# Validazione della mappa europea delle aree impermeabili ad alta risoluzione a livello locale

Michele Munafò (*), Vito De Pasquale (**), Daniela Iasillo (**), Vincenzo Barbieri (**)

(*) Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA),
Via Vitaliano Brancati 48, Roma, michele.munafo@isprambiente.it
(**) Planetek Italia s.r.l, Via Massaua 12, Bari, depasquale@planetek.it, iasillo@planetek.it, barbieri@planetek.it

**Riassunto**
Lo scopo di questo lavoro è quello di verificare l'utilizzo dello strato informativo europeo delle aree impermeabili ad alta risoluzione spaziale per lo studio del consumo del suolo a livello comunale in Italia. Le mappe relative alle aree impermeabilizzate e del grado di impermeabilizzazione dei 32 paesi membri dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) più 6 paesi balcanici (Albania, Bosnia-Erzegovina, Croazia, Macedonia, Montenegro e Serbia) sono state realizzate nell'ambito del progetto Geoland 2, per l'EEA, nel 2009-2010, utilizzando immagini satellitari bi-temporali provenienti da satellti Spot e IRS-P6 relative all'anno 2009, aventi una risoluzione spaziale di 20 m. Questi strati informativi sono stati realizzati come un aggiornamento del prodotto analogo realizzato nel 2007-2008 su immagini acquisite nel 2006. I vari layer informativi che costituiscono questo prodotto verranno rilasciati dall'EEA al termine del processo di validazione a livello europeo attualmente in corso. L'EEA ha in programma di aggiornare queste mappe ogni 3 anni che quindi rappresentano un patrimonio informativo che può essere molto valorizzato dalle Amministrazioni Locali per le proprie attività di monitoraggio del territorio. Per una prima validazione e per valutare la possibilità di utilizzare i dati a livello locale, sono stati utilizzati i dati della rete di monitoraggio del consumo di suolo delle aree urbane, disponibili sui principali comuni italiani e pubblicati annualmente sul Rapporto sulla Qualità dell'Ambiente Urbano, a cura di ISPRA e del sistema delle Agenzie Ambientali. L'accordo tra i due dataset è buono se si considera l'estensione delle aree impermeabilizzate. Tale valore diminuisce se si considera il grado di impermeabilizzazione. Questo è principalmente dovuto alle differenti metodologie di estrazione dell'informazione e dagli errori intrinseci del dataset derivato da immagini satellitari.

**Abstract**
The aim of this work is the use of the European High Resolution (HR) Imperviousness layers to study the sealed areas at local level in Italy. In the framework of Geoland 2 project, the high resolution maps of impervious areas on the 32 Countries of EEA (European Environmental Agency) and on the 6 Countries of Balkan area (Albania, Bosnia-Herzegovina, Croatia, Macedonia, Montenegro and Serbia) were created for the EEA in the 2009-2010 using bi-temporal satellite data from SPOT and IRS-P6 sensors of 2008-2009. These layers were realized as un update of similar layers realized in 2007-2008 using satellite data acquired in 2006. Currently, it is on going the validation of the HR Imperviousness layers at European level by the EEA, and the data will be released at the end of this process. As in situ data it has been used the data from the monitoring network of sealed area in urban zones, available for the main Italian municipalities realized by ISPRA and by local environmental agencies. The two dataset shown a good agreement if the comparison is done only on the built-up areas. For the Degree of Imperviousness layer the agreement is lower. This is mainly due to the very different methodology used to extract the two datasets, and in the intrinsic errors in the satellite derived maps.

**Introduzione**

Tra gli obiettivi chiave del programma GMES va considerata la capacità di guardare al territorio europeo per interpretarne lo stato ambientale e territoriale ed individuare i potenziali scenari futuri. Questa visione richiede la conoscenza di territori molto vasti e differenti tra di loro che a livello nazionale o regionale vengono monitorati con diversi strumenti e diverse chiavi interpretative. Per disporre di strumenti omogenei di conoscenza del territorio sono partiti da molti anni programmi come il Corine Land Cover e più di recente progetti per il monitoraggi di singoli temi come acqua, foreste e aree urbanizzate. Uno dei temi di maggior interesse riguarda lo stato di urbanizzazione e quindi di impermeabilizzazione dei suolo in tutta Europa. Per questo nel 2006 l'EEA ha realizzato un progetto di mappatura dei suoli impermeabilizzati in tutta Europa. Questo primo risultato è stato molto utile a livello europeo per avere il quadro complessivo del livello di urbanizzazione. Ma il dato più interessante per chi si occupa di pianificazione è la variazione nel tempo dell'urbanizzazione e il valore del consumo del suolo. Pertanto il progetto Geoland2 ha messo a punto le specifiche di un prodotto di impermeabilizzazione del suolo migliore rispetto al primo esercizio del 2006 e che ingloba anche i cambiamenti. Per dimostrare l'effettiva maturità del prodotto nell'ambito del progetto è stato prodotto un nuovo layer nel 2009. Planetek ha realizzato il prodotto per l'Italia e in collaborazione con ISPRA ha effettuato alcune analisi sul grado di aderenza del prodotto europeo rispetto ai dati raccolti a livello comunale. L'EEA ha in programma l'aggiornamento di queste mappe con cadenza triennale, facente parte di un progetto a lungo termine di monitoraggio del consumo del suolo a livello europeo. Infatti, è attualmente in corso la produzione dell'aggiornamento delle mappe al 2012. Questa presente e futura disponibilità di dati regolarmente aggiornati sullo stato dei suoli impermeabilizzati, rende particolarmente interessante la verifica della sua applicabilità su scala locale dove i dati sono spesso frammentari o del tutto assenti.

**Metodologia di estrazione delle mappe**

La stima del grado di impermeabilità dei suoli utilizzando immagini telerilevate può essere effettuata usando una qualche grandezza che sia relativa alla percentuale di copertura vegetale del suolo. In prima approssimazione, questo tipo di grandezza può essere considerata inversamente correlata con la quantità di superficie urbana impermeabilizzata. Tra i vari indici di vegetazione definiti in letteratura, l'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) è quello più largamente utilizzato (Kawamura et a. 1997, Fung e al. 2000, Slonecker e al. 2001, Braun e al. 2003). Esso presenta, infatti, diversi vantaggi per questo tipo di applicazione, p.es., per come è definito, vengono ridotti gli effetti dovuti alle differenti condizione di illuminazione nella scena, e si possono, quindi, estrarre informazioni anche nelle aree in ombra che sono frequenti in ambiente urbano (Chen et al. 2005). Inoltre, l'NDVI mostra una lieve differenziazione tra le varie specie di copertura vegetale e non è molto sensibile alla struttura della vegetazione. Infine esso è sensibile alle aree di suolo nudo, per cui ha la potenzialità di distinguere anche le aree impermeabili più piccole all'interno di zone completamente vegetate.

Essendo le mappe di impermeabilità dei suoli 2009 realizzate come un aggiornamento dell'analogo prodotto relativo al 2006, il dataset utilizzato comprendeva le immagini bitemporali SPOT e IRS-P6 acquisite nel periodo 2006 (Image2006) e l'analogo dataset composto da immagini relative al periodo fine 2008-2009 (Image2009). Tutte le immagini hanno una risoluzione spaziale di 20 m. Per l'Italia sono state utilizzate 135 scene IRS-P6 appartenenti dataset Image2009, ed una quantità analoga per il dataset Image2006. Tutti i dati sono state forniti ai Service Provider dall'ESA già ortorettificate, con i due dataset tra loro coregistrati con un RMS inferiore a 0.5 pixel (<10 m). Questo pre-processamento è stato completato estraendo, per ciascuna di esse, una maschera che escludesse le aree nuvolose e quelle in ombra. Inoltre, come riferimento, sono state utilizzate le mappe di impermeabilità dei suoli del 2006, FTSP2006 (Tinz, M., 2009).

Il seguente processamento è largamente automatizzato: per ogni scena appartenente ad Image2006 o ad Image2009 è stato estratto l'NDVI e questo calibrato in modo tale da ricostruire il grado di

impermeabilità dei suoli ricavato nel 2006 (FTSP2006). L'assunto è che non ci siano stati cambiamenti significativi all'interno delle aree di built-up estratte nel 2006, nel periodo 2006-2009, quindi, queste aree, dovrebbero presentare lo stesso valore di percentuale di aree impermeabilizzate sia nel 2006 che nel 2009. La calibrazione è basata sul confronto degli istogrammi dei dati ricavati dalle immagini con il dato FTSP2006, ed è effettuato iterativamente più volte con un processo completamente automatizzato. Le singole immagini così calibrate sono state quindi mosaicate sia per il 2006 che per il 2009, dividendo l'Italia in due parti. Questo è stato fatto per rendere più agevole il trattamento di così alto numero di scene. Essendo state utilizzate immagini bitemporali, il valore di NDVI, e quindi anche la percentuale di impermeabilità dei suoli, varia a seconda della stagione. Per tenere traccia di questo, per ogni pixel è stato calcolato il valore massimo e quello minimo relativo all'immagine calibrata (sia per il 2006 che per il 2009).
Il passo successivo è quello di estrarre le potenziali aree che sono state soggette a consumo del suolo nel periodo 2006-2009, oltre che le potenziali aree che nel 2006 erano state erroneamente incluse nelle aree impermeabili. Per fare questo, sono state utilizzate una serie di regole basate sulla percentuale di aree impermeabilizzate nel 2006 e nel 2009 oltre che nella differenza 2006-2009, oltre che in base ad altre regole topologiche. L'output di questo processo è un file raster che contiene una serie di classi che rappresentano differenti livelli di probabilità che un pixel sia un nuovo pixel di built-up. Quindi questa mappa è visivamente controllata da un operatore alla ricerca di eventuali errori di classificazione. Questa parte della catena di processa mento è quella per cui occorre più tempo, ed è stata preparata con una serie di sessioni di training fra i vari service providers. Infine la mappa edita è utilizzata per lo step finale in cui i prodotti finali vengono generati automaticamente.

**Dati in situ**

Il consumo e l'impermeabilizzazione del suolo nelle principali aree urbane italiane figurano tra i temi approfonditi all'interno del Rapporto sulla qualità dell'ambiente urbano (ISPRA, 2011).
Il Rapporto, giunto alla sua ottava edizione, rende disponibili i principali indicatori ambientali sulle città grazie al coinvolgimento delle Agenzie Ambientali delle Regioni e delle Province autonome e alla collaborazione con Enti centrali e amministrazioni locali. Gli indicatori sono relativi alle tematiche di maggiore rilievo per la qualità della vita nei centri urbani, quali: fattori demografici, suolo, rifiuti, mobilità e trasporti, verde urbano, consumi idrici ed energetici, qualità dell'aria.
Per la valutazione dell'impermeabilizzazione e del consumo delle aree comunali interessate sono state completate delle reti di monitoraggio specifiche che ampliano e infittiscono quella utilizzata da ISPRA a livello nazionale. Nell'ultima edizione del Rapporto il monitoraggio ha riguardato il territorio comunale al fine di valutare il consumo del suolo dovuto all'impermeabilizzazione e ad altri usi artificiali quali cave, discariche e cantieri negli anni compresi tra il 1949 e il 2011. Il consumo del suolo è, quindi, collegato all'utilizzo per fini insediativi di suolo extraurbano, agricolo o naturale, come misura della continua cementificazione e impermeabilizzazione di un bene comune, il suolo appunto, la cui disponibilità è sempre più limitata. La stima del consumo di suolo nelle aree urbane viene effettuata attraverso diversi indicatori, tra i quali la percentuale di suolo consumato riferita all'intera superficie comunale, la superficie consumata totale, la superficie consumata pro-capite e l'intensità d'uso del suolo (Munafò et al., 2012).
La metodologia è stata definita al fine di garantire una valutazione del consumo di suolo su scala urbana, omogenea e confrontabile a livello nazionale. La stima è basata su un approccio di tipo statistico campionario puntuale con la classificazione e la fotointerpretazione, la verifica e la validazione, su ortofoto e su altre cartografie disponibili di circa 90.000 punti complessivi, inquadrati in reti di monitoraggio predisposte a livello nazionale e per ogni area comunale studiata. Viene anche stimato, sulla base di altre immagini temporalmente vicine, lo stato di aree obliterate o mascherate nelle ortofoto.

**Aree di studio**

I territori comunali su cui si è effettuata l'analisi appartengono a 51 città italiane e sono elencate in Tabella 1. L'estensione totale è di circa 11.000 km$^2$ pari a circa il 4% del territorio nazionale. I comuni su cui è stato possibile completare l'analisi sono stati 37, in quanto, al momento dell'elaborazione, non erano stati ancora completati e validati tutti i dati delle reti di monitoraggio comunali.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ancona | Campobasso | Milano | Piacenza | Siracusa |
| Andria | Catania | Modena | Potenza | Taranto |
| Aosta | Ferrara | Monza | Prato | Terni |
| Arezzo | Firenze | Napoli | Ravenna | Torino |
| Bari | Foggia | Novara | ReggioCalabria | Trento |
| Bergamo | Forlì | Padova | ReggioEmilia | Trieste |
| Bologna | Genova | Palermo | Rimini | Udine |
| Bolzano | Latina | Parma | Roma | Venezia |
| Brescia | Livorno | Perugia | Salerno | Verona |
| Brindisi | Messina | Pescara | Sassari | Vicenza |
| Cagliari | | | | |

*Tabella 1. Elenco dei comuni italiani il cui territorio è stato oggetto dell'analisi comparativa.*

**Risultati**

La mappa binaria di built-up è stata costruita ponendo ad valore pari ad uno tutte quelle aree che avevano un grado di impermeabilità maggiore di zero. Analizzando, quindi, la percentuale di territorio per ogni comune che risulta impermeabile (quindi con una qualunque percentuale), i risultati sono quelli riportati in Tabella 2. Le colonne relative agli anni 2005-2008 sono state ottenute dai dati derivati dalle reti di monitoraggio delle aree urbane, mentre la colonna denominata "*2009 (TLR)"* si riferisce ai dati estratti dalle mappe ricavate dalle immagini satellitari. Come si può notare dalla tabella, l'accordo è abbastanza buono. Considerando solo il dato 2008-2009, eccetto il caso di Forlì con una differenza pari a circa il 6% negli altri casi le differenze sono limitate ad un massimo di un paio di punti percentuali. Facendo un confronto con gli anni antecedenti al 2008, le differenze sono più marcate, ma in questi casi una parte non determinabile è imputabile ad una reale variazione della superficie impermeabile.

Una successiva analisi comparativa puntuale è stata realizzata sovrapponendo geograficamente i dati relativi alle due basi informative e utilizzando il grado di impermeabilizzazione di ogni cella. Dalla Figura 1 emerge che la componente principale dell'errore potrebbe dipendere dalla minima unità cartografata della cartografia EEA. In generale, l'approssimazione è ottima per le aree ad alta impermeabilizzazione (parte destra del grafico), mentre per valori bassi (tra 0 e 40%) i dati divergono e la cartografia EEA tende a sottostimare il fenomeno, a conferma che il problema è principalmente legato alla non rappresentazione di aree impermeabilizzate, e solo in minima parte al contrario. In particolare si può stimare pari all'11% il valore delle superfici impermeabili non presenti nelle celle considerate completamente permeabili.

| Città | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 (TLR) | Città | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 (TLR) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancona | | | 13,60% | | 12,77% | Padova | | | 41,30% | | 44,80% |
| Andria | | | | | 4,43% | Palermo | 38,10% | | | | 35,99% |
| Aosta | | | | | 23,78% | Parma | | 19,20% | | | 14,55% |
| Arezzo | | | | | 3,90% | Perugia | | | | 12,60% | 10,44% |
| Bari | 37,70% | | | | 40,17% | Pescara | | | | | 47,87% |
| Bergamo | | | | 45,50% | 44,24% | Piacenza | | | 21,40% | | 16,40% |
| Bologna | | | 36,40% | | 31,61% | Potenza | | | 12,90% | | 10,07% |
| Bolzano | | | | 23,40% | 22,90% | Prato | | | 29,60% | | 31,42% |
| Brescia | | | 43,90% | | 49,19% | Ravenna | 13,30% | | | | 7,75% |
| Brindisi | | | | | 5,87% | ReggioCalabria | | | | | 14,39% |
| Cagliari | | 25,40% | | | 29,23% | ReggioEmilia | | | 17,70% | | 12,23% |
| Campobasso | | | | | 15,99% | Rimini | | | 22,90% | | 21,62% |
| Catania | 24,30% | | | | 24,56% | Roma | | | | 26,10% | 26,02% |
| Ferrara | | 15% | | | 7,00% | Salerno | | 28,10% | | | 25,72% |
| Firenze | | | 36,20% | | 38,37% | Sassari | | | | | 5,54% |
| Foggia | 7,40% | | | | 5,12% | Siracusa | | | | | 13,69% |
| Forlì | | | | 16,20% | 10,74% | Taranto | 23,60% | | | | 19,37% |
| Genova | | | 18,60% | | 21,07% | Terni | | | | | 6,64% |
| Latina | | | | | 14,64% | Torino | | | 54,80% | | 66,50% |
| Livorno | | | 21,80% | | 27,56% | Trento | | | | | 15,29% |
| Messina | | | | | 16,37% | Trieste | | | 33% | | 26,17% |
| Milano | | | 61,20% | | 63,53% | Udine | | | 39,30% | | 38,27% |
| Modena | | | 21,70% | | 16,36% | Venezia | | 12,90% | | | 11,28% |
| Monza | | | 47% | | 54,09% | Verona | | | 25,90% | | 25,62% |
| Napoli | | 62,10% | | | 63,36% | Vicenza | | | 26,50% | | 29,86% |
| Novara | | | | | 20,83% | | | | | | |

*Tabella 2. Percentuale di copertura del suolo per i comuni italiani analizzati. I valori dal 2005 al 2008 sono valori di rilevazione a terra puntuali, mentre il valore relativo al 2009 sono estratti dalla mappa derivata dai dati satellitari.*

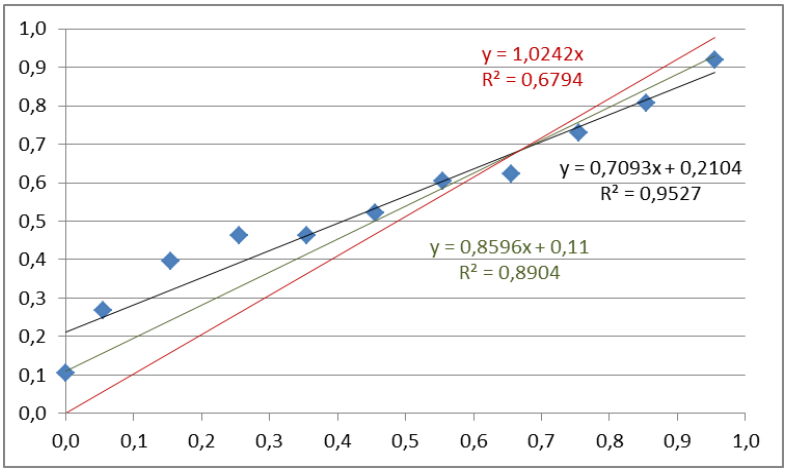



*Figura 1. Confronto tra i dati delle mappe EEA (sulle ascisse) e i dati ISPRA/ARPA (sulle ordinate).*

**Conclusioni**

La progressiva impermeabilizzazione del territorio, legata alle dinamiche insediative e all'espansione delle aree urbane residenziali e delle infrastrutture connesse, con la relativa perdita dei terreni agricoli e naturali permeabili e la frammentazione del paesaggio, è una questione che ha ormai assunto un'importanza fondamentale nell'ambito delle politiche di tutela e salvaguardia del nostro territorio e di una pianificazione attenta alle questioni ambientali locali e globali. Il territorio e il paesaggio vengono quotidianamente invasi da nuovi quartieri, ville, seconde case, alberghi, capannoni industriali, magazzini, centri direzionali e commerciali, strade, autostrade, parcheggi, serre, cave e discariche, comportando la perdita di aree agricole e naturali ad alto valore ambientale e un uso del suolo sempre più estensivo e scomposto, non sempre adeguatamente governato da strumenti di pianificazione del territorio, di programmazione delle attività economico-produttive e da politiche efficaci di gestione del patrimonio naturale.

Poter disporre di una base informativa omogenea per analizzare le trasformazioni e l'impermeabilizzazione del suolo, in grado di rappresentare efficacemente anche la dimensione locale, ma esaustivamente riferibile all'intero territorio nazionale, rappresenta il necessario presupposto per porre un freno al fenomeno. La valutazione comporta necessariamente l'impiego di tecniche e di strumenti di lettura di processi spaziali e di analisi geografica, la definizione del contesto e la comprensione dei limiti dei diversi approcci, anche al fine di una corretta lettura dei dati disponibili. Molto spesso si assiste, infatti, a errate interpretazioni dei fenomeni in atto a causa, ad esempio, della non conoscenza delle modalità di acquisizione dei dati, dell'accuratezza dei risultati o della classificazione utilizzata.

A tal fine, riconoscendo i limiti in termini di accuratezza, disponibilità e omogeneità delle cartografie esistenti relative alla copertura e all'uso del suolo, i dati delle aree impermeabilizzate e del grado di impermeabilizzazione dell'EEA possono costituire una utile e rilevante base di analisi. L'impiego di cartografia come quella analizzata in questo lavoro consente di localizzare sul territorio i fenomeni in questione attraverso la componente cartografica dei dati. Al livello di analisi di dettaglio e su aree di estensione limitata, come possono essere quelle dei piccoli comuni, alcuni limiti permangono (Munafò, 2010). Infatti, dal punto di vista statistico e ai fini della valutazione delle superfici, possono essere sottostimate le dimensioni delle aree urbanizzate o impermeabilizzate che tipicamente sono maggiormente frammentate e che, quindi, hanno maggiori probabilità di avere la singola area omogenea di ampiezza inferiore alla minima unità cartografata o spessore inferiore a quello minimo. Man mano che l'area analizzata cresce di estensione, questa componente tende a diminuire la sua importanza, aumentando, quindi, l'accuratezza complessiva. Già a livello regionale le mappe di impermeabilizzazione dell'EEA possono raggiungere un'accuratezza simile a quella nazionale (superiore all'85% ed oggetto di precisa valutazione da parte dell'EEA in questo momento).

I risultati ottenuti dal confronto con i dati puntuali del monitoraggio dimostrano comunque che è possibile utilizzare i layer informativi europei delle aree impermeabili ad alta risoluzione al fine di assicurare una mappatura del territorio adeguata a fornire una rappresentazione cartografica completa e dettagliata del territorio anche a livello locale e una spazializzazione dei dati di monitoraggio e degli indicatori statistici.

**Riferimenti bibliografici**

Braun, M. and M. Herold (2003), "Mapping imperviousness using NDVI and linear spectral unmixing of ASTER data in the Cologne-Bonn region (Germany)", *Proceedings of the SPIE 10th International Symposium on Remote Sensing*. http://www.geogr.uni-jena.de/~c5hema/pub/spie_paper_mhfinal_4.pdf

Chen, X., L. Vierling, and D. Deering (2005), A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time, Remote Sensing of Environment 98, 63-79.

Fung, T. and Siu, W-L. (2000), "Environmental quality and its changes, an analysis using NDVI", *International Journal of Remote Sensing* 22, 1305-1334.

ISPRA (2012), "Qualità dell'ambiente urbano - VIII Rapporto", ISPRA, Roma.

Kawamura, M., S. Jayamana, and Y. Tsujiko (1997), "Comparison of Urbanization and Environmental Condition in Asian Cities using Satellite Remote Sensing Data", *GIS Development, Proceeding ACRS*. http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ps1/ps2008.asp

Munafò, M. (2010), "Analisi e governo delle trasformazioni". *Rappresentare il territorio e l'ambiente*, Bonanno, Acireale-Roma, 67-78.

Munafò M., Martellato G., Salvati L. (2011), "Il consumo di suolo nelle città italiane", *Ecoscienza*, 2011-4: 10-15.

Slonecker, E.T., D. B. Jennings, and D. Garofalo (2001), "Remote sensing of impervious surfaces: A review", *Remote Sensing Reviews* 20,3, 227-255. (Now published as International Journal of Remote Sensing)

Tinz, M. (2009), "GMES Fast Track Service Precursor on Land Monitoring", *Presentation held at the Geoland 5th Forum*. http://www.gmes-geoland.info/events/download/Tinz_ITD0490_EEA-FTSP-g2Forum-0905214_I1.pdf

# Generalizzazione degli elementi della CTR Toscana e delle banche dati regionali per finalità paesaggistiche: una sperimentazione

Fabio Nardini, Christian Ciampi, Michele De Silva, Michele Ercolini,
Emanuela Loi, Fabio Lucchesi, Ilaria Scatarzi

CIST, Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio, Via Micheli 2, 50121 Firenze (FI),
Tel. 055 2756476, Fax 055 2756484, email: fabio.lucchesi@unifi.it

**Riassunto**
Nell'ambito di un accordo di ricerca attivato tra il Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio e dalla Regione Toscana sono state indagate le potenzialità di strumenti desktop GIS in merito a una generalizzazione cartografica speditiva delle banche dati disponibili in scala di grande dettaglio finalizzata alla realizzazione di una cartografia a scala territoriale in grado di supportare le analisi, gli studi e le ulteriori elaborazioni del gruppo di ricerca.

***Abstract***
*The Project that involves the Italian Institute "Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio" and the Italian Regional Institution "Regione Toscana" is the background of the presented research that was activated to verify the potential use of Desktop GIS computer tools in map generalization. The large scale topographic map data stored in the Regional Database was processed using map generalization models and tools to create a small scale map useful to support landscape analysis and studies.*

## Il contesto della sperimentazione

La sperimentazione presentata è stata sviluppata nell'ambito delle attività di revisione della disciplina paesaggistica del PIT attualmente svolta dalla Regione Toscana anche attraverso un accordo di ricerca con il Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio (CIST)[1]. Il programma di lavoro ha previsto una fase preliminare di sistematizzazione e implementazione del quadro conoscitivo del Piano; in questa fase sono in corso di redazione alcune cartografie descrittive ed interpretative dei caratteri territoriali maggiormente rilevanti sotto il profilo paesaggistico. Alcune specifiche tematizzazioni (rispettivamente relative alle caratterizzazioni geomorfologiche, ecosistemiche, di organizzazione insediativa e rurale del paesaggio toscano), sono state oggetto di un particolare approfondimento descrittivo; gli esiti di tali approfondimenti confluiranno in elaborazioni cartografiche originali. Già nelle fasi iniziali di queste attività si è tuttavia manifestata la necessità di sopperire, ancorché speditivamente e sperimentalmente, alla assenza di un "fondo" topografico aggiornato, in scala adeguata al tema di indagine, ed esteso all'intero territorio regionale. Le elaborazioni in corso di redazione attraverso questo "fondo" potrebbero infatti contestualizzare più efficacemente gli specifici temi indagati. In altre termini, la attuale indisponibilità di una carta recente in scala 1:50.000[2], capace di dar conto della morfologia e dei caratteri di copertura del suolo, della articolazione e gerarchia delle infrastrutture di trasporto, della tessitura degli insediamenti, ha condotto il gruppo di ricerca alla decisione di sperimentare metodi speditivi di generalizzazione delle numerose banche dati geografiche di grande dettaglio

[1] Cfr. www.cist.unifi.it. Il sito raccoglie tutti i materiali istituzionali che descrivono i termini dell'accordo e le attività di ricerca previste.

[2] Regione Toscana ha attivato una serie di programmi ed azioni che porteranno in futuro alla elaborazione di tematismi topografici aggiornati di piccola scala al fine di implementare il DataBase multiscala Topografico.

disponibili. Una questione specifica ha riguardato il tema dell'aggiornamento dei dati; gli archivi informativi fondamentali (costituiti principalmente dal DB topografico multiscala e dalle banche dati prodotte e gestite dal SITA regionale) sono stati implementati attraverso altre fonti più aggiornate, attraverso procedure capaci di costruire archivi omogenei e concettualmente e geometricamente coerenti. In particolare, come vedremo, le informazioni relative all'edificato e alle infrastrutture viarie provenienti dagli archivi cartografici regionali sono state integrate con dati più recenti provenienti rispettivamente dalla banca dati catastale vettoriale SISTER della Agenzia del territorio e dalla banca dati della viabilità, liberamente disponibile, del progetto OpenStreetMap.

**Le fonti cartografiche**

La sperimentazione ha dunque potuto utilizzare le banche dati del sistema informativo territoriale regionale, rese disponibili nell'ambito dell'accordo di ricerca cui si è fatto riferimento[3]. Lo stato di aggiornamento delle banche dati topografiche può essere così descritto: Regione Toscana ha realizzato una cartografia tecnica numerica in scala 1:10.000 che si estende all'intero territorio regionale; i rilievi documentano lo stato dei luoghi alla fine degli anni '90. Per le parti di territorio più densamente edificate le informazioni topografiche sono state rilevate per la produzione della CTR in scala 1:2.000 e, in generale, documentano lo stato dei luoghi descritti ai primi anni del 2000. La banca dati Regionale contiene altresì una serie di dati provenienti dalla banca dati SISTER dell'Agenzia del Territorio aggiornata al marzo 2012 che si è rivelata utile per l'implementazione e l'aggiornamento del dato riferito agli edifici. Anche l'elaborazione delle infrastrutture viarie è intervenuta al partire dal dato corrispondente contenuto nel DB Topografico multiscala regionale; come anticipato, al fine di rendere aggiornato e quanto più possibile diffuso il reticolo viario, l'informazione istituzionale è stata integrata con dati provenienti dalla banca dati *OpenStreetMap*[4]. La sperimentazione si è infine misurata anche con la generalizzazione di informazione cartografica di grande dettaglio relativa alla copertura del suolo. La banca dati regionale dispone infatti di un tematismo di questa natura in scala 1:10.000, aggiornato all'anno 2007 ed esteso all'intera regione[5].

**Metodologia e procedure tecniche**

I problemi metodologici legati alla generalizzazione cartografica oggetto del presente lavoro sono stati affrontati tenendo in considerazione il rapporto tra il tempo disponibile e la qualità della resa finale. Era infatti necessario realizzare in tempi brevi un prodotto efficace per il supporto alle elaborazioni tematiche previste dalle attività di revisione della disciplina paesaggistica del PIT. Alcune valutazioni emerse durante il lavoro, la prima delle quali riguarda la straordinaria flessibilità raggiunta dagli ambienti desktop GIS nel campo della generalizzazione, rendono utile, almeno nella nostra opinione, riferire dei metodi utilizzati.

L'elenco dei temi informativi previsti nella restituzione del fondo topografico 1:50k è il seguente: (i) *sfumo* cartografico descrittivo della morfologia del suolo; (ii) idrografia; (iii) caratterizzazione paesaggisticamente orientata della copertura del suolo; (iv) grafo viario; (v) grafo ferroviario; (vi) edifici. Ciascun *layer* utilizzato nell'*editing* cartografico è il frutto dell'applicazione di metodologie di generalizzazione operate mediante gli strumenti tecnici e informatici a disposizione della ricerca, delle quali si dà conto di seguito.

*sfumo cartografico descrittivo della morfologia del suolo*

La redazione dello *sfumo* ha come base l'informazione contenuta nel DTM a copertura del territorio regionale di passo 20m realizzato dal Laboratorio LaRIST dell'Università di Firenze attraverso la

[3] Dal punto di vista della descrizione del sistema insediativo, vale la pena notare, inoltre, la disponibilità nella banca dati regionale di un tematismo relativo alla "periodizzazione dei sedimi edificati"; sono contenuti inoltre una serie di dati elaborati dal Laboratorio per la Rappresentazione Identitaria e Statutaria del Territorio LaRIST tra i quali si sono rivelati utili allo scopo la e il "modello digitale del terreno con passo 20 m"

[4] Cfr. http://www.openstreetmap.org il sito ufficiale del progetto illustra le finalità e le azioni del progetto e permette di visualizzare e estrarre copia dei dati raccolti dagli utenti.

[5] Il SITA regionale provvede all'aggiornamento incrementale con scadenza triennale di tale copertura; i dati relativi al 2010 saranno resi disponibili a breve.

interpolazione dell'informazione altimetrica disponibile nella CTR[6]. Lo sfumo è il risultato dell'opportuna fusione grafica tra gli elaborati derivati dai processi di *Spatial Analysis* sul DTM (*slope* e *hillshade*) e il DTM stesso. In una carta a scala 1:50k l'utilizzo di un DTM di maggior dettaglio consente di evidenziare in maniera ancora più efficace l'andamento dei rilievi principali e minori, le aree pianeggianti, le valli fluviali e tutto il sistema dei crinali. Per questo motivo questo tematismo non è stato sottoposto a particolari processi di generalizzazione, che si affidano esclusivamente agli algoritmi di interpolazione per la visualizzazione e la stampa di file *raster*.

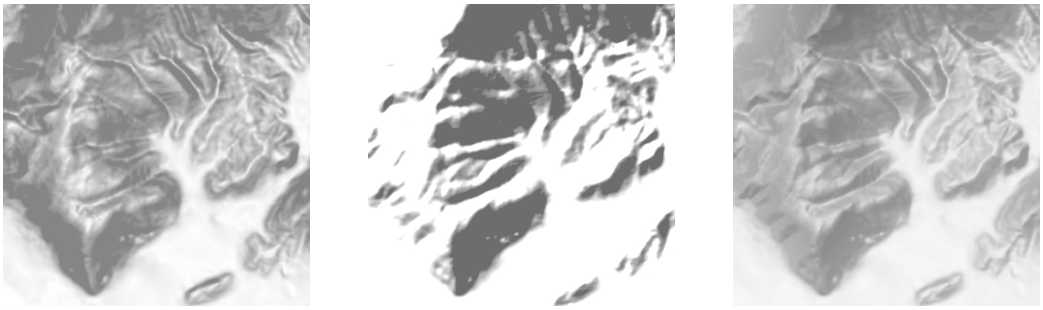


*Figura 1. Modello digitale del terreno: da sinistra, slope, hillshade ed elaborazione finale dello sfumo.*

*idrografia*

Le informazioni riguardanti gli elementi idrografici sono state ottenute a partire dai tematismi presenti nell'archivio regionale toscano. Sono stati utilizzati i seguenti strati informativi, lineari e poligonali: (i) *grafo idrografico regionale* (costituito da tutti gli archi idrici costituenti il reticolo fluviale toscano); (ii) *grafo degli elementi idrici minori* (costituito da scoline e canalette, proveniente dal DB multi scala Regionale); (iii) *aree bagnate* (costituito dalle aree bagnate degli elementi fluviali e lacustri principali, contenute nelle CTR alle due scale); (iv) *aree idriche* (costituito dalle aree umide di pertinenza degli elementi fluviali e lacustri principali, contenute nelle CTR alla due scale).

Non per tutti gli strati informativi è stato ritenuto necessario un processo di generalizzazione. Le informazioni relative alle aree bagnate ed alle aree idriche nonché al sistema degli elementi lineari minori sono state assunte senza modifiche. Questo ha permesso di evidenziare in maniera ben leggibile gli elementi più importanti, contribuendo a caratterizzare il reticolo idrografico principale. Il grafo idrografico regionale, per la sua complessità, ha invece necessitato di una generalizzazione dei suoi elementi. Sono stati sottratti dal grafo tutti gli elementi minori (in parte già compresi nello strato informativo delle scoline e canalette), rimuovendo i corsi d'acqua privi di toponimo. Successivamente le geometrie sono state generalizzate in ambiente ESRI ArcGIS attraverso lo strumento *Smooth Line*. Questo strumento propone due algoritmi che consentono di smussare la forma delle linee originali. Il primo di essi, *Polynomial Approximation with Exponential Kernel* (PAEK[7]), ridefinisce i nuovi tratti calcolando un "percorso" simile a quello degli elementi lineari originali, ma producendo una nuova linea più arrotondata che, fatta eccezione per i punti di chiusura, non necessariamente contiene i vertici della linea di origine. È importante la scelta della tolleranza da considerare per l'elaborazione dei dati, che definisce la dimensione del passo di analisi per l'operazione di *smoothing*: più piccola è la dimensione del passo, maggiore è l'approssimazione della linea generalizzata all'originale. Il grado di tolleranza utilizzato per la generalizzazione del grafo idrografico regionale è stato individuato in 100m.

[6] Sulle modalità di redazione di tale DTM si confronti il contributo di Chiara Nostrato et al. in questa stessa raccolta.

[7] Bodansky, et al, 2002

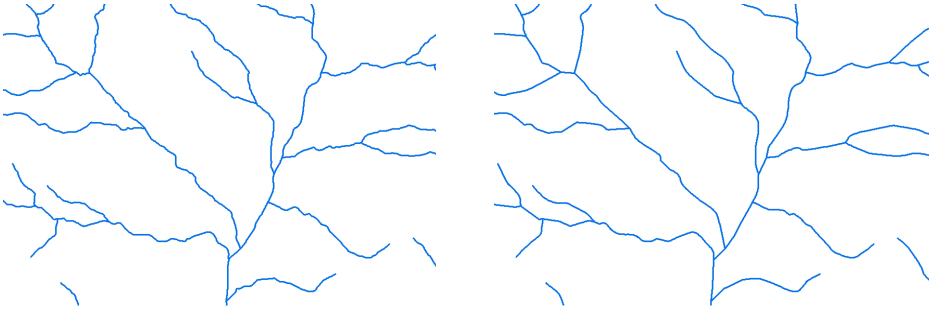


*Figura 2. Grafo idrografico: a sinistra il dato di origine, a destra il dato sottoposto a smoothing.*

*uso del suolo*[8]

Le informazioni di uso del suolo sono state elaborate a partire dalla copertura disponibile in scala 1:10k, realizzata per fotointerpretazione di immagini a colori del 2007, e costruita in coerenza geometrica con la Carta Tecnica Regionale alla stessa scala. Il lavoro di generalizzazione ha comportato una fase preparatoria iniziale, nella quale sono state eliminate le informazioni di viabilità e idrografia (presenti nella copertura come geometrie poligonali) attraverso la creazione di poligoni Thiessen successivamente accorpati ai poligoni limitrofi con un processo di *Eliminate* con criterio *Border*. L'analisi delle caratteristiche dell'uso del suolo a livello di ambito ha permesso di evidenziare più facilmente gli elementi di copertura del suolo che caratterizzavano il territorio da un punto di vista paesaggistico. Una verifica degli indici spaziali ha consentito di valutare le classi di uds presenti, la loro distribuzione e le metriche spaziali di distribuzione.

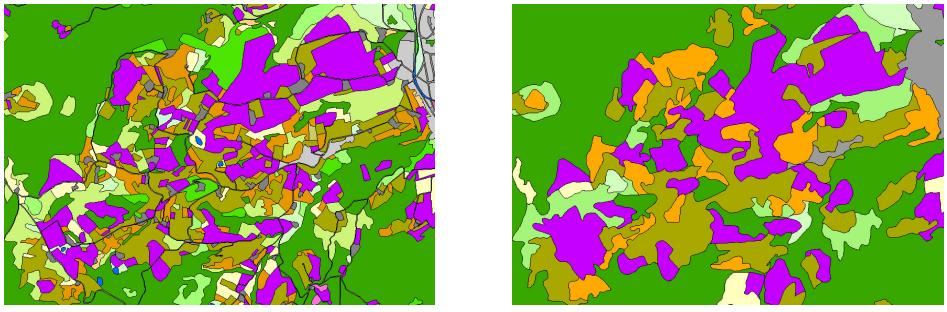


*Figura 3. Uso del suolo: a sinistra il dato di origine, a destra il dato sottoposto a generalizzazione*

Questa valutazione ha condizionato le scelte di generalizzazione tematica successive: (i) riclassificazione e accorpamento di classi di legenda debolmente caratterizzanti; (ii) "enfatizzazione" dei poligoni delle classi di uso del suolo maggiormente significative, ma di dimensione inferiore all'unità minima cartografabile attraverso il loro ingrandimento mediante *buffer* proporzionale alle caratteristiche geometriche del poligono; (iii) eliminazione dei poligoni inferiori all'UMC secondo un criterio di affinità delle classi di legenda agricole (2xx) e naturali e seminaturali (3xx).Le fasi successive hanno riguardato la generalizzazione geometrica vera e propria: (i) arrotondamento dei poligoni attraverso una operazione di *smoothing* (passo 50m); (ii) controllo topologico realizzato imponendo il rispetto delle regole *Must not have overlaps* e *Must not have gaps*.

[8] Sul tema della generalizzazione delle coperture di uso del suolo per finalità paesaggistiche, si confronti il contributo di Ilaria Scatarzi et al. in questa stessa raccolta.

*grafo viario*

Il Grafo viario della Regione Toscana (da qui in avanti GRT) costituisce il fondamentale nucleo delle informazioni utilizzate per questa categoria informativa. È stato tuttavia ritenuto utile sperimentare l'implementazione del GRT con il grafo *OpenStreetMap* (OSM), il quale, almeno per alcune aree della Toscana, conteneva elementi non altrimenti documentati. In ambiente ESRI ArcGIS i singoli archi viari del GRT sono stati trasformati in punti; ciascuno di essi è stato convertito nei propri vertici. Gli elementi lineari del grafo OSM sono stati spezzati in corrispondenza degli elementi puntuali di inizio e fine del GRT impostando una tolleranza di prossimità pari a 10m. Successivamente è stato creato un nuovo tema in cui ciascun arco del GRT è stato convertito nel proprio punto intermedio. Attraverso una selezione spaziale sono stati individuati i tratti del grafo OSM "spezzato" che non coincidevano con il dato puntuale del GRT. Tali tratti sono stati aggiunti al GRT qualificandoli con un attributo utile a distinguere l'origine di ciascun elemento della copertura finale. Evidentemente in questa fase il grafo integrato presentava una serie di "nodi appesi" in corrispondenza delle soluzioni di connessione tra gli archi provenienti dall'una e dall'altra fonte. La correzione topologica di questo problema è stata ottenuta imponendo il rispetto della regola *must not have dangles*. Mediante la validazione della topologia così impostata è stato possibile selezionare tutti gli errori e correggerli mediante i comandi di *Snap*, *Extend* e *Trim* (la tolleranza impostata è stata di 15m). Nel risultato finale i tratti sconnessi sono risultati quasi del tutto eliminati. Infine si è proceduto a integrare gli attributi gerarchici di ciascun arco ereditati dalle proprie fonti. La gerarchia prevede 9 classi: (i) autostrade e superstrade; (ii) strade statali; (iii) strade regionali; (iv) strade provinciali; (v) strade comunali principali; (vi) strade comunali secondarie; (vii) altre strade comunali; (viii) strade private e di servizio; (ix) piste e rampe di accesso.

Il grafo così integrato e aggiornato è stato successivamente sottoposto a una generalizzazione finalizzata a ridurne ponderatamente il numero dei tratti. L'ambiente ESRI ArcGIS mette a disposizione una serie di strumenti dedicati alla generalizzazione cartografica e in particolare riserva alla viabilità due strumenti: *Thin Road Network* e *Merge Divided Roads*. Il primo strumento[9] permette di ridurre il numero di tratti di una maglia viaria interconnessa sulla base di due parametri: la gerarchia dei tratti (*Hierarchy Field*) e la lunghezza minima (*Minimum length*), che essi devono avere per non essere esclusi. Per la verità lo strumento non elimina definitivamente i tratti che giudica non gerarchicamente necessari ma attribuisce loro un valore "1" nel campo che accoglierà il valore di "invisibilità" (*Invisibility Field*). A seguito di una serie di sperimentazioni e verifiche si è stabilito di impostare come lunghezza minima 500m. In tal modo lo strumento ha distinto i tratti inferiori a 500m che non risultavano necessari per connettere due nodi della maglia viaria qualora ve ne fossero altri di gerarchia superiore. Il risultato è stato poi sottoposto allo strumento *Merge Divided Roads*, che permette di riunire due tratti paralleli in un unico tratto sulla base della distanza massima tra i tratti paralleli e sulla base di un attributo che individui la afferenza dei tratti paralleli alla medesima classe. Tale strumento si è reso molto utile, per esempio, per ridurre le corsie di autostrade, superstrade e viali ad un unica linea. Lo strumento richiede come parametri essenziali: la distanza entro la quale deve processare i due tratti paralleli di viabilità (*Merge Distance*) ed il campo della tabella attributi sulla base del quale deve considerare due tratti paralleli afferenti alla medesima classe (*Merge Field*). A seguito di una serie di sperimentazioni si è quindi stabilito come distanza massima tra tratti paralleli (*Merge Distance*) il valore di 25 m.

Il grafo integrato generalizzato così ottenuto è risultato quindi correttamente diffuso sul territorio, sufficientemente "denso" per una lettura della carta in scala 1:50.000 e privo di duplicazioni di corsie.

[9] *Thin Road Network* necessita di una serie di impostazioni che l'utente deve prioritariamente stabilire come la proiezione geografica del dato o la scala di riferimento della mappa e, in alcuni casi richiede che il grafo sia sottoposto ad alcuni controlli topologici prima di poter essere processato. Per approfondimenti si rimanda alla documentazione allegata al software ESRI ArcGIS.



*Figura 4. Grafo viario: a sinistra il grafo originario, a destra il grafo sottoposto a generalizzazione.*

*grafo ferroviario*
Il Grafo Regionale delle Infrastrutture Ferroviarie presente nel DB multiscala Regionale alla scala nominale di 1:10.000, perfettamente aggiornato e senza problemi di duplicazione dei binari paralleli, è stato utilizzato senza effettuare alcuna modifica.

*edifici*
La fonte geometrica fondamentale per la costruzione dello strato relativo agli edifici è stata la Carta Tecnica Regionale Toscana (CTR); l'edizione 1:10k, che copre l'intero territorio, individua i poligoni degli edifici attraverso la proiezione orizzontale degli edifici "isolati"; l'edizione in scala 1:2k, disponibile per le aree più densamente edificate, distingue negli isolati i poligoni relativi ai singoli corpi di fabbrica. Per le ragioni specificate poco sopra, queste informazioni sono state integrate con quelle di provenienza catastale aggiornate al marzo 2012. L'integrazione è avvenuta sia sulla base di analisi di relazione spaziale, sia sulla base di principi di generalizzazione cartografica. Le due fonti CTR sono state in primo luogo integrate: in ambiente ESRI ArcGIS sono stati selezionati i poligoni presenti nella CTR 1:2k che non si intersecavano con i poligoni della CTR 1:10k. Tale selezione è stata sottoposta ad un processo di generalizzazione al fine di uniformarne la geometria con quella degli edifici provenienti dalla CTR 1:10k; in particolare, ai poligoni presenti nella selezione è stato applicato il comando *Eliminate* al fine di fondere tra di loro i poligoni contigui. Al risultato di questa fusione è stato poi applicato il comando *Simplify Building* in modo da semplificare le geometrie dei poligoni mantenendo però le forme essenziali e la dimensione dell'edificio. *Simplify Building* richiede l'impostazione di due parametri: la tolleranza di semplificazione (*Simplification Tolerance*) e la superficie minima dei poligoni da mantenere al termine della semplificazione (*Minimum Area*). Alcuni test hanno permesso di scegliere il valore di 25m per la tolleranza di semplificazione e di 50m$^2$ per la superficie minima dei poligoni da mantenere. Con la medesima procedura la banca dati realizzata è stata integrata con i poligoni descrittivi di fabbricati provenienti da fonte catastale.
Le operazioni successive hanno riguardato la generalizzazione cartografica della banca dati integrata. L'ambiente ESRI ArcGIS dispone di una nutrita serie di strumenti e dedica al tema degli edifici uno strumento molto potente: *Resolve Building Conflicts*. Questo *tool*, in estrema sintesi, permette di effettuare una serie articolata di operazioni sulle geometrie da generalizzare: gli edifici vengono traslati e ruotati in funzione della loro prossimità a elementi cartografici quali corsi d'acqua, specchi d'acqua, strade o ferrovie; i poligoni degli edifici troppo piccoli per una corretta visualizzazione vengono ingranditi. È utile precisare che le tutte le scelte sono coerenti con la scala di riferimento della mappa generalizzata desiderata (*Scale Reference*), e che è necessario definire preliminarmente la precisa vestizione cartografica di ciascun tematismo poiché il software opera le trasformazioni in base agli elementi grafici della mappa e non in base agli elementi geometrici del dato geografico. L'esecuzione del comando *Resolve Building Conflicts* richiede che siano

specificati i tematismi che costituiscono una barriera per la generalizzazione dei poligoni (*Input Barrier Layers*) come l'idrografia, la rete viaria o la rete ferroviaria; a ciascun "tematismo barriera" è possibile attribuire un valore pari alla distanza dal bordo alla quale debbono esser mantenuti gli edifici generalizzati. Nel caso in esame è stata impostata una distanza di 15m per tutti i tematismi barriera ad eccezione della viabilità per la quale è stato specificata una distanza pari a 0m affinché i poligoni generalizzati dell'edificato potessero addossarsi agli elementi grafici della viabilità. Gli altri due parametri importanti riguardano la distanza che deve essere mantenuta tra i poligoni dell'edificato (*Building Gap*) e la dimensione minima del poligono generalizzato (*Minimum Allowable Building Size*). Nel caso illustrato gli edifici generalizzati hanno mantenuto una distanza reciproca di 15m e la dimensione minima del lato del poligono dell'edificio generalizzato è pari a 25m. Il risultato dell'applicazione dello strumento ha generato dunque un tematismo poligonale i cui elementi rappresentano gli edifici generalizzati la cui distanza da idrografia e ferrovie è di almeno 15 m, la distanza minima dagli elementi grafici della viabilità è pari a 0m e la dimensione minima di ciascun lato del singolo edificio è pari ad almeno 25m (0,5 mm in scala 1:50k).
Nei vari passaggi si è posta particolare attenzione al mantenimento degli attributi originari contenuti nella Carta Tecnica Regionale; in particolare l'attributo "CODICE", che individua la tipologia di edificio a cui si riferisce il singolo poligono. Tale accorgimento permette di distinguere facilmente gli edifici civili da quelli industriali e poterli quindi vestire correttamente in fase di redazione cartografica.

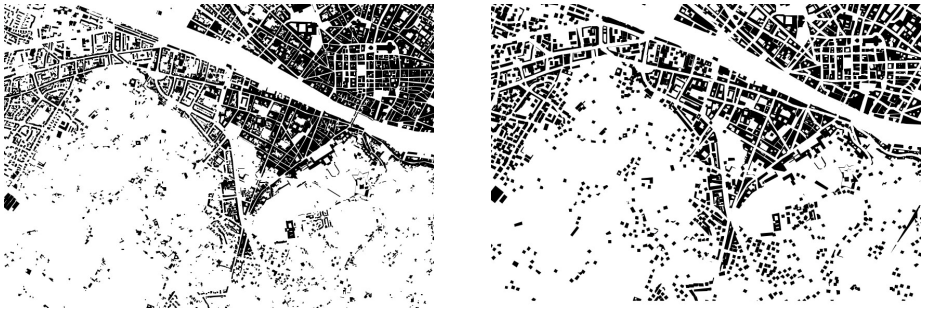


*Figura 5. Edifici: a sinistra il dato originario, a destra il dato sottoposto a generalizzazione.*

**L'editing cartografico**

A ciascuno strato è stato associato uno stile di vestizione che rendesse comprensibile sia le caratteristiche dei singoli elementi sia le loro relazioni; questo aspetto riguarda la finalità di indagine paesaggistica che caratterizza la ricerca. Le scelte dei simboli e dei cromatismi degli elementi cartografici tendono a evidenziare i rapporti spaziali e ad enfatizzare i caratteri paesaggisticamente rilevanti: ciò ha consentito una rappresentazione efficace alla scala 1:50k delle trame agricole caratterizzanti, per esempio, dei grandi paesaggi agricoli di pianura, fornendo un importante supporto per le indagini relative agli aspetti rurali del paesaggio toscano.
Al fine di rendere maggiormente accessibile l'esito delle sperimentazioni, le vestizioni dei singoli tematismi e l'elaborazione dell'*output* cartografico finale è stato realizzato in ambiente QuantumGIS anche in coerenza con le scelte che la Regione Toscana ha intrapreso in merito all'implementazione e promozione degli strumenti GIS *open-source*.



*Figura 6. Estratto in scala 1:50.000 dei primi risultati della sperimentazione.*

**Conclusioni**

L'avanzamento tecnologico nel campo della potenza di calcolo informatico e lo sviluppo di software sempre più completi rende possibile affrontare le complessità di elaborazione delle operazioni di generalizzazione utilizzando *personal computer* in ambiente *desktop* ottenendo risultati soddisfacenti se rapportati al tempo di elaborazione dei risultati. Gli strumenti *hardware e software* largamente diffusi si dimostrano sufficientemente potenti anche per affrontare le operazioni di integrazione ed aggiornamento significativamente complesse appena descritte.

La sperimentazione ha riguardato metodi di integrazione dei contenuti con dati provenienti da altre fonti. Su questo secondo aspetto vale la pena proporre una osservazione particolare. Stiamo assistendo ad una crescita impetuosa della disponibilità di dati la cui fonte è costituita dall'opera di soggetti non istituzionali. Non dovrebbero essere trascurate le conseguenze di iniziative come queste anche nelle pratiche istituzionali ed "esperte" di produzione di informazione geografica. Anche se il "fornitore" del dato proveniente da banche dati libere di questo tipo non può essere considerato uno specialista, la comunità si autoregola e si autocontrolla definendo un livello di qualità del dato che può essere ritenuto, almeno entro specifiche attività, perfettamente sufficiente.

L'eterogeneità delle fonti presenta un problema non trascurabile: l'integrazione di dati provenienti da fonti diverse comporta spesso la necessità di sottoporre le informazioni a vari processi di trasformazione il cui esito deve essere costantemente verificato.

**Bibliografia**

Bodansky, E.; Gribov, A.; Pilouk, M. (2002) *Smoothing and Compression of Lines Obtained by Raster-to-Vector Conversion*, LNCS 2390, Springer, p. 256-265,

Chilton, S. (2009) *Crowdsourcing is Radically Changing the Geodata Landscape: Case Study of Openstreetmap*, Proceedings of the 24th International Cartographic Conference, Santiago de Chile, Chile, 15–21 November 2009

ESRI (1996) *Automation of Map Generalization, The cutting-Edge Technology*, ESRI White Paper Series

Fritz, S. et al. (2009) *Geo-Wiki.Org: The Use of Crowdsourcing to Improve Global Land Cover*, Remote Sensing 2009, 1, 345-354

Lucchesi, F. et al. (2009) *La periodizzazione della crescita urbana. Una banca dati dei sedimi edificati derivati dalla CTR toscana*, Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, Bari

McMaster, R; Buttenfield, B. (1991) *Map generalization: Making rules for knowledge representation*, Longman

McMaster, R; Shea, S. (1992) *Generalization in Digital Cartography*, Association of American Cartographers

Rumor, M.; Savino, S.; Congiu, S.; De Gennaro M.; Zampieri, A. (2011) *La generalizzazione cartografica automatica: la soluzione per la cartografia del futuro*, 150 Anni di Cartografia in Italia, Atti Convegno Nazionale Associazione Italiana Cartografia, Modena

Savino S., Rumor M., Congiu S. (2011) *Tecniche di generalizzazione cartografica dalla grande alla media scala*, 15a Conferenza Nazionale ASITA, Parma

# Tre anni dopo il terremoto a L'Aquila: il monitoraggio di una emergenza che continua

Francesco Nebbia

A.G.A.T., Associazione Geografica per l'Ambiente e il Territorio, Via Guattari 60, 00172, Roma,
nebbiafran@tiscali.it oppure info@agatweb.it, Tel. 328/7388035

**Sommario**
Partendo nel 2009 da una prima esperienza significativa a L'Aquila, come soccorritore della Protezione Civile, ho dato un seguito al mio lavoro di ricerca facendo compilare agli aquilani 140 questionari che hanno indagato sulla situazione abitativa e lavorativa dei terremotati. Il lavoro è il risultato di una lunga e complessa indagine che ha avuto il duplice scopo di approfondire l'emergenza sismica nei mesi successivi al terremoto, fino a giungere a tre anni dall'evento, e di analizzare gli aspetti socio-demografici e geografico-percettivi di questo territorio sensibile. L'utilizzo dei GIS e delle moderne geotecnologie ha ricoperto un ruolo fondamentale, soprattutto per la valutazione dei danni ai beni e agli edifici, nonché per cercare di ottenere tutte le risposte possibili fornite dal territorio e cioè quelle informazioni che riguardano l'analisi dettagliata dei rischi, la pianificazione preventiva di progetti di prevenzione e la didattica del rischio.

**Abstract**
Starting in May 2009 like rescuer with the Italian Civil Defence, I realized in two years an important study about L'Aquila earthquake and I drew up 140 questionnaires from earthquake victims. I studied their state of crisis, their state of affairs and their employment status and I gave them the possibility to express a personal belief or a individual judgment about the urban rebuilding. Today there is only a real question: what's happened in L'Aquila? Using the Geographic Information Systems and analyzing the Digital Terrain Model of this area, I had the possibility to create a good and complete work, relating social and psychological research, prevention programs and didactic unit on seismic hazard.

In occasione dei lavori della 16° Conferenza Nazionale ASITA, all'interno della sessione "Analisi e monitoraggio delle emergenze ambientali e degli ambienti sensibili", si porta all'attenzione del Consiglio scientifico lo studio ed un metodo di analisi dell'emergenza ambientale che si è verificata a L'Aquila nel mese di aprile 2009 e che si è protratta nei tre anni successivi.
Più di duecento metri di sedimenti lacustri e alluvionali: ecco cosa condanna L'Aquila a ballare così spesso e, ogni tre secoli in media, a fare i conti con terremoti devastanti. Ma dal 2 febbraio 1703 al 6 aprile 2009 sono accadute molte cose che avrebbero dovuto limitare il carico di morte della scossa delle 03:32. Il terremoto che quella notte colpì L'Aquila, e altri 56 comuni limitrofi, è stato un evento sconvolgente (Fig.1). Per comprendere la reale gravità di questo sisma non è sufficiente dare qualche dato tecnico sull'Epicentro, sulla Magnitudo, sull'area coinvolta, sui decessi. Alle ore di paura subito dopo il sisma sono seguiti giorni di nervosa attesa da parte delle quasi 70.000 persone coinvolte. Mesi di vita in tenda e sistemazioni abitative più o meno definitive: ad un anno dal sisma tutti gli sfollati hanno avuto una collocazione ma la loro vita era già da mesi cambiata radicalmente.

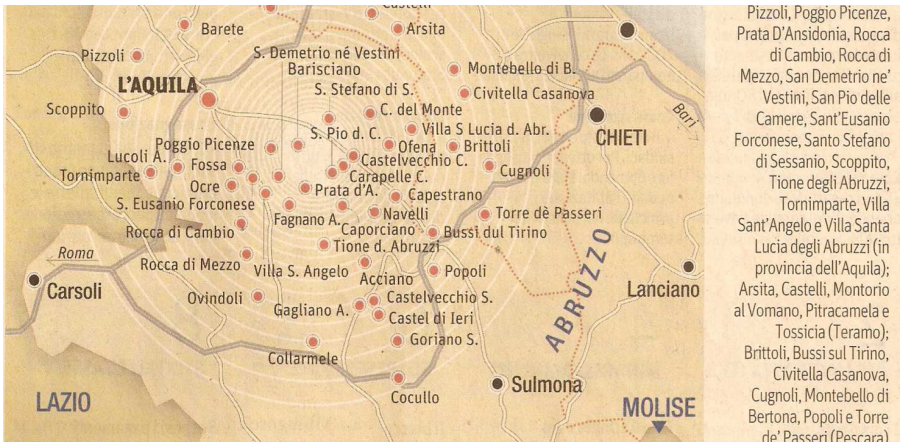



*Figura 1. La Mappa degli aiuti: i primi 49 comuni compresi nell'area sismica (tratto da Il sole 24 ore, "Abruzzo. Gli aiuti per la ricostruzione", edizione straordinaria gratuita per la popolazione colpita dal terremoto in Abruzzo, mensile – Anno 4 n.1/2009, Luglio 2009).*

Prima del terremoto ben due terzi della popolazione del comune abitava nel capoluogo (centro storico e zone urbane adiacenti), mentre solo un terzo era residente nelle frazioni e nei nuclei periferici. Oggi, nel 2012, la periferia è diventata numericamente più rilevante del capoluogo, ospitando oltre la metà della popolazione residente; il capoluogo ha perso infatti un terzo degli abitanti, mentre il centro storico ha subito un vero tracollo.

Per capire la portata di questo si deve osservare prima di tutto che il paesaggio aquilano ha subito una cruciale trasformazione e ha risentito di un netto cambiamento di prospettiva, di un processo di ri-cultura, di una metamorfosi urbana. E' proprio in questo cambiamento repentino della realtà locale da ricercare il nuovo comportamento collettivo della comunità, che è mutato in funzione della perdita del paesaggio urbano: dispersione abitativa e svuotamento del centro storico. Il volto sfregiato di L'Aquila ha necessariamente spinto a proporre una nuova faccia della città, che sappia legare passato e futuro, rinnovando quel patto in cui, all'origine, un territorio di diversi centri aveva deciso di rappresentarsi in una città. Di nuovo si dovrà allora condividere una forma per L'Aquila, che non potrà essere riassunta nella sola ricostruzione del centro storico, perché esiste oramai una nuova ed estesa entità insediativa, con l'obiettivo di dare una qualità configurativa e una modalità organizzativa alla vita dei suoi abitanti in tutte le sue componenti.

Particolare attenzione dovrebbe essere rivolta alle categorie più deboli, rappresentate dagli anziani, dai giovani, dalle donne e dai disoccupati della città. La riflessione da fare è quanto le nuove realtà urbane presenti a L'Aquila, imposte e create dal terremoto, pregiudichino la forma passata della città, anche da un punto di vista strettamente geografico e naturalistico. In effetti le Istituzioni nazionali e locali sembrano essere in balia di due aride logiche: la prima è quella realizzativa, che impone la costruzione di insediamenti un po' ovunque pur di raggiungere le capienze previste, e l'altra è quella del tempo, che impone ricostruzioni rapide che non tengono conto della demolizione delle vecchie realtà territoriali.

Lo presente ricerca è il risultato di una lunga e complessa indagine diretta, con il duplice scopo di approfondire l'emergenza nei mesi successivi al terremoto, fino a tre anni dall'evento, e di analizzare gli aspetti socio-demografici e geografico-percettivi di questo territorio sensibile. Per capire il tracollo subito da L'Aquila si è dapprima analizzata la trasformazione del paesaggio e poi è stato individuato il cambiamento di prospettiva dovuto alla metamorfosi urbana.

Per un approccio corretto a queste problematiche è opportuno non trascurare la dimensione del territorio, da intendere come quell'area comune complessa, esposta a rischio, caratterizzata da specificità e peculiarità proprie. Se da una parte è vero che per definire il livello di rischio di un'area occorre conoscere la sua sismicità, cioè quanto spesso avvengono i terremoti e quanto sono forti, dall'altra è necessario conoscere il territorio nella sua interezza, nella sua unicità culturale. Si parla di un'identità in evoluzione, di un'unica realtà in movimento, di un complesso profilo culturale e memoriale; concepire il paesaggio solo come una potenziale area esposta a rischio, è riduttivo, quasi dispregiativo.
Il rischio è anche una questione di scala poiché un evento che appare come catastrofico a livello locale, può non esserlo ad una scala più ampia e viceversa; le aree a rischio possono poi essere classificate secondo l'intensità e il numero dei fenomeni tali da turbare i precedenti equilibri tra uomo e natura. Il passaggio alla nozione di rischio territoriale permette di sottolineare che il rischio appartiene ad un territorio, così come è stato costruito nel tempo dalle interazioni tra uomo e spazio fisico, tra natura e cultura. Le aree italiane a rischio sismico non possono e non devono essere caratterizzate da una edilizia abitativa che risulti approssimativa e che figuri vantaggiosa solo per i costruttori disonesti, come se il nostro Paese fosse una gigantesca torta da spartirsi. Appalti, subappalti, commesse, indotto pubblico e privato, posti al sole e posti in villa. Negli ultimi anni a livello europeo sono state elaborate nuove norme per le costruzioni in zone sismiche, che hanno garantito alle nuove abitazioni una maggiore sicurezza; anche l'Italia, che si è vista coinvolta e che ha ricevuto l'obbligo di adeguarsi a tali norme, deve seguire le indicazioni della normativa sismica prevista dalle nuove Norme Tecniche, anche se già dal 1974 erano già in vigore le norme per le costruzioni in zona sismica: cosa sarebbe successo a L'Aquila se le case fossero state costruite con criteri antismici?
Per il futuro le azioni preventive dovrebbero essere volte ad individuare con maggior precisione le zone soggette a rischio sismico e ad indicare gli interventi necessari in tali zone per evitare, o ridurre al minimo, le vittime e i danni in caso di terremoto. Senza dubbio la prima forma di prevenzione è la costruzione di edifici, ponti, strade, dighe, aeroporti, che rispettino la nuova normativa antisismica, "la quale stabilisce regole precise per la scelta corretta dei terreni su cui costruire, dei materiali da utilizzare, e definisce le caratteristiche architettoniche delle abitazioni" (Neviani I., Pignocchino Feyles C., 2004). Ovviamente nessuna di queste misure preventive è in grado di eliminare del tutto i rischi connessi con un terremoto, soprattutto quando si tratta di un evento di magnitudo molto elevata, tuttavia ciascuna di esse può contribuire in modo significativo a ridurre i costi in termini di vite umane e di disagi per le popolazioni.
Nella prassi, in particolare nei piani di gestione del rischio e delle emergenze, prevale per motivi di praticità un approccio di tipo tecnico e quantitativo, che permette di delimitare delle zone a rischio, di stabilire delle soglie di rischio e di porre quindi dei vincoli in termini di pianificazione; l'affermazione di questa interpretazione tecnica, non deve tuttavia nascondere il fatto che il rischio è un fenomeno complesso, dalle molteplici sfaccettature che coinvolgono anche il geografo.
Gli strumenti moderni della geografia, che fanno principalmente riferimento alle geotecnologie, i G.I.S. – *Geographic Information Systems* – e i visualizzatori di immagini da aereo e da satellite, sono in grado oggi di fornire delle risposte per l'analisi dettagliata dei rischi, per la pianificazione preventiva di progetti di prevenzione e per la didattica del rischio. Lo scopo, infatti, "della scienza dell'informazione geografica è fornire metodi e strumenti per trasformare le informazioni spaziali in mappe, che descrivano e analizzino i problemi che si vogliono studiare" (Boffi M., 2004).
Il principale ruolo svolto dai G.I.S. è di fornire un modello del mondo reale, attraverso il quale i fenomeni possano essere visualizzati, studiati, analizzati nello spazio; la struttura logica e fisica su cui questi si basano è costituita in primo luogo da un sistema per la gestione dei dati, il database. Un database territoriale di una città, ad esempio come L'Aquila (Fig. 2), può contenere informazioni ed aspetti molto diversi: il sistema viario, la rete dei servizi di trasporto pubblici, la struttura degli edifici; ma può anche riguardare la popolazione, la qualità dell'ambiente urbano, il traffico, i centri di maggiore interesse commerciale.

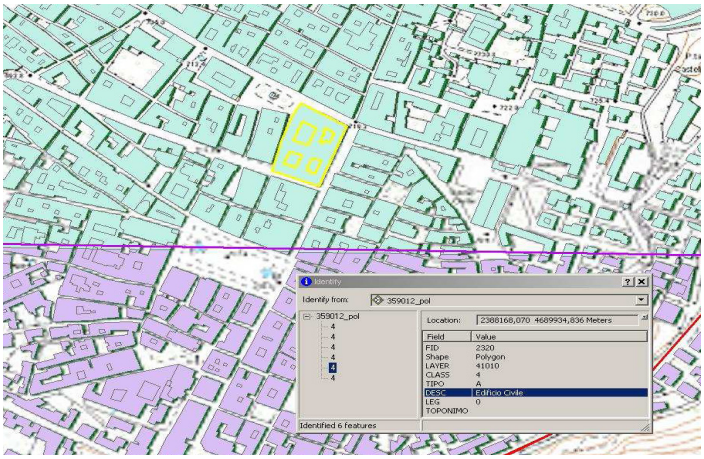



*Figura 2. Database Topografico corrispondente agli edifici riferito alla "Zona Rossa" di L'Aquila (Protezione Civile, contributo del geologo Pierluigi Cara presentato l'11 aprile 2011 in occasione del primo corso di formazione per insegnanti e studenti di geografia – Sezione di Roma).*

L'utente che usufruisce del database territoriale di una realtà urbana è liberato dalla necessità di mantenere un riferimento fisso dell'allocazione fisica delle informazioni e della sequenza in cui sono archiviati i dati, e può accedere all'archivio in modo logico, attraverso un linguaggio formalizzato. Gli elementi che popolano un G.I.S. sono costituiti da una collezione di oggetti, rappresentati con figure geometriche (punti, linee e poligoni), che possiedono un'identità unica, che derivano da informazioni raccolte con diverse misurazioni dal mondo reale e che sono localizzate in una qualche parte dello spazio geografico.
Nell'ambito specifico della Protezione Civile è fondamentale l'utilizzo dei Sistemi Informativi Geografici soprattutto per la valutazione dei danni attesi ai beni e agli edifici, da intendere come quei danni economici e di vite umane che si verificano nell'immediato post-evento e che vengono stabiliti in funzione di una banca dati di informazioni consolidate ed ufficiali. Queste varie informazioni, riferite appunto ai beni e agli edifici di una particolare area o realtà urbana, sono gestite e vengono contenute all'interno del database di un G.I.S. La banca dati del G.I.S. viene continuamente aggiornata grazie ai sopralluoghi e alle ricognizioni sul campo da parte di esperti e specialisti, che permettono di avere uno scenario reale anche nel post evento. A L'Aquila ad esempio, nei primi tre mesi successivi alla forte scossa del 6 aprile, sono stati effettuati 60.748 sopralluoghi (Protezione Civile) che hanno portato al continuo ed immediato aggiornamento dei database relazionali; i sopralluoghi hanno fornito i dati sugli esiti di agibilità delle strutture, riferiti a quelle presenti nei diversi comuni coinvolti dal sisma. Si ha pertanto a che fare con dati dinamici che vengono comunicati dalle esperte squadre di soccorso durante le ricognizioni e che influiscono notevolmente nella realizzazione di carte tematiche o mappe costituite da più strati informativi.
Si deve pertanto puntare molto sulla formazione dei giovani geografi, che devono essere in grado di ricercare idonee aree di indagine, analizzare le questioni urbane e sociali con una metodologia volta alla comprensione effettiva della criticità del territorio e al completamento propedeutico, nonché arricchimento didattico, del grande contenitore della geografia del rischio; "l'analisi geografica può fornire importanti contributi sia nell'interpretazione dei rapporti che a diversa scala si stabiliscono tra componenti fisiche e antropiche, sia nella definizione di quadri complessivi e nella ricostruzione degli eventi che hanno determinato certe diffusioni, sia nelle indagini applicative e di dettaglio che richiedono di incrociare e relazionare le variabili" (Palagiano C., Pesaresi C., 2011).

Di fronte alla metamorfosi degli ultimi decenni, che ha comportato insieme all'indiscutibile progresso un costante avanzare di guasti e di alterazioni, la nostra società e le nostre Istituzioni non hanno saputo provvedere adeguatamente a compensare, ma soprattutto a prevenire, le conseguenze negative del processo di trasformazioni, di cambiamenti e di innovazioni. L'utilizzo dei G.I.S. per l'analisi degli scenari delle aree coinvolte e degli E.T.A.S. – *Epidemic-Type Aftershock Sequence* – per le previsioni probabilistiche, l'adozione di carte tematiche della sismicità studiate in funzione dei potenziali tempi di ritorno dei terremoti, l'interpretazione e l'attendibilità dei precursori sismici, costituiscono le attuali difese di cui le società umane dispongono per difendersi dai sismi.
Anche il telerilevamento, cioè l'osservazione della Terra per mezzo di sensori aerospaziali trasportati da aerei, palloni sonda o satelliti, può essere utile nel campo dei rischi ambientali. Questa fonte di dati viene già utilizzata in molti settori per scopi di ricerca scientifica e geografica, ma anche per applicazioni civili ed industriali, nonché per l'esecuzione di prospezioni minerarie, per la redazione di carte tematiche, per il monitoraggio dello spostamento tettonico dei continenti. Di grande importanza didattica, soprattutto per far analizzare le deformazioni crostali che avvengono nel corso del tempo, sono i D.T.M. – *Digital Terrain Model* – che sfruttano al meglio le notevoli potenzialità dell'interferometria differenziale S.A.R. – *Synthetic Aperture Radar* – : "La fase dei dati consente al S.A.R. di generare D.T.M. con precisione di qualche metro e, soprattutto, di essere uno strumento unico per fornire misure di deformazioni crostali di vaste aree, anche centinaia di chilometri quadrati, con precisione centimetrica e con elevata densità, pari a una misura ogni poche decine di metri a terra" (Gomarrasca M., 2004). Grazie all'interferometria differenziale si realizza un processo che permette la creazione di una superficie tridimensionale, per mezzo dell'analisi delle differenze di fase del segnale di ritorno di un sistema di telerilevamento Radar (Fig. 3).

