular on the potential of LIDAR data to produce 3-D models useful for analysis and structural testing of buildings. In view of this research SAP2000 v.14, possibly the most used by designers among commercial structural calculation software, was used to analyze incoming problems and the potential of the use of laser data for this type of application. From the point cloud acquired during the terrestrial laser scanning survey of the main building of the historic bathhouse "Scoglio del Regina" on the waterfront of Livorno, different models with variable- density polygonal mesh were generated, along with the input needed to create a shell model calculation compatible with structural software. The formation of these models cannot be completely automated and must meet definite specifications imposed by this software. The work describes in detail the procedures used, the problems encountered and the results achieved.

Introduzione

Il dato *laser scanner* è ad oggi ormai utilizzato in molti settori grazie alle caratteristiche della metodologia che permette di differenziarsi sia in termini di precisioni richieste sia per la rapidità ed efficienza nell'acquisire informazioni metriche anche di grande dettaglio in breve tempo.
Gli innumerevoli vantaggi della metodologia sono ben documentati in letteratura ed in particolar modo sono messe in evidenza le possibili applicazioni e tecniche per acquisire nel modo corretto dati per produrre elaborati bi e tridimensionali necessari per una documentazione e analisi interpretativa di tipo architettonico e qualitativo nonché per produrre prodotti utili all'*Information*

Technology (come ad esempio tour virtuali basati su dati rilevati e georeferenziati consultabili a varie scale di definizione e dettaglio tramite *web*) ed ancora per il *reverse engineering*, il *Building Information Modeling*, l'archeologia, la documentazione del patrimonio culturale, i GIS, etc...
Uno degli ambiti non ancora del tutto investigato è quello dell'utilizzo del dato *laser* per l'analisi e le verifiche strutturali. In bibliografia sono riportati alcuni degli studi condotti su questo argomento negli ultimi quattro anni.
L'analisi e la verifica strutturale richiede come punto di partenza che della struttura e dei suoi elementi costituenti siano note le caratteristiche geometriche tridimensionali. La tecnologia del *laser scanner* terrestre offre appunto l'opportunità di acquisire, mediante la strumentazione, nuvole dense di punti che rappresentano le coordinate tridimensionali della geometria della superficie dell'oggetto, forniscono la posizione e la forma della struttura e dei suoi elementi in un unico sistema di riferimento e da queste può essere creato un modello sia dell'intera struttura sia del singolo elemento che la costituisce, inoltre l'elevata densità di informazioni metriche della nuvola permette di leggere e misurare le fessurazioni, i dissesti, etc...
La nuvola di punti che registra e restituisce la geometria della struttura necessita di venire strutturata in modo da presentare tutte quelle caratteristiche necessarie per rappresentare il corretto dato di *input* per i *software* di verifica strutturale. Infatti, vari *software* di verifica strutturale si basano sul metodo di calcolo agli elementi finiti (FEM) che utilizza modelli numerici di simulazione per valutare la risposta della struttura ai differenti tipi di azioni.
Questo metodo richiede che la struttura venga opportunamente discretizzata in porzioni, dette "Elementi Finiti", in quanto tali in numero e dimensione. Tutte le informazioni necessarie per la descrizione di ciascuno di questi elementi, siano esse geometriche (ad es. la lunghezza dei singoli elementi strutturali, le caratteristiche delle loro sezioni, …), topologiche (relative alla connessione dei nodi punti) o fisiche (ad es. carichi, le proprietà dei materiali, ….), vanno a costituire lo schema ad elementi finiti (*Shell*). Al contrario l'*output* del *laser scanner* è una nuvola di punti non strutturata. Ciò comporta che il dato geometrico acquisito dal *laser* debba venire articolato e predisposto per essere associato alle caratteristiche strutturali dei vari elementi e dei nodi componenti la struttura in modo da generare un modello a *shell* adatto al calcolo agli elementi finiti.
E' evidente come sia importante, per un'indagine strutturale, conoscere la geometria sia interna sia esterna della struttura ed avere queste due informazioni in un unico sistema di riferimento tridimensionale così da poter usufruire della completa informazione geometrica come ad esempio gli spessori murari ai vari livelli, la posizione e lo spessore dei solai, etc... Esistono tuttavia casi in cui questo non è possibile, ad esempio quando l'edificio è già in condizioni così precarie da non permetterne né l'accesso né la permanenza all'interno in condizioni di sicurezza.
In questi casi la disponibilità di precedenti rilievi anche in CAD può essere di supporto per ricostruire la forma completa.
L'oggetto scelto per verificare la metodologia è stato il fabbricato principale dello "Scoglio della Regina" a Livorno. Per il rilievo è stata utilizzata la *Scan Station* Leica C10. La campagna di rilievo si è svolta in due giornate. Date le condizioni interne del fabbricato non è stato possibile effettuare il rilievo degli interni ma solo della parte esterna.

Produzione di elaborati tradizionali (piante, prospetti, sezioni)
Per l'elaborazione dei dati acquisiti si è utilizzato il *software* Cyclone della Leica v7.1. Con il processo di registrazione sono state allineate tutte le singole scansioni acquisite con il *laser scanner* ed è stato quindi creato il modello digitale tridimensionale a nuvola di punti dell'oggetto rilevato (figura 1). La nuvola di punti, essendo un'entità perfettamente misurabile è stata utilizzata per la creazione delle piante, delle sezioni e dei prospetti dello stato attuale del fabbricato dello Scoglio della Regina.
Come detto precedentemente, è attualmente interdetto l'ingresso al fabbricato per problematiche strutturali e di sicurezza e quindi non è stato possibile rilevarne la geometria interna.

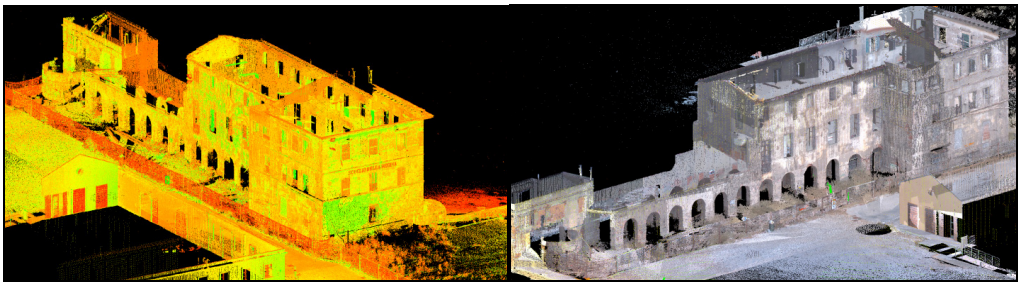


Figura 1. Nuvola di punti complessiva.

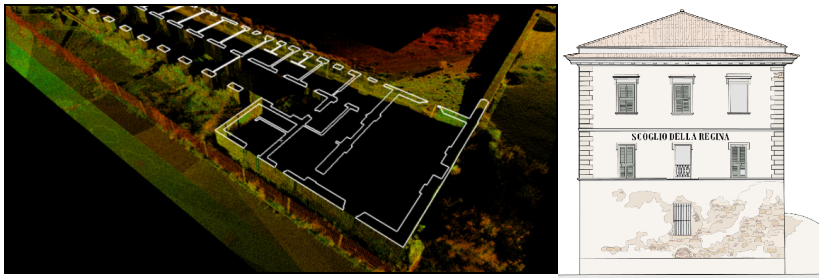


Figura 2. Pianta piano terra da nuvola di punti e prospetto della facciata principale.

Fortunatamente ci è stato messo a disposizione un rilievo geometrico complessivo del fabbricato realizzato nel 2002 con tecniche tradizionali comprensivo di piante, prospetti e sezioni in CAD (figura 2). Gli elaborati, dopo essere stati opportunamente orientati e allineati al rilievo *laser scanner* sono stati utilizzati per ricostruire la geometria interna che così ha integrato il rilievo laser fornendo un prodotto geometrico "ibrido" ma dal quale è stato possibile individuare i solai, gli spessori murari, i vani scale, le divisioni interne, etc..
Per restituire i prospetti sono state creati in Autocad piani complanari ai fronti principali, utilizzando per allineamento le sezioni orizzontali ottenute dalla nuvola ed esportate in precedenza. Una volta ottenuti questi piani sono stati nuovamente importati in Cyclone attraverso il formato di interscambio COE e utilizzati per allineare le viste ai prospetti. Sono stati così generate le immagini delle diverse viste dell'edificio (*screenshot*) e successivamente mosaicate utilizzando una griglia di riferimento opportunamente sovrapposta alle immagini stesse. Il prodotto finale è stato poi importato in Autocad per la restituzione al tratto.

Creazione di un modello a poligoni

I modelli a nuvola di punti ottenuti dal rilievo con strumenti laser scanner ad alta precisione presentano particolari limitazioni dal punto di vista computazionale. Non è possibile infatti computare il comportamento fisico del modello a nuvola di punti attraverso un calcolatore.
Il passaggio da modello a nuvola di punti a modello a superficie poligonale è definibile a tutti gli effetti come una operazione di "*retopology*" ossia le informazioni quantitative e qualitative presenti nel modello a punti sono tradotte e adattate per ottenere una rappresentazione triangolare o quadrangolare che esplicita la superficie poligonale. Queste operazioni di conversione introducono variazioni geometriche nel modello, e attraverso il *software* è possibile valutare se la loro l'entità è coerente con la tolleranza ammessa e con le finalità del rilievo stesso. (Bini, 2011)
Ad oggi è ben noto come ricostruire in modo abbastanza speditivo la restituzione dello stato di fatto di un edificio partendo da dati *laser scanner* (vedi paragrafo precedente): partendo dalle viste in proiezione ortogonale della nuvola di punti, si realizzano sezioni e sezioni prospetto, sia orizzontali

che verticali nei piani di interesse. Queste vengono esportate in scala così come viste a video (*screenshot*) in programmi CAD mediante i quali anche un disegnatore che può non avere alcuna esperienza con il trattamento delle nuvole di punti è in grado di digitalizzarle e restituire il prodotto piano finale.
Questo tipo di procedura potrebbe essere utilizzata per generare in prima approssimazione un modello a *mesh* ma presenta significative limitazioni. Infatti ad esempio l'elaborazione si basa su geometrie prestabilite, regolari e piane, che possono non riflettere la geometria reale dell'edificio, la restituzione per linee rette e piani ha come conseguenza la correzione non intenzionale della situazione esistente della struttura, in termini di spostamento e/o distorsione.
Un altro metodo che potrebbe essere utilizzato è quello di lavorare direttamente sulla nuvola di punti e generare da questa una rappresentazione densa a curve di livello che estrapolano, dal modello analizzato in sezione, campioni di punti 3D su aree limitate: in questo caso il prodotto finale è tridimensionale, a differenza del precedente, e da questo è possibile indagare le dimensioni strutturali, i fuori piombo, l'orizzontalità, ma la discretizzazione introdotta da questo tipo di modellazione può alterare la realtà ad esempio falsando la corretta geometria degli elementi strutturali o la corretta posizione e dimensione delle loro connessioni.
Il nostro studio si è invece focalizzato sul passaggio dalla nuvola grezza di punti 3D prodotta dal sensore ad un reticolo di poligoni connessi fra loro, i cui vertici coincidano con i punti misurati (*mesh*): è quanto viene indicato con il termine "*meshing*". La nuvola di punti generata dal *laser scanner* Leica *Scan Station* C10 è una nuvola di punti non strutturata costituita da punti non organizzati nello spazio.
Si è utilizzato il *software* Geomagic Studio, attraverso il quale sono stati corretti gli errori della nuvola dovuti al rumore in fase di acquisizione, ridotti uniformemente il numero di punti su una superficie piana. È stato inoltre ridotto il numero dei punti ad una densità specifica su una superficie curva nonché convertito l'oggetto punto in oggetto vertice di *mesh* poligonale, passando in questo modo da una nuvola di punti a un modello *mesh*.
Si è ottenuto un modello a superficie poligonale (successivamente detto modello *High poly*) con una rappresentazione che consente di descrivere il modello stesso mediante le relazioni presenti tra vertici: le informazione geometriche (coordinate x,y,z), gli spigoli e le facce (figura 3).

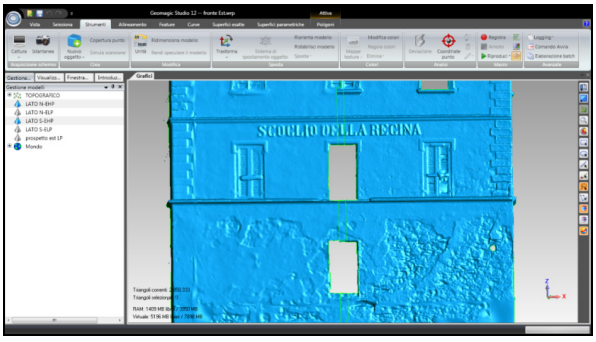


Figura 3. Modello High Poly.

Fra questi elementi non sono possibili relazioni ambigue, per questo i *software* utilizzano strumenti di correzione degli errori topologici per ottimizzare il modello che per essere "valido" deve sussistere un collegamento vertice-vertice fra *mesh* contigue.
Dopo aver effettuato la fusione delle varie porzioni del fabbricato, per creare un unico reticolo poligonale, sono stati corretti gli errori presenti nel modello (errori topologici, lacune e superficie rumorosa). Le particolari esigenze hanno portato alla creazione di due modelli diversi.

Intervenendo proprio sul numero di poligoni, sono stati creati: un modello ad alta densità di poligoni (*High poly*) da utilizzare in campo architettonico e un modello a bassa densità di poligoni (*Low poly*) caratterizzato da una densità delle maglia più bassa pur mantenendo le caratteristiche formali e geometriche, adatto per le applicazioni termografiche e per l'elaborazione con il programma di analisi strutturale Sap2000.

Passaggio dal modello a mesh al modello a shell per il calcolo strutturale

Il modello ad alta densità di poligoni, *High poly*, è stato creato cercando di mantenere il maggior numero di poligoni per far sì che venissero conservate le caratteristiche di rugosità dei materiali della superficie esterna e per evidenziare le fessurazioni, le scrostature dell'intonaco e le diverse *texture* presenti sulle facciate pur essendo un modello computabile. Nel modello sono state conservate tutte le componenti che non sono strutturali come bozze, soglie e cornici, in modo da avere il maggior grado di dettaglio possibile.

Il modello a bassa densità di punti, "*Low poly*" è stato creato da quello "*High poly*" apportandovi varie modifiche per essere compatibile (computabile) con il SAP2000.

Alcune delle principali modifiche sono nate dalle seguenti necessità:

- Ottenere un modello decisamente più snello che potesse essere analizzato dal programma strutturale: per questo è stata effettuata una decimazione del numero di poligoni imponendo *mesh* triangolari con lunghezza dei lati inferiore a cinquanta centimetri, impostando il numero minimo di triangoli, mantenendo un numero maggiore di elementi nelle zone a minor raggio di curvatura. Sono stati creati modelli con diverso numero di poligoni: siamo passati da 80.000 del modello ad alta densità, a 45.000 per la prima prova, che risultavano essere sempre troppi per riuscire a gestire il file. Dopo un terzo tentativo a 40.000, risultato sempre troppo pesante, siamo riusciti ad ottenere un modello computabile semplificando a 35.000 poligoni, riuscendo in questo modo a mediare tra la semplicità computazionale e la coerenza strutturale, senza cioè semplificare troppo il modello ottenuto con il rilievo *laser scanner* ad alta risoluzione.
- Togliere tutti gli elementi non strutturali come soglie, infissi, cornici e bozze sicuramente utili per la completezza architettonica ma superflui per un approccio strutturale.
- Individuare la superficie media tra quella esterna, ottenuta dalla nuvola di punti, e quella interna, ricavata dal rilievo geometrico tradizionale, per far sì che questa possa essere rappresentata come *mesh* poligonali caratterizzate dall'attributo "spessore della parete".
- Per ottenere la superficie media del paramento murario è stato utilizzato il modello 3D dell'esterno derivato dalle scansioni laser mentre per l'interno si è creato un modello a *mesh* triangolari dal rilievo geometrico eseguito nel 2002. I due modelli sono poi stati importati in un unico file e con il programma Geomagic Studio è stata creata la superficie media.
- Tagliare la superficie all'altezza dei solai per inserire i carichi strutturali mantenendo l'allineamento, sia verticale che orizzontale dei vertici delle *mesh* poligonali sulle superfici contigue: una volta ottenuta la superficie media del fabbricato sono state calcolate le altezze di tutti i solai di piano e delle coperture per creare dei piani di taglio per suddividere il modello in fasce ed è stato sezionato il modello alle varie altezze mantenendo la corrispondenza verticale e orizzontale dei vertici delle *mesh* poligonali sulle superfici contigue.
- Individuare le diverse fasi di realizzazione, le modificazioni succedutesi nel tempo e le tipologie costruttive utilizzate ponendo particolare attenzione ad evidenziare le parti realizzate in aggiunta alla costruzione originaria, nuove aperture, spessori murari diversi, superfetazioni, connessioni con altri organismi edilizi. E' stato necessario individuare la presenza o meno di ammorsamenti in quanto: murature ben ammorsate sono state schematizzate come *mesh* contigue. Per ottenere infatti una continuità strutturale i vertici di queste *mesh* sono stati uniti tramite dei link, ossia vincoli lineari che non impongono un comportamento rigido al modello, simulando perfettamente il comportamento reale. Pareti non ammorsate sono invece state rappresentate con *mesh* separate fra loro. Per questo problema sono state di supporto le immagini termografiche orientate sulla nuvola (Caroti G. et al. 2011).

- Schematizzare la presenza delle partizioni orizzontali e dei collegamenti verticali non disponendo del rilievo *laser scanner* dell'interno dell'edificio e della copertura. Anziché inserire fisicamente i solai interpiano e di copertura, interpretandoli come elementi *shell*, sono stati ricavati i carichi trasmessi dagli stessi ai paramenti murari e sono stati applicati alle quote opportune. Per far questo è stato necessario effettuare dei tagli della superficie media in corrispondenza della quota di imposta di ogni solaio e della copertura e applicare a quel livello i rispettivi carichi.
- Allineare i vertici delle *mesh* contigue, sia di quelle verticali per gli spigoli del fabbricato, sia di quelle orizzontali in corrispondenza dei tagli effettuati per l'inserimenti dei carichi trasmessi dai solai ai paramenti murari. Per far sì che le *mesh* contigue fossero vincolate fra loro e quindi analizzabili, sono stati inseriti dei vincoli *link* rigidi. In caso contrario la presenza di vertici non allineati avrebbe causato la creazione di *link* inclinati che avrebbero variato in modo non quantificabile il comportamento e la risposta strutturale del modello. Sempre per non variare il comportamento del modello, rendendo troppo rigide le zone vincolate, non sono stati inseriti i "*bodies*", in quanto un vincolo *body* provoca un movimento simultaneo di tutti i nodi vincolati fra loro che si comportano quindi come un corpo rigido tridimensionale. Questo può portare ad un comportamento del modello troppo lontano dalla realtà.

Il risultato di questa procedura è stato un modello computabile con il programma di calcolo. Il modello, così creato, è stato esportato in formato **.dxf* per essere importato nel programma di calcolo strutturale Sap2000.

Modellazione e analisi strutturale

Il modello "*Low poly*", una volta esportato in dxf è stato importato nel programma Sap2000 v.14 per l'analisi strutturale, come modello a elementi *shell*. Tutti gli elementi generati come facce 3D in Autocad sono stati associati a elementi *shell* in Sap2000. Dopo aver impostato il materiale muratura sono state create quattro "sezioni area" diverse in base al numero dei differenti spessori della muratura, più in particolare: 30 cm (arancione); 40 cm (blu); 50 cm (magenta); 60 cm (verde) (figura 4 sinistra).

Per connettere le fasce orizzontali e verticali di spessore diverso sono stati utilizzati ancora dei *link* rigidi che uniscono i vertici degli *shell* contigui.