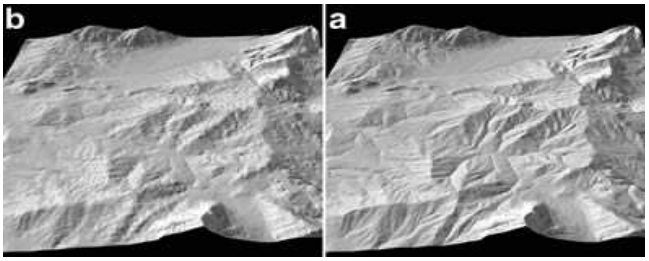



*Figura 3. Modelli Digitali del Terreno a confronto, ottenuti per mezzo di informazioni Radar, che permettono di studiare la ricostruzione morfologica del terreno (I.N.G.V.).*

Nell'ambito della geografia dei rischi è molto importante descrivere la superficie morfologica attraverso i modelli digitali del terreno, che sono anche in grado, con l'ausilio dei G.I.S., di realizzare degli scenari ipotetici di impatto del fenomeno sismico e delle catastrofi naturali; è così possibile effettuare analisi sugli scenari ipotetici di impatto, da tradurre e proporre poi in attività seminariali, considerando tutte le analisi interpretative del pre-evento ricche di elaborazioni e di informazioni utili, di studi integrati delle diverse componenti urbane e del territorio in generale, di piani di intervento sulla edificazione e sulla collocazione degli edifici strategici.
Ogni anno in Italia si registrano oltre 5.000 terremoti, molti dei quali si raggruppano in sequenze sismiche. La maggior parte delle sequenze non dà luogo ad un forte terremoto, dunque l'esistenza di una sequenza sismica non può essere utilizzata per dare un allarme alla popolazione. La catena appenninica contiene un vero e proprio campionario di sismicità: "sulla carte, gli epicentri disegnano una fascia che di fatto percorre tutta la penisola con una larghezza variabile da 40 a 100 km in corrispondenza delle zone montagnose più alte. L'intensità dei terremoti, la frequenza, il numero di quelli catastrofici in linea di massima crescono man mano che si procede da nord a sud" (Boschi E., Bordieri F., 1998).
L'attività umana poi diviene spesso un'azione che va a frantumare quanto la Protezione Civile ha prescritto e va ad annullare gli investimenti delle Istituzioni locali, in termini di spese e costi di prevenzione. Pertanto "l'attività umana insensata diviene spesso concausa e la carta di vulnerabilità

del territorio diventa la cartina di tornasole delle attività ammesse o non ammesse in un determinato territorio. Rilevante è, ancora una volta, l'attività conoscitiva e informativa di pianificazione e di programmazione, e poi risulta fondamentale quella di indirizzo e di coordinamento" (Cellura A., Bonfiglio R., 1998).
Un dettagliato resoconto delle attività di soccorso svolte nei primi mesi dell'emergenza sismica in Abruzzo ha permesso di effettuare una stima di tutte le forze messe in gioco, delle persone che sono intervenute e delle tante soluzioni, quotidianamente adottate, avanzate per affrontare i problemi derivanti dal terremoto: primo tra tutti quello di fornire un alloggio ai circa 70.000 sfollati.
I primi tre mesi dell'emergenza, soprattutto per le sistemazioni abitative provvisorie all'interno delle tendopoli, sono stati senza dubbio quelli più difficoltosi per la Protezione Civile sia per quanto ha riguardato il coordinamento delle varie attività che per la gestione delle risorse a disposizione. Nei primi sei mesi dal sisma sono stati realizzati 4.500 appartamenti (per un totale di 183 edifici), che hanno ospitato circa 18.000 persone: i primi appartamenti del piano C.A.S.E. sono stati consegnati il 29 settembre 2009. Complessivamente fino a marzo 2010, a quasi un anno dal sisma, erano stati svolti 80.000 sopralluoghi, di cui alcuni per seconde verifiche, su un totale di 73.521 edifici (Protezione Civile). Ad un anno dal terremoto il coordinamento delle varie attività di Protezione Civile poteva considerarsi concluso e molti Comuni, coadiuvati sempre dalle Istituzioni centrali, hanno cominciato a riprendere lentamente il controllo delle amministrazioni locali. Un ultimo aspetto da analizzare è quello della spesa globalmente affrontata dal Governo per il superamento della crisi aquilana, sulla base dei dati forniti dalla Protezione Civile: dal 6 aprile del 2009 alla fine del 2011 sono stati spesi 3,5 miliardi di euro per dotare gli aquilani di case temporanee, per mettere in sicurezza gli edifici dei centri storici, per far fronte alle emergenze. Solamente nel primo anno dopo il terremoto è stato stanziato circa un miliardo di euro e solo nel secondo anno questa cifra era già più che triplicata. E a tre anni dal sisma? Si sta assistendo a L'Aquila ad una più o meno lenta ricostruzione, ma solamente facendo un sopralluogo diretto in questa città, o semplicemente parlando con i suoi abitanti, si può dare una risposta a tutte le domande che ancora non la trovano.
Il mio lavoro si è orientato da una parte verso la ricerca sul campo, attuata per mezzo di numerosi sopralluoghi a L'Aquila effettuati sia nelle aree del centro che in quelle della periferia nei tre anni successivi all'emergenza, che hanno permesso di realizzare un documentario, e dall'altra verso la compilazione di 140 questionari, di varie tipologie, somministrati ai cittadini, che hanno espresso opinioni e giudizi sulla situazione lavorativa e abitativa, sui disagi avvertiti dalla popolazione, sul lavoro svolto dalle Istituzioni a L'Aquila, sulla conoscenza delle normative antisismiche, nonché sulla necessità dell'attuazione di effettive metodologie di prevenzione.
Sono state analizzate le risposte fornite dalle persone intervistate, mediante grafici e aerogrammi, che hanno permesso di comprendere meglio gli aspetti sociali e psicologici espressi dagli abitanti di un luogo particolarmente sensibile per motivi storici e naturalistici e per la sua esposizione al rischio sismico. Per mezzo di un confronto temporale delle conclusioni e delle risposte, residenti sia nel centro che nella periferia della città, si è potuto constatare che molti terremotati provano a tre anni dal sisma una sensazione di avvilimento e di scoraggiamento, risultato di una percezione collettiva di grande negatività circa la ripresa della vita in città. Quasi nella totalità dei responsi è poi emerso che le persone sentono l'esigenza di informare i giovani e i ragazzi sull'esistenza dei rischi naturali e sulla necessità di studiarli per sapere come agire in caso di emergenza.
Nel questionario da me proposto agli aquilani nel 2009, a tre mesi dal sisma, il 60% degli intervistati ha giudicato "Soddisfacente" e il 20% "Molto soddisfacente" il lavoro svolto dalle Istituzioni e quindi emergeva un campione di popolazione intervistata soddisfatto dei servizi offerti e delle attività svolte nei primi mesi del post-evento. I risultati cambiano però notevolmente se si considerano i questionari che ho somministrato a più di due anni dal sisma: il 52% degli intervistati ha detto di trovare "Carente" il lavoro svolto dallo Stato e il 18 % lo ha giudicato "Assai carente". Questo vuol dire che il 70% degli intervistati non ha espresso un parere positivo su quanto effettivamente è stato fatto 24 mesi dopo il terremoto.

A più di due anni dal terremoto le persone intervistate, come testimonia il mio ultimo questionario, hanno risposto per il 60% "Vivo a casa mia, per il 20% "Vivo nei complessi antisismici del Progetto C.A.S.E. o M.A.P.", per il 12% "Vivo a casa di parenti ed amici" e per il 4% "Sono tornato a vivere a casa dopo la ricostruzione". L'emergenza e l'urgenza abitativa è una questione di estrema attualità perché quanto fatto sino ad oggi non sembra ancora sufficiente e le sistemazioni provvisorie sono ormai divenute definitive. La conclusione a cui si può arrivare a valle del processo di indagine, ricerca ed analisi è che, se oggi che la vita è ripresa, ora che i morti sono stati sepolti ormai da tempo, ora che il centro storico e la città non sono più ridotti ad un cimitero di pietre, ora che molti aquilani affrontano la loro dolorosa diaspora lontani da una terra amata dove non è più possibile vivere, c'è però un piano di ricostruzione che stenta a proseguire, molte attività commerciali sono state decentrate, molte persone sono ancora senza casa e tanto altro.
In merito all'esigenza di informare i giovani sul rischio sismico, molte sono state le iniziative, pubbliche e private: si pensi a tutti i corsi effettuati nelle scuole aquilane, seppure tardivi, sui piani di evacuazione e sui rischi in generale; si pensi alle campagne pubblicitarie lanciate a L'Aquila sulla percezione, sulla coscienza e sulla conoscenza del rischio sismico in Italia, sull'importanza delle attività istituzionali di soccorso in contesti di emergenza. Ci si rende però conto che c'è ancora molto da lavorare, infatti alla domanda da me rivolta agli aquilani nel mese di agosto 2011 "In caso di forti eventi sismici, (…), Lei saprebbe ora come comportarsi prima/durante/dopo un fenomeno sismico?", solo il 56% degli intervistati ha risposto "Sì" e pur trattandosi di un dato positivo, questo è un risultato da considerare al di sotto di una soglia accettabile. Si notano infatti ancora delle risposte incerte: il 20% del campione di popolazione ha detto "No" e il 6% "Assolutamente no". Questo vuol dire che su 50 intervistati, ben 13 persone non sanno come comportarsi in caso di sisma: trattandosi di prevenzione è il caso di far diminuire il numero delle persone che non sanno come comportarsi in caso di emergenza. Questo è un valore da ritenersi ancora troppo alto, in quanto l'obiettivo è far si che tutti gli individui sappiano adottare la giusta condotta in caso di sisma. Si osservi infine che l'88% degli intervistati al medesimo questionario, ha espresso un parere positivo per il finanziamento e la realizzazione di corsi di educazione sismica nelle scuole medie italiane. La didattica, non soltanto come conoscenza e prevenzione ma come netto impulso alle nuove generazioni, deve fare in modo che quello che sta succedendo oggi a L'Aquila non si ripeta in futuro. Ci si rende conto che se si pone l'attenzione sull'intero scenario aquilano, tende ad acquisire centralità la vita umana, in tutti i suoi aspetti: dalle memorie alle identità territoriali, dalle forme conoscitive ai comportamenti individuali, dalle norme consuetudinarie alle esigenze di manifestare le proprie idee, dai sopralluoghi sul campo alle metodologie di didattica, educazione e prevenzione sismica. Diventa perciò prioritario leggere il disastro come un evento che ha avuto molteplici conseguenze, sia da un punto di vista scientifico che da un punto di vista umano. Si deve pertanto avere cura di questi spazi umani in trasformazione, affinché le rovine del passato - L'Aquila distrutta dal sisma – possano essere ricostruite e rese fruibili a tutti, adoperandosi verso un'azione di confronto con i nuovi oggetti e soggetti urbani, frutto di una inevitabile, quanto indispensabile, trasformazione del nostro spazio vitale quotidiano, che noi chiamiamo semplicemente "territorio".

**Bibliografia**

BOFFI M. (2004), "*Scienza dell'informazione geografica: introduzione ai G.I.S.*", Bologna, Zanichelli, pag.15.
BOSCHI E., BORDIERI F. (1998), "*Terremoti d'Italia*", Milano, Baldini e Castoldi, pag. 13.
CELLURA A., BONFIGLIO R. (1998), "*La Pianificazione dei rischi territoriali nella Protezione Civile*", Milano, Franco Angeli, pag. 61.
GOMARRASCA M. (2004), "*Elementi di Geomatica*", Firenze, Associazione Italiana Telerilevamento, pag.161.
NEVIANI I., PIGNOCCHINO FEYLES C. (2004), "*Geografia Generale*", Torino, Società Editrice Internazionale, pag.260.
PALAGIANO C., PESARESI C. (2011), "*La salute nel mondo"*, Roma, Carocci, pag. 315.

# Geomatica nei contesti investigativo e giudiziario (Luoghi di latitanza)

Dott. Geom. Paolo Nicolosi, Geom. Domenico Mazzaglia

Collegio dei Geometri e Geometri Laureati della Provincia di Catania, Piazza della Repubblica 32, 95131 Catania
Tel. 095534297, Fax 0957462379, e-mail: geometrict@tiscali.it

## 1.- Introduzione

La necessità dell'uomo di conoscere e comprendere meglio il territorio che lo circonda e la conseguente esigenza di tramandare, trasferire e condividere queste informazioni, nasce e si evolve con la storia della civiltà umana. Per rispondere a queste esigenze nascono e si sviluppano le scienze cartografiche e topografiche che codificano standard e metodologie per l'acquisizione e la rappresentazione codificata delle informazioni geografiche. Molti sono, infatti, i settori in cui il rilievo e la rappresentazione del territorio o dei luoghi hanno una funzione preminente e propedeutica ad altre. Anche in ambito legale, un tempo la topografia, oggi la geomatica, in molti casi hanno rappresentato ed ancora rappresentano una "scienza collaterale".

Giusto e meritato risalto, quindi, deve essere dato alla topografia ed alla geomatica per l'importante ruolo che spesso ricoprono nel settore giudiziario, non solo in ambito Civile, ma anche in quello Penale. Mediante il consulente tecnico topografo, che in molti casi ha affiancato la Magistratura (sia "inquirente" e sia "giudicante"), è stato possibile dare certezza alle deposizioni e/o alle dichiarazioni dei pentiti e/o degli imputati in molti processi di mafia.

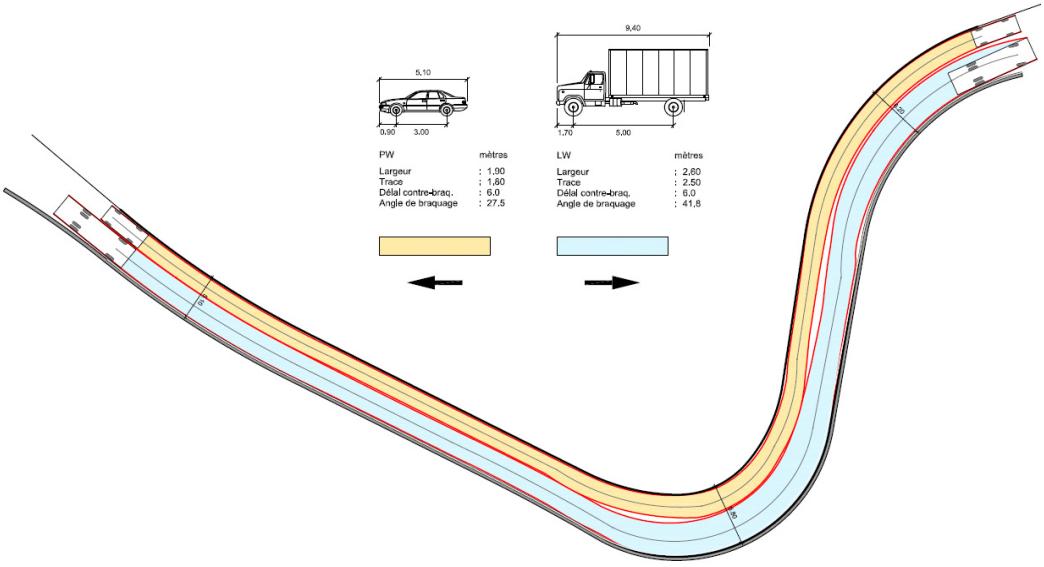
Il lavoro presentato, nella fattispecie svolto proprio in ambito penale, vuole dimostrare come la topografia e la cartografia abbiano avuto un importantissimo ruolo nella ricerca ed individuazione dei "*Luoghi di latitanza"* di un noto mafioso della provincia di Catania. Interessante risulta anche il confronto tra i mezzi tecnici utilizzati al momento dell'attività svolta (1998) e quelli che l'attuale tecnologia offrirebbe per le medesime indagini.

Per come sarà meglio dimostrato in prosieguo, considerevole risulta l'apporto delle nuove tecnologie e strumentazioni oggi disponibili che, indiscutibilmente, agevolano le attività tecnico-topografiche, anche se è sempre insostituibile attività e l'esperienza dell'operatore.



**2.- Il mandato**

Il Giudice Istruttore, acquisite e verbalizzate le deposizioni del collaboratore di Giustizia, si è trovato nella necessità di accertare la veridicità ed attendibilità delle queste. In modo particolare il Magistrato, dovendo verificare se quanto dichiarato dal "pentito" fosse coerente con i luoghi, i percorsi ed i precisi orari, che definivano in maniera temporale e spaziale il "teatro" degli avvenimenti delittuosi, ha avuto l'esigenza di nominare un CTU conferendogli il mandato di ***" descrivere, anche mediante rilievi fotografici e planimetrici e tenuto conto pure dei verbali di sopralluogo, acquisiti in atti, redatti dai CC di Paternò in data 17 febbraio 1994, i diversi luoghi in cui il collaboratore di giustizia ha trascorso la sua latitanza, individuando le distanze tra essi, precisando la presenza negli stessi di eventuali fabbricati e nascondigli, nonché individuando l'ambito territoriale in cui ciascuno di essi insiste".***




**3. – Lo svolgimento delle attività ed i luoghi oggetto d'indagine**

La prima fase del lavoro ha previsto l'individuazione dei siti interessati all'indagine sulle cartografie a quel tempo (1998) disponibili (aerofotogrammetria e mappa catastale) prelevando da esse le misure in maniera grafica.

Le cartografie utilizzate sono state **la carta tecnica della regione Sicilia** del 1987 allestita dalla ditta Rossi Toscorilievi s.r.l. ed avente un rapporto di scala 1/10.000. e la **cartografia catastale in scala 1:2000.** Quest'ultima, storicamente legata al solo aspetto fiscale del governo del territorio, è stata utile soprattutto per individuare le particelle interessate e, quindi, i relativi intestatari. Anche le planimetrie catastali urbane degli immobili (quando esistenti) sono servite alle indagini anche se, come risaputo, esse non offrono informazioni di carattere morfologico ed altimetrico (fatta esclusione della mera indicazione dell'altezza del locale).

Gli elementi topografici rilevati dalle cartografie non sempre, quindi, sono stati idonei a reperire gli elementi utili all'incarico commesso. Per tale motivo, successivamente, il lavoro è stato integrato con elementi rilevati direttamente sui luoghi in maniera tale da accertare i particolari non ricavabili dalla cartografia (cunicoli, gallerie, vani interni ad abitazioni, ma anche le condizioni dei manufatti). Per dette integrazioni, rendendosi necessario rilevare le distanze direttamente sui luoghi, sono stati eseguiti i relativi rilievi topografici utilizzando sia una "total station" (teodolite WILD LEITS T1000) e sia la semplice cordella metrica (soprattutto per gli interni).

I rilievi effettuati sono stati confrontati (quando possibile) con le mappe e le planimetrie dei luoghi oggetto d'indagine, individuando in tal modo le eventuali difformità che hanno aiutato a scoprire i "nascondigli" citati nelle dichiarazioni del collaboratore di giustizia.
Per l'individuazione di alcuni "luoghi di latitanza" si è reso necessario ricorrere alla collaborazione di personale ausiliario (muratore) che ha permesso la rimozione d'intonaci che celavano la presenza di muri di nuova costruzione o varchi nascosti.
Evidentemente, durante i sopralluoghi si è avuta anche l'assistenza e collaborazione dei Carabinieri di Paternò, di Belpasso, di Nicolosi e di Pedara.
I luoghi oggetto d'indagine si trovano nel versante meridionale dell'Etna, in zone prevalentemente collinari, alberate e, per lo più, accidentate. I territori amministrativi sono quelli compresi nei comuni di Paternò, Belpasso, Nicolosi e Ragalna.

**4. – I risultati ottenuti**

I luoghi di latitanza, in base alle dichiarazioni del collaboratore di giustizia, sarebbero stati n°17, ma di questi solamente n°12 sono stati individuati in quanto non tutte le informazioni contenute nei verbali risultavano esaustivi per la precisa identificazione dei luoghi.
Per una migliore visione dell'intero territorio oggetto d'indagine è stata allestita una tavola d'insieme (in scala 1:20.000) nella quale sono state riportati e numerati i diversi luoghi di latitanza individuati, nonché sono stati evidenziati i percorsi di collegamento tra gli stessi.
Per ogni luogo individuato è stata redatta una tavola particolareggiata contenente l'estratto di mappa catastale, l'eventuale planimetria catastale urbana, la planimetria dello stato attuale dei luoghi, i riferimenti sulla titolarità degli immobili ed una corografia in cui sono stati indicati i coni ottici relativi alle fotografie scattate.
Soddisfacente è stato il risultato ottenuto in quanto è stato consegnato alla Magistratura un carteggio che loro permesso di verificare l'attendibilità delle dichiarazioni del collaboratore di giustizia.
In alcuni fabbricati sono stati individuati dei nascondigli che successivamente al periodo di latitanza erano stati celati mediante la realizzazione di muri ed intonaci.

**5. – Le indagini effettuate alla luce delle nuove tecnologie**

La tecnologia negli ultimi decenni si è evoluta con una velocità impressionante ed anche nell'ambito geomatico molte sono le innovazioni presenti sul mercato che condizionano e modificano, inevitabilmente, le modalità operative di rilievo e restituzione dei risultati.
Se le indagini effettuate nel 1998 si dovessero svolgere alla data odierna, sicuramente si utilizzerebbero supporti cartografici differenti e tecnologie di rilievo innovative rispetto a quelle allora disponibili.
Dal punto di vista cartografico oggi si è in possesso di ortofotocarte che, oltre a fornire l'indicazione geometrica dei luoghi ne danno anche una visione fotografica.
Nella ricerca dei cunicoli e dei nascondigli all'interno delle abitazioni, invece, l'uso delle moderne termocamere IR permetterebbero delle indagini più rapide e, certamente, meno invasive.
Resta inteso, comunque, che sebbene la tecnologia attualmente offre strumentazioni e mezzi superiori rispetto a quelli preesistenti, la preparazione e formazione degli operatori deve essere sempre adeguata ed al passo con i tempi.

# Un atlante della periodizzazione della crescita insediativa Toscana

Chiara Nostrato, Martina Angeletti, Bruno Giusti,
Fabio Lucchesi, Ilaria Scatarzi

Dipartimento di Urbanistica e Pianificazione del Territorio, Università di Firenze Via Micheli 2, Firenze
Tel. 055503111, Fax 055 587087, e-mail: chiara.nostrato@gmail.com

**Riassunto**
Il contributo intende presentare le modalità di trattamento dei diversi strati informativi utilizzati a supporto della redazione di un "Atlante della periodizzazione della crescita insediativa della Regione Toscana" nell'ambito delle attività del laboratorio LaRIST (Università di Firenze) in collaborazione con la Regione Toscana. L'Atlante restituisce cartograficamente la datazione degli edifici nel periodo temporale che va dai catasti storici regionali fino ad oggi evidenziando il rapporto esistente tra l'evoluzione insediativa e le forme del suolo.

**Abstract**
The introduced research shows the methodologies on how to enhance different layers used to support the preparation of an "Atlas of the periodization of buildings of the Tuscany Region" within the activities of the laboratory LaRIST (University of Florence) in collaboration with the Region of Tuscany. The Atlas will return cartographically the dating of the buildings during the period of time that goes by regional historical maps to the present day, giving a clear vision about the evolution of urban expansion in correlation to landforms.

## Il contesto della ricerca

La ricerca presentata è sviluppata nell'ambito delle attività del LaRIST[1], un laboratorio di ricerca costituito presso il Dipartimento di Urbanistica e Pianificazione del Territorio dell'Università di Firenze, ma aperto a contributi provenienti da ambiti disciplinari diversi. Tra gli scopi del laboratorio c'è il tentativo di introdurre stimoli e sollecitazioni nuove nelle riflessioni sulle architetture dei Sistemi Informativi Territoriali istituzionali (Carta, Lucchesi 2004) e sull'efficacia della rappresentazione cartografica (Lucchesi, 2005).
L'"Atlante della periodizzazione della crescita insediativa della Regione Toscana" è la sintesi del progetto di ricerca promosso dal Servizio Geografico Regionale della Regione Toscana che ha avuto come oggetto la costruzione della banca dati cartografica della periodizzazione dei sedimi edificati a copertura regionale attraverso il confronto con cartografie storiche da cui è stata rilevata la "prima documentazione" di ogni oggetto rappresentato (Lucchesi et al., 2009). L'Atlante quindi si prefigge di restituire in una sintesi cartografica in scala 1:25.000, le dinamiche di crescita insediativa toscane, cercando di evidenziarne i rapporti con la struttura territoriale antropica e morfologica tra cui la giacitura rispetto alle forme del suolo, le relazioni con le reti infrastrutturali e con le fondamentali articolazioni della copertura del suolo.

## Il contenuto informativo dell'Atlante

Gli strati informativi utilizzati e rielaborati sono i seguenti:

[1] L'acronimo LaRIST sta per Laboratorio per la Rappresentazione Identitaria e Statutaria del Territorio.

***sedimi edificati***[2]

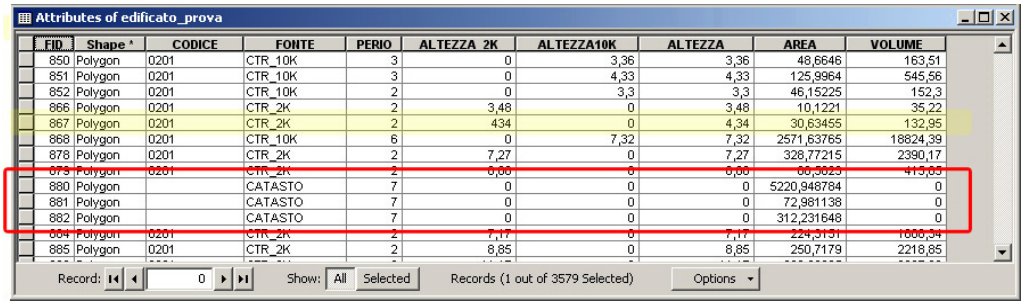
I sedimi edilizi sono stati individuati attraverso la selezione nelle geometrie "dell'edificato" più aggiornate della CTR Toscana componendo un mosaico tra la copertura 10k e 2k a coprire l'intera regione. Le informazioni raccolte comprendevano diverse tipologie di oggetti tra cui: le unità volumetriche civili, sociali, amministrative, industriali, commerciali, capannoni, edifici di culto, campanili, tabernacoli, corpi aggettanti, portici, loggiati maggiori di 60 mq, baracche, edicole maggiori di 200 mq, tettoie, pensiline, lucernai maggiori di 200 mq; caselli, stazioni ferroviarie, fermate maggiori di 60 mq, centrali elettriche, sottostazioni elettriche, cabine elettriche maggiori di 60 mq, capannoni vivaistici maggiori di 200 mq, stalle, fenili, allevamenti maggiori di 200 mq e torri e ciminiere maggiori di 60 mq. I valori minimi di superficie definiti, in accordo con il Servizio Geografico Regionale Toscano, si sono rivelati compatibili per la scala di output e per i caratteri descrittivi attesi dal lavoro.

*trattamento ed elaborazione del dato*

1. Correzione topologica dei poligoni che presentavano sovrapposizioni geometriche; spesso tali incongruenze compaiono in corrispondenza del confine tra un foglio CTR e il contiguo o al cambio di dettaglio di scala di rappresentazione (passando dalla scala 1/10.000 a quella 1/2.000). La correzione è stata effettuata in ambiente Esri ArcGis attraverso l'imposizione della regola *"Must not Overlap"*.
2. Integrazione delle geometrie degli edifici derivanti da CTR con i poligoni affini provenienti dalla banca dati SISTER dell'Agenzia del Territorio aggiornati al marzo 2012; a tal fine, attraverso il comando "*Select by Location"*, sono stati selezionati i sedimi presenti nella banca dati dell'Agenzia del Territorio che non si intersecavano con i poligoni dei sedimi della CTR. In una fase successiva sono stati eliminati i poligoni della fonte catastale che pur non sovrapposti a elementi affini della CTR, risentivano di incertezze nelle operazioni di trasformazione tra i sistemi di coordinate e quindi rappresentavano in realtà elementi duplicati. Infine sono stati individuati a video attraverso fotointerpretazione ed eliminati tutti gli oggetti non identificabili come sedimi edilizi ma presenti nella banca dati dell'Agenzia del Territorio perché sottoposti a tributo (p.e: piscine).
3. Creazione di un attributo tabellare definito "periodizzazione"; tale attributo contiene l'informazione della datazione desunta attraverso la verifica della presenza dell'oggetto vettoriale su cartografie storiche cartografiche e aereofotografiche secondo sette soglie temporali. Le fonti sono state: Catasti Storici Regionali (prima metà del XIX secolo), la ricognizione aerofotografica "Volo GAI" (1954), la ricognizione aerofotografica Volo Alto della Regione Toscana (1978), le aerofoto del Volo RT del 1988, le aerofoto del Volo AIMA del 1996. I sedimi provenienti dalla banca dati SISTER dell'Agenzia del Territorio sono stati considerati realizzati nell'intervallo temporale 1996/2012.
4. Associazione dell'altezza ai sedimi edificati: per gli edifici della CTR in scala 1/2.000 l'informazione deriva dall'attributo tabellare già presente nelle informazioni disponibili nell'edizione GIS della carta (quota in gronda – quota al suolo). Per i sedimi derivanti dalla CTR in scala 1/10.000 il valore approssimato dell'altezza è stato fatto coincidere con la differenza tra la media dei vertici dell'edizione quotata e la quota del suolo derivata da un Modello Digitale del terreno. Il controllo successivo ha reso chiari alcuni errori di attribuzione di quota nella banca dati originale, evidenti per la inverosimiglianza dell'entità della differenza di quota tra un sedime e la media di quelli vicini: si è proceduto alla correzione di tali incongruenze basandosi sulle informazioni contenute negli elementi contigui e confrontandosi con le ortofoto. Per i sedimi edilizi di fonte catastale non è stato possibile associare l'attributo "altezza" poiché l'informazione non è

[2] Si preferisce utilizzare l'espressione "sedimi" (piuttosto che "edifici") perché l'informazione temporale che il lavoro ha associato alle geometrie della CTR riguarda il periodo di prima occupazione del suolo, ma può non coincidere con una effettiva datazione dei corpi di fabbrica (cfr Lucchesi et al, 2009).

presente nella banca dati di origine. È stato poi effettuato il calcolo del volume dei sedimi edificati. Tale informazione non è stata calcolata per l'ultima soglia per i motivi già accennati.



Attributes of edificato_prova

| FID | Shape * | CODICE | FONTE | PERIO | ALTEZZA_2K | ALTEZZA10K | ALTEZZA | AREA | VOLUME |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 850 | Polygon | 0201 | CTR_10K | 3 | 0 | 3,36 | 3,36 | 48,6646 | 163,51 |
| 851 | Polygon | 0201 | CTR_10K | 3 | 0 | 4,33 | 4,33 | 125,9964 | 545,56 |
| 852 | Polygon | 0201 | CTR_10K | 2 | 0 | 3,3 | 3,3 | 46,15225 | 152,3 |
| 866 | Polygon | 0201 | CTR_2K | 2 | 3,48 | 0 | 3,48 | 10,1221 | 35,22 |
| 867 | Polygon | 0201 | CTR_2K | 2 | 434 | 0 | 4,34 | 30,63455 | 132,95 |
| 868 | Polygon | 0201 | CTR_10K | 6 | 0 | 7,32 | 7,32 | 2571,63765 | 18824,39 |
| 878 | Polygon | 0201 | CTR_2K | 2 | 7,27 | 0 | 7,27 | 328,77215 | 2390,17 |
| 879 | Polygon | 0201 | CTR_2K | 2 | 6,66 | 0 | 6,66 | 66,3623 | 415,63 |
| 880 | Polygon | | CATASTO | 7 | 0 | 0 | 0 | 5220,948784 | 0 |
| 881 | Polygon | | CATASTO | 7 | 0 | 0 | 0 | 72,981138 | 0 |
| 882 | Polygon | | CATASTO | 7 | 0 | 0 | 0 | 312,231648 | 0 |
| 884 | Polygon | 0201 | CTR_2K | 2 | 7,17 | 0 | 7,17 | 224,3131 | 1606,34 |
| 885 | Polygon | 0201 | CTR_2K | 2 | 8,85 | 0 | 8,85 | 250,7179 | 2218,85 |

Record: 0 | Show: All Selected | Records (1 out of 3579 Selected) | Options

*Figura 1. Database associato ai sedimi edilizi: il campo CODICE rappresenta i codici della CTR; il campo FONTE indica la provenienza del dato (CTR_10k, CTR_2k e CATASTO); il campo PERIO indica la periodizzazione secondo le 7 soglie temporali (1 per la più antica e 7 per la più recente); il campo ALTEZZA 2K specifica l'altezza dei sedimi provenienti dalla CTR 2K ed ottenuta sottraendo la quota al suolo dalla quota in gronda; il campo ALTEZZA 10K specifica l'altezza dei sedimi dell'edizione quotata in scala 1/10.000; il campo ALTEZZA indica l'accorpamento dei due campi precedenti con eventuali correzioni manuali (vedi il record evidenziato in figura che nel campo ALTEZZA_2K ha il valore 434 e in quello ALTEZZA è stato corretto con il valore 4,34); i campi AREA e VOLUME indicano l'area ed il volume dei sedimi.*

***rete infrastrutturale***

La rete stradale è l'esito dell'integrazione del grafo stradale prodotto e distribuito dalla Regione Toscana con il Grafo di *OpenStreetMap*. La rete infrastrutturale prevede una gerarchizzazione dei tratti in funzione della loro "importanza" e articola gli elementi in 10 classi: ferrovie, autostrade e superstrade, strade statali, regionali, provinciali, comunali principali, comunali secondarie, altre strade comunali, strade private e di servizio e piste e rampe di accesso. Tale gerarchia corrisponde nella rappresentazione cartografica ad una diversa vestizione differenziata per spessore.

***reticolo idrografico***

Il reticolo idrografico utilizzato nell'Atlante deriva dal DataBase Topografico della Regione Toscana multiscala *object oriented*, ed è costituito in parte da geometrie lineari classificate secondo otto classi gerarchiche (dai corsi d'acqua di grande portata con classe 1 ai fossi con valore 8), e in parte da geometrie areali corrispondenti ai letti dei corsi d'acqua principali e ai corpi idrici.

***copertura dell'uso del suolo***

Per la copertura dell'uso del suolo è stata utilizzata la banca dati in scala di dettaglio 1:10.000 commissionata al consorzio LAMMA dalla Regione Toscana aggiornamento 2007. La legenda originale è stata aggregata in tre soli gruppi: le aree artificializzate, le aree boscate e quelle prevalentemente agricole, in modo da evidenziare le classi di uso del suolo che più rilevavano rapporti con la crescita insediativa

In particolare le aree artificializzate derivano dall'accorpamento delle classi 111 (Zone residenziali a tessuto continuo), 112 (Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado), 121 (Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati - centrale elettrica – cabina), 125 (Pertinenza abitativa, edificato sparso), 123 (Aree portuali), 124 (Aeroporti), 1411 (Cimiteri) e 141-142 (Aree verdi urbane e Aree ricreative e sportive); le aree prevalentemente agricole sono l'insieme delle classi 211 (Seminativi in aree non irrigue), 221 (Vigneti), 222 (Frutteti e frutti minori), 223 (Oliveti), 224 (Altre colture permanenti - arboricoltura), 241 (Colture temporanee associate a colture permanenti), 242 (Sistemi colturali e particellari complessi) e 243 (Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti); infine le aree boscate comprendono le classi 311 (Boschi di latifoglie), 312 (Boschi di conifere), 313 (Boschi misti di conifere e latifoglie), 324 (Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione).

***modello digitale del terreno (DTM) e informazioni derivate***
L'informazione altimetrica è stata considerata un elemento fondamentale per la descrizione morfologica del territorio, per tale motivo si è proceduto alla costruzione del modello digitale del terreno e alle relative informazioni derivate, quali l'ombreggiatura (*Hillshade*) e la pendenza (*Slope*). Tali informazioni saranno ampiamente trattate nel paragrafo successivo.
***toponomastica***
La toponomastica deriva da un'elaborazione di quella presente nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 selezionandone le voci in funzione delle scelte precedenti.

**La creazione del DTM**
Come si è accennato la ricerca giudica di fondamentale importanza la rappresentazione delle morfologia del suolo e delle sue relazioni con la espansione insediativa; si è ritenuto dunque necessario creare un modello digitale del terreno (DTM) originale e unico per tutta la regione Toscana da utilizzare come sfondo per la costruzione dell'Atlante. I modelli digitali già disponibili infatti non sono stati ritenuti soddisfacenti sia per i metodi di realizzazione sia per la presenza di errori nel dato originario non evidenziati da collaudi sufficientemente approfonditi, come nel caso dei modelli derivati dagli elementi vettoriali della CTR Toscana, quali curve di livello e punti quotati, che ereditano, senza opportune correzioni, una consistente quantità di incongruenze). Il lavoro ha dunque posto una particolare attenzione alle operazioni di correzione dei dati altimetrici vettoriali finalizzate alla creazione di un DTM corretto a copertura regionale. Il processo di interpolazione ha interessato le curve di livello della CTR e i punti quotati: l'integrazione delle due coperture è necessaria per dar conto delle singolarità orografiche che caratterizzano il territorio. Poiché le quote si riferiscono non solo al suolo ma anche a strade, ponti, viadotti e argini, è stato necessario un lavoro preliminare di eliminazione di tutti quegli elementi localizzati vicino ai corsi d'acqua principali e alla viabilità entro un raggio di 25 m.
La scelta dell'algoritmo per la creazione del DTM è ricaduta su *Topo to Raster*, un modello di interpolazione specificamente progettato per la creazione di modelli digitali di elevazione e basato sul programma ANUDEM sviluppato da Michael Hutchinson (1988, 1989); tale algoritmo è presente in ambiente ESRI ArcGIS 9.x. Tale metodo di interpolazione è stato progettato per sfruttare i tipi di dati di *input* comunemente disponibili nelle fonti topografiche ed è ottimizzato per conservare l'efficienza dei metodi di interpolazione locali senza perdere la continuità della superficie propria dei metodi di interpolazione globali, come *Kriging* e *Spline*. L'intensità del calcolo ha reso impossibile, per i mezzi *hardware* disponibili, costruire un DTM a passo 10 metri per l'intera estensione del territorio regionale. Si è scelto perciò di suddividere la regione in 41 quadranti su ognuno dei quali è stato creato il DTM con passo 10 m. Questa fase è stata di fatto utilizzata per un primo controllo qualità dei dati altimetrici di *input*: le 41 coperture *hillshade* derivate hanno permesso di riconoscere a video errori quali "collassi delle vette" o "incongruenze in sui crinali" (vedi punto 4 del processo tecnico descritto di seguito).
I 41 modelli provvisori non possono tuttavia essere integrati semplicemente in un'unica copertura, a causa delle impossibilità di una interpolazione corretta nelle aree di margine delle singole sezioni. I limiti di potenza dell'*hardware* disponibile hanno consentito di creare un modello digitale del terreno unico a copertura regionale con passo 20m. Il modello così realizzato è stato successivamente tagliato rispetto ai confini regionali.
Il processo di realizzazione del DTM, messo a punto dopo una fase di affinamento delle tecniche e di studio sulle varie potenzialità dei *software* disponibili, può essere così sinteticamente descritto:
*1_Ricognizione dati necessari.* Estrazione dell'informazione altimetrica contenuta nella Carta Tecnica Regionale (punti e curve di livello in formato shapefile, dei primi sono stati selezionati solo quelli che hanno una distanza superiore a 25m dai corsi d'acqua principali e dalla viabilità).
*2_Definizione della griglia di lavoro.* Creazione di una griglia con passo 30km che suddivide tutto il territorio regionale in 41 quadranti per facilitare le operazioni di creazione del DTM passo 10m.

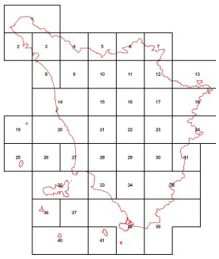


*Figura 2. Definizione della griglia di lavoro.*

*3_Creazione dei DTM provvisori passo 10m in ambiente ESRI ArcGis.* Creazione dei 41 DTM corrispondenti ai riquadri della griglia attraverso l'algoritmo *TOPO TO RASTER.*
*4_Derivazione delle coperture hillshade e collaudo dei dati di base.* Creazione delle coperture *hillshade* corripondenti ai DTM provvisori; valutazione visiva per individuare incongruenze derivanti da errori materiali nelle coperture di base; correzione degli errori individuati.

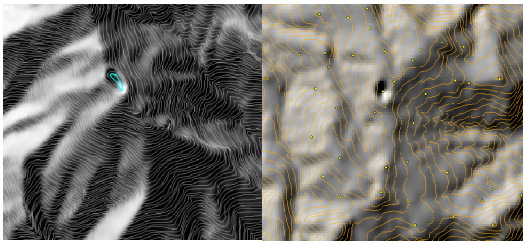


*Figura 3. Derivazione delle coperture hillshade e collaudo dei dati di base.*

*5_ Creazione del DTM Regione Toscana passo 20 metri in ambiente ESRI ArcGis.* Creazione del DTM a copertura regionale di passo 20 metri attraverso l'algoritmo *TOPO TO RASTER.*

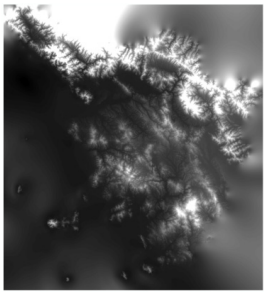


*Figura 4. Creazione del DTM Regione Toscana passo 20 metri in ambiente ESRI ArcGis.*

*6_ Creazione della maschera vettoriale corrispondente ai confini regionali.* Costruzione della geometria del confine regionale attraverso l'unione tra la linea di costa ed i limiti amministrativi dei comuni confinanti con le regioni limitrofe. Entrambi i dati sono stati estratti dalla CTR regionale e uniti; la copertura realizzata è stata corretta topologicamente.
*7_Creazione della maschera raster del confine regionale***.** Derivazione dalle geometrie vettoriali del confine regionale di una mappa *raster* allineata rispetto alla griglia di passo 20m del DTM;

Pietrasanta e Forte dei Marmi), dove l'incremento urbano è legato più alle attività turistiche, la crescita avviene per proliferazione di un modello insediativo specifico (la casa isolata su singolo lotto) secondo linee parallele e ortogonali alla linea di costa. Nella piana di Lucca ha un ruolo fondativo il sistema insediativo tradizionale, tuttavia progressivamente deformato dalla proliferazione dispersa dell'edificazione nelle maglie definite dalla organizzazione stradale storica.

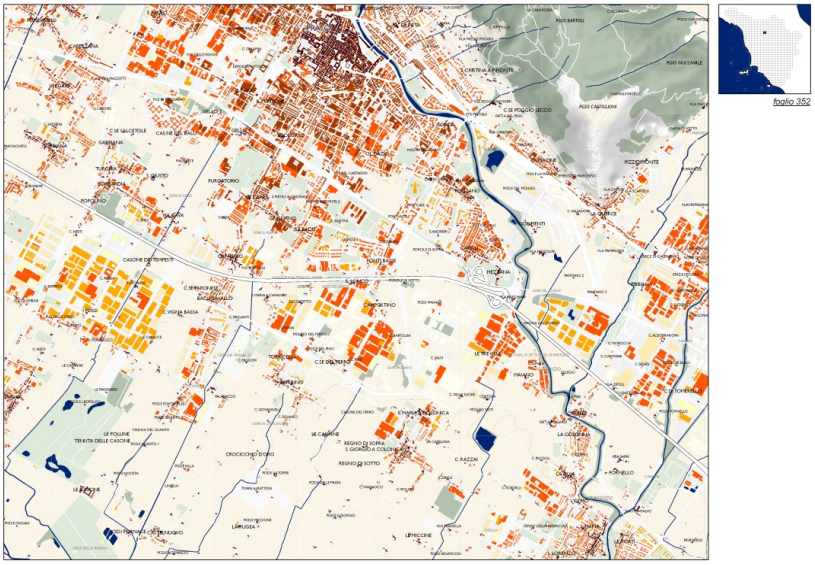



*Figura 6. Un foglio dell'Atlante: la piana di Prato.*

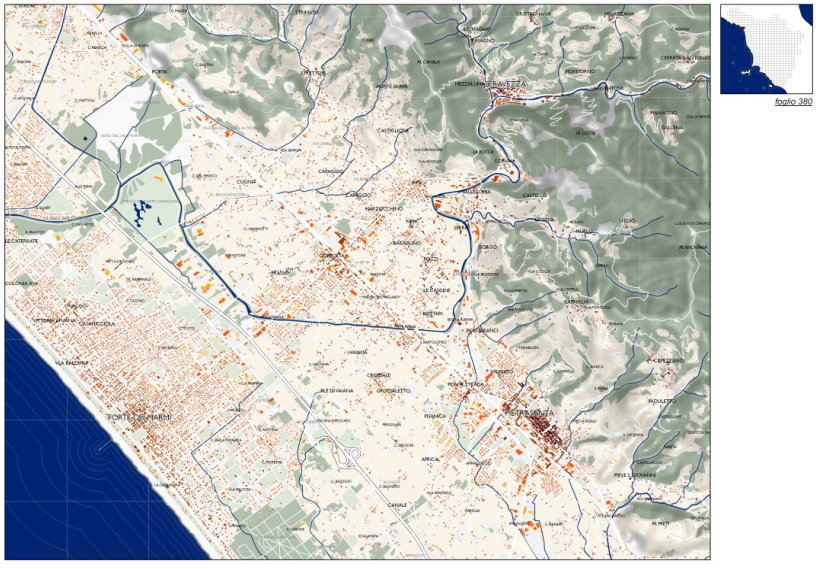



*Figura 7. Un foglio dell'Atlante: la costa versiliese.*

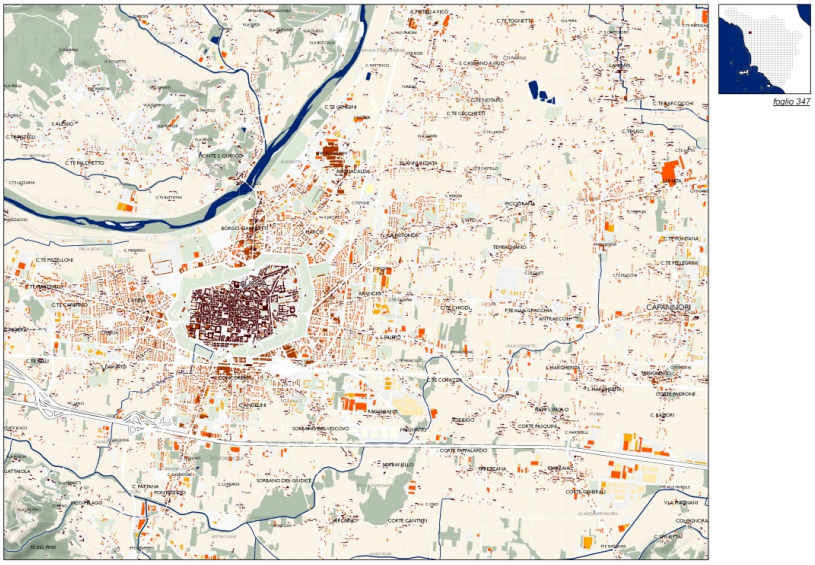



*Figura 8. Un foglio dell'Atlante: la piana di Lucca.*

**Conclusioni**

L'Atlante è uno strumento sintetico molto efficace per descrivere, da un punto di vista qualitativo, i fenomeni di trasformazione urbana. È possibile immaginarlo, da questo punto di vista, come un efficace supporto ai dispositivi di monitoraggio della dinamica dell'espansione edilizia, che insieme permettono di effettuare confronti e valutazioni localmente pertinenti.

**Bibliografia**

Carta M., Lucchesi F. (2004), "Dal SIT al SITER. Verso un Sistema Informativo Territoriale orientato alla comunicazione pubblica", *Tecnologie per comunicare l'architettura*, Clua, Ancona

Lucchesi F. et al. (2009) "La periodizzazione della crescita urbana. Una banca dati dei sedimi edificati derivati dalla CTR toscana", *Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA*, Bari

Lucchesi F., Carta M., Vannetiello D. (2005) "L'Atlante del patrimonio territoriale del Circondario Empolese Valdelsa (FI)", *Atti della IX conferenza nazionale ASITA*, Catania

Lucchesi, F. (2005), *Il territorio, il codice, la rappresentazione*, Firenze University Press, Firenze

Cusmano, M.G. (2009), *Le parole della città. Viaggio nel lessico urbano*, Franco Angeli, Milano

Marussi A. (1950) *La tradizione cartografica italiana. Come si crea una carta topografica moderna. Nuovi orizzonti per la geodesia*, Edizioni IGM

Testi E. (1970) *Come nasce una carta*, Edizioni IGM

Traversi C. (1968) *Tecnica Cartografica*, Edizioni IGM

Hutchinson, M.F. (1989). "A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits", *Journal of Hydrology,* 106: 211-232

# Il sistema di gestione dati del progetto EnvEurope per il monitoraggio ecologico a lungo termine nella rete LTER

Alessandro Oggioni (*), Paola Carrara (*), Tomas Kliment (**),
Johannes Peterseil (***), Herbert Schentz (***)

(*) Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA - CNR),
Via Bassini 15, Milano (Italy), oggioni.a@irea.cnr.it e carrara.p@irea.cnr.it
(**) Istituto per le Scienze Marine (ISMAR - CNR), Arsenale - Tesa 104 Castello 2737/F Venezia (Italy),
tomas.kliment@gmail.com
(***) Ecosystem Research & Monitoring, Umweltbundesamt GmbH (UBA), Spittelauer Lände 5 Wien (Austria),
johannes.peterseil@umweltbundesamt.at e herbert.schentz@umweltbundesamt.at

**Riassunto**

Il progetto LIFE + EnvEurope (LIFE08 ENV/IT/000339) ha lo scopo di proporre, per la più estesa rete di ricerca ecologica a lungo termine europea (LTER Europe), un modello di alta qualità e un insieme di parametri comuni per il monitoraggio ambientale. Attualmente la rete LTER Europea conta più di 400 siti di ricerca, distribuiti in 22 paesi, in cui vengono raccolti dati ecologici in modo continuativo da almeno 10 anni in tre tipi di ecosistemi: terrestri, acquatici e marini.

Nell'ambito del progetto EnvEurope, il gruppo di gestione dei dati ha il compito di fornire strumenti e servizi per lo scambio di metadati e dati tra i partner che, in futuro, potranno essere utilizzati per l'intera rete europea. L'infrastruttura attualmente proposta, combina le pratiche adottate dalla Comunità LTER europea e internazionale, con le raccomandazioni europee (es. INSPIRE) e con gli standard internazionali (es. Open Geospatial Consortium - OGC).

Per realizzare un'architettura comune di scambio di dati, che garantisca un adeguato livello di interoperabilità nella rete sono state proposte alcune soluzioni:

- un profilo di metadati, per descrivere i dataset della comunità EnvEurope, sulla base dell'Ecological Metadata Language (EML);
- uno strumento di archiviazione, ricerca e gestione dei metadati come estensione del Drupal Ecological Information Management System (DEIMS), sviluppato per la rete LTER statunitense;
- un servizio di discovery per il rilevamento dei metadati da client remoti, basato su software opensource GeoNetwork e compatibile con il profilo di metadati proposto da INSPIRE;
- un GeoViewer per la geolocalizzazione dei siti e delle stazioni della rete;
- servizi web OGC, tipo Sensor Web e LinkedData, sono in fase di valutazione e di realizzazione.

Verranno presentate tutte queste soluzioni valutandone criticità, evoluzioni future, sinergie con altri progetti e buone pratiche.

**Abstract**

The last innovations in the information science have improved developing systems relating to the creation, collection, storage, processing, modelling, interpretation, display and dissemination of data and information focused on Environmental Science (Page & Wohlgemuth, 2010). International initiatives such as SEIS (Shared Environmental Information System), GMES (Global Monitoring Environmental and Security), GEOSS (Global Earth Observation System of Systems); projects like Humboldt, NatureSDIplus, BioFresh, GIGAS; consortia such as GBIF (Global Biodiversity Information Facility), LifeWatch, DataONE (Data Observation Network for Earth) and OGC (Open

Geo-spatial Consortium) and finally legal framework in Europe (INSPIRE - 2007/2/CE) and in United States (OMB Circular A-16 - 2002) stimulated effective implementation of an information technology innovations. A common feature consists of a development of an infrastructure, which facilitates discovery, evaluation and use of data, information and knowledge. Sharing of large datasets can establish a much deeper understanding for both nature and society, open up many new avenues of research or assist to policy-makers with relation to environmental policies. (AA.VV., 2011). Paper deals with issues related to an establishment of architecture for data exchange within the Long Term Ecological domain in Europe and propose solutions to resolve them in order to provide an interoperable system.

**Introduzione**

Secondo la più classica delle definizioni (Odum & Barret, 2005) l'ecologia è lo studio dei luoghi dove la vita si sviluppa e in particolare di tutti quei processi funzionali e quelle relazioni che avvengono tra gli organismi viventi e il loro ambiente. L'ecologia si occupa così di tutti i livelli di complessità nello studio dei viventi: popolazioni, comunità, ecosistemi, paesaggi e ecosfera; ma soprattutto delle interazioni tra tutti questi piani. Si può immaginare quindi una notevole complessità nei dati di tipo ecologico, per semplicità si preferisce però definirli come la combinazione di variabili ambientali (parametri chimici e fisici) e biologiche (presenza, abbondanza o densità di organismi). Le scale temporali e le tre dimensioni spaziali sono poi le vere scale di rappresentazione di questo tipo di dati (Harris, 1986).

L'interazione tra discipline e campi di indagine diversi (es. climatologia, geologia, oceanografia, idrologia, tassonomia) è quindi indispensabile per aumentare il grado di comprensione di qualunque sistema ecologico. L'ecologia ha quindi innata l'esigenza di sviluppare sistemi efficaci ed efficienti per archiviare, ricercare, accedere e integrare un'ampia gamma e grandi volumi di dati.

Tra la fine degli anni '90 e i primi anni 2000, a margine di iniziative di bioinformatica nate in seno alla U.S. Long-term Ecological Research Network (US-LTER) e al U.S. National Center for Ecological Analysis and Synthesis (NCEAS), viene coniato il termine '*ecoinformatica*' (Kareiva, 2001; Brunt *et al.*, 2002). Già da questi primi passi emerge chiaramente come questa disciplina si debba occupare proprio della conservazione, del recupero e dell'integrazione dei dati ecologici. Infatti mentre la bioinformatica (Bisby, 2000) da maggior enfasi alla risoluzione di problemi tassonomici soprattutto con un approccio molecolare (es. classificazioni, tassonomie e sinonimie), l'ecoinformatica ha il gradito compito di analizzare la struttura dei dati nelle diverse discipline, fornire strumenti informatici per la raccolta, l'archiviazione, la ricerca dei dati ecologici, in modo da combinarli e permetterne una analisi organica per comprendere, prevedere e contrastare i cambiamenti globali cui stiamo assistendo (Canhos *et al.*, 2004; Soberón & Peterson, 2004; Jones *et al.*, 2006; Bekker *et al.*, 2007; Guralnick & Hill 2009; Recknagel, 2011; Dengler *et al.*, 2011).

La rete LTER, oltre ad essere stata promotrice dello sviluppo dell'ecoinformatica, risulta essere anche un ottimo banco di prova per individuare modi efficaci per ricercare, accedere, integrare, conservare e analizzare in maniera accurata una vasta gamma e grandi volumi di dati per l'ambito ecologico (Reichman *et al.*, 2010; Michener *et al.*, 2011). Questo *network* ha una diffusione capillare nei 5 continenti (*International Long Term Ecological Research* - ILTER[1]) ed è rappresentato in tutti i paesi europei (*European Long Term Ecosystem Research Network*[2]) con circa 400 siti di ricerca omogenei dal punto di vista dell'habitat o dell'uso del suolo. La rete europea, nata all'inizio degli anni '90, copre 4 tipologie di ambiente: marino, lacustre, forestale e fluviale; le sue attività si concentrano sulla evoluzione temporale dei processi ecosistemici di piccole dimensioni, per una migliorarne la comprensione in risposta a forzanti ambientali, sociali ed economiche. In questo contesto la rete europea, ma anche quella internazionale ha l'esigenza di iniziare un confronto *cross-domain* e a scala globale così da fornire un valore aggiunto ai dati a

[1] http://www.ilternet.edu/
[2] http://www.lter-europe.net/

lungo termine, per poter effettivamente migliorare la gestione ambientale dando un indirizzo alle politiche europee. Nella rete LTER a partire dal 2006, sotto l'auspicio del *Network of Excellence* ALTER-Net[3] e sulla base delle infrastrutture esistenti, si iniziano a diffondere preziose serie di dati. E' però a partire dal 2010 con l'avvio del progetto EnvEurope (Mirtl & Krauze 2007; Mirtl, 2009; Mirtl, 2010) che si comprende in modo definitivo come sia necessario uno sforzo notevole di implementazione, informatizzazione e di uso di strumenti adeguati per fornire un *framework* che permette di condividere i dati seguendo le raccomandazioni di *Shared Environmental Information System* (SEIS) e sviluppando alcune componenti adatte per gli scopi del *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES), che è uno degli scopi principali del progetto.
In questo lavoro saranno presentate le soluzione fino ad ora implementate all'interno del progetto EnvEurope, le idee per sviluppi futuri, ma anche le interazioni con altre iniziative europee e internazionali legate agli aspetti di biodiversità (*Global Biodiversity Information Facility* - GBIF) o di ecologia (LTER International o US - LTER).

**Contributo del progetto EnvEurope**
Gli studi ecologici a lungo termine danno un effettivo contributo nel riconoscere e interpretare i cambiamenti ambientali (climatici, biologici, ecosistemici) se i dati sono raccolti su scala geografica ampia e con un approccio metodologico armonizzato. Il progetto Life+ EnvEurope[4] (LIFE08 ENV/IT/000339) ha proprio lo scopo di armonizzare parametri, metodi e di gestire in maniera integrata i dati raccolti in 67 siti di ricerca delle rete LTER europea (figura 1). L'armonizzazione delle metodologie, combinata con il miglioramento della gestione e condivisione della grossa mole di dati esistenti permetteranno di ottenere una più profonda comprensione del funzionamento degli ecosistemi.

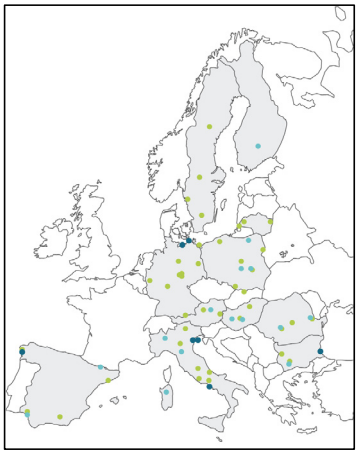


*Figura 1. Distribuzione geografica dei 67 siti LTER coinvolti nel progetto EnvEurope, suddivisi per tipologia di ambiente: siti di acque continentali in azzurro, siti marini in blu e siti terrestri in verde.*

In questo contesto progettuale l'azione di *Data Management* (Action 1) ha lo scopo di proporre una infrastruttura che permetta di conservare la grande mole di dati fino ad ora archiviati in modo autonomo nei vari siti, recuperandoli attraverso una armonizzazione delle informazioni che descrivono i dati (metadati) ma anche implementando strumenti per la condivisione i dati, così da sostenere le future attività di ricerca. L'attività così svolta servirà come banco di prova tecnologica e procedurale per tutta la rete LTER Europea.

[3] http://www.alter-net.info/
[4] http://www.enveurope.eu/

**Il sistema di gestione dati in EnvEurope e i suoi componenti**

La realizzazione di un'infrastruttura di gestione dei dati per una comunità, come quella ecologica, che ha lunghe e radicate tradizioni scientifiche ci ha costretti a procedere per passi successivi: valutando le pratiche per la conservazione di metadati e dati; riconoscendo le tipologie di dati presenti in ciascun dominio (lacustre, marino o terrestre); analizzando le soluzioni tecnologiche già adottate o sperimentate in altri progetti, realtà e iniziative; infine ricalibrando queste soluzioni secondo le esigenze indicate dai beneficiari del progetto. Tutto questo servirà ad ottenere soluzioni nell'ambito dell'ecoinformatica che possano essere ottimamente calibrate per la realtà della rete LTER, ma che permettano di ottenere una reale interoperabilità con altre infrastrutture dati o sistemi informativi trattanti dati ecologici o più genericamente dati ambientali.

Attraverso 2 questionari è stato possibile raccogliere informazioni relativamente alle pratiche adottate, dai singoli beneficiari, per la conservazione e la distribuzione dei metadati e dei dati nei siti e tra i siti. I risultati (Perteseil *et al.*, 2011) si possono considerare significativi della comunità: più del 85% dei siti di ricerca hanno risposto alle domande dei 2 questionari. Lo scenario emerso è però di una comunità poco abituata alla condivisione delle informazioni e dei dati attraverso i moderni strumenti dell'ecoinformatica. E' stato rilevato che:

- solo 23 siti su 67 adotta soluzioni standard per l'archiviazione dei metadati, utilizzando profili quali *DublinCore*, *Ecological Metadata Languages* (EML) e ISO19115;
- 21 siti hanno creato cataloghi di metadati usando MetaCat[5] o utilizzato strumenti conformi allo standard CSW (*Catalogue Service of Web*) utilizzando GeoNetwork[6];
- tutti i dati dei diversi beneficiari sono archiviati in fogli Excel che vengono ristrutturati di volta in volta secondo i bisogni progettuali;
- circa 80% dei beneficiari raccoglie l'informazione geografica insieme alla misura di campo e indica come fondamentale e necessaria la georeferenziazione del dato raccolto;
- solo il 27% dei siti utilizza *data portal* per la distribuzione di propri *dataset*, ma solo il 21% di questi provvede a distribuire i propri dati utilizzando servizi OGC (*Open Geospatial Consortium*) standard quali WFS (*Web Feature Service*), WCS (*Web Coverage Service*) o SWE (*Sensor Web Enablement*).

Da questi questionari è emerso che la tipologia prevalente di dati nella comunità EnvEurope sia di tipo osservativo, cioè misurazioni - quantità numeriche - di parametri che sono associati con caratteristiche temporali e luoghi geografici (Borgman *et al.*, 2007). Queste osservazioni si riferiscono poi a due comparti specifici, da un lato quello biologico (es. presenza di specie, elenchi tassonomici, abbondanze o densità di organismi, ecc.), dall'altro quello ambientale caratterizzato da parametri chimico-fisici (es. temperatura, salinità, trasparenza, torbidità, ecc.).

Prima di proporre qualunque soluzione è stata da noi effettuata un'analisi delle implementazioni, degli strumenti e degli standard adottati nelle altre reti LTER, esaminando anche le proposte in ambito europeo con particolare riguardo alle indicazioni date dalla Direttiva INSPIRE. Abbiamo così riconosciuto come nella rete US-LTER sono stati concepiti e adottati strumenti quali: MetaCat come database XML che permette l'archiviazione e il reperimento attraverso richieste sui metadati; Morpho come strumento di *data management* progettato appositamente per gli ecologi che permette l'inserimento dei dati, l'archiviazione sotto forma di *file system* e l'associazione con i relativi metadati; EML come standard di metadati studiato appositamente per le discipline ecologiche. Per la rete US-LTER nessun servizio web standard è attualmente adottato per la distribuzione dei dati, questi sono infatti distribuiti esclusivamente utilizzando fogli di calcolo o file testo.

Sono state poi analizzate le implementazioni adottate nella realtà europea, le normative comunitarie e gli standard internazionali per considerare soluzioni che permettano l'interoperabilità con i

[5] http://knb.ecoinformatics.org/

[6] http://geonetwork-opensource.org/

progetti, le iniziative e le realtà, più significative, attualmente esistenti. Sono stati da noi presi in esame iniziative internazionali come SEIS, GMES e GEOSS (*Global Earth Observation System of Systems*); progetti come Humboldt, NatureSDIplus, BioFresh, GIGAS; consorzi come GBIF, LifeWatch, DataOne (*Data Observation Network for Earth*); ma anche le indicazioni date dall'OGC e dal quadro giuridico Europeo (INSPIRE - 2007/2/CE). Ne emerso un quadro che potremmo dire omogeneo, indicando negli standard OGC le specifiche di condivisione e distribuzione dei dati di chimico-fisico e nelle soluzioni GBIF per la parte riguardante i dati biologici.
Sugli aspetti di data management però le situazioni adottate sono eterogenee sia a livello della rete LTER sia in senso globale, nel progetto EnvEurope si è così deciso di creare: un profilo di metadati per la comunità LTER Europa, uno strumento per la collezione, la ricerca e la visualizzazione dei metadati dei dataset e infine un GeoViewer per la visualizzazione su mappa dei siti di ricerca LTER.

*Profilo di metadati per la comunità EnvEurope*

La creazione di un profilo di metadati comune per la comunità EnvEurope e per quella LTER Europea è di fondamentale importanza per poter armonizzare le informazioni riguardanti i *dataset*. Questi infatti sono da considerarsi realmente condivisi solo quando sono raccolte informazioni che ne descrivano il contenuto, la modalità di raccolta, l'arco temporale coperto, la proprietà e la possibilità di utilizzo.
Nel progetto EnvEurope è stato usato come modello di riferimento per la descrizione dei dataset il linguaggio EML. Questa specifica di metadatazione è stata sviluppata per la descrizione di dataset ecologici, viene largamente usato come linguaggio di metadatazione in diverse realtà: dal 2008 per l'armonizzazione dei metadati nella rete ILTER, nel network US-LTER (Michener, 1997; Jones, 2001) e dal 2010 per descrivere i dati relativi alla biodiversità in ambito GBIF. Basato su un precedente lavoro effettuato per la società ecologica americana (*Ecological Society of America*, ESA), EML è implementato come una serie di schemi XML che possono essere usati in maniera modulare ed estendibile per dare una descrizione dei dati ecologici.
Visto l'ampio uso che si fa della specifica EML sia in ambito ILTER sia US-LTER, in EnvEurope è stato inevitabile utilizzare questo linguaggio come base per la creazione di un *Domain Specific Community Profile* (DSMP). Per EnvEurope il DSMP riflette però anche il risultato di richieste degli utenti coinvolti nel progetto, di una consultazione con esperti di metadatazione e di un confronto con le specifiche di metadatazione indicate dalla direttiva INSPIRE. Infatti se a livello internazionale e Nord americano le normative comunitarie non sono considerate, per un progetto finanziato dalla Comunità Europea e per una rete che è profondamente legata al continente europeo il considerare normative comunitarie diventa percorso obbligato. Il DSMP risultante e proposto per il progetto EnvEurope è così composto da 20 elementi di metadazione (figura 2), esposti sotto forma di schema XML.

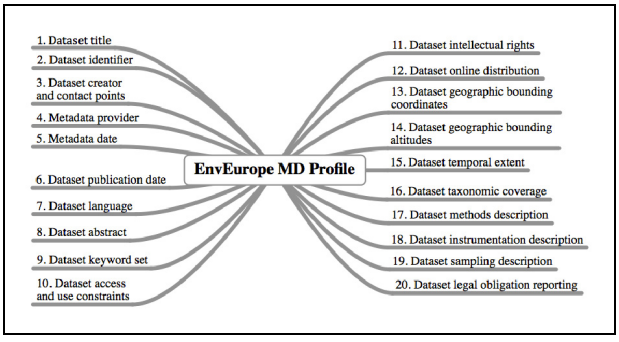



*Figura 2. Elenco dei 20 elementi di metadatazione.*

Nel confronto con le specifiche dettate dalla Direttiva INSPIRE abbiamo considerato i requisiti della stessa direttiva, è stato così creato un crosswalk tra il DSPM di progetto e il profilo di metadati di INSPIRE, basato su ISO 19115 (ISO, 2003). La prima parte del lavoro di confronto è consistito nella mappatura tra DSMP e *ISO Core* metadata, ma anche e soprattutto nella comparazione con i vincoli definiti nelle regole di implementazione di INSPIRE (INSPIRE, 2008). Questo lavoro, condotto in accordo con la metodologia descritta in Nogueras-Iso (2005) ha permesso di ottenere da un lato un profilo di metadati che è compatibile, avvalendosi di una tecnologia di traduzione XSLT (*eXtensible Stylesheet Language Transformations*) (Kliment, 2011), con il profilo di INSPIRE; dall'altro essendo implementato partendo da schemi EML è risultato interoperabile con altri network, consorzi o progetti che si avvalgono dello stesso linguaggio (es. GBIF, ILTER e US-LTER).

*Drupal Ecological Information Management System (DEIMS) in ambito EnvEurope*

DEIMS è l'acronimo utilizzato per indicare il sistema di gestione delle informazioni ecologiche nel *Content Management System* (CMS) Drupal. In EnvEurope tutte gli strumenti che riguardano l'archiviazione, la ricerca, la visualizzazione e l'analisi dei metadati sono stati implementati utilizzando lo stesso approccio utilizzato dalla rete US-LTER.

La collezione dei metadati per la descrizione dei dataset è, per il gruppo di data management di EnvEurope, il primo passo per la completa armonizzazione dei dati di progetto. In Drupal è stato così creato un portale *on-line*, denominato EnvEurope DEIMS[7], per la compilazione dei metadati e uno strumento per la loro gestione. Nell'attuale versione, questo portale ha il compito fondamentale di permettere: ai soli partecipanti al progetto di poter archiviare i metadati che descrivono i dataset secondo modalità condivise; viene invece permesso anche a utenti non registrati di poter effettuare ricerche sui metadati per parole chiavi, per sito di ricerca LTER o per estensione temporale; infine è possibile visualizzarne il contenuto e analizzarlo in modo da poterne valutare la qualità e reale utilità.

Questa interfaccia è organizzata in 2 parti: una dedicata al completamento dei 20 campi di metadato e l'altra per la creazione di richieste per il recupero dei metadati (Fig. 3). I campi di metadatazione sull'interfaccia sono organizzati secondo la tipica struttura dei moduli della rete internet: caselle per il completamento a testo libero, finestre a scorrimento nel caso di campi a scelta multipla e caselle di spunta per scelte univoche. L'interfaccia creata per la ricerca all'interno dei metadati prevede che l'utente possa selezionare 5 diversi criteri: il nome del sito LTER Europe, le parole chiave presenti nel titolo o nell'*abstract*, l'estensione temporale del dataset, la lingua e la frequenza di campionamento. Questa stessa interfaccia permette poi di visualizzare il contenuto dei metadati attraverso un report in il metadato selezionato può essere esporto come formato XML, PDF o testo generico.

[7] http://enveurope.geocatalogue.ise.cnr.it/deims/

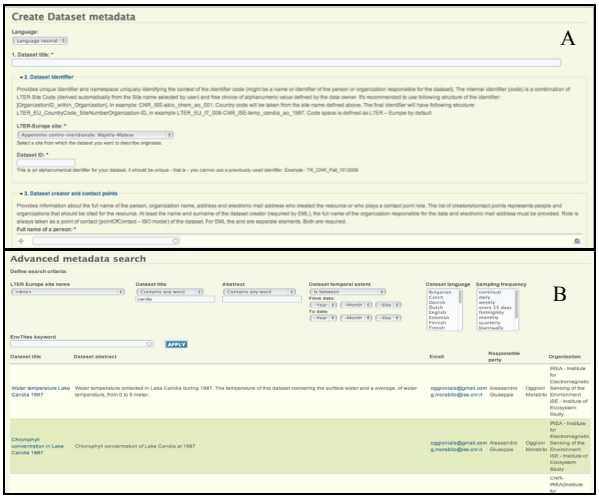



*Figura 3. Interfaccia di EnvEurope DEIMS per l'inserimento dei metadati dei dati (A) e per la loro ricerca e visualizzazione (B).*

*Soluzioni basate su servizi web e il GeoViewer*

Le informazioni georiferite sono tradizionalmente gestite per mezzo di Sistemi Informativi Geografici (GIS). L'avvento di internet ha permesso di generare e spostare queste applicazioni sul web. I Web-GIS solitamente sono applicazioni che forniscono servizi di mappatura attraverso il web, dove gli utenti possono controllare visivamente carte tematiche, gestire più strati sovrapposti, ed eseguire operazioni semplici, come pan e zoom. Inoltre, in queste applicazioni esiste sempre un archivio che gestisce e distribuisce i diversi layer che è strettamente associato ad un interfaccia client, così repository diversi risultano gestiti da interfacce utente diverse in un rapporto di tipo uno a uno. Questo rapporto univoco è cambiato da quando sono stati sviluppati i geoservizi: servizi web che distribuiscono dati geografici e strumenti geografici attraverso la rete attraverso server. I servizi web sono gli elementi costitutivi delle cosiddette Infrastrutture di Dati Spaziali (SDI), le infrastrutture tecnologiche per condividere e utilizzare i dati spaziali in modo interoperabile. Secondo la più classica Architettura Service Oriented (SOA), adottata e raccomandata dalla Direttiva INSPIRE, da un lato i geoservizi possono servire i geodati a interfacce clienti diverse, dall'altro un solo client può accedere contemporaneamente a geoservizi diversi e distribuiti.
Nell'ambito del progetto EnvEurope, per la pubblicazione e la distribuzione dei dati ecologici, è stato proposto l'uso dei servizi supportati in ambito OGC e ampiamente utilizzati nel settore dei servizi Web per le informazioni geografiche. Alcuni degli OGC Web Services sono inclusi nelle raccomandazioni INSPIRE da utilizzare come servizi di rete (es. *Web Map Service* - WMS e *Web Feature Service* - WFS), altri come il Sensor Web sono raccomandati da GEOSS e sono stati adottati dal *World Wide Web Consortium* (W3C).
Come emerso dai questionari i dati che sono presenti in ambito EnvEurope sono principalmente osservazioni/misure di parametri, con associate caratteristiche spaziali (x, y, z) e una dimensione temporale (t). Solo in alcuni casi i dati possono essere rappresentati sotto forma di mappa: distribuzioni tematiche ottenute da osservazioni effettuate da sensori remoti, risultato di elaborazioni spaziali sui dati da una o più stazioni puntuali, oppure distribuzioni areali di specie. Pertanto servizi WMS e WFS probabilmente avranno una utilità limitata nell'ambito del dominio EnvEurope e LTER; servizi come il Sensor Web è invece uno standard più promettente, tanto più che in questo approccio i dati (osservazioni) non sono trattate come file ma direttamente come record di database, permettendo così un'analisi più flessibile e una gestione più semplice delle misure effettuate con alta granularità temporale.

In EnvEurope l'utilizzo di servizi web o di geoservizi per la pubblicazione dei dati, rappresenta un primo passo verso alcuni obiettivi definitivi di progetto: l'interoperabilità dei dati e la condivisione di archivi dati indipendenti e diffusi, dove le osservazioni raccolte da parte di beneficiari differenti possono essere archiviate e conservate, senza la necessità di impianti di stoccaggio centralizzato.
Secondo questo indirizzo progettuale la realizzazione di un'applicazione client per visualizzare i dati serviti da servizi WMS e WFS, ma anche Sensor Web è di centrale importanza. Il progetto EnvEurope offre oggi un GeoViewer di progetto (figura 4) per la visualizzazione in un ambito geografico dei layer dei confini geografici dei siti LTER europei distribuiti come OGC Web Services (WMS e WFS). Il servizio di mappa consente inoltre, per ciascun sito LTER, di accedere direttamente alla ricerca dei metadati, di creare di metadati tramite gli strumenti precedentemente descritti e infine di raccogliere le informazioni geografiche dei diversi siti LTER. Infine dal GeoViewer è possibile aggiungere servizi WMS, funzionalità che consente agli altri utenti di caricare mappe pubblicate in altri progetti, iniziative, da altre istituzioni o autorità direttamente alla finestra EnvEurope GeoViewer.

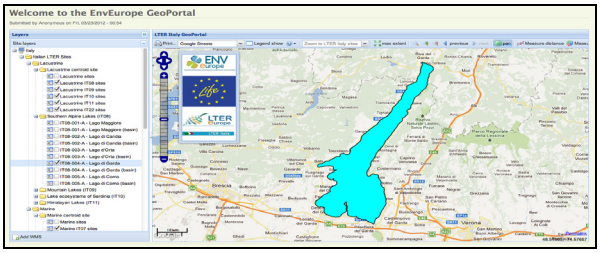



*Figura 4. GeoViewer di progetto integrato nel sistema Drupal contenente anche gli strumenti per la metadatazione. Viene qui rappresentato a titolo di esempio il confine geografico del sito di ricerca LTER Lago di Garda.*

**Integrazione con altre iniziative**

La completa interoperabilità tra iniziative, progetti e consorzi diversi è l'obiettivo principale in un'attività di gestione dati. La reale interoperabilità avviene però con l'utilizzo di standard condivisi o con l'adozione di strumenti (es. *broker*) (Nativi *et al.*, 2012) che permettano ai server o alle interfacce client di integrare informazioni o dati distribuiti anche utilizzando standard differenti.
In EnvEurope, visto il basso livello tecnologico dei beneficiari, si è preferito effettuare una analisi dell'esistente e adottare specifiche e geoservizi standard utilizzati da altre grandi realtà, progetti o iniziative. Così si è potuta realizzare la reale integrazione con tutta la rete LTER (ILTER e US-LTER) grazie all'utilizzo di identiche specifiche per la metadatazione, ma anche con tutte le infrastrutture che adottano le specifiche di metadatazione indicate dalla Direttiva INSPIRE o che utilizzano geoservizi OGC per la pubblicazione sul web dei dati.
Rispetto a queste altre iniziative hanno adottato approcci, specifiche e sviluppato strumenti per rispondere alle specifiche esigenze della comunità di riferimento. Realtà come GBIF, sicuramente il più comprensivo e ampio servizio per ricerche complesse su dati riguardanti la biodiversità, offre componenti differenti rispetto a quelli descritti fino ad ora. Questi componenti offrono facilitazioni per la pubblicazione, la ricerca, l'integrazione, il recupero e l'analisi di dati tassonomici che presentano per l'82% dei casi un riferimento geografico (Telenius, 2011). I dati di GBIF quindi sono di tipo geografico, si riferiscono alle occorrenze di diversità tassonomica, si recuperano e si interrogano per livelli sistematici differenti, infine presentano tutti conformità con gli standard DarwinCore o di *Access to Biological Collections Data* (ABCD) che ne facilitano la distribuzione includendo concetti riferiti specificatamente alla diversità biologica. Sono anche ricercabili e analizzabili attraverso l'uso di metadati codificati secondo la specifica EML. In GBIF la pubblicazione dei dati riguardanti la biodiversità avviene attraverso la rete ed è facilitata dalla piattaforma software IPT (*Integrated Publishing Toolkit*). IPT gestisce e permette di distribuire i

dati attraverso l'uso di una tripletta di file che riguardano: i metadati (EML), le liste e le occorrenze tassonomiche organizzate secondo *DataBase Management System* (DBMS) o file testo (es. CSV).
L'integrazione tra EnvEurope e GBIF è stata da noi testata pubblicando un dataset riguardante occorrenze biologiche di specie di piante acquatiche lacustri, attraverso l'uso del software IPT. Sono stati importati i file di metadato creato attraverso l'uso dell'interfaccia EnvEurope DEIMS e le specifiche DSPM di progetto, le lista di specie e le occorrenze georiferite delle specie macrofitiche organizzate in un DataBase relazionale.

**Sfide e opportunità**

In un periodo come quello attuale dove si assiste a perdite di habitat, cambiamenti climatici di scala globale e rapido declino nella diversità biologica la domanda di informazioni, dati e misure armonizzate e distribuite da ricercatori per rispondere alle esigenze decisionali di politici o di amministratori pubblici è più che mai impellente (Telenius, 2011). L'ammontare delle informazioni e dei dati raccolti in questi anni in ambito ecologico e biologico è enorme (Pullin & Salafsky, 2010; Dengler *et al.*, 2011). Organizzare e realizzare infrastrutture dati robuste per la pubblicazione e la condivisione di dati non organizzati è ancora oggi una sfida. Le combinazioni tra le occorrenze geolocalizzate di specie e i dati ambientali raccolti con alta frequenza o granularità, però permettono opportunità analitiche che vanno oltre ai semplici dati grezzi. Se a questi dati aggiungiamo quelli raccolti in serie storiche più che decennali, con metodi armonizzati e parametri condivisi, vengono a prodursi occasioni di ricerca prima ad ora impensabili.
Il progetto EnvEurope, per conto della rete LTER Europea, si trova oggi in prima linea per far fronte a queste sfide e queste opportunità. Attualmente infatti l'infrastruttura per la condivisione dei dati e dei metadati è stata fino ad ora solo abbozzata e ancora molti nodi della rete, siti di ricerca nazionali e istituzioni sono ancora oggi arretrati; occorrerà nel prossimo futuro armonizzare la struttura dei dati e delocalizzare i servizi web in tutta la rete. In particolare andranno affrontate le sfide riguardanti:

1. la raccolta e la pubblicazione dei metadati, secondo il DSMP prodotto, in modo che si ottenga maggiore visibilità dei dati, dei parametri e dei metodi che vengono raccolti, misurati e adottati nella rete. Questo permetterebbe alla rete nel suo complesso, ma anche e soprattutto ai singoli siti di essere individuabili e coinvolgibili in progetti, pubblicazioni o iniziative;
2. l'adozione di servizi web che permettano la completa interoperabilità tra i dati della rete in modo che, adeguatamente controllati, questi dati siano disponibili in formati condivisi e che possano più facilmente essere utilizzati per analisi o ricerche;
3. la attuazione di strumenti e servizi da parte di tutti i siti di ricerca coinvolti nella rete LTER permetterebbe di distribuire le informazioni e i dati, così che queste non verrebbero centralizzati ma rimarrebbero archiviati nelle istituzioni che li hanno prodotti. Questo, oltre a migliorare la vitalità dei dati stessi, darebbe indipendenza ai singoli nodi.

La creazione di una rete così organizzata offrirebbe opportunità nella collaborazione con iniziative internazionali come GBIF, LifeWatch o DataOne che darebbero maggiore sviluppi e finanziamenti per nuove ricerche. Far interagire le informazioni e i dati provenienti da realtà come quelle citate, consentirebbe di creare quell'integrazione tra discipline che è tanto cara all'ecologia e permetterebbe di aumentare il grado di comprensione di qualunque sistema naturale più di quanto sia stato possibile fino ad ora.

**Bibliografia**

AA.VV. 2011. Challenges and opportunities. Introduction. Science. 331(6018): 692.

Bekker, R.M., H. Bruelheide & K. Woods. 2007. Longterm datasets: From descriptive to predictive data using ecoinformatics. *Journal of Vegetation Science*, 18: 457-570.

Bisby, F.A. 2000. The quite revolution: biodiversity informatics and the internet. Science, 289: 2309–2312.

Borgman, C., J. Wallis & N. Enyedy. 2007. Little science confronts the data deluge: Habitat ecology, embedded sensor networks, and digital libraries. *International Journal on Digital Libraries*, 7(1), 17-30.

Brunt, J.W., P. McCartney, K. Baker & S.G. Stafford. 2002. The future of ecoinformatics in long term ecological research. In: Callaos, N. (ed.) Proceedings of the 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics: SCI 2002; July 14–18, 2002 Orlando, Florida, USA. Volume 7: Information systems development, II. pp. 367–372. International Institute of Informatics and Systemics, Orlando, FL, US.

Canhos, V.P., S. Souza, R. Giovanni & D.A.L. Canhos. 2004. Global biodiversity informatics: setting the scene for a ''new world'' of ecological modelling. *Biodiversity Informatics*, 1: 1-13.

Dengler, J., J. Ewald, I. Kühn, & R.K. Peet. (2011). Ecoinformatics and global change - an overdue liaison. *Journal of Vegetation Science*, 22(4), 577-581.

Guralnick, R. & A. Hill. 2009. Biodiversity informatics: automated approaches for documenting global biodiversity patterns and processes. *Bioinformatics*, 25: 421-428.

Harris G. 1986. Phytoplankton ecology: structure, function, and fluctuation. Chapman and Hall. 384 pp.

INSPIRE. 2008. Commission Regulation (EC) No 1205/2008 of 3 December 2008 implementing Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council as regards Metadata.

ISO. 2003. 19115:2003 - Geographic information - Metadata. ISO, Switzerland, 2003.

Jones, M.B., C. Berkley, J. Bojilova & M. Schildauer. 2001. Managing Scientific Metadata. *IEEE Internet Computing*, 3: 59-68.

Kareiva, P. 2001. Ecoinformatics: facilitating access to existing data sets. Trends in Ecology and Evolution, 16: 266.

Kliment, T. & A. Oggioni. 2011. Bringing Eco-Biological Metadata to the INSPIRE metainformation world. GI2011-X-border-SDI/GDI-Symposium, 2011, Bad Schandau, Germany.

Michener, W.K., J.W. Brunt, J.J. Helly, T.B. Kirchner & S.G. Stafford. 1997. Non geospatial Metadata for the Ecological Sciences. *Ecological Applications,* 7(1): 330-342.

Michener, W.K., J. Porter, M. Servilla & K. Vanderbilt. 2011. Long term ecological research and information management. *Ecological Informatics*, 6(1), 13-24.

Mirtl, M. & K. Krauze. 2007. Developing a new strategy for environmental re-search, monitoring and management: The European Long-Term Ecological Research Network´s (LTER-Europe) role and perspectives, in: Chmielewski, T.J. (ed.), Nature conservation management - From idea to practical results. ALTER-Net. Lublin-Lodz-Hesinki-Aarhus, ISBN 83-87414-98-0. pp. 36-52.

Mirtl, M., M. Boamrane, L. Braat, E. Furman, K. Krauze, M. Frenzel, V. Gaube, E. Groner, A. Hester, S. Klotz, W. Los, I. Mautz, J. Peterseil, A. Richter, H. Schentz, K. Schleidt, M. Schmid, A. Sier, J. Stadler, R. Uhel, M. Wildenberg, S. Zacharias. 2009. LTER-Europe Design and Implementation Report - Enabling "Next Generation Ecological Science": Report on the design and implementation phase of LTER-Europe un-der ALTER-Net & management plan 2009/2010. Umweltbundesamt (Federal Environment Agency Austria). Vienna. 220 pp. ISBN 978-3-99004-031-7.

Mirtl, M. 2010. Introducing the next generation of ecosystem research in Europe: LTER-Europe's multi-functional and multi-scale approach, in: Müller, F., C. Baessler, H. Schubert, & S. Klotz (eds), Long-term ecological research: between theory and application. Springer, Dordrecht. 456 pp. ISBN: 978-90-481-8781-2.

Nativi, S., C. Massimo & J. Pearlman. 2012. The Brokering Approach for Multidisciplinary Interoperability: A Position Paper. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 7: 1-15.

Nogueras-Iso, J., F. Zarazaga-Soria, P.R. Muro-Medrano. 2005. Geographic Information Metadata for Spatial Data Infrastructures: Resources, Interoperability and Information Retrieval. Springer.

Odum E. & G. Barrett. 2005. Fundamentals of ecology. Thomson Brooks/Cole. 598 pp.

Page B. & V. Wohlgemuth. 2010. Advances in environmental informatics: Integration of discrete event simulation methodology with ecological material flow analysis for modelling eco-efficient systems. International Conference on Ecological Informatics and Ecosystem Conservation (ISEIS 2010), Procedia Environmental Sciences, 2: 696-705.

Peterseil, J., T. Kliment, A. Oggioni, H. Schentz & P. Carrara. 2011. Report on data store in DB. 45 pp.

Pullin, A.S. & N. Salafky. 2010. Save the Whales? Save the Rainforest? Save the Data! Conservation Biology, 24(4): 915-917. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2010.01537.x

Recknagel, F. 2011. Ecological informatics: a discipline in the making. *Ecological Informatics*, 6: 1-3.

Reichman, O.J., M.B. Jones & M.P. Schildhauer. 2011. Challenges and opportunities of open data in ecology. *Science*, 331 (6018): 703-705.

Soberón, J. & T. Peterson. 2004. Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 359: 689-698.

Telenius, A. 2011. Biodiversity information goes public: GBIF at your service. *Nordic Journal of Botany*, 29: 378-381, doi: 10.1111/j.1756-1051.2011.01167.x

# Selettività degli incendi forestali in ambiente alpino

Stefano Oliveri (*), Marco Pregnolato (*), Giacomo Gerosa (**,°)

(*) Ecometrics s.r.l., Via G. Rosa 24, 25121 Brescia, Tel. +390306376994, email: info@ecometrics.it
(**) Università Cattolica del S.C., Via Musei 41, 25121 Brescia, Tel. +390302406719,
email: giacomo.gerosa@unicatt.it
(°) corresponding author

**Riassunto**
Il progetto Interreg MANFRED (www.manfredproject.eu, 2009-2012) ha avuto per obiettivo lo studio degli impatti dei cambiamenti climatici sullo stato di salute delle foreste alpine. Nell'ambito del progetto, una linea di attività è stata dedicata allo studio delle dinamiche spazio-temporali degli incendi boschivi nelle Alpi. Su scala alpina, l'efficacia e l'efficienza dei servizi di previsione del pericolo d'incendio, delle attività di prevenzione del rischio e delle azioni anti-incendio è significativamente aumentata nel corso degli ultimi decenni. I *trend* in atto mostrano una progressiva riduzione sia della frequenza degli incendi che dell'estensione media di ogni occorrenza. Nonostante ciò, gli incendi boschivi costituiscono uno dei principali fattori di pressione per le foreste delle Alpi. Secondo i dati del *database* pan-alpino degli incendi sviluppato nel progetto (e consultabile tramite piattaforma webGIS dedicata), infatti, nel periodo 2000 – 2009 sono stati registrati oltre 29.000 incendi boschivi, con un'area bruciata complessiva di quasi 95.000 ha. I cambiamenti climatici in atto, inoltre, potrebbero rappresentare un fattore determinante nell'influenzare i futuri *pattern* dei fuochi e il regime stesso degli incendi. Il presente lavoro è stato finalizzato ad una caratterizzazione dei *pattern* spazio-temporali dei fuochi nelle Alpi, con l'obiettivo di definire quali unità vegetazionali risultino maggiormente critiche sia in termini di frequenza che di estensione media degli incendi che si sviluppano al loro interno. A tale scopo è stata condotta un'analisi Monte Carlo su un campione di oltre 26.000 incendi, stratificati secondo diversi parametri: localizzazione del punto di innesco, area geografica, stagione, quota, esposizione. L'analisi evidenzia le unità vegetazionali maggiormente vulnerabili rispetto al rischio incendio e fornisce una prima base di conoscenza per orientare le future azioni di prevenzione e mitigazione dei rischi correlati agli incendi boschivi nelle Alpi.

**Abstract**
The Interreg MANFRED project (www.manfredproject.eu, 2009-2012) was aimed at studying the impacts of climate change on Alpine forests. A specific research activity was reserved at the study of the spatial and temporal dynamics of forest fires in the Alps. At Alpine scale the efficiency of the fire-risk prevention and fire-fighting services significantly increased in the last decades. The actual trends show a continuous reduction of both fire frequency and average extension of burnt area. Nevertheless forest fires represent one of the main pressure factor for the Alpine forests. In fact, according to the pan-Alpine dataset developed for the project (and available on a dedicated WebGIS platform), more than 29.000 forest fires have occurred during the last decade 2000-2009, with an overall burnt area of about 95.000 hectares. Moreover, climatic changes could represent a determinant factor in influencing the future patterns of fires and their regimes. The present work is aimed at characterising the spatial and temporal patterns of forest fires in the Alps and, specifically, at revealing the more fire-susceptible (and critical) vegetation units in terms of both frequency and burnt area extension. For this sake a Monte Carlo analysis has been performed on a sample of more than 26.000 fires, stratified by different parameters: fire ignition point, geographical area,

seasonality, elevation and aspect. The results represent a strategic knowledge base to steer future prevention and mitigation actions in the field of forest fires in the Alps.

**Introduzione**

Gli studi sulla selettività degli incendi forestali rappresentano una linea di ricerca che deriva dal dibattito sull'importanza relativa, nel controllare le dinamiche dei fuochi, di fattori quali l'eccezionalità delle condizioni meteorologiche (*weather hypothesis*) o la distribuzione spaziale del combustibile (*fuel hypothesis*) (Pezzatti et al., 2009). In anni recenti, questo tipo di ricerche sono state applicate per studiare *pattern* di selettività sia in aree (es. Nord America) a livello delle quali la parte preponderante degli incendi ha cause naturali (Cumming, 2001), sia in regioni, come l'Europa centrale o meridionale, dove l'intervento umano gioca un ruolo chiave nel determinare le frequenze di accadimento degli incendi. A livello europeo, varie ricerche sono state condotte in area mediterranea. In studi sul Portogallo continentale (Nunes et al., 2005; Moreira, 2001), è stato fra l'altro evidenziato che i fuochi di maggiori dimensioni non presentano selettività evidenti per specifiche classi di uso del suolo, al contrario di ciò che avviene per gli incendi di dimensioni minori. Lo studio suggerisce che in occasione di condizioni meteorologiche estreme, tipicamente associate con incendi di grandi dimensioni, la diffusione dei fuochi sia probabilmente influenzata da fattori diversi rispetto alla tipologia di combustibile; in presenza di condizioni meteorologiche meno severe, invece, il combustibile rivestirebbe invece un ruolo chiave. In uno studio condotto sul territorio della Sardegna, svolto per valutare se esistano classi di uso del suolo a livello delle quali l'incidenza degli incendi sia maggiore rispetto a quanto atteso, si è dimostrato (Bajocco et al., 2008) che esiste una correlazione evidente fra livello di incidenza degli incendi e alcune specifiche classi di uso del suolo. A livello alpino, a conoscenza degli autori, una sola ricerca è stata condotta sulla selettività degli incendi sulla vegetazione forestale. Si tratta di uno studio recentemente svolto in Canton Ticino (Svizzera meridionale), con il quale è stata indagata (Pezzatti et al., 2009) la selettività degli incendi rispetto a specifiche tipologie forestali. Il lavoro ha mostrato l'esistenza di evidenti *pattern* di selettività che interessano determinate formazioni boschive. In linea con il gruppo di lavori appena citati, il presente contributo è stato finalizzato alla caratterizzazione dei *pattern* spazio-temporali dei fuochi nelle Alpi, con l'obiettivo di definire quali unità vegetazionali risultino maggiormente vulnerabili agli incendi.

**Dataset di riferimento**

Nell'ambito del progetto MANFRED è stato sviluppato un *database* pan alpino degli incendi che ha raccolto informazioni su oltre 82.000 eventi, ciascuno descritto secondo un *set* standard di attributi, sia di carattere geografico che tematico. Circa 26.000 incendi compresi in tale banca dati sono occorsi nel decennio 2000 – 2009, periodo per il quale tutti i Paesi dell'arco alpino sono stati in grado di fornire informazioni sui fuochi a livello locale; questo sottoinsieme, georeferenziato in base alle coordinate dei punti di innesco, è stato inserito all'interno di una piattaforma webGIS, consultabile all'indirizzo www.manfredproject.eu/webgis (Pregnolato et al., 2012). (Figura 1).

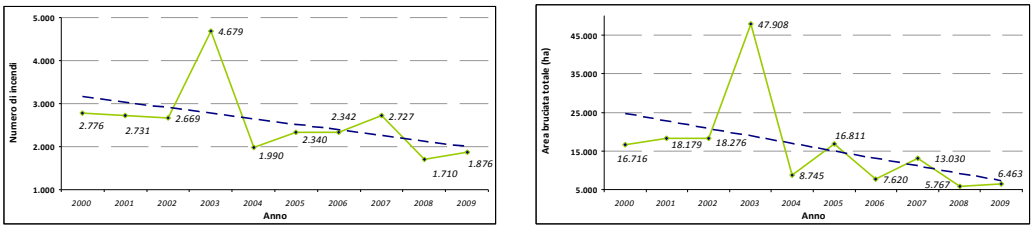



*Figura 1. Evoluzione inter annuale della frequenza (sinistra) e dell'estensione complessiva dell'area bruciata (destra) degli incendi avvenuti in ambito pan alpino nel decennio 2000-2009.*

**Metodologia**

Il *dataset* su cui è stata condotta l'analisi si compone di oltre 26.000 incendi boschivi avvenuti tra il 2000 e il 2009 nelle aree alpine italiana, svizzera e slovena, stratificati secondo localizzazione del punto d'innesco, estensione area bruciata, stagione, quota, esposizione e causa.

La tipologia forestale dei punti d'innesco, non sempre registrata dagli uffici antincendio, è stata determinata proiettando i dati sulla "*Map of Natural Vegetation of Europe. Scale 1:2.500.000*" (Bon et al., 2004) la quale riporta la struttura, la diversità naturale e la distribuzione spaziale delle principali unità vegetazionali della copertura naturale delle varie regioni europee (Tabella 1). Inoltre, per poter escludere gli incendi che hanno avuto punto di innesco al di fuori di aree forestali (es. pascoli o prati), è stata effettuata, per Italia e Slovenia, una sovrapposizione con le classi di copertura della "*Corine Land Cover 2006*" riconducibili ad aree forestate: 244-*Agro-forestry areas*, 311-*Broad-leaved forest*, 312-*Coniferous forest*, 313-*Mixed forest*, 323-*Sclerophyllous vegetation*, 333-*Sparsely vegetated areas*. Per la Svizzera, per la quale non sono disponibili dati CORINE, l'incrocio è stato effettuato con la Forest Cover Map (2006) d'Europa prodotta dalla Forest Unit del JRC di Ispra. Infine, solo gli incendi con area bruciata superiore a 0.1 ha sono stati presi in considerazione, per un totale di 6.408 eventi occorsi in aree forestali (Tabella 2).

La Figura 2 mostra l'estensione potenziale delle unità vegetazionali descritte al Livello II della "*Map of natural vegetation of Europe*" nelle aree forestate del *dataset* considerato.

*Tabella 1. Legenda della "Map of Natural Vegetation of Europe", Level II (nostra elaborazione).*

| *Codice* | *Unità vegetazionale* |
|---|---|
| A | Ontaneti (con carici) e foreste di aree paludose |
| B | Foreste di zone umide planiziali e perifluviali (vallette e depressioni): farnia, olmo, frassino con salice e pioppo, ontaneti |
| C | Praterie alpine, arbusti alpini nani e striscianti, vegetazione alpina di rocce e ghiaioni nelle 3 fasce: boreale, nemorale e mediterranea |
| D | Faggete e faggete miste |
| E | Canneti ed erbe alofitiche in acque salmastre |
| F | Vegetazione aloftica (dune costiere) |
| G | Foreste mediterranee di sclerofille (lecceti, ma anche ginepro, lentisco, fillirea e/*o P. alepensis*) e relativa macchia |
| H | Carici e saggine in acquitrini |
| I | Querco-carpineti misti del piano planiziale-collinare (o submontano), anche con tiglio |
| L | Foreste di abete bianco (anche miste con abete rosso) nella zona nemorale |
| M | Torbiera |
| N | Querceti misti di substrati acidi (farnia e rovere, ma anche pino silvestre, betulle e castagni) |
| O | Vegetazione della fascia forestale superiore in zona subalpina (subfascia 1:mugheti, rododendri; subfascia 2: lariceti, cembrete, erbe alte; subfascia 3: peccete subalpine) e oromediterranea (ginepreti) |
| P | Querceti misti termofili (rovere, farnia, anche con acero e *p. silvestris*) |
| Q | Boschi (misti) di roverella e carpino nero (con orniello) delle fasce collinare e montana |
| R | Cerreti (misti) sub mediterranei |
| S | Vegetazione nivale montana |
| T | Vegetazione costiera (di duna e di roccia) e vegetazione alofitica dell'*inland* |
| U | Pino silvestre e pino nero nella zona nemorale, e relativa macchia |

*Tabella 2 - Numero complessivo degli incendi con punto d'ignizione in aree forestali, suddivisi per anno e nazione.*

| ***NAZIONE*** | ***2000*** | ***2001*** | ***2002*** | ***2003*** | ***2004*** | ***2005*** | ***2006*** | ***2007*** | ***2008*** | ***2009*** | ***Totale*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Svizzera* | 19 | 15 | 22 | 52 | 20 | 27 | 24 | 26 | 13 | 8 | *226* |
| *Italia* | 791 | 628 | 808 | 1161 | 406 | 546 | 497 | 657 | 363 | 326 | *6182* |
| Totale | 816 | 651 | 839 | 1217 | 424 | 575 | 507 | 678 | 374 | 327 | 6408 |

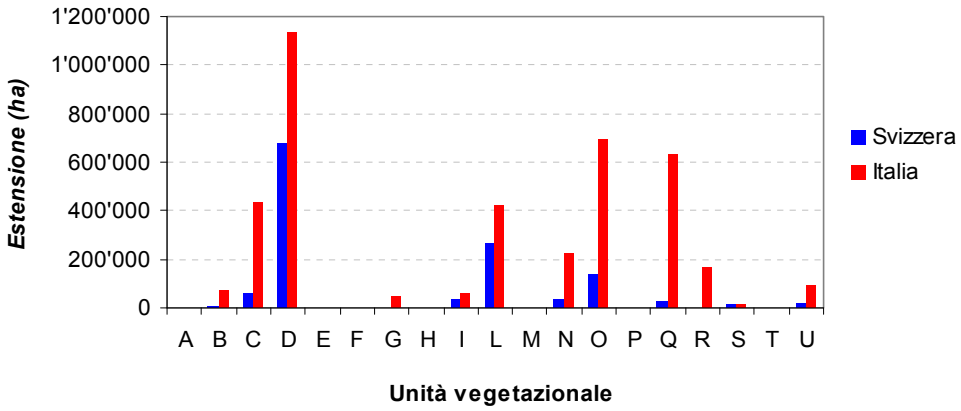



*Figura 2. Estensione potenziale delle unità vegetazionali della "Map of natural vegetation of Europe" nelle aree forestate del dataset considerato.*

La successiva analisi ha cercato di rispondere alle seguenti domande: i) esiste una preferenza significativa degli incendi per specifiche unità vegetazionali (in termini di frequenza di incendio)? ii) l'estensione media dell'area totale bruciata differisce significativamente nelle diverse unità vegetazionali?

A tale scopo è stata condotta un'analisi Monte Carlo sul *dataset* selezionato. Gli incendi sono stati immaginati come degli "erbivori" che esercitano una pressione di pascolo sulle diverse risorse disponibili (tipi vegetazionali, o "combustibili"). Se le diverse tipologie vegetazionali fossero ugualmente "appetite" dagli incendi, questi occorrerebbero casualmente nelle diverse aree, dunque con una uguale proporzione tra i diversi tipi forestali rispetto alla superficie dal loro occupata.

L'incendio, invece, è considerato *selettivo* quando usa le risorse in modo sproporzionato rispetto alla loro disponibilità sul territorio, ovvero quando mostra una spiccata preferenza a colpire una determinate unità vegetazionale.

Per le indagini sulla frequenza degli incendi (i), il numero di incendi realmente occorsi in ciascuna classe forestale è stato comparato con il resultato di 1.000 simulazioni casuali. Ogni singola simulazione è consistita nella ri-attribuzione casuale degli incendi alle diverse classi di vegetazione forestale, in modo che la probabilità di assegnazione di ciascun incendio a una data classe fosse uguale all'estensione relativa di quella classe vegetazionale nel territorio.

Il *test* statistico è stato effettuato sotto l'ipotesi nulla che gli incendi colpiscano casualmente i differenti tipi forestali, così che non ci siano significative differenze tra l'abbondanza relativa degli incendi in ciascuna tipologia forestale e la relativa estensione di ciascuna tipologia forestale nell'area analizzata.

*La* probabilità p (*two-tailed test*) è stata computata, per ciascuna classe di copertura forestale, come la proporzione (su 1.000) del numero delle simulazioni Monte Carlo che hanno generato un numero di incendi minore o uguale (o maggiore o uguale) a quelli realmente accaduti in quella classe forestale.

Per le indagini sulla estensione degli incendi (ii), si è proceduto al calcolo della media e della mediana delle aree bruciate da ciascun incendio in ciascuna unità vegetazionale.

Quindi i valori osservati sono stati comparati con 1.000 simulazioni Monte Carlo per ciascuna delle quali, tenendo costante il numero di incendi in ciascuna classe forestale, la superficie bruciata di ciascun incendio è stata riassegnata casualmente ad un altro. In questo modo è stato creato un

campione in cui la superficie bruciata di ciascun incendio è distribuita casualmente rispetto alle tipologie forestali.
I valori di probabilità p (*two-tailed test*) sono stati ottenuti come il rapporto, su 1.000, delle permutazioni che hanno prodotto -per ciascuna classe vegetazionale- un'estensione media e mediana dell'area bruciata minore o uguale (maggiore o uguale) del valore realmente osservato.
Le simulazioni sono state effettuate per mezzo di un programma VBA appositamente realizzato da Università Cattolica del Sacro Cuore di Brescia.

**Risultati**
Si tratta della prima volta che una simile analisi viene effettuata a questa scala a livello pan-alpino, in particolare sull'intero versante meridionale delle Alpi dal Friuli alla Liguria, decisamente il più interessato dagli incendi.
In Tabella 3 sono riportate le significatività dei *test* effettuati sul campione complessivo e stratificato per quota altimetrica e stagionalità, sulla base della probabilità p (*two-tailed test*). Il simbolo "+" indica che la frequenza degli incendi occorsi nella classe forestale in esame è stata significativamente superiore all'atteso, mentre un simbolo "-" indica una frequenza minore all'atteso. La forza della significatività è rappresentata dal numero di simboli: "+++" indica una $p<0.001$, "++" una $0.001<p<0.01$ e "+" una $0.01<p<0.05$; per i simboli "-" vale un discorso analogo. Quando il risultato delle simulazioni non mostra alcuna differenza significativa rispetto all'osservato, viene indicato il valore "ns".
Analizzando tutti gli incendi a scala alpina (Tabella 3) si osserva che la loro frequenza è significativamente più elevata nelle foreste mediterranee a sclerofille (classe G). Gli incendi mostrano inoltre di preferire le quercete (*Q. robur*, *Q. pubescens*, *Q. cerris*) e le foreste scarsamente caratterizate in specie (codice N) fortemente influenzate dall'uomo (*Castanea sativa*). E' interessante notare come nessun *pattern* di frequenza significativo possa essere associato a questo livello a unità vegetazionali come le faggete, le abetine e gli arbusteti alpini. Tuttavia le analisi basate sul campione stratificato per fasce altitudinali mostrano che le faggete diventano significativamente più suscettibili agli incendi ad altitudini superiori a 1.000 m. Le formazioni mediterranee a foreste di xerofille e arbusti sono maggiormente interessate agli incendi quando si trovano a quote inferiori ai 1.000 m. *Pattern* significativi di frequenza di ignizione sono presenti in querco-carpineti misti in aree inferiori ai 500 m, mentre nelle quercete (*Quercus robur*) e nelle aree forestali influenzate dalla presenza umana (*Castanea sativa*) la frequenza degli incendi è significativamente più elevata dell'atteso a tutte le quote altitudinali. La frequenza di incendi, infine, è più alta dell'atteso nella fascia altitudinale 500-1.500 m in formazioni a roverella e nelle cerrete.
La stagionalità non sembra influenzare significativamente i pattern di ignizione. L'unica differenza degna di nota è per la vegetazione costiera che è chiaramente "preferita" dagli incendi nella stagione estiva. Quando però l'analisi stagionale è integrata con la valutazione delle cause dell'incendio (Tabella 4), emerge che gli incendi estivi con cause naturali occorrono con frequenze significativamente maggiori nelle faggete, nelle formazioni a roverella, nelle cerrete, e nelle formazioni a conifere xerofile, mentre gli incendi invernali prediligono le formazioni a roverella.
L'ulteriore approfondimento sugli incendi di origine naturale (Tabella 4), come ad es. le ignizioni in seguito a fulminazioni, mostra che la frequenza di questi nelle faggete è significativamente maggiore dell'atteso alle quote più elevate (>1.500 m), ovvero ai margini superiori del loro areale potenziale. *Pattern* significativi della frequenza di ignizione si osservano anche nelle foreste di conifere e arbusti xerofili della fascia altitudinale compresa tra 500 – 1.000 m. *Pattern* meno rilevanti influenzano le formazioni a roverella ad altezze inferiori a 500 m e le foreste di xerofille mediterranee nelle fasce altitudinali 500 – 1.000 m.
L'analisi inter annuale non rivela alcun cambiamento significativo dei *pattern* di ignizione negli ultimi 10 anni (*dati non mostrati*).

*Tabella 3. Risultati dell'analisi Monte Carlo sulla frequenza degli incendi nelle diverse classi vegetazionali. Sono mostrate le significatività delle differenze (e la loro direzione) –rispetto all'atteso- della frequenza degli incendi delle diverse formazioni forestali per l'intero campione e sul campione stratificato per classi di altitudine e per stagionalità. Dove non v'è indicazione di significatività non si ha la presenza della relativa unità vegetazionale. Cfr Tabella 1 per i codici delle unità vegetazionali.*

| | **Intero campione** | Campione stratificato per **fasce altimetriche** | | | | Campione stratificato per **stagionalità** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Unità vegetazionale (Codice)* | | *0-500 m slm* | *500-1000 m slm* | *1000-1500 m slm* | *1500-2000 m slm* | *INVERNO* | *ESTATE* |
| A | n.s. | n.s. | | | | n.s. | n.s. |
| B | n.s. | --- | n.s. | n.s. | n.s. | -- | +++ |
| C | --- | n.s. | n.s. | -- | --- | --- | --- |
| D | --- | --- | --- | +++ | +++ | --- | --- |
| E | n.s. | n.s. | | | | n.s. | n.s. |
| F | n.s. | - | | | | n.s. | n.s. |
| G | +++ | +++ | +++ | n.s. | | +++ | +++ |
| H | n.s. | n.s. | n.s. | | | n.s. | n.s. |
| I | - | --- | -- | n.s. | +++ | - | n.s. |
| L | --- | -- | - | --- | --- | --- | --- |
| M | n.s. | | n.s. | n.s. | | n.s. | n.s. |
| N | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| O | --- | n.s. | ++ | n.s. | --- | --- | --- |
| P | | | | | | | |
| Q | +++ | +++ | +++ | +++ | n.s. | +++ | +++ |
| R | +++ | --- | +++ | +++ | | +++ | +++ |
| S | --- | | | n.s. | -- | --- | --- |
| T | +++ | ++ | | | | n.s. | +++ |
| U | --- | --- | --- | n.s. | -- | --- | - |
| *Num. Incendi* | *6408* | *2573* | *2516* | *977* | *335* | *4424* | *1984* |

L'analisi condotta sull'estensione degli incendi (Tabella 4) mostra che il valor medio dell'area bruciata è maggiore dell'atteso nelle faggete pure e miste, nelle foreste di sclerofille mediterranee e nelle formazioni subalpine e oro-mediterranee di roverella in combinazione con comunità erbacee di erbe alte, mentre è inferiore dell'atteso nei querco-carpineti, nelle abetine e peccete montane, nelle quercete dominate da farnia e nelle aree forestali influenzate dall'attività umana (presenza di *Castanea sativa*);

L'analisi degli incendi stratificata per classi altitudinali rivela che questi evidenziano estensioni medie maggiori dell'atteso nelle faggete sopra i 1.500 m e nelle foreste di sclerofille mediterranee alle quote inferiori ai 500 m. Lo stesso vale per le quercete dominate dalla farnia e le aree forestali influenzate dall'attività umana (presenza di *Castanea sativa*), ma nelle aree superiori ai 1.500 m di quota. Nelle unità dominate da roverella e nelle cerrete l'estensione media degli incendi è maggiore dell'atteso quando la formazione si trova sotto i 1.500 m nel primo caso e nella fascia compresa tra i 500 e i 1.500m nel secondo caso.

Le uniche formazioni in cui gli incendi hanno mostrato estensioni medie inferiori dell'atteso sono le abetine e le peccete montane, a tutte le quote.

Infine nel decennio considerato, non si sono evidenziati cambiamenti significativi nei *pattern* di ignizione per quanto riguarda l'estensione mediana degli incendi in molte unità vegetazionali (*dati non mostrati*).

*Tabella 4. Frequenza degli incendi per causa rispetto alla stagionalità. E' indicato inoltre un approfondimento sugli incendi con causa naturale alle diverse quote altitudinali.*

| | Campione stratificato per **stagionalità** e **causa** | | | | Solo incendi classificati per **causa naturale** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *INVERNO* | | *ESTATE* | | *nelle fasce altitudinali* | | | |
| *Unità vegetazionale (Codice)* | *Causa "Naturale"* | *Causa "Antropica"* | *Causa "Naturale"* | *Causa "Antropica"* | *0-500 m slm* | *500-1000 m slm* | *1000-1500 m slm* | *1500-2000 m slm* |
| A | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | | | |
| B | n.s. | - | n.s. | +++ | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| C | n.s. | --- | --- | --- | n.s. | n.s. | n.s. | -- |
| D | n.s. | --- | + | --- | --- | - | **n.s.** | +++ |
| E | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | | | |
| F | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | | | |
| G | n.s. | +++ | + | +++ | n.s. | + | n.s. | |
| H | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | | |
| I | n.s. | **n.s.** | n.s. | **n.s.** | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| L | n.s. | --- | -- | --- | n.s. | **n.s.** | - | n.s. |
| M | | n.s. | n.s. | n.s. | | n.s. | n.s. | |
| N | n.s. | +++ | n.s. | **n.s.** | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| O | n.s. | --- | **n.s.** | --- | n.s. | n.s. | n.s. | **n.s.** |
| P | | | | | | | | |
| Q | +++ | +++ | ++ | +++ | + | **n.s.** | n.s. | n.s. |
| R | n.s. | +++ | + | +++ | n.s. | n.s. | n.s. | |
| S | n.s. | --- | n.s. | --- | | | n.s. | n.s. |
| T | n.s. | n.s. | n.s. | +++ | n.s. | | | |
| U | n.s. | --- | ++ | --- | n.s. | +++ | n.s. | n.s. |
| *Num. Incendi* | *9* | *2775* | *208* | *1148* | *38* | *66* | *70* | *43* |

Se i punti di forza di questa analisi sono da ricondurre alla sua applicazione all'intera scala pan-alpina, l'accuratezza dei dati di *input* - in particolare l'applicazione della "*Map of Natural Vegetation of Europe*" per la deduzione delle tipologie forestali interessate dagli incendi, in mancanza di un dato su questa informazione, e la precisione delle coordinate dei punti di ignizione – possono costituirne gli ovvi aspetti di debolezza. Tuttavia la numerosità statistica del campione e le significatività trovate consentono di mitigare tali debolezze, autorizzando a generalizzazioni che possono rappresentare utili indicazioni per la gestione del rischio incendio in area sud alpina.

**Conclusioni**

Le analisi condotte hanno consentito l'identificazione delle unità vegetazionali altamente soggette agli incendi, sia in termini di frequenza che di *pattern* di estensione media. Mentre la stagionalità non sembra influenzare troppo la distribuzione degli incendi nelle differenti unità vegetazionali, le fasce altitudinali sembrano giocare un ruolo rilevante sia in termini di frequenza che di estensione delle aree bruciate, rivelando un'alta vulnerabilità delle formazioni forestali ai limiti delle loro aree climaciche (e.g. faggete miste sopra i 1.500 m). Nessun *trend* rilevante riguardo la suscettibilità delle diverse formazioni forestali agli incendi è stato invece osservato nel decennio analizzato.

*Tabella 5. Significatività (e direzione) delle differenze –rispetto all'atteso- dell'estensione media delle aree bruciate negli incendi delle diverse formazioni forestali. Sono mostrati i risultati dell'analisi sull'intero campione e sul campione stratificato per classi di altitudine.*

| | **Intero campione** | Campione stratificato per **fasce altimetriche** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Unità vegetazionale (Codice)* | | *0-500 m slm* | *500-1000 m slm* | *1000-1500 m slm* | *1500-2000 m slm* |
| A | n.s. | n.s. | | | n.s. |
| B | --- | - | n.s. | n.s. | n.s. |
| C | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| D | ++ | n.s. | n.s. | n.s. | + |
| E | n.s. | n.s. | | | |
| F | n.s. | n.s. | | | |
| G | + | +++ | n.s. | n.s. | n.s. |
| H | | | | | |
| I | - | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| L | - | - | --- | -- | -- |
| M | | | | | |
| N | -- | n.s. | - | n.s. | + |
| O | + | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| P | | | | | |
| Q | n.s. | n.s. | +++ | + | n.s. |
| R | n.s. | n.s. | n.s. | ++ | n.s. |
| S | n.s. | | n.s. | n.s. | n.s. |
| T | n.s. | n.s. | | | n.s. |
| U | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| *Num. Incendi* | *6408* | *2573* | *2516* | *977* | *335* |

**Riferimenti bibliografici**

Bajocco S., Ricotta C. (2008), "Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): which land-cover classes do wildfires prefer?", *Landscape Ecology*, 23:241–248

Bon U. et al. (2004), "Map of Natural Vegetation of Europe. Scale 1:2.500.000", *Technical Report*

Cumming (2001), "Forest type and wildfire in the Alberta boreal mixedwood: What do fires burn?", *Ecol Appl*, 11(1): 97-110

Moreira F., Rego F.C., Ferreira P.G. (2001), "Temporal (1958–1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: Implications for fire occurrence", *Landscape Ecology,* 16(6): 557–567

Nunes M.C.S,, Vasconcelos M.J., Pereira J.M.C., Dasgupta N., Alldredge R.J. (2005), "Land cover type and fire in Portugal: Do fires burn land cover selectively?", *Landscape Ecology*, 20(6):

661–673

Pezzatti G.B., Bajocco S., Torriani D., Conedera M. (2009), "Selective burning of forest vegetation in Canton Ticino (southern Switzerland)", *Plant Biosystems*, 143(3) :609–620

Pregnolato M., Oliveri S., Pomatti M., Gerosa G. (2012), "Una piattaforma webGIS per la mappatura degli eventi estremi in foresta in ambito alpino", Atti *16ª Conferenza Nazionale ASITA*, Vicenza 6 – 9 Novembre 2012

# Jeco guides. Una geo-piattaforma editoriale per la generazione di guide turistiche fruibili su smart phone

Stefano Oliveri, Luca Garibaldo, Fulvio Primatesta, Carlo Rossini,
Francesco Sinopoli, Maria Luisa Venuta

J'eco s.r.l., Via Luigi Abbiati 14, 25125 Brescia, Tel. Fax +39 030 3581688, stefano.oliveri@jeco.biz

**Riassunto**
La fruizione del territorio da parte da parte di turisti e visitatori va sempre più connotandosi come un fenomeno estemporaneo, caratterizzato da brevissimi periodi di soggiorno nelle località di destinazione. Da ciò deriva la crescente difficoltà, per i visitatori, di acquisire il materiale informativo che garantirebbe loro una fruizione consapevole del territorio ed una scoperta maggiormente soddisfacente dei suoi *heritage*. D'altro canto, anche in conseguenza della attuale congiuntura economica, i Soggetti Territoriali (ossia tutti quei soggetti a diverso titolo coinvolti nella promozione dei patrimoni naturalistici e storico-culturali di un'area) hanno l'esigenza di individuare nuovi strumenti promozionali, sempre più orientati all'utilizzo delle nuove tecnologie, alla flessibilità ed alla riduzione dei costi. Geo-dati, logiche e modelli di *business* web 2.0 e tecnologie *mobile* si stanno imponendo come strumenti e approcci di riferimento, anche in ambito turistico. Il loro utilizzo integrato rappresenta uno dei più significativi elementi di innovazione nel panorama degli strumenti di supporto alla esplorazione del territorio. Su questa specifica linea di sviluppo si inserisce la geo-piattaforma editoriale *Jeco guides*, strumento che consente: (i) ai soggetti locali di realizzare, pubblicare ed aggiornare in completa autonomia Guide turistiche sul proprio territorio e (ii) ai turisti di fruire le Guide sui propri *device* mobili (*smart-phone* o *PC-tablet*) in maniera interattiva e multimediale, anche attraverso la tecnologia della Realtà Aumentata. Il presente contributo illustra l'architettura della piattaforma e descrive le funzionalità dei suoi elementi costituenti.

**Abstract**
Tourism is more and more characterized by short periods of stay in the destination areas. This implies, for visitors, difficulties in the acquisition of the information material useful for a more satisfactory discovery of the territory and its heritages. On the other hand, also as a result of the current economic situation, all the subjects in different ways involved in the promotion of natural, historical and cultural heritage of an area, have the need to identify new promotional tools, more and more oriented to use of new technologies, flexibility and cost reduction. Geo-data, business models web 2.0 and mobile technologies are standing out as reference tools and approaches, even in the tourism sector. Their integrated use represents one of the most significant innovation in the survey of tools to support the exploration and promotion of territories. The Jeco guides publishing geo-platform enters this specific development line. It allows local Authors to independently produce, publish and update tourist guides on their own territories and tourists to use those guides on their mobile devices (smart-phone or PC-tablets) in an interactive and multimedia way, also through the use of Augmented Reality technology. This paper briefly describes the architecture of the Jeco guides platform and highlights its main functionalities.

**Introduzione**

Alcune constatazioni di partenza:

- i territori sono caratterizzati da patrimoni diffusi di grande interesse. Il turismo, però, si connota sempre più per forme di fruizione estemporanea: secondo i dati del *Rapporto Ecotur sul Turismo Natura 2009* (Ecotur, 2009), oltre il 60% dei turisti rimane nelle località di destinazione meno di 2 giorni. Ne deriva una scarsa propensione a dotarsi di strumenti per la "scoperta" degli *heritage* locali. Che, spesso, rimangono "invisibili";
- i materiali e gli strumenti che dovrebbero agevolare il processo di "scoperta" dei luoghi sono sempre più spesso di difficile reperimento. La loro acquisizione richiede tempo, che il fruitore estemporaneo non ha. I canali di divulgazione più tradizionali, inoltre, rappresentano un costo. Che, oggi, può rappresentare un vincolo discriminante.

E' inoltre importante sottolineare che:

- esiste un ampio bacino di Comunità di territorio che desidera coinvolgere i propri fruitori attraverso forme di turismo basate sulla valorizzazione dell'*heritage* e delle risorse locali, anche attraverso le nuove tecnologie;
- è in continua crescita la nicchia di fruitori del territorio che desidera esperire forme di fruizione del territorio basate sull'interpretazione degli *heritage* locali e che desidera promuovere lo sviluppo locale, anche in una accezione economica. Seppur in un periodo di congiuntura economica sfavorevole, il Turismo Natura è un settore in continua crescita e in Italia, nel 2011, il suo fatturato complessivo si è attestato intorno ai 10,7 Miliardi di € (Ecotur, 2012);
- è in crescita il tasso di penetrazione di *device* mobili forniti di tecnologia GPS che vengono utilizzati anche per viaggiare. A titolo di esempio si può citare un recente studio del *Pew Research Centre* (Pew Internet & American Life Project, 2011), che evidenzia che quasi la metà della popolazione USA è oggi dotata di uno *smart-phone*;
- il volume di dati su *mobile Internet*, soprattutto attraverso App (da pochi mesi è stata superata la soglia delle 500.000 *App* presenti nel solo *Apple Store*), dimostra un *trend* in crescita continua. Si prevede che tra il 2013 e il 2014 gli utenti *Internet mobile* supereranno stabilmente quelli *desktop* (Morgan & Stanley, 2010). In occasione dell'edizione 2012 del *Super Bowl* si è verificato, per la prima volta, il superamento del traffico dati su rete *mobile*.

Da questo insieme di valutazioni è nata l'idea di sviluppare una piattaforma tecnologica innovativa (*Jeco guides*), che consenta:

- ai Soggetti Territoriali (dall'Ente pubblico al privato cittadino) di realizzare, pubblicare ed aggiornare, in completa autonomia, guide turistiche multimediali sui propri territori;
- agli utenti di fruire tali guide sui propri *device* mobili in maniera interattiva, con l'App gratuita *Jeco guides*. Anche attraverso la Realtà Aumentata.

**La piattaforma Jeco guides**

*Jeco guides* è un sistema costituito da due elementi fondamentali:

**_Interfaccia web**

O *tool di authoring*. E' la pagina *web* con la quale l'Autore, attraverso un può realizzare la propria guida. Vediamo come:

- tramite un CMS (*Content Management System*), all'indirizzo www.jecoguides.com, l'Autore accede al *tool*. Si prospettano, a questo punto, due opzioni fondamentali:
    a. nel caso in cui sia già accreditato, tramite *user* (*email*) e *password* l'Autore può accedere direttamente all'interfaccia *web* per la realizzazione o l'aggiornamento delle proprie guide;

b. in alternativa, viene chiesto di creare un nuovo *account*. Ciò avviene attraverso una rapida operazione di Registrazione, con la quale si richiede di specificare alcune informazioni fondamentali, tra cui: *email*, *password*, nome, cognome, ente di appartenenza, oltre alla attestazione di aver letto ed accettato il contratto Autore;

- completata questa prima fase, l'Autore accede alla piattaforma per la realizzazione (e aggiornamento) delle guide. L'interfaccia è costituito da quattro sezioni principali (figura 1):

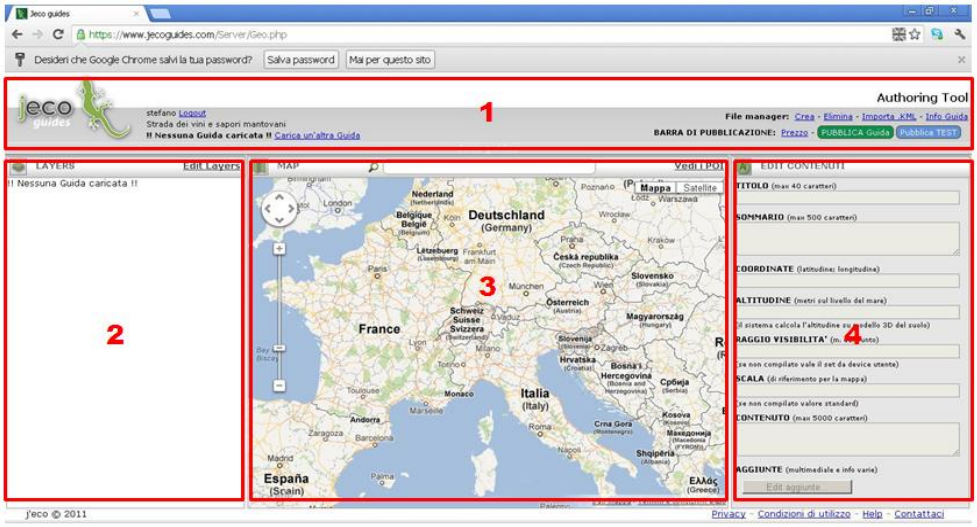



*Figura 1. L'interfaccia del tool di authoring con l'evidenziazione delle diverse sezioni in cui essa è strutturata.*

1. una parte superiore, che contiene:
   i. un'area con l'evidenziazione del nome dell'Autore (e possibilità di *Logout*), l'indicazione dell'Ente di appartenenza con il quale l'Autore si è accreditato (un Ente può essere accreditato con diversi Autori, che possono collaborare – anche simultaneamente – alla redazione di ogni singola guida), il titolo della guida in fase di elaborazione (con possibilità di fare uno *switch* fra guide diverse);
   ii. un *file manager* per: creare una nuova guida, eliminare una guida esistente, importare dati in formato .kml (si tratta di una funzione concepita per tutti quei soggetti che già dispongono di informazioni georeferenziate in formato GIS, GPS, Google Earth. Tramite questa funzione, questi dati possono essere direttamente importati nel sistema, senza necessità di digitalizzazioni ex novo);
   iii. una barra di pubblicazione che consente di:
      - ✓ pubblicare una guida in modalità *test*: tramite questa opzione l'Autore pubblica la guida rendendola visibile sui soli *device* (*smart-phone*) degli Autori *Jeco guides* accreditati con il suo stesso Ente di appartenenza;
      - ✓ pubblicare la guida sulla libreria *online*, rendendola scaricabile e fruibile dall'intera comunità di utenti *Jeco guides*;
      - ✓ definire il prezzo al quale l'Autore desidera che la guida possa essere scaricata. In funzione dell'opzione commerciale prescelta,

l'Autore può optare per l'opzione "Gratis" o definire un prezzo di *download* compreso fra 0,79 e 7,99 €;

2. un *box* all'interno del quale l'Autore struttura un albero dei contenuti, che va articolato su due livelli: Categoria e *Layer*. Inizialmente il *box* è vuoto e l'Autore può strutturare il proprio albero liberamente (unico vincolo i due livelli), in funzione dei contenuti della guida che intende generare;
3. un'interfaccia cartografica, per la digitalizzazione degli elementi di interesse su base Mappa, Rilievo e Satellite
4. un *Editor* dei contenuti, attraverso il quale ciascun elemento di interesse può essere descritto in maniera diffusa. L'*Editor* dei contenuti consente di associare ad ogni elemento:
   i. titolo (max 40 caratteri);
   ii. sommario (max 500 caratteri);
   iii. coordinate geografiche (direttamente determinate dal sistema);
   iv. altitudine (direttamente determinata dal sistema ed utile per garantire la corretta localizzazione delle tag multimediali sul display dello smart-phone in fase di visualizzazione in Realtà Aumentata. Es. posizionamento della tag in corrispondenza della vetta di una montagna o in cima ad un campanile);
   v. raggio di visibilità: la distanza massima alla quale si desidera che un elemento territoriale sia visibile in Realtà Aumentata (es. può essere interessante vedere il nome di una montagna di particolare rilievo anche da lunga distanza, mentre è ragionevole prevedere di poter vedere in Realtà Aumentata informazioni su di un monumento soltanto quando mi trovo nelle sue immediate adiacenze);
   vi. contenuto: descrizione diffusa dell'elemento (max 5000 caratteri).

   In fase di *editing*, inoltre, è possibile utilizzare la funzione *Edit* aggiunte, che consente di associare ad ogni elemento di interesse una o più immagini (in formato .jpg), *file* audio (in formato .mp3) e schede tematiche (in formato .pdf).

Ad ogni guida è associato un baricentro. Ad esso, tramite l'*Editor* (Titolo, sommario, contenuti), si possono associare informazioni descrittive sull'Autore della guida e sui contenuti della stessa. Sempre al baricentro possono essere associate immagini, file audio, schede tematiche generali. Esso costituisce quindi una sorta di copertina, cui gli utenti potranno accedere prima di scaricare la guida sul proprio *device*. La posizione del baricentro della guida è importante. Serve infatti a localizzarla sulla libreria *online* della App *Jeco guides*.

Quando l'iter di generazione della guida è stato portato a termine, questa può essere pubblicata sulla libreria *online Jeco guides* e resa fruibile a tutta la comunità di utenti *Jeco guides*.

E' importante sottolineare che le guide possono essere modificate e aggiornate dagli Autori ogni qual volta sia necessario. Dopo la nuova pubblicazione si ha la garanzia che:

- ogni utente che scaricherà la guida per la prima volta, la potrà fruire nell'ultima versione disponibile;
- chi già disponeva della guida si vede giungere una notifica che avvisa della disponibilità di una versione aggiornata della guida in questione.

**_La App Jeco guides**

Rappresenta il secondo elemento portante del sistema. Essa può essere scaricata da *Apple Store*, all'interno del quale è disponibile come *App* "*Jeco guides*". Una volta installata sul *device*, l'utente

deve innanzitutto creare un *account*, specificando *email*, *password*, nome, cognome, data di nascita e accettando i termini del Contratto di licenza.

Creato l'Account, l'utente potrà accedere alla *App Jeco guides* sul proprio *device* semplicemente introducendo (una tantum) le proprie credenziali nella finestra di accesso.

Dopo aver effettuato l'accesso, l'utente si ritrova all'interno della libreria *online* georeferenziata *Jeco guides* (sezione "*Intorno a me*"): la posizione dell'utente è evidenziata con il classico pallino blu e vengono mostrati, con lettere "G" di diversi colori, i baricentri delle guide disponibili nell'area rappresentata in mappa (figura 2). Cliccando sui baricentri delle guide, l'utente ottiene – su una *tag* apposita – l'indicazione del titolo e dell'Autore della guida. Aprendo il contenuto associato alla *tag*, infine, l'utente ha accesso alla copertina della guida, con possibilità di attivarne il *download*.

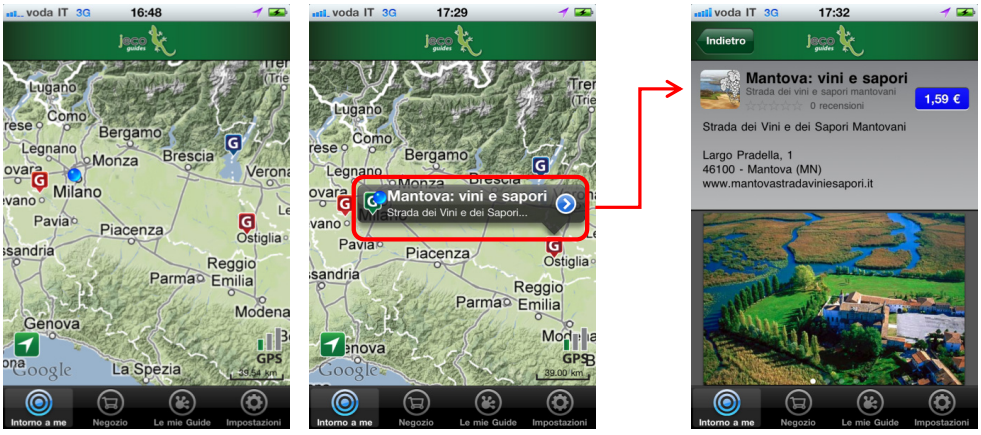



*Figura 2. L'interfaccia della sezione "Intorno a me", che rappresenta una libreria online georeferenziata.*

La sezione "*Negozio*" è modalità ulteriore di esplorazione delle guide disponibili sulla libreria *online*. Essa dà accesso all'elenco delle guide disponibili che sono proposte, come *default*, in "*Lista di prossimità*". Alternativamente, l'utente può compiere ricerche per "*Novità*", "*Primo piano*", "*Top 25*" oppure attraverso la ricerca di parole chiave contenute nel titolo della guida e nel nome dell'Autore. Come in precedenza, l'utente può accedere alla copertina di ciascuna delle guide disponibili online ed effettuare il *download*.

Una volta completato il *download* della guida, essa viene introdotta all'interno della sezione "*Le mie guide*". Mentre il "*Negozio*" dà accesso allo *store online*, la sezione "*Le mie guide*" fa accedere a quello che, idealmente, può essere considerato "*lo scaffale della libreria di casa dell'utente*" e che contiene le guide che egli/ella ha già scaricato dallo *store*. Come per i casi precedenti anche in "*Le mie guide*" si possono compiere ricerche per prossimità (sempre proposta quale opzione di *default*) e per parole chiave. E' inoltre possibile visualizzare, tramite l'opzione "*Authoring*", le guide che l'utente sta realizzando in qualità di Autore (eventualmente in compartecipazione con altri Autori afferenti allo stesso Ente di appartenenza).

Cliccando sulla guida di interesse all'interno della sezione "Le *mie guide*", si entra nella modalità di esplorazione dei dati. Si ha innanzitutto accesso alla Prima Pagina, che consente di visualizzare le immagini, eventuali file audio e le schede tematiche (.pdf) associate alla copertina.

Sempre dalla Prima Pagina è possibile accedere alle tre diverse modalità di esplorazione dei dati (figura 3):

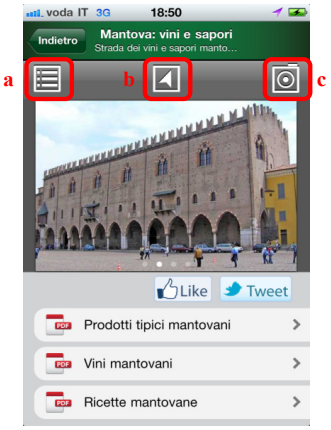



*Figura 3. La copertina di una guida con le diverse modalità di esplorazione dei dati.*

a. lista di prossimità: in funzione della posizione dell'utente, il sistema elenca i punti di interesse per prossimità geografica, dal più vicino al più lontano. Utilizzando il bottone "*Layers*", l'utente può filtrare le categorie di informazioni che intende visualizzare attivando le sole Categorie ed i *Layer* di interesse. L'albero dei contenuti che viene proposto all'utente è esattamente quello che l'Autore ha impostato in fase di *editing* della guida. Cliccando su uno qualsiasi dei punti elencati nella "*Lista di prossimità*" si accede alla scheda descrittiva del punto (quella che l'Autore ha compilato tramite l'*Editor* dei contenuti), con la possibilità di vedere eventuali immagini collegate, di ascoltare file audio e consultare contenuti tematici specifici associati ai punti di interesse;

b. mappa: l'utente viene localizzato su una mappa e il sistema mostra la distribuzione dei punti di interesse circostanti (figura 4). Come nel caso precedente, è possibile filtrare le tipologie di punti che si intende visualizzare attraverso lo strumento "*Layers*". Cliccando sui punti in mappa l'utente ottiene indicazione circa il nome del punto, con la possibilità di accedere alla scheda con la descrizione diffusa ed eventuali contenuti multimediali;




*Figura 4. Accesso alla scheda di descrizione del punto attraverso la "Mappa".*

c. Realtà Aumentata: l'utente inquadra con il proprio *smart-phone* ciò che lo circonda e il sistema sovra-impone al *layout* della videocamera *tag* multimediali che specificano cosa si sta inquadrando (figura 5).




*Figura 5. Esempio di utilizzo di Jeco guides in Realtà Aumentata.*

**_Ulteriori funzionalità**

Ad integrazione dell'insieme di *feature* descritte nei paragrafi precedenti, la piattaforma *Jeco guides* è connotata da:

- completa integrazione con i *social network* Facebook e Twitter. L'utente può dare il "*Like*", con riferimento a una guida nel suo insieme o a specifici elementi di interesse. Svolta questa operazione, apparirà sulla sua pagina Facebook o Twitter un *post*, immediatamente visibile a tutta la comunità di utenti del *social network*;
- possibilità di recensire le guide e di leggere le recensioni di altri utenti prima dell'eventuale *download*;
- possibilità di segnalare a un amico la disponibilità di una guida, tramite l'invio diretto di una *email*;
- attivazione di un canale di comunicazione diretto fra utente e Autore. Il primo può infatti fare segnalazioni al secondo, che ottiene un *feedback* specifico dai propri visitatori;
- possibilità di segnalare contenuto offensivo all'interno di una guida. L'oggetto della segnalazione viene verificato dal *back office* di *Jeco guides* che ha facoltà di rimuovere la guida dallo *store*;
- possibilità di fruire di una guida e, al termine dell'utilizzo, rimuoverla dal proprio *device* e conservarla sulla *cloud* (i *server Jeco guides*). Potrà scaricarla nuovamente all'utilizzo successivo.

**Il team di sviluppo**

*Jeco guides* è stata sviluppata da J'eco s.r.l., società nata dalla collaborazione fra tre realtà che, insieme, coprono gli ambiti tematici strategici per l'operatività della piattaforma: gli aspetti storico-culturali, gli aspetti ambientali, lo sviluppo *software* per il settore dell'*Internet Mobile*. Si tratta di:

- •Dynamoscopio (www.dynamoscopio.it): associazione culturale milanese orientata allo studio e alla valorizzazione dei patrimoni storico-culturali, con specializzazione nel settore audiovisivo, documentaristico e fotografico;
- Ecometrics srl (www.ecometrics.it): *spin-off company* dell'Università Cattolica del Sacro Cuore, operativa nel campo della consulenza e ricerca applicata in campo ambientale;

- Superpartes SpA (www.superpartes.biz): società che lavora alla ideazione e realizzazione di applicativi e dispositivi innovativi per le nuove piattaforme di Mobile Internet e supporta lo *start-up* di imprese in ambito *Mobile Internet* attraverso il *Superpartes Innovation Campus*.

**Conclusioni e sviluppi futuri**

*Jeco guides* rappresenta la prima geo-piattaforma editoriale sviluppata in Italia che consente a qualsiasi soggetto locale (dall'Ente pubblico al privato cittadino) di realizzare, pubblicare ed aggiornare in completa autonomia Guide turistiche georeferenziate dedicate agli *heritage* locali, che possono poi essere fruite dai visitatori sui propri *smart-phone* o *PC-tablet*. E' stata sviluppata una piattaforma orizzontale, orientata alla scalabilità ed in grado di rappresentare una potenziale fonte di *revenue* per gli Autori delle guide.

Il *tool di authoring* e la *App* per piattaforma *iOS* (compatibile con *iPhone*, *iPod touch* e *iPad*. Richiede l'iOS 4.3 o successive) sono state rilasciate nel giugno 2012. La *release* della *App* per il sistema operativo *Android* è invece prevista entro la fine del 2012.

**Riferimenti bilbiografici**

Osservatorio Borsa Internazionale del Turismo Natura, a cura di (2009), *7° Rapporto Ecotur sul Turismo Natura*

Osservatorio Borsa Internazionale del Turismo Natura, a cura di (2012), *10° Rapporto Ecotur sul Turismo Natura*

Meeker A., Devitt S., Wu L.(2010), *Internet trends*, Morgan Stanley April 10th: 8

Pew Internet (2011), May 2011 - Mobile

# Mapping function troposferiche e loro effetti sulla stima GNSS

Simone Paternostro (*), Massimiliano Chersich (**),
Davide Curone (**), Marco Osmo (**)

(*) EADS Astrium GmbH, Claude-Dornier-Str., 88090 Immenstaad, Germany, 328 9045161
Simone.Paternostro@astrium.eads.net
(**) Galileian Plus s.r.l., c/o EUCENTRE, Via Ferrata 1, 27100 Pavia, 0382-524482,
mchersich@galileianplus.it; dcurone@galileianplus.it; mosmo@galileianplus.it

**Riassunto**
La componente verticale della posizione di ricevitori permanenti GNSS viene determinata a un livello di precisione che, rispetto alla componente planimetrica, mostra oltre un fattore 2 di degrado. D'altra parte, alcune applicazioni scientifiche richiedono la determinazione della quota con una precisione di pochi millimetri. Uno dei fattori limitanti la precisione ottenibile in quota è l'impatto del ritardo troposferico, ovvero il ritardo dovuto alla rifrazione del segnale GNSS negli strati bassi e neutri dell'atmosfera soprattutto in ambienti, come quello di montagna, dove il dislivello tra le stazioni della rete, e quindi le differenze di pressione, umidità e temperatura, giocano un ruolo fondamentale. Scopo di questo lavoro è mostrare il livello di prestazioni raggiungibile sulla stima delle coordinate, ed in particolare sulla quota, attraverso l'impiego di recenti metodi di Mapping Function troposferica presenti in letteratura mediante il confronto con uno dei metodi di trattamento del ritardo troposferico più diffusi. L'approccio utilizzato si basa sul confronto della ripetibilità delle coordinate tratte da serie storiche di alcuni giorni di durata utilizzando due stazioni poste a circa 300Km di distanza, una scala di distanza tipica per applicazioni di monitoraggio geodetico GNSS di precisione, e al variare della maschera angolare di elevazione. Tutti i risultati presentati sono stati calcolati a partire dalle stime GNSS delle coordinate utilizzando il software NDA Professional (NDA).

**Abstract**
The vertical components of permanent GNSS receiver positions presents a degradation factor that is more than twice respect to planimetric component. On the other hand, some scientific applications demand a precision of few millimetres to evaluate altitude. One of the most limiting factors for altitude estimation is the tropospheric delay, due to the GNSS signal refraction in the lower neutral layers of the atmosphere, especially for network stations that present a significant difference in altitude and so the difference in pressure, temperature and humidity plays a fundamental role. The purpose of this project is to evaluate the performances that it is possible to reach comparing some new developed Mapping Functions with one of the most widely diffuse tropospheric delay model. The basic approach used is to compare the coordinates repeatability coming from a time serie of some days length of two stations placed at 300Km distance, a typical distance scale for high precision GNSS geodetic monitoring applications, and by using different elevation cut-off angle. All the presented results have been obtained from the GNSS coordinate estimation performed by NDA Professional software (NDA).

## Introduzione
Il ritardo troposferico è una delle componenti del ritardo del segnale GPS non completamente predicibile da modello, data la sua dipendenza non solo dalla posizione geografica ma soprattutto

dai parametri locali di temperatura, pressione $N_{0h}$ e umidità che presentano apprezzabili variazioni nei loro valori sia nel tempo che nello spazio. L'utilizzo di modelli è tuttavia necessario per rimuovere dai dati la parte meglio predicibile e meno sensibile alle condizioni atmosferiche locali, e per preparare la stima del restante residuo di ritardo troposferico.
L'approccio comunemente impiegato nell'analisi dati GNSS per applicazioni geodetiche prevede la scomposizione del ritardo complessivo in due componenti: la componente idrostatica, o secca, e la componente umida. Quest'ultima è quella meno predicibile da modello e dipendente, principalmente, dal contenuto di vapore acqueo in atmosfera. Entrambe queste componenti vengono ulteriormente scomposte in una parte dovuta agli strati di atmosfera direttamente sopra la stazione (le componenti zenitali dei due ritardi, quello secco, o *Zenith Hydrostatic Delay* [ZHD], e quello umido, o *Zenith Wet Delay* [ZWD]) e moltiplicate ognuna da un fattore di *Mapping Function* (MF): la MF idrostatica [$mf_h$] e la MF umida [$mf_w$]). Le MFs hanno lo scopo di tenere in conto del percorso non rettilineo di attraversamento dell'atmosfera da parte del segnale. Il modello del ritardo troposferico *T* risulta pertanto descritto in questo modo:

$$T = ZHD * mf_h + ZWD * mf_w \qquad [1]$$

Nei primi anni della geodesia spaziale, il ritardo allo zenit e le MFs non erano chiaramente separate ma tale separazione è risultata funzionale allo sviluppo di strategie efficaci per la stima delle coordinate in applicazioni ad alta precisione. Come regola generale, inotre, le MFs hanno come ipotesi alla base la simmetria dell'atmosfera rispetto all'angolo di azimut e l'equilibrio idrostatico.
L'analisi effettuata ha visto l'impiego dei seguenti modelli: due diversi modelli per il calcolo del ritardo troposferico allo zenit, i modelli di Saastamoinen (Saastamoinen, 1973) e Hopfield (Hopfield,1969); sedici modelli di MF che verranno brevemente descritte di seguito e due modelli di ritardo troposferico totale (*Total Slant Delay*, TSD), quelli di Saastamoinen (Saastamoinen, 1973) e Hopfield modificato (Goad, Goodman 1974), che, incorporando direttamente la dipendenza dall'angolo di elevazione del satellite, non necessitano di proiezione attraverso l'uso di MF.