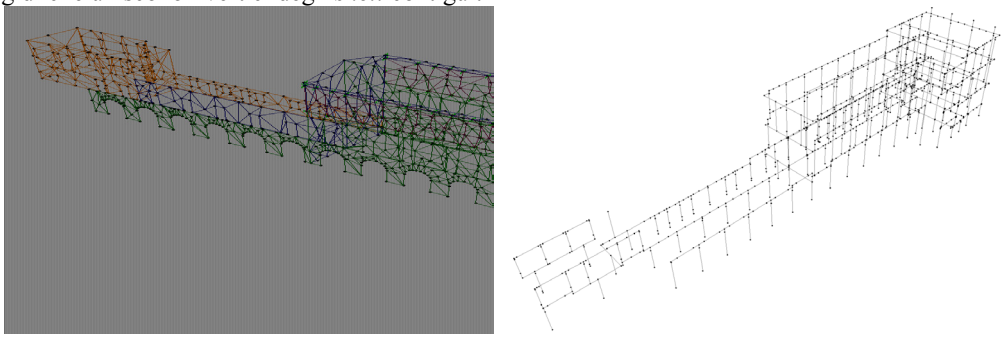


Figura 4. Modello a elementi shell (sinistra) e modello a telaio equivalente (destra).

Oltre al modello ottenuto da rilievo *laser scanner* è stato realizzato anche un modello semplificato a telaio equivalente dell'edificio (figura 4 destra). Lo scopo era quello di evidenziare le differenze fra una modellazione più particolareggiata e una *standard*.

Di entrambi i modelli è stata effettuata un'analisi dello spettro di risposta in linea con le normative vigenti, sia allo stato non fessurato che fessurato e valutando il diverso comportamento creando anche un modello nel quale sono stati inseriti al livello delle coperture dei diaframmi per simulare la presenza di una cordolatura che trasmettesse rigidità alla struttura (tabella 5).

Una volta analizzati i modelli separatamente con analisi dinamica lineare ed aver codificato ogni maschio murario con un univoco codice alfa numerico, sia nel modello a telaio equivalente che nel modello ad elementi *shell*, sono stati analizzati e confrontati i risultati del momento nel piano e fuori piano di ogni maschio murario nelle varie configurazioni per evidenziare sia la massima differenza sia le differenze percentuali che intercorrono tra una modellazione a elementi *shell* e una semplificata a telaio equivalente.

MODELLI			Modelli non fessurati							
Maschio	comb.	StepType	shell		telaio equivalente		Max differenza		differenza %	
			fuori piano	nel piano	fuori piano	nel piano	fuori piano	nel piano	fuori piano	nel piano
			[KN-m]	[KN-m]	[KN-m]	[KN-m]	[KN-m]	[KN-m]	%	%
M01	COMB1	Max	6,4914	1,17E-11	2,7058	11,1725	3,7856	11,1725	82	200
M01	COMB1	Min	6,4914	-1,2E-11	-2,706	-13,8544	3,7854	13,8544	82	200
M01	COMB2	Max	6,4914	1,84E-12	28,5191	0,7712	22,0277	0,7712	126	200
M01	COMB2	Min	6,4914	-1,8E-12	-28,5193	-3,4531	22,0279	3,4531	126	200
M02	COMB1	Max	-0,3261	10,4583	1,0999	14,7192	0,7738	4,2609	109	34
M02	COMB1	Min	-4,8605	-10,4588	-1,0652	-11,3171	3,7953	0,8583	128	8
M02	COMB2	Max	5,2706	1,8251	27,8617	3,932	22,5911	2,1069	136	73
M02	COMB2	Min	-10,4572	-1,8256	-27,8271	-0,5299	17,3699	1,2957	91	110
M03	COMB1	Max	-8,7753	19,346	1,8555	14,5748	6,9198	4,7712	130	28
M03	COMB1	Min	-12,1496	-19,349	-1,7883	-11,8768	10,3613	7,4722	149	48
M03	COMB2	Max	-2,7193	3,1751	26,1134	3,7426	23,3941	0,5675	162	16
M03	COMB2	Min	-18,2056	-3,1781	-26,0462	-1,0446	7,8406	2,1335	35	101
M04	COMB1	Max	-0,4258	14,6471	1,9752	15,1607	1,5494	0,5136	129	3
M04	COMB1	Min	-2,8701	-14,6464	-1,8149	-12,5373	1,0552	2,1091	45	16
M04	COMB2	Max	2,2251	2,3463	21,5783	3,9967	19,3532	1,6504	163	52
M04	COMB2	Min	-5,5211	-2,3457	-21,4179	-1,3734	15,8968	0,9723	118	52
M05	COMB1	Max	-1,1604	18,0132	1,8606	16,6461	0,7002	1,3671	46	8
M05	COMB1	Min	-3,6142	-18,0008	-1,4263	-13,5192	2,1879	4,4816	87	28
M05	COMB2	Max	1,6891	2,8472	14,3843	4,6959	12,6952	1,8487	158	49
M05	COMB2	Min	-6,4637	-2,8348	-13,95	-1,5691	7,4863	1,2657	73	57

MODELLI			Modelli fessurati							
Maschio	comb.	StepType	shell		telaio equivalente		Max differenza		differenza %	
			fuori piano	nel piano	fuori piano	nel piano	fuori piano	nel piano	fuori piano	nel piano
			[KN-m]	[KN-m]	[KN-m]	[KN-m]	[KN-m]	[KN-m]	%	%
M01	COMB1	Max	-1,6346	8,58E-12	2,457	10,6702	0,8224	10,6702	40	200
M01	COMB1	Min	-1,6346	-8,5E-12	-2,4559	-13,6742	0,8213	13,6742	40	200
M01	COMB2	Max	-1,6346	1,37E-12	0,6718	-1,4574	0,9628	1,4574	83	200
M01	COMB2	Min	-1,6346	-1,3E-12	-0,6707	-1,5465	0,9639	1,5465	84	200
M02	COMB1	Max	-0,6738	8,0986	0,9773	14,1828	0,3035	6,0842	37	55
M02	COMB1	Min	-4,5128	-8,0991	-0,9382	-11,1136	3,5746	3,0145	131	31
M02	COMB2	Max	5,2757	1,4835	0,6694	1,5816	4,6063	0,0981	155	6
M02	COMB2	Min	-10,4623	-1,484	-0,6302	1,4877	9,8321	0,0037	177	0
M03	COMB1	Max	-8,8416	13,9644	-1,8025	13,9505	7,0391	0,0139	132	0
M03	COMB1	Min	-12,0833	-13,9674	-1,7227	-11,6249	10,3606	2,3425	150	18
M03	COMB2	Max	-2,7133	2,3766	0,6488	1,2124	2,0645	1,1642	123	65
M03	COMB2	Min	-18,2116	-2,3796	-0,569	1,1132	17,6426	1,2664	188	73
M04	COMB1	Max	-0,6387	10,404	1,6812	14,407	1,0425	4,003	90	32
M04	COMB1	Min	-2,6572	-10,4033	-1,4868	-12,2056	1,1704	1,8023	56	16
M04	COMB2	Max	2,2237	1,7121	0,6035	1,1554	1,6202	0,5567	115	39
M04	COMB2	Min	-5,5196	-1,7114	-0,4091	1,0459	5,1105	0,6655	172	48
M05	COMB1	Max	-1,3225	12,5271	1,7843	15,6697	0,4618	3,1426	30	22
M05	COMB1	Min	-3,4521	-12,5147	-1,2728	-13,0892	2,1793	0,5745	92	4
M05	COMB2	Max	1,6889	2,018	0,5918	1,3535	1,0971	0,6645	96	39
M05	COMB2	Min	-6,4635	-2,0056	-0,0804	1,227	6,3831	0,7786	195	48

Tabella 5. Confronto dei momenti fuori piano e nel piano nelle configurazioni non fessurata (sinistra) e fessurata(destra).

Per ottenere una migliore sintesi dei risultati sono stati raccolti i dati relativi ad ogni prospetto del fabbricato principale dello Scoglio della Regina e una volta individuati i maschi murari, è stata applicata una scala cromatica che rappresenta la percentuale di differenza fra la modellazione a telaio equivalente e quella a *shell* nella configurazione fessurata e non fessurata del momento fuori piano e nel piano (figura 6).

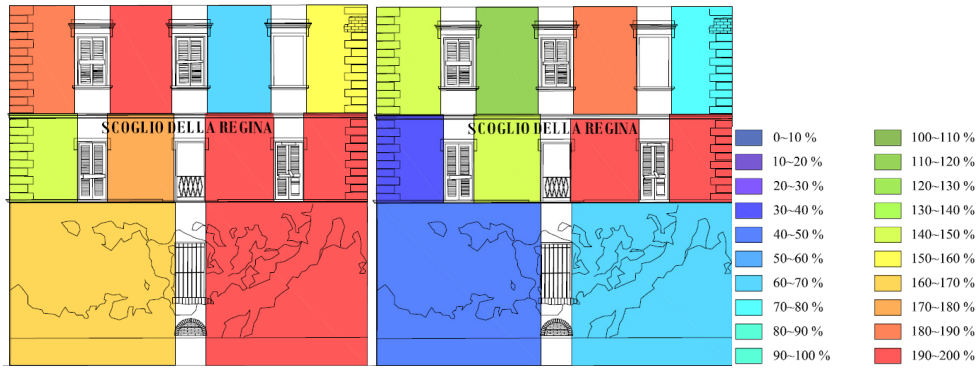


Figura 6. Percentuali di differenza, del momento fuori piano, fra la modellazione shell e quella a telaio equivalente nelle configurazioni fessurata (sinistra) e non fessurata (destra).

Conclusioni

L'esperienza condotta ha dimostrato l'efficacia del rilievo tridimensionale laser scanner quale strumento innovativo di aiuto all'analisi architettonica e termografica ed alla modellazione finalizzata all'analisi strutturale. Questo tipo di rilievo permette infatti sia di ottenere misure rigorose direttamente dalla nuvola di punti, per poi ricostruire il modello in programmi specifici, sia di trasformare la nuvola di punti stessa in una superficie poligonale da poter essere inserita in programmi di analisi strutturale.

Il SAP2000 è un software in commercio da molti anni ed è adottato ad oggi da molti tecnici. Per generare un modello a *shell* computabile da tale software, a partire dalla nuvola di punti, sono state necessarie numerose elaborazioni e modifiche del dato grezzo originario.
Inoltre, dal confronto degli spettri di risposta di un modello dettagliato ad elementi *shell* con quelli di uno semplificato a telaio equivalente sono emerse differenze anche rilevanti.
Considerando l'aspetto puramente geometrico si potrebbe supporre che il modello a *shell*, derivando da un modello a *mesh* preciso e dettagliato, dovrebbe rappresentare meglio la struttura e, quindi, il suo comportamento nelle simulazioni agli elementi finiti.
E' di interesse l'approfondimento di tali tematiche e l'utilizzo di altri software di calcolo strutturale per validare i risultati ottenuti.

Bibliografia:

- Bini M., (2011), Il paesaggio costruito della campagna Toscana, Alinea Editrice, Firenze
- Guidi G.; Russo M.; Beraldin J.,(2010),Acquisizione 3D e modellazione poligonale, McGraw-Hill Companies, Milano
- Camarda M., Guarnieri A., Milan N., Vettore A. (2010), "Health monitoring of complex structure using TLS and photogrammetry", Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium on Close Range Image Measurement Techniques, Volume XXXVIII, Newcastle upon Tyne, UK, p.125-130.
- Callieri M., Corsini M., Girardi M., Padovani C., Pagni A., Pasquinelli G., Scopigno R. (2010), "The Rognosa tower in San Gimignano: digital acquisition and structural analysis", Civil-Comp Press, 2010 Proceedings of the Tenth International Conference on Computational Structures Technology, B.H.V. Topping, J.M. Adam, F.J. Pallarés, R. Bru and M.L. Romero, (Editors), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland.
- Olsen M. l. J., ASCE M., Kuester F., Chang B. J., ASCE S.M., Hutchinson T. C., ASCE M. (2010), "Terrestrial Laser Scanning-based structural damage assessment", JOURNAL OF COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING © ASCE / MAY/JUNE 2010.
- Caroti G., Piemonte A., (2011) "Ottimizzazione della rappresentazione di immagini termografiche per la valutazione delle strutture tramite rilievi laser scanner", Proceedings 15° Conferenza Nazionale ASITA. PARMA, p. 617-622, ISBN: 978-88-903132-6-4.
- Castagnetti C., Bertacchini E., Capra A., Dubbini M., (2012), "Terrestrial Laser Scanning for Preserving Cultural Heritage: Analysis of Geometric Anomalies for Ancient Structures", FIG Working Week 2012, Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage, Rome, Italy, 6-10 May 2012.
- H. M. Lee, H. S. Park, (2011), Gage-Free Stress Estimation of a Beam-like Structure Based on Terrestrial Laser Scanning, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 26 (2011) 647–658.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Prof. Sassu e l'Ing. Andreini della Sede di Strutture del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa per il supporto dato nell'utilizzo dei software di calcolo strutturale. Si ringraziano, inoltre, Leica Geosystem ed in particolare Carlo Capraro ed Eurotec Pisa s.r.l. per il supporto nella fase dei rilievi e per la strumentazione gentilmente concessa per la sperimentazione.

Rilievi integrati della Basilica romanica di San Gavino a Porto Torres

G. Caroti, A. Piemonte, M. Bevilacqua

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

Riassunto
Il lavoro è inquadrato in una convenzione di ricerca in collaborazione fra il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa ed il Centro Studi Basilica di San Gavino.
Il Centro Studi nasce per la salvaguardia, lo studio e la promozione della Basilica in oggetto ed ha chiesto al Laboratorio A.S.T.R.O. dell'Università di Pisa di supportarlo nel produrre un rilievo completo tridimensionale della Basilica stessa. Tale rilievo, oltre a costituire il primo intervento di tale genere per completezza, precisione e dettaglio, avrà delle immediate ricadute negli studi che contemporaneamente sono stati avviati da altri gruppi di ricerca per l'analisi storica, stratigrafica e costruttiva di quella che è la più importante costruzione romanica della Sardegna.
Il rilievo è caratterizzato da un alto grado di integrazione fra diverse metodologie di rilievo: laser scanner, fotogrammetria tradizionale, rilievi topografici classici.
Particolare cura è stata posta nel realizzare un sistema di riferimento che fosse unico per tutti i rilievi e che potesse costituire la base per tutti gli interventi futuri.
Infine, è stata realizzata un'interfaccia web per la consultazione degli elaborati, che ne facilitasse l'accesso anche a terze parti non coinvolte direttamente nei rilievi e non necessariamente del settore del rilevamento.

Abstract
The work is framed in a collaborative research agreement between the Department of Civil Engineering, University of Pisa and the Centro Studi Basilica of San Gavino. The Centro Studi, established for the preservation, study and promotion of said Basilica, asked University of Pisa – ASTRO Laboratory for support in a complete three-dimensional survey of the Basilica itself, which in turn, in addition to being the first operation of this kind for completeness, accuracy and detail, will have immediate effects in studies, started at the same time by other research groups, for historical, stratigraphic and construction analysis of what is the most important Romanesque building in Sardinia. The Survey is characterized by a high degree of integration between different survey methods: laser scanning, traditional photogrammetry, standard surveying. Particular care has been taken in creating a single frame of reference for all measurements and that could be the basis for all future actions. Finally, a web interface has been designed for consultation of the works, which would facilitate access also to third parties not directly involved in surveying and not necessarily in the field of detection.

Introduzione
Il Centro Studi Basilica di San Gavino, a seguito dei recenti restauri condotti sulla Basilica, ha avviato un progetto integrato di studio, che coinvolge, oltre al Centro stesso, le Università di Pisa, Sassari e Siena. Dopo la conclusione di recenti restauri, il Centro Studi si è reso conto di quanto fosse limitativo, soprattutto nel caso dell'edificio romanico più importante e architettonicamente complesso della Sardegna, far riferimento ancora a rilievi eseguiti con sistemi tradizionali datati e di

quanto fosse sentita l'esigenza di un'analisi delle murature della Basilica secondo i moderni criteri d'indagine dell'Archeologia dell'Architettura. E' stato quindi indispensabile creare un modello tridimensionale dettagliato che costituisse lo scheletro geometrico su cui riferire tutti i dati ad oggi conosciuti della Basilica nonché i risultati delle nuove analisi che con questo progetto saranno eseguite. Inoltre, parallelamente ai fini prettamente scientifici, il Centro Studi si ripropone di sviluppare un software multimediale che consentirà una visita virtuale per fini turistici.
L'elaborazione del Sistema Informativo del monumento sarà curata dalla Facoltà di Architettura dell'Università di Sassari, con sede ad Alghero, per la quale è stato coinvolto il Laboratorio ProSIT, coordinato dal Prof. Maurizio Minchilli.
Al Laboratorio di Archeologia dell'Architettura e dell'Urbanistica Medievali dell'Università di Siena, diretto dalla Prof. Giovanna Bianchi, spetta il compito ricostruire le principali fasi edilizie e le modifiche subite dal S. Gavino nel corso dei secoli, sia nel cantiere romanico (XI sec.) sia negli interventi successivi.
Il Laboratorio A.S.T.R.O. della Sede di Topografia e Fotogrammetria del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa è stato, invece, protagonista delle prime fasi del progetto.
Analizzate, infatti, le necessità delle fasi di studio successive, il Laboratorio A.S.T.R.O., coordinato dalla Prof. Gabriella Caroti, ha progettato e realizzato il rilievo dell'intero complesso.
Tale rilievo è stato caratterizzato dall'integrazione di diverse metodologie sia tradizionali sia innovative. Il laser scanner ha fornito un'informazione geometrica per sua natura continua, completa e metricamente rigorosa dell'oggetto. La fotogrammetria digitale con immagini ad alta definizione offre un'ottima chiave di lettura per la comprensione del dato laser e lo integra con caratteri geometrici, cromatici e materici delle superfici rilevate metricamente corretti. Queste metodologie sono sempre più richieste per la descrizione e l'analisi di complessi architettonici nonché per il restauro, la progettazione e l'analisi storico-culturale.
Dovendo costituire un rilievo di riferimento duraturo nel tempo è stata prestata inoltre particolare attenzione alla materializzazione di un sistema di riferimento nel quale registrare tutte le informazioni rilevate e che potesse essere facilmente riproducibile nel futuro.
Infine, è stata realizzata un'interfaccia per la consultazione degli elaborati, che ne facilitasse l'accesso anche a terze parti non coinvolte direttamente nei rilievi e non necessariamente del settore del rilevamento (Figura 1).
Questa interfaccia è progettata per funzionare nel *browser Internet Explorer* ed ha un approccio simile alle applicazioni per *tablet*. La scelta del particolare *browser* ha permesso di sviluppare l'interfaccia per integrare al suo interno il visualizzatore gratuito della Leica Geosystems del rilievo tridimensionale effettuato: TrueView.

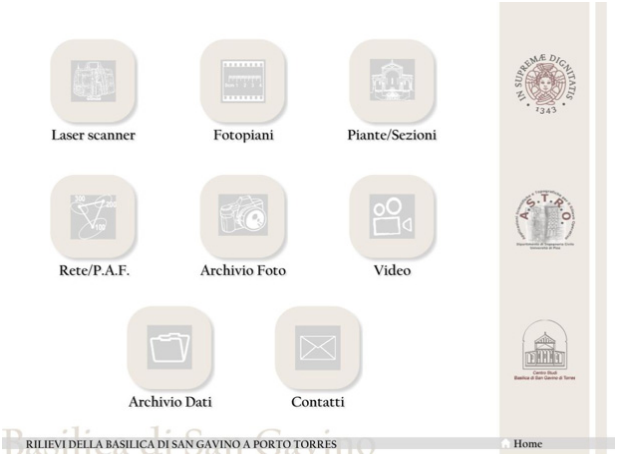


Figura 1. Interfaccia WEB per la consultazione dei rilievi.

Campagna di rilievo

I rilievi della Basilica sono stati realizzati dal 5 al 10 giugno 2011 da una squadra di otto persone che comprendeva, oltre al responsabile scientifico del Laboratorio, la Prof. Ing. Gabriella Caroti, ed il responsabile della sperimentazione, Ing. Andrea Piemonte, anche il Dott. Andrea Bedini, tecnico del Laboratorio, l'Ing Marco Bevilacqua, l'Arch. Sergio Di Tondo, la Dott. Ing. Azzurra Franconi ed i Sig. Fabio Santaniello ed Alessandro Ariel Terranova, collaboratori del Laboratorio.

Il gruppo, suddiviso in squadre, ha operato simultaneamente con le diverse metodologie necessarie al rilievo integrato: laser a scansione, fotogrammetria e topografia classica.