**Modelli di ritardo troposferico testati**

Il ritardo troposferico complessivo allo zenit (*Zenith Troposhperic Delay*, ZTD) viene definito come l'integrale del profilo di rifrattività lungo la verticale locale che in molti modelli viene considerata divisa in componente idrostatica e non idrostatica:

$$ZTD = 10^{-6}\int_{-h_a}^{\infty} N(h)dh = 10^{-6}\int_{-h_a}^{\infty}(N_h(h) + N_w(h))dh = d_h^Z + d_w^Z = ZHD + ZWD \qquad [2]$$

La soluzione dipende quindi dal modello di rifrattività $N(h)$ impiegato e i modelli di Saastamoinen (Saastamoinen, 1973) e Hopfield (Hopfield, 1969) per il ritardo troposferico allo zenit portano alle seguenti relazioni:

- Saastamoinen: $$ZTD = \frac{0.002277}{1 - 0.0026\cos(2\varphi) - 0.00028h_0}\left[P_0 + \left(\frac{1255}{T_0} + 0.05\right)e_0\right] \qquad [3]$$
- Hopfield: $$ZTD = \frac{10^{-6}}{5}\{N_{0h}[40136 + 148.72(T - 273.16)] + 11000N_{0w}\} \qquad [4]$$

dove per e $N_{0w}$ sono state scelte le relazioni date da Thayer (Thayer, 1974) che contengono la dipendenza dai parametri atmosferici: pressione $P_0$, pressione parziale del vapore acqueo $e_0$ e temperatura $T_0$. Tra i due modelli si può già notare una sostanziale differenza data dal fatto che il modello di Saastamoinen considera anche l'influenza della posizione geografica della stazione ricevente ed in particolare la sua latitudine $\varphi$ e quota $h_0$.
Quando il segnale GNSS giunge al ricevitore da un satellite che non si trova allo zenit, occorre considerare il ritardo introdotto dall'incurvamento del segnale nell'atmosfera.

Ipotizzando ancora che la rifrattività N sia funzione della sola quota $h$ , l'espressione per il TSD può essere scritta come:

$$TSD = d_{ha}^{S} = 10^{-6} \int_{h_a}^{\infty} N ds = 10^{-6} \int_{h_a}^{\infty} N \frac{ds}{dr} dr \qquad [5]$$

dove $\frac{ds}{dr} = \frac{1}{\cos(z)} = \sec(z)$, z è l'angolo di zenit in un arbitrario strato infinitesimo, e ds il cammino seguito dal segnale.
Applicando la legge di Snell in coordinate sferiche l'integrale [5] può essere riscritto come:

$$d_{ha}^{S} = 10^{-6} \int_{r_0}^{\infty} \frac{N(r) r}{r_0} \left[ \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 - \sin^2(z_0) \right]^{-\frac{1}{2}} dr \qquad [6]$$

In generale tale integrale può essere calcolato in forma chiusa, piuttosto complessa, o con altri diversi metodi.
Il modello di Saastamoinen per il TSD (Saastamoinen, 1973) consiste nello sviluppare un'espansione di Taylor del termine secz(z) per poi integrare i diversi termini separatamente giungendo alla seguente relazione:

$$d_{ha}^{S} = 0.002277(1 + D) \sec(z_0) \left[ P_0 + \left( \frac{1255}{T_0} + 0.05 \right) e_0 - B \tan^2(z_0) \right] + \delta_r \qquad [7]$$

Il modello di Hopfield per il TSD, denominato anche "Hopfield modificato", si basa su un'espansione in serie dell'integrando proposta in (Remondi, 1984), in modo da ottenere:

$$d_i^S = 10^{-6} N_{0i} \left[ \sum_{k=1}^{9} \frac{\alpha_{k,i}}{k} r_i^k \right] \qquad [8]$$

Dove l'indice *i* indica le componenti idrostatica (con i = h) e non idrostatica (con i = w). Per il significato dei vari termini si rimanda al relativo documento (Goad, Goodman, 1974).

**Mapping Functions testate**
Negli ultimi trent'anni sono state sviluppate molte MF, la maggior parte delle quali appartengono a uno dei due grandi gruppi seguenti:

- Il primo riguarda MF basate sul profilo Two-Quartic sviluppato da Hopfield (Hopfield, 1969) e di questo gruppo sono state selezionate per la nostra analisi le seguenti mapping function (per le relazioni e i valori numerici dei coefficienti si rimanda ai relativi riferimenti):
  - **Hopfield modificato** (paragrafo precedente)
  - **Moffet** (Moffet,1973): nasce dalla semplificazione di quella utilizzata da Hopfield nel suo modello e pertanto nella letteratura spesso viene attribuita a lui. È funzione del solo angolo di elevazione **ε.**
  - **Black** (Black, 1978): consiste in forme analitiche derivate dall'integrazione di un'espansione in serie di Taylor dell'integrale normalizzato ottenuto tramite considerazioni geometriche.
  - **Black and Eisner** (Black, Eisner, 1984): nasce da una modifica di quelle di Black ed espresso come un semplice modello geometrico dipendente dal solo angolo di elevazione **ε**.

- Il secondo gruppo è costituito da MF basate su forme troncate di frazioni continue, di cui la prima definizione fu data in (Marini, 1972):

$$mf(\varepsilon) = \cfrac{1}{\sin(\varepsilon) + \cfrac{a}{\sin(\varepsilon) + \cfrac{b}{\sin(\varepsilon) + \cfrac{c}{\sin(\varepsilon) + \cdots}}}} \qquad [9]$$

di cui però esistono diverse varianti e i coefficienti *a*, *b*, e *c* possono essere costanti o funzioni lineari, calcolate attraverso l'analisi di dati di profili medi di rifrattività, in genere ottenuti mediante radiosonde; $\varepsilon$ rappresenta l'elevazione del satellite.

Appartenenti a questo gruppo sono state scelte le seguenti mapping function (si rimanda ai relativi riferimenti per le relazioni e i valori numerici):

- **Chao** (Chao, 1972): la frazione continua è troncata al termine del secondo ordine nel quale è posto il termine tan(ε) invece del sen(ε). I coefficienti sono costanti numeriche ricavate dal fitting di profili medi di rifrattività di due anni di raccolta dati attraverso radiosonde.
- **Davis** (Davis et al., 1985): frazione continua troncata al terzo ordine, con la tangente introdotta come in Chao. La sostituzione con la tangente però diminuisce le prestazioni per angoli di elevazione alti (20°-60°), in quanto la tangente non ha lo stesso andamento del seno, portando ad un errore di 1-2 mm. I coefficienti derivano dall'analisi di dati raccolti con il ray tracing, sfruttando un modello ideale di atmosfera, fino ad angoli di elevazione pari a 5°. Questa mapping function è stata sviluppata per la sola componente idrostatica, ma può essere utilizzata anche per calcolare la componente non-idrostatica, introducendo però un "piccolo" errore di cui però non si conosce la magnitudine.
- **Ifadis** (Ifadis, 1986): frazione continua troncata al terzo ordine e normalizzata all'unità allo zenit, sviluppata attraverso una vasta selezione di profili atmosferici determinati da radiosonde sparse su tutto il globo.
- **Herring** (Herring, 1992): frazione continua troncata al terzo ordine e normalizzata all'unità allo zenit, conosciuta come *Mapping Temperature Test* (MTT), determinata dal ray tracing attraverso profili ottenuti da radiosonde che hanno coperto diversi luoghi degli Stati Uniti, per angoli di elevazione che partono dai 3°.
- **Niell** (Niell, 1996): frazione continua troncata al terzo ordine e normalizzata all'unità allo zenit, non presenta dipendenza diretta di uno specifico parametro meteorologico, ma è basata su fluttuazioni temporali della massa dell'atmosfera. I coefficienti sono stati determinati sfruttando i profili del U.S. Standard Atmosphere Supplements, 1966.
- **Global Mapping Function (GMT)** (Boehm et al.,2006): frazione continua troncata al terzo ordine e normalizzata all'unità allo zenit con il termine correttivo per la quota come nella MF di Niell (solo per la componente idrostatica), i cui coefficienti $a_i$ però sono stati calcolati utilizzando i dati raccolti dall'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) in 40 anni su una griglia mondiale 15° x 15° (determinando profili medi mensili di pressione, temperatura e umidità) e le armoniche sferiche, mentre per i coefficienti $b_i$ e $c_i$ si sono utilizzate le espressioni e i valori utilizzati per la Vienna Mapping Function (VMF1).
- **UNSW931** e **UNSW932** (Yan, Ping, 1995) costituiscono una variante della frazione continua in quanto si basano su funzioni d'errore complementari. La prima si basa sul profilo atmosferico utilizzato anche dal modello di Davis, (parametri atmosferici standard); la seconda si basa sul profilo atmosferico dato dal modello di Hopfield. Entrambi i modelli sono stati ideati per il calcolo della componente idrostatica, l'utilizzo per la componente non idrostatica introduce un errore.
- **UNBabc** e **UNBab** (Langley, Guo, 2003): frazione continua troncata al terzo ordine per UNBabc, al secondo per UNBab e normalizzate all'unità allo zenit. I coefficienti sono stati determinati dopo cinque anni di analisi di profili ottenuti mediante radiosonde lanciate due volte al giorno da 51 differenti stazioni sparse per tutto il Nord America.
- **FCULa** e **FCULb** (Mendes et al., 1999): frazioni continue troncate al terzo ordine e normalizzate all'unità allo zenit. I coefficienti sono stati sviluppati sul ray tracing di un anno

di dati raccolti mediante il lancio di radiosonde da 180 stazioni sparse nel mondo, con anche più lanci giornalieri per raccogliere i profili di pressione, temperatura e umidità relativa.

Tutte le MF sopra descritte sono state impiegate nell'elaborazione dati GNSS i cui risultati sono presentati di seguito. Le MF sono state infatti introdotte nei modelli di calcolo del ritardo troposferico implementati nel software NDA (Chersich, 2002), uno strumento per la compensazione di dati GNSS per applicazioni geodetiche di precisione, interamente sviluppato da Galileian Plus, il cui utilizzo in applicazioni scientifiche è stato recentemente validato (Fermi, 2010) e certificato dal Politecnico di Milano – DIIAR.
Per trattare il ritardo troposferico, NDA utilizza la [1] e impiega, per la parte del ritardo troposferico idrostatica e a seconda della scelta dell'utente, i soli modelli di ZTD di Saastamoinen e Hopfield, proiettandoli con la Mapping Function di Niell oppure il TSD di Saastamoinen. La componente umida del ritardo troposferico zenitale viene, invece, stimata sulle doppie differenze della combinazione *Ionospheric-free* di fase in maniera lineare a tratti, su intervalli di 1.5 ore, per entrambe le stazioni ai capi della linea di base utilizzando la MF di Niell umida per ricavarne l'impatto complessivo. A seguito di questo lavoro, NDA è in grado di utilizzare tutte le Mapping Function descritte in precedenza in quanto la loro implementazione nel codice è stata eseguita e testata (Paternostro, 2012). L'analisi presentata di seguito utilizza tutti i modelli descritti ed è stata effettuata su una linea di base MATE-ITRA, lunga circa 300Km, che collega le due stazioni GNSS di Matera (*reference*) e Roseto degli Abruzzi, utilizzando angoli di *cut-off* di 10° e poi 5°. Di seguito mostriamo le ripetibilità ottenute da una serie storica di 16 giorni con stima giornaliera delle coordinate.
Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle dipendenze dei coefficienti dei modelli dai parametri e relativa legenda:

| | **Parametri** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Modello** | $\varepsilon$ | $P$ | $e$ | $T$ | $h$ | $\Phi$ | $\Lambda$ | $DoY$ |
| *Moffett* | x | | | | | | | |
| *Black* | x | | | x | x | | | |
| *Black-Eisner* | x | | | | | | | |
| *Chao* | x | | | | | | | |
| *Davis* | x | x | x | x | | | | |
| *Ifadis* | x | x | x | x | | | | |
| *Herrings* | x | | | x | x | x | | |
| *Niell* | x | | | | x | x | | x |
| *UNSW931* | x | x | x | x | | | | |
| *UNSW932* | x | x | x | x | | | | |
| *UNBabc* | x | | | | x | x | | |
| *UNBab* | x | | | | x | x | | |
| *GMT* | x | | | | | x | x | x |
| *FCULa* | x | | | x | x | x | | |
| *FCULb* | x | | | | x | x | | x |

- ε = angolo di elevazione
- P = pressione totale
- e = pressione parziale di vapore
- T = temperatura
- h = quota stazione
- φ = latitudine stazione
- λ = longitudine stazione
- DoY = giorno dell'anno

Per le unità di misura occorre fare riferimento ai relativi testi.

*Tabella 1. Dipendenza delle mapping function dai parametri.*

**Risultati, grafici e tabelle**
Sono stati attribuiti degli indici numerici ai modelli implementati in NDA per semplificare la visualizzazione grafica dei risultati; la seguente Tabella 2 ne riporta i valori:

| *Indice numerico* | Modello di ZTD | | *Indice numerico* | Modello di ZTD | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Mapping Functions** | *Saastamoinen* | *Hopfield* | **Mapping Functions** | *Saastamoinen* | *Hopfield* |
| *Saastamoinen TSD* | 1 | / | *Niell* | 10 | 25 |
| *Hopfield Modificato* | / | 2 | *UNSW931* | 11 | 26 |
| *Moffet* | 3 | 18 | *UNSW932* | 12 | 27 |
| *Black* | 4 | 19 | *UNBabc* | 13 | 28 |
| *Black and Eisner* | 5 | 20 | *UNBab* | 14 | 29 |
| *Chao* | 6 | 21 | *GMT* | 15 | 30 |
| *Davis* | 7 | 22 | *FCULa* | 16 | 31 |
| *Ifadis* | 8 | 23 | *FCULb* | 17 | 32 |
| *Herring* | 9 | 24 | | | |

*Tabella 2. Assegnazione indici per le varie combinazioni di modelli.*

In Grafico 3 sono riportati gli andamenti delle ripetibilità (deviazione standard σ della distribuzione) delle stime ottenute per il Modulo e le componenti Up, Nord ed Est della linea di base MATE-ITRA considerata, stime ottenute impiegando un angolo di cut-off di 10°.

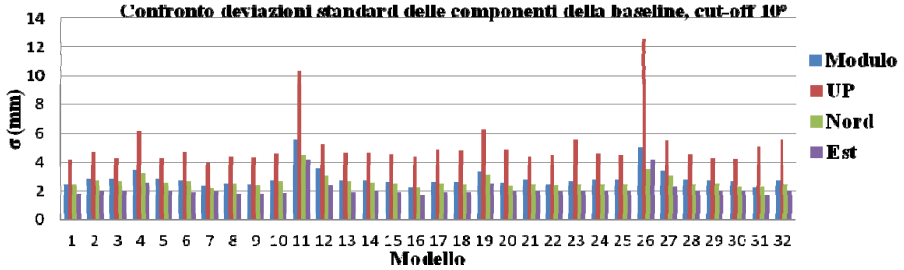



*Grafico 3. Deviazioni standard relative al modulo e alle tre componenti della linea di base, per angoli di cut-off pari a 10°.*

Nella seguente Tabella 4, sono stati riportate le deviazioni percentuali dei modelli che hanno dimostrato le migliori prestazioni rispetto al modello di **Saastamoinen TSD**, modello assunto qui come modello di riferimento per gli altri:

| **Modello** | **Δσ (%)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Modulo** | **UP** | **NORD** | **EST** |
| **7** | 5,19 | 6,57 | 10,32 | 7,53 |
| **9** | 0,80 | 3,60 | 0,73 | 1,06 |
| **16** | 10,81 | 3,82 | 10,23 | 2,96 |
| **31** | 10,62 | 17,38 | 5,73 | 4,21 |

*Tabella 4. Dal Grafico 3, le differenze percentuali rispetto al modello TSD di Saastamoinen (in nero l'incremento di prestazioni vs. modello,in rosso il decremento prestazioni vs. modello).*

Il modello 7 è l'unico che presenta un miglioramento nella stima della componente UP per angoli di elevazioni maggiori ai 10°. La situazione cambia per *cut-off* inferiori. Analogamente a Grafico 3, in Grafico 5 sono riportati gli stessi andamenti delle deviazioni standard per un angolo di *cut-off* di 5° e nella successiva Tabella 6 sono riportati i modelli che hanno dimostrato le migliori prestazioni (in termini di percentuali) rispetto al modello base.

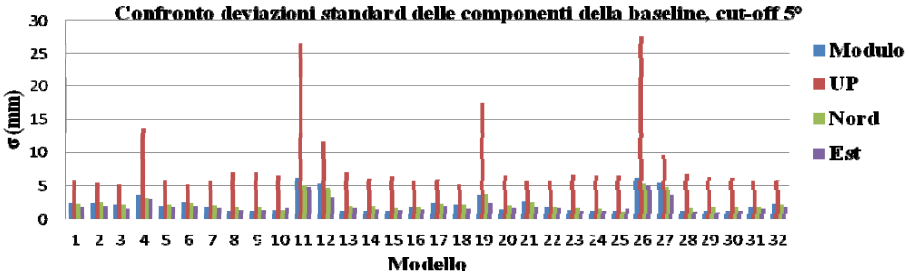



*Grafico 5. Deviazioni standard relative al modulo e alle tre componenti della baseline, per cut-off angle pari a 5°.*

| Modello | Δσ (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Modulo | UP | NORD | EST |
| **3** | 10,67 | 17,05 | 6,13 | 7,60 |
| **7** | 29,88 | 4,58 | 15,22 | 5,12 |
| **16** | 27,52 | 3,16 | 26,86 | 15,58 |
| **18** | 12,85 | 16,01 | 4,13 | 12,25 |
| **22** | 33,39 | 7,15 | 26,53 | 4,65 |
| **31** | 29,28 | 6,26 | 29,64 | 12,12 |

*Tabella 6. Dal Grafico 5, le differenze percentuali rispetto al modello TSD di Saastamoinen.*

Questi sei modelli presentano un miglioramento delle prestazioni su tutte e quattro le misure della baseline, con percentuali per niente trascurabili.

**Conclusioni**

Dall'analisi effettuata si è riscontrato che per angoli di elevazione maggiori di 10° il modello di TSD di Saastamoinen risulta essere uno dei modelli più efficienti, in termini di ripetibilità delle coordinate, ma per angoli minori le sue prestazioni degradano, a dimostrazione di una scarsa capacità di modellare il ritardo troposferico per bassi angoli di elevazione.
Alcuni dei modelli recentemente introdotti in NDA Professional, infatti, hanno permesso di ottenere precisioni superiori rispetto al modello di riferimento utilizzato migliorando le ripetibilità delle coordinate soprattutto se si includono le osservazioni per bassi angoli di elevazione.
Complessivamente, per *cut-off* in elevazione a 5° e in planimetria, le ripetibilità delle componenti Nord e Est passano, mediamente, da 2-3 mm per angoli di elevazione maggiori di 10°, ai 1-2 mm e la componente UP migliora sensibilmente utilizzando la MF di Moffet con entrambi i modelli di ZTD considerati.

**Riferimenti**

Bisnath, S.B., V.B. Mendes and R.B. Langley (1997). "*Effects of tropospheric mapping functions on space geodetic data*", Proceedings of the IGS Analysis Center Workshop.
Black, H.D. (1978). "*An easily implemented algorithm for the tropospheric range correction*", Journal of Geophysical Research, Vol. 83, No. B4, pp. 1825-1828.
Black, H. D. and A Eisner (1984 ). "*Correcting satellite Doppler data for tropospheric effects*", Journal of Geophysical Research, Vol. 89, No. D2, pp. 2616-2626.
Boehm, J., A. Niell, P. Tregoing, and H. Schuh (2006). "*Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data*", Geophysical Research Letters, vol.33.

Chersich M., De Giovanni A., Osmo M. (2002) "*NDA: un tool italiano per il processamento automatico di dati da reti GPS permanenti*", Atti della 6ª Conferenza Nazionale ASITA, Perugia 5-8 Novembre 2002.
Chao, C.C. ( 1972). "*A model for tropospheric calibration from daily surface and radiosonde balloon measurement*", Technical Memorandum 391-350, JPL, Pasadena, Calif.
Davis, J.L., T.A. Herring, I.I. Shapiro, A.E.E Rogers, and G. Elgered (1985). "*Geodesy by radio interferometry: effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length*", Radio Science, Vol. 20, No. 6, 1593-1607.
Fermi M., Caldera S., Chersich M., Osmo M., "*Validazione del software NDA Professional per la compensazione di reti di stazioni permanenti GNSS*", Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA, 9 – 12 novembre 2010, Fiera di Brescia.
Goad, C. C. and L. Goodman (1974). "*A modified Hopfield tropospheric refraction correction model*", Paper presented at the AGU Fall Annual Meeting, 12-17 December 1974, San Francisco, Calif.
Guo, J. and R. B. Langely (2003). "*A New Tropospheric Propagation Delay Mapping Function for Elevation Angles Down to 2 degrees*", ION GPS 2003, 9-12 Sept. 2003, Portland OR.
Herring, T.A. (1992). "*Modeling atmospheric delays in the analysis of space geodetic data*", Proceedings of Symposium on Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy, Publications on Geodesy, Delft, The Netherlands, No. 36, New Series, pp. 157-164.
Hopfield, H.S. (1969). "*Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data*", Journal of Geophysical Research, Vol. 74, No. 18, pp. 4487-4499.
Ifadis, I. ( 1986). "*The atmospheric delay of radio waves: Modeling the elevation dependence on a global scale*", Technical Report No. 38L, School of Electrical and Computer Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg.
Ifadis, I. (1 993). "*Space to earth techniques: some considerations on the zenith wet path delay parameters*", Survey Review, Vol. 32, No. 249, pp. 130-144.
Marini, J.W. (1972). "*Correction of satellite tracking data for an arbitrary tropospheric profile*", Radio Science, Vol. 7, No.2, pp. 223-231.
Mendes V.B., Pavlis E.C., Prates G., Pavlis D. E. and Langley R.B.(2002), "*Improved mapping functions for atmospheric refraction correction*", Geophysical Research Letters, vol. 29.
Moffett, J.B. (1973). "*Program requirements for two-minute integrated Doppler satellite navigation solution*", Technical Memorandum TG 819-1 (rev. 2), The Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, Silver Spring, Md.
Niell, AE. ( 1996). "*Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths*", Journal of Geophysical Research, Vol. 101, No. B2, pp. 3227-3246.
Paternostro S. (2012), *"Effetto di diversi modelli di mapping function troposferica sulle prestazioni di un software di compensazione di dati GPS*", Tesi di Laurea, Facoltà di Ingegneria Spaziale, Università "La Sapienza" di Roma.
Remondi, B. W. (1984), "*Global Positioning System Carrier Phase: Description and Use*", Journal of Geodesy, Volume 59, Number 4 (1985), 361-377.
Saastamoinen, J. (1973). "*Contributions to the theory of atmospheric refraction, part II: refraction corrections in satellite geodesy*", Bulletin Géodésique, No. 107, pp. 13-34.
Thayer, G.D. (1974). "*An improved equation for the radio refractive index of air*", Radio Science, Vol. 9, No. 10, pp. 803-807.
Yan H., Zhang G., Guo P. and Hong Zhengjie (2002)." *Discussion and Comparison of the mapping functions in radio frequencies*", TAO, vol. 13, No. 4, pp. 563-575. Department of Mathemathics, Wenzhou College, Zhejiang, China.
Yan, H. and J. Ping (1995). "*The generator function method of the tropospheric refraction corrections*", The Astronomical Journal, Vol. 110, No.2, pp. 934-939.
Yionoulis, S.M. (1970). "*Algorithm to compute tropospheric refraction effects on range measurements*", Journal of Geophysical Research, Vol. 75, No. 36, pp. 7636-7637.

# Fotogrammetria e Computer Science per Analisi e Visualizzazione dell'Archeologia degli Elevati

Peloso D., Drap P., Merad D., Boï J-M, Seinturier J., Reidinger C., (*)
Vannini G.,Nucciotti M., Pruno E. (**)

(*) LSIS umr CNRS 6168, Centre National de la Recherche Scientifique, Marseille, France
name.surname@univ-amu.fr
(**) Dipartimento di Studi Storici e Geografici dell'Università degli Studi di Firenze, Florence, Italy.
guido.vannini@unifi.it, nucciotti@unifi.it, elisa.pruno@unifi.it

**Abstract**
Il progetto "*Signori mediterranei: archeologia del potere nella Transgiordania latina. Il caso di Shawbak, il Crac de Montréal - Petra e Shawbak, dalla Signoria di Transgiordania all'impero ayyubide*." è un esempio di implementazione tra ricerca archeologica e *computer vision*, rivolto all'elaborazione di un sistema 3D di informazione geografica (GIS) dedicato all'analisi stratigrafica delle strutture architettoniche del castello di Shawbak e sviluppato grazie ad una lunga collaborazione, ancora in itinere, tra Università di Firenze e CNRS di Marsiglia.
In particolare, l'attività di ricerca del "*Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes*" del CNRS, negli ultimi anni, é stata rivolta allo sviluppo di un sistema di documentazione dedicato all'archeologia medievale, basato su strumenti capaci di gestire la geometria delle strutture architettoniche, calcolata a partire dai dati fotogrammetrici e nuvole dense di punti 3D.
L'obiettivo del lavoro è quello di integrare dei moduli di analisi statistica che siano in grado di rapportare le informazioni semantiche con i dati dimensionali, al fine di evidenziare le relazioni fisiche e stratigrafiche relative alla sequenza cronologica di ogni singolo edificio e dell'intero sito.
Il sistema è in grado di esprimere graficamente gli elementi architettonici misurati (i.e. i conci) ma anche gli elementi concettuali, come le USM (Unità Stratigrafica Muraria) positive e negative.
Analisi di classificazione consentono di stabilire e osservare dei legami tra le misure dei conci, la loro posizione nelle murature e le unità stratigrafiche corrispondenti.
Tutti questi dati ed informazioni vengono organizzati in un GIS 3D collegato ad un database archeologico: i modelli 3D sono, quindi, una rappresentazione grafica del database e l'interfaccia attraverso cui l'utente è in grado di modificare e produrre diversi tipi di analisi.

***Abstract***
*The paper presents an interdisciplinary project which is a work in progress towards a 3D Geographical Information System (GIS) dedicated to Cultural Heritage with a specific focus application on the Castle of Shawbak, one of the best preserved rural medieval settlements in the entire Middle East). The Shawbak archaeological project is a specific and integrated project between medieval archaeological research and computer vision done thanks to a long cooperation between University of Florence and CNRS, LSIS, Marseille. Focusing mainly on stratigraphical analysis of upstanding structures we provide archaeologists with two-step pipeline. First a survey process using photogrammetry, both in a traditional way with additional annotations and using the most advanced technique to obtain dense maps and then a tool for statistical analysis. Two main applications are presented here, stratigraphy analysis with Harris matrix computed on the fly from the 3D viewer and statistical tools, clustering operation on ashlar in order to show new relationships between the measured artifacts*

**Keywords**: Archeologia Medievale, Stratigrafia, Fotogrammetria, Computer vision, GIS, Principal Component Analysis, Clustering.

## 1 Introduzione

La missione archeologica dell'Università di Firenze lavora da molti anni ad un progetto di ricerca finalizzato ad analizzare le forme degli insediamenti Crociati nei territori della Signoria di Transgiordania nel corso del XII secolo. La scelta di questa area è dipesa dal fatto che Le fortificazioni in questa area geografica, sono state completamente e definitivamente abbandonate dai Crociati dopo la battaglia di Hattin (1187), in cui è stato sconfitto l'esercito del Regno Latino di Gerusalemme da Salah al-Din, salvo specifiche eccezioni, perciò le analisi potevano contare su uno specifico termine cronologico.

Nel corso del tempo, il progetto ha rivolto la sua attenzione ad uno dei più importanti siti fortificati di tutta la regione, ovvero il castello di Shawbak, come un vero e proprio 'osservatorio stratigrafico' (Vannini, 2009). La fortificazione è da considerarsi una straordinaria area archeologico-monumentale caratterizzata da una stratificazione archeologica molto leggibile e che racchiude in se un archivio materiale che si estende per almeno 1600 anni, dall' età romano-bizantino (strutture appartenenti a questi periodi sono state riconosciute grazie alle recenti indagini archeologiche) attraverso il periodo crociato-ayyubide , mamelucco ed ottomano (Pruno, Sciortino, 2012).

Lo scopo principale di questa ricerca congiunta tra Firenze e Marsiglia è l'analisi archeologica del sito ed il suo «*interpretative design*», sulla base di tutte le informazioni digitali rilevate nel corso di molti anni di indagini, sullo sviluppo di metodologie di acquisizione e di elaborazione dei dati raccolti in ambiente 2D e 3D. Il nostro primo obiettivo, infatti, è stato la realizzazione di un GIS 3D.

Tali obiettivi sono stati raggiunti attraverso due differenti approcci: da un lato la documentazione dell'analisi archeologica, attraverso l'elaborazione di un database «*PetraData*» (Niccolucci et al.,2000); un sistema fondato sulla classificazione di tutte le tutte le osservazioni archeologiche all'interno di schede gerarchicamente ordinate sulla base dei diversi livelli di indagine, come ad esempio CF (Corpo di Fabbrica) o USM (Unità Stratigrafica Muraria). (per le definizioni dell'archeologia degli elevati si veda Brogiolo, 1988).

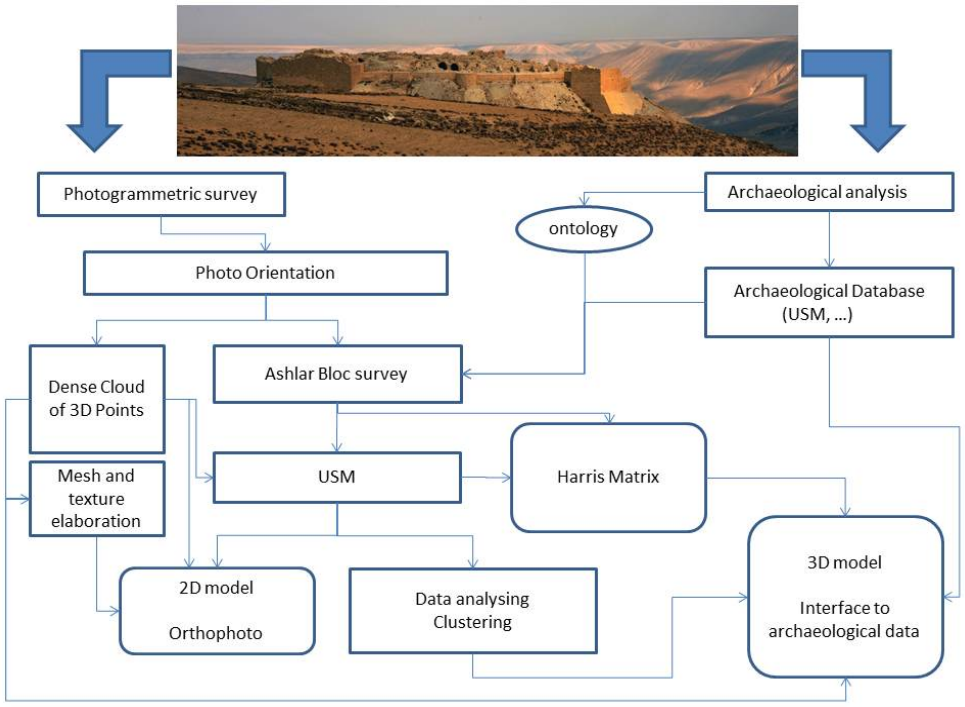



*Figura 1. Schema sinottico del progetto interdisciplinare.*

Il secondo approccio si basa sull'utilizzo dei rilievi fotogrammetrici ed applicazioni informatiche per la produzione di modelli 3D o 2D legati all' analisi geometrica dei dati, guidata dalla conoscenza ed esperienza in materia archeologica.
Il rilievo fotogrammetrico è organizzato in due modi distinti. Dopo la fase di orientamento, le fotografie vengono elaborate per la produzione di modelli 3D attraverso la generazione di una nube densa di punti ottenuta mediante un processo automatico ed anche per misurare e rappresentare i singoli conci; in questa fase, l'indagine viene effettuata da un archeologo esperto (Drap et al.,2009).
Una volta che i conci vengono misurati e riconosciuti nel database archeologico come appartenenti alla loro USM si vengono a definire le relazioni di tipo temporale, secondo le regole della stratigrafia così come definite da Harris. Ogni USM, infatti, è un insieme omogeneo che rappresenta una singola azione di costruzione o distruzione, tanto naturale quanto antropica e quindi identificando le relazioni dapprima fisiche e poi stratigrafiche di ogni singola USM si arriva a definire la sua cronologia relativa.
Nostro interesse era quello di sviluppare una metodologia di visualizzazione 3D in grado di porre in evidenza tutti i dati utilizzati, e cioè i modelli fotogrammetrici, con le fotografie e i punti 2D/3D, i blocchi murari, le nuvole dense di punti 3D, le USM, i clustering analysis ed, infine, le relazioni USM rispetto al Matrix di Harris (Harris, 1979).

L'idea principale di tale sistema di visualizzazione 3D non è quella di realizzare una rappresentazione scenografica del sito, ma l'obiettivo è poter guidare lo studio archeologico attraverso un sistema che possa controllare e relazionare tutti i dati acquisiti e prodotti.

**2 Obiettivi e metodologia**

L'approccio fotogrammetrico su cui si sviluppa la ricerca è stato pensato per risolvere due differenti problematiche: la prima è quella di costruire una rappresentazione 3D o 2D del sito, o di singole parti del sito, in modo da avere una rappresentazione che possa essere utilizzata come interfaccia per la grande quantità di dati testuali ed iconografici raccolti ed elaborati dagli archeologi. La seconda è la necessità di acquisire dati di natura metrica sui manufatti identificati per essere in grado di effettuare analisi di tipo dimensionale, clustering ed altre analisi di tipo statistico (Vedi Figura 1).

Le applicazioni fotogrammetriche inizialmente vengono utilizzate per compiere delle misurazioni sui singoli blocchi murari (Drap et al. 2000). Gli utenti possono effettuare una misurazione 3D utilizzando una singola fotografia, senza alterare la precisione del risultato e con la possibilità di aggiungere, attraverso un processo manuale, delle informazioni qualitative. Questi tags semantici possono essere utilizzati per completare i rilievi (ad esempio ad un concio si può attribuire una profondità arbitraria proposta dall' archeologo o semplicemente possono essere aggiunti dati ed informazioni di interesse archeologico (come il riferimento agli strumenti di elaborazione, la qualità della pietra, ecc.).

Una seconda tipologia di applicazione fotogrammetrica può riguardare la generazione di nuvole di punti 3D arricchite con informazioni colorimetriche. Le numerose riprese fotogrammetriche realizzate negli ultimi anni e relative ai diversi ambienti che compongono il castello hanno permesso di generare una densa nuvola di punti 3D (vedi Figura 2) con il metodo proposto da Furukawa e Ponce (Furukawa, Ponce, 2010). Questo approccio, molto preciso ed abbastanza esauriente, non permette però di mantenere informazioni semantiche. Il problema principale è, quindi, come combinare da un lato l'elevata quantità di informazioni (punti 3D, informazioni di colore per ciascun punto) e dall'altro lato l'indispensabile conoscenza archeologica.

Al fine di soddisfare le nostre esigenze, abbiamo sviluppato un sistema ibrido, basato sulla fotogrammetria e la visualizzazione in 3D, avendo anche la necessità di utilizzare tutti i dati archeologici 2D, come foto o ortofoto ed USM. Questo approccio ci permette di riprodurre delle ortofoto sulla base di specifiche richieste al database ed anche al Matrix di Harris a partire dal modello 3D (ad esempio un grafico parziale di Harris da una USM identificata nel modello 3D). (Drap et al., 2012).



*Figura 2. La fusione dei due approcci fotogrammetrici in unico, interattivo, visualizzatore 3D.*

Nella Fig. 2 é possibile vedere i blocchi colorati in maniera differente a seconda della diversa USM di appartenenza; inoltre, é possibile trasmettere l'informazione semantica ai punti 3D e modificare, ad esempio, il loro colore a seconda dell' USM. La necessità di evidenziare questi aspetti è legata al concetto di unità stratigrafica, perché solo documentando ciascuna di esse è possibile individuare la sequenza cronologica relativa di ogni singolo edificio (confrontando tutti gli edifici, la sequenza cronologica relativa del sito).
Tutti i rapporti stratigrafici sono formalizzati nella matrice di Harris e sono rappresentati in un grafico, al fine di raccogliere e mettere in ordine cronologico relativo tutti gli eventi che si verificano in un sito. Attualmente siamo in grado di generare il grafico di Harrix con un semplice click del mouse nel modello 3D e vedere la corrispondente rappresentazione 3D di una USM; il successivo passo sarà quello di poter visualizzare sul modello 3D anche il rapporto stratigrafico e il grafico Harris. Esistono già alcuni software che elaborano automaticamente la matrice di Harris a partire dai dati raccolti; è nostro interesse, però, sviluppare un sistema integrato dal rilievo alla matrice.
Uno strumento come il nostro rilievo 3D collegato ai dati archeologici è, inoltre, molto utile per la possibilità di avere sempre a disposizione un archivio di dati geometrici tridimensionali costantemente aggiornabile e consultabile. Ad esempio, la copertura fotogrammetrica di molte aree del castello permette di lavorare a posteriori su un soggetto, per compiere misurazioni impossibili da eseguire sul campo per diverse ragioni, tra cui soprattutto la mancanza di tempo, e anche, spesso, per una posizione fisicamente non accessibile.
I modelli geometrici riproducono i singoli ambienti che costruiscono la complessità del castello di Shawbak; il lavoro di trattamento dei dati tridimensionali e di modellizzazione è stato realizzato grazie all'applicazione del software JRC Reconstructor 2 (Gexcel srl) (Vedi Figura 3 e Figura 4).

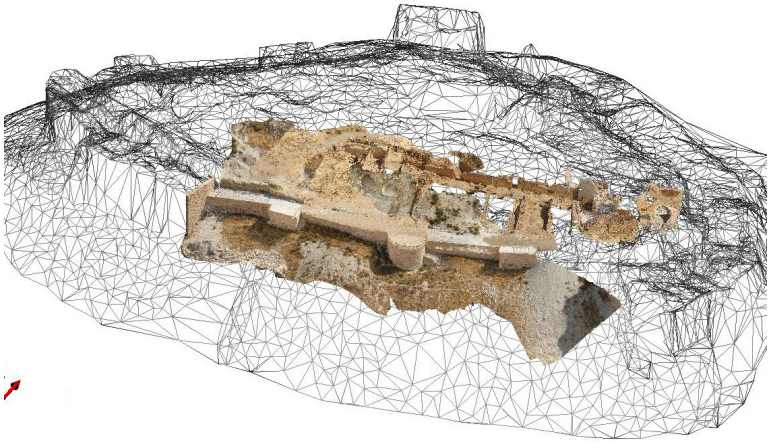


*Figura 3. Modello geometrico dell'area archeologica e ricostruzione attraverso mesh di alcuni degli ambienti del castello fino ad ora rilevati.*

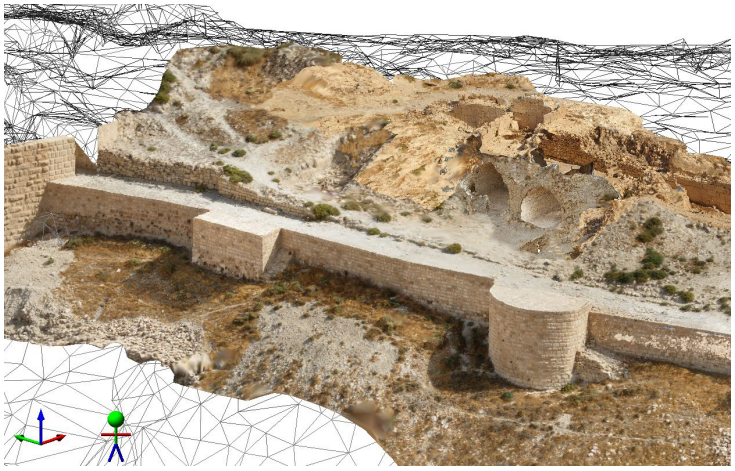


*Figura 4. Esplorazione del modello geometrico.*

**3 Obiettivi futuri**

Il progetto presentato nasce da una lunga collaborazione tra l'Università di Firenze, Italia e CNRS di Marsiglia (laboratorio LSIS) al fine di sviluppare un sistema di documentazione dedicato all'archeologia medievale, basato sulla fotogrammetria tradizionale e computer vision, in cui le nuvole di punti 3D possano essere arricchite con i dati semantici.

Gli obiettivi futuri sono rivolti allo sviluppo di questi aspetti:

- Migliorare il modulo che trasferisce i dati semantici del processo manuale fotogrammetrico alla nube densa di punti 3D. Questo è possibile per il fatto che viene utilizzato lo stesso supporto originale per riprodurre i dati archeologici ed il modello 3D, cioè le fotografie.
- Migliorare e integrare il modulo di calcolo statistico per aumentare la correlazione tra i blocchi e gli altri dati archeologici.

- Rappresentare scenari 3D realistici come memoria dello status quo di strutture architettoniche e manufatti a supporto delle decisioni per gli addetti ai lavori, nonché per un turismo virtuale che apra la fruizione del patrimonio culturale alla globalizzazione.

Il sistema interattivo in fase di sviluppo, permette accesso totale alle informazioni sul manufatto mediante un ambiente interrogabile con testo, finestre e bottoni (Interfaccia utente Grafica) che permette di interagire con la domanda e guidare la consultazione . (Morganti, Riva, 2006)

Il tentativo è di coniugare un lavoro scientifico di progettazione e modellazione con la libera esplorazione di mondi virtuali e con la possibilità, da parte degli utenti, di relazionarsi con i contenuti in modo creativo ed interattivo, in base ai propri percorsi di apprendimento.

- Infine, dal punto di vista archeologico, le unità stratigrafiche rappresentano un aspetto archeologico del ciclo del tempo e questa è la causa della loro rilevanza. Infatti l'altro aspetto importante dello studio di Harris si basa sull'invenzione della matrice di Harris, cioè un sistema per raccogliere e mettere in ordine cronologico relativo tutti gli eventi che si verificano in un sito. Tuttavia la matrice di Harris non consente di indicare il concetto di durata dell'unità stratigrafica e questa è una reale mancanza relativa alla struttura stratigrafica degli alzati (Pruno, Drap, 2012). Quindi il nostro lavoro futuro sarà rivolto alla ricerca di individuare un modo, sulla base forse dell'inserimento di altre relazioni temporali desunte anche dalla teoria di Allen (Allen, 1991), per riuscire a visualizzare la durata delle singole unità stratigrafiche di una struttura archeologica.

**Bibliografia**

Allen J.F., (1991), *Temporal reasoning and planning*. In: Brachman, R.J. (eds) Reasoning about plans. pp. 1-67. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco

Brogiolo G.P., (1988), *Archeologia dell'edilizia storica. Documenti e metodi*. New Press, Como

Drap P., Gaillard G., Grussenmeyer P., Hartmann-Virnich A., (2000), *A stone-by-stone photogrammetric survey using architectural knowledge formalised on the ARPENTEUR Photogrammetric workstation.* In: Proceedings of XIXth ISPRS Congress, Vol. XXXIII, part 5, 8, pp. 139-145. ISPRS, Amsterdam

Drap P., Seinturier J., Chambelland J.C., Pruno E., (2009), *Going To Shawbak (Jordan) And Getting The Data Back: toward a 3D GIS dedicated to medieval archaeology*. In: Proceedings of 3D Arch 2009, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures Trento, Commission V, WG V/4

Drap P., Merad D., Boï J.M., Seinturier J., Peloso D., Reidinger C., Vannini G., Nuccioti M., Pruno E., 2012, *Phogrammetry for medieval archaeology, A way to represent and analyse stratigraphy.* In: VSMM 2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Milano

Furukawa Y., Ponce J., (2010), *Accurate, Dense, and Robust Multiview Stereopsis*. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 32, pp. 1362-1376. IEEE Press, New Jork

Harris E.C.,(1979), *Principles of Archaeological Stratigraphy*. Academic Press, London

Morganti F., Riva G., (2006), *Conoscenza, comunicazione e tecnologia: aspetti cognitivi della RV*, Milano

Niccolucci F., Tonghini C., Vannini G., Crescioli M., (2000), *PETRA: un sistema integrato per la gestione dei dati archeologici.* Archeologia e Calcolatori, XI, 49-67

Pruno E., Sciortino R., (2012), *La ceramica post-medievale a Shawbak (Giordania): impostazioni di metodo e prime acquisizioni della ricerca*. In: XLIV Convegno Internazionale della Ceramica, pp. 39-55. Edizione Del Centro Ligure Per La Storia Della Ceramica (Ed.), Savona

Pruno E., Drap P., (2012), *Dalla stratigrafia all'archeologia teorica: il matrix di Harris e l'archeologia del tempo.* In: Redi, F., Forgione, A. (eds): VI Congresso Nazionale di Archeologia Medievale, pp. 43-45. All'Insegna del Giglio, Firenze

Vannini G., Nucciotti M., (2009), *Un problema di visibilità archeologica: territorio, analisi "leggere" e sintesi storiche.* In: Vannini, G., Nucciotti, M.: Da Petra a Shawbak, Archeologia di una frontiera. pp. 28-31. Giunti, Firenze

# Calcolo della rendita presunta degli immobili fantasma: contributo delle immagini aerofotogrammetriche da multicamere digitali oblique

M. Pepe, G. Prezioso, R. Santamaria

Università degli Studi di Napoli "Parthenope", Dipartimento di Scienze Applicate
Centro Direzionale Isola C4, 80143 Napoli, Tel. 081 5476690
massimiliano.pepe@uniparthenope.it, pina.prezioso@uniparthenope.it, raffaele.santamaria@uniparthenope.it

**Riassunto**
L'Agenzia del Territorio, con il provvedimento del 19 Aprile 2011 "Attribuzione della rendita presunta ai sensi dell'art 19, comma 10, del decreto legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122, e determinazione degli oneri da porre a carico dei soggetti interessati", ha previsto il calcolo della rendita presunta degli immobili non censiti in catasto.
Attualmente, la rendita viene calcolata da informazioni desunte da sopralluoghi compiuti da tecnici appartenenti ad Ordini che hanno sottoscritto idonea intesa con l'Agenzia del Territorio.
In questo lavoro, per calcolare la suddetta rendita, viene proposta una tecnica aerofotogrammetrica che adotta multicamere digitali oblique e relativo software dedicato. Con tale tecnica si ottengono immagini metriche e georeferenziate che consentono non solo di determinare la geometria dell'edificio ma anche di qualificarne il tipo e la classe, elementi cardini per il calcolo della rendita presunta dei fabbricati fantasma.

**Abstract**
The "Agenzia del Territorio", with the decision of April 19, 2011, provided for the calculation of income alleged property are not registered in cadastre.
In this work for the calculation of rent of the property is proposed a technique that adopts multicameras digital photogrammetric aerial oblique and its dedicated software. The image obtained with this technique can be used to determine the geometry, the type and the class of the building,

## Introduzione

Il provvedimento dell'Agenzia del Territorio stabilisce che, per il corretto calcolo della rendita presunta dei cosiddetti "fabbricati fantasma", occorre desumere la classe e la consistenza del manufatto.
Il classamento consiste nell'individuazione della categoria e della classe necessarie all'attribuzione della rendita catastale presunta. La categoria è individuata in base a elementi tecnici acquisiti mediante sopralluogo esterno o forniti dai comuni, nonché utilizzando altri elementi conoscitivi o informativi a disposizione dell'Ufficio. La classe, invece, è individuata in quella mediana della categoria; nel caso particolare di numero pari di classi sarà quella superiore, fra le due intermedie, nell'ambito della zona censuaria ove è ubicata l'unità immobiliare.
La consistenza di ciascuna unità immobiliare da accertare è calcolata, con modalità semplificata, tenendo conto della superficie, desumibile dai rilievi aereo-fotogrammetrici, e di elementi informativi acquisiti con sopralluogo esterno, cioè numero di piani o altezza.

**Immobili "fantasma"**
Dal 2006 (art. 2, comma 36 del d.l. 262/2006 e successive modificazioni) il legislatore ha attribuito all'Agenzia del Territorio la strategica funzione di contribuire all'individuazione ed accatastamento dei fabbricati presenti sul territorio che non risultano dichiarati in catasto. Nell'osservanza dell'articolato quadro normativo, l'Agenzia ha immediatamente avviato le attività di censimento individuando oltre 2,2 milioni di particelle sulle quali è verosimile la presenza di fabbricati o ampliamenti di costruzioni non dichiarati in catasto.
Questo primo risultato è stato raggiunto attraverso processi altamente automatizzati, incrociando le informazioni presenti nelle proprie banche dati con le ortofoto digitali prodotte da AGEA e, successivamente, considerando le segnalazioni dei cittadini interessati.
L'elenco dei Comuni, nei quali è stata accertata la presenza di immobili o di ampliamenti di costruzioni non dichiarati, è reso noto dall'Agenzia con appositi comunicati pubblicati nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana.
Nel caso in cui i titolari di diritti reali sugli immobili individuati non abbiano presentato gli atti di aggiornamento catastale entro il 30 aprile 2011, gli Uffici provinciali provvedono all'attribuzione di una rendita presunta .

**Software per la gestione delle pratiche**
L'Agenzia del Territorio, per la gestione delle pratiche relative agli immobili non censiti, utilizza il software "Rendita presunta 2.0" (Figura 1) implementato secondo una struttura ad albero la cui radice è la cartella pratiche, denominata secondo una codifica del tipo:
'Codice Comune'_'numero del foglio'_'particella'

Ogni cartella/pratica ha al suo interno un ramo contenente le seguenti informazioni:
- Estratto di Mappa
- Ortofoto
- Visura
- Proposta

Il ramo/cartella "Proposta" contiene una scheda dati, divisa in due sezioni, relativa al sopralluogo eseguito da un tecnico iscritto ad un ordine professionale. Nella prima sezione sono indicati gli identificativi dell'immobile nonché la data e l'anagrafica del tecnico che ha eseguito il sopralluogo. Nella seconda sezione viene indicato l'esito del sopralluogo con indicazione degli elementi necessari per identificare consistenza e classe dell'immobile; in essa, inoltre, è possibile indicare se per la particella esistono altri immobili non accatastati.

**Proposta di una tecnica aerofotogrammetrica per la determinazione della consistenza e classe**
I dati aerofotogrammetrici, come ausilio per il calcolo della consistenza dell'immobile, non sono sempre disponibili in 3D ed in più non sempre è possibile determinare da essi l'altezza del fabbricato, soprattutto in aree in cui non sono presenti punti quota nei pressi dell'edificio.
La determinazione della consistenza e del classamento dell'immobile da attribuire per via terrestre mediante sopralluogo comporta, molto spesso, la difficoltà se non l'impossibilità di accesso diretto al sito a causa della presenza di cancelli, alberi, muri di recinzione, ostacoli naturali, ecc.
Negli ultimi anni, nel settore aerofotogrammetrico, si sono sviluppate tecnologie costituite da multi camere digitali oblique, in grado non solo di riprendere lo stesso *target* (edifici, antenne e pali) da diverse angolazioni, ma di determinarne, grazie ad opportuni software dedicati, anche la geometria.
In generale, il sistema aviotrasportato è costituito (Figura 2) da quattro camere digitali metriche di tipo "*frame*" montate in posizione obliqua e disposte secondo un orientamento Nord, Est, Sud, Ovest nonché da un'ulteriore camera in posizione nadirale. L'integrazione delle camere aerofotogrammetriche con sistemi GNSS-INS consente la georeferenziazione diretta delle immagini

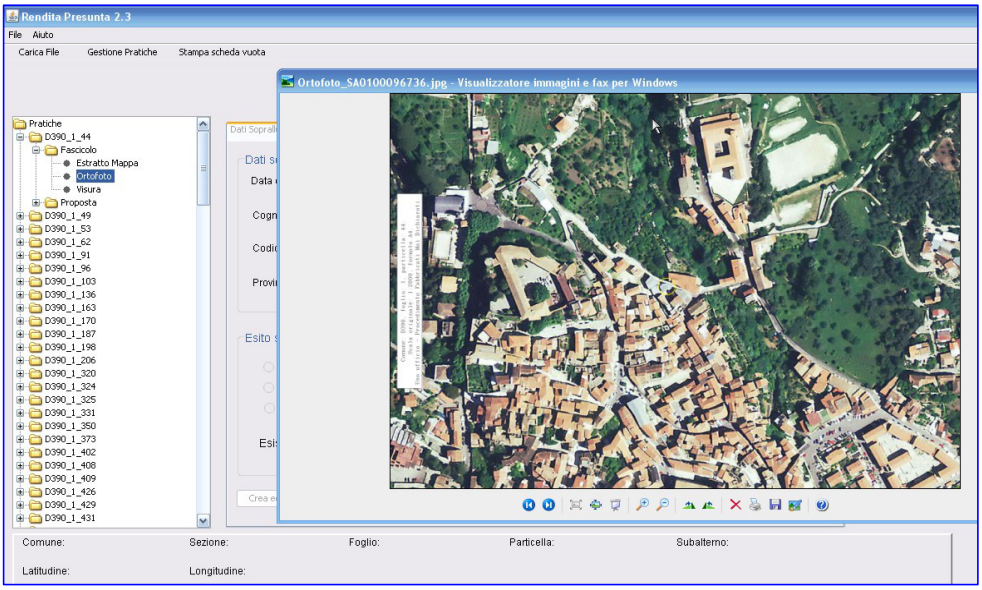



*Figura 1. Software "Rendita Presunta".*

acquisite. La georeferenziazione diretta permette di conoscere i 6 parametri di orientamento esterno (posizione ed assetto) del singolo fotogramma in uno specifico sistema di riferimento.

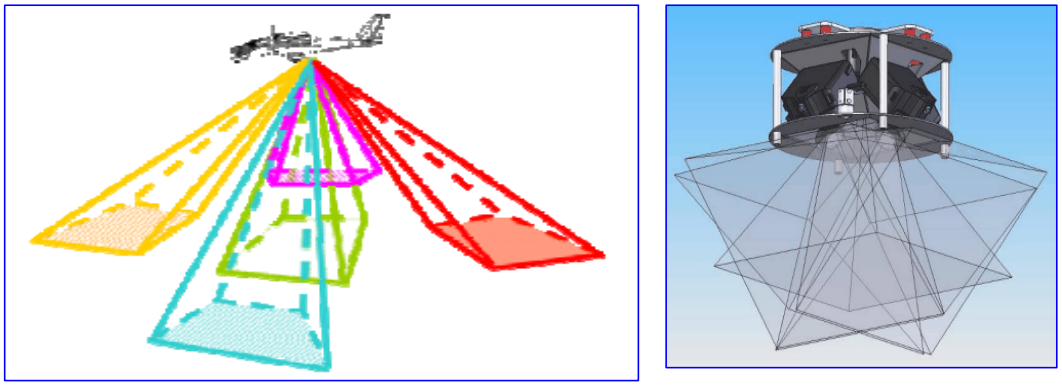


*Figura 2. Sistema di multicamere aviotrasportato e immagine obliqua.*

Un software *package* per la gestione dei fotogrammi è "*Multivision*" prodotto dalla *Ofek3D Aerial Photography & Mapping Company*. Inseriti i fotogrammi all'interno del software, noti i centri di presa, è possibile misurare l'altezza e l'area dei fabbricati (Figura 3) in maniera rapida ed intuitiva.

**Vantaggi**

L'impiego di tale tecnologia permette non solo di superare ostacoli naturali ma di avere delle immagini con i prospetti delle abitazioni su cui è possibile eseguire delle misure in un preciso sistema di riferimento cartografico. In tal modo è possibile compilare il software "Rendita presunta" in maniera puntuale e scientifica senza effettuare sopralluoghi.

Non ultimo, con le immagini metriche oblique e nadirali è possibile anche aggiornare la cartografia catastale; ossia, con tecniche fotogrammetriche, si può effettuare un accatastamento di ufficio con la stessa accuratezza che si otterrebbe attraverso le ordinarie tecniche di rilievo da terra (celerimetrico o GNSS).
La precisione delle misure e la geometria degli schemi devono essere tali da contenere gli errori nei limiti previsti dalla normativa catastale (Istruzione approvata in data 19/1/1988) che indica le tolleranze valide per il collaudo, da parte degli Uffici dell'Agenzia del Territorio, dei tipi di aggiornamento eseguiti con qualsiasi metodo e strumentazione.




*Figura 3. Gestione e misura degli oggetti all'interno del software "Multivision".*

Indicando con *d* la distanza riportata nell'atto di aggiornamento catastale , ossia la distanza tra una coppia di punti fiduciali, si hanno le seguenti tolleranze *t*:
In zone urbane o di espansione urbanistica:
t = 0,05 + (0,0013 d) m  per d ≤ 300 m
t = 0,45 m  per d > 300 m

In zone extraurbane pianeggianti o parzialmente ondulate:
t = 0,05 + (0,0016 d) m  per d ≤ 300 m
t = 0,55 m  per d > 300 m

In zone extraurbane con terreno sfavorevole:
t = 0,10 + (0,0020 d) m  per d ≤ 300 m
t = 0,70 m  per d > 300 m

Tenendo conto delle tolleranze catastali su indicate e delle accuratezze che si possono ottenere secondo le specifiche *ASPRS Accuracy Standard* (Tabella 4) contenute nelle "*Guidelines for Acquiring Aerial Imagery*", il *pixel size* indicato per le riprese aeree è di 15 cm.

| Map Scale | | 1" = 50' | 1" = 100' | 1" = 200' | 1" = 400' |
|---|---|---|---|---|---|
| Pixel Size | | 3 inch | 6 inch | 1 foot | 2 feet |
| Acceptable RMSE | Class 1 | 6 inch | 1 foot | 2 feet | 4 feet |
| Acceptable RMSE | Class 2 | 1 foot | 2 feet | 4 feet | 8 feet |
| Acceptable RMSE | Class 3 | 1.5 feet | 3 feet | 6 feet | 12 feet |

*Tabella 4. ASPRS Accuracy Standard.*

Per poter sovrapporre le diverse informazioni geo-territoriali è necessario un cambio di datum; infatti il sistema di riferimento del processamento aerofotogrammetrico è UTM-ETRS89 mentre, come è noto, la cartografia catastale è espressa in coordinate Cassini-Soldner. Se da un lato sono stati proposti e possono ritenersi consolidati diversi algoritmi di trasformazione tra i diversi sistemi cartografici catastali ed il sistema UTM-WGS84-ETRS89, dall'altro la loro applicazione richiede la disponibilità delle coordinate delle origini catastali nel sistema UTM- ETRS89 (Cina, 2008) oppure di "punti doppi", ovvero punti di coordinate note nel generico sistema cartografico catastale e nel sistema UTM-WGS84-ETRS89. Tuttavia il cambio di datum è dell'ordine di alcuni decimetri e comunque in genere contenuto nella precisione della scala della carta.

**Conclusioni**

L'uso della tecnica aerofotogrammetrica con camere metriche digitali inclinate e di software dedicato, consentirebbe di stabilire il classamento e la consistenza degli immobili non accatastati. Ciascun utente sarebbe in grado di interpretare, misurare e comprendere avvenimenti che avvengono sul territorio senza la necessità di essere fisicamente presenti sul posto. Inoltre, essendo le immagini oblique ad alta risoluzione, mentre l'ortofoto digitale AGEA ha una risoluzione spaziale di 50 cm di *pixel*, si potrebbero distinguere elementi territoriali che alla scala 1:10000 non è possibile rilevare.
Pertanto, questo innovativo processo di acquisizione delle informazioni reali consentirebbe una più celere, precisa ed efficace gestione del patrimonio immobiliare da parte dell'Agenzia del Territorio.

**Riferimenti bibliografici**

Kansas Collaborative (2007),"Guidelines for Acquiring Aerial Imagery", pagg. 1 – 9
Crespi M., Cina A., Luzietti L., Mazzoni A., Pinto L., Stoppini A. (2008), "Applicazioni catastali delle reti geodetiche GNSS", Libro CISIS, Cap. II pagg. 93 – 107
Höhle, J. (2008), "Photogrammetric Measurements in Oblique Aerial Images"*, Photogrammetric Fernerkundung Geoinformation"*, n. 1, pagg. 7 – 14.
Jacobsen K. (2009), "Geometry of vertical and oblique image combinations", *Leibniz University Hannover, Germany*
Agenzia del Territorio (2011), "Attribuzione della rendita presunta ai sensi dell'art 19, comma 10, del decreto legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122, e determinazione degli oneri da porre a carico dei soggetti interessati".
www.ofek-air.com/Ofek-MultiVision
www.trackair.com/pdfs/midas_brochure.pdf
http://www.agenziaterritorio.it

# Procedure di controllo di reti GNSS per Servizi di Posizionamento a scala nazionale: il caso NetGEO Rete Topcon-Sokkia

Nicola Perfetti (*), Paolo Centanni (*), Guido Fastellini (*), Giuliano Molinelli (*), Alberto Pellegrinelli (**), Giuseppe Perrucci (*)

(*) Geotop s.r.l. gruppo Topcon-Sokkia, Via delle Brecce Bianche, 60131 Ancona, e-mail: nicolaperfetti@geotop.it
(**) Dipartimento di Ingegneria Università degli Studi di Ferrara, Via G. Saragat 1, 44121 Ferrara, e-mail: alberto.pellegrinelli@unife.it

**Riassunto**
Le reti di stazioni permanenti GNSS sono l'infrastruttura alla base dei moderni Servizi di Posizionamento realizzati a scala nazionale o locale (regionale, provinciale). Il corretto utilizzo di detti servizi da parte dell'utenza dipende dalla qualità dei dati ricevuti e trasmessi dal centro di controllo del servizio ed in particolare della precisione e della accuratezza delle coordinate delle stazioni medesime.
Per raggiungere questo obiettivo è necessario innanzitutto effettuare il calcolo delle coordinate delle stazioni GNSS con software e procedure consolidate. Nella gestione è importante un quotidiano monitoraggio dell'intera rete allo scopo di individuare eventuali cambiamenti delle posizioni delle stazioni, dovuti a fenomeni naturali (terremoti, cedimenti delle strutture/edifici su cui sono installate le stazioni, ecc) o a cause antropiche (spostamenti non segnalati con anticipo delle antenne, manomissioni ecc). Tale controllo risulta di non semplice esecuzione soprattutto quando si gestiscono reti di dimensione nazionale costituite da centinaia di stazioni.
Nel presente lavoro si descrive la procedura predisposta per il controllo quotidiano della rete Topcon-Sokkia italiana: NetGEO.

**Abstract**
GNSS permanent network are one of the basic component of the modern national and local Positioning Services. The quality of users jobs is good only if GNSS permanent stations coordinates are accurate and precise and high quality data are provided to users.
To achieve these results it is necessary to compute GNSS permanent stations coordinates using scientific software and codified computation strategies. In the administration of the GNSS Positioning Service it is also important a daily monitoring of the network to detect changing of the stations coordinates caused by natural events like earthquake, by problem in the stability of the monumentation, or by human causes, like not signalized changing on damaging of antennas and/or receivers. This task is quite hard in the case of large GNSS network like those used in the national Positioning Services, in which hundreds of stations are used.
In this work is described the procedure used for monitoring NetGEO the Italian Topcon-Sokkia GNSS network.

## Le Reti di Stazioni Permanenti per l'erogazione di Servizi di Posizionamento

A partire dagli anni '90 sono state realizzate, a scopo scientifico, reti di stazioni permanenti GPS e GNSS in grado di acquisire le osservabili con continuità per la definizione di Sistemi di Riferimento quali ITRS su scala globale o ETRS su scala europea, ma anche per la determinazione di orbite satellitari, correzioni d'orologio dei satelliti GNSS, studi geodinamici ecc. I dati acquisiti da tali reti sono presto divenuti molto utili anche per le applicazioni tecniche per la post-elaborazione e

successivamente per il posizionamento e la navigazione di precisione in tempo reale attraverso le correzioni differenziali erogate da queste reti. La diffusione è divenuta notevole soprattutto grazie al protocollo NTRIP, quindi la possibilità di impiegare Internet per la distribuzione dei dati, senza limiti di connessioni simultanee ai centri di controllo.
In Italia dal 2004 sono state realizzate numerose Reti di Stazioni Permanenti su scala regionale e contemporaneamente, aziende private, professionisti, scuole secondarie, Università, Enti di ricerca hanno iniziato l'installazione di stazioni per applicazioni di tipo geodetico, geofisico e di servizio. Già nel 2008 un censimento (De Agostino et al., 2007) ha identificato circa 350 Stazioni Permanenti GPS e GNSS operative in Italia delle quali è stata eseguita un'analisi delle peculiarità evidenziando numerose criticità (Barbarella et al, 2009) come la monumentazione spesso non idonea, discontinuità dei dati, incompletezza dei metadati ecc., che penalizzano l'impiego di tali stazioni per utilizzi differenti dai servizi in tempo reale.
Contemporaneamente l'IGM, vari ambienti istituzionali e le Università hanno iniziato un'attività di coordinamento volta alla definizione di un sistema di riferimento geodetico nazionale di ordine zero. L'IGM ha quindi selezionato un sottoinsieme di Stazioni tra quelle censite e definito un *frame*, cioè una realizzazione denominata Rete Dinamica Nazionale. Tale Rete rappresenta la materializzazione dell'ETRF2000 (all'epoca 2008.0), divenuto Sistema di Riferimento ufficiale nazionale a seguito del DPCM del 10/11/2011 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27.2.2012, Supplemento ordinario n. 37, si veda anche l'intervista al comandante dell'IGM nel n.2 di Geomedia del 2012). Attraverso questo percorso sono state definite regole per la monumentazione, gestione e inquadramento di una Rete di Stazioni Permanenti utili a tutti i Gestori per fornire dati e servizi di qualità e per gli utenti che usufruiscono di tali dati per finalità scientifiche e/o tecniche per avere la garanzia di comuni standard delle SP e protocolli di interscambio, nonché dello stesso Sistema di Riferimento (Benciolini et al., 2007).

**La Rete Topcon-Sokkia per l'Italia: NetGEO**
La Geotop s.r.l. ha iniziato l'installazione di Stazioni Permanenti per la fornitura di dati di correzione differenziale già dal 2006, coprendo le aree italiane con maggior numero di clienti dotati di sistemi GNSS. Progressivamente tale rete è cresciuta, non solo come numero di Stazioni Permanenti installate, con l'obiettivo di realizzare un Servizio di Posizionamento GNSS su scala nazionale.

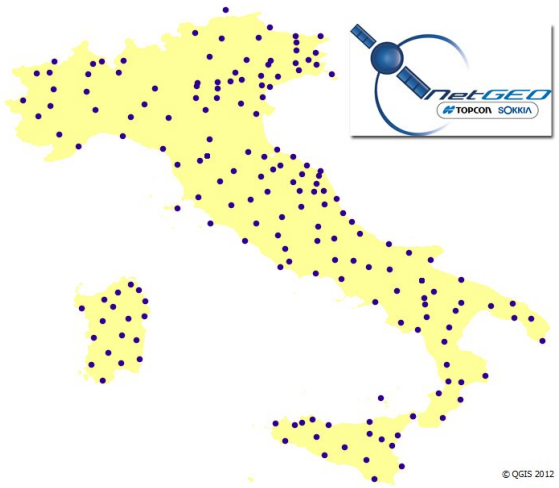



*Figura 1. Distribuzione delle Stazioni Permanenti di NetGEO.*

La rete realizzata da Geotop, rivolta agli utenti Topcon-Sokkia e denominata NetGEO, conta attualmente 188 Stazioni Permanenti distribuite sul territorio nazionale (Figura 1), dotate tutte di ricevitori e antenne Topcon GPS-GLONASS (modelli NET-G3A, NET-G3, Odyssey-RS, GB-1000 per i ricevitori e antenne CR-G3, CR-3, G3-A1, PG-A1). Le installazioni sono state effettuate seguendo criteri consolidati con il fine di realizzare una infrastruttura utilizzabile sia per servizi in tempo reale che per le numerose applicazioni derivanti dall'utilizzo dei dati RINEX.
NetGEO eroga un servizio in tempo reale con correzioni differenziali di fase e di codice in modalità *nearest station*, VRS e DGPS, distribuite da un *NTRIP caster* attraverso i protocolli RTCM 3.0, RTCM 2.3 e CMR così da poter garantire l'operatività anche a sistemi non di ultima generazione. Sebbene la procedura fosse già operativa da tempo, dall'inizio del 2012 sono stati resi ufficialmente disponibili agli utenti i dati RINEX con campionamento a 1 e 30 secondi. Numerosi centri di ricerca e Università stanno attivando collaborazioni con Geotop per usufruire dei dati a 30 secondi di parte o della totalità delle Stazioni, data la loro diffusione sull'intero territorio nazionale.
L'accesso a tutti i servizi è disponibile on-line al sito web www.netgeo.it (Figura 2) che consente un controllo in tempo reale da parte degli utenti dell'operatività delle Stazioni Permanenti, oltre a fornire una serie di *utilities* ed istruzioni. Nel sito sono disponibili le monografie di ciascuna Stazione Permanente.




*Figura 2. Homepage di www.netgeo.it.*

Le coordinate delle Stazioni Permanenti della Rete NetGEO sono inquadrate in ETRF2000(2008.0) con certificazione dell'IGM. Il calcolo di rete di NetGEO è stato eseguito su una serie temporale di 5 settimane di dati impiegando anche le osservazioni delle 13 Stazioni IGS usate per RDN; la prima soluzione in ITRF2008 è stata successivamente unita alle soluzioni della RDN relative allo stesso periodo e inquadrata in ETRF2000 (2008.0) dall'Istituto Geografico Militare, secondo le strategie consolidate (Altamimi et al., 2011).

**Una strategia di calcolo per il monitoraggio di reti di grandi dimensioni GPS+GLONASS**

Oltre alla iniziale attività di inquadramento della Rete, come ampiamente espresso in letteratura (Benciolini et al., 2007, Caldera, 2009, Biagi e Caldera, 2010), è opportuno mantenere monitorate le Stazioni Permanenti in particolare l'evoluzione temporale delle coordinate in due modi: 1) esecuzione di un ricalcolo frequente delle coordinate delle stazioni utilizzando prodotti ultrarapidi (ad esempio quelli dell'IGS) con il fine di rilevare eventuali spostamenti delle stazioni; 2) un re-inquadramento della rete (o di un sottoinsieme di sue stazioni) quando le variazioni delle coordinate evidenziate al punto 1 lo rendano necessario, facendo uso in questo secondo caso dei prodotti finali IGS.

Essendo NetGEO una rete di stazioni permanenti a scala nazionale la procedura per il ricalcolo giornaliero messa a punto (punto 1 di cui sopra), assume caratteristiche molto particolari.

La procedura realizzata fa uso del software scientifico Bernese nella versione 5.0 del Gruppo di topografia dell'Università di Ferrara. Dato che sono disponibili le coordinate ETRF2000-RDN delle stazioni la procedura realizzata effettua un confronto direttamente sulle coordinate nel sistema di riferimento nazionale (ETRF2000(2008.0), sulla base di un calcolo a minimi vincoli; in alternativa, non disponendo di coordinate nel sistema di riferimento ufficiale si potrebbe ricorrere ad un calcolo intrinseco della rete (con il solo obiettivo di evidenziare variazioni statisticamente significative delle coordinate delle stazioni).

Le caratteristiche della rete, la frequenza del ricalcolo e la scelta del software, mettono in luce i seguenti punti critici:

- la rete è caratterizzata da tutti strumenti GPS+GLONASS;
- il numero delle stazioni permanenti che la costituiscono, più quello delle eventuali stazioni usate per l'inquadramento, supera 200: si tratta di una rete molto grande;
- non tutti i prodotti rapidi/ultra-rapidi sono disponibili per tecnologia GPS+GLONASS e per alcuni di essi il formato rapido ha una latenza superiore a 1-2 giorni;
- la procedura standard del Bernese v5.0 non prevede il calcolo delle ambiguità come valori interi per le osservabili GLONASS.

Tra i punti critici quello che ha maggiore influenza sulla procedura realizzata è che la strumentazione che equipaggia le stazioni permanenti della rete è GPS+GLONASS.

La strategia messa a punto utilizza molte delle funzionalità già predisposte nel pacchetto Bernese v5.0 per la gestione delle reti di grandi dimensioni come il *clustering* automatico (Dach et al., 2007) per la suddivisione della rete in sotto-reti di dimensione limitata (in questo caso si è scelto di limitare il numero massimo di stazioni a 50 per *cluster* e disponendo di un PC desktop con *CORE i3* si sono raggiunti tempi di calcolo di poco superiori alle due ore). Ciò permette di risolvere il problema della dimensione della rete.

Per quanto riguarda i prodotti rapidi è stata fatta la scelta di utilizzare quelli del CODE (dell'Università di Berna) che rende disponibili le orbite sia per i GPS che per i Glonass nel formato rapido (COD*gpsweekgpsday*.EPH_P), ed anche i parametri di orientamento dell'asse di rotazione terrestre istantaneo (EOP, nel formato COD*gpsweekgpsday*.ERP_P). La procedura standard del Bernese fa uso del file .ION (file con la mappa ionosferica giornaliera), ma la latenza nella produzione di questo file (superiore ad 1 giorno) pone di fronte due alternative: ritardare il calcolo in attesa della produzione del file da parte del CODE oppure adottare una strategia differente. In questo lavoro si è scelto di procedere nel secondo modo utilizzando una combinazione L3 *ionofree*.

Poiché la procedura standard del Bernese v5.0 fa uso dell'algoritmo *Quasi-Iono-Free* (QIF) per il calcolo delle ambiguità come valori interi, che non supporta i GLONASS, si è ricorso all'uso di una diversa strategia per il calcolo delle ambiguità; questa si accorda con la scelta della soluzione L3 e fa uso dell'algoritmo SIGMA per il fissaggio delle ambiguità. I dettagli di questa metodologia di calcolo sono riportati in Dach et al. (2007, pag. 182); l'algoritmo fa uso molto limitato delle informazioni di correlazione tra le ambiguità (per avere un'idea della differenza tra un approccio rigoroso ed uno "meno rigoroso" al calcolo delle ambiguità si veda Biagi, 2009), tale inconveniente viene mitigato dalla lunghezza delle sessioni di misura (24 ore) che agisce riducendo la correlazione

tra le ambiguità. L'inquadramento in ETRF2000(2008.0) avviene utilizzando le 13 stazioni internazionali utilizzate per il calcolo della RDN.
La procedura realizzata è basata su script in *DOS* e *Perl* e funziona secondo lo schema di figura 3.

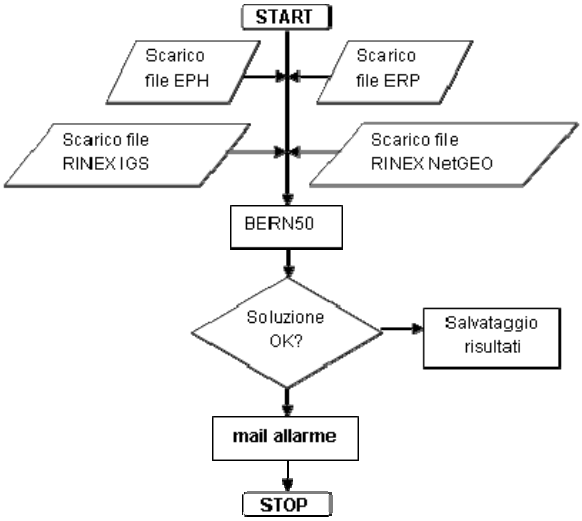



*Figura 3. Schema a blocchi della procedura di monitoraggio (la fase scarico file RINEX IGS è relativa all'acquisizione dei dati delle 13 stazioni internazionali usate per il calcolo di RDN).*

A titolo di esempio si riporta in figura 4 il grafico delle variazioni calcolate per la stazione di Concordia: è evidente l'effetto del sisma del maggio/giugno 2012 sulla posizione della stazione. La stazione attualmente non è utilizzata per la fornitura di correzioni in Netgeo dato che sarà ri-materializzata entro l'anno a causa dei danni all'edificio su cui è installata.

**Conclusioni**
Il lavoro svolto per mettere a punto la strategia descritta ha messo in luce una serie di criticità che è necessario superare per ottenere il monitoraggio a frequenza giornaliera di una grande rete GNSS. In particolare se da un lato l'uso di strumenti a doppia frequenza è cosa consolidata, soprattutto per quello che riguarda la tecnologia per il posizionamento N-RTK (sono oggi molto usati sia strumentazione GNSS che software di rete in grado di trattare i dati dei entrambe le costellazioni), non sempre sembra esserlo per i software di post-elaborazione. La strategia proposta costituisce una possibile soluzione.

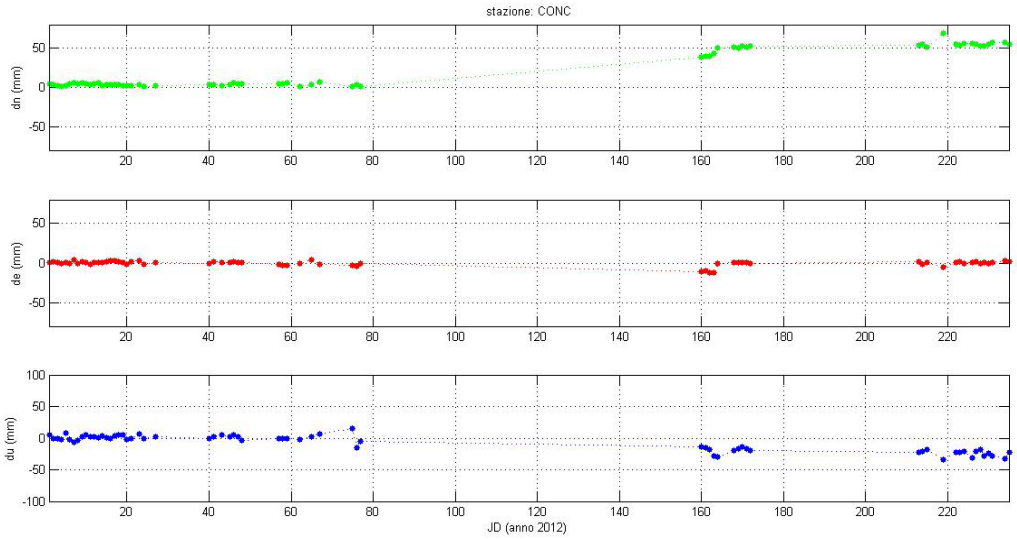



*Figura 4. Grafico delle variazioni calcolate per la stazione di Concordia.*

**Riferimenti bibliografici**

Barbarella M., Radicioni F., Sansò F. (2009), Lo Sviluppo delle Tecnologie per le reti geodetiche, Pubblicazione a cura del CISIS.

Benciolini B., Biagi L., Crespi M., Manzino A.M., Roggero M., Sansò F. (2007), "Materializzazione dei Sistemi di Riferimento mediante i servizi di posizionamento satellitari". Paragrafo 2.1 del volume *Un libro bianco su I servizi di posizionamento satellitare per l'e-government*, Editori L. Biagi, F. Sansò, Geomatics Workbooks, Vol. 7.

Biagi L. (2009), I fondamentali del GPS, Geomatics Workbooks, Vol. 8, ISSN 1591-092X.

Biagi L., Caldera S. (2010), Esperienze e procedure per la compensazione automatica di reti permanenti, Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA, Brescia 9-12 novembre 2010.

Boucher C., Altamimi Z. (2011). Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of EUREF GPS campaign, vers. 8 – 18-05-2011, http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf

Dach R. (2007), U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl, eds. (2007), Bernese GPS Software, Version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern, February 2007.

De Agostino M., Manzino A.M., Roggero M. (2007). Repertorio delle stazioni GNSS in Italia, controllo di qualità e monitoraggio dei dati. Sifet 2007, Arezzo.

S. Caldera (2009), GNSS Permanent Networks Monitoring: problems and solutions, Ph.D Thesis.

L'adozione del nuovo sistema di riferimento geodetico Italiano, n. 2/2012 Geomedia.

# Uno strumento per la definizione di indicatori multi scalari per l'esplicitazione delle relazioni tra componenti della città

Stefano Pili (*), Stefania Sini (**), Emanuela Abis (***)

(*) Dottore di ricerca, assegnista DICAAR, Università di Cagliari, Via Santa Croce 67, 09124, Cagliari, Tel. 070 675 5371, e-mail: stefano.pili@unica.it
(**) Dottoranda, Scuola di Dottorato in Ingegneria Civile e Architettura, Università di Cagliari, Via Santa Croce 67, 09124 Cagliari, Tel. 070 675 5371, e-mail: stefaniasini@unica.it
(***) Prof. Associato Tecnica e Pianificazione Urbanistica, DICAAR, Università di Cagliari, Via Santa Croce 67, 09124 Cagliari, 070 675 5372, emabis@unica.it

**Abstract**
La sempre maggiore libera diffusione di Data Base (DB) geografici presso i portali istituzionali delle Pubbliche Amministrazioni (PA), sollecitata dalla Direttiva europea INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community*), contribuisce alla sviluppo di analisi spaziali basate su infrastrutture di dati territoriali che permettono la definizione di indicatori multi scalari caratterizzati da un alto grado di replicabilità. Questo contributo mostra i primi risultati di una ricerca volta alla definizione di indicatori sintetici capaci di descrivere le relazioni tra componenti fisiche e immateriali che caratterizzano la forma urbana finalizzati alla costruzione della conoscenza per il piano urbanistico. La forma urbana è il risultato di diversi fattori di tipo topografico, economico, demografico e che includono le scelte di piano stratificate nel tempo (Batty, Longley, 1994). I dati utilizzati nell'elaborazione provengono dal GeoPortale della Regione Sardegna sviluppato nell'ambito del progetto SITR (Sistema Informativo Territoriale Regionale) e da cui si accede all'Infrastruttura Dati Territoriali (SITR - IDT), che raccoglie la cartografia della Regione Sardegna in un "DB Unico", esclusiva fonte dati certificata alla scala regionale. Nel nostro caso, attraverso un'analisi esplorativa dei dati sulla distribuzione spaziale della popolazione, degli edifici e dei servizi, si sono studiate le relazioni tra la struttura socio-economica della popolazione e la qualità del patrimonio abitativo della città di Cagliari. Lo studio prospetta la creazione di una metodologia esportabile in diversi contesti capace di rappresentare con appropriata definizione spaziale i diversi aspetti che caratterizzano i sistemi urbani complessi.

**Abstract**
The great availability of geographic Data Base (DB) diffused through Municipality web portal is strongly recommended by the European directive INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community). It promotes the development of spatial analysis based on geographic data set, allowing the definition of multi - scale indicators with high applicability. The paper shows the first results of a vaster research that involves the definition of indicators, capable of synthesizing the relations between material and immaterial components in which the urban form is founded. Furthermore, the indicators are constructed to help in the creation of the context knowledge for planning processes. The urban form is the result of different topographic, economic and demographical factors also including recent and past planning efforts (Batty, Longley, 1994). Data used in the analysis comes from the Sardinian GeoPortal (Regione Sardegna, 2008), developed through the SITR - IDT Project, permitting the access to the data infrastructure that contains all the Sardinia cartography. Geographic data and available cartography form the "DB unico" the exclusive certified dataset at the regional scale. The case study, through an exploratory analysis of the population, residential buildings and services spatial distribution, uncovers the relations between the

social - economic system and the dwelling settlement in the city of Cagliari. The study suggests the creation of a portable methodology that is capable to represent multiple and diverse contexts with a good definition of the different aspects constituting complex urban systesm.

**Obiettivo della ricerca**

La ricerca si propone di delineare una metodologia per lo studio della forma urbana finalizzata alla strutturazione della base conoscitiva per il piano. Utilizzando indicatori quanto-qualitativi si cerca di interpretare la complessità dei fenomeni urbani riferendoli all'interno di una scala di valori che facilita la loro lettura e comprensione in uno specifico campo di analisi. La forma urbana trova in letteratura differenti significati (Schwarz, 2010): alcuni si riferiscono esclusivamente alla forma fisica che lo spazio urbano assume, altri propongono un significato più ampio, includendo fattori socio - economici che interagiscono in modo determinante con la configurazione spaziale della città (Batty e Longley, 1994). L'accezione che si assume in questa sede descrive nel modo più ampio possibile la forma della città e considera quindi sia attributi spaziali, legati alla topografia, che socio - economici.

La selezione di indicatori significativi, ricavabili dai data base ufficiali, e l'utilizzo di strumenti e metodologie facilmente replicabili favoriscono lo studio comparato tra diverse realtà urbane contribuendo ad esplicitare peculiarità e aspetti comuni.

Si propone un approccio impostato su due fasi concettuali riferite a diverse scale territoriali da esplorare iterativamente: *la prima* consiste nella selezione di alcuni indicatori alla scala di isolato o di quartiere tramite tecniche esplorative dei dati e con lo sviluppo di algoritmi specifici per lo studio della loro distribuzione spaziale; *la seconda* consiste nella definizione di metodologie e strumenti per l'aggregazione di indicatori alla scala urbana capaci di essere processati in maniera semi automatica a partire dai data base regionali.

Gli indicatori sono stati calcolati seguendo una articolazione spaziale multi-scala coerente con il data base del censimento ISTAT, che attualmente è disponibile disaggregato al livello di "sezione censuaria" coi dati del 2001 e presto sarà aggiornato al 2011. Come per il data base ISTAT, gli indicatori assumono un significato nella loro articolazione spaziale minima per lo studio delle dinamiche interne alla città e, tramite algoritmi di aggregazione predefiniti, possono assumere valori sintetici per l'intero ambito urbano al fine di promuovere il confronto tra diversi ambiti su un set uniforme di variabili. Gli indicatori scelti e le metodologie per il loro calcolo dovranno essere testate anche in diversi contesti al fine di verificare la disponibilità dei dati di partenza, l'efficacia delle procedure di calcolo e la significatività dei risultati.

In questa prima fase della ricerca, utilizzando il caso di studio della città di Cagliari, si sono selezionati una serie di indicatori che cercano di descrivere le relazioni tra la popolazione e lo spazio urbano. Tali indicatori evidenziano in modo particolare i gradienti nella scelta della residenza generati da differenti livelli di qualità del patrimonio edificato, che influenzano il mercato immobiliare e caratterizzano la domanda di spostamento e che talvolta sono causa di fenomeni di esclusione sociale. A questo scopo, si individuano tre classi di indicatori: la prima comprende gli indicatori che valutano le caratteristiche della popolazione, la seconda comprende gli indicatori che valutano la morfologia, ovvero la forma fisica della città, la terza comprende indicatori che valutano la domanda di mobilità e l'accessibilità attraverso l'opportunità di accesso topologica a diversi tipi di servizi urbani (Paolillo, 2004) legata alla localizzazione della residenza (*Figura 1*). Per valutarne l'efficacia nella descrizione dei fenomeni si è proceduto ad analizzare la correlazione tra le variabili e a verificare qualitativamente la loro distribuzione spaziale (*Figura 2*).

**Il caso studio**

Cagliari, capoluogo della regione Sardegna, si inserisce con circa 160.000 abitanti in un'area metropolitana di poco meno di 400.000 abitanti che costituisce circa il 25% del totale dell'isola (Abis et al., 2009). Dopo un lungo periodo di crescita demografica dal 1981 il sistema insediativo è caratterizzato da un costante spostamento della popolazione verso la periferia ed i centri della

cintura metropolitana. Il capoluogo, sede dei maggiori servizi pubblici di scala locale e regionale e di un gran numero di attività commerciali, è interessato da forti flussi di traffico giornaliero perché circa 17.000 spostamenti in ingresso e 61.000 interni alla città (PUM, 2009)[1].
L'analisi della correlazione tra le variabili spaziali selezionate ha evidenziato alcune relazioni che caratterizzano la forma urbana della città.
La domanda di mobilità, rappresentata dagli spostamenti giornalieri con destinazione comunale ed extracomunale registrati nel censimento ISTAT, nella sua componente interna mostra una forte correlazione inversamente proporzionale con l'incidenza della popolazione oltre i 64 anni e, al contrario, direttamente proporzionale con l'incidenza degli occupati. Questo risultato ben rappresenta il legame tra la componente attiva della popolazione e la domanda di spostamento che, seppure con livelli minori di correlazione, è visibile anche per quanto riguarda gli spostamenti extra comunali. Ad una prima osservazione, sembra essere possibile una relazione tra la localizzazione della popolazione più attiva nei pressi dei principali assi viari e la richiesta di spostamento extraurbano, che sarà oggetto di successivi approfondimenti. É manifesta una debole relazione tra gli spostamenti esterni e le variabili legate ai prezzi degli edifici che sembra essere in accordo con il graduale apprezzamento del mercato per le aree più periferiche della città, caratterizzate da una maggiore domanda di spostamento extra comunale.
Il profilo dei residenti, rappresentato dall'indice di vecchiaia, dall'incidenza di famiglie mononucleari e dal tasso di occupazione, mostra medi ed alti indici di correlazione con gli aspetti riguardanti la tipologia e la qualità delle abitazioni ed il grado di accessibilità dei servizi ad esse correlati. In particolare l'età media elevata è in forte relazione con i quartieri edificati durante il boom edilizio tra gli anni 45-71, mentre le famiglie mononucleari si concentrano nei quartieri più antichi caratterizzati da una forte accessibilità ai servizi ed alle attività commerciali e da abitazioni con minore superficie media.
Il prezzo medio al metro quadro, principale indicatore di valore attribuibile alle abitazioni, nel 2001 mostrava una forte correlazione diretta con le caratteristiche di accessibilità ai servizi pubblici e commerciali e conseguentemente con la centralità delle abitazioni; ma, nell'arco del decennio, gli edifici più recenti posizionati nelle aree periferiche degli anni '70 - '80 hanno registrato gradienti di aumento di prezzo molto maggiori delle aree centrali seppure non supportate dallo stesso livello di accessibilità ai servizi *(Figura 3)*. L'analisi dei dati aggiornati al 2011 su edifici e spostamenti, sarà fondamentale per chiarire la natura delle relazioni in una prospettiva diacronica del fenomeno.
Gli indicatori morfologici evidenziano relazioni coerenti con le dinamiche evolutive del centro urbano. Il patrimonio edificato più antico che costituisce il Centro di Antica e Prima Formazione (PPR)[2] situato nella parte alta della città mostra una correlazione diretta con la pendenza media (IM7) e, a causa della tessitura molto fitta, è inversamente correlato con la disponibilità di spazio pubblico (IM8). Nei quartieri storici si localizza la gran parte delle attività commerciali e dei servizi pubblici ma le caratteristiche di vetustà e dimensionali del patrimonio edilizio sembrano correlate con una tipologia di residenti single, occupati e di minore età media.
Il patrimonio edificato realizzato entro la fine degli anni '50 non presenta forti fenomeni di sostituzione edilizia, è correlato ad una buona accessibilità ai servizi e presenta una popolazione più anziana. L'espansione recente, caratterizzata da una maggiore dimensione media delle abitazioni, sembra aver favorito una vocazione più residenziale. Tali aree mostrano un minor grado di

[1] Piano Urbano della Mobilità del Comune di Cagliari, Deliberazione n. 47 del 28 luglio 2009, http://www.comune.cagliari.it/portale/it/pum_piano_urbano_mobilita.page;jsessionid=97598B23149A303122EF277E513C7246
[2] Piano Paesaggistico Regionale, Assetto Insediativo, Legge Regionale 25 novembre 2004, n. 8 http://www.sardegnaterritorio.it/paesaggio/pianopaesaggistico.html

accessibilità ai servizi e sono correlate con una struttura della popolazione composta da famiglie più numerose con fasce d'età più varie.

**Conclusioni e sviluppo della ricerca**

Lo studio delle correlazioni tra i diversi indicatori ha messo in evidenza la rilevanza delle relazioni tra le componenti generatrici della città, facendo emergere i caratteri fondanti che incidono nella sua forma. Gli indicatori relativi all'accessibilità ai servizi, sviluppati per l'analisi, sembrano essere significativi per la descrizione della forma urbana in quanto fortemente correlati con la domanda di spostamento, i prezzi del mercato immobiliare e la struttura della famiglia. Appare anche evidente che le scelte pianificatorie del passato e gli elementi fisici del territorio danno una forte impronta al disegno della città influenzando la composizione socio demografica dei residenti ed il mercato immobiliare.

Lo studio di queste relazioni può essere utilizzato per indirizzare la pianificazione verso modelli di sviluppo più sostenibile dal punto di vista sociale ed ambientale, per regolare i fenomeni di esclusione sociale o specializzazione funzionale e ridurre la domanda di mobilità (Jabareen, 2006)

La ricerca da una parte si focalizzerà sulla definizione di altri indicatori e sull'utilizzo di altre tecniche statistiche per valutare il peso delle variabili, o esplorare aspetti specifici dei fenomeni come le tecniche di regressione multivariata o di analisi delle componenti principali; dall'altra si procederà col calcolo degli indicatori per altre città della regione al fine di valutare l'efficacia del metodo nella esplicitazione delle peculiarità locali. Si delinea la possibilità di esplicitare i processi che guidano la generazione della forma urbana in diversi contesti tramite un gruppo di indicatori, significativi e facilmente calcolabili, che possano guidare nella definizione di politiche e piani per lo sviluppo sostenibile della città.

**Bibliografia**

Batty, M., Longley, P. (1994), *Fractal Cities. A Geometry of Form and Function,* Academic Press, London.

Borlini B., Memo F. (2009), *Paper 2/2009*. *Ripensare l'accessibilità Urbana* , Cittalia, Fondazione ANCI Ricerche, http://www.anci.it/Contenuti/Allegati/Paper2BorliniMemo.pdf.

Comune di Cagliari, ISTAT (2001), *Cagliari e i suoi quartieri. Censimento della popolazione e delle abitazioni 2001*, Cagliari,
http://www.comune.cagliari.it/resources/cms/documents/QuadernoStatistico_2001.pdf.

ISTAT (2011), *Basi territoriali. Sardegna. 2001*, in Basi territoriali e variabili censuarie, http://www.istat.it/it/archivio/44523, maggio 2012.

ISTAT (2011), *Variabili censuarie. Censimento della popolazione e delle abitazioni. 2001*, in Basi territoriali e variabili censuarie, http://www.istat.it/it/archivio/44523, maggio 2012.

Mitchell A. (2005), *The ESRI Guide to GIS Analysis*, Vol. 2, Esri Press, Redlands, California.

Paolillo P.L. (2004), *L'accessibilità ai servizi collettivi come misura di sostenibilità della compattezza urbana*, in Territorio, n. 28, 111-119. Franco Angeli, Milano

Regione Sardegna (2008), *Database Multiprecisione*, in Sardegna Geoportale, http://www.sardegnageoportale.it/index.php?xsl=1598&s=140641&v=2&c=8831&t=1, maggio 2012.

Regione Sardegna (2008), *Modello digitale del terreno SAR, passo 10 m,* in Sardegna Geoportale, http://www.sardegnageoportale.it/index.php?xsl=1594&s=40&v=9&c=8936&na=1&n=100, maggio 2012.

Schwarz N. (2010), *Urban form revisited - Selecting indicators for characterising European cities*, in Landscape and Urban Planning 96, 29-47.

Jabareen, Y.R., (2006), *Sustainable urban forms: their typologies, models, and concepts*. Journal of Planning Education and Research 26:38-52, DOI: 10.1177/0739456X05285119

Abis E., Pili S., Palmas C. (2009), *The Cagliari Context: knowledge for the Workshop*, in Steinitz C. Abis S. et al. *Alternative Futures for the Metropolitan area of Cagliari*, Gangemi Editore, Roma (2009), ISBN 978884921937-1

| Tipo | ID | Descrizione | Fonte | Interpretazione |
|---|---|---|---|---|
| Indicatori socio - economici | ISE1 | Residenti per sez. censuaria/ Residenti a Cagliari (%) | ISTAT, 2001, Basi territoriali (articolazione del territorio comunale in sezioni censuarie), Variabili censuarie (Censimento della popolazione e delle abitazioni) | Rappresentano la componente sociale della città indagata attraverso la consistenza e la caratterizzazione della popolazione residente e delle famiglie. |
| | ISE2 | Residenti oltre i 65 anni per sez. censuaria / Residenti per sez. censuaria (%) | | |
| | ISE3 | Famiglie con un componente per sez. censuaria/ Famiglie per sez. censuaria (%) | | |
| | ISE4 | Occupati per sez. censuaria/ Residenti per sez. censuaria (%) | | |
| | ISE5 | Residenti per sez. censuaria/ area sez. censuaria (ab/m2) | | |
| Indicatori di accessibilità | IA1 | Numero medio della attività commerciali localizzate entro i 150m da ogni edificio per sez. censuaria ( n° attività) | ISTAT, 2001, Basi territoriali (articolazione del territorio comunale in sezioni censuarie); REGIONE SARDEGNA, 2010, Database Multi Precisione, Strato 03 - Indirizzi, Tema 01 - Toponimi e Numeri Civici, Classe 02 - Numero Civico | Valutano la possibilità di accesso pedonale alle attività ed ai servizi che giustificano il forte potere attrattore del centro urbano. Il calcolo, eseguito utilizzando strumenti di geoprocessing, valuta la media per sezione censuaria del numero di attività presenti all'interno di un dato raggio dal perimetro di ogni edificio. La vicinanza di molteplici opportunità indica maggiori livelli di accessibilità: si è utilizzata una distanza di 150 m che rappresenta quella accettabile per fruire di servizi di quartiere, mentre per i servizi di natura pubblica si è ipotizzata una distanza di 300 m, più adatta ad un tipo di attività di rango superiore. |
| | IA2 | Numero medio della attività artigianali localizzate entro i 150m da ogni edificio per sez. censuaria (n° attività) | | |
| | IA3 | Numero medio della attività pubbliche localizzate entro i 300m da ogni edificio per sez. censuaria (n° attività) | | |
| | IA4 | Residenti che si spostano giornalmente per studio o per lavoro all'interno del comune per sez. censuaria/ Residenti per sez. censuaria (%) | ISTAT, 2001, Basi territoriali (articolazione del territorio comunale in sezioni censuarie), Variabili censuarie (Censimento della popolazione e delle abitazioni) | Evidenziano il dinamismo della popolazione residente per motivi di studio e lavoro. Essi indagano le relazioni tra la domanda di spostamento e l'accessibilità dei luoghi. |
| | IA5 | Residenti che si spostano giornalmente per studio o per lavoro fuori del comune per sez. censuaria/ Residenti per sez. censuaria (%) | | |
| Indicatori morfologici | IM1 | Superficie abitabile per sezione censuaria/ Residenti per sez. censuaria (m2/ab) | ISTAT, 2001, Basi territoriali (articolazione del territorio comunale in sezioni censuarie), Variabili censuarie (Censimento della popolazione e delle abitazioni) | Descrivono qualitativamente e quantitativamente l'offerta abitativa.<br>L'anno di costruzione è uno dei principi indicatori di qualità delle soluzioni tecnologiche e dei materiali utilizzati e dello stato di conservazione;<br>la superficie media disponibile definisce la tipologia dell'offerta abitativa presente; il grado di occupazione misura quanto l'offerta abitativa presente sia adatta a soddisfare le esigenze del mercato. |
| | IM2 | Abitazioni non occupate per sez. censuaria/ Abitazioni per sez. censuaria (%) | | |
| | IM3 | Edifici costruiti prima del 1945 per sez. censuaria/ Edifici per sez. censuaria (%) | | |
| | IM4 | Edifici costruiti tra il 1945 e il 1970 per sez. censuaria/ Edifici per sez. censuaria (%) | | |
| | IM5 | Edifici costruiti tra il 1971 e il 1991 per sez. censuaria/ Edifici per sez. censuaria (%) | | |
| | IM6 | Edifici costruiti dopo il 1991 per sez. censuaria/ Edifici per sez. censuaria (%) | | |
| | IM7 | Pendenza media della sez. censuaria (%) | ISTAT, 2001, Basi territoriali (articolazione del territorio comunale in sezioni censuarie); REGIONE SARDEGNA, 2010, Modello digitale del terreno SAR, passo 10 m | Descrivono gli aspetti orografici e prettamente morfologici dell'insediamento urbano. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Indicatori morfologici | IM8 | Superficie scoperta/superficie coperta per sez. censuaria (%) | ISTAT, 2001, Basi territoriali (articolazione del territorio comunale in sezioni censuarie); REGIONE SARDEGNA, 2010, Database MultiPrecisione, Strato 02 - Immobili e antropizzazioni, Tema 01 - Edificato, Classe 04 - Copertura dell'edificio | |
| | IM9 | Variazione del prezzo medio al m2 delle abitazioni per quartiere, 2001 - 2010 (%) | VALUEGIS, Elaborazione dati della CAMERA DI COMMERCIO DI CAGLIARI | Evidenziano le parti della città di maggiore pregio urbano letto attraverso il prezzo di mercato delle abitazioni. |
| | IM10 | Prezzo medio al m2 delle abitazioni per quartiere, 2001 (€/m2) | VALUEGIS, Elaborazione dati della CAMERA DI COMMERCIO DI CAGLIARI | |

*Figura 1. Indicatori.*

| ISE1 | ISE2 | ISE3 | ISE4 | ISE5 | IA1 | IA2 | IA3 | IA4 | IA5 | IM1 | IM2 | IM3 | IM4 | IM5 | IM6 | IM7 | IM8 | IM9 | IM10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -0,013 | -0,109 | -0,125 | 0,275 | 0,065 | -0,085 | 0,076 | -0,029 | -0,004 | -0,052 | -0,189 | -0,221 | 0,072 | 0,179 | 0,008 | -0,078 | -0,140 | -0,028 | 0,029 | **ISE1** |
| | 1 | 0,201 | -0,335 | 0,079 | 0,200 | -0,051 | 0,053 | -0,517 | -0,183 | 0,022 | 0,045 | -0,014 | 0,341 | -0,294 | -0,171 | -0,002 | 0,087 | 0,210 | -0,206 | **ISE2** |
| | | 1 | 0,229 | 0,189 | 0,318 | 0,156 | 0,196 | -0,036 | -0,117 | -0,272 | 0,132 | 0,325 | 0,054 | -0,311 | -0,126 | 0,222 | 0,197 | 0,325 | -0,257 | **ISE3** |
| | | | 1 | -0,176 | 0,014 | 0,043 | 0,043 | 0,474 | 0,177 | 0,086 | 0,110 | 0,108 | -0,141 | -0,003 | 0,113 | 0,062 | -0,010 | 0,129 | -0,057 | **ISE4** |
| | | | | 1 | 0,324 | 0,072 | 0,041 | -0,103 | -0,071 | -0,228 | -0,076 | 0,013 | 0,188 | -0,132 | -0,177 | 0,070 | 0,236 | 0,169 | -0,168 | **ISE5** |
| | | | | | 1 | 0,315 | 0,338 | -0,025 | -0,091 | -0,099 | 0,157 | 0,312 | 0,108 | -0,327 | -0,187 | 0,184 | 0,379 | 0,548 | -0,487 | **IA1** |
| | | | | | | 1 | 0,286 | 0,082 | 0,038 | -0,084 | 0,181 | 0,352 | -0,199 | -0,127 | -0,030 | 0,273 | 0,499 | -0,020 | 0,108 | **IA2** |
| | | | | | | | 1 | -0,014 | -0,072 | -0,096 | 0,095 | 0,382 | -0,169 | -0,158 | -0,146 | 0,476 | 0,213 | 0,284 | -0,172 | **IA3** |
| | | | | | | | | 1 | -0,061 | 0,176 | 0,063 | -0,001 | -0,112 | 0,103 | 0,171 | 0,032 | -0,006 | 0,011 | 0,073 | **IA4** |
| | | | | | | | | | 1 | 0,134 | -0,063 | -0,055 | -0,042 | 0,117 | 0,072 | -0,033 | 0,010 | -0,114 | 0,118 | **IA5** |
| | | | | | | | | | | 1 | -0,124 | -0,157 | -0,021 | 0,221 | 0,091 | -0,120 | -0,089 | 0,034 | 0,043 | **IM1** |
| | | | | | | | | | | | 1 | 0,228 | -0,072 | -0,119 | -0,012 | 0,156 | 0,172 | 0,121 | -0,087 | **IM2** |
| | | | | | | | | | | | | 1 | -0,519 | -0,321 | -0,153 | 0,408 | 0,405 | 0,345 | -0,192 | **IM3** |
| | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,484 | -0,185 | -0,173 | -0,143 | 0,072 | -0,121 | **IM4** |
| | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0,022 | -0,156 | -0,220 | -0,338 | 0,267 | **IM5** |
| | | | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,120 | -0,092 | -0,138 | 0,112 | **IM6** |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0,301 | 0,221 | -0,064 | **IM7** |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0,331 | -0,206 | **IM8** |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | -0,707 | **IM9** |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | **IM10** |

| Scala della Correlazione | |
|---|---|
| 0,700 | direttamente proporzionale |
| 0,500 | alta correlazione |
| 0,300 | media correlazione |
| 0,200 | bassa correlazione |
| 0,100 | nessuna correlazione |
| 0,000 | nessuna correlazione |
| -0,100 | nessuna correlazione |
| -0,200 | bassa correlazione |
| -0,300 | media correlazione |
| -0,500 | alta correlazione |
| -0,700 | inversamente proporzionale |

*Figura 2. Analisi della correlazione.*

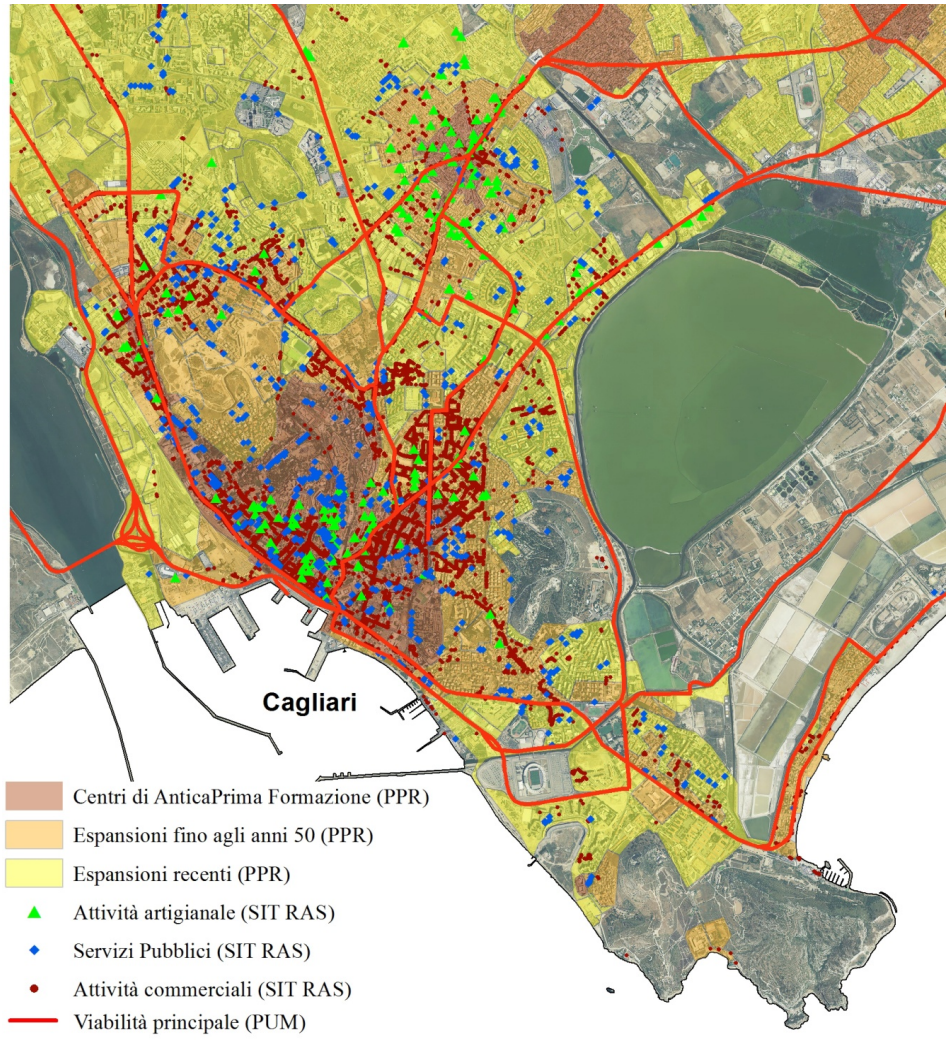



*Figura 3. Città di Cagliari.*

# Rilievo fotogrammetrico di parti dell'ospedale San Paolo a Savona

Giancarlo Pinto

Ricercatore Confermato presso l'Università degli Studi di Genova, Scuola Politecnica, Dipartimento D.S.A.
Stradone S. Agostino 37, Genova

Nella metà dell'ottocento sono iniziate le grandi realizzazioni pubbliche della città di Savona e tra queste la più importante è stata **L'Ospedale S. Paolo (**1847-1857**).** Per la sua particolare destinazione d'uso fu costruito al di fuori dell'antica cinta muraria, la sua importanza costituisce uno dei cardini topografici del primo Piano Regolatore Generale di Savona disegnato nel 1856. L'edificio, oggi rifatto e trasferito in località Valloria sulle alture di Savona, si configura su di un impianto rimasto intatto nel corso degli anni nonostante tre interventi di sopraelevazione, causati da naturali esigenze, avvenuti nel 1905, 1928 e 1931. Il complesso ha una forma a doppia H e occupa un'area di circa 6.500 mq in pieno centro storico con tre piani fuori terra e con uno sviluppo di circa 85 mila metri cubi. Il "gigante", cosi chiamato dalla cronaca cittadina per la sua imponenza e rappresentanza si affaccia, con il lato lungo, sulla centrale Corso Italia vicino alla fortezza del Priamar e rappresenta una tra le prime e importanti realizzazioni pubbliche della città. Dopo la dismissione, per circa ventidue anni, è stato abbandonato al suo destino divenendo nido dei piccioni e rifugio di altri animali, senza che sia stato programmato un intervento per farlo risorgere. Oggi finalmente, grazie alla Società San Paolo S.p.A, "il gigante si sta risvegliando", infatti, si riparte perché c'è un progetto che ne cambia in parte la destinazione d'uso ipotizzando al piano terra un grande centro commerciale, al primo piano si potranno ricavare degli uffici destinati all'ASL Savonese e il piano superiore sarà riservato a residenza. Il complesso verrà inoltre anche sopraelevato di un piano che sarà arretrato rispetto alla facciata sempre per una destinazione residenziale.





Il complesso presenta quattro cortili interni della superficie di circa 500 mq separati dall'esterno da corpi murari che inglobano un vano sia a piano terreno sia al primo piano.
Proprio la struttura di chiusura di questi cortili che affacciano sulla via principale del Corso Italia e sulla retrostante Via Giacchero sono l'oggetto della nostra ricerca. Per esigenze costruttive i corpi murari che chiudono i cortili dovranno essere abbattuti ma la Soprintendenza, giustamente, ha stabilito che siano rilevati in maniera molto attenta e scrupolosa per poterli ricostruire dopo la demolizione conservando i caratteri architettonici principali uguali all'originale.





**Metodologia di rilievo**
Il rilievo, sia interno sia esterno, della parete muraria che separa i cortili interni dalla strada è stato eseguito con il Laser Scanner HDS 7000 Leica Geosystems, strumento di ultima generazione ad elevate prestazioni e precisioni che rileva fino ad una distanza di 180m di raggio, 360m di diametro, misurando oltre 1.000.000 di punti per secondo. In base alle caratteristiche dello strumento e alla tipologia dell'edificio è stato redatto un progetto di rilievo. Sono state organizzate diverse stazioni per il cortile interno e altrettante per il prospetto lato Corso Italia in seguito alla presenza di alberi sul Corso, considerando anche di mettere delle stazioni in elevazione sui palazzi circostanti.
Il rilievo è stato integrato, ove necessario, con la Stazione Totale automatica Leica TCRP1201 laser, strumentazione di precisione per il collegamento delle varie scansioni misurando target di riferimento e/o punti d'appoggio.
Dopo una ricognizione dell'area su cui sorge l'edificio in questione, si è stabilito di rilevare il paramento murario del secondo cortile del lato di Corso Italia come campione di tutti e quattro i cortili perché questi si è dimostrato il meno infestato dal fogliame e da corpi aggiuntivi e il lato esterno il meno coperto dagli alberi che sono disposti sui due lati della strada.



*Campagna fotografica dei reper.*

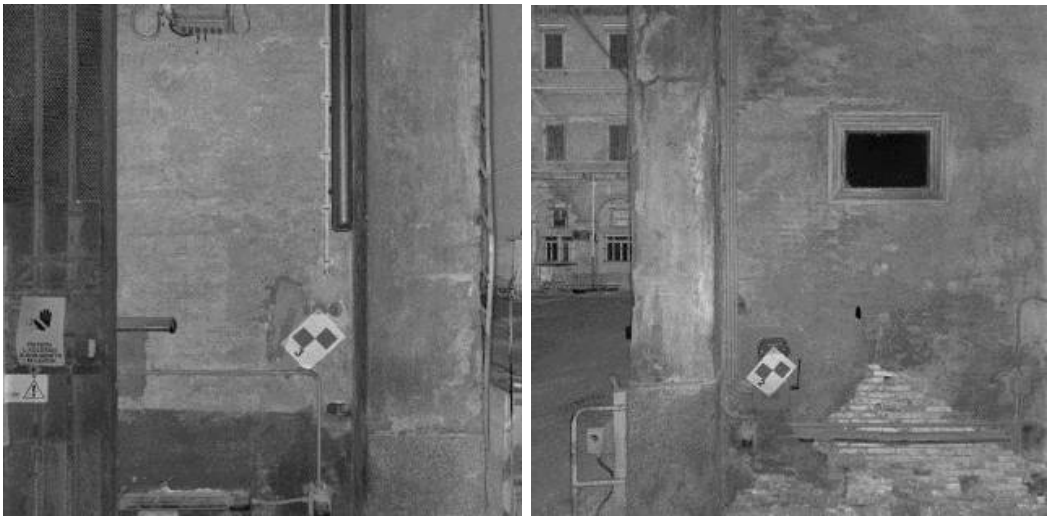
L'incarico è di restituite e di effettuare le linee ed i motivi architettonici principali i quali saranno concordati in fase di sopralluogo e rilievo del prospetto interno al cortile e di quello esterno.
Scelta la posizione delle varie stazioni, si sono applicati tutt'attorno all'area da rilevare dei reper numerati collocati ben visibili da più stazioni in maniera da poter procedere nella fase restitutiva al riconoscimento dei punti e all'orientamento delle riprese.
Durante l'operazione di rilievo della parte interna si è provveduto a stabilire nel cortile interno tre stazioni per riprendere il paramento murario dal basso acquisendo i dati dei motivi architettonici presenti, l'attacco a terra, le bucature fatte di porte e finestre, gli aggetti e le sporgenze.
La committenza richiedeva oltre al prospetto interno ed esterno anche due sezioni trasversali, una sul portale e una sulla muratura tutto in scala 1:50.
Si è anche posta una stazione nel mezzo del vano che contiene il cancello di accesso per acquisire i dati che saranno elaborati per una delle due sezioni trasversali richieste.
Abbiamo anche collocato lo strumento in due stanze al terzo piano dell'edificio con le finestre che affacciavano in posizione frontale al paramento murario, per acquisire i dati della parte alta delle modanature.
Per maggior scrupolo e correttezza delle operazioni abbiamo anche ritenuto di fare una stazione sulla parte del camminamento superiore del paramento murario per avere la completezza dei dati.
Il paramento murario contiene al suo interno una stanza al piano terra e una al primo piano.
Al piano terra vi si accede con una porta finestra che comunica direttamente con il cortile mentre per quella al primo piano, che affaccia nel cortile con una finestra, si accede con una scala interna.
Sugli stipiti degli infissi ed all'interno delle due stanze abbiamo disposto i reper per il collegamento delle stazioni di ripresa ed abbiamo fatto anche una stazione per piano per ricavare l'altra sezione.
Il rilievo della parte esterna ha comportato la disposizione di due stazioni lungo il marciapiede per rilevare la parte bassa, mentre si è dovuto trovare anche una posizione elevata nel palazzo di fronte per riprendere l'intero prospetto. Il terrazzino dell'ultimo piano dell'edificio di fronte, dal quale abbiamo fatto le riprese, era sufficientemente alto per superare il cono visivo delle piante che sono poste ai lati della strada.



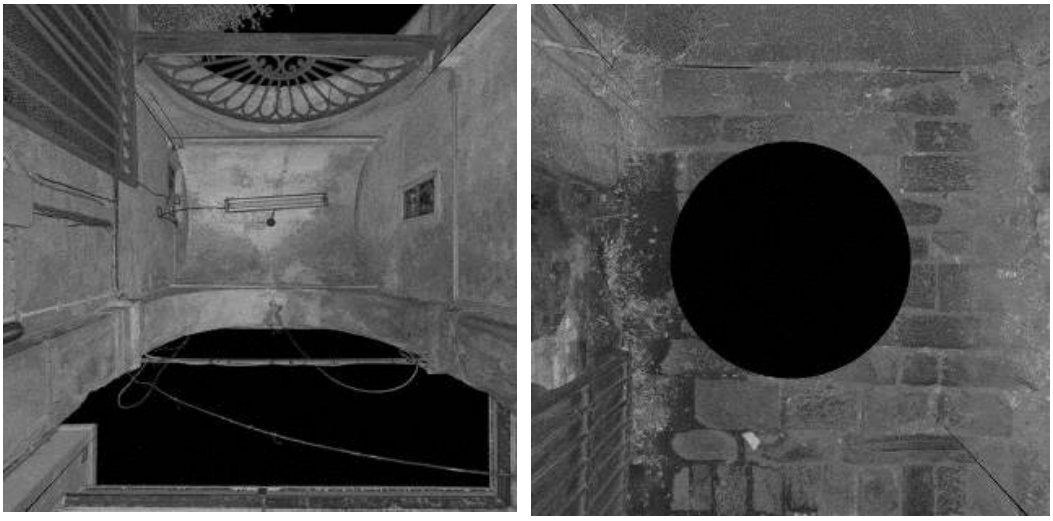
*Riprese laser scanner.*



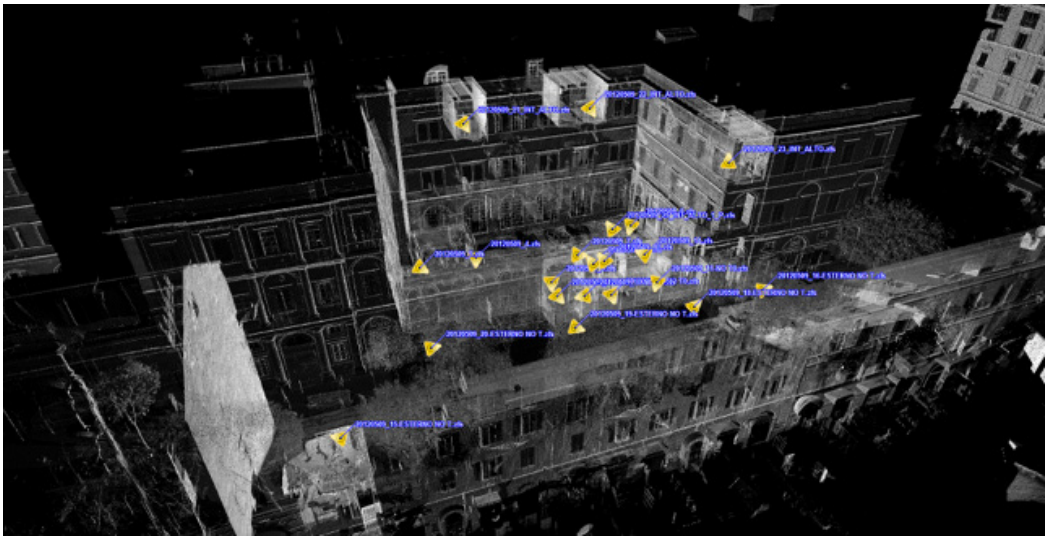
In funzione di dover demolire e poi ricostruire le pareti murarie che chiudono i due cortili, è stata fatta una serie di campionatura di circa 2 mq delle varie zone architettoniche che presentino aggetti o decori architettonici quali le modanature di maggior pregio che saranno restituite a richiesta, in scala 1:20 o più dettagliata.



*Particolare ripresa laser scanner del vano cancello a destra a sinistra in alto e in basso.*



La velocità delle riprese dello strumento laser scanner, circa tre minuti a ripresa, ci ha consentito di abbondare con le stazioni pur contenendo l'operazione totale di ripresa in una giornata permettendoci inoltre di acquisire i dati delle intere facciate dei cortili circostanti anche se non saranno restituite e consegnate alla committenza perché non fanno parte dell'incarico, sono utili per comunicare un'informazione generale dell'intero manufatto consentendo a richiesta altri approfondimenti e analisi conoscitive dell'intero complesso.



*Visione d'assieme del fabbricato con la collocazione delle stazioni di ripresa.*

**Metodologia di restituzione**

La fase di restituzione ha comportato l'utilizzo del programma CYCLONE con il quale si è potuto ottenere l'unione delle varie nuvole di punti ed elaborare i vari prospetti.

L'unione delle nuvole di punti e l'elaborazione generale ha comportato alcune giornate di lavoro occupando ben più tempo della fase di rilievo che si è svolta in una giornata

Dal materiale ricavato dalla nuvola di punti si è passati alla resa grafica richiesta dalla committenza.

Le elaborazioni sono state diverse; un book che raccoglie una serie di tavole operative quali l'inquadramento geografico del manufatto, il prospetto esterno, il prospetto interno, le due sezioni trasversali, e tre dettagli del prospetto esterno e dell' interno per avere una immediata lettura dei dati.

Tutte le tavole presentate sono state ricavate dalle elaborazioni laser scanner che sono a sua volta state ritracciate e scalate per rendere più evidenti le linee architettoniche dei vari elementi presi in esame e per poter valutare le misure quotando nelle sue parti la muratura.

Infatti, lo scopo finale è poter ricostruire il paramento murario in oggetto e una risoluta individuazione delle linee architettoniche permette la redazione di un progetto esecutivo che garantisca una fedele realizzazione.

I dettagli eseguiti a campione, che comprendono tutte le tipologie presenti in facciata, restituiti in prospetto e in sezione garantiranno la realizzazione più veritiera e possibile del manufatto architettonico.

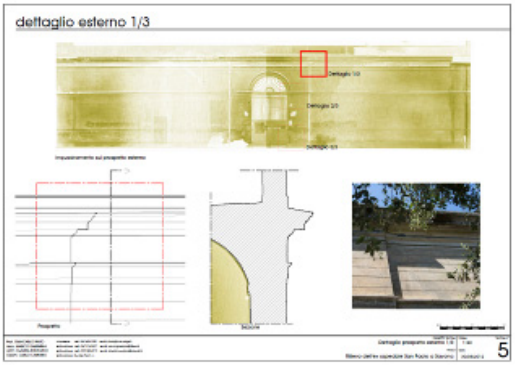
Per la consegna del lavoro ci si è avvalsi anche della presentazione in Power Point; nella prima parte si è illustrata la strumentazione usata e è spiegata la scelta della metodologia di rilievo che meglio si applicava alle richieste della committenza. In seguito si è passati alla rassegna della campagna fotografica sia dell'intero edificio, che delle fasi di rilievo e con approfondimento dei particolari architettonici presi in esame. Si è poi riproposta la sequenza delle tavole sopra nominate che fanno parte del book cartaceo. A questo punto si è voluto dare una panoramica delle possibilità della tecnologia del laser scanner proponendo l'intero prospetto di tre piani dell'edificio opposto alla parete muraria, la possibilità di ottenere le piante del setto murario a quote diverse e soprattutto la navigazione interattiva dell'area del cortile . Oltre a esplorare, con l'ausilio del mouse, le varie parti che possano interessare, si possono anche fare delle valutazioni qualitative e quantitative.

Con l'esplorazione interattiva, infatti, si possono fare degli zoom su parti della muratura o infissi, si

possono poi calcolare le distanze fra punti che compongono le finestre e anche valutare gli spessori delle modanature, inoltre si può anche, con un'interrogazione, sapere, le coordinate cartesiane di un punto qualsiasi della facciata, le quali ci possono fare capire quanto un particolare è sporgente o rientrante rispetto al piano di facciata.




*Prospetto interno.*




*Dettaglio esterno.*

Tutto questo ed altro ancora è il frutto della nuova tecnologia che in tempi brevi si evolve e ci permette di raggiungere sempre nuove mete basando le nostre teorie su dati certi e ottenuti con precisioni sempre più efficace.
La certezza del rilievo è la base della corretta e giusta progettazione. Progettare su una base sbagliata comporta una serie di errori cascata che non sono accettabili nella nostra realtà.
La strumentazione oggi a nostra disposizione ci consente la conoscenza del manufatto, sta a noi adoperarla nel modo corretto e gli sbagli non possono essere occasionali ma sono dovuti all'ignoranza della tecnologia che si evolve con tempi frenetici. Oggi possiamo avvalerci della tecnologia di alta precisione affrontando costi che sono contenuti che garantiscono la buona riuscita del progetto.
Ringraziamo le Aziende : Eurotec Pisa s.r.l. e Leica Geosystems s.p.a. per la collaborazione durante lo svolgimento delle operazioni di ripresa e di restituzione



*Progetto.*

# GIS e Telerilevamento per l'assistenza umanitaria. Applicazioni nel Programma Alimentare Mondiale

Lara Prades (*), Andrea Amparore (**)

(*) World Food Programme, Via Cesare Giulio Viola 68, 00148 Roma, 0665133107, lara.prades@wfp.org
(**) World Food Programme, Via Cesare Giulio Viola 68, 00148 Roma, 0665133263, andrea.amparore@wfp.org

**Riassunto**
I *Geographic Information Systems*, associati all'uso sempre più capillare dei sistemi di posizionamento e dei dati da Telerilevamento, sono ormai uno strumento insostituibile sia nelle attività di prevenzione delle catastrofi naturali che nel coordinamento delle azioni di risposta. Il *Programma Alimentare Mondiale* (*PAM*) è l'istituzione umanitaria delle Nazioni Unite che si occupa del supporto e dell'assistenza alimentare in caso di crisi. L'unità GIS ne supporta attivamente i vari interventi umanitari: alluvioni, siccità, cicloni ed eventi socio-politici sono classici esempi di situazioni fronteggiate dal *PAM* con l'ausilio dei GIS. In questo articolo sono riportati alcuni esempi rappresentativi, inseriti nella struttura indicata dal ciclo dei disastri.

**Abstract**
The *Geographic Information Systems*, associated with the increasing use of global positioning systems and remote sensing data, have become an invaluable tool, both in prevention of natural disasters and in the coordination of response actions. The *World Food Programme* (*WFP*) is the United Nations humanitarian organization responsible for the rapid intervention and long-term assistance in the event of a food crisis. The GIS unit actively supports the various humanitarian emergencies: floods, droughts, cyclones and socio-political events are classic examples of situations faced by *WFP* with the support of GIS. This paper goes through the main applications of GIS and Remote Sensing in the humanitarian context, showing some representative examples in the framework of the disasters cycle.

## 1. Introduzione

### 1.1. Le organizzazioni umanitarie

Le organizzazioni umanitarie hanno lo scopo di assistere le popolazioni colpite da guerre o da disastri naturali e di intervenire in croniche situazioni di povertà e degrado. Esistono numerose tipologie di organizzazioni: istituzionali e non governative, internazionali e locali, confessionali e laiche, d'impostazione professionista e a base volontaristica. Secondo le loro specificità esse rispondono alle emergenze più critiche fornendo aiuti umanitari che hanno lo scopo di salvare vite, alleviare situazioni di sofferenza, mantenere la dignità umana ed evitare che le situazioni già gravi possano precipitare ulteriormente. In questi casi, gli aiuti consistono solitamente in supporto logistico e assistenza sanitaria, fornitura di prodotti alimentari di prima necessità e organizzazione di eventuali campi profughi. Dopo gli interventi più urgenti, l'attività umanitaria ha l'obiettivo di favorire la ripresa economica successiva alla crisi attraverso il ripristino delle infrastrutture.

### 1.2. L'istituzione: il *PAM*

Il *Programma Alimentare Mondiale* (*UN WFP – United Nations World Food Programme*) è la più grande organizzazione umanitaria al mondo che si occupa di assistenza alimentare, e combatte la fame sia in caso di conflitti che di disastri naturali. Una volta conclusa la fase più acuta

dell'emergenza, l'attività del *PAM* consiste nell'aiutare le persone a ricostruire la propria vita e la struttura delle comunità in cui vivono. Il *PAM* è un'agenzia delle Nazioni Unite fondata nel 1962 e finanziata esclusivamente su base volontaria. Nel 2012 il *PAM* prevede di fornire assistenza alimentare a oltre 90 milioni di persone in 73 paesi. Gli obiettivi fondamentali del *PAM* sono quelli di salvare vite umane, salvaguardare i mezzi di sussistenza nelle emergenze, prevenire la fame acuta e la malnutrizione cronica, nonché investire nella prevenzione dei disastri naturali e nelle misure di attenuazione del loro impatto.

### 1.3. GIS e Telerilevamento

Come si è verificato in numerosi altri settori, anche nell'ambito umanitario il ruolo svolto dai *Geographic Information Systems* (GIS) è progressivamente aumentato d'importanza, unitamente ai dati derivati dai sistemi di posizionamento (GPS) e dalle informazioni raccolte tramite Telerilevamento. L'introduzione di queste tecnologie nelle operazioni umanitarie risale alla fine degli anni '90, e da allora i GIS sono uno strumento decisivo per l'analisi del territorio e il supporto decisionale. Grazie al progressivo sviluppo della tecnologia GIS, al potenziamento dei supporti hardware e all'avvento di dati e strumenti open source, le più recenti crisi umanitarie sono state teatro di un utilizzo massiccio dei GIS, sia da parte delle organizzazioni intervenenti sul posto che da parte di vaste *communities* a base volontaristica diffuse su scala globale. Il supporto dei GIS è necessario per le attività di preparazione e prevenzione delle crisi, attraverso le analisi della pericolosità dei fenomeni naturali, la vulnerabilità delle popolazioni esposte, e il relativo rischio al quale esse sono sottoposte. Unitamente ad informazioni ottenute tramite Telerilevamento, i GIS forniscono un notevole supporto anche nella fase immediatamente successiva al verificarsi della crisi, tramite la valutazione dei danni e la pianificazione delle possibili strategie di soccorso. L'accesso a database geografici (che includono tematismi quali strade, ponti, confini amministrativi, porti, ecc.) rende inoltre i GIS strumenti indispensabili per il coordinamento delle operazioni logistiche sul terreno. Tutti i risultati di queste attività sono infine rappresentabili cartograficamente, rendendoli usufruibili e interpretabili dagli utenti e dagli operatori sul terreno.

## 2. Attività dell'unità GIS del Programma Alimentare Mondiale

### 2.1. Ciclo dei disastri

Il ciclo dei disastri rappresenta il succedersi delle fasi di pianificazione, gestione e di reazione agli eventi calamitosi (Fig. 1). Si tratta di un modello di pianificazione ormai diffuso e utilizzato da tutti gli attori della gestione delle emergenze, dal livello locale a quello internazionale. La *prevention* è la prima delle fasi, e consiste nel prendere le misure necessarie per limitare i danni che possono essere provocati da un potenziale fenomeno naturale sulla popolazione e sulle infrastrutture, riducendo anche la possibilità di scarsità alimentari. In vista di un evento catastrofico imminente, la fase di *preparedness* è necessaria per compiere tutte le azioni e procedure atte ad assicurare una rapida e adeguata reazione alla crisi. In questo stadio del ciclo, s'individuano le risorse materiali e umane che saranno necessarie per fronteggiare la crisi e s'identificano le modalità per accedervi. Durante il verificarsi dell'evento, inizia la fase di *response*, con l'attivazione di sistemi d'allarme e delle procedure di evacuazione. Il supporto logistico è di primaria importanza per la messa in sicurezza della popolazione colpita, la distribuzione di generi di prima necessità e l'iniziale valutazione dei danni. Dopo l'immediata risposta alla crisi, il ciclo dei disastri prevede un'ulteriore fase, quella di *recovery*, che è finalizzata ad completo recupero dall'evento calamitoso sul lungo termine, la ricostruzione ed il rilancio dell'economia locale. Il passaggio a quest'ultima fase può avvenire in tempi variabili a seconda della severità dell'evento, dalle risorse del territorio e dal buon esito delle




*Figura 1. Ciclo dei disastri.*

fasi precedenti del ciclo. In seguito sono presentati alcuni casi in cui i GIS hanno svolto un ruolo chiave nelle fasi del ciclo dei disastri, mentre l'ultimo paragrafo è focalizzato sul supporto fornito dall'analisi geografica alla pianificazione dei programmi pluriannuali del *PAM*.

2.2. GIS in fase di *preparedness*

Durante questa fase è necessario raccogliere e analizzare il maggior numero possibile d'informazioni utili, che saranno necessarie per stabilire le priorità e utilizzare al meglio le risorse disponibili. I risultati delle analisi svolte in questa fase sono cruciali per informare le unità logistiche presenti sul terreno sulle migliori aree in cui stoccare gli aiuti e i mezzi in vista di una futura minaccia naturale. Durante la fase di *preparedness* i quesiti chiave per una organizzazione umanitaria hanno spesso una forte accezione geografica, e le relative risposte possono essere supportate da analisi GIS di dati provenienti dal terreno o da Telerilevamento: quali sono le aree del Paese con maggior insicurezza alimentare? Quante volte le diverse categorie di eventi calamitosi si sono abbattute sul Paese, e in quali aree? Com'è distribuita la popolazione sottoposta a calamità naturale, e quali infrastrutture sono da considerare a rischio? L'approccio geografico delle decisioni prese in fase di *prepardness* permette di focalizzare l'attenzione sulle aree che hanno subito il maggior numero di eventi in passato. Infatti, quando gli eventi si presentano in rapida successione, le popolazioni colpite perdono progressivamente la capacità di resilienza per il ripristino delle condizioni precedenti all'evento. Il primo esempio di utilizzo dei GIS riguarda la preparazione della stagione delle piogge ad Haiti, dove l'identificazione delle aree di priorità è supportata da un prodotto cartografico sulla sicurezza alimentare e sulla frequenza dei cicloni (Fig. 2). La mappa mostra quali siano le aree soggette sia a insicurezza alimentare sia a un alto rischio di cicloni, aree quindi ad alta priorità per gli interventi di *preparedness*. Il secondo esempio è la mappa delle inondazioni

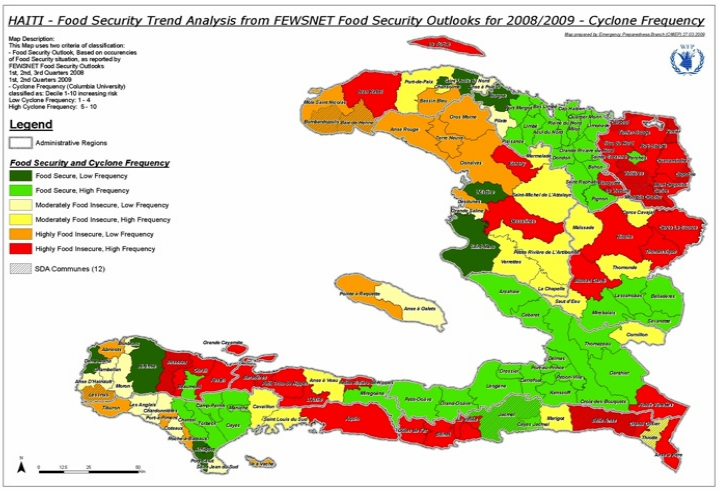



*Figura 2. Haiti - Insicurezza alimentare e frequenza dei cicloni.*

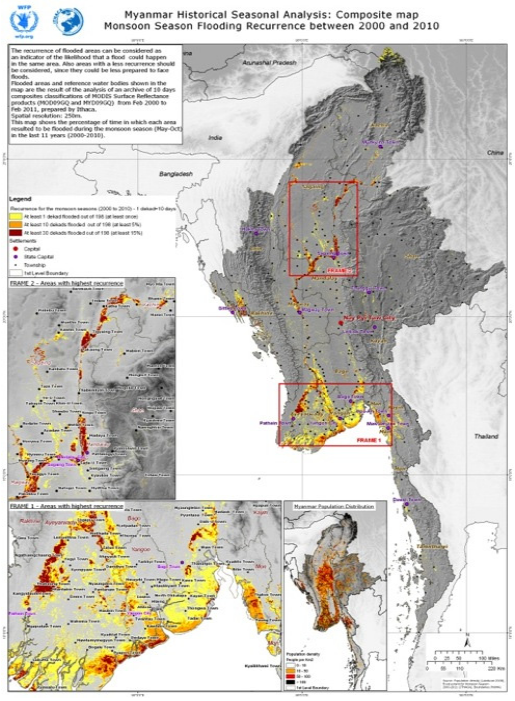



*Figura 3. Myanmar - Analisi di frequenza d'inondazione.*

degli ultimi 12 anni realizzata in vista della stagione dei monsoni in Myanmar nel 2011 (Fig. 3). Questa mappa mostra la percentuale di tempo in cui ogni area è stata inondata durante la stagione delle piogge (maggio - ottobre) nel periodo considerato, rappresentando in giallo le zone a bassa ricorrenza e in marrone quelle ad alta. La ricorrenza delle inondazioni in una certa zona può infatti essere considerata come un indicatore della probabilità che la stessa area possa essere colpita da altre inondazioni nel futuro, permettendo così di prendere le dovute precauzioni in termini di stoccaggio di materiali e risorse. La frequenza d'inondazione è stata calcolata analizzando l'archivio di 12 anni di classificazioni composite di 10 giorni, ricavate da *ITHACA* (*Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action*) a partire da immagini *MODIS Surface Reflectance* (Disabato F., Prades L., 2012).

2.3. GIS in fase di *response*

Al verificarsi di una crisi, i GIS sono utilizzati per la mappatura rapida delle zone colpite dallo shock e per la stima della popolazione coinvolta e della condizione alimentare; si procede quindi con il continuo monitoraggio della situazione (con dati da Telerilevamento o da operatori sul terreno) e la mappatura delle infrastrutture, necessaria per un efficiente coordinamento logistico. Grazie al supporto dei GIS, è possibile stimare rapidamente il numero di shocks subiti in passato dalla stessa popolazione, il livello di degrado ambientale precedente all'evento e le condizioni della rete d'infrastrutture.

*2.3.1. NDVI come indicatore d'impatto della siccità.*

Il *PAM* è solito gestire differenti tipologie di catastrofi naturali, comprese le siccità e le conseguenti carestie. Le regioni del Corno d'Africa e del Sahel hanno sofferto dei periodi di siccità particolarmente intensi (verificatisi rispettivamente tra il 2010 e il 2011 e tra il 2009 e il 2010) che hanno provocato profonde conseguenze sulla sicurezza alimentare delle relative popolazioni. Le zone colpite erano di difficile accesso e caratterizzate da una situazione socio-politica particolarmente instabile. Per pianificare una mirata risposta all'emergenza, l'identificazione delle aree in cui la siccità ha avuto il maggiore impatto è stata possibile grazie all'analisi dell'indice *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) della stagione di crescita della vegetazione, il quale fornisce una stima quantitativa della copertura vegetale e del suo stato fenologico. Tale indice è definito come il rapporto tra la semidifferenza e la semisomma tra i canali visibile e vicino infrarosso, ed è utilizzato per misurare indirettamente l'intensità della siccità in base ai suoi diretti effetti sulla crescita stagionale della vegetazione. L'analisi ha confrontato dati d'immagini composite decadali *SPOT-VGT* del periodo di crescita della vegetazione con i dati della stessa stagione degli anni precedenti.

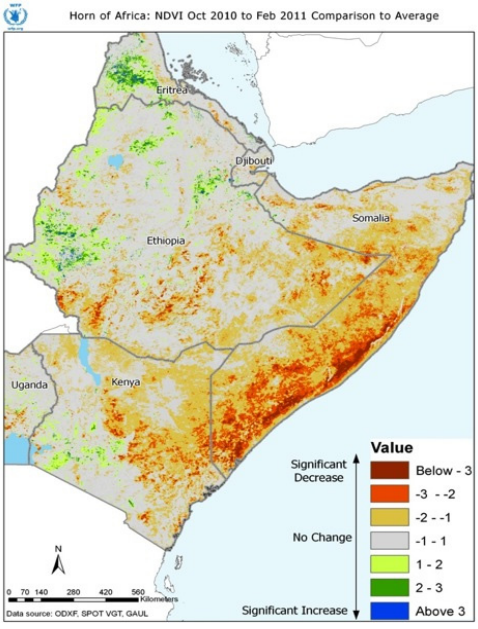



*Figura 4. Corno d'Africa - Analisi dell'indice NDVI rispetto a un periodo di riferimento.*

$$Z_{NDVI} = \frac{NDVI_i - \overline{NDVI}}{\sigma_{NDVI}}$$

La differenza tra i valori di NDVI della stagione considerata e il valore medio del NDVI dello stesso periodo negli anni precedenti (1998-2010), indica quanto tale stagione si discosti dalla media. Dividendo la differenza per la deviazione standard si compara questa variazione con la variabilità annuale dell'indice NDVI, per evitare di sovrastimare la gravità dei cambiamenti.

Nella mappa riportata come esempio (Fig. 4), i valori compresi tra -1 e +1 rappresentano le situazioni nella media e le variazioni stagionali nella norma. Valori tra -1 e -2 concernono moderate siccità, presumibilmente superabili dalle popolazioni grazie alla loro capacità di resistenza e resilienza. Valori compresi tra -2 e -3 denotano situazioni di maggiore criticità per le attività agricole e pastorali. Infine, i valori minori di -3 sono associati a estreme siccità, con conseguenze di grave impatto sulle popolazioni colpite. Quest'analisi ha fornito agli operatori sul terreno un solido supporto per identificare le zone più in difficoltà in un contesto in cui le comunicazioni, le infrastrutture ed un solido apparato statale sono per lo più assenti. Talvolta, come nel caso dello studio dell'area del Sahel nel 2011, si effettua la comparazione dell'indice NDVI del periodo considerato con quella di un anno preso a riferimento, per individuare rapidamente le zone che hanno subito le variazioni più drammatiche da un anno all'altro (Fig. 5) (Perez F. et al, 2011).

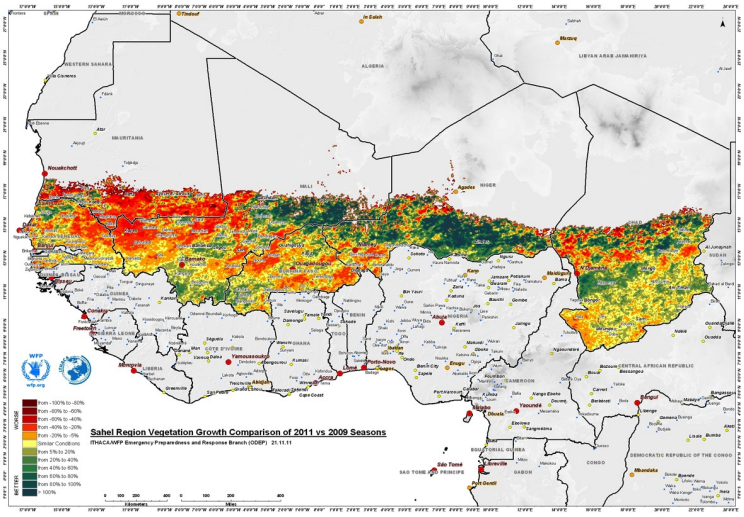



*Figura 5. Sahel – Analisi dell'integrale stagionale NDVI rispetto all'anno di riferimento.*

L'indice NDVI è utilizzato all'interno del *PAM* anche per rilevare i cicli e le frequenze di siccità in una determinata area, come nel caso dello studio effettuato degli ultimi 5 anni in Somalia nell'estate 2011. Questa finestra temporale è stata scelta perché è ampia abbastanza da poter rappresentare le

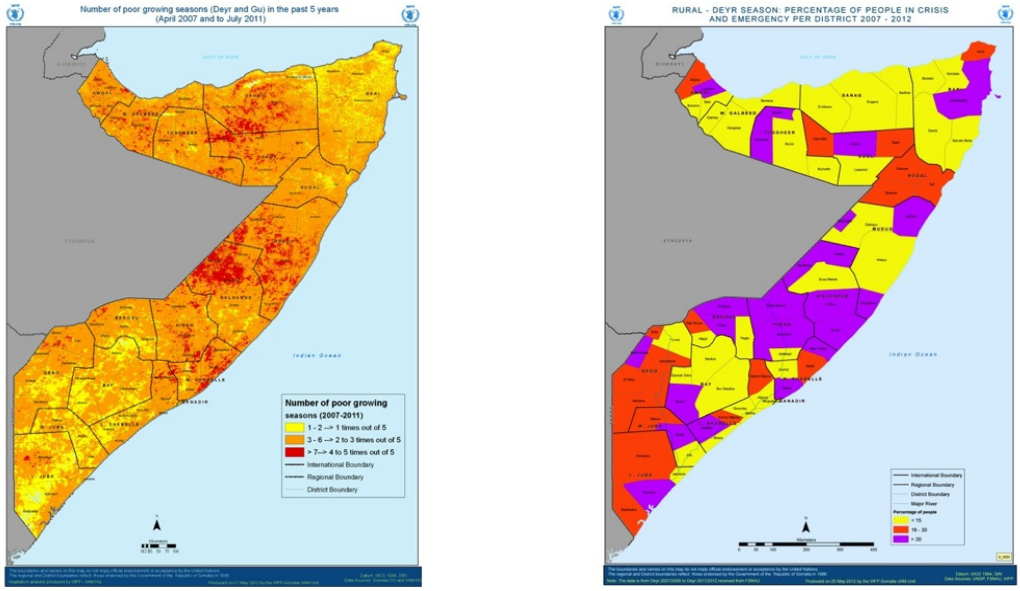



*Figura 6. Somalia - Numero di eventi di siccità (sx) e insicurezza alimentare (dx).*

tendenze e le variazioni sulle quali potersi basare per prendere decisioni concrete. Sarebbe per esempio difficile giustificare l'assistenza alimentare a popolazioni che hanno sofferto siccità non recenti. Lo studio degli eventi più recenti permette di individuare le zone in cui vi è maggior necessità di costruire capacità di resilienza tra la popolazione, nonché di stabilire aree prioritarie di intervento e programmare piani più mirati. Malgrado non si possa interpretare l'indice NDVI come diretto indicatore dell'intensità delle siccità, grazie alle applicazioni illustrate in precedenza esso può essere utilizzato come indicatore di disponibilità di risorse alimentari stagionali, soprattutto nel caso di popolazioni rurali che non possono contare su stock di cibo e su risorse economiche. Inoltre, i valori dell'indice NDVI sono calcolabili a una risoluzione spaziale maggiore di qualunque altro dato pluviometrico, permettendo anche la localizzazione di *patterns* di siccità più dettagliati.
Il numero di stagioni a bassa crescita vegetativa deve essere interpretato alla luce della situazione rappresentata nella mappa d'insicurezza alimentare (Fig. 6), in quanto la combinazione di questi due fattori aumenta considerevolmente l'impatto della siccità sulla popolazione.