La strumentazione utilizzata nei rilievi è stata la seguente:

- Leica Scanstation C10
- Total station Leica TPS 1201+
- Total station Sokkia SET1 030 R3
- Fotocamera reflex Nikon D700 con ottiche fisse Nikkor AF da 20 e 85mm
- Fotocamera reflex Pentax con ottica Sigma da 70-300mm

Materializzazione del sistema di riferimento

Trattandosi di un rilievo integrato di più metodologie, articolato in molte giornate ed essendo l'oggetto da rilevare molto complesso per la presenza di vari livelli, è stato necessario realizzare una rete topografica di appoggio. Tale rete ha lo scopo di materializzare il sistema di riferimento rispetto al quale sono state definite le coordinate di tutti i punti ottenuti dalle diverse tecniche di rilievo.

La rete è articolata in una parte esterna, con punti distribuiti tutto attorno alla Basilica, una parte interna, relativa al piano terra con collegamenti alla rete esterna attraverso tre ingressi ed, infine, una parte che si dirama nei due livelli interrati della cripta (figura 2).

I punti della rete sono costituiti da punti notevoli già definiti o in alternativa da nuovi chiodi infissi a terra. Oltre al rilievo strumentale rigoroso si è proceduto anche ad una trilaterazione classica per l'individuazione speditiva dei capisaldi.

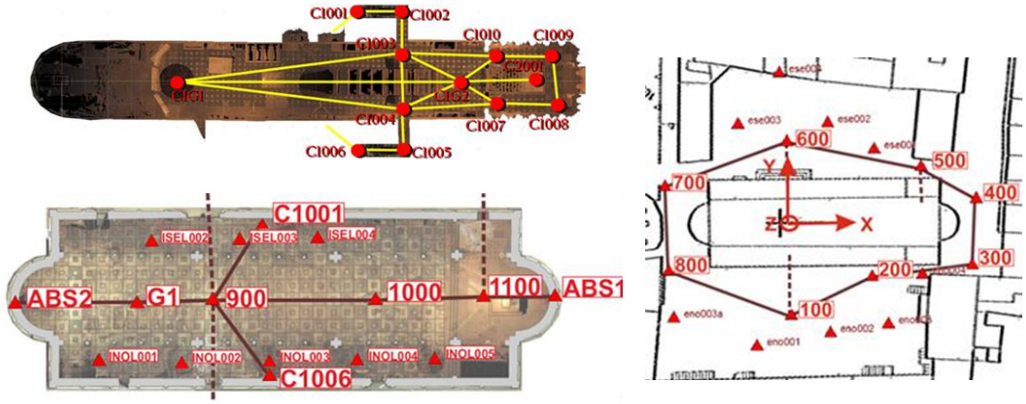


Figura 2. Rete topografica di appoggio.

Rilievo laser scanner

L'esterno, il piano terra interno ed i due piani interrati sono stati completamente rilevati tramite il laser scanner. Le 57 nuvole di punti risultanti (figura 3) sono state registrate tutte nel sistema di riferimento definito dalla rete topografica di appoggio e sono state colorate tramite le immagini scattate contestualmente al rilievo laser dalla fotocamera integrata nello strumento stesso. La registrazione è stata realizzata sia tenendo conto dei target a comune delle diverse scansioni, sia raffinando la registrazione così ottenuta tramite un procedimento di *cloud constrain*.

Una prima fruizione del rilievo può avvenire tramite il visualizzatore *Trueview*. Si tratta di un *plugin* di Internet Explorer, che apre un modello 3D colorato della vista delle singole scansioni. Tale modello è navigabile ed interrogabile per quanto riguarda coordinate, angoli e distanze dei punti che lo compongono.

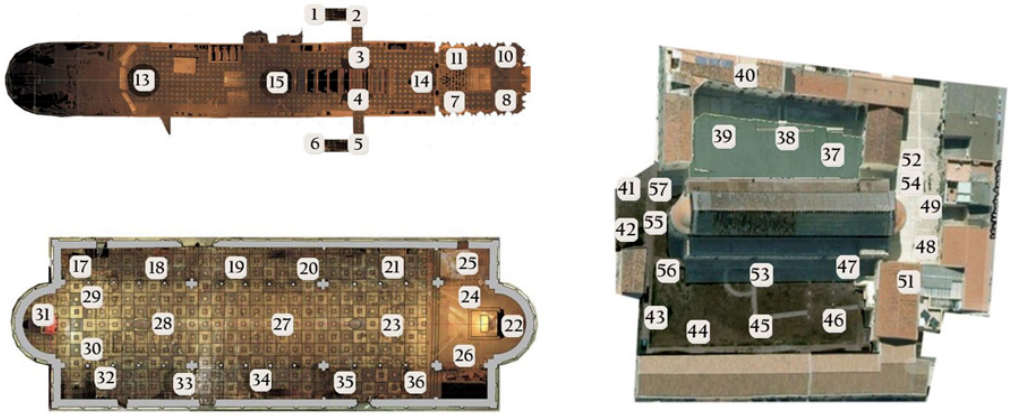


Figura 3. Disposizione delle 57 stazioni di scansione nella schermata di avvio del TrueView.

Rilievo fotogrammetrico

Parallelamente alla ripresa da parte della fotocamera integrata nel laser scanner delle immagini fotografiche di tutta la Basilica, è stata condotta una campagna di prese fotogrammetriche ad alta risoluzione sia delle facciate interne ed esterne, sia di diversi particolari di maggiore interesse (coperture, pavimentazione, architravi, fregi, ...). Una sezione dell'interfaccia web facilita l'utente nell'esplorazione dei fotogrammi scattati (figura 4).

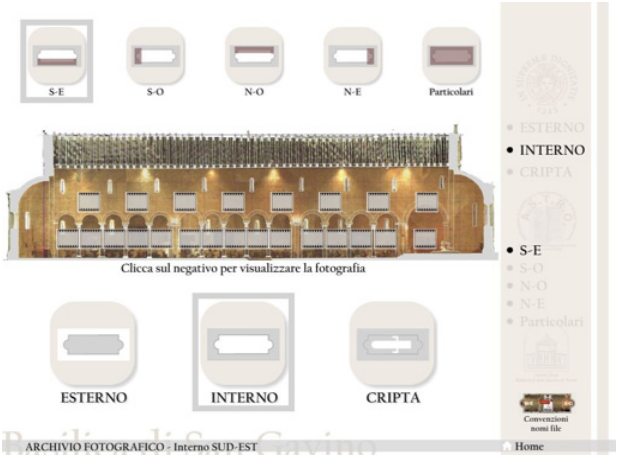


Figura 4. Interfaccia di consultazione dell'archivio fotografico.

Tali fotogrammi, assieme ai punti di appoggio fotogrammetrici rilevati, hanno permesso di ottenere i prospetti in scala 1:20 degli alzati interni ed esterni per fotomosaico di raddrizzamenti (figura 5).

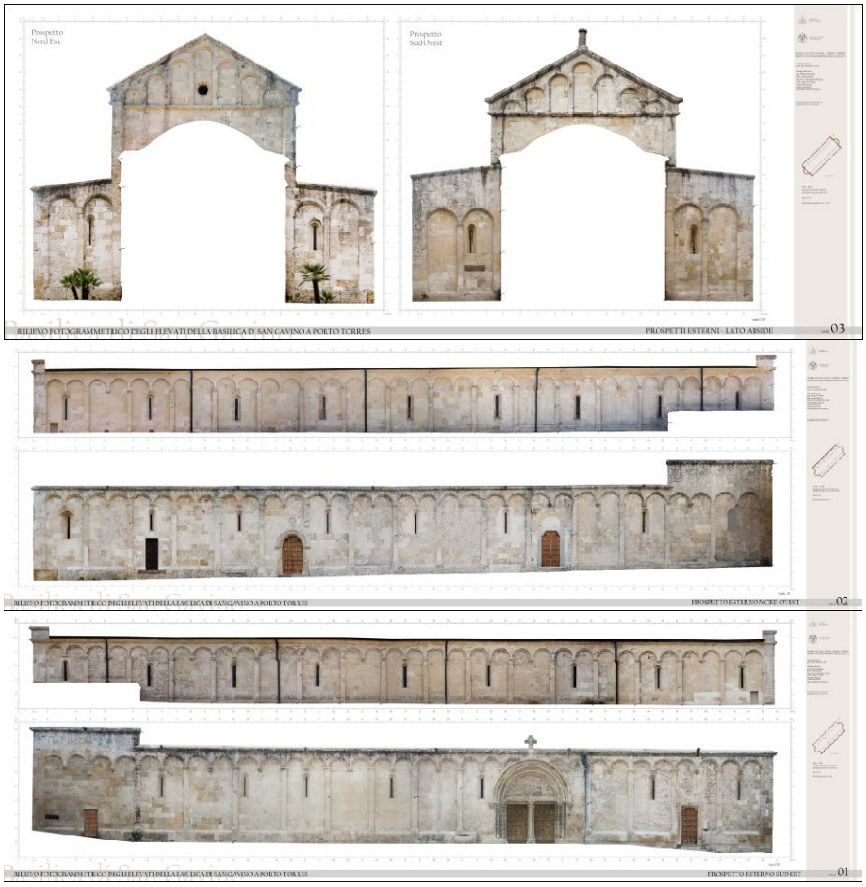


Figura 5. Tavole dei prospetti ottenuti da fotomosaico di raddrizzamenti.

Dalle informazioni metriche ricavabili dai dati laser scanner e dai fotomosaici dei raddrizzamenti, sono state vettorializzate le piante, i prospetti e le sezioni necessarie. Le tavole in scala 1:50 sono disponibili nella sezione "Piante/Sezioni" dell'interfaccia (figura 6).

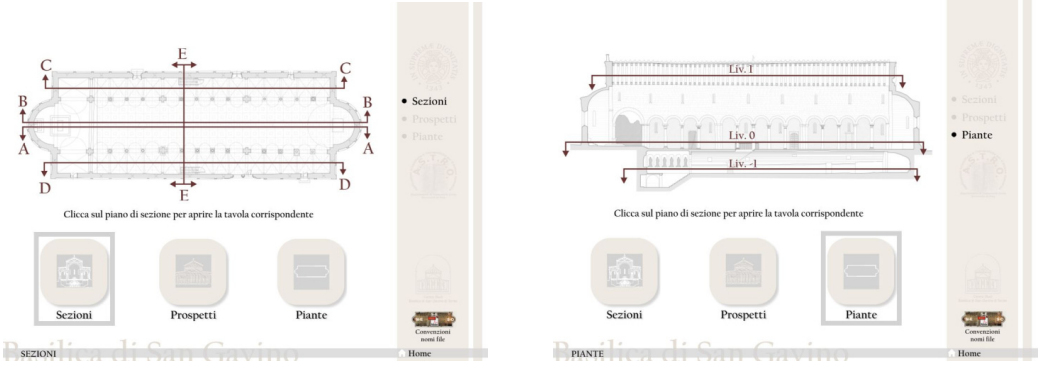


Figura 6. Interfaccia di consultazione di piante, sezioni e prospetti.

Modellazione 3D

Di alcuni elementi significativi sono state ottimizzate le nuvole di punti al fine di ottenere dei modelli tridimensionali a mesh renderizzati (figura 7). Tali modelli costituiscono un esempio di come il rilievo realizzato possa essere utilizzato, oltre che per finalità puramente scientifiche, per le quali il rigore metrico e la precisione delle misure originarie sono fondamentali, anche per applicazioni legate all'*Information Tecnology* e, quindi, per scopi di divulgazione su canali informatici e web a scopi turistici o d'archivio.







Figura 7. Modellazione 3D e rendering di alcuni elementi significativi.

Bibliografia:

- a cura di Associazione Culturale di Volontariato Giudicato di Torres, (2008) *La Basilica di San Gavino a Porto Torres – Teorie a confronto*, Atti del Convegno di Studi Porto Torres – 21 Dicembre 2008, Porto Torres.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti i componenti della squadra di rilievo ed in particolare l'Arch. Sergio Di Tondo. Si ringrazia la Leica Geosystems per la strumentazione concessa per la sperimentazione. Si ringrazia, infine, per l'ospitalità durante le fasi del rilievo il Centro Studi Basilica di San Gavino ed in particolare il Dott. Giuseppe Piras e Don Mario Tanca.

La condivisione in streaming via web di un sito archeologico rilevato con laser scanner

Lorenzo Cavallari (*), Tiziana Chiamone (**), Massimo Dierna (**), Cristian Mantelli (**), Roberto Paderni (**), Giorgio Paolo Maria Vassena (**)

(*) Gexcel srl, Via Branze 43, 25123 Brescia, lorenzo.cavallari@gexcel.it
(**) Università degli Studi di Brescia, Dip. di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente, Via Branze 43, 25123 Brescia, giorgio.vassena@ing.unibs.it

Riassunto
L'articolo descrive l'approccio al rilevamento, trattamento dati e diffusione dei risultati via internet di uno dei più importanti siti archeologici al mondo, il sito di Cafarnao, posto sul lago di Tiberiade in Terra Santa. In particolare vengono descritte le operazioni di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner, il successivo trattamento dati e l'innovativa diffusione del modello tridimensionale a nuvola di punti via rete.

Abstract
The paper describes the approach to the 3D survey of one of the most important archeological site in the world, the Cafarnaum village, situated on the Lake of Tiberiade in Holy Land. In particular the 3D survey using terrestrial laser scanner, the data treatment and the sharing of the point cloud via web are detailed.

1. Introduzione

Il sito archeologico di Cafarnao (vedi figura 1), sulle sponde del lago di Tiberiade in Terra Santa rappresenta uno dei più importanti siti archeologici dell'intero pianeta. All'intero di tale sito, infatti, i frati archeologi della Custodia di Terra Santa (in particolare padre Virgilio Corbo e Padre Stanislao Loffreda) hanno ritrovato quello che senza ombra di dubbio è l'antico abitato di Cafarnao dove Gesù fece base per la propria predicazione. In particolare, all'interno del sito, sono stati portati alla luce la casa di San Pietro che ospitò Gesù Cristo, con i successivi strati archeologici fino alla basilica a base ottagonale bizanitina, parte del villagio di Cafarnao e l'antica sinagoga (V secolo). Il sito, apparentemente abbandondato a causa di un sisma distruttivo, è ora visitabile e oggetto di culto da parte di numerosi pellegrini.
L'ordine dei Frati Minori (conosciuti come Francescani) della Custodia di Terra Santa, che dall'inizio del XIII secolo curano i siti sacri in "Terra Santa", hanno permesso ai ricercatori dell'Università degli Studi di Brescia, grazie ad un accordo quadro con l'azienda spin off dell'Università, Gexcel srl, di accedere al sito e di eseguire il successivo trattamento dati.
Oltre alle modalità di rilievo, complesse a causa del numero elevatissimo di scansioni tridimensionali con laser scanner effettuate, l'articolo descrive le modalità di trattamento dati ed infine, primo esempio al mondo, la distribuzione via web della nuvola di punti rilevata.
La figura 1 mostra i tre settori del sito archeologico che sono stati oggetti di rilievo. A sinistra la sinagoga; al centro una porzione dell'antico villaggio; a destra la casa di Pietro (ora sormontata dalla basilica costruita in epoca contemporanea avente anche funzione di protezione dello scavo medesimo).

1. La strumentazione impiegata

La strumentazione impiegata per il rilevamento è stata costituita da uno strumento FARO Focus^{3D}. Tale sensore effettua la misura analizzando la fase del segnale, ha una portata di misura della

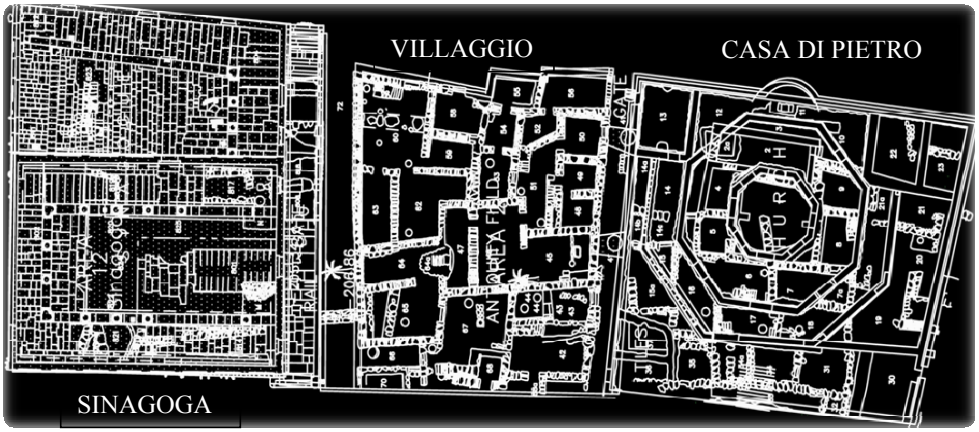


Figura 1. La pianta del sito archeologico di Cafarnao. A sinistra: la Sinagoga del V secolo; Al centro: parte del villaggio; A destra: la casa di San Pietro (pianta fornita dalla Custodia di Terra Santa).

distanza nominale compreso tra 60 cm e 120 metri, con un'accuratezza nella misura di distanza dell'ordine di ± 2mm a 25 metri e una risoluzione angolare pari a 0,009°. Il campo visivo verticale è pari a 305°, il campo visivo orizzontale è pari a 360° e la velocità di acquizione dei punti è pari a 976.000 punti/sec. Lo strumento è caratterizzato da una memoria interna per l'immagazzinamento del dato misurato; i parametri di scansione possono essere regolati tramite un display touch screen integrato nello strumento (non richiede dunque l'impiego di un computer portatile in campagna per l'impostazione delle attività di rilevamento). Il peso particolarmente contenuto, pari a 5 kg (inclusa la batteria interna), ne permette un agile impiego sul campo richiedendo per la messa in stazione un semplice treppiede fotografico (e non un ingombrante treppiede topografico).

Particolarme interessante di tale strumento è la presenza di una camera digitale coassiale al raggio di misura del laser, che permette di associare ad ogni punto tridimensionale misurato un valore di colore RGB. D'altro canto la risoluzione di 70 megapixel è elevata, ma la regolazione automatica della luminosità (unica per ogni scansione) può in certi casi non fornire una qualità dell'immagine ottima e dunque richiedere degli aggiustamenti tramite programmi di fotoritocco.

A riguardo della scelta della strumentazione si osserva che la leggerezza dello strumento rende estremamente agevoli le operazioni di scansione, coadiuvate dalla presenza di un compensatore interno in grado di misurare la direzione della verticale.

Il fatto che l'immagine acquisita dallo strumento risulti coassiale al raggio *laser* di misura, semplifica le operazioni di trattamento dati e di acquisizione, eliminando alla radice i problemi di coassialità tra raggio laser e immagine acquisita.

2. Progettazione ed esecuzione delle operazioni di rilevamento

L'obbiettivo del rilevamento era di realizzare un rilievo tridimensionale estremamente dettagliato dell'intero settore del sito archeologico mostrato in figura 1, con una densità di punti dell'ordine di un punto ogni 2-3 mm. L'estrema irregolarità del sito, in particolare delle murature a sasso che compongono sia la casa di San Pietro che il settore di villaggio antico posto tra quest'ultima e la sinagoga del V secolo, ha imposto un approccio che prevedesse un numero assai elevato di scansioni. In tal modo si è potuto essere certi di andare a mappare l'intera superficie delle murature

(vedi figura 2) e delle pavimentazioni. Tale progetto di rilievo prevedeva, e così è stato fatto, di operare con risoluzioni di scansione di valore medio, considerata la distanza tra strumento e superficie rilevata generamente dell'ordine di 2-3 metri al massimo. In ogni modo la risoluzione delle scansioni è stata mantenuta variabile, caso per caso, in modo da garantire una densità del rilievo dell'ordine già citato.



Figura 2.:Un'immagine che mostra l'estrema articolazione del sito archeologico.