### *2.3.1. Individuazione delle aree alluvionate.*

Queste mappe sono particolarmente utili durante l'evento alluvionale e nelle fasi immediatamente successive per individuare le zone colpite, riducendo l'estensione delle aree che necessitano un'esplorazione da parte degli elicotteri del *PAM*. Grazie alla disponibilità giornaliera di dati *MODIS* (bande rosso e infrarosso vicino) è altresì possibile mostrare lo stato di ritiro o di avanzamento delle acque, per una miglior comprensione dell'intensità dell'evento e del numero e distribuzione della popolazione colpita. Le mappe di aree alluvionate sono prodotte in collaborazione con *ITHACA* e il *Dartmouth Flood Observatory* (*DFO*) (Fig. 7).

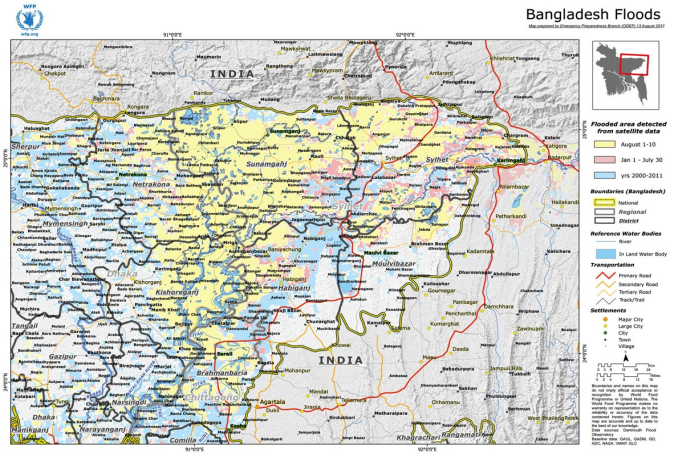



*Figura 7. Bangladesh - Aree alluvionate ed evoluzione temporale.*

### *2.3.2. Mappe logistiche e di situazione generale post evento*

Si tratta di mappe indispensabili agli operatori sul terreno in quanto mostrano (al meglio della conoscenza possibile) le infrastrutture più adatte per raggiungere nel modo più rapido e sicuro i beneficiari del supporto alimentare (Fig. 8). Il database spaziale dell'unità GIS del *PAM* comprende informazioni su strade, ponti, porti, aeroporti, *check-points*, campi profughi e dati amministrativi, il tutto a copertura globale. Essendo il *PAM* il braccio logistico delle

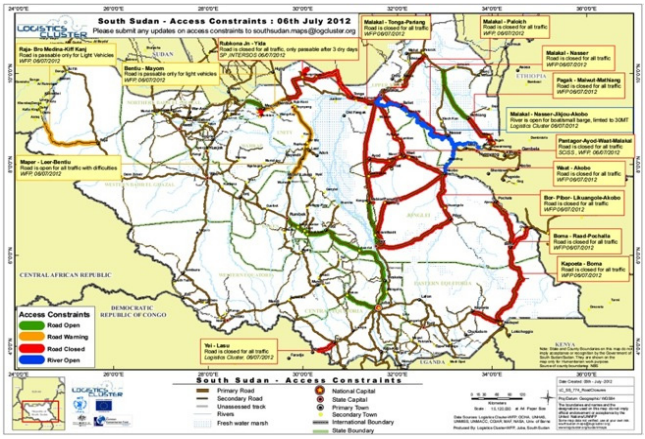



*Figura 8. Sud Sudan - Mappa logistica.*

Nazioni Unite, le mappe realizzate dall'unità GIS devono rispondere a elevati standard di completezza, esattezza e soprattutto essere rapidamente disponibili, dovendo allo stesso tempo coinvolgere gli operatori sul terreno per ottenere le migliori e recenti informazioni sulla sicurezza e percorribilità delle strade.

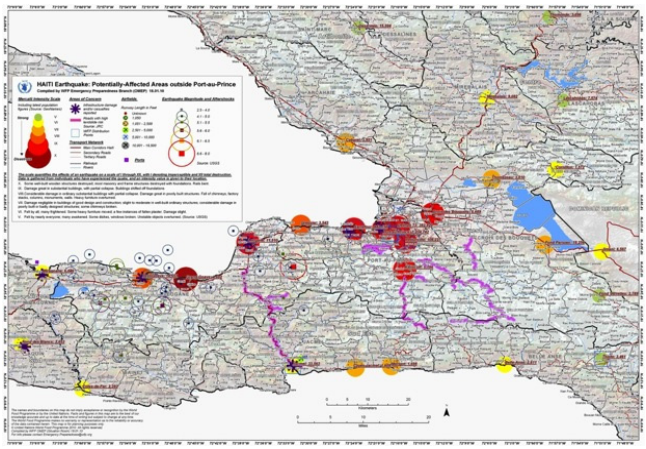



*Figura 9. Haiti: Mappa della situazione post-sisma.*

Non appena ricevuta la notizia di un evento catastrofico, in qualsiasi ora o giorno dell'anno e di qualsiasi tipologia si tratti, l'unità GIS del *PAM* realizza nell'arco di un'ora la mappa della situazione generale dell'area colpita, utilizzando principalmente informazioni provenienti dal terreno o dai media. Lo scopo di queste mappe è di riportare nel modo più completo possibile le informazioni indispensabili al primo intervento di soccorso, per facilitare le decisioni dei direttori delle operazioni e per indirizzare al meglio di sforzi (Fig. 9).

2.4. I tre programmi del *PAM*

I programmi a lungo termine del *PAM* appartengono a tre diverse categorie, ognuna adatta alla gravità della situazione da fronteggiare. Nei casi più critici di disastri, d'insicurezza alimentare e instabilità socio politica, si attiva un programma *EMOP* (*Emergency Operation*) il cui scopo primario è la fornitura di cibo e di materiali di prima necessità. Dopo questo periodo (la cui lunghezza è nell'ordine di alcuni anni), può subentrare un programma *PRRO* (*Protracted Relief and Recovery Operations*), grazie al quale sono messe in pratica le procedure volte alla stabilizzazione del contesto sociale ed alimentare. Infine, nel momento in cui la situazione volge verso un progressivo sviluppo, il *PAM* può intervenire con un programma *DFA* (*Development Food Aid*). In quest'ultima fase si presuppone che la nazione assistita sia in grado di rispondere autonomamente alle emergenze, e il *PAM* svolge un ruolo di supporto materiale e di coordinamento tra i differenti organismi locali, internazionali e ONG. Per identificare il programma più adatto ai vari contesti e per meglio declinarlo ai bisogni delle popolazioni in difficoltà, l'unità GIS del *PAM* svolge una completa

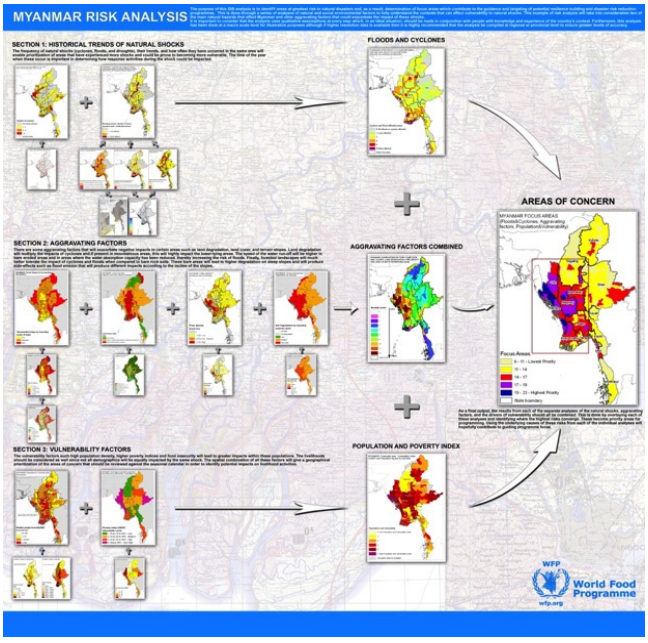



*Figura 10. Myanmar - Esempio di analisi di minacce, vulnerabilità e rischio per la definizione dei programmi.*

analisi di minacce, vulnerabilità e rischio delle zone assistite. Lo scopo delle analisi è l'identificazione delle aree problematiche prioritarie per la pianificazione dei programmi volti all'aumento di resilienza, tramite una serie di analisi dei fattori naturali e socio-economici che potrebbero provocare situazioni di rischio. L'analisi di rischio comprende inizialmente le principali minacce naturali (cicloni, alluvioni, siccità…), la loro frequenza, l'intensità, i *trends* recenti, e i periodi dell'anno di maggior frequenza, in quanto a seconda del periodo vi è un diverso impatto sulle attività umane. In seguito l'analisi si concentra sui fattori aggravanti che potrebbero inasprire ulteriormente gli effetti di un evento catastrofico: il diffuso degrado ambientale, le forti pendenze del suolo e la presenza di vaste aree disboscate sono ad esempio considerati elementi aggravanti nel caso di cicloni e alluvioni.
L'analisi si occupa infine del valore dei beni esposti e dei fattori di vulnerabilità, i quali rappresentano la parte conclusiva della valutazione di rischio: alta densità di popolazione, alti indici di povertà e insicurezza alimentare determineranno un maggior impatto degli eventi catastrofici. Nelle analisi di questo tipo è richiesto un apporto interpretativo dell'analista GIS, il quale è chiamato a compiere scelte metodologiche secondo la quantità e la qualità delle informazioni disponibili lungo tutto lo svolgersi dell'analisi. Come output finale, i singoli risultati di queste analisi sono geograficamente combinati per delineare le zone a maggiore rischio che saranno considerate in modo prioritario nella pianificazione dei programmi (Fig. 10).

## 3. Conclusione

Gli esempi riportati mostrano come i GIS svolgano ormai un ruolo insostituibile nell'analisi del territorio e nella produzione cartografica nell'ambito dell'attività umanitaria. Il *PAM*, nel corso di centinaia d'interventi su scala globale, ha pienamente riconosciuto l'importanza dell'analisi spaziale. Per questa ragione, l'unità GIS del *PAM* è incoraggiata ad andare verso una progressiva ottimizzazione delle sue analisi in termini di standard, metodologie e rapidità di realizzazione.
La collaborazione continua tra il *PAM* e alcune realtà del mondo accademico (*DFO, ITHACA, JRC*) assicurano di fatto una buona sinergia tra l'attività umanitaria e la ricerca scientifica in ambito di GIS e Telerilevamento e, visti i buoni risultati di queste collaborazioni, vi è la volontà da parte dell'unità GIS del *PAM* di stringere ulteriormente i rapporti con le università e centri di ricerca.

## 4. Riferimenti bibliografici

Akinyemi F. (2011). "Geographic information system based visualization of household living standards". *KIST Journal of Science and Technology*, Vol 1, Number 1

Disabato F., Prades L. (2012). "MODIS flood seasonal analysis for emergency management in Myanmar". Atti 6° Workshop "*Telerilevamento e le Nuove Scienze della Terra*". Bologna, 49-50

Paul Norman (2010). "Poverty and Deprivation Mapping". *Appl. Spatial Analysis* (2010) 3:77–79

Perez F., Disabato F., De Stefano M., Vigna R., 2011. "The ITHACA Early Warning System for drought monitoring: first test on Sahel 2010 crisis". *Rivista Italiana di Telerilevamento, Associazione Italiana di Telerilevamento*. Vol. 44, 15

Randall K. and Sanjeev K. (2006), "Using Geographic Information Systems (GIS) for Humanitarian Relief", *Innovations: Technology, Governance, Globalization Spring 2006,* Vol. 1, No. 2: 68–79

Rasano C. et al. (2008). "Analysing Urban Poverty: GIS for the Developing World". *ESRI Press.*

Romanee T. et al. (2012), "Using GIS and Spatial Statistics to Target Poverty and Improve Poverty Alleviation Programs", *Appl. Spatial Analysis, 5:157–182*

Smirnov A. et al. (2007), "Context-Driven Information Fusion for Operational Decision Making in Humanitarian Logistics", *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography,* Part 2, 69-83

Verjee, F. (2005). "The application of geomatics in complex humanitarian emergencies". *The Journal of Humanitarian Assistance*. Boston: Feinstein International Center, Tufts University

# Una piattaforma webGIS per la mappatura degli eventi estremi in foresta in ambito alpino

Marco Pregnolato (*), Stefano Oliveri (*), Mauro Pomatti (**), Giacomo Gerosa (***)

(*) Ecometrics s.r.l., Via G. Rosa 24, 25121 Brescia, +39 030 6376994, stefano.oliveri@ecometrics.it
(**) Terraria srl, Via Melchiorre Gioia 132, 20125 Milano, +39 02 87085650, m.pomatti@terraria.com
(***) Università Cattolica del S.C., Via Musei 41, 25121 Brescia, tel. +39 02 0302406719, giacomo.gerosa@unicatt.it

**Riassunto**

Con il progetto INTERREG MANFRED (*Management strategies to adapt Alpine Space forests to climate change risk* – www.manfredproject.eu) il programma Spazio Alpino ha inteso attivare una serie di strumenti conoscitivi per valutare l'impatto che i cambiamenti climatici potranno avere sullo stato di salute delle foreste alpine. Una specifica linea di attività è stata dedicata a compiere un censimento georeferenziato degli eventi estremi (ossia eventi che hanno determinato strategie di gestione ed impatti di carattere straordinario) già occorsi nelle foreste alpine nel corso degli ultimi decenni (incendi, attacchi di agenti biotici, schianti da vento o da neve). Con alcuni obiettivi di fondo: (i) mettere in rete le comunità alpine che hanno già esperito tali tipologie di evento, così da favorire il passaggio delle conoscenze fra queste realtà e (ii), sulla base di approfondimenti specifici, derivare indicazioni gestionali di riferimento, da trasmettere e condividere a livello alpino, utili per fronteggiare i cambiamenti climatici spesso causa predisponente di eventi calamitosi in foresta sempre più frequenti ed estesi. Per facilitare la diffusione delle conoscenze acquisite nel corso del progetto, è stata creata una piattaforma webGIS dedicata. Essa consente di accedere ai risultati del censimento in forma georeferenziata e ad una serie di contenuti tematici ed approfondimenti specifici su eventi di particolare rilevanza, secondo un approccio orientato alle *case histories*. Il *paper* descrive la struttura della piattaforma webGIS, specifica le modalità attraverso le quali sono stati censiti gli eventi estremi per le varie tipologie di *hazard* considerati, fornisce un quadro complessivo sui risultati ottenuti ed evidenzia alcune difformità e lacune nella disponibilità di dati su eventi calamitosi in foresta, a livello alpino.

***Abstract***

*Ongoing climate changes are expected to have significant impacts on the state of health of alpine forests. In the next decades, both the frequency and the intensity of forest stress occurrences (fires, biotic agents attacks, windthrows and heavy snows) could increase and new climate scenarios are expected to strongly influence the spatial distribution of such phenomena. Moreover, the new climatic conditions could play a relevant role in inducing the occurrence of extreme events, the management of which requires going beyond present and local technical and/or theoretical know-how, to acquire new knowledge and/or to develop and implement ad hoc strategies. In the framework of MANFRED project, a specific set of activities has been developed, aimed at making a census of extreme stress events already occurred in the alpine forests. With a basic idea: to derive from such occurrences reference management strategies to be shared with alpine communities that will face extreme events in the future. The results of the census, both in terms of geographical data and supporting documentation, have been introduced in a dedicated webGIS platform available at the Internet address* www.manfredproject.eu/webgis. *This paper describes the different steps carried out in the fulfillment of these activities (survey of available data sources and information, definition of extreme events, building up of a database and production of case histories investigations) and describes the main features and functionalities of the webGIS platform.*

**Introduzione**
La necessità di sistematizzare le conoscenze disponibili nella regione alpina circa i principali fattori di disturbo a carico delle nostre foreste nasce dalla consapevolezza ormai acquisita che il futuro, caratterizzato come è noto da scenari di cambiamento climatico, è segnato da grande incertezza anche per quanto riguarda la gestione e della conservazione delle risorse forestali.
Recentemente diversi studi (Faccoli, Battisti, *in press*; Marini et al., 2012; Lindner et al. 2010; Boisvenue, Running, 2006; Battisti et al. 2005; Battisti, 2004) hanno mostrato che nel prossimo futuro le tendenze del cambiamento climatico in atto potrebbero rappresentare una minaccia consistente per lo stato fitosanitario delle foreste nell'area alpina. Di conseguenza, le comunità dell'ambito alpino potrebbero essere costrette a fronteggiare un aumento sia della frequenza sia della severità degli eventi dannosi: incendi, attacchi patogeni, schianti da vento e da neve. Molti di questi eventi sono stati correlati a fenomeni climatici. In alcuni casi la correlazione è assolutamente immediata, come per le tempeste Vivian (1990) e Lothar (1999) o l'ondata di calore dell'estate 2003 sulla frequenza degli incendi sia estivi, sia nell'inverno successivo. Ma la stessa estate 2003 è risultata influire su moltissime infestazioni di patogeni forestali (Faccoli, 2009; Battisti et al., 2006) e diversi studi stanno esaminando le possibili influenze dei cambiamenti climatici sulla fisiologia dei patogeni forestali e su quella delle piante bersaglio.
Il progetto MANFRED ha rilevato l'importanza di uno strumento finalizzato a consentire alle comunità alpine la condivisione del proprio bagaglio di conoscenze ed esperienze relative a eventi estremi occorsi nel passato allo scopo di derivare lezioni apprese e di trasformarle in strumenti di buona gestione per il futuro. Tale strumento è costituito da una piattaforma webGIS interattiva, che consente di interrogare dati, visualizzarli ed avere accesso alla relativa documentazione di approfondimento.

**Materiali e metodi.**
Da un punto di vista operativo, il lavoro è stato sviluppato secondo i seguenti passaggi:

- censimento degli eventi, con particolare attenzione agli eventi estremi;
- identificazione di un set di eventi di rilievo, utilizzati come casi studio e sottoposti ad una analisi di approfondimento;
- sistematizzazione dei risultati su una piattaforma webGIS (www.manfredproject.eu/webgis) sulla quale è possibile visualizzare l'intero *set* di dati raccolti ed effettuare interrogazioni parametriche e geografiche.

*Premessa sulla definizione di Evento Estremo.*
Il tentativo di fornire una **definizione teorica** di evento estremo ha immediatamente reso evidente la soggettività intrinseca nella definizione stessa, sottoposta a chiavi interpretative diverse che fanno ad esempio riferimento a diversi valori e ruoli attribuiti alla foresta. D'altra parte l'elevata eterogeneità delle informazioni nei differenti paesi alpini ha reso complesso anche adottare un **criterio numerico** parimenti univoco. Metodi adatti specificatamente alla natura dei dati disponibili sono stati così sviluppati. In generale il criterio adottato, lungi dal voler fornire una definizione univoca e scientifica di evento estremo, si è riferito principalmente alla caratteristica dell'evento di costituire un'occorrenza **non ordinaria**, la gestione della quale abbia richiesto di superare l'attuale *know-how* tecnico e teorico locale, acquisendo nuove conoscenze e adattando o sviluppando strategie ad hoc.
Il risultato di questo processo preliminare è stata la richiesta ai vari *partner* di progetti di dati di natura variegata per i vari ambiti e soggetti e l'adozione di soluzioni diverse nella traduzione dei dati stessi in termini geo-informatici.

*Dati sugli incendi forestali.*
Il progetto MANFRED, anche tramite una collaborazione formatasi in corso d'opera con il progetto INTERREG Spazio Alpino: ALPFFIRS (www.alpffirs.eu), ha prodotto un vasto *database* pan-alpino degli incendi forestali. Il *database* completo contiene circa 82.000 record di incendi forestali

su Italia, Francia, Slovenia, Germania, Svizzera e Austria. Ciascun incendio è descritto tramite un *set* di attributi, come riportato in Tabella 1. Dal *database* completo è stato tuttavia possibile estrarre solo circa 26.000 record georeferenziati e quindi inseriti nel db di riferimento per il webGIS.
Ancora, benché il *database* completo contenga *record* fin dagli anni '70, le serie storiche fornite dai vari *partner* si sovrappongono solo negli anni tra il 2000 e il 2009: solo su questo sottoinsieme è stato dunque possibile compiere analisi statistiche e la selezione del valore soglia per gli eventi estremi. Il parametro *Area Bruciata Totale* è risultato essere il solo attributo quantitativo regolarmente registrato nei singoli *database* locali, senza sostanziale assenza di dati, su tutto l'arco alpino. Di conseguenza, pur consci della limitatezza di tale approccio[1], tale parametro è stato utilizzato per la selezione degli eventi estremi a scala alpina. Il **99° percentile** della distribuzione di tale parametro è stato scelto come identificatore dell'evento estremo di incendio, producendo un valore soglia su scala alpina di **105 ha** e consentendo di normalizzare ed omogeneizzare l'intero *set* di dati, effettuare così comparazioni tra diverse regioni alpine e valutare l'evoluzione spaziale e temporale degli eventi estremi così definiti.
Le analisi statistiche a scala alpina sono state poi integrate da analisi a livello locale ed da singoli approfondimenti. E' noto, infatti, che gli incendi forestali hanno caratteristiche distintive proprie in funzione delle condizioni locali. Un incendio percepito come eccezionale in una regione potrebbe rientrare nella norma in una regione diversa. Pertanto, si è richiesto alle singole regioni di compiere una selezione di eventi estremi, basandosi sui dati disponibili localmente (con limiti temporali e *set* di attributi propri) e su valori soglia calcolati sui propri insiemi di riferimento.

| ***Attribute*** | ***Notes*** | ***Domain*** |
|---|---|---|
| *Year* | | |
| *Date* | Of the signaling | |
| *Season* | April-October: summer | |
| | November-March: winter | |
| *X coordinate* | Of the ignition point. UTM WGS84 | |
| *Y coordinate* | | |
| *Cause* | | 1. natural |
| | | 2. doubt |
| | | 3. anthropogenic |
| *NUTS2* | Of the ignition point | |
| *NUTS3* | | |
| *Altitude* | Of the ignition point | 1. 0 – 500m |
| | | 2. 500 – 1.000m |
| | | 3. 1.000 – 1.500m |
| | | 4. > 1.500m |
| *Total Burnt Area* | | |
| *Forest Burnt Area* | | |
| *Non Forest Burnt Area* | | |
| *Aspect* | Of the ignition point. Derived from DTM | |
| *Vegetation Unit* | Of the ignition point. Derived from the "*Map of Natural Vegetation of Europe*" | The legend has been derived from the "Map of Natural Vegetation of Europe" report and structured in three different levels |
| *Data Owner* | | |
| *Mail of the Data Owner* | | |
| *Data Provider* | | |
| *Mail of the Data Provider* | | |

*Tabella 1. Attributi del database pan-alpino degli incendi forestali.*

[1] Esperti e tecnici, coinvolti nel progetto, concordano sul fatto che la definizione di incendio estremo dovrebbe derivare da una valutazione che integri una ampia gamma di fattori (per esempio riguardo alle condizioni ambientali e geografiche, alle caratteristiche di propagazione del fuoco e agli impatti reali) e che il solo parametro Area Bruciata Totale non sia necessariamente indicativo di una condizione estrema.

*Dati su fattori di disturbo abiotico e biotico.*
I dati raccolti per descrivere i fattori di disturbo biotico e abiotico sono tra i più diversificati. In fase di indagine le informazioni si sono presentate molto eterogenee nei diversi paesi dell'area alpina, sia nella disponibilità di dati, sia nella loro natura. Alcune aree non hanno alcun sistema di monitoraggio attivo per questo tipo di fenomeni; in altri casi i dati sono disponibili solo su formato cartaceo e nessun archivio fisico è stato dematerializzato nell'ambito di questo progetto. I sistemi di monitoraggio, laddove presenti, restituiscono spesso dati diversi, con aggregazioni sia spaziali che temporali differenziate: dati di volumi tagliati, numero di segnalazioni di patogeni, numero di piante danneggiate, con o senza riferimento ad uno specifico patogeno od agente fisico. I valori frequentemente non possono essere associati ad un'occorrenza specifica (evento).

I dati che si è stabilito di raccogliere sono, di fatto: volumi tagliati in conseguenza di un'infestazione o di ripristino dopo schianti (sezione *Loggings*), volumi o numero piante specificatamente danneggiate da patogeni o agenti fisici (sezione *Damages*).
I dati di taglio sono stati sottoposti ad una procedura statistica di normalizzazione ad hoc, integrando dati di volumi e superficie delle parcelle e minimizzando così l'influenza dell'estensione, per rendere comparabili le distribuzioni dei dati nelle varie regioni. Su tali dati normalizzati è stata effettuata una selezione di eventi estremi, definiti come i volumi riferiti a parcelle che hanno presentato valori di taglio fuori dalla norma rispetto alla base annuale (*outlying*).
I dati di danno biotici ed abiotici, opportunamente elaborati, sono poi riportati nel webGIS, prescindendo da un'impossibile selezione quantitativa dei valori estremi: il questionario degli eventi "a memoria d'uomo" risolve a livello logico questo nodo. Allo scopo di identificare gli eventi che negli ultimi decenni la popolazione, le autorità o i tecnici locali avessero percepito come *non ordinari* o, appunto, *estremi* è stato, infatti, prodotto uno speciale questionario che i partner di progetto hanno distribuito nelle loro regioni di riferimento.
I dati su fattori abiotici e biotici sono stati introdotti nel webGIS in sezioni regionali distinte, data la loro eterogeneità; tali sezioni non sono dunque concepite allo scopo di creare una immagine unitaria della situazione a livello *panalpino* e non permettono di confrontare le situazioni locali dei diversi paesi partner.

*Natura dei dati e trasposizione in ambito GIS.*
L'oggetto **incendio** (*fire*, nella relativa sezione webGIS) è costituito, di fatto, dal record di un evento ben definito nel tempo (data di innesco, durata) e nello spazio (coordinate del punto di innesco o centroide dell'area percorsa, ed area percorsa). Ogni record è pertanto associabile ad un dato spaziale di tipo **puntuale**. Nella piattaforma webGIS sono poi presenti dati spaziali di tipo **poligonale** (regioni e provincie) che derivano da aggregazioni degli attributi dei singoli incendi (somma delle aree bruciate, numero di incendi) su base annuale.

I dati relativi ai **danni** (*damages*), biotici o abiotici, pur caratterizzati da attributi diversi, presentano caratteristiche simili quanto alla natura del dato. I valori dei parametri (volume stimato del legname danneggiato o numero di segnalazioni di patogeni in una data area) sono i dati originali raccolti generalmente a livello di provincia e divisi su base annua. I dati a livello di regione sono generalmente aggregazioni successive. I dati spaziali che ne derivano sono dunque poligoni, associati a valori annuali.

La piattaforma webGIS riporta tuttavia le coordinate geografiche di riferimento (un centroide) delle aree colpite da eventi che rientrano nelle *Case Histories*, che sono dunque **punti** caratterizzati.

Per quanto riguarda i dati relativi ai **tagli** (*loggings*), il dato originariamente raccolto è generalmente costituito da un valore (volume tagliato) ritraibile dalle relative denunce di taglio e riferito a particelle forestali accatastate e pertanto georeferenziate. Il valore può essere riferito quindi ad un dato **puntuale** (il centroide della particella). I dati a livello di provincia sono invece delle aggregazioni, riferite poi ai relativi poligoni, anche in questo caso su base annua.

**Struttura e contenuti della piattaforma.**

Dal punto di vista delle specifiche tecniche, la piattaforma è stata sviluppata utilizzando una tecnologia J2EE (*Java enterprise edition*). Essa lavora su un *Application Server* Tomcat 6.0 ed utilizza PostGIS 1.5 ed un server database PostgreSQL 8.4.
Per quanto riguarda la sua architettura concettuale, la piattaforma webGIS consiste in tre distinte sezioni dedicate: incendi. fattori biotici, fattori abiotici. Ciascuna sezione a sua volta contiene: un set di dati geografici; report regionali e/o alpini, documenti concepiti per riassumere e commentare i *dataset* pubblicati; *report* contenenti i risultati delle analisi sui singoli casi di studio.

***Sezione Incendi.***

Tale sezione permette di interrogare tre *dataset* di riferimento: Alpino; Regionale; *Case Histories* (casi di studio).
Quando si seleziona il set di riferimento Alpine, la piattaforma permette di interrogare e visualizzare sulla mappa i dati del database pan-alpino degli incendi (decennio 2000-2009) su tre diversi livelli di aggregazione: NUTS2 (Regione), NUTS3 (Distretto), come poligoni, oppure la distribuzione dei punti di innesco dei singoli incendi (figura 2).

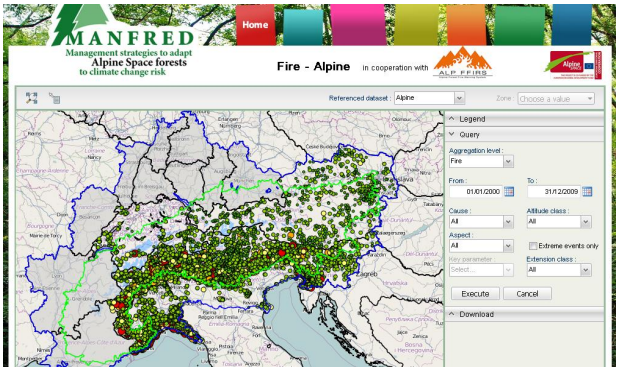



*Figura 2. La sezione Fire (incendi) del webGIS MANFRED: interrogazioni e visualizzazioni sulla sotto-sezione Alpina.*

I dati possono essere interrogati sulla base di diversi attributi presenti nel db (data, causa, classe di altitudine, esposizione, classe di estensione) ed è possibile mappare i risultati delle *query* riferite ai livelli di aggregazione Regione o Distretto, come geometrie poligonali associate a valori discretizzati calcolati come numero di incendi sul periodo o come superficie totale bruciata. Nelle mappe risultanti, le aree grigie evidenziano territori per i quali specifiche informazioni non sono disponibili (*No Data*).
La piattaforma, rispondendo agli scopi di progetto, permette una preselezione dei soli eventi estremi e di produrre *query* e visualizzazioni sui soli eventi definiti tali, all'interno del *database*.
Il pulsante *Identify* permette poi di ottenere dalla mappa dettagli analitici sugli oggetti visualizzati dopo le *query* e le informazioni sui *Data Owner* e *Data Provider*.
Ogni visualizzazione è stata fornita di una relativa legenda dinamica che ottimizza la visualizzazione dei dati sulla mappa, adattandosi sulla base della *query* lanciata.
L'area *Download* ospita il *link* al *report* dedicato, che sintetizza i risultati principali delle analisi effettuate sul *database* pan-alpino degli incendi.

Interrogando invece il *reference dataset* regionale, il sistema permette di visualizzare ed interrogare dati, sostanzialmente definiti dallo stesso *set* di attributi rispetto alla scala alpina ma relativi alla regione selezionata ed in particolare l'insieme di eventi estremi secondo il parametro locale (si veda sopra *Dati sugli incendi forestali*). L'area *Download* ospita anche in questo caso i *report* prodotti dai *partner* regionali.

*Sezioni Biotic e Abiotic.*
Queste sezioni sono accomunate dalla stessa struttura e possono essere considerate paragonabili dal punto di vista dell'architettura. Esse contengono dati ed informazioni su patogeni forestali (*Biotic*) e su schianti da vento e da neve (*Abiotic*).
Le sezioni si basano su quattro diversi insiemi di dati di riferimento: *Loggings* (tagli); *Damages* (danni); *Memory sifted events* (questionario degli eventi "a memoria d'uomo"); *Case Histories* (casi di studio).

La sotto-sezione *Loggings* è concepita per visualizzare, per quelle regioni che hanno messo a disposizione dati di questo tipo a livello di parcella forestale, la distribuzione delle parcelle *outlying*. La piattaforma permette di interrogare il database a livello di provincia (*district*), sulla base dell'anno del taglio e, quando possibile, dello specifico agente di danno (patogeno oppure vento o neve). L'area *Download* ospita i *report* prodotti dai partner locali per sintetizzare e commentare i dati introdotti nella piattaforma.

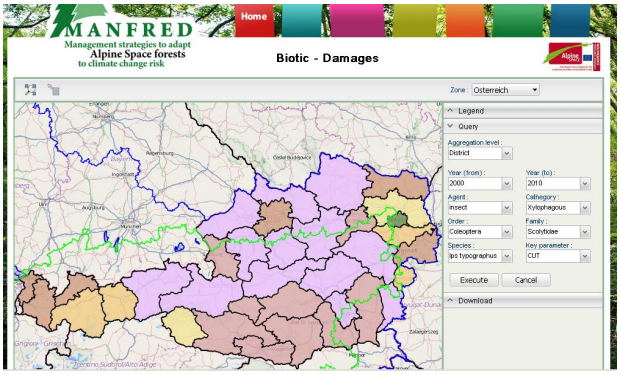



*Figura 3. Esempio di ambiente di interrogazione della sottosezione Damages: poligoni con aggregazioni per distretto.*

La sotto-sezione *Damages* permette di visualizzare e interrogare i dati sulla base degli attributi (volume tagliato, area danneggiata, numero di infestazioni segnalate, ecc.) forniti dai *partner* regionali ed utili per descrivere l'evoluzione spaziale e temporale (su base annua) dei fattori di disturbo biotici o abiotici sulle foreste locali.
La piattaforma è concepita per produrre query e visualizzare a livello di regione (NUTS2) o di provincia/distretto (NUTS3) e di filtrare su un'ampia gamma di attributi: periodo temporale, informazioni tematiche inerenti all'agente di danno (es.: per i patogeni, categoria, ordine, famiglia, specie, ecc.) ed altre chiavi di interrogazione.
Come nel caso precedente, un'area è dedicata al *Download* dei report regionali a chiosa e sunto dei dati introdotti nella piattaforma per ogni regione.

La sezione *Memory Sifted Events* (eventi "a memoria d'uomo") è invece una sezione **non geografica** della piattaforma, concepita per permettere all'utente di interrogare (ma non visualizzare su mappa) il *database* risultato dalla raccolta dei questionari distribuiti sul territorio dai *partner* di progetto, che hanno censito quegli eventi, come già detto, percepiti come **non ordinari**. I livelli di aggregazione delle informazioni possibili in questo caso sono la Provincia/Distretto, il fattore di danno e l'anno di occorrenza dell'evento. Il sistema propone poi la lista degli eventi selezionati secondo i parametri, riportando tutti i dettagli eventualmente introdotti nel questionario.

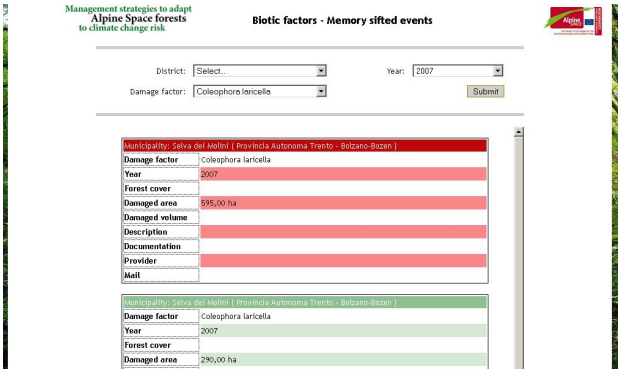



*Figura 4. Ambiente di interrogazione dei Memory Sifted Events (eventi "a memoria d'uomo").*

*Case histories.*
Le aree dedicate alle *Case Histories* (casi di studio) sono presenti in tutte le sezioni: *Fires*, *Abiotic* e *Biotic*. La piattaforma mostra in questo caso la distribuzione spaziale degli eventi casi di studio nell'arco alpino, indagati nell'ambito del progetto MANFRED. Il pulsante *Identify* permette di ottenere informazioni di base su ciascun caso di studio e di scaricare dal sito i *report* prodotti sui vari casi dai partner di riferimento nel progetto.

**Conclusioni.**
Il webGIS prodotto nell'ambito del progetto MANFRED costituisce il contenitore del vasto insieme di dati raccolti durante i tre anni di durata del progetto da tutti i *partner* della regione alpina e fornisce, sotto forma di un manuale di riferimento interattivo, una chiave utile alla consultazione e all'interpretazione di quegli stessi dati, restituendo anche una visione di insieme dello status del monitoraggio degli eventi di danno a carico delle foreste a scala alpina.
La possibilità di localizzare e reperire informazioni circa eventi estremi occorsi nel recente passato può dimostrarsi particolarmente utile e significativa in prospettiva gestionale per le amministrazioni locali e i professionisti del settore: informazioni di contatto relative ai referenti per i casi di studio sono state riportate sulla piattaforma webGIS stessa. Il confronto continuo e proficuo tra esperti e tecnici riguardo alle esperienze di questi eventi del recente passato e alle strategie da loro sviluppate nella gestione degli stessi può consentire sia di assimilare buone pratiche condivise, mettendo a disposizione una vasta gamma di conoscenze ed esperienze, utile a fronteggiare l'incertezza che caratterizza gli scenari di cambiamento climatico per il futuro prossimo.

Con specifico riguardo ai dati raccolti ed alle analisi condotte, è importante ricordare che:
- il *database* pan-alpino degli incendi è probabilmente ad oggi il più completo *set* di informazioni sugli incendi forestali disponibile a livello dello Spazio Alpino;
- pur con un'evidente elevata soggettività nel processo di segnalazione degli eventi, la collezione degli eventi "a memoria d'uomo" rappresenta il primo censimento georeferenziato disponibile a scala alpina, relativamente a eventi non ordinari di origine biotica e abiotica che hanno colpito le foreste delle Alpi negli ultimi decenni;
- tutti i casi di studio (34) ed i contenuti principali dei report regionali ed Alpino (20) sono stati integrati in un documento di progetto dal titolo "*Extreme stress events in the Alpine forests: management experiences based on recent occurrences*".

**Riconoscimenti.**
Questo lavoro è stato condotto nell'ambito del progetto Europeo MANFRED, finanziato dal Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale del Programma Spazio Alpino (numero di riferimento 15-2-3-D (MANFRED)). Un ampio gruppo di partner hanno cooperato nelle attività: ERSAF Lombardia; FVA. Forstliche Versuchs - und Forschungsanstalt BW; Slovenian Forest Service; Slovenian Forest Institute; Univ. Cattolica di Brescia; Ministero Italiano dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare; Univ. di Camerino; CEMAGREF Francia; IPLA e Regione Autonoma Valle d'Aosta; LWF. Bavarian State Institute of Forestry; WSL. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research; BOKU. University of Natural Resources and Life Sciences; BFW. Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape.

**Riferimenti bibliografici**

MANFRED project Official website, webGIS platform area. www.manfredproject.eu/webgis (ultimo accesso 28 Agosto 2012).

Faccoli M., Battisti A. (in press) Climate change and forest pests: models from the Alps - Canadian Journal of Forest Research.

Marini L., Ayres M. P., Battisti A., Faccoli M., 2012: Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. Climatic Change, DOI 10.1007/s10584-012-0463-z.

Lindner M., Maroschek M., Netherer S. et al (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. For Ecol Manag 259:698–709.

Faccoli M., (2009) Effect of Weather on Ips typographus (Coleoptera Curculionidae) Phenology, Voltinism, and Associated Spruce Mortality in the Southeastern Alps - Environ. Entomol. 38(2): 307-316 (2009).

Battisti A., Stastny M., Buffo E., Larsson S. (2006) A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly - Global Change Biology (2006) 12, 662–671, doi: 10.1111/j.1365 2486.2006.01124.x.

Boisvenue C., Running S.W. (2006) Impacts of climate change on natural forest productivity—evidence since the middle of the 20th century. Glob Change Biol 12:1–21.

Battisti A., Stastny M., Netherer S., Robinet C., Schopf A., Roques A., Larsson S. (2005) Expansion of Geographic Range in the Pine Processionary Moth Caused by Increased WinterTemperatures - Ecological Applications, Vol. 15, No. 6 (Dec., 2005), pp. 2084-2096.

Battisti A., (2004) Forests and climate change – lessons from insects. Forest@ 1 (1): 17-24. [online] URL: http://www.sisef.it/.

# Integrazione per la gestione ottimale dei sistemi a rete

Calogero Ravenna (*), Roberto Avanatti (*), Angelo Borzì (**), Francesco Di Salvo (**)

(*) ASA S.p.A. Via del Gazometro 9, 57122 Livorno, 0586242651, c.ravenna@asa.livorno.it,
(**) Idragest s.r.l. Viale Odorico da Pordenone 33, 95128 Catania, 0957144373, angelo.borzi@idragest.it

**Riassunto**
La presente memoria descrive il progetto svolto da ASA S.p.A., con il supporto della Idragest S.r.l., per la realizzazione di una piattaforma di integrazione tra differenti sistemi informativi aziendali finalizzata all'analisi delle reti gestite (GAS, Idriche e fognarie).
Il fine è quello di consentire una costante interazione tra il Sistema Informativo Utenze (SIU), il Sistema di Telecontrollo (SCADA) ed il Sistema Informativo Territoriale (SIT), per la creazione di una infrastruttura dati che possa consentire l'analisi territoriale e l'estrazione delle informazioni necessarie per le analisi idrauliche in particolare, ma anche ovviamente per le altre necessità aziendali.
Il progetto ha richiesto la definizione di una architettura che consentisse di affrontare efficacemente il problema della comunicazione tra modelli differenti (modelli spaziali, modelli di processi etc.).
Nello specifico sono state affrontate le problematiche di normalizzazione e georeferenziazione degli indirizzi per la creazione di una correlazione spaziale delle utenze e la conseguente associazione agli elementi della rete. Sono state studiate e definite le regole ed i criteri di interoperabilità dinamica tra le due piattaforme software e quelle per la creazione di modelli matematici (algoritmi) per consentire una accurata distribuzione dei consumi alle utenze.
Come esempio si riporta l'applicazione della metodologia alle reti GAS di ASA, si analizzano i risultati ottenuti e si descrivono i possibili futuri sviluppi.

**Abstract**
This memory describes a project carried out by ASA SpA, with the support of Idragest Srl for the realization of an integration platform between different business information systems for the analysis of networks operated (gas, water and sewage systems).
The goal is to allow a constant interaction between the Customer Information System (SIU), Remote Control System (SCADA) and the Geographic Information System (GIS), for creating a data infrastructure that would allow spatial analysis and the extraction of necessary information for the hydraulic analysis in particular, but also of course for other business needs.
The project required the definition of an architecture that would allow to effectively address the problem of communication between different models (spatial models, process models, etc..).
Specifically have been addressed issues of normalization and georeferencing of addresses for the creation of a spatial correlation of customers and the consequent association to network elements. During this process it was been developed and produced the rules and criteria for dynamic interoperability between the two software platforms and the rules for the creation of mathematical models (algorithms) to allow an accurate distribution of consumption to the users.
As an example, shows the application of the methodology to GAS ASA networks, we analyze the results and describe the possible future developments.

## Introduzione

Il processo di radicale trasformazione che ha interessato negli ultimi anni le aziende che gestiscono il Servizio Idrico Integrato in particolare e, più in generale, tutte quelle che si occupano di servizi di

pubblica utilità, ha comportato un notevole incremento della complessità . Le motivazioni di questo incremento di complessità sono da ricercare sicuramente nella crescita di estensione dei comprensori territoriali interessati da una gestione coordinata che necessita, quindi, di una adeguata base di conoscenza e di una forte integrazione accompagnata dalla condivisione di obiettivi e risorse.
Per la gestione della base di conoscenza sono ormai di uso consolidato sistemi software come i Sistemi Informativi Territoriali, i Sistemi SCADA, Sistemi Informativi Utenze, etc. Questi strumenti sono senz'altro in grado di gestire tutte le informazioni raccolte durante le fasi operative di gestione, consentendo inoltre di rendere fruibili tali informazioni alle diverse strutture operative distribuite sul territorio (attraverso opportune infrastrutture oramai consolidate: Client-Server, Web-based, etc.). Questi sistemi, essendo progettati e strutturati per la gestione di determinate categorie di informazioni, risultano particolarmente utili, per il supporto alla gestione operativa anche se spesso si rivelano non sufficienti ai fini del controllo direzionale o strategico dell'azienda.
E' quindi evidente che vi è la necessità di poter disporre di un sistema informativo che sia un valido supporto alla veicolazione delle informazioni necessarie alla gestione tecnica operativa e strategica di sistemi complessi e territorialmente distribuiti che rappresentano gli elementi costituenti la catena di produzione del valore legata al servizio idrico integrato.
In questo contesto opera l'azienda ASA Spa, soggetto gestore del Servizio Idrico Integrato (acquedotto, fognatura e depurazione) in un bacino d'utenza di circa 373.000 abitanti suddivisi in 33 Comuni appartenenti a 3 province (Livorno, Pisa e Siena), nel territorio in cui vigila l'Autorità Idrica Toscana - Conferenza Territoriale N°5 "Toscana Costa" (ex AATO 5). ASA opera anche nella distribuzione gas in 5 Comuni della provincia di Livorno con un bacino servito di circa 225.000 abitanti.
ASA è infine concentrata su linee strategiche nel campo della produzione energetica tradizionale (Gas naturale liquido) e alternativa (eolico e fotovoltaico).
In un contesto caratterizzato da una tale complessità è di vitale importanza la conoscenza del territorio (fisica e sociale) e delle proprie infrastrutture, per una gestione efficace ed efficiente di servizi di grande rilevanza per la comunità. La capacità quindi di gestire i dati e le informazioni, di utilizzarli al meglio per diminuire i costi di gestione mantenendo alta la qualità dei servizi forniti (unitamente alla costante attenzione per la salvaguarda della risorsa idrica) rappresenta un fattore sicuramente strategico a cui ASA presta la massima attenzione.
In questo scenario è facile immaginare la gran quantità di dati che vengono gestiti, spesso in sottosistemi informatici in differenti campi applicativi, e la complessità che ne deriva per correlarli, normalizzarli e rappresentarli in forma aggregata per un utilizzo diverso da quello puramente gestionale (es. cruscotto di performances).

**La metodologia proposta**

Affrontare le problematiche sopra esposte con un approccio finalizzato all'integrazione tra banche dati gestionali, e quindi caratterizzate dalla presenza esclusiva di dati alfanumerici (archivio utenze, gestione manutenzione, etc.), e banche dati geografiche (sistema informativo territoriale, etc.) ha rappresentato una sfida impegnativa condotta negli ultimi anni da ASA che ha fornito importanti risultati soprattutto nel supporto alla verifica delle reti. In questa attività ASA si è avvalsa della collaborazione della Idragest S.r.l., azienda che da anni si occupa della realizzazione di piattaforme di integrazione tra sistemi informativi di differente natura e di supportare le utilities nella analisi delle reti gestite attraverso la realizzazione e lo sviluppo di modelli matematici di simulazione.
L'approccio sopra menzionato ha richiesto un processo per fasi, concretizzato attraverso l'analisi e l'adattamento delle banche dati interessate dall'operazione di integrazione ed il successivo sviluppo delle procedure software di integrazione automatizzata ottenuta attraverso la personalizzazione del framework SIT2ERA prodotto dalla Idragest.
I paragrafi che seguono illustrano le fasi del progetto e l'applicazione ad un caso studio applicato alla realizzazione del modello matematico delle reti gas.

**Normalizzazione degli indirizzi e geocodifica**

Uno dei modi per poter più efficacemente rappresentare ed analizzare i dati gestionali è quello di georiferire il fenomeno che rappresentano per mezzo del loro indirizzo, rappresentato da comune + via (op in subordine località) + numero civico. Nel nostro caso è una operazione di fondamentale importanza per poter riportare i consumi sul grafo di rete e quindi poter adoperare compiutamente un modello idraulico.

Si è proceduto quindi con la georeferenziazione degli indirizzi, utilizzando le API messe pubblicamente a disposizione in Internet da Google, ottenendo quindi le coordinate geografiche da una stringa di testo tipo "Via, Numero Civico, Città".

| AC | ADDRESS | CAP | CIV | ID_CED | COMUNE | ID_SIT | STRADA | XEST | YNORD | FONTE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | Via Borgo alla Noce, 3, 57025 Piombino, Livorno (Toscana), Italy | 57025 | 3 | 27237 | PIOMBINO | 1 | B.GO ALLA NOCE | 1624613 | 4753375 | Google |
| 6 | Viale Rosa del Tirreno, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 21 | 20716 | LIVORNO | 11410 | V/LE ROSA DEL TIRRENO | 1606029 | 4821250 | Google |
| 6 | Viale Rosa del Tirreno, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 22 | 20716 | LIVORNO | 11411 | V/LE ROSA DEL TIRRENO | 1606029 | 4821250 | Google |
| 6 | Viale Rosa del Tirreno, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 23 | 20716 | LIVORNO | 11412 | V/LE ROSA DEL TIRRENO | 1606029 | 4821250 | Google |
| 6 | Viale Rosa del Tirreno, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 25 | 20716 | LIVORNO | 11413 | V/LE ROSA DEL TIRRENO | 1606029 | 4821250 | Google |
| 6 | Viale Rosa del Tirreno, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 33 | 20716 | LIVORNO | 11416 | V/LE ROSA DEL TIRRENO | 1606029 | 4821250 | Google |
| 8 | Via Roma, 193, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 193 | 20715 | LIVORNO | 14746 | VIA ROMA | 1606158 | 4821301 | Google |
| 8 | Via Roma, 203, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 203 | 20715 | LIVORNO | 14748 | VIA ROMA | 1606165 | 4821267 | Google |
| 8 | Via Roma, 207, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 207 | 20715 | LIVORNO | 14749 | VIA ROMA | 1606168 | 4821254 | Google |
| 8 | Via Roma, 217, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 217 | 20715 | LIVORNO | 14750 | VIA ROMA | 1606179 | 4821222 | Google |
| 8 | Via Roma, 219, 57127 Livorno, Livorno (Toscana), Italy | 57127 | 219 | 20715 | LIVORNO | 14751 | VIA ROMA | 1606182 | 4821215 | Google |
| 8 | Via Collodi, 16, 57022 Castagneto Carducci LI, Repubblica Italiana | 57024 | 16 | 21874 | CASTAGNETO CARDUCCI | 37451 | VIA COLLODI | 1626758 | 4782130 | Google |
| 8 | Via Collodi, 17, 57022 Castagneto Carducci LI, Repubblica Italiana | 57024 | 17 | 21874 | CASTAGNETO CARDUCCI | 37452 | VIA COLLODI | 1626761 | 4782133 | Google |
| 8 | Via Collodi, 19, 57022 Castagneto Carducci LI, Repubblica Italiana | 57024 | 19 | 21874 | CASTAGNETO CARDUCCI | 37453 | VIA COLLODI | 1626767 | 4782140 | Google |
| 8 | Via Collodi, 2, 57022 Castagneto Carducci LI, Repubblica Italiana | 57024 | 2 | 21874 | CASTAGNETO CARDUCCI | 37454 | VIA COLLODI | 1626713 | 4782082 | Google |
| 8 | Via Collodi, 20, 57022 Castagneto Carducci LI, Repubblica Italiana | 57024 | 20 | 21874 | CASTAGNETO CARDUCCI | 37455 | VIA COLLODI | 1626771 | 4782144 | Google |
| | ID_Stradario:6830 | 57128 | 23 | 20808 | LIVORNO | 6384 | VIA VICO GIAMBATTISTA | 1607471 | 4820247 | TeleAtlas |
| | ID_Stradario:10712 | 57017 | 5 | 21184 | COLLESALVETTI | 10505 | VIA FOSSOLI | 1609351 | 4828046 | TeleAtlas |
| | SIRA:Località SANT'ANTONIO | 57025 | 8 | 26864 | PIOMBINO | 3690 | VIA S.ANTONIO | 1621832 | 4760328 | SIRA |
| | SIRA: ASCA | 57025 | 1 | 26926 | PIOMBINO | 202 | LOC. ASCA | 1624984 | 4757545 | SIRA |

*Figura 1 – Tabella ottenuta importando gli indirizzi del DB Utenza, georeferenziati con API di Google o con il DB toponimi del SIRA (Sistema Informativo Regionale Ambientale). La prima colonna rappresenta l'accuratezza con la quale Google ha identificato l'indirizzo (vedi appendice 1).*

*https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/v2/*

Le API di Google descrivono l'accuratezza della geocodifica effettuata tramite il campo *accuracy* che può assumere valori da 0 a 9. Nella tabella di esempio mostrata in figura il valore 6 rappresenta un indirizzo georiferito nel punto medio del tratto stradale (numero civico inesistente o non trovato) mentre il valore 8 rappresenta un indirizzo georeferito sulla base di tutti i parametri passati.

**Attribuzione dei consumi al grafo di rete**

Effettuato il posizionamento geografico degli indirizzi disponibili, corrispondenti alle prese esistenti (punto di intersezione tra l'alaccio e la tubazione di distribuzione), è possibile effettuare l'associazione delle utenze, e dei dati di consumo ad esse associate, a tali civici. Si avrà quindi la presenza di una o più utenze in corrispondenza di ciascun indirizzo, ciascuna avente il proprio consumo relativo all'ultimo anno disponibile ed uno storico dei consumi annui registrati. In tal modo risulta possibile ottenere una distribuzione delle utenze, e quindi dei consumi, sul territorio molto vicina alla situazione reale. L'attribuzione dei consumi ai nodi del grafo della rete avviene attraverso la creazione automatica di un oggetto allaccio, costituito da un segmento fittizio che collega il civico, e quindi la presa, alla tubazione più vicina individuata attraverso una analisi di prossimità effettuata a partire dal civico stesso. Tale analisi di prossimità consiste nella ricerca, a partire dal nodo che rappresenta il civico, delle tubazioni aventi il medesimo nome via e più vicine a questo. L'eventuale presenza di più condotte sulla stessa via viene gestita attraverso la scelta della condotta di diametro più piccolo (nel caso della distribuzione idrica) o di bassa pressione (nel caso

di reti gas). In tal modo è possibile ottenere, già in maniera automatica un risultato del tipo indicato nella figura che segue.

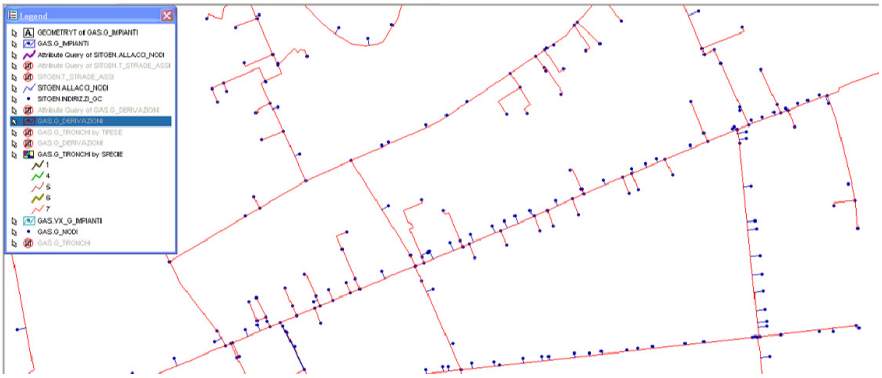



*Figura 2. Risultato dell'associazione degli indirizzi alle tubazioni della rete.*

Ovviamente, la procedura automatica può presentare delle inesattezze o fornire un risultato incompleto. Questo può essere fondamentalmente legato a due motivi principali:

- Non esiste il civico a cui associare l'utenza proveniente dall'estrazione dati SIU;
- Non esiste, o non esiste in prossimità, di un determinato civico una condotta a cui si possa associare il civico stesso.

Il primo caso è legato alla mancanza di informazioni adeguate relative al civico della presa o dell'utenza. In tali casi, il problema viene risolto, laddove possibile, con specifiche analisi, condotte anche sul campo, mirate alla precisa individuazione geografica delle prese, oppure attraverso la distribuzione di tali utenze sulla via, e quindi sulla tubazione, considerata proporzionalmente alle utenze associabili.
Il secondo caso è legato alla presenza di utenze su determinate strade secondarie, o piazze, che vengono allacciate alle strade principali. In questo caso il problema viene risolto attraverso una estensione dell'analisi di prossimità condotta attraverso la ricerca topologica, sul grafo stradale, delle strade connesse a quella in esame, alla verifica della presenza di una tubazione in tale strada e l'associazione dei civici a quest'ultima.

**Utilizzo dei dati per la modellazione idraulica**

Una volta creata l'associazione tra le utenze e le condotte della rete è possibile effettuare la preparazione dei dati e la successiva esportazione degli stessi per l'utilizzo all'interno del software di modellazione matematica. Il principio di analisi di un modello matematico di una rete di fluidi (acqua o gas) è basato, oltre che sulla corretta impostazione di tutti i parametri fisici della rete riguardanti la distribuzione delle fonti di approvvigionamento (serbatoi o cabine di trasformazione), le tubazioni (diametri, materiale) e la loro connessione topologica, anche sulla attribuzione delle erogazioni che avvengono dalla rete verso l'esterno (consumi delle utenze e perdite nel caso delle reti idriche) ai nodi della rete stessa.
Appare quindi chiaro come, ai fini della corretta costruzione di un modello matematico, assuma particolare importanza la corretta distribuzione delle utenze (e quindi dei consumi) ai vari nodi della rete in quanto consente già di ridurre una le incertezze, semplificando così la successiva fase di calibrazione vera e propria.
Il principio utilizzato nella metodologia proposta per l'attribuzione dei consumi delle utenze sui nodi della rete, ai fini della modellazione idraulica delle reti, è basato su una distribuzione per vicinanza. La distribuzione delle utenze (e dei relativi consumi) su ciascun nodo avverrà associando

a questo tutte le utenze che si trovano allocate in ciascuna delle tubazioni in esso afferenti fino ad una distanza pari alla metà della lunghezza di ciascuna tubazione.
Successivamente, utilizzando procedure informatiche inserite all'interno del software di modellazione matematica, vengono create un numero di zone di consumo pari alle vie del comune considerato che contengono utenze. A tali zone di consumo, vengono associate il numero di utenze ed una dotazione media ricavati dal numero di utenze e dai consumi disponibili, in maniera integrata e strutturata, all'interno della banca dati SIT. A questo punto a ciascun nodo viene associato un peso rispetto alla zona dato dal consumo complessivamente erogato da quel nodo rispetto al consumo totale dell'intera zona considerata. Il sistema è stato studiato e realizzato in maniera tale che sia possibile distinguere tra le differenti tipologie di consumo, anche per la stessa via, avendo quindi la possibilità di creare, per la medesima via una zona di consumo civile, industriale, commerciale etc.
L'immagine riportata in figura 3 riporta l'intero processo di integrazione tra la banca dati SIT e la banca dati Utenze, l'attribuzione delle utenze alle tubazioni all'interno del SIT e la successiva fase di accorpamento, associazione ai nodi della rete ed importazione all'interno del software di modellazione matematica.

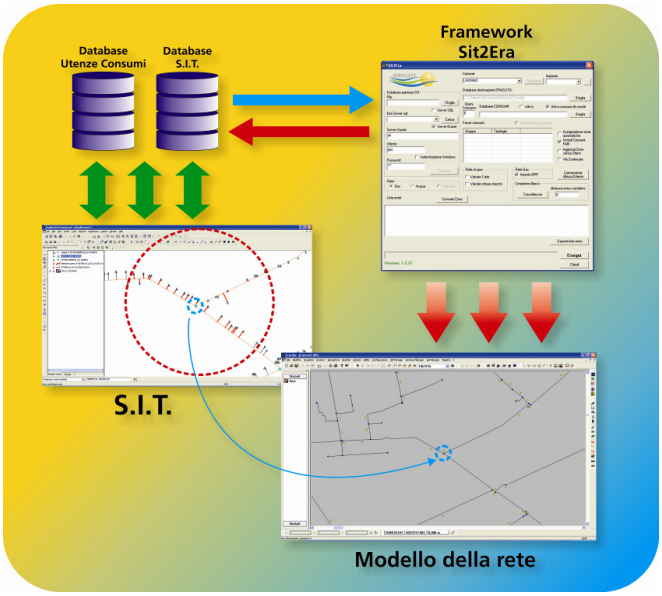



*Figura 3. Modellazione delle interazione tra i sistemi considerati.*

**Il caso studio**
Il caso studio illustrato riguarda l'applicazione della metodologia sopra esplicitata all'integrazione delle piattaforme software di gestione delle utenze, il Sistema Informativo Territoriale ed il software di modellazione matematica. Il tutto finalizzato all'analisi delle reti gas di media e bassa pressione gestite da ASA.
Nel dettaglio le piattaforme oggetto di integrazione considerate sono costituite dal Sistema Informativo di gestione delle Utenze Net@ di Engineering, il Sistema Informativo Territoriale Geomedia di Integraph. Entrambe le piattaforme oggetto di integrazione si basano su una infrastruttura di gestione dati basata su Oracle. Il software di modellazione idraulica utilizzato per l'integrazione è Eraclito di Proteo.
In linea con quanto sopra esposto l'integrazione ha riguardato l'integrazione tra il sistema informativo utenze ed il sistema informativo territoriale attraverso l'importazione delle utenze e dei

relativi consumi all'interno di quest'ultimo e l'associazione alle tubazioni della rete e da questo ai nodi di quest'ultima. Particolare attenzione è stata posta, in questo caso, alle utenze particolarmente critiche, ovvero quelle particolarmente energivore attraverso il controllo dell'esatta ubicazione e l'associazione delle stesse alla rete di media pressione dove sono effettivamente allacciate.

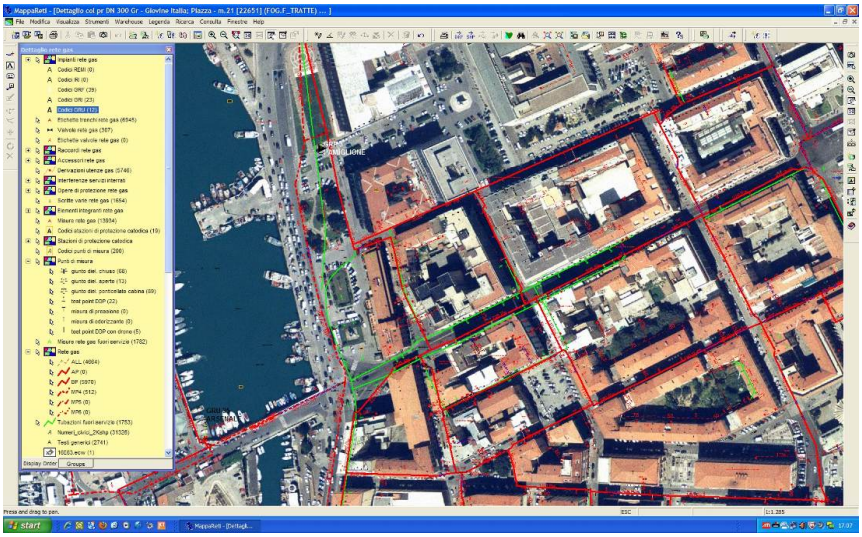


*Figura 4. La rete considerata all'interno del software SIT di ASA.*

L'applicazione della metodologia sviluppata alle piattaforme suddette ha quindi consentito, ai tecnici deputati della attività di verifica delle reti di ottenere direttamente, a partire da Sistema Informativo Territoriale, il modello idraulico della rete da analizzare con una distribuzione accurata dei consumi delle utenze.
A valle della fase di importazione dei dati all'interno del software di modellazione matematica è stato quindi possibile analizzare, in maniera dettagliata, la distribuzione delle pressioni e delle portate sulla rete confrontandole con le misure provenienti dal campo al fine di ottenere una corretta calibrazione del modello. Tale confronto ha consentito di evidenziare le anomalie presenti sulla rete sia in termini di associazione delle utenze, sia per la presenza di colli di bottiglia, distribuzione dei carichi sulle cabine di trasformazione non ottimale, chiusura di determinati tratti, etc. L'individuazione chiara e puntuale delle anomalie presenti ha consentito non solo di calibrare il modello matematico della rete, rendendolo così aderente alla realtà, ma anche, cosa ben più importante, di studiare ed analizzare una serie di scenari di ottimizzazione tra loro cooperanti o concorrenti per la risoluzione delle anomalie presenti, l'ottimizzazione ed il potenziamento della rete esistente.
L'immagine che segue riporta il modello di Eraclito ed alcuni degli scenari realizzati per l'analisi delle possibili ottimizzazioni per la rete di media pressione di Livorno.

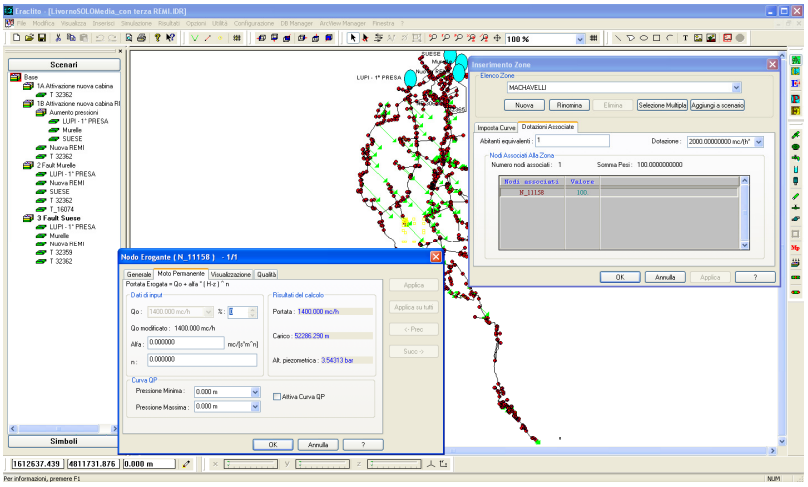


*Figura 5. Alcuni degli scenari realizzati per l'analisi delle possibili ottimizzazioni della rete studiata.*

Il confronto di tali differenti scenari, e la conseguente analisi costi-benefici, ha consentito ad esempio di escludere la realizzazione di una nuova cabina RE.MI. a favore della realizzazione di una nuova interconnessione con una rete limitrofa con conseguente necessaria sostituzione di una tubazione con una di diametro maggiore. Tale scelta ha comportato un notevole risparmio nell'investimento necessario per il potenziamento della rete oltre che una maggiore robustezza ed una più razionale distribuzioni delle pressioni sulla rete stessa.

**Conclusioni**

Nella presente memoria è stato presentato un approccio mirato alla integrazione tra differenti piattaforme software a supporto delle attività operative di gestione delle reti di fluidi (acqua, gas e fognature) quali il sistema informativo utenze ed il sistema informativo territoriale. Il tutto è finalizzato a fornire una piattaforma comune di disponibilità delle diverse informazioni necessarie per condurre analisi dei sistemi mirate alla individuazione di eventuali anomalie e/o criticità nonché allo studio delle migliori strategie da attuare per la loro risoluzione e l'ottimizzazione dei sistemi stessi.

In questa fase, come mostrato attraverso l'esplicitazione del caso studio, è stato affrontato il problema dell'integrazione tra i suddetti sistemi ed il sistema di modellazione matematica finalizzato, in particolare, all'ottimizzazione della rete gas.

Il progetto ha, più in generale, riguardato l'intero sistema di reti idriche, gas e fognarie gestito da ASA le cui dimensioni globali sono riportati nella seguente tabella.

| Rete | Impianti | Mt rete | Nodi |
|---|---|---|---|
| GAS | 390 | 688.185 | 19.413 |
| Idrica | 1413 | 3.397.298 | 33.461 |
| Fognaria | 347 | 1.150.567 | 22.002 |

*Figura 6. Tabella esplicativa delle dimensioni delle reti idriche, gas e fognature gestite da ASA S.p.A.*

Sul totale delle reti considerate è stata effettuata l'operazione di associazione tra le utenze, gli indirizzi di ubicazione e le reti di riferimenti (acqua, gas e fognatura). I risultati di tale integrazione vengono riportati nella tabella seguente.

| | | |
|---|---|---|
| Totale Utenti | 275.000 | |
| Totale indirizzi (via+civico+comune) | 94.638 | |
| Totale indirizzi georeferenziati | 92.863 | Coordinate ottenute anche solo con via/Località |
| Indirizzi non georeferenziati | 1.775 | Non è stato possibile identificare via/località |
| Civici mancanti | 6.241 | Civico assente in banca dati CED |
| | | |
| Totale indirizzi georeferenziati con via e civico | 62.041 | |
| Georeferenziati solo con via | 22.153 | La coordinata è stata ubicata nel punto medio sull'asse stradale |
| Georeferenziati solo con località | 8.669 | La coordinata è stata ubicata in corrispondenza del toponimo |
| | | |
| Civico non trovato | 24.581 | Civici errati o non presenti nelle banche dati interfacciate |
| civico mancante | 6.241 | |
| | | |
| Georeferenziati con Google | 84.457 | |
| Georeferenziati con Stradario Teleatlas | 1.630 | |
| Georeferenziati con Sira | 5.297 | SIRA (Sistema Informativo Regionale dell'Ambiente della Toscana) |
| Georef con altro | 1.479 | |

*Figura 7. Tabella dei risultati dell'integrazione tra sistema informativo utenze e sistema informativo territoriale.*

Il sistema così realizzato, per il caso studio presentato, ha consentito di ottenere una base di informazioni affidabile per la realizzazione di un modello matematico della rete gas di media pressione della Città di Livorno, consentendo così ai tecnici di effettuare analisi costi/benefici accurate per la valutazione di diverse tipologie di investimento da realizzare per la risoluzione di particolari criticità presenti sulla rete ai fini di una pianificazione consapevole delle risorse.
Il sistema di integrazione siffatto si presta inoltre a fornire un valido strumento di analisi sulla distribuzione territoriale dei consumi delle utenze che può fornire un'utile base di conoscenza per analisi statistiche finalizzate alla stima delle risorse necessarie o, per le reti di distribuzione idrica, al calcolo di bilanci idrici per la determinazione delle perdite sulle reti o su distretti specifici.
L'uso della piattaforma di integrazione ai suddetti fini accoppiata alla necessaria estensione dell'integrazione verso sistemi di monitoraggio e controllo rappresentano quindi le prossime sfide che si affronteranno nello sviluppo del presente progetto.

**Bibliografia**

Cappellesso M, Conchetto E, Boscolo I, Giannotti V. (2011), " Un sistema informativo interoperabile per la gestione evoluta del servizio idrico integrato ", *Atti 15a Conferenza ASITA 2011*, 15-18 novembre 2011, Colorno, 593-604
D'Alesio F, Hopfgartner P, Viskanic P. (2011), " FreeGIS – Dati e strumenti geografici liberi", *Atti 15a Conferenza ASITA 2011*, 15-18 novembre 2011, Colorno, 831-836
Putaggio A, Candela G, Pirrello S, Scuderi T, Ribaldo M, Lottero B. (2011), "Sinergia tra sistemi informativi territoriali e registro tumori: la georeferenziazione dei dati del Registro Tumori di Trapani", *Atti 15a Conferenza ASITA 2011*, 15-18 novembre 2011, Colorno, 1807-1814
Barzaghi R, Cazzaniga N.E. (2010), " Un database aziendale per la tracciabilità dell'aggiornamento dei sottoservizi", *Atti 14a Conferenza ASITA 2011*, 9-12 novembre 2010, Brescia, 193-197
Schifani C, Rossetto R, Borsi I, Primicerio M, Mogorovich P, Bonari E. (2010), " Simulazione e sistemi idroinformatici per la gestione della risorsa idrica ", *Atti 14a Conferenza ASITA 2011*, 9-12 novembre 2010, Brescia, 1591-1596
Borzì A., Scarpulla F., Cristaldi G., Trapanotto D. (2007), "L'integrazione di sistemi per il calcolo automatico del bilancio idrico", *Terzo seminario su "La ricerca delle perdite e la gestione delle reti di acquedotto"*, Perugia 20-21 settembre 2007

# Consumo del suolo, antropizzazione, alluvioni e reti ecologiche. Alcune considerazioni di metodo

Luca Simone Rizzo (*), Raffaela Gabriella Rizzo (**), Paolo Tizzani (***)[1]

(*) Università degli Studi di Padova, Dip. di Scienze Storiche, Geografiche e dell'Antichità, Via del Santo 26, Padova, lucasimone.rizzo@unipd.it
(**) Università degli Studi di Brescia, Dip. di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente, Via Branze 43, 25123 Brescia, raffaela.rizzo@ing.unibs.it;
(***) Università degli Studi di Torino, Dip. di Produzioni Animali, Epidemiologia ed Ecologia, Via Leonardo da Vinci 44, Grugliasco (TO), paolo.tizzani@unito.it

**Riassunto**

Gli eventi alluvionali in Italia del 2010 e 2011 hanno sottolineato il tema della *governance* territoriale delle acque e hanno evidenziato come il consumo di suolo e l'antropizzazione siano concause degli eventi catastrofici di carattere alluvionale. Tutto ciò anche alla luce della Direttiva 2007/60/CE. A riguardo, numerosi sono gli studi multidisciplinari (Nardini A., *et al*. 2008; Tambyzer H., et al., 2010) e i progetti (UR-flood, RISK MAP…). Per il Veneto la tematica ricade in una delle sette azioni per aggiornare il Piano Territoriale Regionale di Coordinamento: "azione difesa idraulica e sismica del territorio" (cfr. le relazioni tenute il 9.07.2012 a Villa Cordellina nell'incontro organizzato dalla Regione Veneto, http://www.ptrc.it/paesaggio/?p=645).
Il contributo in primis si focalizza sull'uso dei suoli e sulla accentuata antropizzazione (Rizzo L.S., Rizzo R.G., Tizzani P., 2012). Intende poi evidenziare la relazione tra governo del territorio (water-related e water-based), emergenze ambientali e reti ecologiche. Ciò anche in ragione degli obiettivi dell'UE (cfr. Life+ 2012). La prima parte riprende i risultati di una ricerca da poco conclusa e dà spunti sull'approfondimento ora in corso; la seconda ne presenta una *in itinere*. Per entrambe si sono esaminate, come caso di studio, le provincie di Verona e Vincenza con un confronto diacronico, concentrandosi anche sulle aree dei torrenti esondati nel 2010.
Lo studio pone al centro la "capacità di portata del territorio" (ormai al limite) ricorrendo a tecniche GIS e di telerilevamento. L'analisi si incentra sul periodo 1980-2007/8 (i dati - Corine Land Cover, Regione Veneto, Landsat – sono stati trattati separatamente, vista la mancata omogeneità). Si evidenzia il percorso involutivo del territorio scattando una fotografia del costruito/antropizzato; questo al fine di individuare le aree maggiormente critiche. In un simile quadro appare quanto mai appropriato ragionare anche sugli effetti del cambiamento indotto dall'uso del suolo sulla biodiversità e sulle reti ecologiche. In un contesto in cui le aree urbanizzate si stanno espandendo con una spiccata tendenza a "fondersi" la minaccia alla conservazione della "connettività ecologica" del territorio è molto elevata. Se essa viene compromessa si rischia che le popolazioni animali si frammentino in nuclei isolati perdendo le prospettive di vitalità sul lungo periodo. Intento di questa ultima parte del lavoro è valutare come l'antropizzazione ponga a rischio i corridoi ecologici e la conservazione della biodiversità nel Veneto occidentale, facendo una proposta di metodo.