Le operazioni di scansione e di pre-allineamento (eseguite contestualmente alla fase di acquisizione), hanno richiesto la permanenza sul campo di due operatori per 30 giorni complessivi. Dal punto di vista procedurale le scansioni venivano pianificate sia in funzione di una totale copertura del sito archeologico, ma tenendo in conto di mantenere una elevata sovrapposizione tra scansioni adiacenti sia l'orario di acquisizione (in modo che le acquisizioni fotografiche - effettuate dallo strumento successivamente alla scansione tridimensionale - non venissero effettuate in condizioni critiche di illuminazione).
Una volta conclusa la giornata di acquisizione sul campo, si provvedeva nelle ore serali o il giorno successivo al pre-allineamento tra scansioni, effettuato individuando 3 punti comuni tra scansioni adiacenti. Tale elaborazione è stata effettuata impiegando in primo luogo il programma FARO SCENE ed in cascata il software *JRC 3D Reconstructor®* sviluppato dall'azienda Gexcel, spin off dell'Università di Brescia e partner del progetto.

3. Trattamento dei dati rilevati

Il dato acquisito dal sensore laser scanner (composto dalla scansione tridimensionale e dalla sequenza di immagini digitali) è stato in primo luogo trasferito su una *work station*, dotata di processore a 64 bit e scheda grafica basata su processore NVIDIA GeForce. Per il primo trattamento dati, consistente nella verifica della qualità e in un primo filtraggio del dato, si è impiegato il *software* FARO SCENE fornito dal costruttore del *laser scanner* e dato contestualmente allo strumento di misura. Il passaggio successivo ha visto impiegare un'apposita APP di JRC 3D Reconstructor® che fa apparire una icona all'interno di FARO SCENE e che permette di trascinare con efficienza e rapidità nel software JRC 3D Reconstructor® le scansioni scaricate dal sensore Focus^{3D}.
L'impiego dell' "APP" di Gexcel in ambiente FARO SCENE, ha rappresentato il primo test della prima APP prodotta da un'azienda per FARO, seguendo la nuova filosofia di FARO che prevede

che il proprio software si colleghi a programmi esterni tramite un approccio ad applicativi in stile e filosofia di una *applet*. In particolare una volta conclusa l'intera unione e gestione delle scansioni (come illustarto in seguito), è stato possibile ripopolare con le scansioni l'archivio web-Share di FARO, impiegando come formato di interscambio dati il formato E57.

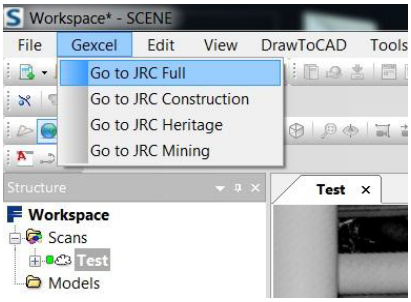


Figura 3. Come appare la App di JRC 3D Reconstructor® all'interno di FARO SCENE.

All'interno di JRC 3D Reconstructor® le scansioni sono state preallineate e in seguito unite impiegando l'algoritmo ICP presente nel software ottenendo i seguenti risultati per ognuno dei tre settori:

Settore rilevato	Scarto minimo	Scarto massimo	Scarto medio
Casa di S. Pietro	1,0 mm	2,2 mm	1,2 mm
Villaggio	0,9 mm	3,7 mm	2,5 mm
Sinagoga	1,0 mm	3,2 mm	1,7 mm

Tabella 1. I risultati dell'applicazione dell'algoritmo ICP tra scansioni adiacenti.

Al fine di verificare e migliorare la qualità dell'allineamento, si è testato il nuovo algoritmo di bundle adjustment applicato alle nuvole, presente in *JRC 3D Reconstructor®*. Tale algoritmo ha permesso di ben operare fino ad un limite di circa 20 scansioni in media risoluzione. Oltre tale numero di scansioni i tempi di calcolo si sono allungati in modo tale da rendere inapplicabile l'applicazione di tale algoritmo, per lo meno nella configurazione attuale di implementazione.
In totale sono state acquisite 289 scansioni e, al fine di ridurre le dimensioni della nuvola di punti si è in primo luogo realizzata, dopo l'allineamento, un'operazione di *editing* sulle nuvole strutturate, al fine di minimizzare le zone di sovrapposizione tra scansioni adiacenti. Per ciò che riguarda la qualità delle immagini si è operata una equalizzazione delle immagini impiegando programmi di *editing* grafico.



Figura 4. Il modello a nuvola di punti della sinagoga senza correzioni alle immagini.

Il modello a nuvola di punti che impiega il dato senza correzioni radiometriche (vedi figura 4) e stato notevolmente migliorato ottenendo il risultato di figura 5.
Le nuvole sono state dunque destrutturate, sottocampionate e trasferite nell'ambiente *gexcel R³®,* che permette la gestione di nuvole di punti senza limite di dimensioni (vedi figura 6). Questo processo ha permesso di creare un modello tridimensionale a nuvola di punti, gestibile su singolo computer, con fluidità e con una qualità della immagine incrementabile grazie alla funzione *Pull-Push*.
Tale funzione permette di gestire opportunamente le dimensioni dei punti colorati della nuvola di punti e la loro interazione, in modo da realizzare una visualizzazione che ha una qualità assai prossima a quella ottenibile realizzando una mesh e proiettando su tale superficie l'immagine fotografica in alta risoluzione (approccio classico realizzato in *JRC 3D Reconstructor®*).



Figura 5. Il modello a nuvola di punti della sinagoga dopo le correzioni alle immagini tramite programmi di editing digitale di immagini.

L'intero modello tridimensionale a nuvola di punti a conclusione della elaborazione è risultato composto da 600 milioni di punti colorati e gestiti dal software *gexcel R³®* in alta risoluzione.
All'intero del software è possibile tramite il modulo *gexcel R³ solid image®* estrarre ortofoto ad alta risoluzione (vedi figura 7) ma anche file in formato proprietario importabili in Autocad® 12. Grazie ad un *plug in* sviluppato da Gexcel, tale ortofoto (immagine solida) importata in Autocad® associa ad ogni pixel dell'immagine il contenuto geometrico tridimensionale.

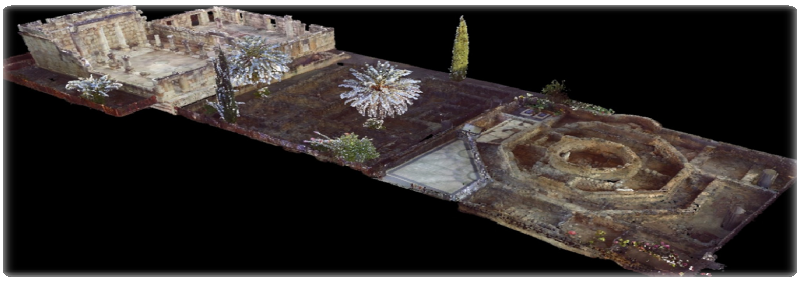


Figura 6. Immagine dell'intero modello tridimensionale del sito archeologico.

E' dunque possibile operare su un file bidimensionale, caratterizzato però da informazioni tridimensionali. L'estrazione di quote, profili, sezioni diventa dunque assai semplice e intuitiva, non richiedendo all'operatore CAD elevate capacità di lavoro in CAD tridimensionale e aprendo l'utilizzo di tale soluzioni anche a utenti non specializzati nel disegno CAD.



Figura 7. L'ortofoto in alta risoluzione 8000 pixel x 8000 pixel della casa di Pietro.

Importante sottolineare che l'estrazione dell'ortofoto può avvenire alla risoluzione desiderata, oltre il vincolo della risoluzione gestibile dalla scheda grafica. Infatti, l'estrazione dell'ortofoto viene gestita all'interno di *gexcel* R^{3}® tramite la realizzazione di *tiles* che segmentano l'immagine nella fase di generazione e la riallineamento in fase finale.

4. L'inserimento di elementi con colorazione da immagine digitale in alta risoluzione

A conclusione dell'intero processo, si è osservato che la qualità generale del rilievo di uno dei prospetti della sinagoga non presentava le caratteristiche di qualità finale desiderata. In particolare la tessitura di colore risultava poco uniforme e di qualità non soddisfacente. Si è deciso, dunque, di incrementare tale qualità sostituendo il colore originario della camera digitale del Focus con l'informazione proveniente da una camera digitale esterna.

Il processo ha visto operare inizialmente in *JRC 3D Reconstructor*® , dove per il prospetto di figura 8 si è provveduto ad estrarre una superficie a *mesh*.

Le immagini fotografiche in alta risoluzione sono state dunque calibrate e mappate sulla superficie a mesh, tramite l'idenficazione di 11 punti omologhi tra immagine e modello tridimensionale (vedi figura 9). Conclusa la fase di mappatura e calibrazione delle immagini ad alta risoluzione si è estratta una nuvola di punti virtuale (tramite lo strumento *Virtual Scan*), uniforme e con il colore delle immagini fotografiche in alta risoluzione.



Figura 8: Prospetto della sinagoga a conclusione della prima fase di elaborazione.

Portata nel modello generale a nuvola di punti, tale settore si è integrato perfettamente, fornendo il risultato di figura 10.

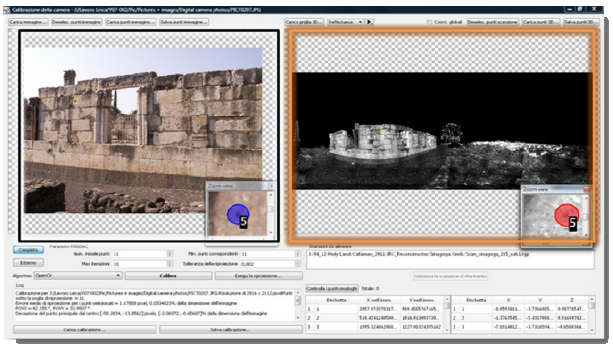


Figura 9. Fase del processo di calibrazione e allineamento dell'immagine da fotocamera esterna con il modello tridimensionale in ambiente JRC 3D Reconstructor®.



Figura 10. Prospetto della sinagoga a conclusione della fase di mappatura delle prese acquisite con camera fotografica indipendente dallo strumento.

5. Messa in rete del modello

Infine, a conclusione dell'intero studio, si è proceduto a porre il modello digitale a nuvola di punti in rete. Impiegando l'approccio *Cloud* sviluppato da Gexcel, installando il modello tridimensionale in un *server*. Scaricando un applicativo/visualizzatore, è stato possibile visualizzare l'intero modello, interrogarlo dimensionalmente e scaricare porzioni dello stesso in remoto, tramite semplice connessione internet. Tale test rappresenta uno dei primi esempi di condivisione via web di grandi modelli a nuvole di punti. La visualizzazione non viene effettuata scansione per scansione, ma è l'intero modello a venire visualizzato e condiviso.
Utenti ed esperti possono condividere e visualizzare il modello, e scaricare sul proprio client solo le porzioni del modello che risultano di interesse e dunque provvedere alle successive elaborazioni presso la propria sede.

6. Conclusioni

Il rilevamento di Cafarnao ha mostrato come le moderne tecnologie di rilievo tramite *laser scanner*, grazie alla strumentazione e ai prodotti *software* innovativi, sono attualmente sostenibili e permettono di fornire rapidamente prodotti utilizzabili dai fruitori finali (archeologi, architetti, conservatori). In particolare:
- poter estrarre ortofoto dal modello a nuvola di punti e poter gestire tali immagini all'interno di programmi CAD, mantenendo l'informazione della quotatura di ogni pixel, permette di rendere facilmente fruibile il rilievo tridimensionale anche a utenti non esperti e dunque di valorizzare definitivamente il contenuto 3D dei rilievi *laser scanner*;

- la condivisione via rete del modello tridimensionale, rende finalmente anche il modello 3D visualizzabile e interrogabile dai committenti del lavoro e non solo dall'esperto rilevatore. Fino ad ora, infatti, il rilievo tridimensionale a nuvola di punti rimaneva a disposizione solo dei tecnici topografi. Il dato RAW del rilievo *laser scanner* andava solitamente perso o dimenticato in HD impiegati unicamente nella consegna ufficiale dei lavori. Ora, invece, anche il cliente può visualizzare, interrogare, condividere il dato tridimensionale che viene visualizzato e immagazzinato in modo semplice.

Ringraziamenti
Si ringrazia in primo luogo la Custodia di Terra Santa e in particolare i frati "custodi" del sito di Cafarnao, e tutto il personale della Custodia che ci ha permesso di accedere ai siti descritti. Un ringraziamento all'ATS (Associazione Terra Santa) ed in particolare al dott. Tommaso Saltini, che ha supportato economicamente le spese di permanenza e di viaggio. Un ringraziamento particolare all'ing. Ettore Soranzo (responsabile dell'ufficio tecnico della Custodia di Terra Santa) e alla signora Doni Ferrari (responsabile per la Custodia di Terra Santa dell'attuazione della convenzione quadro tra Custodia e Gexcel srl), per l'infaticabile supporto alle attività dei ricercatori e alle loro innumerevoli esigenze.
Si ringrazia, inoltre, l'azienda FARO, che ha messo a disposizione gratuitamente lo strumento Focus^{3D} per l'intero periodo di rilievo.
Si ringrazia, infine, Gexcel srl per avere fornito gratuitamente il *software* di elaborazione dati e avere formato il personale dell'Università degli Studi di Brescia all'uso degli applicativi software JRC 3D Recostructor e gexcel R^3.

Bibliografia
Sgrenzaroli M. (2005), "Cultural Heritage 3D Reconstruction Using High Resolution Laser Scanner: New Frontiers Data Processing", *CIPA 2005 XX International Symposium*, Torino, Italy, 26 September – 01 October, 2005.
Vassena G. (in corso di stampa), "Heritage e governance territoriale: esperienze di rilievo 3D nei processi di tutela e valorizzazione dei beni culturali" in Atti del Convegno Annuale dell'Associazione Italiana di Cartografia *La Cartografia nella valorizzazione dei beni naturali e culturali*, Archivio Antico Palazzo del Bò, Padova, 10-11 maggio 2012.
Vassena G., Sgrenzaroli M. (2007), "Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner", *Starrylink Editrice*, Brescia, ISBN: 978-88-89720-73-8 - 2007.

Sitografia
www.gexcel.it

Nota ai lettori
I lettori che desiderassero fare esperienza diretta della visualizzazione in remoto dell'intero modello di Cafarnao sono pregati di contattare direttamente gli autori del presente articolo.

Il posizionamento dei sottoservizi con GPR: un approccio fotogrammetrico per il calcolo della traiettoria

Noemi E. Cazzaniga (*), Diana Pagliari (*), Livio Pinto (*), Riccardo Roncella(**)

(*) Diiar, Politecnico di Milano, P.zza L. da Vinci 32, 20133 Milano, Tel. 0223996543,
e-mail noemi.cazzaniga@polimi.it; diana.pagliari@mail.polimi.it; livio.pinto@polimi.it
(**) DIC, Università degli Studi di Parma, Viale delle Scienze, 43100 Parma,
Tel. 0521905934; e-mail: riccardo.roncella@unipr.it

Riassunto
Un metodo frequentemente impiegato per indagare il sottosuolo nei primi metri è il Ground Penetrating Radar (GPR). Per rilievi di grande estensione, esso viene montato su un carrello trainato da veicolo, che si muove con una velocità non superiore ai 15-20 km/h; la georeferenziazione avviene tramite GPS. Spesso in ambito urbano tale procedura è ostacolata dai frequenti cycle slip o perdite del segnale da parte della strumentazione GPS. Gli autori propongono un metodo di posizionamento, valevole in tale ambito, basato su un approccio di tipo fotogrammetrico: per ricostruire la traiettoria del veicolo si determinano le posizioni dei centri di presa delle fotocamere che inquadrano scene aventi geometria nota, deducibile dalla cartografia a grande scala. All'interno del presente lavoro sono presentati i risultati di alcuni test svolti con lo scopo di verificare la fattibilità e le precisioni raggiungibili. Le precisioni raggiunte sono in linea con quelle necessarie al GPR, vale a dire 20-30 cm nelle tre coordinate spaziali.

Abstract
Ground Penetrating Radar (GPR) is the method normally used to investigate the subsurface. It is usually mounted on a carriage driven by the vehicle, which moves with a speed of about 15-20 km/h, the geo-referencing takes place with GPS equipment. The authors propose a positioning method, valid in urban areas, based on a photogrammetric approach. To reconstruct the trajectory of the vehicle it is important to determine the positions of the camera projection centres with known geometry, deducible from large scale maps. This work presents the results of some tests with the aim to verify the attainable feasibility and accuracy The accuracies reached are in line with those of the GPR, ie 20-30 cm in the three spatial coordinates.

Introduzione

Il metodo proposto per il posizionamento in ambito urbano richiede l'impiego di una o più fotocamere che inquadrano le facciate degli edifici, e di una antenna GPS da installare sul veicolo al quale è rigidamente vincolata l'antenna georadar. Per georeferenziare il blocco fotogrammetrico acquisito in fase di rilievo è necessario conoscere l'orientamento interno ed esterno delle fotocamere. L'orientamento interno può essere considerato costante durante la fase di rilievo e viene determinato attraverso una calibrazione analitica a nuvola di punti utilizzando il software commerciale PhotoModeler®. L'orientamento esterno cambia durante il movimento del veicolo e può essere ricostruito con una procedura di bundle-adjustment, utilizzando punti di legame e vincolando il blocco con punti d'appoggio (Ground Control Point – GCP) estratti dalla cartografia a grande scala. I punti di legame sono estratti automaticamente utilizzando delle tecniche robuste di S&M (*Structure and Motion*).
La posizione dell'antenna georadar è determinabile poiché il sistema di navigazione (camere e GPS) e il GPR sono rigidamente vincolati al veicolo. La posizione del centro di fase dell'antenna

GPS e la rototraslazione tra il sistema di riferimento camera e quello del veicolo può essere determinato durante la fase di calibrazione del sistema (figura 1).

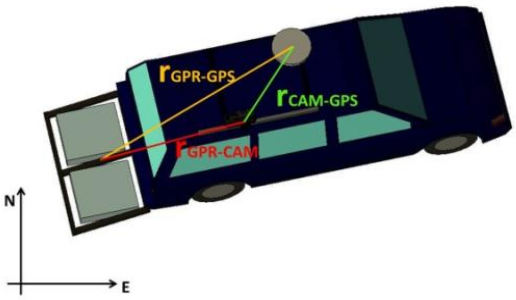


Figura 1. Vettori di calibrazione tra gli strumenti.

In un precedente lavoro (Barzaghi et al., 2009) sono state dimostrate le potenzialità del metodo proposto con una serie di simulazioni svolte nella città di Milano; in quel caso si era supposto di equipaggiare il veicolo con un GPS e due camere che riprendono i due lati della strada. Era stato considerato anche il caso in cui solo una camera riprendeva un lato della strada. I punti di legame erano stati localizzati lungo una griglia regolare, con passo 4 metri, sulle facciate degli edifici.

Estrazione automatica dei punti omologhi

Con lo scopo di velocizzare l'orientamento esterno del blocco fotogrammetrico è fondamentale automatizzare la fase di estrazione dei punti omologhi: essi possono essere facilmente individuati su un elevato numero di immagini utilizzando tecniche di S&M, poiché l'ambiente urbano offre un elevato numero di dettagli che rendono facile, per operatori di interesse, individuare delle *features* caratteristiche. Il software utilizzato durante i test di seguito illustrati è EyeDEA, sviluppato presso l'Università degli Studi di Parma (Roncella et al., 2011a; Roncella et al., 2011b). Al suo interno sono implementati l'operatore e il descrittore SURF (Bay et al., 2008).

Poiché gli operatori di interesse individuano, in genere, un elevato numero di punti di interesse, caratterizzati però anche da un elevato numero di corrispondenze errate, all'interno del software EyeDEA sono state implementate delle tecniche robuste per la reiezione degli errori grossolani sia di tipo geometrico (con l'imposizione dei vincoli epipolare e trifocale) che utilizzando un sistema di stima robusto (il paradigma RANSAC, molto utile poiché permette di trattare set di dati che contengono una elevata percentuale di errori grossolani).

Si immagina che le sequenze acquisite in condizioni operative siano molto lunghe ed è quindi fondamentale ottimizzare la distribuzione dei punti omologhi, riducendo la mole di dati e il tempo computazionale, garantendo però, al tempo stesso, il raggiungimento dei medesimi livelli di precisione. L'ottimizzazione dei punti omologhi è stata realizzata tramite l'utilizzo di una funzione scritta in Matlab®. La decimazione dei punti di legame viene svolta cercando di mantenere una buona distribuzione spaziale degli stessi, preservandone però anche la molteplicità.

Sulla base di una serie di test preliminari è poi emerso come per assicurare una distribuzione omogenea dei *tie points* sui fotogrammi sia necessario pre-processare le immagini con il filtro di Wallis (Wallis, 1976). Tale filtro esalta i contrasti locali preservando allo stesso tempo i dettagli degli oggetti: in questo modo si è potuto estrarre punti anche laddove la *texture* non risultava essere così evidente.

Estrazione automatica dei punti di appoggio dalla cartografia

Per georeferenziare la strisciata fotogrammetrica e per ridurre la deriva della soluzione possono essere estratte da una mappa a grande scala della zona del rilievo le coordinate di alcuni GCPs.

Questi punti, quali ad esempio spigoli di edifici, muretti ecc.., sono solo potenzialmente visibili sui fotogrammi acquisiti a causa della possibile presenza di ostacoli, come ad esempio auto in sosta, alberi o fioriere.
Per evitare errori grossolani connessi con l'estrazione manuale dei punti di appoggio e per velocizzare questa fase è stata implementata una procedura automatizzata. Essa prevede l'utilizzo di uno script appositamente realizzato con ArcGIS Desktop Model Builder® per l'estrazione delle coordinate planimetriche di tutti i vertici delle polilinee che compongono i poligoni degli edifici e uno script Matlab® che permette di individuare quali di questi vertici siano effettivamente degli spigoli di edifici. Questa funzione verifica che l'angolo formato da due vertici (definiti da tre punti consecutivi) sia inferiore ad un certo valore di soglia: in questo caso il punto viene riconosciuto come uno spigolo di edificio. Per quanto riguarda la quota del GCP essa viene definita considerando l'altimetria del più vicino punto quotato.

Configurazione degli strumenti
Le fotocamere utilizzate per tutti i test presentati di seguito sono due Nikon D70s SLR, con obiettivo con focale fissa da 20 mm. Il formato della camera è rettangolare, composto da 3008x2000 pixel. La dimensione del pixel è pari a circa 7.1 μm.
Per poter definire al meglio la configurazione ideale delle fotocamere si è deciso di svolgere una serie di simulazioni compensando i blocchi fotogrammetrici con il software scientifico Calge (Forlani, 1986). Sono state considerate configurazioni con camere in assetto leggermente convergente o nadirale, con ricoprimenti del 60 e del 75%. A tal fine si è ipotizzato di conoscere la posizione di 48 punti, distribuiti regolarmente su 3 righe alle altezze di 1, 5 e 9 metri da terra. In particolare sono state considerate quattro diverse configurazioni. Nel primo caso si sono ipotizzate 3 acquisizioni della coppia di fotocamere con assetto convergente, poste ad una distanza di circa 15 metri dall'edificio. Nel secondo caso sono state inserite nuove acquisizioni interposte tra quelle precedenti simulando in questo modo una maggior frequenza di scatto. Nel terzo e nel quarto caso sono state considerate delle prese con camere in assetto nadirale. Dai nostri test è emerso come la geometria preferibile sia le seconda: acquisizioni frequenti (distanza di 5 metri tra due coppie di acquisizioni consecutive) con assetto convergente delle camere. Le precisioni raggiungibili nella determinazione dei centri di presa non presentano sostanziali differenze, tuttavia l'impiego di due camere convergenti permette di garantire un ricoprimento molto elevato (ciascun punto viene osservato su 4 immagini) con scatti meno frequenti.

Calibrazione geometrica degli strumenti
Il metodo proposto richiede l'installazione di tutta la strumentazione utilizzata sul medesimo veicolo. Per integrare tra loro le diverse soluzioni ottenute con i diversi strumenti di navigazione utilizzati è necessario calcolare le loro posizioni relative: a tale scopo durante una fase di calibrazione (nella quale si scatta una serie di foto di un poligono di coordinate note acquisendo contemporaneamente le coordinate GPS dei punti di stazione) viene determinato il vettore nello spazio che collega ogni camera con il centro di fase dell'antenna GPS. Il poligono di calibrazione deve essere caratterizzato da una geometria stabile, ricco di particolari e facilmente accessibile con il veicolo. Nel nostro caso si è scelto di utilizzare come poligono di calibrazione la facciata del Rettorato del Politecnico di Milano, sul quale sono stati individuati sei punti di appoggio, le cui coordinate sono state determinate con una rete topografica classica.
Per calibrare il sistema sono quindi state acquisite una serie di foto del poligono di calibrazione con il veicolo, sul quale era già stata installata tutta la strumentazione da utilizzarsi in fase di rilievo, contemporaneamente alle coordinate GPS dei punti di stazione. Sono quindi stati collimati una serie di punti di legame, utilizzando i sei punti di controllo e risolvendo il problema fotogrammetrico con una procedura di bundle-adjustment.

Test preliminari
Con lo scopo di valutare le precisioni ottenibili con il metodo proposto si è deciso di realizzare una serie di test preliminari (Cazzaniga, N.E., Pinto L., 2010).
Il primo test è stato eseguito senza il veicolo e con la fotocamera installata su un apposito treppiede fotografico, traslata manualmente lungo un percorso simile a quello che si prevede di effettuare durante le fasi operative con il GPR. I centri di presa sono stati determinati con una precisione di circa 10 centimetri, in linea con le tolleranze imposte per la georeferenziazione del georadar.
Un secondo test è stato invece svolto con un veicolo equipaggiato con una sola fotocamera (controllata da remoto via PC e fissata alla barra portapacchi del veicolo in modo da essere il più possibile parallela alle facciate degli edifici) e una antenna GPS. Esso è stato svolto in modalità *stop&go*, fermando il veicolo ogni volta che veniva acquisito un fotogramma, evitando quindi di introdurre errori legati ad una non perfetta sincronizzazione degli strumenti. Per stimare le precisioni raggiungibili si sono valutati i residui tra le posizioni dei centri di presa delle camere e il dato GPS: anche in questo caso le precisioni ottenute sono state nell'ordine dei 10 centimetri.

Test cinematico
Come test finale si è deciso di svolgere un rilievo di tipo cinematico, in modo da ricreare al meglio le condizioni operative. Il veicolo è stato equipaggiato con due camere leggermente convergenti tra loro, fissate ad una barra metallica a sua volta fissata alla barra portapacchi del veicolo, e da 2 antenne GPS (figura 2).
I dati ricevuti dalla seconda antenna GPS non sono stati utilizzati nella soluzione qui presentata, ma si prevede di integrarli all'interno della soluzione fotogrammetrica.



Figura 2. Il veicolo utilizzato per il rilievo cinematico equipaggiato con la strumentazione utilizzata.

Le due camere sono state controllate da remoto via PC il quale ha gestito il loro scatto che è risultato essere praticamente sincrono (con differenze nell'ordine di qualche millisecondo). Per ognuna delle camere il tempo di scatto è stato registrato all'interno di un file ASCII. La sincronizzazione tra il tempo GPS e le due camere è stata realizzata via software: il tempo PC e il tempo GPS sono stati entrambi registrati e la trasformazione tra le due scale temporali è stata stimata con una interpolazione ai minimi quadrati.
Il rilievo è stato realizzato in via Camillo Golgi a Milano, per una lunghezza totale di 350 metri. Il software EyeDEA è stato in grado di estrarre 308.658 punti immagine; essi sono stati poi filtrati, in accordo con le modalità precedentemente esposte. Sono stati quindi ridotti a 28.485 punti immagini, corrispondenti a 7822 punti oggetto. I punti estratti variavano in funzione della *texture* della facciata dell'edificio ripreso nel fotogramma e dalla presenza di alcuni ostacoli. Ad esempio nell'immagine mostrata in figura 3, a causa della presenza di ostacoli in primo piano (auto in sosta) e di un'ampia zona alberata e di cielo, i punti estratti sono localizzati solo sull'edificio posto in secondo piano. Si sottolinea come si sia scelto di eliminare i punti estratti in corrispondenza delle fronde degli alberi poiché si ritiene che, tra un fotogramma e il successivo, potrebbero essersi spostate a causa del vento. I punti omologhi utilizzati durante la fase di compensazione del blocco non risultano quindi

ben distribuiti sulla superficie del fotogramma: ciò rappresenta un punto di debolezza della rigidità del blocco di immagini, in particolare per la determinazione degli angoli di assetto.



Figura 3. Esempio di problema nell'estrazione automatica dei punti omologhi.

Il problema della localizzazione e del corretto riconoscimento dei punti di interesse estratti può essere approfondito utilizzando altri operatori d'interesse o differenti algoritmi di abbinamento dei punti estratti: rispetto all'operatore di SURF il vantaggio di operatori, come ad esempio quello di Harris, che individua punti di interesse in corrispondenza di spigoli, è che possono permettere una più facile individuazione e un più semplice controllo dei punti estratti. Tuttavia, soprattutto nel caso in cui nella scena siano presenti elementi ripetuti (figura 3), è importante affiancare l'operatore di interesse ad un comparatore dei punti estratti che non si basi, come nel caso dei descrittori di SURF, esclusivamente su caratteristiche radiometriche ma anche su condizioni di tipo geometrico (Roncella, 2006).
Il blocco fotogrammetrico (figura 4) è stato georeferenziato utilizzando 11 punti di controllo estratti dalla mappa della città di Milano (scala 1:1000, precisione planimetrica 20 cm e precisione altimetrica 30 cm), localizzati in corrispondenza di muretti e spigoli di edifici. Le immagini sono state acquisite con un intervallo di scatto di un secondo, per un totale di 392 fotogrammi: quelle effettivamente processate sono state 220 poiché si è deciso di sottocampionarle (mantenendo comunque un elevato ricoprimento) in corrispondenza di zone nelle quali la *texture* era particolarmente favorevole e di utilizzarle tutte solo in presenza di elementi critici, come ad esempio in corrispondenza degli incroci.
I centri di presa sono stati stimati con un RMS(SQM) inferiore ai 10 centimetri in tutte e tre le direzioni, come riportato nella Tabella 1:

Coordinate	RMS(SQM) (m)
N	0.084
E	0.093
H	0.096

Tabella 1. RMS(SQM) delle coordinate dei centri di presa.

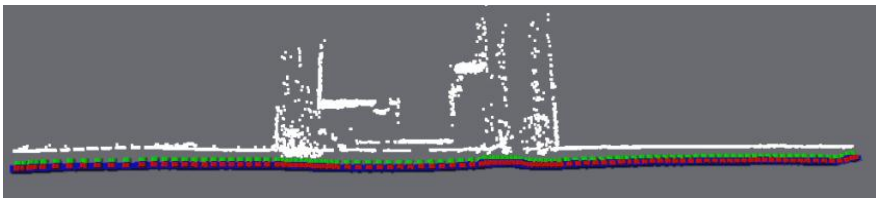


Figura 4. Il blocco fotogrammetrico acquisito durante il rilievo cinematico.

La calibrazione degli strumenti posti sul veicolo è stata realizzata al termine del test cinematico, secondo la modalità precedentemente descritta. Le posizioni GPS sono state associate alle coordinate delle immagini fornite dalla compensazione del blocco fotogrammetrico: in questo modo è stato possibile determinare i vettori di calibrazione che collegano i centri di presa delle due camere e il centro di fase dell'antenna GPS (nel sistema di riferimento camera). Entrambi i vettori sono stati determinati con una precisione di circa 4 cm.
La soluzione fotogrammetrica è stata quindi confrontata con quella ottenuta interpolando le posizioni GPS ai tempi di scatto con una *spline* cubica nel baricentro dei due centri di presa. I residui tra le due soluzioni sono dell'ordine dei 20 cm: riteniamo che ciò sia legato alla scarsa precisione nella definizione dell'assetto del veicolo, all'incertezza del vettore di calibrazione nonché alla precisione del blocco fotogrammetrico appoggiato sui punti cartografici (che, si ribadisce, hanno una precisione planimetrica di ± 20 cm in planimetria e 30 in quota).

Conclusioni
All'interno del presente lavoro è stata discussa una soluzione per la georeferenziazione di una antenna georadar in ambito urbano, basata sulla implementazione di diversi sistemi di posizionamento. In aree urbane, infatti, il GPS non può essere utilizzato come unico sistema di navigazione a causa delle frequenti perdite del segnale satellitare: si propone quindi una strategia principalmente basata su un approccio di tipo fotogrammetrico appoggiando le prese alle coordinate dei particolari riportati sulla cartografia a grande scala.
Con lo scopo di garantire la migliore automazione possibile sono stati realizzati script per l'estrazione automatica dei GCPs dalla cartografia e si sono valutate le performance degli algoritmi di orientamento automatico del blocco, in relazione ai diversi elementi ripresi sui fotogrammi.
In generale il metodo proposto si è rivelato valido e i risultati raggiunti sono in linea con le precisioni richieste per la georeferenziazione dell'antenna georadar. Dal test cinematico è emerso come la qualità della soluzione fotogrammetrica dipenda fortemente dalla precisione dei punti di appoggio estratti dalla cartografia. L'integrazione di qualche punto GPS (facilmente acquisibile all'inizio o al termine della strisciata, o in corrispondenza di zone aperte come piazze o incroci) può aiutare a rafforzare il blocco e allo stesso tempo a individuare gli *outlier* tra i GCPs estratti.

Bibliografia
Barzaghi R., Carrion D., Cazzaniga N. E., Forlani G., (2009), Vehicle Positioning in urban areas using photogrammetry and digital maps. *Proceedings of the ENC-GNSS09*, Napoli (Italy)
Bay H., Ess A., Tuylelaars T., Van Gool L., (2008), Speeded Up Robust Features (SURF), *Computer Vision and Image Understanding* (110), pp. 346–359
Cazzaniga N. E., Pinto L., (2010). Navigazione urbana con l'ausilio della fotogrammetria e della cartografia, *Atti della XIV Conferenza Nazionale ASITA*, Brescia, pp. 547-552
Forlani, G., (1986), Sperimentazione del nuovo programma CALGE dell'ITM, *Bollettino SIFET* No. 2, pp. 63-72
Roncella, R., 2006. Sviluppo e applicazioni di tecniche di automazione in fotogrammetria dei vicini. *Ph.D. Thesis*, Parma University
Roncella, R., Re, C., Forlani, G., (2011a), Comparison of two structure and motion strategies, *ISPRS Volume XXXVIII-5/W16*
Roncella, R. Re, C., Forlani, G., (2011b), Performance evaluation of a structure and motion strategy in architecture and cultural heritage, *ISPRS Volume XXXVIII-5/W16*
Wallis, K. F., (1976), Seasonal adjustment and relation between variables, *Journal of the American Statistical Association*, 69 (345), pp 18-31

Mosaicatura e georeferenziazione di immagini iperspettrali

Antonio Cenedese (*), Carlo Dacquino (**), Monica Moroni (*)

(*) DICEA, Sapienza University of Rome, Via Eudossiana 18, 00184 Rome (Italy),
+390644585095, +390644585094, monica.moroni@uniroma1.it; antonio.cenedese@uniroma1.it
(**) ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale,
Via del Curtadone 3, 00185 Rome (Italy), carlo.dacquino@ispambiente.it

Riassunto
Presso il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale della Sapienza Università di Roma sono stati messi a punto due sistemi di acquisizioni di immagini iperspettrali (caratterizzati da basso costo, peso e consumo energetico e quindi facilmente trasportabili) basati sull'utilizzazione di filtri interferenziali tunabili e di spettrometri. È stato inoltre sviluppato un robusto ed efficiente algoritmo per mosaicare in modo automatico, senza la necessità di individuare punti di riferimento, molte immagini tra loro parzialmente sovrapposte in modo da ottenere un'unica scena del territorio monitorato. L'algoritmo è basato sull'analisi della correlazione, valutata tramite FFT 2D, esistente tra due immagini successive, e consente di valutare lo spostamento relativo tra le immagini stesse tenendo conto della rotazione e del cambiamento di scala. Le immagini sono inoltre georeferenziate nel sistema di coordinate geografiche WGS-84. Le prestazioni della procedura sono state valutate utilizzando le immagini, riprese da un aeromobile superleggero, in una campagna proximal sensing svolta nella piana di San Teodoro in provincia di Olbia avente come scopo la caratterizzazione del terreno attraverso il suo cubo iperspettrale. Le mappe che mettono in evidenza differenti oggetti sono in ottimo accordo con i rilievi *ground-truth* effettuati.

Abstract
At the Department of Civil and Environmental Engineering of Sapienza University of Rome two systems for the acquisition of hyperspectral images (characterized by low cost, weight and power consumption) based on the use of interference filters and spectrometers were developed. A robust and efficient algorithm for automatic image mosaicing, without the need to identify reference points, was developed. The algorithm, together with the 2D fast Fourier transform, provides an estimate of the displacement between pairs of images by accounting for rotations and changes of scale. The resulting mosaic was successively georeferenced within the WGS-84 geographic coordinate system. The performances of the algorithm were evaluated using sample images and image sequences acquired during a proximal sensing field campaign conducted in San Teodoro (Olbia-Tempio—Sardinia). The hyperspectral cube closely corresponds to the mosaic. Mapping allows for the identification of objects within the image and agrees well with ground-truth measurements.

Introduzione

Le grandi potenzialità del monitoraggio attraverso l'analisi di immagini iperspettrali sono ampiamente documentate nella più recente letteratura scientifica trovando applicazione in differenti settori, tra cui:

- il monitoraggio del suolo per evidenziare possibili situazioni di degrado che possono dar luogo a processi di desertificazione (Stocking and Clark 1999);
- la classificazione della vegetazione che consente di identificare differenti coltivazioni e l'insorgere di situazioni di stress (Sims and Gamon 2002);

- il monitoraggio dei beni culturali per identificare i materiali utilizzati e lo stato di degrado delle singole opere al fine di progettare gli interventi necessari per la loro messa in sicurezza (Tapete *et al*. 2012);
- la determinazione del livello di inquinamento e di trofia del mare e dei corpi idrici, in particolare il monitoraggio della morfologia di ambienti lagunari e della distribuzione della vegetazione alofila negli ambienti intertidali (Lillesand *et al*. 2004);
- le applicazioni in campo idrologico al fine di valutare l'evapotraspirazione, di difficile misurazione diretta (Minacapilli *et al*. 2012);
- la separazione di sostanze, in particolare dei rifiuti, nelle differenti tipologie di materiali (Tatzer *et al*. 2005).

Nonostante le sue indiscusse potenzialità, il monitoraggio basato sull'analisi delle immagini iperspettrali non è oggi molto diffuso. Utilizzando i più recenti sviluppi hardware e software nell'acquisizione ed elaborazione delle immagini sono state aumentate considerevolmente le prestazioni della tecnica in termini di risoluzione spaziale e temporale (Moroni and Cenedese, 2012). Permangono tre problematiche che ne limitano l'utilizzo, con riferimento ai sistemi sviluppati fino a qualche anno fa (ad esempio il sistema MIVIS, Multispectral Infrared and Visible Imaging Sensor, acquisito dal CNR nel 1994 nell'ambito del progetto LARA (Bianchi *et al.* 1997)):

- il costo di acquisizione e di manutenzione dei sistemi è molto elevato;
- i sistemi sono difficilmente trasportabili e richiedono una elevata disponibilità di energia per il loro funzionamento;
- anche utilizzando il software commerciale, l'elaborazione delle immagini iperspettrali per ottenere mappe tematiche risulta molto onerosa; in particolare, la gestione delle immagini, che va dall'acquisizione alla loro interpretazione per arrivare ad un risultato di facile utilizzazione, richiede l'intervento di persone molto specializzate.

Uno dei problemi ancor oggi oggetto di approfondimento è quello della mosaicatura automatica di sequenze di immagini che permette la ricostruzione completa della scena che si intende analizzare. In alcuni casi si tratta di sequenze di migliaia di immagini, pertanto appare impraticabile il riconoscimento di punti corrispondenti nelle diverse immagini. In precedenti lavori (Moroni *et al*. 2012), facendo riferimento ad una trasformazione omografica semplificata, è stato fatto dell'uso iterativo della funzione di correlazione bidimensionale tra due immagini successive per valutare il loro cambiamento di scala, rotazione e spostamento. Partendo da un'immagine di riferimento, la scena veniva ricostruita correlando via via le immagini successive. Tuttavia, anche se la prima immagine è georeferenziata, gli errori progressivamente ed inevitabilmente introdotti comportano il fatto che le immagini successive non siano più correttamente georeferenziate. Per ovviare a questo inconveniente nel presente lavoro si propone di correlare le immagini non tra di loro ma con quelle di una mappa di riferimento correttamente georeferenziata, ad esempio Google Earth.