**Abstract**

The Italian floods of the years 2010 and 2011 highlighted the topic of the territorial governance of the waters related to land uptake, above all thinking about the EU Water Framework Directive

[1] Pur nell'unità di intenti, Rizzo Raffaela Gabriella ha redatto i paragrafi 1 e 2.1, Rizzo Luca Simone i paragrafi 2, 2.2 e 4 e Paolo Tizzani il paragrafo 3.

2007/60/CE. Many are the multidisciplinary researches (Nardini A., et al. 2008; Tambyzer H., *et al*., 2010), as well as the projects (UR-flood, RISK MAP…).
The paper focuses first of all on land use and the related significant anthropizzation (Rizzo L.S., Rizzo R.G., Tizzani P., 2012). Then it highlights the relationship between territorial governance (water-related and water-based), environmental disasters and ecological networks. This considering also the EU aims (see Life+ 2012). The first part refers to the results of a recently finished study; the second presents one in progress. In both we examined, as a case study, the Provinces of Verona and Vicenza with a diachronic comparison focused on the areas of streams flooded in 2010.
The research core is "the capacity" that the territory can bear (now at its limit) using GIS and remote sensing techniques. The analysis focuses on 1970-2007/8 and on the Chiampo/Alpone basin. It shows a high hydrological risk. The CORINE Land Cover, Regione Veneto, ISTAT and Landsat datasets were analyzed separately due to the lack of homogeneity. We will put the attention on the territory involutive process taking a picture of the built up/anthropized environment close to the streams. This to identify the more critical areas. In such a situation it seems appropriate to think about the effects of the land use change on biodiversity and on ecological networks. In a context of urban enlarging zones with a significant trend of "merging" the threat to the preservation of land "ecologic connectivity" is extremely high. If it is compromised the risk is a fragmentation of the animal populations in isolated groups. This means the lack of vital perspectives in a long term period. The aim of this last part of the research work is to evaluate how anthropizzation could put ecological corridors at risk, as well as the biodiversity of the Western Veneto Region. See our proposed method below.

## 1. Introduzione

I disastri ambientali (alluvioni, inondazioni, terremoti…) che anche di recente hanno colpito l'Italia - ma non solo – portano sempre più all'attenzione il complesso rapporto tra la natura e l'operato dell'uomo. Sovente ci si chiede fino a che punto quest'ultimo si spossa spingere nel tentativo di "piegare" la natura per sfruttarne le risorse. E fino a che punto possa continuare a considerare l'ambiente come un qualcosa di "esterno" da sé. Da tempo a livello nazionale e sovranazionale vengono emanate norme, direttive e regolamenti[2] [cfr. il punto di vista di Salvatore Settis sul dedalo delle leggi nazionali: Settis, 2010)]. Vengono redatte - a loro sostegno - cartografie/rappresentazioni a diverse scale sul cosiddetto *global planetary change* (si cita per tutti il recente autorevole intervento di: de Mulder, 2012), sull'uso del suolo, sulla biodiversità[3], ecc; strumenti tutti che dovrebbero aiutare a far sì che quanto detto in apertura non accada. Molti sono ancora i problemi non risolti e numerosi attualmente i fronti su cui intervenire per affrontare fenomeni complessi quali quelli sopra menzionati.
In questo contributo si prenderanno in esame i rischi e le conseguenze – più o meno consapevoli - di politiche territoriali manchevoli e non sufficientemente integrate o innovative nella gestione di territori soggetti a rischio di inondazioni/esondazioni (Warner, 2011), dei quali l'"alluvione"

[2] Si vedano tra le altre: Direttiva 2007/60/CE "relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvionali"; Direttiva 2008/32/CE "che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque"; Direttiva 2008/105/CE "relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque"; Decisione della CE COM(2011) 571 del 20/09/2011, final "Roadmap to a Resource Efficient Europe" (cfr. § 4.6 "Land and Soil", p. 16); Relazione della Commissione COM (2009) 156 "concernente i programmi di monitoraggio dello stato delle acque"; Direttiva Convenzione Internazionale sulla Diversità Biologica, 2000; Direttiva Europea Habitat (92/43/CEE); Convenzione Europea del Paesaggio (Firenze, 20 ottobre 2000; ratificata dall'Italia nel 2006); Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.L. n. 42/2004 e successive modifiche); Strategia Pan-Europea sulla Diversità Biologica e del Paesaggio (Rio de Janeiro, 1992); Legge Quadro 394/1991 per le Aree Protette; Comunicazione della Commissione "Arrestare la perdita della biodiversità entro il 2010 e oltre. Sostenere i servizi ecosistemici per il benessere umano" (COM (2006) 2016).

[3] Si vedano ad esempio: la Carta Digitale delle Regioni Ecologiche d'Europa (DMEER; cfr. http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/dmeer-digital-map-of-european-ecological-regions); il Progetto CORINE Land Cover (http://www.sinanet.isprambiente.it/it/coperturasuolo); il WebGIS del Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (http://www.pcn.minambiente.it/GN/); le rappresentazioni dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (http://www.ingv.it/it/).

avvenuta nel 2010 nella provincia di Verona è, per l'appunto, solo un esempio (Sambugaro, 2012). Il depauperamento del territorio che contribuisce a rendere più impattanti simili disastri naturali tocca in particolare - tra i molti che si potrebbero elencare – tre elementi base del sistema uomo-ambiente: la risorsa "uomo", il patrimonio culturale e quello paesaggistico in senso lato (Shaw, 2012). Ecco perché in una prima fase dello studio ci si è concentrati – ricorrendo a tecniche GIS (e di telerilevamento) - sul capire quale fosse il "peso" dell'antropizzato, focalizzando soprattutto sul tasso di sfruttamento del suolo in termini di "costruito" ed evidenziando il percorso involutivo del territorio scattandone una fotografia - anche in vicinanza delle aste fluviali - per individuare le aree maggiormente critiche (§ 2). In un secondo momento, invece, si è ampliata la portata della riflessione interrogandosi sulle implicazioni di tale costruito – in termini di cementificazione – rispetto alla Rete Natura 2000, data l'estensione delle ZPS e SIC nel Veneto e nelle due province sotto analisi (cfr. § 3 e tabella 2).

| | BL | PD | RO | TV | VI | VE | VR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N. ZPS | 15 | 7 | 4 | 16 | 6 | 19 | 12 |
| Siti ZTP interprovinciali | 4 | 3 | 1 | 6 | 3 | 2 | 1 |
| Estensioni ZPS (ha) | 181.481 | 22.367 | 25.402 | 23.763 | 33.185 | 58.001 | 15.945 |
| N. SIC | 30 | 8 | 8 | 23 | 12 | 20 | 19 |
| Siti SIC interprovinciali | 5 | 6 | 2 | 9 | 3 | 5 | 2 |
| Estensioni SIC (ha) | 171.855 | 21.427 | 25.846 | 27.859 | 49.505 | 50.474 | 22.915 |

*Tabella 1. Estensioni ZPS e SIC della Regione Veneto. Fonte: dati reperibili sul sito della Regione Veneto (http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Reti+Ecologiche+e+Biodiversit%C3%A0/)*

## 2. Uso del suolo, antropizzazione e cementificazione nel Veneto occidentale: spunti da una ricerca in via di approfondimento

Come illustrato in lavori recentemente presentati durante consessi nazionali e internazionali[4] le provincie di Verona e Vicenza – in linea con *trend* riscontrati in altre porzioni del territorio regionale – paiono interessate da livelli crescenti di consumo suolo (sempre più antropizzato e urbanizzato, più nello specifico).

La resa cartografica dei dati scaricati dal Geoportale della Regione Veneto[5] e il calcolo del consumo di suolo (valutato rapportando la superficie artificiale e ad uso agricolo al totale di quella provinciale o comunale - laddove si è ritenuto opportuno indagare situazioni specifiche) hanno consentito di scattare istantanee che ritraggono la situazione corrente in modo abbastanza veridico. Una volta estratti i poligoni relativi alle due provincie – se necessario riclassificati – si è prima proceduto ad una classificazione del dato al macro-livello 1, poi all'esecuzione di procedure di *overlay* topologico (per verificare eventuali passaggi di classe) e al calcolo di indici vegetazionali (per una trattazione più completa sulle operazioni GIS e di telerilevamento utilizzate – nonché sulla tipologia di supporti utilizzati – non ci si dilunga, rimandando per maggiori dettagli a: Rizzo, Tizzani, 2012). Ci si limita qui a dare solo qualche cenno, prima descrivendo la situazione in cui vertono il veronese e il vicentino e poi "zoomando" su realtà comunali che paiono ben esemplificare le tendenze riscontrate.

### 2.1 Consumo di suolo e cementificazione nella provincie di Verona e Vicenza: per un confronto inter-temporale sul dato regionale

Per brevità e ragioni di spazio – ma soprattutto per la più alta risoluzione rispetto a quella di altre fonti [quali il *dataset* CLC (1990-2000-2006)] – si limita la descrizione ai risultati dell'analisi del dato regionale di più recente produzione (2009), confrontandolo con quello relativo agli inizi degli anni '80.

[4] Nello specifico: 13ª conferenza utenti ESRI, Roma 17/19 aprile 2012; terzo Congresso EUGEO "Geography's Stake in Europe: People, Environment, Politics", Londra 29-30 agosto 2011.

[5] Creati nel 2009 sulla base di rilevazioni avvenute per la maggior parte nel 2008.

Contrariamente a indicazioni provenienti dal mondo accademico[6] e all'enfasi (più o meno giustificata) posta da entità sopranazionali (UE) sulla necessità di orientare lo sviluppo urbano e territoriale verso modelli (più) "compatti", un rapido esame della distribuzione delle superfici artificiali e dell'agricoltura conferma la crescente diffusione insediativa secondo modelli ad alto consumo di suolo e risorse (fenomeni che si accompagnano ovviamente ad una maggiore dispersione della popolazione e delle attività sul territorio). Al 2009 la prima classe – "superfici modellate artificialmente" - si attesta sul 14,74% del totale, nel caso del veronese, e sul 15,35% nel caso del vicentino; le superfici agricole utilizzate, invece, coprono rispettivamente il 59,5% e il 39,7% del territorio (figura 1). Inoltre, un rapido esame della situazione dagli anni '80[7] evidenzia variazioni percentuali del consumo di suolo rispetto alla superficie già urbanizzata nel periodo 1983 – 2006 dell'ordine di circa il 22% per la provincia scaligera e del 9,6% per Vicenza[8] (con larga parte della superficie interessata da cambiamenti di destinazione d'uso per lo più a favore della prima classe[9]).

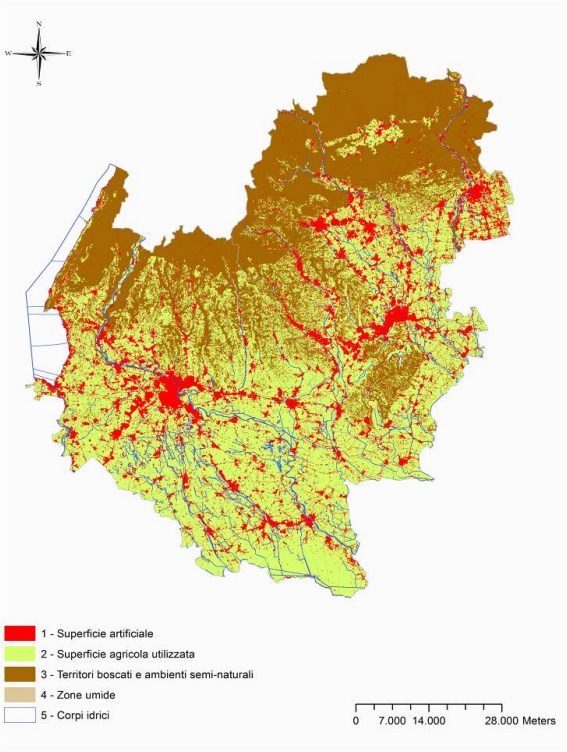



*Figura 1. Distribuzione spaziale delle superfici al primo livello di classificazione. Elaborazione di L.S. Rizzo su dati della Regione Veneto (2009).*

[6] Per una trattazione si rimanda a: Detragiache (2003).
[7] I dati sono stati forniti dal Servizio cartografico della Regione Veneto, che qui si ringrazia.
[8] Sebbene in merito vada approfondita l'analisi, il fenomeno – come altrove in Italia – è presumibilmente legato principalmente a driver quali rendita fondiaria e valorizzazione del suolo a fini urbani nonché alla difficoltà nello scegliere "la città" come ambito dove vivere a causa di valori immobiliari (ancora) elevati (nonostante la crisi).
[9] Dato su cui si sta ancora – va detto – lavorando e, quindi, da non considerarsi se non provvisorio.

**2.2 "Esperienze" comunali nel veronese: un'analisi a livello locale**

Convinti che le lezioni tratte dallo studio della realtà regionale e provinciale debbano essere integrate con – e "validate" da - valutazioni effettuate anche a livello locale, in questo paragrafo si discute a titolo esemplificativo la situazione di quattro comuni su cui va posta un'attenzione particolare: due dislocati nella cintura peri-urbana del capoluogo (San Martino Buon Albergo e San Giovanni Lupatoto) e due su un corridoio viario portante Verona - Vicenza (Caldiero e Colognola ai Colli). Qui si dà solo qualche spunto, consapevoli che l'analisi GIS in via di implementazione ne richiederebbe anche una maggiormente dettagliata di foto aeree e d'archivio, di immagini satellitari nonché di carattere più qualitativo (tramite interviste ad attori e testimoni privilegiati o indagini documentarie). Sebbene si tratti di ambiti territoriali classificati (a vario "titolo") come "rurali"[10], il fenomeno di conversione di suolo - derivante soprattutto dall'espansione delle aree urbane e produttive (Rizzo L.S., 2009) – registra valori ben al di sopra della media provinciale e le cui dinamiche nel tempo potrebbero pesantemente influenzare la qualità della vita. Sempre utilizzando il software ArcGIS 10.1 sono stati classificati i dati regionali al livello 1, mostrando così la crescita del suolo urbanizzato che si attesta ormai rispettivamente sul 41% nel caso di San Giovanni Lupatoto, sul 24,2% in quello di Caldiero, sul 22,8% per San Martino Buon Albergo e sul 19,8% per Colognola ai Colli (figura 2 e 3). Approfondendo l'analisi al livello 2 e 3 ci si accorge che il fenomeno interessa classi considerate abbastanza impermeabili (al 50%) come la 1.1, la 1.2 o la 1.3. Su questo, tuttavia, non ci si addentra per motivi di spazio.

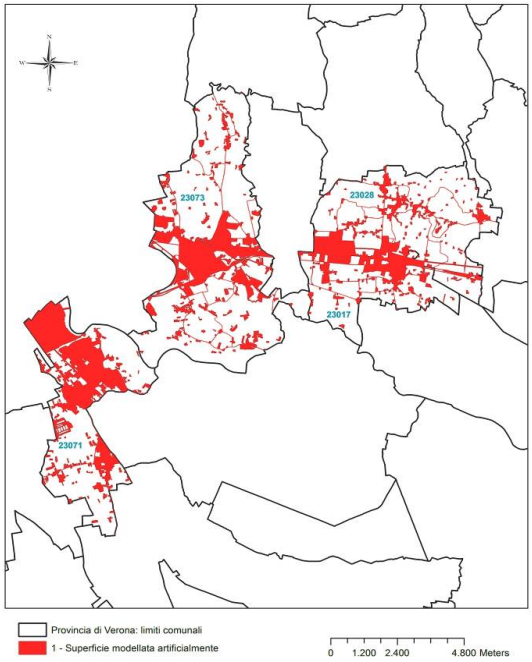



*Figura 2. L'immagine ritrae la superficie modellata artificialmente nei comuni ora oggetto di approfondimento. Per non appesantire la mappa e identificare i comuni si è deciso di indicare i rispettivi codici ISTAT (23071 – San Giovanni Lupatoto; 23073 – San Martino Buon Albergo; 23017 – Caldiero; 23028 – Colognola ai Colli).*

[10] Per maggiori dettagli sullo schema di classificazione delle aree rurali si rimanda al Programma di Sviluppo Rurale per il Veneto 2007-2013 (cfr. tabella 3.1.1, p. 11). I comuni che presentano una densità inferiore ai 150 abitanti per chilometro quadrato sono considerati rurali. Sono previste, in ogni caso, tre tipologie di aree (secondo il metodo OCSE): prevalentemente rurali, significativamente rurali e prevalentemente urbanizzate.



*Figura 3. Le foto (di Luca Simone Rizzo, 2011 e 2012) ritraggono un esempio dei vari cantieri ancora aperti in San Martino Buon Albergo (comune veronese dove il fenomeno di consumo e conversione di suolo ha subito un'accelerazione e assunto connotati – quasi – allarmanti negli ultimi tre anni; fatto che non emerge dal dato regionale più recente, quello al 2009).*

## 3. Antropizzazione del costruito e reti ecologiche: una biodiversità a rischio? Risultati di un'analisi GIS del *land use*

Come detto, l'obiettivo di questa parte del lavoro è stato verificare l'effetto della cementificazione del territorio delle province di Verona e di Vicenza sulla Rete Natura 2000 (Buffa, Lasen, 2010; Servizio Rete Natura 2000, s.d.; Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – DPN, s.d.). Più nello specifico si è voluto verificare l'effetto dell'antropizzazione in due modi differenti: i) effetto diretto sul sito: valutazione dell'antropizzazione diretta dell'aria protetta; ii) effetto intorno al sito: valutazione di come e se l'antropizzazione intorno alle aree protette stia limitando il loro ruolo di corridoi ecologi per lo spostamento delle specie animali.

### 3.1. Metodologia

Per ottemperare agli obiettivi esposti sono state utilizzate le seguenti fonti cartografiche: a. limiti amministrativi delle Province di Verona e Vicenza (formato .shp); b. cartografia dei confini di SIC e ZPS della Rete Natura 2000 nelle Province di Verona e Vicenza (formato .shp); c. cartografia di uso del suolo della Regione relativa all'anno 1983 (formato .shp); d. cartografia di uso del suolo della Regione relativa all'anno 2006 (formato .shp).

Il primo obiettivo i) è stato raggiunto mediante un processo di *overlay*, valutando l'estensione delle aree edificate (Classificazione Livello 3) all'interno delle aree protette e i cambiamenti dal 1983 al 2006 (sebbene nel 1983 molti istituti di protezione non fossero ancora stati fondati, l'intento è essenzialmente quello di verificare se e come la qualità ecologica di questi territori si sia modificata nel tempo).

Per quanto riguarda il secondo obiettivo, ii), abbiamo valutato come l'antropizzazione agisca intorno alle aree protette, alterando la permeabilità del territorio alla migrazione di una ipotetica specie X da un sito all'altro (non si sono prese in considerazione in questo caso le differenti capacità delle specie di disperdersi sul territorio in maniera più o meno efficace). La permeabilità del territorio è stata calcolata creando una "matrice di impedenza" così costituita: 1) la carta di uso suolo in formato vettoriale è stata convertita in un *raster* con risoluzione 30 metri; 2) all'interno del *raster* si è assegnato valore 100 a tutte le aree antropizzate e valore 1 a quelle non antropizzate. La matrice di impedenza è, poi, stata usata per valutare i percorsi a minor costo (LCD - least cost

distance) che collegano tra loro i centroidi delle aree protette. A tal fine è stata utilizzata l'estensione "Pathmatrix" del software ArcView 3.2. che calcola i percorsi a minor costo per collegare due differenti punti. Lungo il percorso tra i due punti viene sommato il valore delle celle attraversate (100 se vengono attraversate celle antropizzate ed 1 se celle non antropizzate). Calcolando i valori di LCD relativi al 1983 ed al 2006, abbiamo valutato come sia variata la permeabilità ambientale negli anni e dunque la connettività ecologica del territorio.

**3.2 Risultati**

Più sotto commenteremo i principali risultati di questa parte del lavoro, considerando: i) l'urbanizzazione delle Province di Verona e Vicenza dal 1983 al 2006; ii) l'urbanizzazione dei siti della Rete Natura 2000 dal 1983 al 2006; iii) la variazione della connettività ecologica della Rete Natura 2000 dal 1983 al 2006.

i) Variazione dell'urbanizzazione delle Province di Verona e Vicenza dal 1983 al 2006 (tabella 2) Nel periodo considerato il territorio antropizzato è aumentato del 28,4%. In figura 4 viene indicata la situazione dell'urbanizzazione al 2006.

| Variazione antropizzato (ha) | Vicenza/Verona |
|---|---|
| 1983 | 52.831,8 |
| 2006 | 67.887,5 |

*Tabella 2. Variazione dell'urbanizzato provinciale dal 1983 al 2006.*

ii) Variazione dell'urbanizzazione dei siti Natura 2000 dal 1983 al 2006 (tabella 3) - Come evidenziato in tabella, nei SIC la superficie antropizzata è aumentata del 17,3% nel periodo considerato. Nello stesso periodo la superficie antropizzata delle ZPS è aumentata del 18,2%.

| Variazione antropizzato (ha) | SIC | ZPS |
|---|---|---|
| 1983 | 1.085,0 | 194,5 |
| 2006 | 1.273,1 | 230,0 |

*Tabella 3. Variazione dell'urbanizzato della rete Natura 2000 dal 1983 al 2006.*

iii) Variazione della connettività ecologica delle Rete Natura 2000 dal 1983 al 2006 - L'aumento percentuale del costo di migrazione tra i differenti siti (identificati per praticità con un ID numerico) viene presentato come valore di incremento percentuale dal 1983 al 2006. Per motivi di spazio viene presentata la matrice di valori relativi a soli 20 siti (obiettivo della tabella è essenzialmente esemplificare la procedura ed i risultati ottenuti). L'analisi pone in evidenza come il costo di migrazione (e dunque l'impedenza ambientale) dal 1983 al 2006 si sia accresciuto del 21,4%.

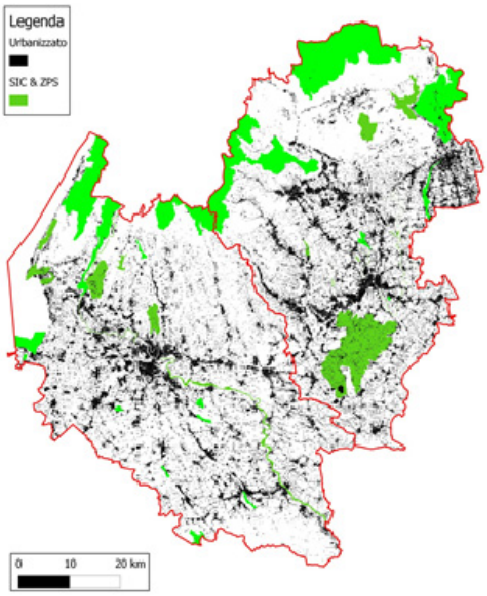



*Figura 4. Rete Natura 2000 e urbanizzazione. Situazione del territorio urbanizzato delle Province di Verona e Vicenza (dati 2006): in nero le superfici modellate artificialmente, in verde le aree protette (SIC e ZPS).*

## 4. Conclusioni

La ricerca ha messo in luce come a causa della cementificazione nel veronese e nel vicentino si siano "bruciati" nel corso degli ultimi decenni migliaia di metri quadrati di terreno. L'urbanizzazione eccessiva ha sottratto suolo per lo più all'agricoltura, letteralmente consumando parti considerevoli del territorio per costruire case, fabbriche, infrastrutture e finendo coll'incidere pesantemente sulla qualità della vita. Il lavoro qui discusso mette in luce tendenze che evidenziano – usando un'espressione di Angelo Turco (1988) - uno scarto tra la razionalità sociale e quella territorializzante che finisce col determinare un eccesso di territorializzazione rispetto ai bisogni del corpo sociale, incapace di (ri)svegliarsi e costruire forme geografiche (della sua stessa azione) che esprimano lungimiranza nel medio-lungo periodo. Come dimostrato stiamo consumando risorse naturali limitate anche di grande qualità, tanto da essere a debito anche da un punto di vista ecologico. La razionalità perseguita, quindi, non solo non rispetta i bisogni dello spazio (l'attenzione qui all'accertata discontinuità delle reti ecologiche ne è esempio e conseguenza) ma finisce – tramite un uso sempre più estensivo dello stesso ed un territorio, quindi, che "soverchia" (e soffoca) – proprio coll'ostacolare gli stessi meccanismi riproduttivi che la collettività dovrebbe tutelare. Il suolo è, in effetti, risorsa in sé e per sé: è un materiale vivo.

Come detto il lavoro svolto richiede vengano fatti certamente degli approfondimenti. È necessario concentrare l'attenzione sui comuni maggiormente esposti al fenomeno portando a termine il censimento degli immobili inutilizzati e valutando i volumi già realizzati che nei fatti non "ospitano" attività o persone. Necessitiamo, inoltre, di politiche nuove forse, più incisive, accorte e partecipative[11] (Parashar *et al*., 2011) che: a) limitino il consumo di suolo ("combattendo" logiche speculative o miopi, rendendo vano l'insieme di resistenze sul "territorio" e favorendo il recupero dell'esistente); b) mitighino quelli che sono gli effetti dell'impermeabilizzazione del suolo (ad

[11] Rispetto alle quali, va detto, c'è l'Unione Europea ha dato indicazioni indicando una chiara gerarchia a livello di *policies* e strumenti (un esempio ne è la: CE COM (2011) 571 del 20/09/2011).

esempio cercando di avere superfici permeabili, se proprio è necessario espandersi) e c) compensino, laddove possibile.

*Reti ecologiche ed urbanizzato: qualche riflessione aggiuntiva* – A conclusione dell'analisi illustrata nel paragrafo 3 si può affermare come dal 1983 al 2006 si sia assistito ad una progressiva ed invasiva cementificazione del territorio con un aumento percentuale del 28,4%. Nello stesso periodo il fenomeno a carico di SIC e ZPS è significativamente minore, con percentuali di incremento rispettivamente del 17,3 e 18,2. In quest'ottica la presenza delle aree protette sembra essersi rivelata efficace nel contrastare il fenomeno di urbanizzazione del territorio.
Nonostante ciò, gli effetti di questo fenomeno vanificano in parte uno degli obiettivi dichiarati nella costituzione della Rete Natura 2000 che è quello di creare dei corridoi ecologici per lo spostamento della fauna sul territorio. Infatti l'urbanizzazione dilagante, sebbene frenata dalla presenza delle aree protette, sta portando ad un loro progressivo isolamento le une dalle altre, come dimostrano gli accresciuti costi di migrazione di una specie animale all'interno della Rete Natura 2000. Questo fenomeno, se non contrastato, renderà sempre più difficile la connettività di aree che, seppure ad altissima valenza naturalistica, resteranno alla stregua di "cattedrali nel deserto" come dimostrato dagli studi di diversi autori (McKinney 2002, 2006).

**Bibliografia**


Buffa G., Lasen C. (2010), *Atlante dei Siti Natura 2000 del Veneto*, Regione Veneto – Direzione Pianificazione Territoriale e Parchi, Venezia.

De Mulder E. (2012), *Global planetary change and human globalization*, Keynote lecture, Cologne, 29th August 2012, 32nd International Geographical Congress.

Detragiache A. (2003) (a cura di), *Dalla città diffusa alla città diramata*, Franco Angeli, Milano.

Nardini A., *et al*., (2008), "Problemi e limiti della Direttiva Quadro sulle acque. Una proposta integrativa: FLEA (FluvialEcosystemAssesment)", *Biologia Ambientale*, 22 (2): 3-18.

McKinney M L. (2002). Urbanization, Biodiversity, and Conservation, *BioScience*, 52 (10): 883-890.

McKinney M L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization, *Biological Conservation*, 127 (3): 247–260

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – DPN (s.d.), *Manuale per la gestione dei Siti Natura 2000*, consultabile in http://www.regione.veneto.it/NR/rdonlyres/7E020003-4484-4108-B012-8682DC574E31/0/manuale_gestione_siti_natura2000.pdf.

Parashar S., Sharma A., Shaw R. (2011), "From action planning to community-based adaptation", in Shaw R, Sharma A. (eds), *Climate and Disaster Resilience in Cities,* Emerald Group Publishing Limited, Bingley, 163-182.

Rizzo L.S., Rizzo R.G., Tizzani P. (2012), "Consumo di suolo e cementificazione nel Veneto Occidentale. Emergenze, svantaggi e riflessi sull'assetto del territorio. Un'analisi GIS" in Atti della *13a Conferenza Italiana Utenti ESRI*, Roma, 18-19 aprile 2012, cfr. http://www.esriitalia.it/eventi/atti-13a-conferenza-italiana.html.

Rizzo L.S. (2009), "L'industria e l'internazionalizzazione nel veronese", *Atti e Memorie dell'Accademia di Agricoltura Scienze e Lettere di Verona*, Verona, CLXXXI: 2004-2005, 231-256.

Sambugaro G. (2012), *L'alluvione tra Soave e Monteforte d'Alpone: un disastro annunciato?,* relazione tenuta presso l'Accademia di Agricoltura Scienze e Lettere di Verona il 30.03. 2012.

Servizio Rete Natura 2000 (a cura di) (s.d.), *Strumenti e indicatori per la salvaguardia delle biodiversità*, Regione Veneto, Venezia, vol. I., scaricabile in http://www.regione.veneto.it/NR/rdonlyres/01739F5A-DF6E-4E89-9DF7-B8026A278A04/0/Guida_con_copertinaeschede_.pdf.

Settis S. (2010), "Il paesaggio distrutto dalle leggi", in Id. *Paesaggio costituzione cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi, Torino, 16-22.

Shaw R. (2012), "Corporate Community Interface: new approaches in disaster risk reduction", in Id. (a cura di), *Community-based disaster risk reduction*, Emerald Group Publishing Limited, Bingley, 67-87.

Tambyzer H., *et al*. (2010), "Building an Earth Observation flood risk analysis portfolio responding to the flood directive", *Italian Journal of Remote Sensing*, 42 (3): 77-87.
Turco A. (1988), *Verso una teoria geografica della complessità*, Edizioni Unicopli, Milano.
Warner J. (2011), "Introduction: Politics of Floods and Fear", in Id. *Flood planning. The politics of water securety*, I.B. Tauris & Co Ltd, London, 1-35.

**Sitografia**

http://risk-map.org
http://ec.europa.eu/environment/life/funding/lifeplus.htm
http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/dmeer-digital-map-of-european-ecological-regions
http://www.ingv.it/it/
http://www.macaulay.ac.uk/urflood/index.php
http://www.pcn.minambiente.it/GN/
http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Reti+Ecologiche+e+Biodiversit%C3%A0/
http://www.sinanet.isprambiente.it/it/coperturasuolo

# Simulazioni di traffico veicolare e modello radiativo: una interpretazione congiunta

Matteo Roffilli

Bioretics srl, Via Cartesio 2, 47042, Cesenatico (FC), Italy, roffilli@gmail.com

**Riassunto**
Nella conferenza Asita 2008 abbiamo presentato (Boschetti et al., 2008) una estensione del modello domanda-offerta per la simulazione puntuale dei flussi di traffico veicolare che teneva in considerazione la distribuzione della popolazione nel territorio. Il risultato dei nostri esperimenti confermava che l'introduzione di questo principio migliorava sensibilmente i valori di flusso stimati che risultavano molto più vicini ai valori reali rilevati.
Recentemente è apparso in letteratura ad opera del gruppo di ricerca di Barabasi (Simini et al., 2012) un nuovo modello, denominato radiativo, per la previsione dei flussi di traffico tra aree geografiche diverse che parte proprio dal principio della densità della popolazione per superare i limiti del consolidato modello gravitazionale.
La nostra tesi è che l'estensione del modello da noi proposta nel 2008 può essere interpretata e giustificata alla luce dei risultati teorici del modello radiativo, rappresentando una specifica implementazione *ante litteram* del suo principio fondante. In questo lavoro di ricerca sperimentale presenteremo in dettaglio la metodologia utilizzata per confrontare i due modelli dal punto di vista teorico e sperimentale. I risultati presentati corroborano la tesi iniziale ovvero che la nostra estensione del modello domanda-offerta e il modello radiativo mostrano una significativa connessione.

**Abstract**
During the Asita 2008 conference, we presented an extension of a classical model for the accurate simulation of traffic flows (Boschetti et al., 2008). That model took into account the distribution of population across the areas under investigation. Presented results showed that the given principle was able to improve estimated flow values by achieving better experimental validation. Recently, Barabasi's research group (Simini et al., 2012) has presented a novel approach, called radiation model, for estimating mobility patterns across geographical areas which takes into account the distribution of population to the aim of outperforming the well-known gravitational model. We argue that our model extension can be reviewed under this new radiation principle to the extent of representing one of its *ante litteram* application. Achieved both theoretical end experimental results show that two models present interesting links.

## Introduzione

La determinazione dei flussi di traffico di persone e di merci nella rete stradale è di fondamentale importanza per molte attività strategiche sia nel pubblico che nel privato. Demografia, logistica e commercio sono solo alcuni dei settori che inerentemente usano previsioni e analisi dei flussi di traffico per l'operatività ordinaria. Sia che si tratti di spostamenti a corto raggio all'interno della città o di lungo raggio tra città e regioni distanti, la possibilità di capire e prevedere perché alcuni fenomeni, o pattern, di spostamento avvengono diventa di cruciale importanza. Storicamente sono stati presentati in letteratura diversi modelli in grado di spiegare in modo ragionevole i dati di spostamento rilevati in costose campagne di acquisizione, come il consueto censimento del

pendolarismo che l'ISTAT effettua ogni dieci anni. Gran parte di questi modelli si basa sul concetto di domanda e di offerta. Almeno per il pendolarismo, nella domanda si fa riferimento ad un unico luogo di partenza, denominato origine ed uno soltanto di arrivo, definito destinazione. Chiaramente la realtà presenta spostamenti multi-tappa, dove la destinazione di un percorso diventa origine di un altro e così via. In questo lavoro ci limitiamo a tenere in considerazione gli spostamenti pendolari sistematici non multi-tappa che sono manifestazione di processi stazionari e per i quali esistono molti dati sperimentali disponibili per la validazione. La definizione della domanda parte solitamente dalla costruzione di una matrice Origine-Destinazione (OD) che raccoglie le richieste di spostamento effettuate dalla popolazione presa in esame (o da un suo campione) da una zona geografica ad un'altra, entrambe opportunamente definite di solito per mezzo di poligoni georeferenziati (ad esempio le zone di censimento ISTAT). Questi dati possono o venire raccolti tramite campagne di acquisizione o venire stimati tramite appositi modelli generatori che, tenendo conto di variabili demografiche e geografiche, sono in grado di stimare quantitativamente il valore per ogni combinazione OD. Un modello classico largamente utilizzato in applicazione pratiche è il modello gravitazionale (Erlander, Stewart, 1990) che si basa su tre variabili principali: i) numero di abitanti della origine, ii) numero di abitanti della destinazione e iii) distanza relativa. Sebbene storicamente utilizzato, questo modello presenta alcune importanti limitazioni, come puntualmente rilevato da (Simini et al., 2012). Gli stessi autori presentano un nuovo modello di predizione degli spostamenti, denominato radiativo, che supera il modello gravitazionale tramite l'utilizzo di un'ulteriore variabile che tiene conto della densità di popolazione che è presente lungo tutti i potenziali percorsi che congiungono l'origine alla destinazione. Questo nuovo principio è lo stesso che fu da noi utilizzato alcuni anni fa (Boschetti et al., 2008) nella realizzazione di una estensione del modello domanda-offerta per l'assegnamento puntuale dei flussi di traffico. Sebbene i due modelli risolvano problemi differenti all'interno dello stesso ambito: la generazione di una matrice OD il primo e l'assegnamento della matrice OD ad una rete di trasporto il secondo, notiamo molte convergenze sui principi alla base di entrambi che riteniamo utili per una più approfondita comprensione del fenomeno pendolarismo nel suo complesso.

**Il modello radiativo**

Rimandando all'articolo (Simini et al., 2012) per una completa trattazione riportiamo qui l'equazione principale del modello radiativo con cui confronteremo il modello da noi presentato:

$$\langle T_{ij} \rangle \equiv T_i \frac{m_i n_j}{(m_i + s_{ij})(m_i + n_j + s_{ij})}$$

dove:

$\langle T_{ij} \rangle$ è il numero stimato di veicoli/persone che si muovono tra la origine $i$ e la destinazione $j$

$T_i$ è il numero totale dei potenziali veicoli/persone in uscita dalla origine $i$ verso tutte le destinazioni

$m_i$ è il numero totale di abitanti origine $i$

$n_j$ è il numero totale di abitanti dalla destinazione $j$

$r_{ij}$ è la distanza tra origine $i$ e destinazione $j$

$s_{ij}$ è il numero totale di abitanti in un'area di raggio $r_{ij}$ centrata in $i$ a cui è sottratta la popolazione della origine $i$ e della destinazione $j$ e rappresenta la densità di popolazione che si frappone tra origine e destinazione.

**L'estensione del modello domanda-offerta per l'assegnamento puntuale**

Presentiamo qui in sintesi il modello da noi proposto con alcune variabili rinominate e un maggior dettaglio rispetto alla formulazione originale per convenienza di analisi congiunta con il modello radiativo. L'offerta, ovvero la rete di trasporto stradale, è rappresentata come un grafo $G=(V,A)$ dove $V=V_r \cup V_v$ è il set dei nodi e $A=A_r \cup A_v$ il set degli archi. $A_r$ è il subset degli archi realmente esistenti and $V_r$ il subset dei relativi nodi terminali. $V_v$ è il subset dei nodi virtuali e $A_v$ è il subset degli archi che li connettono a tutti i nodi in $V_r$ (reali) che appartengono, geograficamente, a quella particolare zona. Ogni nodo virtuale $k \in V_v$ è univocamente associato ad una zona $i \in \Delta$ , dove $\Delta$ è l'insieme delle zone, tramite una funzione di mapping $z: k=z(i)$. Il risultato della simulazione, ovvero l'assegnamento dei flussi di traffico ad ogni arco, è formalizzato come la soluzione di un problema di minimizzazione del costo complessivo di percorrenza del grafo in cui per ogni arco $(k,t) \in$ A viene calcolata una stima del flusso $f_{kt} \in$ N che lo attraversa con costo $c_{kt} \in \Re^+$ relativo al tempo necessario per attraversare l'arco. Tale costo è in accordo con il manuale HCM (TBR, 2000) ed è funzione non lineare di flusso e lunghezza.

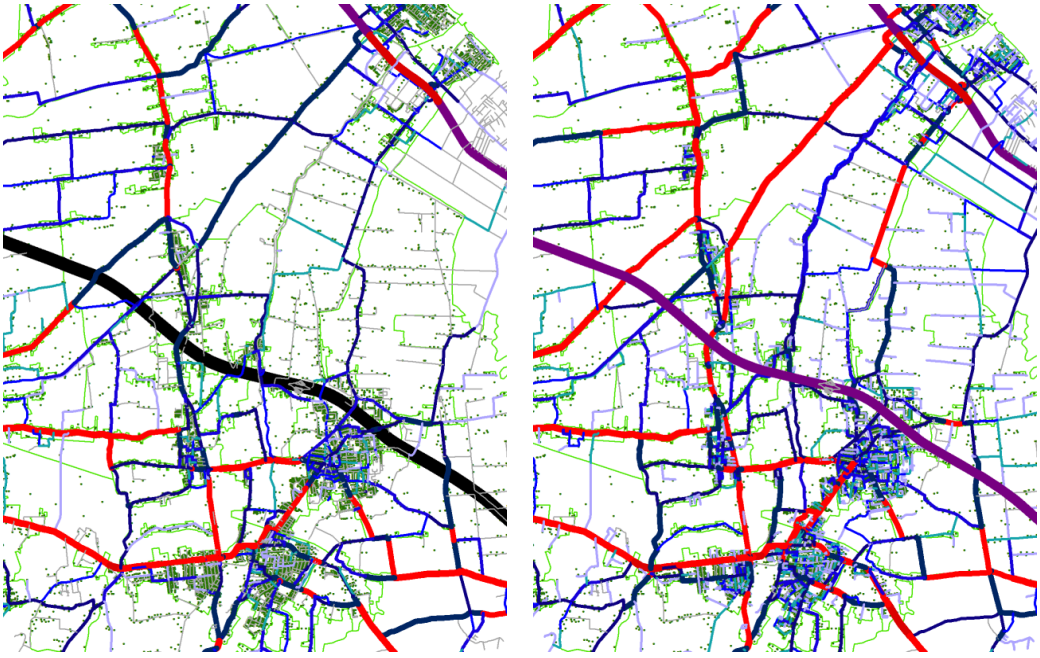
La matrice OD è modellizzata come un set indicizzato $\mathrm{H}=[h]$ di coppie $(i,j)$ con $i \in \Delta, j \in \Delta$, ognuna delle quali ha associata una richiesta di spostamenti $b_h \in \mathrm{N}^+$. Le richieste sono quindi distribuite sul flusso $\varphi_p \in$ N che attraversa il percorso direzionato $p \in \Phi_h$ dove $\Phi_h$ è il set dei percorsi per la coppia OD $h$ e $\Phi = \bigcup_{\mathrm{H}=[h]} \Phi_h$ è l'insieme di tutti i percorsi. Per ogni coppia OD sono infatti possibili molteplici percorsi lungo i quali si può distribuire il flusso richiesto. Nella formulazione sottostante $\delta_{kt}^p$ è una costante uguale a 1 se l'arco $(k,t)$ appartiene al percorso $p$ e a 0 in caso contrario, mentre $u_{kt} \in$ N è la capacità massima teorica dell'arco $(k,t)$ .

Il risultante problema di assegnamento è il seguente:

$$
\begin{aligned}
(\mathrm{P}) \qquad & \min \sum_{(k,t)\in A} c_{kt}(f_{kt}) && && [1]\\
s.t \qquad & \sum_{p\in\Phi_h} \varphi_p = b_h - \xi && \xi \in \mathrm{N} && [2]\\
& f_{kt} = \sum_{p\in\Phi} \delta_{kt}^p \varphi_p \le u_{kt} && (k,t) \in \mathrm{A} && [3]\\
& \sum_{t\in v_r} u_{kt} = \alpha_i m_i && k = z(i), \forall i \in \Delta && [4]\\
& \sum_{k\in v_r} u_{kt} = \beta_j n_j && t = z(j), \forall j \in \Delta && [5]
\end{aligned}
$$

dove $\alpha_i = \dfrac{\sum_j b_h}{m_i}$ e $\beta_j = \dfrac{\sum_i b_h}{n_j}$ , con $h \in H$ , sono calcolati a priori.

L'assegnamento finale deriva dalla ricerca del punto di equilibrio dei flussi pertinenti a differenti coppie OD nel contesto di un modello deterministico a richiesta finita. L'algoritmo di assegnamento utilizzato per la soluzione è un'estensione di un codice per la risoluzione di un problema di Min-Cost Multicommodity flow, che gestisce gli assegnamenti parziali dell'approccio all-or-nothing, decomposto in un sotto-problema di tipo Min-Cost flow per ogni zona origine $i$. La soluzione è ottenuta seguendo un percorso iterativo di ottimizzazione a chunk a valori interi che consiste nel ricercare per ogni pacchetto inviabile da una sorgente un percorso a costo minimo con successivo assegnamento del flusso anche in forma parziale rispetto alle dimensioni del chunk.



(a) (b)

*Figura 1. Risultati della simulazione del traffico relativi ad un'area di interesse contenente i 3 comuni dell'Unione dei Comuni del Rubicone in Emilia Romagna. Lo spessore e il colore delle linee rappresentano in scala non lineare e quantizzata il flusso di veicoli equivalenti ottenuto. Il colore nero rappresenta la classe più grande (>2200 veicoli equivalenti/ora). Le linee verde chiaro rappresentano i confini per i quali è disponibile la matrice OD, mentre i punti verdi scuro la distribuzione dei numeri civici, utilizzati come stima indiretta della distribuzione geografica della popolazione. La linea che attraversa le figure da Ovest a Est è l'Autostrada A14. Le capacità degli archi virtuali sono state impostate: a infinito (a) e secondo la distribuzione della popolazione (b). L'utilizzo della distribuzione di popolazione modifica sensibilmente le stime ottenute che risultano numericamente molto più simili ai valori rilevati sul campo.*

**Una interpretazione congiunta**

Nel modello presentato la formula [1] è responsabile della minimizzazione del costo complessivo su tutta la rete di trasporto (ovvero il grafo). La formula [2] garantisce che il flusso totale per ogni coppia OD sia uguale alla somma dei flussi inviati in tutti i possibili percorsi tra l'origine e la destinazione. In realtà, in alcune simulazioni reali, si potrebbe verificare che il flusso totale inviato sia inferiore a quello desiderato se l'offerta della rete di trasporto non è sufficientemente capacitiva: in questa situazione la variabile di surplus $\xi$ assume valore positivo permettendo così il soddisfacimento dei vincoli. La formula [3] stabilisce che il flusso totale stimato in ogni arco direzionato $(k,t)$ sia la somma indistinta di tutti i contributi derivanti da ogni singola coppia OD. Le formule [4] e [5] mettono in relazione la capacità degli archi virtuali, origine o destinazione, di trasportare flusso in un particolare punto della zona e la distribuzione di popolazione interna alla zona stessa. In dettaglio abbiamo che $\alpha_i m_i$ è il numero totale di pendolari che partono dalla zona $i$ e $\beta_j n_j$ che escono dalla zona $j$.

Mentre per ogni arco reale le capacità $u_{kt}$ sono disponibili a priori, per gli archi virtuali devono essere calcolate secondo le formule [4] e [5]. In dettaglio l'algoritmo per definire il valore della capacità $u_{kt}$ è più articolato in quanto deve tenere in considerazione il fatto che il flusso può essere generato solo in corrispondenza dei nodi terminali e che un arco può congiungere zone differenti.

L'algoritmo è il seguente:

1. associa ogni abitante (o numero civico) all'arco $(k,t)$ di appartenenza geografica (geometrica) o anagrafica (normativa);
2. accumula nei nodi terminali di ogni arco esattamente metà dei suoi abitanti;
3. per ogni origine $i$ (destinazione $j$) calcola la somma degli abitanti accumulati nei nodi terminali geometricamente interni alla zona;
4. associa ad ogni arco virtuale $(k,t)$ una capacità $u_{kt}$ uguale agli abitanti accumulati nella zona origine $i$ (destinazione $j$) diviso gli abitanti accumulati nel nodo relativo.

Da quanto detto sopra si evince che le varie coppie OD interagiscono tra di loro andando a saturare sequenzialmente i flussi ammissibili in ogni singolo arco. Considerando che il flusso viene generato (attratto) unicamente nei (dai) nodi terminali in proporzione alla densità di abitanti risulta chiaro che per ogni coppia OD la distribuzione della popolazione lungo i possibili percorsi direzionati sia determinante per la stima del flusso ottenuto. Nel caso speciale che una coppia OD sia di tipo $(i,i)$ ovvero con origine uguale a destinazione il flusso è considerato virtuale ed è gestito opportunamente in modo da evitare un loop di flusso unicamente sugli archi virtuali. Notiamo che, al pari del modello radiativo, nella nostra modellizzazione il problema P è in relazione con: i) la popolazione della zona di origine $m_i$, ii) quella di destinazione $n_j$, iii) la distanza $r_{ij}$ presente nella funzione di costo $c_{ij}$ di percorrenza e iv) la distribuzione di popolazione $s_{ij}$ che partecipa alla definizione delle capacità degli archi virtuali.
Il modello proposto è stato validato su casi reali tramite il software TraffixPlanner che lo implementa (TraffixPlanner, 2012). La Figura 1 mostra il risultato di una stima dei flussi di traffico derivanti da spostamenti sistematici di popolazione e merci all'interno dell'area dell'Unione dei Comuni del Rubicone in Emilia Romagna. Come si vede dalle due figure le differenze nell'assegnamento sono molto marcate. Senza tenere conto della distribuzione di popolazione (figura di sinistra) il traffico viene veicolato tramite percorsi preferenziali ad alta capacità (ad esempio l'Autostrada A14 drena localmente il 5% in più di veicoli equivalenti) risultando poco attinente ai dati di validazione rilevati sul campo. Quando invece si tiene conto della distribuzione della popolazione (figura di destra) si nota una maggiore capillarità sia nell'identificazione dei nodi generatori e attrattori sia nella quantità di percorsi alternativi individuati. Questo è in linea con le previsioni sulla domanda del modello radiativo in quanto una distribuzione elevata di popolazione tra un'origine e una destinazione tra loro distanti si comporta come un detentore alla volontà di effettuare quello specifico spostamento riducendo così i potenziali pendolari su quella tratta che quindi preferiranno spostamenti verso zone più vicine.

**Conclusioni**

Questo lavoro ha presentato una interpretazione congiunta che mette in relazione il modello radiativo e una estensione del modello domanda-offerta da noi precedentemente proposto. La formulazione matematica ha evidenziato in dettaglio che i principi fondanti i due modelli sono i medesimi e questo spiega il successo delle validazioni sperimentali a cui sono stati sottoposti entrambi in modo indipendente. Notiamo inoltre un possibile feedback tra il modello domanda-offerta per quanto riguarda l'interpretazione del parametro di distanza. Crediamo che questo, sebbene abbia necessariamente un significato geografico, debba essere valorizzato più propriamente come tempo o costo di percorrenza, valore che deriva appunto dall'applicazione di un modello di assegnamento del flusso come quello da noi proposto. Probabilmente, per cogliere ancora più in dettaglio la dinamica dei flussi migratori sarà necessaria una integrazione completa tra modello di generazione e assegnamento in quanto sembra verificarsi una loro co-evoluzione. Per chi volesse simulare i flussi di traffico su casi reali è disponibile una versione commerciale del modello presentato all'interno del software TraffixPlanner.

**Ringraziamenti**
L'autore ringrazia il Prof. Vittorio Maniezzo dell'Università di Bologna per il continuativo contributo nello sviluppo del modello. Si ringrazia inoltre la Provincia di Forlì-Cesena, la Provincia di Fermo, il Comune di Bertinoro e l'Unione dei Comuni del Rubicone che hanno supportato in questi anni il miglioramento del modello e la sua validazioni su dati reali.

**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

Erlander S. , Stewart N. F., "The Gravity Model in Transportation Analysis: Theory and Extensions", *VSP*, 1990

Simini F. , Gonzales M.C. , Maritan A. , and Barabasi A. , "A universal model for mobility and migration patterns", *Nature*, 484: 96-100, Aprile 2012

TBR, "Highway Capacity Manual", 2000

TraffixPlanner, www.traffixplanner.com, distribuito da Bioretics srl, www.bioretics.com, 2012

# GeoNet: un software per la compensazione di reti topografiche integrate

Lorenzo Rossi (*), Daniele Sampietro (**), Fernando Sansò (*)

(*) Politecnico di Milano, Polo Regionale di Como, Via Valleggio 11 22100 Como Italy,
web: http://geomatica.como.polimi.it/
(**) GReD, Via Valleggio 11, 22100 Como, Italy, Tel. +39-031332-7522, Fax +39-0313327519,
email: daniele.sampietro@g-red.eu

**Riassunto**

L'uso congiunto di ricevitori GNSS e stazioni totali, oggi sempre più frequente, pone il problema dell'integrazione di osservazioni classiche e GNSS e dei rispettivi sistemi di riferimento. Il software GeoNet, sviluppato da studenti, giovani ricercatori del Laboratorio di Geomatica del Politecnico di Milano in collaborazione con lo spin off GReD, risolve il problema con una compensazione rigorosa ai minimi quadrati di tutte le osservazioni topografiche direttamente in coordinate globali geodetiche. Tale scelta, che evita di considerare separatamente i sottomodelli planimetrico ed altimetrico, è necessaria per poter garantire una corretta integrazione delle osservazione satellitari, generalmente espresse in un sistema di riferimento globale geodetico, con le osservazioni topografiche classiche, disponibili invece solamente in un sistema di riferimento locale.

Questo approccio, oltre a risultare formalmente più corretto, presenta anche il vantaggio di considerare intrinsecamente l'effetto della curvatura terrestre, non trascurabile per reti con dimensioni di qualche centinaio di metri. Il software GeoNet sfrutta inoltre le informazioni del modello globale del campo di gravità EGM08 per introdurre gli effetti della deviazione della verticale e dell'ondulazione del geoide nella compensazione della rete, operazione assolutamente necessaria per integrare in modo corretto osservazioni GNSS e topografiche.

Il software di compensazione GeoNet, realizzato sfruttando il linguaggio di programmazione offerto dall'applicativo di calcolo matriciale Matlab è inoltre completo di una semplice interfaccia grafica che permette l'importazione da vari formati di file e la gestione delle osservazioni e dei risultati.

Il lavoro è corredato da una serie di test di compensazioni di reti che offrono la possibilità di apprezzare la correttezza del software e le differenze, che possono arrivare anche ad alcuni centimetri in termini di posizionamento assoluto, tra i metodi classici e GeoNet.

**Abstract**

The combined use of GNSS receivers and total stations is becoming nowadays more and more frequent, presenting the problem of the integration of classical and GNSS observations and their reference systems. The GeoNet software, developed by students and young researchers of the Laboratory of Geomatics at Politecnico di Milano in collaboration with GReD (spin off company of Politecnico di Milano), solves the problem with a rigorous least squares compensation of all the observations directly in a global reference frame, using geodetic coordinates. This choice, which avoids to consider separately the planimetric and altimetric submodels, is necessary in order to ensure a correct integration of satellite observation, generally expressed in a global geodetic reference system, with the classic observations, available only in a local reference system.

This approach, beyond being formally correct, has also the advantage of naturally consider the effect of the curvature of the earth, not negligible even for networks with dimensions of a few hundred meters. Moreover GeoNet is able to consider the effects of the deflection of the vertical and geoid undulation in the network adjustment (derived from the global model of the gravitational

field EGM08), operation required in order to properly integrate GNSS observations and classic surveying.
The GeoNet software is built using the programming language offered by Matlab application and is equipped with a simple graphical interface that allows to import various file formats and to manage observations and results.
In the present work a series of tests of network adjustments that prove the ability to appreciate the correctness of the software and the differences, which may reach several centimeters in terms of absolute positioning, between the traditional methods and GeoNet are also shown.

**Introduzione**
Il diffondersi ed il miglioramento della qualità di osservazione della strumentazione topografica satellitare e in particolare dei sistemi GNSS rende oggi sempre più frequente l'utilizzo congiunto di questa tecnologia e di strumentazione topografica classica (i.e. stazione totale e livello) per vari generi di rilievi.
I sistemi GNSS e la strumentazione topografica classica presentano, infatti, caratteristiche complementari: se da un lato la strumentazione satellitare è di più facile utilizzo e fornisce risultati direttamente in un sistema di riferimento globale dall'altro presenta un decadimento della qualità nel posizionamento quando non siano visibili abbastanza satelliti, oppure quando la loro geometria non sia adeguata. Viceversa le osservazioni classiche, anche se richiedono maggior cura e competenza, possono sempre essere effettuate e portano a risultati, generalmente in un sistema di riferimento locale, di elevata accuratezza.
Un utilizzo integrato dei due sistemi porta notevoli vantaggi: in particolare è possibile misurare tutto ciò che non è osservabile con il GPS utilizzando la strumentazione classica e quindi compensare tutte le osservazioni contemporaneamente. Negli ultimi anni anche i produttori di strumenti si sono mossi in questa direzione producendo ognuno il proprio sistema ingrato GNSS-Stazione totale (come ad esempio Leica SmartStation).
Tuttavia una volta raccolte le osservazioni è necessario integrarle in un'unica compensazione ai minimi quadrati che ottimizzi la stima delle coordinate della rete.
Per far questo è necessario riscrivere le equazioni d'osservazione classiche in forma vettoriale nel sistema di riferimento globale usato dai sistemi GNSS (WGS 84). È importante sottolineare che nella riscrittura delle equazioni d'osservazione è necessario considerare tutta una serie di fattori quali, ad esempio, la deviazione della verticale e l'ondulazione del geoide, assolutamente necessari per garantire una corretta integrazione tra i sistemi di riferimento.
Questa forma delle equazioni consente, inoltre, di considerare intrinsecamente la curvatura terrestre eliminando la necessità di correggere le osservazioni a monte della compensazione. Il modello risulta essere in questo modo formalmente più corretto ed adatto a reti di qualunque dimensione: dalla rete costruita all'interno di un cantiere, dove probabilmente non sarà apprezzabile la differenza nei risultati, a poligonali catastali, di inquadramento territoriale e di monitoraggio, dove sicuramente è presente una differenza notevole nei risultati rispetto ai metodi classici, soprattutto per quanto riguarda l'aspetto altimetrico.
Nel presente lavoro viene presentato il software GeoNet, sviluppato dal Laboratorio di Geomatica del Politecnico di Milano in collaborazione con il suo spin off GReD in grado di integrare correttamente osservazioni GNSS e osservazioni classiche in un'unica compensazione rigorosa tridimensionale ai minimi quadrati.
Il software è stato sviluppato sfruttando il linguaggio di programmazione offerto dall'applicativo di calcolo matriciale MatLab, con cui è stato possibile anche creare una semplice interfaccia grafica (figura 1) per importare e gestire le osservazioni, oltre che per poter visualizzare ed esportare i risultati ottenuti.
GeoNet è in grado di processare reti tridimensionali con osservazioni di angoli azimutali, zenitali, distanze, dislivelli e osservazioni GPS sia *single point* che *baseline*. Per i valori della deviazione della verticale e dell'ondulazione del geoide GeoNet può utilizzare modelli locali o globali del

campo gravitazionale; in particolare attualmente il *software* utilizza il modello globale EGM08 (Pavlis et al. 2008).

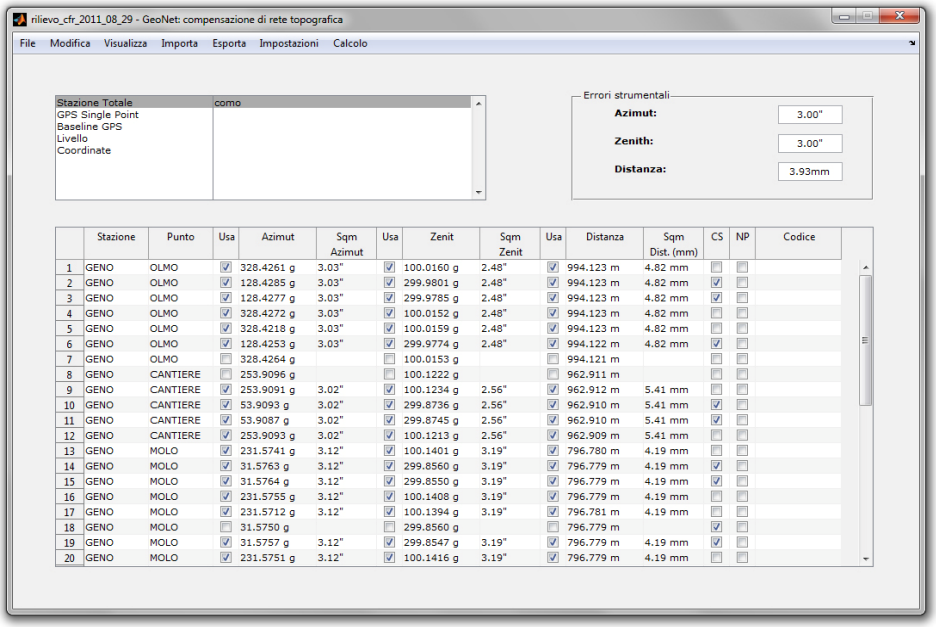



*Figura 1. Schermata principale del software GeoNet.*

**Equazioni di osservazione**

Per poter integrare le osservazioni GNSS con quelle della stazione totale è necessario esprimere tutte le equazioni di osservazione in forma vettoriale nello stesso sistema di riferimento. Nel software GeoNet si è scelto di utilizzare il sistema di riferimento WGS84, definendo la posizione dei punti tramite le coordinate ellissoidiche.

Le incognite del problema risultano quindi essere latitudine, longitudine ed altezza ellissoidica, d'ora in poi espresse rispettivamente con i simboli $\varphi$, $\lambda$, $h$.

Scelto il sistema di riferimento è possibile scrivere le equazioni d'osservazione per tutte le tipologie di strumentazione: in particolare si tratteranno nell'ordine le equazioni delle osservazioni di stazione totale, strumentazione satellitare ed, infine, livellazione.

Considerando due punti $P_i$ (punto di stazione) e $P_j$ (punto osservato) e facendo riferimento alla figura 2, è possibile definire le osservazioni della stazione totale (distanza $D_{ij}$, angolo zenitale $\zeta_{ij}$ e direzione azimutale $A_{ij}$) come:

$$D_{ij} = \left| \underline{r}_j - \underline{r}_i \right| \qquad [1]$$

$$\zeta_{ij} = \arccos\left(\underline{n}_i \cdot \underline{r}_{ij}\right) = \arccos\left[\left(\underline{\nu}_i + \underline{\delta}_i\right) \cdot \underline{r}_{ij}\right] \qquad [2]$$

$$A_{ij} = \arctan\left(\frac{\underline{r}_{ij} \cdot \underline{b}}{\underline{r}_{ij} \cdot \underline{a}}\right) = \arctan\left(\frac{\underline{r}_{ij} \cdot \underline{e}_\lambda}{\underline{r}_{ij} \cdot \underline{e}_\varphi}\right) - \eta_i \qquad [3]$$

dove $\underline{r}_i$, $\underline{r}_j$ sono i vettori di posizione dei punti $P_i$, $P_j$, $r_{ij} = \underline{r}_j - \underline{r}_i$, $\underline{\nu}_i$ è la normale all'ellissoide in $P_i$, $\underline{\delta}_i$ è la deviazione della verticale in $P_i$ ed infine □ e $\underline{b}$ sono due versori ortogonali nel piano orizzontale

con □ rivolto allo 0 del cerchio azimutale. Si noti che la direzione di □ è definita tramite l'angolo $\eta_i$ tra □ ed il versore rivolto ad est $\underline{e}_{\lambda i}$ (si veda la figura 2).
Per quanto riguarda le osservazioni angolari della stazione totale il software GeoNet è in grado, nel pretrattamento dei dati, di eseguire le correzioni tra letture dirette e rovesce (regola di Bessel).

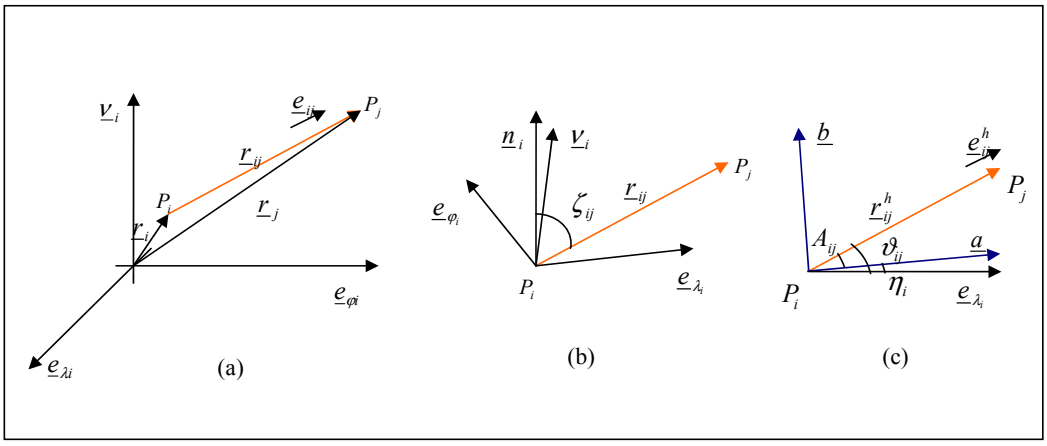



*Figura 2. Simbologia utilizzata nella scrittura delle equazioni d'osservazione linearizzate, per la distanza (a), l'angolo zenitale (b) e la direzione azimutale (c). $\underline{n}_i$, $\underline{v}_i$ in (b) indicano rispettivamente la direzione della verticale e della normale all'ellissoide; (c) è nel piano orizzontale passante per il punto i; $\eta_i$ è l'orientamento incognito della stazione, $\underline{e}_{ij}^h$, $\underline{r}_{ij}^h$ sono la proiezione sul piano orizzontale di $\underline{e}_{ij}$, $\underline{r}_{ij}$.*

Le osservazioni eseguite con strumentazione satellitare devono essere inserite nella procedura di calcolo previo pretrattamento: in particolare per motivi di semplicità si è scelto di fornire al *software* direttamente il valore delle coordinate di un singolo punto (modalità *single point*) oppure le differenze di coordinate tra due ricevitori (modalità *baseline*). Queste quantità possono essere comunque ricavate a partire da osservazioni GNSS grezze utilizzando *software* commerciali, e.g. LGO o Bernese (Dach et al. 2007), oppure *freeware* e.g. GoGPS (Realini et al., 2010). A entrambe le tipologie di osservazioni viene associata, e di conseguenza utilizzata nella compensazione, la relativa matrice di varianza/covarianza. In ogni caso l'osservazione viene espressa in coordinate cartesiane geocentriche per evitare problemi con le unità di misura delle matrici di covarianza in particolare le equazioni d'osservazione GNSS implementate sono:

$$SP_i = \underline{r}_i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \qquad [4]$$

$$BL_{ij} = \underline{r}_{ij} = \underline{r}_j - \underline{r}_i = \begin{bmatrix} X_j - X_i \\ Y_j - Y_i \\ Z_j - Z_i \end{bmatrix} \qquad [5]$$

Per la livellazione è possibile scrivere l'equazione in termini di coordinate ellissoidiche: per far questo è necessario introdurre l'ondulazione del geoide nelle equazioni di osservazione:

$$\Delta_{ij} = H_j - H_i = h_j + N_j - (h_i + N_i) = h_j - h_i + \Delta N_{ij} \qquad [6]$$

Dove $\Delta_{ij}$ è il dislivello osservato tra il punto $P_i$ (di quota ortometrica $H_i$) e il punto $P_j$ (di quota ortometrica $H_j$), $N$ è l'ondulazione del geoide e $h$ l'altezza ellissoidica.

È importante sottolineare che il termine di variazione dell'ondulazione del geoide $\Delta N_{ij}$ può essere trascurato solo se la distanza tra i due punti $P_i$ e $P_j$ è inferiore a un centinaio di metri. Ad esempio nella provincia di Como tale variazione è dell'ordine di 1 cm per 100 m (Sampietro e Garcia Pablos, 2010, Barzaghi et al., 2011). Dato che questa condizione non risulta sempre verificata si può calcolare la variazione di ondulazione a partire dalla deviazione della verticale, ottenendo come risultato la seguente equazione dove il termine $\underline{\delta}$ è la deviazione della verticale media tra i due punti sempre calcolata a partire dal modello EGM08:

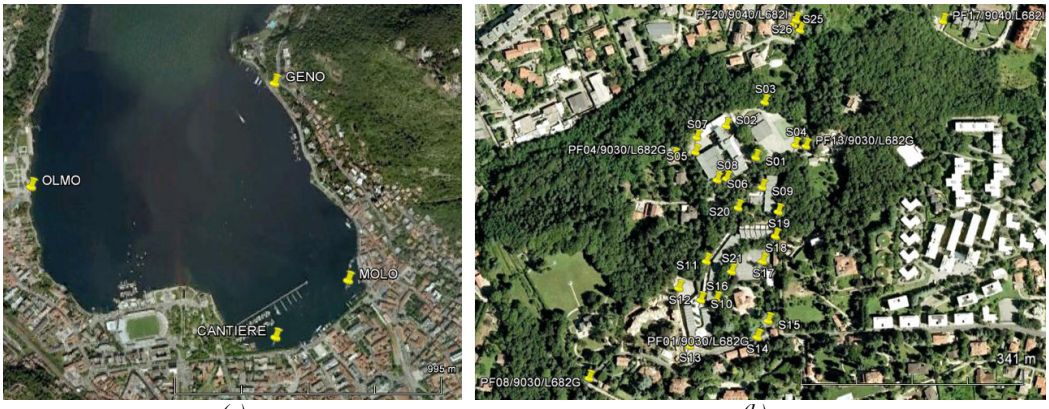
$$\Delta_{ij} = H_j - H_i = h_j - h_i + \Delta N_{ij} = h_j - h_i + \underline{r}_{ij} \cdot \underline{\delta}_{ij} \qquad [7]$$

Essendo le equazioni 1, 2, 3, 4, 5 e 7 non lineari nelle incognite per poter effettuare una compensazione ai minimi quadrati è necessario linearizzarle nell'intorno di una soluzione approssimata. Per una trattazione dettagliata della linearizzazione di tali equazioni e la loro integrazione nel software si veda (Brovelli, Sansò, 1989; Sansò e Venuti, 2005 e Rossi, 2011)

**Esempi e test effettuati**

Di seguito verranno riportati due test di compensazione con GeoNet effettuati su dati reali. Gli scopi degli esempi scelti sono quelli di verificare l'importanza della correzione applicata per l'effetto della deviazione della verticale, attraverso il confronto del risultato con quello ottenuto usando metodologie di compensazione classiche, e di dimostrare la possibilità di utilizzo in casi reali di questo metodo.

Il primo test (figura 4-a) è stato effettuato su quattro punti appartenenti alla rete per il monitoraggio della subsidenza della città di Como (Barzaghi et al., 2011). In particolare le distanze reciproche tra i quattro vertici sono dell'ordine di 1 km.




*(a)* *(b)*

*Figura 4. Le due reti reali utilizzate per i test di compensazione con il software.*

Su ogni punto è stata posizionata la stazione totale e sono state eseguite misure verso tutti gli altri punti visibili, mentre solo su due dei quattro vertici sono state eseguite osservazioni GPS statiche della durata di svariate ore (più di 20 ore per ogni punto osservato), assicurando un' accuratezza millimetrica nella determinazione della posizione globale di questi due vertici. Grazie a queste misure, quindi, è possibile compensare la rete in un sistema di riferimento globale, inoltre, considerando la dimensione dei lati sarà evidente l'effetto della deviazione della verticale. Per verificare la sua incidenza si può confrontare la compensazione eseguita in GeoNet con quella tradizionale, eseguita usando il *software* commerciale Sierrasoft Topko 2011 (vedi tabella 3).

Prima di analizzare i risultati è necessario eseguire un confronto tra le modalità di calcolo per capirne appieno le differenze. La prima e più importante è che con una compensazione tradizionale bisogna scegliere un sistema cartografico, in questo caso il tutto è stato proiettato in UTM (Hager et

al. 1989), per poter unire tutte le tipologie di misure. È importante sottolineare che, come ben noto in letteratura, ad esempio in (Richardus e Adler 1972), in generale le proiezioni cartografiche introducono deformazioni.
Data la diversa natura del risultato finale ottenuto, per poter confrontare i risultati si è scelto di trasformare l'output della compensazione ottenuto con il *software* commerciale in coordinate globali WGS84. Le differenze tra i risultati del *software* commerciale e la compensazione con GeoNet riguardano principalmente la coordinata altimetrica con discrepanze fino a 6 cm circa.

| | Differenza compensazioni | | | Dev. St. GeoNet | | | Dev. St. Topko | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **PUNTO** | **d$\varphi$ (mm)** | **d$\lambda$ (mm)** | **d$h$ (mm)** | **$\varphi$ (mm)** | **$\lambda$ (mm)** | **$h$ (mm)** | **Plan. (mm)** | **$h$ (mm)** |
| CANTIERE | 1 | -1 | 1 | 6 | 4 | 2 | 0 | 0 |
| GENO | -11 | -11 | 65 | 7 | 5 | 10 | 15 | 25 |
| MOLO | 0 | 4 | -22 | 10 | 6 | 12 | 23 | 31 |
| OLMO | -1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 |

*Tabella 3. Confronto compensazione tradizionale con GeoNet della rete in figura 4-a.*

Per quanto riguarda le coordinate planimetriche le differenze sono dell'ordine di pochi millimetri paragonabili all' accuratezza finale dei risultati. Si può inoltre notare come la differenza in quota tra le due compensazioni sui punti dove sono presenti osservazioni GPS (CANTIERE e OLMO) sia praticamente nulla: questo è dovuto al fatto che la compensazione con Topko assuma l'osservazione satellitare come assolutamente veritiera. Tuttavia questo comporta che tutto l'errore delle osservazioni classiche vada a distribuirsi sulle coordinate degli altri punti. Inoltre nella metodologia di compensazione tradizionale non viene in nessun modo considerato l'effetto dovuto alla differenza di direzione tra la normale al geoide e quella all'ellissoide in ciascun punto. È facile verificare come, essendo tale differenza dell'ordine di 20" nella zona di Como, questo effetto non sia trascurabile per lati di 1 km. Considerando i punti GENO e MOLO le due compensazioni presentano differenze in quota fino a 6 cm, compatibili appunto con l'effetto dovuto alla deviazione della verticale.
Il secondo esempio è mirato a verificare la possibilità di applicare il metodo di compensazione integrato di GeoNet su reti reali e complesse. L'esempio scelto è una rete per il rilievo di un complesso di fabbricati inquadrato nella maglia fiduciale catastale (figura 4-b). Utilizzando il rilievo integrato è stato possibile semplificare molto lo schema di rilievo (figura 5), in particolare i problemi legati a:

- presenza di molta vegetazione che rendeva impossibile il collegamento ad alcuni punti fiduciali, a meno di eseguire delle poligonali molto lunghe e complesse, riducendo così la qualità della soluzione;
- impossibilità di misurare tutti i punti del rilievo con ricevitori GPS (a causa della vegetazione e della necessità di misurare dei fabbricati).