Presso il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale (DICEA) negli ultimi anni sono stati messi a punto due sistemi di acquisizione delle immagini che hanno permesso di superare gran parte dei limiti ricordati. I due sistemi, uno basato sull'uso di spettrometri l'altro basato sull'uso di filtri interferenziali, utilizzano le più recenti tecnologie di acquisizione di immagini ad alta risoluzione ed alta frequenza e coprono le lunghezze d'onda comprese tra 400 nm e 1800 nm, proprie del visibile (VIS) e del vicino infrarosso (NIR) (Cenedese *et al.* 2007). I sistemi sono completati con una telecamera termica in grado di rilevare la temperatura nei vari punti della scena ripresa. Gli apparati sviluppati, di basso costo, peso e consumo energetico, si prestano ad essere utilizzati per monitoraggio in *remote sensing* (a grande distanza, ad esempio da satellite, da cui non è possibile, in genere, raggiungere la scena ripresa) e *proximal sensing* (a piccola distanza, installati su aeromobili di piccole dimensioni, quando è possibile raggiungere la scena ripresa e verificare a cosa corrispondono gli spettri acquisiti attraverso operazioni di *ground truth*).

In seguito sarà descritto solo il sistema che utilizza gli spettrometri, tuttavia le procedure di mosaicatura sono utilizzabili anche per immagini acquisite con il sistema che utilizza i filtri.

Sistema di acquisizione delle immagini basato sugli spettrometri

In questo sistema sono utilizzati due spettrometri, il primo centrato nel visibile (VIS da 400 nm a 1000 nm), il secondo centrato nel vicino infrarosso (NIR da 900 nm a 1800 nm). Con questo sistema si acquisiscono simultaneamente gli spettri relativi a punti equidistanti che si trovano su un segmento. È, quindi, necessario riprendere più immagini per ricostituire una scena bidimensionale attraverso l'accostamento di più segmenti.

Nella Figura 1 è riportato lo schema del sistema realizzato comprendente:

- due frame grabber ciascuno con due ingressi Camera Link;
- spettrometro VIS (S1) montato di fronte una telecamera CMOS;
- spettrometro NIR (S2) montato di fronte un telecamera InGaAs;
- telecamera CMOS;
- telecamera termica;
- sistema di alimentazione di tutti gli apparati;
- calcolatore di processo per controllare tutto il sistema ed acquisire tramite porta USB le immagini della telecamera termica.

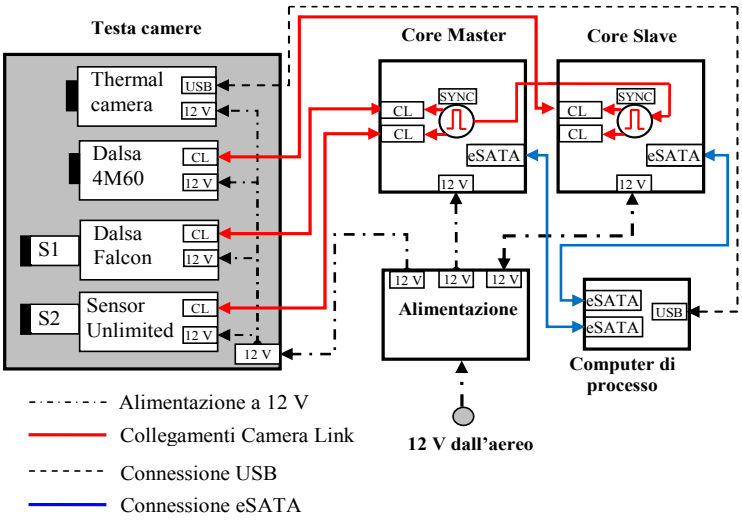


Figura 1. Sistema con spettrometri.

Davanti agli spettrometri sono montati due obiettivi da 25 mm, uno dei quali realizzato in modo da non assorbire la radiazione NIR.

Sono utilizzate due telecamere CMOS in bianco e nero: una Dalsa 4M60 dotata di un sensore di 4 Mpixels (2352×1728) quadrati (7.4 µm×7.4 µm), in grado di acquisire fino a 30 immagini al secondo a risoluzione piena ed un'uscita a 8 o 10 bit e una Dalsa Falcon 1.4M100 dotata di un sensore di 1 Mpixels (1280×1024) quadrati (7.4 µm×7.4 µm), in grado di acquisire fino a 100 immagini al secondo a risoluzione piena ed un'uscita a 8 o 10 bit. Delle due telecamere, la Dalsa Falcon è accoppiata allo spettrometro VIS, l'altra telecamera, la Dalsa 4M60, è utilizzata per acquisire un'immagine 2D e rendere possibile la corretta georeferenziazione nella scena della linea ripresa, correlando tra loro immagini successive.

Per acquisire nel NIR è stata utilizzata una telecamera InGaAs (nella quale il silicio costituente il sensore è drogato con arseniuro di indio e gallio) Sensor Unlimited SU320M-1.7RT. Il sensore è costituito da 320×240 pixels quadrati (40 µm×40 µm), in grado di acquisire fino a 50 immagini al secondo ed un'uscita a 8 o 10 bit. Tale telecamera si presta ad essere accoppiata al solo spettrometro NIR.

La telecamera termica Jade UC è equipaggiata con sensore microbolometrico non raffreddato di 384×288 pixels (con area sensibile pari a 320×240 pixels) quadrati (35 μm×35 μm) con risposta spettrale compresa nell'intervallo 8-12 μm; il segnale video è memorizzato in digitale a 14 bit.
Le immagini acquisite da tutte le telecamere utilizzate, salvo la termica, sono trasferite a 8 bit. Pertanto il livello di grigio, o *digital number* DN, di ciascun pixel è compreso tra 0 e 255.
Il sistema di acquisizione e memorizzazione delle immagini è costituito da due DVR Express ® Core della IO Industries in configurazione master-slave. Ciascun Core è dotato di due ingressi Camera Link in grado di trasferire fino a 780 Mbytes/s, la memoria è costituita da quattro dischi allo stato solido con una capacità di 1 Tbytes. Il segnale di trigger è generato dal Core master e sincronizza l'acquisizione di tutte le telecamere. Tale sistema permette di acquisire le immagini senza alcuna compressione.
Un calcolatore, tramite due porte eSATA, gestisce tutto il processo di sincronizzazione, ripresa e memorizzazione delle immagini. Il sistema è stato progettato in modo da ridurre i pesi (meno di 8 Kg) ed i consumi (meno di 300 W all'accensione).

Algoritmo di mosaicatura
Tutte le tecniche definite genericamente con il termine *frame fusion* hanno come obiettivo quello di riprodurre un'unica immagine a partire da una serie di più immagini ciascuna delle quali riporta tutta o solo una parte della scena. Si indica con *super resolution* il procedimento con cui si sovrappongono immagini della stessa scena al fine di migliorarne la qualità ed aumentare la risoluzione. Si indica con mosaicatura il procedimento con cui si mettono insieme più immagini parzialmente sovrapposte per ottenere una sola immagine della scena (Capel 2004).
La mosaicatura delle immagini si sviluppa schematicamente nelle operazioni di seguito descritte.
Allineamento (registration). L'obiettivo è di trasformare ogni immagine per inserirla in un unico riferimento di coordinate globali contenente l'intera scena. La scelta del riferimento globale non è rilevante, ma per comodità viene allineato con gli assi di una delle immagini della scena (generalmente la prima), l'immagine viene così chiamata "immagine di riferimento", in modo tale che la trasformazione tra il riferimento globale e l'immagine di riferimento sia l'identità.
Riproiezione (reprojection). Dopo l'allineamento tutti i punti di ogni immagine sono trasformati in punti dell'immagine globale finale attraverso operazioni di interpolazione.
Combinazione (blending). Una volta che tutte le immagini sono state allineate e riproiettate, ad ogni punto del riferimento globale corrispondono, in genere, differenti valori che vanno rielaborati al fine di giungere ad un solo valore che dia omogeneità fotometrica al mosaico finale. In questo modo si evita l'insorgere di vistose discontinuità nelle zone di sovrapposizione. Vengono utilizzate diverse funzioni per rendere omogeneo il mosaico, la più semplice delle quali è quella della media tra i valori delle immagini adiacenti.
Per effettuare la mosaicatura di più immagini è necessario utilizzare una trasformazione geometrica che definisce la relazione tra i punti di ciascuna coppia di immagini. Le trasformazioni possono essere globali o locali (Gonzales and Woods 1993). Le trasformazioni locali sono applicate solo ad una parte dell'immagine; per tali trasformazioni è molto difficile utilizzare una relazione generale concisa da poter applicare per tutte le riprese effettuate (Goshtasby 1986). Le trasformazioni globali possono essere gestite attraverso l'omografia quando le immagini sono relative a:

- superfici piane riprese da una telecamera in moto arbitrario;
- superfici non piane acquisite a grande distanza da una telecamera;
- superfici non piane acquisite da una telecamera in rotazione intorno al proprio asse ottico e/o in avvicinamento/allontanamento dal soggetto.

Sono necessari otto gradi di libertà perché l'omografia possa tener conto di traslazioni rigide, rotazioni rigide, variazioni di scala e scorrimenti tra due immagini (trasformazione proiettiva). Sono necessari sei gradi di libertà se il punto di ripresa è all'infinito (trasformazione affine). Sono necessari quattro gradi di libertà per una ripresa all'infinito se non si tiene conto dello scorrimento tra le immagini (trasformazione simile). Poiché operare attraverso una omografia completa è

piuttosto complesso, si suggerisce una metodologia meno rigorosa che si adatta tuttavia ad elaborare un numero elevato di immagini rilevate da un aeromobile in cui si suppone che non avvengano scorrimenti e che i cambiamenti di scala siano gli stessi nelle due direzioni.
La correlazione bidimensionale tra due immagini permette di valutare, attraverso la determinazione del suo picco, la traslazione rigida di un'immagine rispetto all'altra. L'algoritmo è basato sull'uso della trasformata di Fourier bidimensionale (2-DFFT).
Il posizionamento dell'i-esima immagine sulla scena individuata sulla mappa di riferimento georeferenziata è effettuata in due passi successivi:

- determinazione della variazione di scala, rotazione e spostamento, attraverso l'uso iterativo di correlazioni, con la i-1 immagine estratta dalla mappa di riferimento; per tenere conto di rotazioni e cambiamenti di scala tra immagini consecutive, una immagine della coppia viene ruotata nell'intervallo -5°-5° con passo 0.05°, e la scala viene modificata rispetto alla dimensione originale nell'intervallo -6%-6% con passo 0.5%; tra tutte le correlazioni effettuate si determina la rotazione ed il cambiamento di scala associati al massimo valore nel picco di correlazione
- estrazione dalla mappa di riferimento dell'i-esima immagine, utilizzando sempre correlazioni bidimensionali, da confrontare successivamente con la i+1 immagine acquisita.

Correlazione tra immagine ripresa e Google Earth
Il punto più critico della procedura suggerita è quello che riguarda la correlazione tra immagini riprese, in bianco e nero, e quelle estratte da Google Earth a colori. Sono riportati di seguito alcuni risultati preliminari ottenuti utilizzando immagini riprese in una campagna di misura effettuata in località San Teodoro (Tempio-Olbia) con il sistema di acquisizione installato su di un aeromobile leggero che volando a circa 500 m di quota consente di ottenere una risoluzione a terra di circa 10 cm, molto più elevata di quella di Google Earth. Nelle Figura 2 e Figura 3 sono riportate un'immagine ripresa ed un particolare di Google Earth della stessa zona.

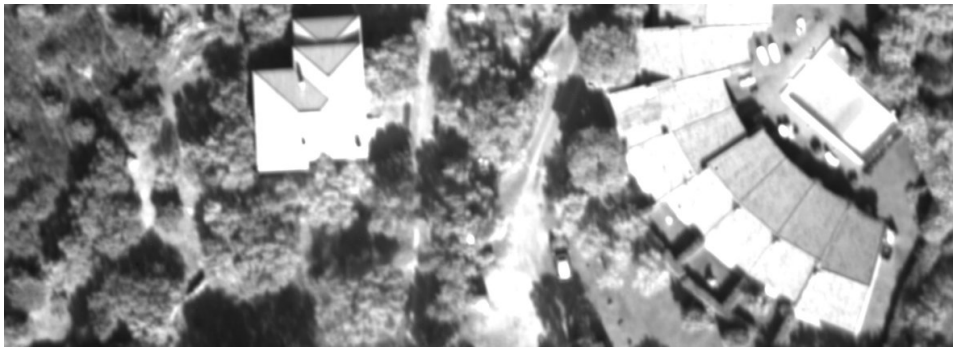


Figura 2. Immagine ripresa durante la campagna di misura effettuata in località San Teodoro (Tempio-Olbia).

Dopo un'opportuna rotazione, cambiamento di scala e trasformazione in bianco e nero si ottiene l'immagine di Google ricampionata (Figura 4) corrispondente a quella ripresa. Nella Figura 5 sono riportati i contributi puntuali alla covarianza (nero contributi negativi, bianco contributi positivi). Si osserva come, in genere, siano ben individuati i componenti antropici (edifici, piscine, …) mentre le aree in grigio, legate alla vegetazione e alla illuminazione, risultino differenti nelle due immagini confrontate. Infine in Figura 6 è riportato il coefficiente di correlazione tra le immagini di Figura 2 e Figura 4. Pur essendo il massimo di tale coefficiente non molto elevato (circa 0.5), la presenza di un picco molto ben individuato nell'origine permette di collocare correttamente l'immagine ripresa nella mappa di riferimento georeferenziata.



Figura 3. Particolare della mappa Google Earth della stessa zona della Figura 2.

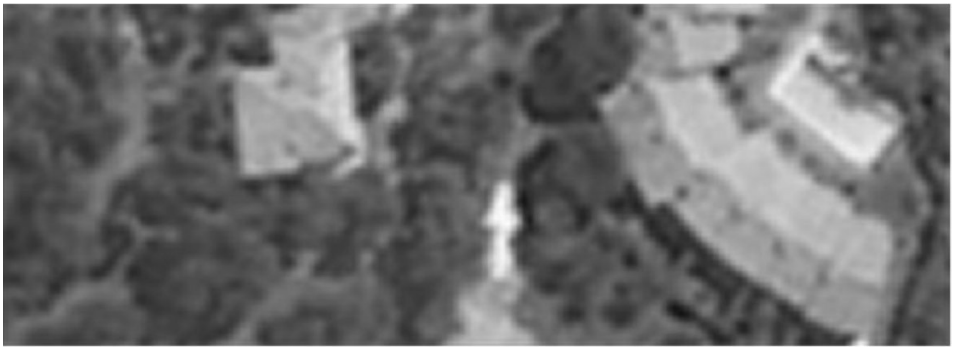


Figura 4. Immagine Google Earth ricampionata.



Figura 5. Contributi puntuali della covarianza.

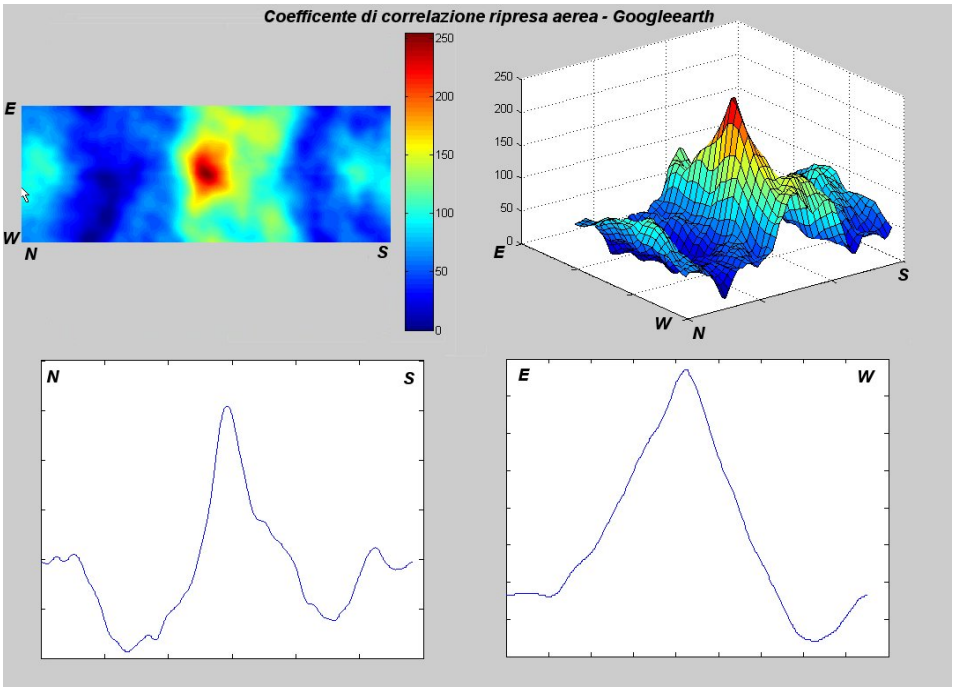


Figura 6. Coefficiente di correlazione tra le immagini di Figura 2 e Figura 4.

Bibliografia

Bianchi R., Cavalli R.M., Fiumi L., Marino C.M., Pignatti S. (1997), "Airborne remote sensing: Results of two years of imaging spectrometry for the study of environmental problems". Remote sensing 96: integrated applications for risk assessment and disaster prevention for the Mediterranean. Anna Spiteri Editor.

Capel D. (2004), Image Mosaicing and Super-resolution. Springer-Verlag London.

Cenedese A., Gabellieri M., Paolillo A., Sciortino R. (2007), "Una metodologia per il monitoraggio ambientale tramite immagini telerilevate iperspettrali e termiche". Atti 11a Conferenza Nazionale ASITA, Torino 6-9 Novembre 2007.

Gonzales R.C., Woods R.E. (1993), *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company.

Goshtasby A. (1986), Piecewise linear mapping functions for image registration. *Pattern Recognition* 19(6): 459-468.

Lillesand T., Kiefer R.W., Chipman J.W. (2004), *Remote Sensing and Image Interpretation*. Fifth Edition, International Edition, John Wiley & Sons, New York.

Minacapilli M., Cammalleri C., Ciraolo G., D'Asaro F., Iovino M., Maltese A. (2012), Thermal Inertia Modeling for Soil Surface Water Content Estimation: A Laboratory Experiment. *Soil Science Society of America Journal*, 76(1): 92-100.

Moroni M., Cenedese A. (2012), Analisi di immagini iperspettrali nel monitoraggio ambientale. *L'Acqua* 4-2012.

Moroni M., Dacquino C., Cenedese A. (2012), Mosaicing of hyperspectral images: the application of a spectrograph imaging device. *Sensors* (doi: 10.3390/s120810228).

Sims A.D., Gamon J.A. (2002), "Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages". *Remote Sensing of Environment* 81: 337-354.
Stocking M.A., Clark R. (1999), "Soil productivity and erosion: biophysical and farmer-perspective assessment for hillslopes". *Mountain Research and Development* 19(3): 191-202.
Tapete D., Casagli N., Fanti R., Del Ventisette C., Cecchi R., Petrangeli P. (2012), "Analisi radar satellitare delle deformazioni recenti nell'area archeologica della Domus Aurea e del Colle Oppio (Roma)". *Arkos* 26: 40-49.
Tatzer P., Wolf M., Panner T. (2005), "Industrial application for inline material sorting using hyperspectral imaging in the NIR range". *Real-Time Imaging* 11(2): 99-107.

Prove sperimentali su stazioni totali motorizzate di precisione per il monitoraggio di deformazioni

Gino Centi (*),Donatella Dominici (**),Michael Elaiopoulos (**),
Fabio Radicioni (*),Aurelio Stoppini (*)

(*) DICA, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia,
Via G. Duranti 93, 06125 Perugia
(**) DAU, Dipartimento di Architettura e Urbanistica, Università degli Studi dell'Aquila

Riassunto
Si presentano i risultati di una serie di test su due stazioni totali motorizzate di alta precisione aventi diverse caratteristiche: una la cui progettazione risale ad alcuni anni fa (Leica TCA2003), ed una molto più recente (Leica TS30). I test sono stati eseguiti in condizioni effettive di impiego, nell'ambito di un sistema integrato di monitoraggio di edifici e manufatti storici monumentali, con stazioni su pilastrini a centramento forzato. Le misure sono state tutte eseguite su miniprismi, date le ridotte distanze in gioco e l'esigenza di limitare l'impatto estetico-ambientale tenendo conto delle caratteristiche dei siti da monitorare. Per entrambi gli strumenti è stata utilizzata la funzione di riconoscimento automatico della mira (ATR). I risultati ottenuti con i due strumenti in condizioni sperimentali identiche vengono posti a confronto esaminando separatamente le misure angolari e quelle di distanza, e valutando quindi l'accuratezza delle posizioni tridimensionali ottenute in funzione delle esigenze specifiche dei progetti di monitoraggio in oggetto.

1. Caratteristiche del sito, materializzazioni e mire utilizzate

I test in oggetto sono stati eseguiti nella rete di monitoraggio delle mura monumentali di Amelia (TR). Per maggiori informazioni su tale rete e sul sistema integrato di monitoraggio delle mura di Amelia si fa riferimento a Brigante et al. (2008) e Brigante et al. (2009).



Figura 1. Stazione su pilastrino per il monitoraggio delle mura di Amelia.

Le misure vengono eseguite da vertici di stazione materializzati su pilastrini di calcestruzzo armato rivestiti in muratura, fondati su pali. Il centramento è di tipo forzato su piastre in acciaio inox. Le mire sono tutte costituite da miniprismi Leica GMP101 ancorati al paramento murario.
Ogni stazione controlla un certo numero di prismi sulle mura ed è orientata su ulteriori prismi posti su strutture stabili esterne al complesso murario. Tutti i prismi sono orientati verso la stazione in modo da renderne agevole la collimazione fine automatica e poter eseguire il rilievo beneficiando delle caratteristiche (rapidità, affidabilità, ripetibilità) delle stazioni totali motorizzate che vengono utilizzate.

2. Strumentazione e metodologia di misura
Le misure a cui fa riferimento il presente lavoro sono state eseguite da 4 vertici di stazione della rete di Amelia utilizzando in immediata sequenza i due seguenti strumenti:

a) stazione totale automatica **Leica TCA 2003** (strumento impiegato anche in tutte le campagne precedenti eseguite sulla stessa rete);

b) stazione totale automatica **Leica TS30**, più recente ed avente caratteristiche più avanzate.

Le caratteristiche prestazionali più importanti dei due strumenti, come dichiarate dalla ditta produttrice, sono riassunte sinteticamente nella tabella 1. Per ulteriori e più dettagliate informazioni si rimanda alla documentazione presente nel sito web di Leica.

Tabella 1. Principali caratteristiche dei due strumenti testati.

MISURE ANGOLARI	**TCA 2003**	**TS30**
Deviazione standard ISO 17123-3 azimutale	0.3 mgon	0.15 mgon
Deviazione standard ISO 17123-3 zenitale	0.3 mgon	0.15 mgon
Metodo di lettura	Assoluto, continuo, diametrale	Assoluto, continuo, quadruplo
MISURE DI DISTANZA	**TCA 2003**	**TS30**
Deviazione standard ISO 17123-4 (su prisma standard, modo preciso)	1 mm + 1 ppm (3 s)	0.6 mm + 1 ppm (7 s)
Portata su prisma standard (condizioni atmosferiche medie)	2500 m	3500 m
Portata su target	200 m	250 m
Portata senza riflettore	Non possibile	1000 m
MOTORIZZAZIONE	**TCA 2003**	**TS30**
Velocità di rotazione	50 gon/s	200 gon/s

Le misure angolari sono state eseguite applicando la regola di Bessel ed effettuando 6 strati, utilizzando sempre la modalità di collimazione automatica (ATR).

Le distanze sono state misurate nella modalità più accurata disponibile per ciascuno degli strumenti. La posa in stazione degli strumenti è stata eseguita con basette Leica a due viti mobili e una fissa in modo da mantenere costante l'altezza strumentale, con cilindro e o-ring di centramento sulla piastra fissata al pilastrino.



Figura 2. Leica TCA 2003 (sin.) e TS 30 (ds.).

Sulle misure "grezze" scaricate dallo strumento sono state eseguite le medie delle reiterazioni angolari e delle distanze, la calibrazione dell'orientamento azimutale sui prismi esterni di orientamento e della correzione atmosferica sulle distanze note rispetto agli stessi prismi esterni. Sono state infine calcolate le coordinate dei punti osservati (miniprismi) nei sistemi locali definiti dai vertici di stazione e prismi di orientamento. Ogni sistema locale è definito in modo da evidenziare le componenti *longitudinale* (parallela al paramento murario), *trasversale* (perpendicolare al paramento) e *altimetrica* di eventuali movimenti.

3. Confronto tra i risultati

Sono state poste a confronto le misure eseguite in sequenza sugli stessi punti con i due diversi strumenti. Un primo confronto ha riguardato le direzioni angolari azimutali (riportate a un'origine comune), gli angoli zenitali e le distanze. Gli scarti tra i due strumenti e la relativa distribuzione sono riportati negli istogrammi che seguono (figg. 3, 4, 5) accompagnati dalle curve di frequenza cumulativa percentuale (tracciate in rosso).

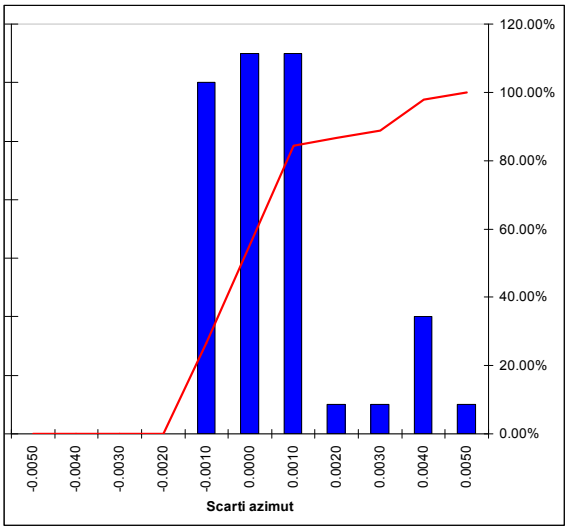


Figura 3. Istogramma e frequenza cumulativa degli scarti sulle direzioni azimutali (valori in gon).

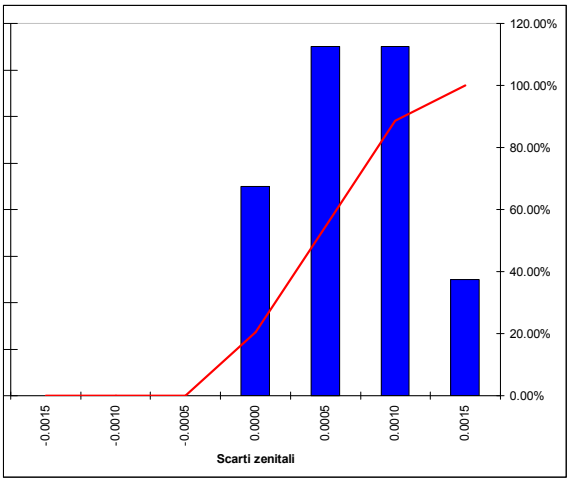


Figura 4. Istogramma e frequenza cumulativa degli scarti sugli angoli zenitali (valori in gon).

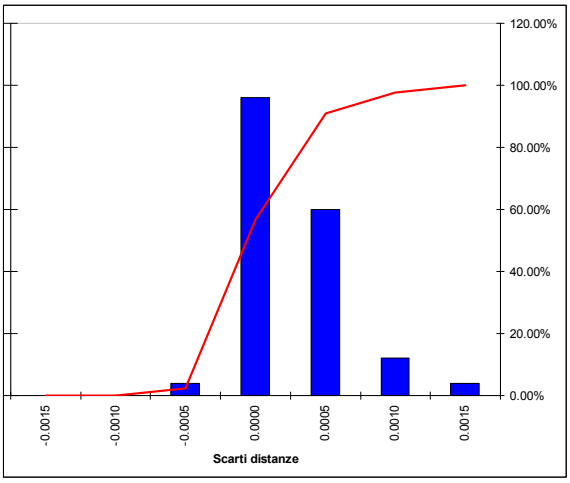


Figura 5. Istogramma e frequenza cumulativa degli scarti sulle distanze (valori in metri).

I principali parametri statistici degli scarti di cui sopra sono riassunti nella seguente tabella (valori in gon per direzione azimutale e zenitale, in metri per la distanza):

	Δ Hz	Δ V	Δ D
media	0.0002	0.0004	0.0000
RMS	0.0015	0.0006	0.0003
max	0.0041	0.0013	0.0011
min	-0.0018	-0.0004	-0.0006

Si può osservare come si abbia un'ottima congruenza sulle distanze, per le quali la distribuzione degli scarti è a media nulla e i valori sono tutti compresi nell'intervallo ± 1 mm. Per gli angoli zenitali si nota un sistematismo di circa 4 secondi centesimali ma la quasi totalità degli scarti sono compresi entro i 5 secondi positivi o negativi.

Un po' più alti gli scarti dei valori azimutali, dei quali però i valori più alti si raggruppano in una delle quattro aree sottoposte a monitoraggio. Se si esclude tale sottorete (zona B) si ottiene il grafico che segue, che è in linea con quello relativo ai valori zenitali, con scarti compresi entro i 15 secondi centesimali in più o in meno:

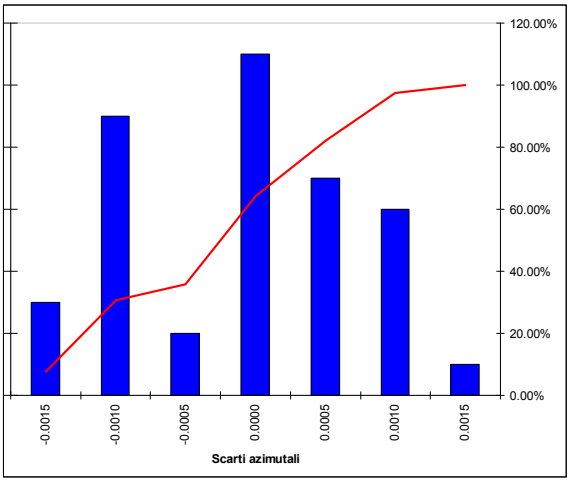


Figura 6. Istogramma e frequenza cumulativa degli scarti sulle direzioni azimutali (valori in gon) Campione dei dati depurato dalla zona B.

Passando dal confronto tra le misure a quello sulle coordinate ottenute nei sistemi locali di ciascuna stazione (X = direzione parallela al paramento murario, Y = direzione perpendicolare, Z = quota) le differenze tra i valori ottenuti con i due diversi strumenti hanno i parametri statistici riassunti dalla seguente tabella:

	Δ X	Δ Y	Δ Z
media	-0.0001	0.0000	-0.0001
RMS	0.0005	0.0003	0.0002
max	0.0005	0.0007	0.0001
min	-0.0009	-0.0008	-0.0004

La tabella fa riferimento all'intero set di misure, comprese quelle della zona B escluse per il grafico di figura 6. Si nota come, date le piccole distanze in gioco (poche decine di metri tra le stazioni e i prismi sul paramento murario) le variazioni sui valori angolari, in particolare quelli azimutali, abbiano un effetto contenuto che si traduce in differenze tra i valori delle coordinate tridimensionali che restano sempre contenuti, anche nei valori estremi), entro il millimetro.

Si ritiene quindi di poter concludere affermando che i due strumenti posti a confronto hanno garantito accuratezze tali da portare a differenze sulle coordinate finali inferiori al valore di un millimetro che costituisce la soglia di sensibilità per il monitoraggio tridimensionale di un manufatto come quello in oggetto.

Bibliografia

Dominici D., Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A., 2008: An integrated monitoring system for the monumental walls of Amelia. Proc. of "Measuring the Changes", 13th FIG International Symposium on Deformation Measurements and Analysis - 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Lisbon, 2008

Brigante R., Dominici D., Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A., 2008: Test di accuratezza e ripetibilità di posizionamenti NRTK su sessioni di lunga durata. Atti della XII Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila, 2008

Brigante R., Dominici D., Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A., 2009: Confronto e integrazione fra tecniche geomatiche per la documentazione e il monitoraggio dei beni culturali. Atti della XIII Conferenza Nazionale ASITA, Bari, 2009

Un sistema quantitativo a supporto delle decisioni per la pianificazione territoriale: il caso Unione dei Comuni del Rubicone

Eva Cerri (*), Matteo Roffilli (**)

(*) Ufficio di Piano, Unione dei Comuni del Rubicone, Piazza Borghesi 9,
47039 Savignano sul Rubicone (FC), ufficiodipiano@unionecomunidelrubicone.fc.it
(**) Bioretics srl, via Cartesio 2, 47042 Cesenatico (FC), Italy, roffilli@gmail.com

Riassunto

Nell'ambito della redazione del Piano Strutturale Comunale, ai sensi della Legge Regionale dell'Emilia Romagna n.20/2000, l'Unione dei Comuni del Rubicone ha deciso di utilizzare un approccio fortemente quantitativo e data driven per l'amministrazione del territorio e l'esplorazione degli scenari progettuali.

Presentiamo qui la metodologia organizzativa attuata e i risultati ottenuti che consistono nella fondazione di un sistema a supporto delle decisioni basato su GIS che raccoglie, integra, elabora e rende fruibili dati territoriali di molteplice provenienza. Mostreremo, in un caso d'uso reale, come sono state messe a sistema le infrastrutture viarie, gli edifici, la distribuzione della popolazione, il pendolarismo sistematico persone e merci e gli scenari progettuali, verificati attraverso gli indicatori di Val.S.A.T..

Tutti i dati sono stati connessi ed elaborati con un applicativo avanzato di simulazione del traffico veicolare che implementa ante litteram un modello di distribuzione radiativo recentemente apparso in letteratura.

Gli esiti derivanti dalla simulazione sono stati proposti agli amministratori dei singoli comuni consorziati in Unione come strumento quantitativo di valutazione di scenari presenti e futuri al fine sia della negoziazione interna che nei rapporti con gli stakeholder.

Nonostante l'incertezza iniziale nell'adozione di un cambio di paradigma negoziale, ora non più solamente qualitativo ma anche quantitativo e, soprattutto, scientificamente validato, riportiamo un notevole interesse per l'utilizzo reale di questa metodologia.

Al fine di facilitare la consultazione dei dati e l'interoperabilità con le altre amministrazione pubbliche, paritarie o sovraordinate, il sistema sarà reso disponibile agli stakeholder tramite un'applicazione di Webgis che rispetta gli standard della recente legge Italiana relativa al Codice dell'Amministrazione Digitale.

Abstract

Nowadays, the Unione dei Comuni del Rubicone, a cooperative administration of many single towns, is facing the writing of the new Piano Strutturale Comunale, a novel joint instrument for the territorial management of wide areas. Given the unusual requirements of such approach, the politicians are experiencing an innovative quantitative methodology based on a Geographical Decision Support System able to extract high-level information from raw data collected to this purpose. This paper presents how the database has been funded and how valuable information have been mined from data with the help of a well-funded model for the simulation of traffic flows, one of the crucial topics of the planning. Simulation and forecasting results have been reported to politicians whose role is duplex: while as officers of single town they would guarantee local stakeholders, they should also cooperate joining together thus giving rise to problematic

negotiations. We found a great interest in politicians for such quantitative approach that supports the negotiation process with fresh and validated information which will be available also on a Webgis application.

Introduzione

A partire dai principi della riforma urbanistica dibattuti a livello nazionale dall'inizio degli anni '90, l'esigenza di affrontare in termini di valutazione quantitativa l'analisi dello stato di fatto e di progetto nell'ambito della pianificazione territoriale ha iniziato a connotarsi nel panorama disciplinare con sempre maggiore evidenza. Nella Legge Regionale Emilia Romagna n.20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", la nuova attenzione per il rinnovamento dei contenuti e della procedura di formazione dei piani si basa sull'utilizzo di esplicite metodologie di valutazione degli effetti delle azioni di pianificazione. Nelle disposizioni generali della legge, all'art.5 vengono previsti la Valutazione preventiva della sostenibilità ambientale e territoriale derivanti dall'attuazione dei Piani (Val.S.A.T., 2006) ed il monitoraggio delle azioni di pianificazione. In altri termini viene richiesta, nella costruzione dei Piani territoriali ed urbanistici, una valutazione dello stato di fatto, in cui vengono rilevate criticità e potenzialità del territorio e dell'ambiente indagato, che consenta la definizione di un progetto migliorativo attraverso scelte strategiche che operino nella prospettiva di individuare le misure idonee a impedire, ridurre o compensare gli elementi critici e incentivare l'ambito delle potenzialità. Con l'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico sui contenuti conoscitivi e valutativi dei piani approvato con Delibera di Consiglio Regionale n. 173/2001, vengono definiti i contenuti essenziali della Valutazione di sostenibilità ambientale e territoriale che si configura come una Valutazione Ambientale Strategica (VAS), cioè un procedimento per la valutazione degli effetti conseguenti all'attuazione di politiche, piani e programmi nelle fasi iniziali del processo di decisione.

L'Unione dei Comuni del Rubicone

In tale contesto si muove l'Unione dei Comuni del Rubicone (di seguito Unione) che è stata costituita nel 2005 e comprende i comuni di Gatteo, San Mauro Pascoli e Savignano sul Rubicone, tutti nella Provincia di Forlì-Cesena in Emilia Romagna. Nella formazione del redigendo Piano Strutturale intercomunale dell'Unione si ripropone l'approccio metodologico, sperimentato alla scala vasta dalla Provincia di Forlì-Cesena, consistente nella valutazione di tipo quali-quantitativo, sia per la selezione degli indicatori utilizzati per la stima e, ove possibile, la misurazione dei fenomeni, sia per la definizione dei valori soglia di riferimento per la comparazione, sia infine, per le tecniche utilizzate nella valutazione degli effetti degli interventi di trasformazione proposti dal Piano e lo scostamento (in positivo o in negativo) rispetto allo stato di fatto attuale.

Tale approccio valutativo, di tipo preventivo, in quanto strettamente correlato con il momento decisionale e per conseguenza con la pianificazione territoriale, rappresenta uno strumento di supporto essenziale per la costruzione di un processo attento non solo alle destinazioni d'uso delle singole componenti territoriali, ma anche all'entità delle ricadute ambientali e socioeconomiche che tali destinazioni/decisioni determinano sul territorio stesso.

La valutazione quali-quantitativa adottata per aiutare il decisore politico a delineare le scelte strategiche di assetto per il nuovo Piano Strutturale dell'Unione è stata effettuata a partire dall'analisi dello stato del territorio al momento zero e delle dinamiche evolutive che caratterizzano i sistemi e le componenti territoriali. La valutazione ha riguardato la sintesi interpretativa delle analisi effettuate per ogni singola componente territoriale al fine di formulare un quadro dei limiti alle trasformazioni del territorio ma anche delle vocazioni dello stesso. Sono, quindi, stati definiti gli obiettivi di governo dell'Amministrazione pubblica locale, quale declinazione degli obiettivi di sviluppo sostenibile derivanti dalla normativa e dalla pianificazione sovraordinata.

La valutazione quali-quantitativa adottata ci consente di individuare preventivamente gli effetti che deriveranno dall'attuazione delle singole scelte strategiche operate e renderà, di conseguenza, possibile la selezione, tra le possibili soluzioni alternative, di quella maggiormente rispondente agli

obiettivi generali del Piano. Tale valutazione (utilizzata, inizialmente, sull'analisi dello stato di fatto ed applicata, in seconda battuta, alle scelte da questa derivate) viene effettuata impiegando matrici di impatto di uso consolidato nella pratica della valutazione di impatto ambientale (analisi multicriterio), che riporta gli impatti sui sistemi territoriale ed ambientale (articolati nelle rispettive componenti) derivanti dagli interventi di progetto. I valori quantitativi degli impatti (poi standardizzati e ponderati) vengono ricavati da specifici indicatori o da elaborazioni ottenute tramite modelli di simulazione. Nella fase conclusiva della valutazione multicriterio i giudizi di preferenza per le alternative in esame vengono espressi comparando i valori pesati con valori soglia di riferimento.

Realizzazione di una banca dati

Per valutare il livello di criticità e le opportunità delle componenti territoriali (in particolare si riporterà nel seguito la metodologia operativa utilizzata per l'analisi del sistema della mobilità ed uno studio specifico del traffico locale) allo stato attuale, è stato formulato un set di indicatori quali-quantitativi, presentati in Tabella 1, in grado di rendere misurabile l'entità delle criticità/opportunità e, di conseguenza, permettere la definizione delle scelte strategiche locali nell'ottica di migliorare il territorio e l'ambiente.

Dove è stato possibile, tra gli indicatori di stato sono stati scelti indicatori soggetti a verifica periodica da parte degli Enti preposti alla loro misurazione ed aggiornamento, in grado quindi di permettere una valutazione dell'andamento di un fenomeno nel tempo e soprattutto di consentirne il monitoraggio successivo, con la comparazione tra lo stato attuale della risorsa e il suo stato futuro.

Livello di congestione degli assi viari
Capacità residua del sistema viario
Percentuale di incidentalità per Comune e per asse
Tempi di percorrenza tra i centri capoluoghi di Comune

Tabella 1. Indicatori per il sistema delle infrastrutture per la mobilità.

Qui di seguito si presenta l'esempio valutativo offerto per l'analisi del sistema infrastrutturale viario. La valutazione quali-quantitativa utilizzata, per il sistema sopra citato, supporta ed incrementa, tramite un apposito modello di simulazione, lo schema relazionale di mobilità interna/esterna al territorio locale e nello stesso tempo misura gli effetti in termini di volumi di traffico e gli impatti che le infrastrutture viarie hanno sul territorio.

Tale modello di simulazione si basa su una matrice Origine-Destinazione di spostamenti sistematici (casa-lavoro e lavoro-casa) rilevata nel 14° Censimento della popolazione ISTAT e quindi calibrata e rivalutata sulla base degli asseti insediativi relativi allo stato di fatto e di previsione.

La sostenibilità delle previsioni di P.S.C., rispetto al sistema della mobilità, riguarda in primo luogo la congestione da traffico della rete viaria. Le componenti di progetto che incidono su questo settore sensibile sono le infrastrutture viarie esistenti (rilevate dimensionalmente e qualitativamente sul territorio dell'Unione) e di progetto, gli ambiti consolidati e di trasformazione come origine del traffico per spostamenti casa-lavoro e verso i principali attrattori di popolazione e i centri urbani.

Modelli e metodi per la simulazione dei flussi di traffico

La banca dati creata per l'analisi della mobilità per quanto completa e aggiornata sarebbe di poca utilità al decisore politico se non vi fossero associati strumenti avanzati di analisi ed estrazione di informazioni di livello strategico. L'analisi convenzionale dei dati, per quanto storicamente ben consolidata, ha ricevuto un notevole impulso di innovazione negli ultimi anni a causa della richiesta pressante di proporre suggestioni non unicamente di tipo statistico ed inferenziale ma soprattutto nel contemplare previsioni di scenari futuri di sistemi complessi. Proprio in questo filone si colloca il modello di analisi e il relativo software (TraffixPlanner, 2012) utilizzato in questo lavoro.

TraffixPlanner è un sistema di supporto alle decisioni per la pianificazione e il controllo dei processi e delle infrastrutture di trasporto che sono attivi nel territorio. Partendo da una base di dati variegata e disomogenea, quale quella da noi raccolta, permette di simulare e analizzare i flussi veicolari di persone e merci stimandone il loro valore puntuale per ogni arco stradale di pertinenza e di fornire inoltre previsioni dettagliate su possibili scenari futuri. Uno dei vantaggi del modello sottostante (Boschetti et al., 2008) riguarda la possibilità di gestire reti viarie molto ampie (fino a scala nazionale) mantenendo nel contempo un dettaglio di macro, meso e micro simulazione. L'informazione sul numero di veicoli leggeri e pesanti attesi nell'ora di punta in ogni arco stradale è alla base di molte analisi dettagliate necessarie per la progettazione di nuove aree di espansione o di interventi straordinari quale può essere l'apertura di un nuovo casello autostradale. A queste si aggiungono analisi di secondo livello quali ad esempio le simulazioni di impatto acustico e di inquinamento ambientale che sono richieste dalle attuali normative. Il modello simulativo alla base di TraffixPlanner è una estensione del modello Domanda-Offerta storicamente utilizzato a livello accademico ed industriale. Utilizzato negli ultimi anni dalla Provincia di Forlì-Cesena e da essa empiricamente validato con successo, ha recentemente trovato una ulteriore giustificazione teorica alla bontà delle previsioni nel modello radiativo di previsione dei flussi migratori recentemente presentato dal gruppo di ricerca di Barabasi (Simini et al., 2012). Questo nuovo modello, che integra e supera il classico modello gravitazionale, parte dal principio della distribuzione della popolazione per derivare stime più attendibili nella domanda di flussi negli spostamenti sistematici. Già alcuni anni fa, alcuni di noi (Boschetti et al., 2008) presentarono una estensione del modello alla base di TraffixPlanner, che prendeva in considerazione la distribuzione dei numeri civici, stima indiretta della distribuzione della popolazione, per migliorare la qualità dei risultati della simulazione. Sebbene non vi fosse una dimostrata giustificazione teorica alla base di questa scelta, i dati stimati con tale estensione mostrarono subito una migliore attinenza a quelli reali rilevati sul campo, suggerendo che la strada intrapresa era promettente. Per una dettagliata analisi di come il modello radiativo possa giustificare l'estensione del modello Domanda-Offerta alla base di TraffixPlanner rimandiamo a (Roffilli, 2012).

Caso di studio per una nuova previsione insediativa

I dati raccolti, georeferenziati e raccolti in un sistema GIS, e il modello simulativo sono stati applicati ad un caso di studio reale riguardante un'area che, nella sua ipotesi di massimo sviluppo, interessa una superficie territoriale a destinazione produttiva pari a 98.473 mq ed una superficie territoriale a destinazione residenziale pari a 63.801 mq. L'intervento è localizzato tra la via Emilia (SS9) a Sud, la SP33 ad Est, la bretella di previsione che collegherà il nuovo casello autostradale della A14 e la SS9 ad Ovest, ed il raccordo previsto tra la SP33 e la bretella di collegamento A14-SS9 a Nord; si trova, inoltre, sulla direttrice che collega i centri abitati di Savignano sul Rubicone e Gatteo. Attualmente l'accessibilità stradale è garantita, sia per il traffico leggero che pesante, dalle SS9 e SP33. La SS9 rappresenta il più importante asse di transito che collega l'ambito cesenate-forlivese a quello riminese, e consente l'accesso da e per l'Autostrada A14, sia, in direzione Nord, collegando il casello di Cesena, sia, in direzione Sud, connettendo il casello di Rimini Nord. La SP33 costituisce un importante collegamento con l'ambito costiero, intercettando le direttrici che portano verso mare.

Per stimare il traffico indotto dai comparti produttivi, ci si è avvalsi in prima battuta dello studio (Regione Emilia Romagna, 2011) e di analisi comparative relative a studi analoghi definiti in ambito regionale (EMAS, 2010). Si è, quindi, proceduto ad una valutazione dei coefficienti desunti da tali studi, verificandoli in relazione agli indicatori della Val.S.A.T. del P.T.C.P. di Forlì-Cesena (PTCP, 2006), relativi al sistema economico-produttivo. L'ultima fase dello studio ha riguardato l'assunzione di dati specifici derivati oltre che dal censimento della circolazione stradale del 2011, anche da rilievi effettuati su comparti produttivi già attuati sul territorio in esame, entrambi effettuati dal Servizio Infrastrutture viarie e Gestione strade – Cesena della Provincia di Forlì-Cesena, ed infine attraverso interviste alle aziende operanti nell'ambito territoriale del Rubicone. Da

queste ultime si sono desunti parametri dimensionali variabili da 110 mq S.U.L./addetto a 220 mq S.U.L./addetto. Per stimare, invece, il traffico indotto dai comparti a destinazione residenziale si sono assunti, per ogni singolo subcomparto, il numero di abitanti equivalenti, desunti dal P.R.G. vigente, ed a questi si sono associate le analisi derivate dai dati ACI pubblicati, che si riferiscono al parco veicolare circolante da cui si sono infine dedotti 0,6 veicoli per abitante equivalente. Tutti i dati e i parametri di riferimento utilizzati sono riportati nelle Tabella 2,3, 4 e 5.

INDICATORE	FONTE
165 mq S.U.L./addetto	Val.S.A.T. – P.T.C.P.
400 mq S.U.L./visitatore	Progetto EMAS di Distretto nell'APEA Filagni di Collecchio
1,6 tonnellate/giorno, movimentate per addetto	
1,5 viaggi/giorno generati dagli addetti	
carico medio commerciali 9 tonn/mezzo	Idem con ipotesi che non vi siano "carichi di ritorno"
conversione in veicoli equivalenti: mezzi C2=60%tot.; mezzi C3=40%tot.	Quaderni del Servizio Pianificazione dei Trasporti e Logistica della Regione Emilia Romagna
0,6 quota di addetti in ingresso in auto	Dati rilevati: si considera la fascia bioraria di punta 7:30-9:30
0,1 quota di visitatori in ingresso in auto mattino	
0,1 quota di mezzi pesanti in ingresso	

Tabella 2. Indicatori per il sistema delle infrastrutture per la mobilità.

	COMPARTI PRODUTTIVI			
	Produttivo D2_4	Produttivo D2_5	Produttivo D2_6	TOTALE
SUL	25.055 mq	18.153 mq	6.029 mq	49.237 mq
Addetti	152	110	36	298
Visitatori	63	45	27	135
Automezzi pesanti	27	20	6	53
Flussi auto/giorno (bidirezionali)	582	420	162	1.164
Flussi veicoli pesanti/giorno	54	40	12	106
Veicoli equivalenti	130	96	28	254
Flussi auto orario di punta mattino (ingresso)	97	71	25	193
Flussi veicoli pesanti orario di punta mattino in veicoli equivalenti (ingresso)	5	4	1	10

Tabella 3. Stima del numero di autoveicoli generati ed attratti dalle aree previsionali oggetto dello studio.

COMUNE	POPOLAZIONE	AUTOVETTURE	POPOLAZIONE/ AUTOVETTURE	AUTOVETTURE/ POPOLAZIONE
Savignano sul Rubicone	17.653	10.759	1,64	0,61
San Mauro Pascoli	11.106	6.728	1,65	0,6
Gatteo	8.863	5.222	1,7	0,6

Tabella 4. Stima del numero di autoveicoli circolanti nel territorio dell'Unione dei Comuni del Rubicone. I dati inseriti sono ricavati dal sistema informativo sulla popolazione residente nella Provincia di Forlì-Cesena pubblicati dalla Camera di Commercio-Forlì-Cesena, sul sito: http://www.fc.camcom.it/studiestatistica/popolazione.

	COMPARTI RESIDENZIALI			
	Residenziale C2_11	Residenziale C2_12	Residenziale C2_13_14*	TOTALE
Capacità edificatoria (vol. tot.)	13.559 mc	10.670 mc	26.622 mc	50.851 mc
Abitanti equivalenti	136	106	236	478
Veicoli equivalenti	82	64	142	288
Flussi auto punta mattino (uscita)	82	64	142	288

Tabella 5. Stima dei veicoli equivalenti per ogni comparto residenziale.

Le Figure 6 e 7 mostrano alcuni stralci cartografici degli scenari di traffico veicolare e merci, relativi allo stato di fatto ed indotto dall'attuazione dei comparti produttivi e residenziali. Si consideri che le attuazioni temporalmente compatibili relative al sistema infrastrutturale riguardano i) il nuovo casello autostradale della A14 ed il suo innesto sulla SP33, ii) l'asse di collegamento con la via Molino Vecchio parallela alla SP33, iii) la bretella sulla SS9 che insiste sul territorio comunale di Longiano ed iv) il raccordo tra la SP33 e la bretella sulla SS9 a Longiano.
L'approccio valutativo quali-quantitativo, proposto nel caso di studio presentato, si configura come preventivo, in quanto strettamente correlato con il momento decisionale relativo alla predisposizione del Piano strutturale dell'Unione. Pertanto la situazione potenziale che viene presentata in Figura 7 ci consente di individuare gli effetti che deriveranno dall'attuazione di ipotetiche scelte strategiche, che potranno essere sostituite con altre possibili soluzioni alternative, da verificare attraverso l'applicazione del medesimo approccio metodologico.
La valutazione quali-quantitativa proposta agli Amministratori locali sarà condivisa attraverso l'indizione di una fase partecipativa, extraprocedimentale rispetto l'iter di approvazione del PSC ai sensi della L.R. 20/2000, con associazioni di categoria, progettisti operanti sul territorio, imprese, istituti di credito, enti pubblici, gestori di infrastrutture pubbliche e proprietari di aree interessate da previsioni insediative, con l'obiettivo di valutare le offerte di soluzioni urbanistiche alternative e diversificate, attraverso la raccolta di istanze e suggerimenti.

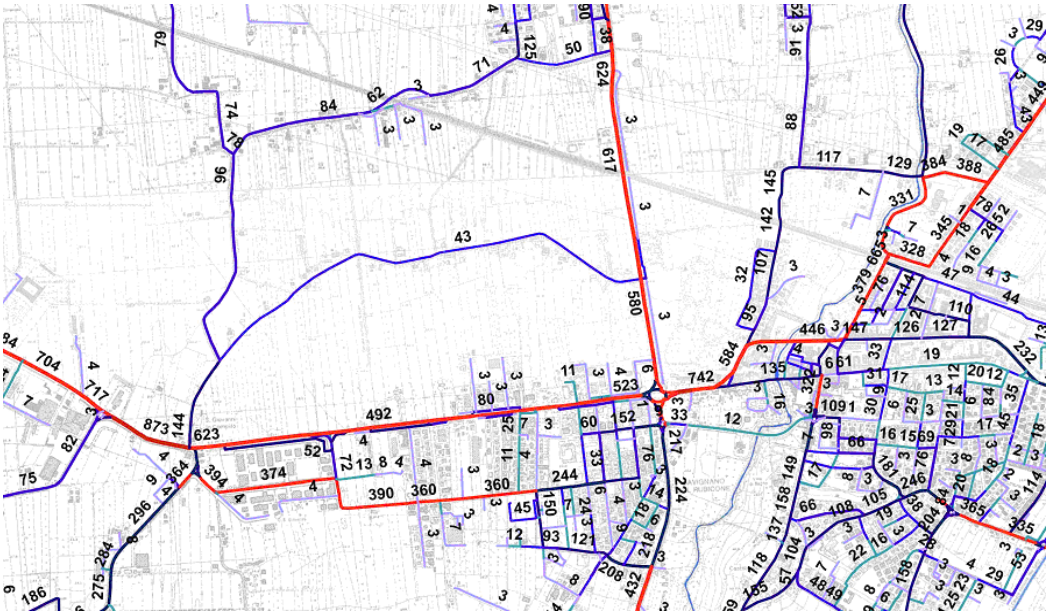


Figura 6. Risultati della valutazione relativa allo stato di fatto del traffico veicolare e merci presente in un'area di interesse nell'ambito dell'Unione dei Comuni del Rubicone in Provincia di Forlì-Cesena - Emilia Romagna.

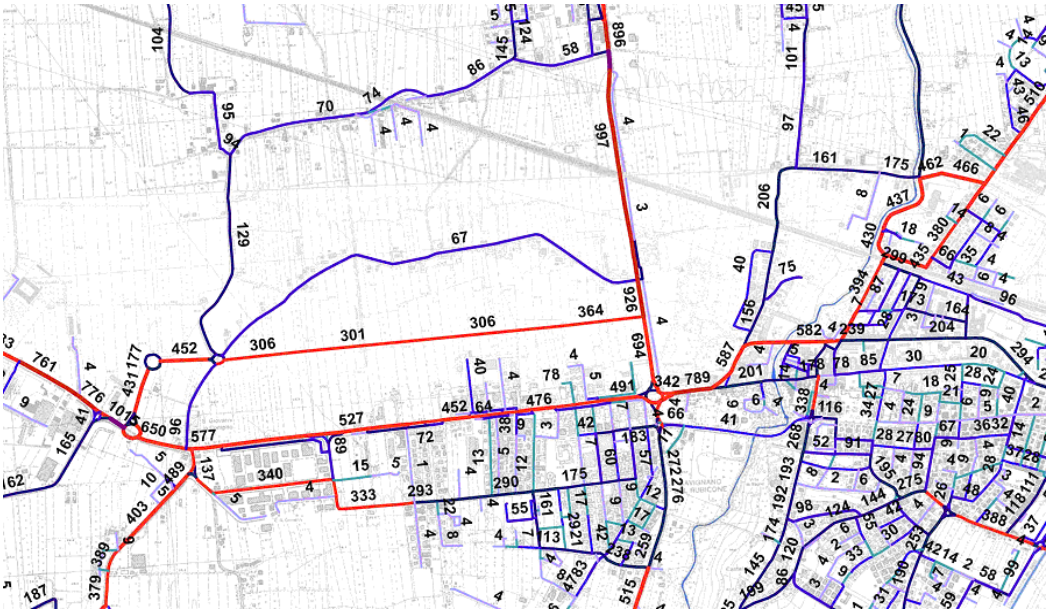


Figura 7. Risultati della simulazione del traffico indotto dall'attuazione di alcuni comparti misti (produttivo-terziario-residenziale) relativi all'area della Figura 6. In entrambe le figure i numeri rappresentano i veicoli equivalenti stimati nell'arco stradale.

Conclusioni

Abbiamo presentato un approccio fortemente quantitativo per l'amministrazione del territorio e l'esplorazione degli scenari progettuali consistente nella fondazione di un sistema a supporto delle decisioni basato su GIS che raccoglie, integra ed elabora dati territoriali di molteplice provenienza.
Sono stati messi a sistema molteplici aspetti del territorio, verificati attraverso gli indicatori di Val.S.A.T.. Queste informazioni sono state connesse ed elaborate con un applicativo avanzato di simulazione del traffico veicolare al fine di prevedere scenari progettuali futuri da fornire agli amministratori dei singoli comuni consorziati in Unione come strumento avanzato di supporto alla pianificazione strategica. Sebbene ci sia stata all'inizio una comprensibile diffidenza nell'utilizzo di questo approccio riportiamo a tutt'oggi un notevole interesse al fine sia della negoziazione interna che nei rapporti con gli stakeholder. Per promuovere ulteriormente verso una platea più ampia e non solo tecnica l'utilizzo di queste metodologie è in progetto la realizzazione di un portale Webgis dedicato alla consultazione delle informazioni raccolte e simulate che rispetti gli standard della recente legge Italiana relativa al Codice dell'Amministrazione Digitale.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Responsabile dell'Ufficio di Piano Ing. Daniele Capitani, gli amministratori e i tecnici dell'Unione dei Comuni del Rubicone che hanno coordinato l'inserimento del progetto all'interno delle politiche attuative locali.

Riferimenti bibliografici

Boschetti M.A., Gabrielli R., Guidazzi A., Maniezzo V., Miserocchi R., Roffilli M., "Distribuzione puntuale dei flussi di traffico simulato", *Proc. of 12a Conferenza Nazionale ASITA - Federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, 2008

EMAS, StudioAlfa per SOPRIP s.p.a., "Progetto EMAS nell'APEA Filagni di Collecchio", 2010

PTCP, Provincia di Forlì-Cesena, "Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale", approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n.68886/146 del 14 settembre 2006

Regione Emilia Romagna, Assessorato mobilità e trasporti, "Quaderni del Servizio Pianificazione dei Trasporti e Logistica, Territorio Imprese Logistica, Stato dell'arte e linee di intervento regionale", 2011

Roffilli M. , "Simulazioni di traffico veicolare e modello radiativo: una interpretazione congiunta", *Proc. of 16a Conferenza Nazionale ASITA - Federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, 2012

Simini F., Gonzales M.C., Maritan A., and Barabasi A., "A universal model for mobility and migration patterns", *Nature*, 484: 96-100, Aprile 2012

TraffixPlanner, www.traffixplanner.com, distribuito da www.bioretics.com, visitato il 3 Set 2012

Val.S.A.T., Valutazione di sostenibilità ambientale e territoriale del P.T.C.P. di Forlì-Cesena, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n.68886/146 del 14 settembre 2006