I problemi sono stati risolti eseguendo osservazioni con stazione totale e GPS, in modo di sopperire con uno ai problemi dell'altra e viceversa. Le misure satellitari sono state eseguite in modalità RTK con correzione d'area fornita dal servizio di posizionamento ITALPOS, con una permanenza massima su ciascun punto di una decina di minuti e la possibilità di lavoro con un solo ricevitore *rover*, a patto di trovarsi in una zona coperta da segnale telefonico. Rispetto alla rete del primo esempio si dimostra anche la rapidità e la semplicità di osservazione di una rete complessa resa possibile appunto dall'integrazione di osservazioni classiche e GPS.
Nella compensazione le osservazioni satellitari sono state espresse sotto forma di *baseline* in modo da poter fissare il sistema di riferimento del rilievo sulla stazione base della rete ITALPOS. Questa operazione permette, in caso di necessità, di aggiungere osservazioni al rilievo anche in un secondo momento ed anche di conoscere la qualità di posizionamento della rete stessa nel sistema di riferimento globale usato. La compensazione con GeoNet ha permesso di ottenere risultati di elevata accuratezza, errori dell'ordine di 1 cm in planimetria e 2 cm in quota (standard deviation).




*Figura 5. Risultati compensazione GeoNet della rete in figura 4-b.*

**Conclusioni e sviluppi futuri**

La compensazione integrata con modello ellissoidico è su molti fronti la miglior soluzione al problema attualmente adottabile. Infatti, mentre con una compensazione eseguita secondo lo schema tradizionale non è possibile considerare contemporaneamente tutti gli effetti dovuti alla forma della terra ed ai sistemi di riferimento usati (ma ognuno deve essere trattato singolarmente), utilizzando le equazioni di osservazione nel sistema di coordinate globale le varie correzioni sono implicitamente definite nelle equazioni stesse.

L'uso di GeoNet per la compensazione, oltre che proporre una soluzione del problema più elegante dal punto di vista matematico, presenta anche i seguenti vantaggi:

- l'unica correzione che è necessario modellizzare a priori è la deviazione della verticale (stimata a partire dal modello di gravità EGM 08), mentre tutte le altre sono considerate direttamente nell'equazione (e.g. la curvatura terrestre), oppure sono eliminate (e.g. deformazione dovute alla proiezione cartografica).

- la semplicità di integrazione di misure di topografia classica e satellitare, potendo inglobare tutto in un solo modello senza necessità di introdurre proiezioni cartografiche, sfruttando direttamente le osservazioni GPS, che se espresse sotto forma di baseline servono anche a fissare il sistema di riferimento sulla stazione base, così da far risultare il S.R. veramente coincidente con quello globale fissato, ad esempio, per le stazioni permanenti dei servizi di posizionamento.

Nonostante gli ottimi risultati ottenuti rimangono ancora delle questioni da implementare. Infatti, è ben noto che per garantire una precisione sotto il centimetro è necessario correggere le osservazioni della strumentazione topografica classica anche per gli effetti di rifrazione atmosferica. Attualmente questo problema non è stato trattato nel *software* e quindi risulta necessario effettuare la correzione manualmente sulle singole osservazioni. Il *software* sviluppato è stato studiato per poter essere integrato da moduli aggiuntivi e quindi in futuro risulterà molto facile poter implementare anche questa operazione.

**Riferimenti bibliografici**

Barzaghi R., Passoni D., Pinto D., Sansò F. (2011), *Livellazione di alta precisione e misurazione di rete GNSS di controllo per l'analisi della subsidenza della sponda meridionale del lago di Como*, Relazione tecnica, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, Rilevamento (DIIAR) del Politecnico di Milano.

Brovelli M., Sansò F. (1989), "Equazioni d'osservazione della topografia in coordinate cartesiane locali: scrittura, linearizzazione e analisi dei relativi ambiti di validità", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 5 (n°3): 255-274.

Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M. (2007), *Bernese GPS Software Version 5.0.* Astronomical Institute, University of Bern.

Hager J.W., Behensky J.F., Drew B.W. (1989), *The Universal Grids: Universal Transverse Mercator (UTM) and Universal Polar Stereographic (UPS). Edition 1,* Washington, DC, Defense Mapping Agency Technical Report TM 8358.2.

Pavlis N. K., Holmes S. A., Kenyon S. C., Factor J. K. (2008), "An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008", *EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria, April 13-18, 2008*

Realini E., Yoshida D., Patocchi L., Reguzzoni M., Raghavan V. (2010), "Porting goGPS from MATLAB to Java: performance analysis, tests and results". Atti del FOSS4G 2010, 6-9 Settembre 2010, Barcellona, Spagna.

Richardus P., Adler R. K. (1972), *Map Projections*, North-Holland, Amsterdam-London.

Rossi L. (2011), *GeoNet: un software per la compesnsazione di reti topografiche integrate tridimensionali*, Tesi di laurea, Politecnico di Milano, Como

Sampietro D., Garcia Pablos A. (2010), "Reti 3D miste gps/total station e deviazione della verticale", *atti 14a conferenza nazionale Asita, 9-12 novembre 2010, Brescia, Italy*, 1567-1572

Sansò F., Venuti G. (2005), "NETLAB: un laboratorio numerico per reti 3D classiche e GPS", *atti 9a conferenza nazionale Asita, 15-18 novembre 2005, Catania, Italy*, 1825-1830

# Tecniche di analisi per la valutazione delle strategie di recupero urbano. Il caso della periferia di Quartu sant'Elena

Valeria Saiu (*), Stefano Pili (**), Emanuela Abis (***)

(*) Dottore di ricerca, assegnista DICAAR, Università di Cagliari, Via Santa Croce 67, 09124, Cagliari, Tel. 070 675 5376, e-mail: valeriasaiu@gmail.com
(**) Dottore di ricerca, assegnista DICAAR, Università di Cagliari, Via Santa Croce 67, 09124, Cagliari, Tel. 070 675 5371, e-mail: stefano.pili@unica.it
(***) Prof. Associato di Tecnica e Pianificazione Urbanistica, DICAAR, Università di Cagliari, Via Santa Croce 67, 09124, Cagliari, 070 675 5372, emabis@unica.it

**Abstract**
L'emergere di una nuova attenzione per le tematiche ambientali e l'introduzione dei principi di sostenibilità nelle strategie di piano hanno reso necessaria la revisione degli attuali strumenti di governo del territorio. La difficoltà di integrare nei processi di pianificazione le principali questioni che concorrono alla definizione della sostenibilità (ambientale, economica e sociale,…) e di gestire il complesso sistema di variabili che ne derivano, ha condotto all'elaborazione di numerose procedure analitiche che intendono fornire un modello interpretativo e valutativo della qualità delle aree urbane.
Si propone un metodo, basato sull'integrazione di analisi qualitative con indagini parametriche realizzate su uno specifico set di indicatori, che permette di valutare livelli di sostenibilità nei diversi campi. Per supportare l'analisi negli ambiti urbani più complessi la metodologia è stata implementata in ambiente GIS tramite lo sviluppo di un semplice e flessibile algoritmo di geoprocessing. L'applicazione del tool sviluppata ad una selezione di aree significative della periferia di Quartu Sant'Elena mostra le potenzialità della metodologia come aiuto al processo decisionale nella definizione e valutazione di scenari progettuali alternativi di riqualificazione.

**Abstract**
The rise of interest in environmental issues and the introduction of sustainability principles into planning strategies forces the revision of the current territorial government tools. The difficulty in integrating the main issues that involve the definition of sustainability (environmental, economic and social, ...) within the planning processes as well in managing the complex system of variables derived from it, has led to the development of numerous analytical procedures that are designed to provide interpretation and evaluation models of the quality of urban areas.
We propose a method based on the integration of qualitative analysis with parametric investigations. It is carried out on a specific set of indicators whose purpose is measure the levels of sustainability in different fields. In order to support the analysis in more complex urban areas, a methodology has been implemented in GIS environment through the development of a simple and flexible geoprocessing algorithm. The application of the tool , developed with a selection of sample areas on the suburbs of Quartu S.Elena, shows the potential of the method as decision-making aid in the development and evaluation of alternative design scenarios for urban sustainable refurbishment.

## Obiettivo della ricerca e quadro scientifico di riferimento

I sistemi di valutazione per la sostenibilità energetico-ambientale, elaborati a partire dagli anni Novanta, hanno progressivamente integrato tra loro parametri energetici e indicatori di carattere ambientale, permettendo di passare dalla valutazione della qualità alla scala edilizia a quella a scala

urbana. I sistemi *HQE2R, BREEAM Communities e LEED for Neighbourhood Development Rating[DdA1] System* rappresentano alcuni tra i più importanti metodi di analisi e monitoraggio per il progetto sostenibile alla scala del quartiere, mentre in Italia il Protocollo Itaca del 2011 costituisce un avanzamento verso l'elaborazione di metodi di valutazione sempre a tale scala.
La recente diffusione di dati spaziali di natura multi disciplinare, prodotti secondo protocolli di qualità ed accesso intenzionali (INSPIRE), sta facilitando l'introduzione di sistemi di indicatori complessi all'interno degli strumenti di piano a livello territoriale e urbano. Insieme ai parametri di monitoraggio della qualità architettonica, indicatori di efficienza energetica vengono inseriti sempre più frequentemente nelle Norme di Attuazione dei PRG e nei regolamenti edilizi comunali, troppo spesso tuttavia in assenza di precise strategie progettuali in grado di rendere efficaci gli interventi di riqualificazione sostenibile (Cresme, 2012; Dall'O' 2009; Charlot 2003).
Nel contesto regionale della Sardegna l'adeguamento dei Piani Urbanistici Comunali al Piano Paesaggistico Regionale ha imposto l'integrazione all'interno degli strumenti ordinari di pianificazione urbana dei temi inerenti la sostenibilità ambientale e paesaggistica. Un'operazione che rende necessario elaborare metodologie innovative per la selezione e l'analisi dei dati nonché per la valutazione dei risultati.
A partire dallo studio delle metodologie di valutazione della sostenibilità più diffuse, opportunamente adeguate al contesto regionale, anche in virtù dei dati disponibili perché presenti all'interno dei sistemi informativi regionali, sono stati identificati alcuni parametri di sostenibilità idonei [DdA2]alla definizione degli indirizzi per la riqualificazione sostenibile.

**Caso di studio**
In questo contributo si propone il caso di studio di un ambito periferico del Comune di Quartu S.Elena che permette di verificare le potenzialità di un approccio analitico per tematismi nel recupero urbano sostenibile.
All'interno dell'ambito di studio analizzato, infatti, è presente una varietà di modelli insediativi, utilizzati nella costruzione della città periferica che comprende più del 90% dell'intero patrimonio edilizio comunale. Sono stati individuati tre modelli tipo-morfologici prevalenti: le case a torre, gli edifici in linea e le case isolate nel lotto, che costruiscono tessuti insediativi omogenei e fortemente riconoscibili.
La valutazione della sostenibilità dei tre quartieri campione (*figura 1*) è stata effettuata attraverso due scale di analisi, urbana ed edilizia, per ciascuna delle quali sono stati identificati indicatori chiave, di tipo qualitativo e quantitativo. Per la sostenibilità urbana è stata analizzata la qualità dello spazio pubblico (il verde e i servizi), il grado di connessione territoriale e la mixitè sociale dei quartieri. Per la qualità edilizia si è concentrata l'attenzione sull'efficienza energetica degli edifici, quale tema fondamentale per definire linee strategiche per il recupero (*figura 1*).

Valutazione della qualità urbana
Le tre tipologie sono il prodotto di aree con standard urbanistici differenti: gli edifici a torre ed in linea si inseriscono in due "zone di espansione" con indici di copertura del suolo differenti, mentre l'insediamento caratterizzato da case isolate nel lotto è sorto in "zona turistica" dove il piano prevedeva la seguente ripartizione delle superfici: 55% da destinare a residenza, 22% a verde e servizi e 23% a strade.
La qualità dello spazio pubblico rappresenta una delle questioni centrali, che evidenzia le difficoltà di gestione di questi ambiti, sia in relazione ai costi che al disegno urbano: spesso le "piazze" e il "verde" pubblico si configurano come spazi "vuoti", frammentati e non adeguatamente attrezzati per una fruizione allargata. Una forte criticità è rappresentata dalla mancanza di adeguati sistemi di connessione, garantiti anche attraverso il trasporto pubblico, e ciò ostacola la fruizione alla scala urbana.
Dall'analisi dei dati della mobilità (Istat, 2001) emerge come la localizzazione degli insediamenti in vicinanza della grande viabilità di collegamento metropolitano abbia attirato una tipologia di

abitanti caratterizzata dalla necessità di spostamenti giornalieri residenza - lavoro, soprattutto in relazione al settore del commercio e dell'imprenditoria più in generale (*figura 2*). L'analisi della popolazione mostra che nei quartieri di case a torre ed isolate prevalgono le fasce di abitanti in età lavorativa, fra i 30 ai 44 anni e dai 45 ai 60, con una maggiore percentuale di diplomati e laureati rispetto alla media comunale (*figura 2*). Nelle case a torre si evidenzia una forte presenza di single di giovane età, coerentemente con la disponibilità di alloggi di dimensione inferiore rispetto alle altre due aree esaminate (*figura 2*).
Le case a torre hanno infatti una maggiore varietà dimensionale degli alloggi (90 mq, 80 mq, 70 mq e 45 mq) che rappresenta un dato significativo nella valutazione della mixitè sociale, attuale e potenziale, dell'insediamento. Questo spiega anche l'alta percentuale dei cittadini in affitto (40%) e l'alta incidenza delle famiglie mononucleari. Nelle case in linea le maggiori dimensioni degli alloggi hanno favorito l'insediamento di famiglie numerose, pur mantenendo un indice di affollamento molto basso e quindi una buona qualità abitativa (*figura 2*). Per tutti e tre i complessi studiati i tassi di occupazione delle abitazioni sono al di sopra della media comunale. Fa eccezione il sistema delle case isolate che mantiene, almeno in parte, il carattere di residenza estiva.

Valutazione della qualità edilizia

Per la valutazione della qualità edilizia occorre analizzare gli elementi che influiscono in maniera determinante sulle prestazioni energetiche degli edifici, in particolare l'involucro, gli impianti di climatizzazione e di Acqua Calda Sanitaria (ACS) e le potenzialità di inserimento di impianti tecnologici alimentati da Fonti di Energia Rinnovabile.
La letteratura fornisce una serie di strumenti e metodologie, più o meno consolidati ed integrabili su piattaforma GIS, per la valutazione del potenziale teorico o tecnico (Biberacher et al, 2008) delle tecnologie alimentate da FER alla scala urbana o territoriale (Angelis-Dimakis et al, 2011); permane una certa difficoltà nella definizione di parametri che rappresentino alla scala urbana il *fabbisogno netto dell'involucro* (UNI 11300 parte 1) da cui dipende in buona parte l'efficienza del sistema-edificio impianto.

Per la misurazione dell'efficienza dell'involucro si propone l'uso del coefficiente globale di scambio termico "H" (1) in quanto riassume in un solo parametro l'influenza della geometria e delle caratteristiche fisiche dei materiali (trasmittanza U). Utilizzando una comune base vettoriale e le informazioni disponibili[1] (tab. 2) si è calcolato con buona approssimazione il valore di H tramite procedure integrate nel software GIS. Il calcolo utilizza una combinazione di tools presenti nelle più comuni piattaforme GIS ed è strutturato in tre steps:

i. Ricavo di punti esterni ortogonali ai segmenti che rappresentano l'edificio tramite il *buffer* di poligono e *l'estrazione del punto medio* dei segmenti del poligono;
ii. Riconoscimento e calcolo delle superfici esterne delle facciate e dei muri interni che dividono i corpi di fabbrica ottenuto combinando uno *spatial join* tra i poligoni degli edifici e i punti ricavati come sopra ed alcune *query* basate sull'altezza degli edifici;
iii. Calcolo di H (1) effettuando uno *join* tra i dati di ingresso (tab. 2) e le superfici delle facciate.

$$H = Uwall*Swall + Uwind*Swind + Uroof*Sroof + Ubase*Sbase + Ustair*Sstair \quad (1)$$

dove:
H = coefficiente globale di scambio termico per trasmissione [W/k]

[1] Per una completa valutazione dell'efficienza energetica del sistema edificio - impianto sarebbe necessario inserire anche parametri relativi agli impianti ma, la mancanza di Data Base completi e la difficoltà di definire a priori tipologie e rendimenti rimandano la valutazione di tale aspetto ad un successivo approfondimento.

| | |
|---|---|
| Uwall = U muro esterno | Swall = superficie esterna del muro |
| Uwind= U finestre | Swind = superficie finestrata |
| Uroof = U copertura | Sroof = superficie della copertura |
| Ubase = U fondazione | Sbase = superficie a contatto del suolo |
| Ustair = U muro del vano scala | Sstair = superficie del muro del vano scala |

I dati di calcolo sono stati reperiti presso l'amministrazione comunale e dagli Open Data disponibili in rete. In particolare nei Piani di Lottizzazione sono reperibili le informazioni geometriche e tipologiche e la distribuzione planimetrica delle zone termiche (*figura 3*). La documentazione non riporta informazioni riguardo le caratteristiche dei materiali che sono state definite facendo riferimento alle tecnologie costruttive più utilizzate nell'area cagliaritana nei diversi periodi di costruzione: nel nostro caso è verosimile considerare gli edifici privi di isolamento termico in quanto realizzati nel periodo compreso tra la prima legge sull'efficienza energetica (legge 373/1976) e l'entrata in vigore della legge 10/1991.
Per valutare lo scostamento degli edifici dagli attuali requisiti di efficienza si è confrontato il valore H, calcolato in base alle strutture esistenti (Hr), con quello ottenuto utilizzando i valori di trasmittanza previsti dalla legge (Hn). Essendo edifici privi di isolamento si riscontrano valori di H molto superiori (35-55%) rispetto al valore ottenibile con strutture correttamente isolate, fortemente dipendenti dalla geometria delle superfici disperdenti (*figura 3*). Da questi primi calcoli si può affermare che gli edifici sui quali un miglioramento della trasmittanza dell'involucro avrebbe una efficacia maggiore sono quelli a torre, e analizzando separatamente le dispersioni termiche dei diversi elementi di fabbrica della (1) si possono suggerire alcuni indirizzi progettuali e di priorità di intervento specifici per tipologia (*figura 3*)

**Conclusioni e proseguo della ricerca**
L'approccio tipo-morfologico adottato, implementato con l'analisi anche degli altri modelli tipo-morfologici presenti, può essere un metodo per estendere i risultati definiti per tipologia a tutto l'insediamento urbano.
Grazie alla versatilità dello strumento GIS si potranno valutare economicamente diversi scenari di retrofitting energetico dell'involucro e integrare metodologie per la valutazione delle diverse tecnologie da FER. (Vettorato et al. 2011). In questo modo si otterranno "mappature tematiche" qualitative che evidenzieranno le principali risorse e criticità con l'obiettivo di ottenere indicazioni utili alla definizione delle strategie di piano per il raggiungimento di obiettivi di sostenibilità. Lo sviluppo di metodi per la valutazione alla scala urbana permetterà anche la valutazione comparativa tra alternative basata su parametri comuni di natura economica ed ambientali, costituendo uno strumento di supporto alla definizione di strategie per la trasformazione della città in maniera specifica nelle sue parti. Emerge la necessità di individuare ulteriori indicatori capaci di valutare in maniera più completa gli altri aspetti che caratterizzano la sostenibilità dell'insediamento e di integrare la dimensione ambientale e paesaggistica con quelle edilizia ed urbana.
Il metodo oltre che contribuire alla definizione della conoscenza per il piano potrà anche essere utile per integrare i diversi aspetti della sostenibilità negli strumenti urbanistici definendo criteri per il recupero urbano ed edilizio o per la costruzione dei nuovi quartieri.

**Riferimenti bibliografici**
Angelis-Dimakis A, Biberacher M, Domingue J, Fiorese G, Gadocha S, Gnansounou E, Guariso G, Kartalidis A, Panichelli L, Pinedo I, Robba M. (2011), "Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources", *Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 1182–1200*, doi:10.1016/j.rser.2010.09.049
Biberacher M, Gadocha S, Zocher D. (2008) "GIS based model to optimize possible self sustaining regions in the context of a renewable energy supply". *In: Proceedings of the iEMSs fourth biennial meeting: international congress on environmental modelling and software* 2008.

Charlot C, Outrequin P. (a cura di) (2003), HQE2R: *Verso un metodo per il recupero sostenibile dei quartieri*, Quaderno HQE2R n°1
Cresme Ricerche, Legambiente (a cura di) (2012), "I Regolamenti Edilizi comunali e lo scenario dell'innovazione energetica in Italia", *Rapporto ONRE 2012*, http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/rapporto_onre_2012.pdf
G. Dall'O' e A. Galante, (2009), *Efficienza energetica e rinnovabili nel Regolamento Edilizio Comunale,* Edizioni Ambiente, Milano.
Mickaitytë A., Zavadskas E. K., Kaklauskas A., Tupënaitë L., (2008). The concept model of sustainable buildings refurbishment. *International Journal of Strategic Property Management, 12, 53–68*.
Vettorato D, Geneletti D, Zambelli P. (2011) "Spatial comparison of renewable energy supply and energy demand for low-carbon settlements", *Cities 28 557–566*, doi:10.1016/j.cities.2011.07.004



Localizzaione delle lottizzazioni prese in esame, e viabilità principale



Edifici a torre, 1985
Struttura in CA, muratura a cassa vuota con intercapedine 8-10cm
Superficie finestrata 0,15



Edifici isolati, 1977
Struttura in CA, muratura in laterizio forato con spessore 25-30cm
Superficie finestrata 0,13



Edifici in linea, 1986
Struttura in CA, muratura a cassa vuota con intercapedine 8-10cm
Superficie finestrata 0,24

*Figura 1. Quartieri campione.*

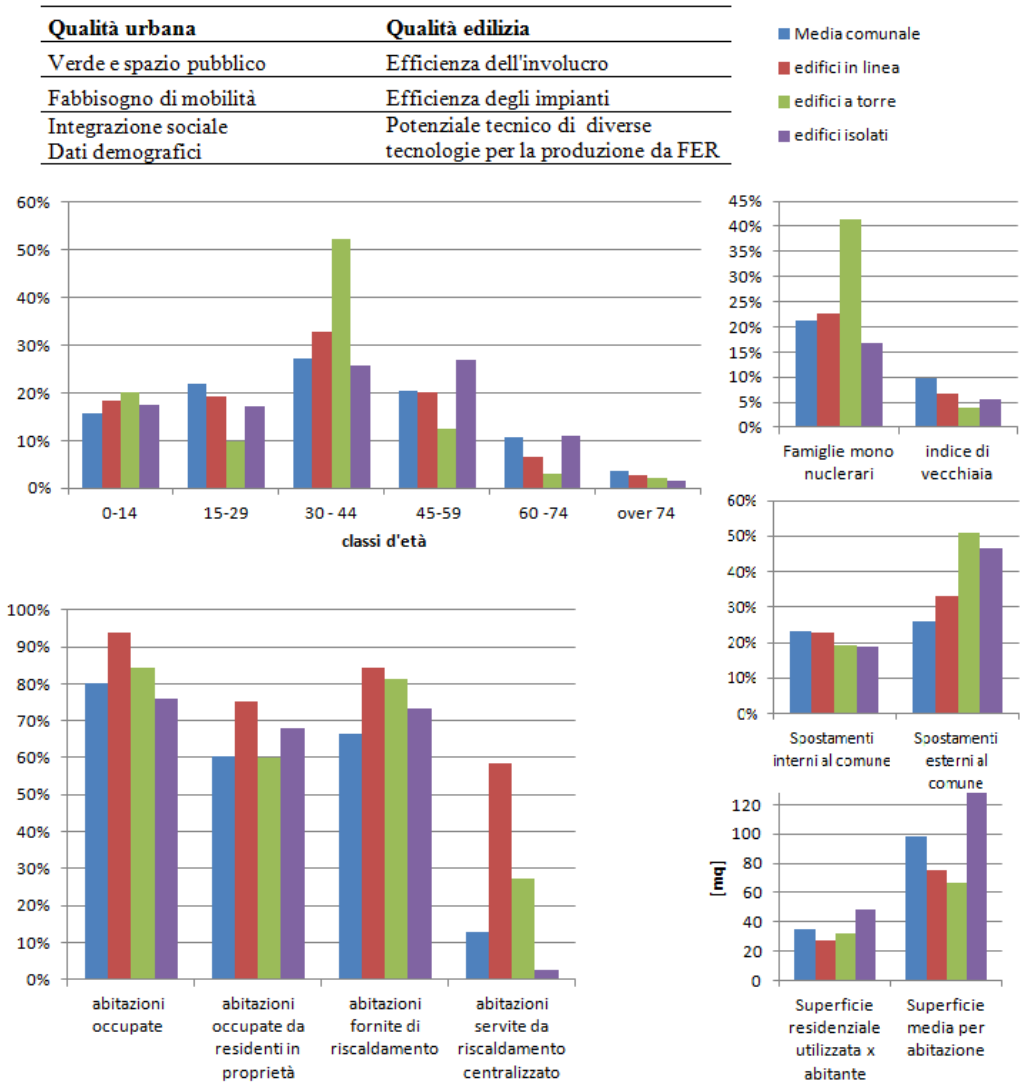
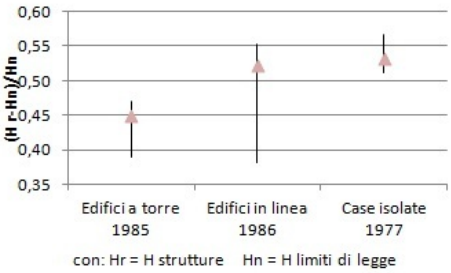



*Figura 2. Indicatori analizzati ed alcuni risultati.*

| Dati del calcolo | Fonte dei dati |
|---|---|
| Geometrie | Progetti depositati |
| Superficie finestrata | Progetti depositati |
| Altezza media dell'interpiano | Progetti depositati |
| Strutture e materiali | Definiti per tipologia (*figura 1*) |
| N° di piani | Bings Map |
| Tipo di tetto | Bings Map |
| Colore della facciata | Bings Map |



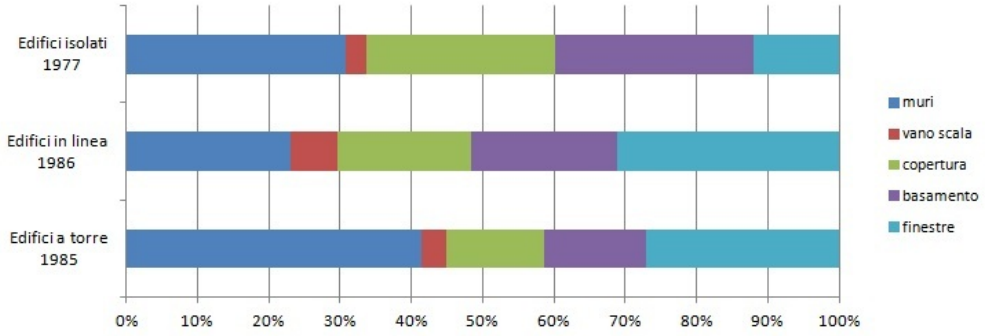




*Figura 3. Analisi della qualità edilizia.*

# Prima e dopo il Parco: monitoraggio delle variazioni ambientali tramite dati Landsat multitemporali

Rosamaria Salvatori (*), Paolo Plini (*), Giancarlo Tondi (**)

(*) CNR Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, Via Salaria km 29,300, 00015 Monterotondo staz. (RM)
{salvatori; plini}@iia.cnr.it
(**) Dottore Naturalista, giancarlotondi@yahoo.com

**Riassunto**
È stata condotta un'analisi del territorio compreso nell'area del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga utilizzando immagini Landsat TM relative alla fase precedente l'istituzione del Parco (1987) e a quelle successive (1999 e 2006). Per aumentare il dettaglio spaziale dell'analisi è stata inoltre elaborata un'immagine Aster del 2006. Le variazioni incorse nel territorio sono state valutate analizzando i risultati delle classificazioni ottenute con un procedura di massima verosimiglianza. Per un'analisi di dettaglio delle aree vegetate è stato inoltre calcolato NDVI e valutate le differenze nella distribuzione spaziale di tale valore.
L'analisi ha rivelato come nell'area del Parco e nelle zone limitrofe non si siano verificati cambiamenti sostanziali nell'arco di quasi 20 anni. Al di là di una moderata espansione degli insediamenti urbani e della rete viaria, il territorio, grazie anche al regime di protezione, non ha subito variazioni di rilievo. Il fenomeno maggiormente apprezzabile è l'espansione di alcune aree boscate a seguito di fenomeni di ricolonizzazione.

**Abstract**
In order to detect land features changes occurred within the National Park of Gran Sasso and Monti della Laga an analysis was carried out using Landsat TM images acquired before (1987) e and after (1999 and 2006) the Park institution. To increase the detail of the spatial analysis an Aster image shot in 2006 was also used. Changes occurred in the territory were evaluated analysing the results of the classifications obtained with a maximum likelihood procedure. NDVI values of the vegetated areas were computed and their spatial distributions were analyzed to emphasise in detail the vegetation variations. This analysis revealed that in Park and in the surrounding areas, due also to the Park management, no substantial changes over nearly 20 years occurred. Only a minor increase of the extension of urban structures (built areas and roads) were registered while the natural woods and prairies areas are colonising new areas.

**Introduzione**
Definire le variazioni ambientali che possono verificarsi nelle aree protette è sicuramente una tematica complessa ma è ormai comunemente accettato che le immagini riprese dai sensori remoti possono contribuire fattivamente alla realizzazione delle carte di copertura del suolo che rappresentano il primo passo nella gestione e nel monitoraggio di tali aree (Coppi net al 2004, Casacchia et al. 2002, 2004). Le immagini da remoto, disponibili anche gratuitamente in diverse modalità, rappresentano quindi un ottimo supporto "cartografico" per un numero sempre maggiore di applicazioni territoriali. L'utilizzo delle immagini satellitari ricavabili dai *data base* disponibili in rete, si limita spesso alla sola visualizzazione dell'immagine e alla fotointerpretazione; le analisi di dettaglio richiedono infatti l'utilizzo di immagini sulle quali sia possibile effettuare elaborazioni basate sulle proprietà spettrali delle superfici oggetto di studio quali ad esempio le classificazioni o

il calcolo di indici di vegetazione (Brivio et al. 2006) In questi casi è necessario risalire alle immagini non "pre-elaborate", spesso disponibili presso le agenzie produttrici dei dati. In particolare le immagini Landsat rappresentano attualmente una risorsa estremamente importante in quanto sono disponibili gratuitamente serie storiche in diversi formati.
Sulla base di queste considerazioni è stato sviluppato un progetto per l'analisi e lo studio territorio del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga prevedendo l'utilizzo della cartografia e delle immagini satellitari reperibili in rete da affiancare alle conoscenza diretta dell'area di studio.
Questo lavoro presenta una"estensione" del attività svolta per la realizzazione del sistema informativo dell'area (Plini et al.2008) focalizzato all'analisi delle variazioni avvenute nel territorio a seguito dell'istituzione dell'area protetta. I risultati di questa analisi contribuiranno pertanto a implementare le informazioni territoriali, attualmente organizzate nel sistema informativo.

**Il Paesaggio vegetale dell'area di studio**

La ricerca in corso prende in esame l'area corrispondente a parte del territorio del Parco in corrispondenza della catena principale della Laga fino al limite costituito a sud-est dalla valle del Fiume Vomano.Il Parco è stato costituito nel 1991, nel 1995 è stato istituito l'Ente Parco, con l'attuale perimetrazione e sono state stabilite le misure di salvaguardia per le diverse zone (Fig.1).

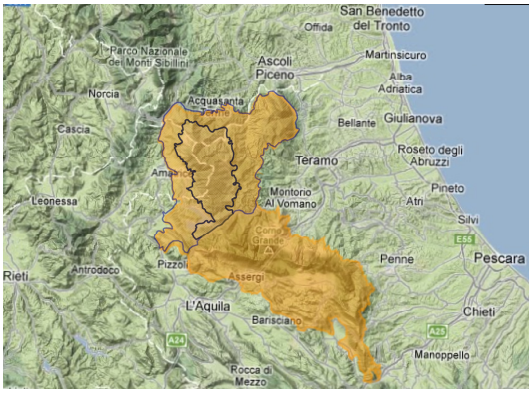



*Figura 1. Area di studio.*

La vegetazione dei Monti della Laga è il risultato di una complessa e lenta trasformazione della flora sotto l'influsso di importanti correnti migratorie (dal Miocene al periodo post-glaciale, da 6-7 milioni a 10.000 anni fa, attraverso l'arco alpino, la penisola balcanica e le regioni mediterranee) e delle attività di utilizzazione del territorio da parte dell'uomo in tempi storici.
Alla notevole omogeneità del substrato roccioso marnoso-arenaceo (Flysch della Laga), che tenderebbe a rendere monotoni gli aspetti floristico-vegetazionali, si contrappone il forte dislivello altimetrico esistente tra i fondovalle e le cime più elevate della catena, che è causa di un paesaggio vegetale quanto mai diversificato e ricco di aspetti peculiari.
Questa multiforme ecodiversità è determinata dall'azione combinata di 4 fattori:

- l'articolata morfologia del territorio
- le condizioni bioclimatiche locali
- l'abbondanza d'acqua
- l'azione antropica

L'erosione da parte delle acque ha modellato il paesaggio in modo diverso a seconda degli strati rocciosi interessati. L'alternarsi di arenarie e marne ha prodotto, infatti, pendii con una caratteristica morfologia a gradini e scarpate; la bassa permeabilità di questa successione geologica limita l'infiltrazione delle precipitazioni, che tendono a defluire rapidamente in superficie o alimentano un sistema di falde acquifere superficiali di modesta estensione: questo spiega i fenomeni di erosione accelerata dei pendii più acclivi e la diffusa abbondanza d'acqua.
Da un punto di vista bioclimatico l'area indagata in questo lavoro rientra completamente nella Regione Temperata (Blasi, 1994, 2005).
La copertura forestale, discontinua nel versante amatriciano, risulta più estesa su quello teramano, tuttavia il limite degli alberi (che segue quasi fedelmente l'isoipsa 1850 m s.l.m.), come spesso

accade, è l'artificioso risultato di disboscamenti iniziati in tempi assai remoti e continuati fino ai giorni nostri.
Al di sotto dei 1200 m s.l.m. la vegetazione dominante è rappresentata dai querceti misti a Cerro (*Quercus cerris*), prevalentemente nel versante occidentale, e a Roverella (*Quercus pubescens*) nel versante orientale e alle quote più basse (Codice Corine 3112). Nelle esposizioni più fresche si sviluppano, invece, i boschi di Castagno (*Castanea sativa*) (Codice Corine 3114), di antica origine antropica. I boschi di sclerofille sempreverdi (leccete) a Leccio (*Quercus ilex*) (Codice Corine 31311) sono limitati alle quote più basse, piuttosto sporadicamente, con una concentrazione maggiore lungo la Valle del Tronto ascolana, dove compare anche il Pino d'Aleppo (*Pinus halepensis*).
Le zone comprese tra i 1200 e i 1900 m s.l.m. presentano una vegetazione dominante rappresentata dalla faggeta (Codice Corine 3115) e, limitatamente ai versanti marchigiano e teramano, dalle abetine ad Abete bianco (*Abies alba*) (Codice Corine 31315 e 31323. Abetine pure Codice Corine 3123). Alle quote meno elevate si sviluppano ancora querceti misti (prevalentemente a Cerro) e arbusteti di ricostituzione a rose, ginepro e Ginestra dei carbonai (*Cytisus scoparius*), che rappresentano una vegetazione in rapida evoluzione (Codice Corine 324). Le aree di faggeta disboscata e le radure sono colonizzate o dal pascolo a Nardo (*Nardus stricta*) (Codice Corine 3212), specie rustica e poco esigente, capace di resistere anche al calpestio intensivo di ovini e bovini, oppure, nelle zone più rupestri ed acclivi, dal seslerieto a Sesleria dei macereti (*Sesleria nitida*) (Codici Corine 3211 e 333).
Oltre i 1900 m s.l.m. il clima assume caratteristiche di tipo alpino. Qui si sviluppano gli arbusteti subalpini a Mirtilli (*Vaccinium myrtillus* e *V. uliginosum microphyllum*) e Uva orsina (*Arctostaphylos uva-ursi*) (Codice Corine 322 (ex 31.4A) arbusteti subalpini), dei pascoli primari ad Erba lucciola (*Luzula italica*) ed Elina (*Elyna myosuroides*) e delle vallette nivali a Salici nani (*Salix herbacea* e *S. retusa*) (Codice Corine 3212). Ben caratterizzate sono anche le praterie secondarie d'alta quota, con seslerieti a Sesleria appenninica (*Sesleria juncifolia*), festuceti a *Festuca paniculata* e *Carex kitaibeliana* e, nelle zone soggette a sovrapascolamento, vasti popolamenti a *Nardus stricta*, specie poco appetita dal bestiame e resistente al calpestamento (Codici Corine 3211 e 333).
Un discorso a parte merita la vegetazione sinantropica, cioè quella che si sviluppa nelle aree a forte impatto antropico, vuoi per motivi residenziali, vuoi per motivi economici di organizzazione e di sfruttamento intensivo del territorio. Si tratta di un paesaggio vegetale in continua trasformazione, difficilmente tipificabile a grande scala, condizionato da particolari condizioni ecologiche e caratterizzato da un elevato numero di specie alloctone o aliene, comunque invasive (Codici Corine 112 Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado, 121 Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati, 2111 Colture intensive in aree non irrigue, 231 Prati stabili [foraggere permanenti], 243 Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti).
Il territorio dei Monti della Laga, in particolare sul versante occidentale, è caratterizzato da una elevata frammentazione ambientale. In alcune parti del territorio, l'originario bosco misto a latifoglie è stato convertito ad opera dell'uomo a pascolo e parzialmente ricolonizzato con conifere da rimboschimento. Le praterie in queste zone stanno riacquistando la loro struttura arborata mediante stadi di arbusteti. All'interno dei boschi di faggio si incontrano frequentemente aree aperte un tempo occupate da carbonaie. Il taglio a ceduo, praticato intensivamente nei boschi a latifoglie determina inoltre la formazione di ampie radure

**Elaborazione delle immagini**
Per poter analizzare le variazioni ambientali in un arco di tempo sufficientemente lungo, che includesse il periodo immediatamente precedente l'istituzione del Parco nel 1991, sono state selezionate due immagini Landsat TM (1987 e 1999) ed un immagine Landsat ETM del 2006 (tab.1) tra quelle disponibili presso http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/ .

Le immagini sono state calibrate, normalizzate e georiferite con le procedure implementate nel software ENVI 4.7.
Il territorio relativo al parco è stato classificato utilizzando come riferimento per la definizione delle classi il tematismo Corine Land Cover anno 2006, accessibile tramite il Portale Cartografico Nazionale (http://www.pcn.minambiente.it/GN/), e validando i risultati con osservazioni di campo.
Le immagini sono state classificate con algoritmo di massima verosimiglianza ottenendo un accuratezza di circa l'90 % (vedi tab.1).
Le immagini classificate sono state filtrate con un filtro Majority 3x3; il confronto multitemporale tra le classificazioni è stato effettuato utilizzando come riferimento l'immagine del 1999 e le differenze percentuali in pixel tra le varie classi Corine, sono state calcolate con una procedura simile a quella utilizzata per il calcolo della matrice di confusione (ENVI 4.7User's Guide).

| Imagine Landsat | Overall Accuracy | Kappa Coefficient |
|---|---|---|
| TM 1987 1987-8-30 | 91.69% | 0.9088 |
| TM 1999 - 1999-09-24 | 95.36% | 0.9490 |
| ETM 2006- 2006-09-11 | 90.15% | 0.8936 |

*Tabella 1. Accuratezza delle classificazioni delle immagini.*

Poiché alcune aree a copertura discontinua, tendono a confondersi o ridistribuirsi nelle diverse classi di coperture Corine, per evidenziare le variazioni vegetazionali interne alla classi sulle immagini opportunamente normalizzate é stato calcolato NDVI. Le immagini NDVI sono state, quindi, utilizzate per calcolare le immagini differenza (ndvi1987-ndvi1999, 2006-1999, 1987-2006). Sulle queste immagini è stata poi applicata una procedura di *density slicing*, considerando i valori compresi nel II e III quartile dei relativi istogrammi di frequenza (tab.2), allo scopo di evidenziare le aree in cui si è verificato un incremento o una diminuzione del valore di tale indice.

| NDVI | Valore II quartile | Valore IV quartile |
|---|---|---|
| 1987-1999 | -0.88286 | 0.46271 |
| 2006-1999 | -0.29301 | 1.013086 |
| 1987-2006 | -0.57045 | 0.895396 |

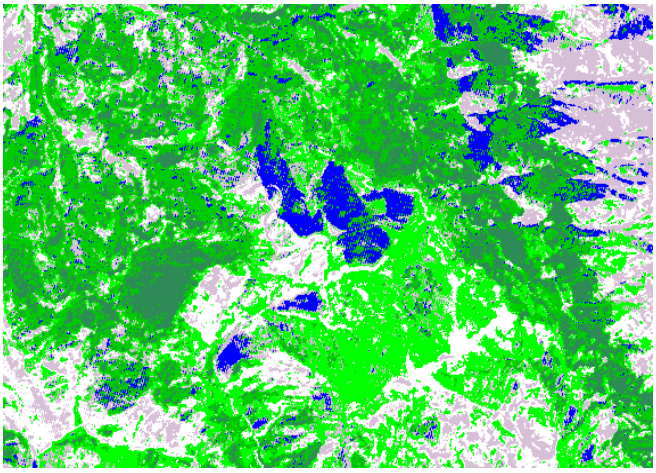
*Tabella 2. Limiti della distribuzione di frequenza delle immagini differenza.*

Per aumentare il dettaglio spaziale dell'analisi è stata, infine, utilizzata una immagine Aster del 2006 (Livello 1A - bande 1, 2,3), opportunamente calibrata, georiferita e classificata definendo le stesse classi e applicando lo stesso algoritmo utilizzato per la classificazione delle immagini Landsat. Il maggior dettaglio di questa immagine (15 m/pixel) ha contribuito a definire il dettaglio delle aree in cui è stata riconosciuta in campo la ripresa della vegetazione spontanea .

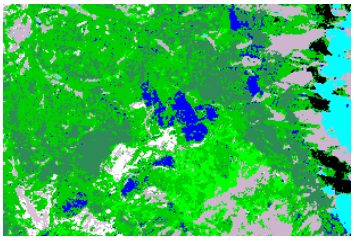
**Risultati e Conclusioni**

I risultati delle classificazioni hanno evidenziato come nel territorio del Parco e nelle aree limitrofe le variazioni di uso del suolo siano state estremamente contenute nell'arco dei 20 anni analizzati. L'alta frammentazione del territorio e la scarsa antropizzazione dell'area in esame hanno contribuito a conservare nel tempo le caratteristiche territoriali e paesaggistiche che hanno concorso alla costituzione del Parco.
Il confronto multi temporale tra le tre immagini classificate ha evidenziato inoltre come in alcune aree del Parco ci sia stata una ripresa della vegetazione "spontanea" sia come rinverdimento (territorio riconquistato) sia come vigore (più fitta) della vegetazione.
Al fine di evidenziare al meglio le caratteristiche vegetazionali di queste aree, dopo aver calibrato opportunamente le immagini, è stato effettuata un'analisi multi temporale dei valori di NDVI e delle

relative immagini "differenza". Anche i questo caso l'analisi ha rilevato un "miglioramento" del territorio vegetato nelle aree divenute Parco. Le immagini utilizzate corrispondono alla fine della stagione estiva e non è da escludere che alcune delle variazioni rilevate nei valori di NDVI possano essere attribuite a variazioni nelle condizione meteo-stagionali. Considerando però l'andamento degli istogrammi di frequenza é stato possibile applicare un *density slice* ai valori compresi tra il II e il IV quartile assegnando ai diversi intervalli un significato "vegetazionale" (corrispondenza tra intervallo del *density slice* e formazione vegetazionale); ciò ha permesso di evidenziare le variazioni strutturali del territorio e delineare le aree con vegetazione più "rigogliosa".



**a**



**b**

| | |
|---|---|
| | conifere |
| | Formazioni prative praterie |
| | Boschi misti - copertura discontinua |
| | Boschi misti - copertura continua |
| | Non vegetato |
| | Affioramenti rocciosi |
| | Nuvole |
| | Ombra |

*Figura2. Confronto tra le classificazioni ottenute elaborando l'immagine Aster (1a) e immagine Landsat (1b) del 2006.*

Nella figura 2 è riportato un particolare della classificazione ottenuta partendo dall'immagine Aster del 2006 e nella figura 1b la stessa area estratta dalla classificazione dell'immagine Landsat ETM.
Le differenze maggiori si rilevano per le aree non vegetate/affioramenti (scoperto) e ciò è da attribuire in parte alla diversa risoluzione spettrale delle immagini utilizzate (6 bande ETM e 3 bande Aster). Integrando le bande Landsat ETM (30m/pixel) con la corrispondente banda pancromatica (a 15m) è possibile ottenere un risultato di classificazione praticamente simile alla classificazione ottenuta con l'immagine Aster. In questa sperimentazione sono state utilizzate entrambe le immagini al fine di individuare la procedura migliore per il confronto multi temporale.
Le immagini Landsat infatti, pur presentando una risoluzione spettrale che attualmente viene considerata "bassa" offrono il vantaggio della disponibilità di lunghe serie temporali e dei costi di acquisizione contenuti se non addirittura trascurabili, come nel caso di questa sperimentazione.

**Conclusioni**

L'analisi multitemporale del territorio del parco del Gran Sasso e Monti della Laga è stata condotta utilizzando immagini Landsat ed Aster disponibili in rete. Le immagini opportunamente co-registrate e normalizzate hanno permesso di analizzare le lievi variazioni incorse nell'area oggetto di studio, sottolineando l'importanza di poter disporre di dati telerilevati per il monitoraggio e la gestione del territorio. La possibilità di utilizzare immagini a costi contenuti per lo studio e il monitoraggio delle aree protette, in un momento in cui fondi per la gestione del territorio sono estremamente limitati, rappresenta uno strumento di analisi enormemente interessante. Il dettaglio spettrale delle immagini Landsat e le serie temporali attualmente disponibili in rete, permettono di studiare la vegetazione con un dettaglio tale da rappresentare un valido strumento operativo. La validazione dei risultati delle elaborazioni, se effettuata con controlli di campo o in base alla conoscenza diretta del territorio da parte degli operatori del settore, permette di sopperire alla "bassa risoluzione spaziale" delle immagini fornendo, ancora oggi, uno strumento indispensabile per la tutela del territorio. Le carte tematiche derivabili dall'elaborazione delle immagini forniscono inoltre tematismi implementabili nei sistemi informativi territoriali utilizzati per la gestioni delle aree protette.

**Riferimenti bibliografici**

Blasi C. (1994), "Fitoclimatologia del Lazio". *Fitosociologia* 27: 151-175.

Blasi C. (2005), "Il Fitoclima d'Italia". In: Blasi C. Eds., *Completamento delle Conoscenze Naturalistiche di base, Carta delle Serie di vegetazione d'Italia*, scala 1:250.000, GIS Natura, Direzione per la protezione della Natura, Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

Brivio A., Lechi G., Zilioli E., 2006, Principi e metodi di telerilevamento, ed. Città Studi, 2006, XIII-525 p.

Casacchia R., Grignetti A., Salvatori R.2002. Analisi multitemporale di un sistema dunale con foto aeree e dati Mivis. Atti 6 Conferenza Asita, Perugina 5-8 Novembre 2002, I, 685-690

Casacchia R., Grignetti A., Mandrone S., Salvatori R . 2003, The role of spatial resolution in landscape analysis. Int. Symposium on Remote Sensing, 8-12 settembre, Barcellona (Spagna), vol. 5232, 553-564

Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., Lamnin E., 2004. Digital change detection method in eco system monitoring: rewiew. Int. J. Remote Sens. 25,1565-1596.

Di Pietro R., Tondi G. (2005), "A new mesophilous Turkey-Oak woodland association from Laga Mts. (Central Italy)", *Hacquetia*, 4/2: 5-25.

Pedrotti F., (1982), Carta della vegetazione del Foglio Acquasanta. Roma, C.N.R., AQ/1/88: 1-27

Plini P., De Santis V., Di Franco S., Salvatori R., Tondi G., 2008 - Integrazione tramite GIS e webGIS di dati ambientali e risorse territoriali nel Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga. 12ª Conferenza Nazionale ASITA. L'Aquila, 21-24.X.2008. pp. 1663-1668. ISBN 978-88-903132-1-9.

Tondi G., Plini P. (1995), "Prodromo della Flora dei Monti della Laga (Appennino Centrale, versante laziale)", Roma, Acli Anni Verdi, 1-204.

ENVI Version 4.7, 2009 Edition Copyright © Research Systems, Inc. All Rights Reserved

# Web-gis storico-archeologico della Val di Vara

Enrica Salvatori (*), Monica Baldassarri (**), Paolo Mogorovich (***)

(*) Università di Pisa Dip. di Storia, Via P. Paoli 15, Pisa, Tel.+39 050 2215464,
e-mail: e.salvatori@mediev.unipi.it
(**) Museo Civico di Montopoli in Val d'Arno, Guicciardini 55,
56020 Montopoli in Val d'Arno (Pisa), e-mail: monbalda@gmail.com
(***) Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo",
Area della Ricerca CNR di Pisa, Via G.Moruzzi 1, 56124 Pisa,
Tel. +39 050 3152984, e-mail: paolo.mogorovich@isti.cnr.it, http://www.isti.cnr.it/

**Riassunto**
Il progetto "Tra Monti" riguarda una serie di Comuni della Val di Vara (Spezia) (capofila il Comune Rocchetta di Vara) e ha per obiettivo il censimento di emergenze architettoniche e archeologiche e la costruzione di una "memoria orale", sia per esigenze scientifiche che per valorizzare il patrimonio storico culturale della zona. È stato diretto dall'Università di Pisa e ha visto la collaborazione di esperti in storia, archeologia e informatica.
La tragica alluvione del 25 ottobre 2011 ha reso reso ancora più attuale il progetto, affrettando il processo di cancellazione di quanto si intendeva ricordare e documentare.
Da un punto di vista tecnologico è stato realizzato un sito web per gestire il materiale documentale raccolto. Tale sito web, costruito completamente con software Open Source e libero, comprende funzioni nella logica web 2.0 e un webGIS.
Le esigenze del progetto hanno indirizzato il disegno del sito web nel nuovo contesto tecnologico che sta caratterizzando il ventunesimo secolo e che sta indirizzando le nuove trasformazioni e gli assetti spaziali del territorio inteso come l'insieme degli "oggetti" e delle "persone" che lo popolano. Su questo insistono non solo gli esperti, ma anche le popolazioni (i "saperi locali") ciascuno portatore di una propria informazione e di un proprio contributo conoscitivo.

**Abstract**
The "Tra Monti" project concerns a set of Municipalities in "Val di Vara" (La Spezia, IT). The goal is to collect archeological and architectural data about the area of study, as well as to build a sort of "oral memory" in order to promote the cultural heritage of the area and for scientific purposes. The director of the project is the University of Pisa which has promoted a collaboration between historical, archeological and IT experts. A devasting flood just during the activity, which destroyed cultural goods documented some days before, stressed the goal of the project.
We designed and build a web site to manage and publish the information we collected. The web site uses only OS and Free SW components; some web 2.0 functions are available and an important GIS part is present.
The spirit of the project is sympathetic to the actual technological context, whose opportunities suggest to consider the territory as a mix of "objects" and "people". Both experts in the universities and local people on the territory can give a contribution in enriching the DataBase with new data and a knowledge contribution with their different particular skills.

**Presentazione del progetto**

Il progetto "Tra Monti" è stato proposto dal Comune di Rocchetta di Vara (SP) al Ministero della Gioventù nel 2010 e l'anno successivo è risultato vincitore e destinatario di un finanziamento che ne ha permesso la realizzazione.

Il progetto parte da una proposta elaborata da Monica Baldassarri avente per oggetto il censimento di emergenze architettoniche e archeologiche al fine di ricostruire percorsi di fruizione del territorio sia per esigenze scientifiche che per valorizzare il patrimonio storico culturale della zona; a questo tema il Comune ha voluto unire le memorie degli abitanti più anziani della Valle, per costruire una sorta di ponte generazionale, di canale di trasmissione di ricordi, per un territorio che aveva subito, nel giro di poche decine d'anni, profonde trasformazioni, la maggior parte delle quali legate al fenomeno dell'abbandono. Il Comune di Rocchetta di Vara ha coinvolto altri 8 comuni contermini nel progetto e ne ha affidato la direzione all'Università di Pisa, nella persona di Enrica Salvatori che ha coniugato nel progetto i contributi di più discipline: storia, archeologia, geografia e informatica umanistica (Salvatori E., 2012).

Il progetto, realizzato tra l'agosto e il dicembre 2011, è il risultato dell'integrazione di più attività:

- lo studio del territorio: è stato attuato un censimento delle strutture produttive e delle emergenze storico-archeologiche tramite ricognizioni archeologiche di superficie, basate su conoscenze pregresse, sulla presenza di peculiari toponimi e sull'analisi di foto aeree, e spoglio della documentazione storica e produzione storiografica degli ultimi due secoli, che prendesse in considerazione anche le realtà scomparse, proprio al fine di tentare, se possibile, una loro individuazione geografica. In una fase successiva, agli studi storico-archeologico-geografici, si è affiancata una serie di proposte di sentieri e percorsi nella Val di Vara scelti da un lato per il loro valore paesaggistico, dall'altro per il fatto di toccare abitati e strutture interessanti dal punto di vista culturale;
- la costruzione e gestione della "memoria orale": il mondo contadino dell'Italia del primo Novecento, un mondo fatto di strumenti, riti, usanze, linguaggi, spiritualità, relazioni sociali e conoscenza capillare del territorio è venuto meno nel giro di poche decine di anni. Così è accaduto anche alla Val di Vara, che è stata soggetta nel corso dei secoli XIX e XX a un forte processo di abbandono: usi e costumi che si tramandavano di generazione in generazione sono andati progressivamente dimenticati, così come la conoscenza capillare del territorio e, contestualmente, anche la sua cura. Questo ambiente e il mondo a cui esso era collegato sono perduti, ma esistono ancora dei testimoni diretti che possono "raccontare". Il progetto ha organizzato una squadra di raccolta formata esclusivamente da giovani, a cui si è insegnato a fare una video intervista, a riversarne il contenuto su un computer, a procedere in un'opera di post-produzione di quanto registrato e infine a caricare i file prodotti sul portale con l'inserimento di opportuni metadati;
- la costruzione di un portale: poiché l'obiettivo del progetto è costruire e cementare comunità e gruppi di persone, il sito web (http://www.tramontivaldivara.it/) non solo offre materiale informativo, ma l'occasione per depositare propri materiali, valutare quelli degli altri, inserire propri pensieri e annotazioni. Quindi un sito "web 2.0" dedicato alla storia e alla cultura che rende ogni partecipante un facitore di storia e di cultura, un apportatore di materiali alla conoscenza comune e quindi anche al cemento che lega assieme una o più comunità di un territorio. Tutto questo appartiene al fenomeno, totalmente nuovo nel panorama dei beni culturali, degli "invented archive", ossia delle collezioni dette "inventate" non perché fantasiose, ma perché create in formato digitale senza che ci sia stato un deposito fisico presso un ente deputato istituzionalmente alla raccolta e alla conservazione. Il portale ha un'importante sezione di tipo geografico che descriveremo in seguito.

**25 ottobre 2011**
La Val di Vara è stata colpita da un tragico evento alluvionale il 25 ottobre 2011, per una tragica coincidenza, proprio nella fase centrale delle attività del progetto. Per assurdo gli eventi naturali hanno reso più attuale il progetto, affrettando il processo di cancellazione di quanto si intendeva ricordare e documentare.
È stato immediatamente chiaro che era importante cercare di operare una raccolta organizzata della documentazione relativa all'alluvione, in concreto una raccolta del materiale fotografico e audio/video tra quanti, abitanti, protezione civile, volontari, avevano spontaneamente documentato l'accaduto e gli interventi di soccorso e ricostruzione. A questo fine è stata aperta una sezione apposita del sito, costruita più o meno come quella delle videointerviste ed è stata avviata una campagna informativa per la raccolta del materiale. Questo tipo di operazione è già stata sperimentata da altri per grandi eventi catastrofici, ma ci risulta per la prima volta in Italia. Essa si configura come un progetto di "public history", uno dei pochi attualmente attivi in Italia (Salvatori E., 2012).

**La realizzazione del webGIS**
Il sito web del progetto è costituito, oltre che da componenti tradizionali, da una parte GIS e da una di tipo "2.0". Sia l'individuazione del webGIS come strumento di condivisione, pubblicazione e lettura dei dati scientifici, sia la messa in rete di tutti gli altri materiali su un sito internet di tipo 2.0 sono state scelte deliberate e consapevoli, al fine di raggiungere due obiettivi del progetto: comunicazione e partecipazione. Il fatto di non integrare la filosofia 2.0 nel webGIS è dovuta solo in parte alla limitatezza delle risorse; in realtà essa discende anche dalle difficoltà concettuali e operative di modellare geograficamente una "memoria" e dal desiderio di mantenere lo strumento allineato con le capacità d'uso dell'utente, evitando una "indigestione informatica" che sarebbe risultata contraria almeno ad alcuni degli obiettivi del progetto.
Navigando nel sito, la componente webGIS si presenta come "Mappa dei Beni culturali" o brevemente Atlante. È uno strumento di ricerca e consultazione basato sulla rappresentazione delle identità storiche della Val di Vara. Può essere inteso come l'evoluzione di un catalogo o archivio di biblioteca in un nuovo catalogo in cui la ricerca non è più svolta scorrendo le lettere dell'alfabeto, ma osservando ed interrogando il territorio e le sue immagini. L'atlante non è statico poiché è lo stesso fruitore che ne costruisce di volta in volta nuove rappresentazioni attraverso le sue ricerche (es. cronologiche, tipologiche). Proprio come un comune archivio di biblioteca, lo strumento progettato non si rivolge esclusivamente ad un pubblico esperto, ma è in grado di "dialogare" e "adattarsi" al pubblico che gli si pone davanti, in questo caso gli utenti del Web. Emerge che è stata dedicata attenzione e cura alle questioni di linguaggio e comunicazione, oltre che di design dell'informazione.
Per tali motivi l'Atlante si colloca trasversalmente nella struttura del sito web del progetto "Tra Monti" ed è richiamabile lì dove l'utente possa avere necessità di accedere ad un archivio per svolgere ricerche mirate in ambito storico o archeologico sull'intera Valle.

**Funzionalità del webGIS**
La fase di progettazione dell'Atlante è stata caratterizzata dall'analisi delle potenziali richieste di informazioni degli utenti visitatori. Gli utenti sono sia esperti e professionisti (archeologi, storici, architetti, etc) sia semplici fruitori del territorio della Val di Vara in qualità di abitanti o di turisti. Lo strumento, presentandosi come una sorta di "catalogo geografico", deve essere in grado di adattarsi alle diverse richieste d'informazioni e disporre di adeguati strumenti di interrogazione e di ricerca dei dati.

Lo strumento si presenta con una mappa focalizzata sull'area di studio e consente di navigare nel territorio, visualizzare la presenza di oggetti di interesse, selezionarli e analizzarne le caratteristiche.

Il territorio è presentato come strato di sfondo selezionabile tra le visioni di OSM, Google Map®, Google Satellite® e Google Terrain®. Su di esso ci si può muovere coi tradizionali strumenti di zoom e pan ed eseguire misure lineari ed areali. Tre strati tematici, riguardanti dati provenienti da fonti materiali, dati provenienti da fonti storiche e i percorsi, sono visualizzabili in modo indipendente uno dall'altro. I dati sono visualizzati tramite un simbolo e, quando la scala lo permette, l'area occupata dall'oggetto è presentata come elemento areale (figura 1). La selezione di un oggetto permette di vederne le caratteristiche tramite una scheda formata da testo e, quando disponibile, anche un'immagine.

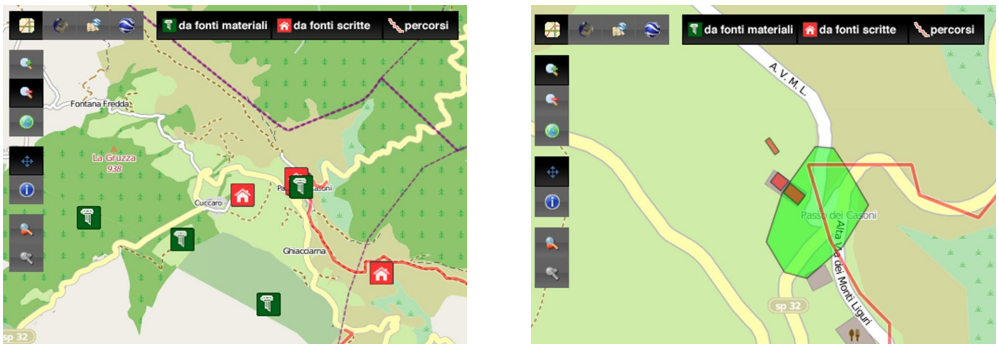



*Figura 1. I tre strati tematici riguardanti dati provenienti da fonti materiali, da fonti scritte e i percorsi vengono presentati come simboli su uno sfondo di riferimento; quando la scala lo permette è visibile l'effettiva area occupata dagli oggetti.*

Gli oggetti storici e archeologici memorizzati nel data base sono caratterizzati da una serie di informazioni descrittive secondo modelli definiti rispettivamente nel contesto archeologico e storico, cercando un compromesso tra il rigore scientifico e la necessità di una comunicazione diretta ed efficace. Ad esempio "Località" che indica il nome del luogo su cui insiste l'oggetto, la "Macro Epoca" che corrisponde all'interpretazione storica della cronologia del bene, etc. Ciascuna di queste informazioni può essere un parametro di ricerca,
L'Atlante dispone di una modalità di ricerca semplice e una modalità di ricerca avanzata. La ricerca semplice è rivolta ad un utente di primo livello, ad esempio un turista che vuole pianificare un itinerazio per visitare le fonti materiali risalenti ad un certo periodo storico. La ricerca avanzata è rivolta ai ricercatori, studiosi e professionisti, che hanno esigenza non soltanto di individuare il patrimonio di fonti materiali che soddisfi determinate caratteristiche cronologiche e tipologiche, ma anche di incrociarlo e visualizzarlo con il patrimonio proveniente da fonti scritte e documentali".
I parametri di ricerca non differiscono tra la modalità semplice e complessa, mentre ciò che cambia è la possibilità di costruire ricerche multiple.

La ricerca semplice è ulteriormente suddivisa in tipologia di patrimonio: storico o archeologico.
Nel caso della ricerca in modalità semplice, l'utente dispone di una serie di parametri che può definire singolarmente, in relazione alle specifiche richieste di conoscenza (es. manufatti storici in località "Comune di Rocchetta"). Ogni qual volta l'utente decida di effettuare una nuova ricerca, attraverso un ulteriore campo, la ricerca precedente verrà automaticamente annullata e verrà restituito il risultato della nuova interrogazione. Ciò al fine di semplificare la gestione dello strumento da parte dell'utilizzatore.

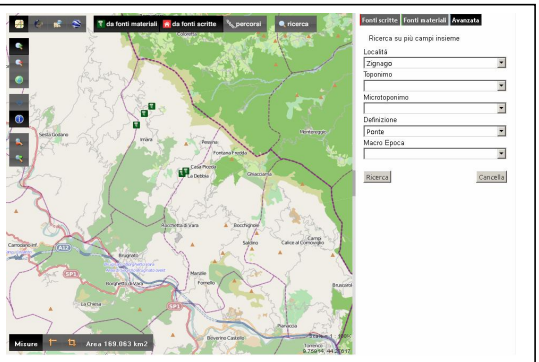



*Figura 2. I parametri impostati in questa ricerca sono la Località e la Definizione dell'oggetto, mentre sono lasciati liberi gli altri descrittori (Toponimo, Sottotoponimo e MacroEpoca.*

La modalità di ricerca complessa consente un maggiore grado di libertà all'utente, consentendogli di attivare più parametri di ricerca contemporaneamente. Questa modalità richiede un utente esperto e consapevole di ciò che intende ricercare all'interno dell'Atlante del patrimonio della Val di Vara. Un esempio di ricerca avanzata è riportato in figura 2.

La ricerca semplice assomiglia a quello che si fa sfogliando le schede di un catalogo in modo "tradizionale", culturalmente povero, mentre la ricerca avanzata è il "di più", tipico di chi desidera cercare relazioni tra oggetti diversi, aggiungendo il suo punto di vista.
Una volta selezionati gli oggetti di interesse, tramite una funzione è possibile visualizzare la scheda completa che descrive ciascun oggetto (Figura 3).

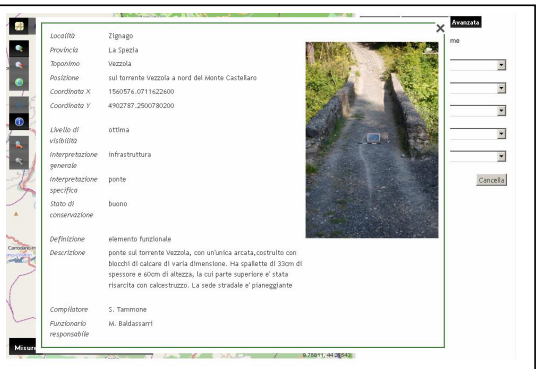



*Figura 3. Tramite un click sul simbolo di un oggetto si richiama una scheda che lo descrive completamente, eventualmente corredata da una o più immagini.*

**Componenti tecnologiche**
Così come la conoscenza di un territorio non è un "gioco individuale" ma richiede le competenze multidisciplinari oltre che le esperienze delle comunità locali, anche la tecnologia adottata per la realizzazione sito web del progetto si basa sul principio di comunità e libertà. L'adozione di tecnologie Open Source e libere esprime questo principio.
L'architettura è di tipo client-server, ovvero in cui il browser del computer dell'utente rappresenta un "cliente" che chiede/fornisce informazioni al server remoto nella logica web 2.0.
In particolare la componente Atlante del Patrimonio è basata su un Web Gis sviluppato interamente con soluzioni free, open source e OGC compliant secondo la direttiva Inspire (Web1,2007).
Il webgis è basato sui seguenti pacchetti software e librerie:

- Server di mappe per la pubblicazione dei dati geografici sul web: Geoserver;
- DBMS con estensione geografica: Postgresql/PostGIS;
- Librerie OpenLayers per lo sviluppo della componente geografica;
- Librerie jQuery per lo sviluppo delle interfacce grafiche utente.

Questi strumenti costituiscono il motore dell'Atlante e consentono ai soggetti gestori delle informazioni di continuare la fase di aggiornamento dei dati attraverso la connessione diretta al Geo database.
La costruzione del webGIS ha richiesto lo sviluppo di nuove funzioni e la personalizzazione dell'interfaccia utente che è stata disegnata, per quanto possibile, in modo semplice e intuitivo.

**Il contesto culturale di riferimento**
La realizzazione, relativamente semplice e forzatamente affrettata, del sito web del progetto presenta alcune soluzioni tecniche che si inquadrano in un contesto nuovo e sono spunto di riflessioni sull'evoluzione del concetto di comunicazione.

Infatti "siamo entrati in una nuova era, l'Era dell'Informazione. La rivoluzione dello spazio è una dimensione fondamentale del processo complessivo di trasformazione strutturale che sta avvenendo nella società." (Castells M.,2004). Così Castells introduce il tema del nuovo contesto tecnologico che sta caratterizzando il ventunesimo secolo e che sta condizionando, o meglio indirizzando le nuove trasformazioni e assetti spaziali del territorio inteso come l'insieme degli "oggetti" e delle "persone" che lo popolano.

Sempre più va definendosi un nuovo tipo di struttura sociale, la "Società delle Reti", caratteristica dell' Era dell'Informazione. L'evoluzione tecnologica e quindi lo sviluppo delle telecomunicazioni ed internet, unitamente ai sistemi di trasporto veloce e computerizzato hanno determinato una nuova forma di concentrazione e decentralizzazione spaziale. Ci troviamo innanzi ad una nuova geografia fatta di network sparsi in tutto il pianeta. I nuovi mezzi di comunicazione costituiscono parte dell'infrastruttura di ciò che Echeverria con grande lungimiranza definì "Telepolis" (Echeverria J, 1995), ovvero una forma di organizzazione sociale basata sulle reti immateriali e nuove forme di comunicazione.

Il travolgente sviluppo tecnologico degli ultimi anni, (Dutton W.H., 2001, Habermas J., 1997) in particolare la costruzione di memorie di dimensioni enormi e l'accessibilità ai dati tramite reti e SW adeguati, ha permesso a chiunque di accedere a straordinarie quantità di dati, cosa a cui purtroppo non siamo ancora abituati. In pratica fino ad ora il canale di lettura era l'elemento di selezione delle informazioni cui avevamo accesso (p.es. il libro, oggetto di una selezione presso l'editore, il giornale, selezionato dal lettore sulla base delle opinioni dichiarate, ecc.). Oggi questo filtro manca. Esistono strumenti di filtro, ad esempio Google è un filtro "di mercato", ma non necessariamente sono filtri di qualità e quasi mai vengono pilotati da una nostra ricerca intelligente. La questione è già complessa se l'obiettivo che perseguiamo (l'oggetto della nostra ricerca) è un obiettivo semplice, e diventa ovviamente ancora più complessa quando l'oggetto che analizziamo non è portatore di un contributo informativo statico e per quanto possibile oggettivo, bensì presenta diversi aspetti, funzione principalmente del tipo di analisi: è questo il caso del territorio, dove diverse conoscenze settoriali si fondono per costruire una conoscenza globale.

Gli strumenti e metodi a disposizione degli studiosi per la conoscenza del territorio rischiano, oggi, di non avere confini, di non possedere limiti, di essere talmente "incrementali" da produrre, paradossalmente, incertezza e indeterminatezza dovuta all'incredibile quantità di dati che le nuove tecnologie sono in grado di acquisire e gestire. La rapida evoluzione dei sistemi di divulgazione e comunicazione delle informazioni ne hanno incrementato la dinamicità e la facilità di accumulo. Lo scenario tendenziale è quello di una potenziale indeterminatezza e di una sorta di ignoranza rappresentativa dei sistemi territoriali intesi come insieme di relazioni materiali ed immateriali.

L'interrelazione tra i diversi elementi che costituiscono il territorio è estremamente complessa, sia per quanto riguarda i fenomeni fisici, che riusciamo a modellare in modo approssimativo e solo in

condizioni semplificate, sia per quanto riguarda i fenomeni sociali, ancora più aleatori di quelli fisici, specialmente nel caso di comunità relativamente piccole.

La ricerca delle relazioni non è però di tipo oggettivo in quanto condizionata da chi osserva i fenomeni, soprattutto se chi osserva è un esperto dell'interpretazione delle dinamiche territoriali passate e presenti. Uno storico, ad esempio, tenderà ad analizzare le relazioni di connessione tra particolari eventi storici e gli insediamenti urbani presenti nel territorio; un urbanista tenderà ad osservare le relazioni che intercorrono tra gli insediamenti abitati ed il loro processi di espansione urbana. Tale processo cognitivo e analitico si basa sul riconoscimento di un binomio tra "sistema osservato" e "sistema osservante".
Da ciò emerge come la questione della conoscenza coinvolga l'intera sfera delle discipline cognitive ed abbracci molteplici competenze scientifiche e professionali. L'analisi e l'interpretazione delle molteplici relazioni materiali ed immateriali presenti nel territorio sono oggi supportate anche dagli strumenti forniti dalla tecnologia dell'informazione che sta progressivamente incidendo sul rapporto precedentemente definito tra sistema osservato e sistema osservante.
Il sistema osservato, inteso come l'insieme degli elementi che caratterizzano la sua identità e la sua riconoscibilità, non muta la sua "struttura" di base, in quanto nel nostro caso è rappresentato dal territorio e dall'insieme delle dinamiche che ne caratterizzano l'evoluzione, mentre il sistema osservante si articola e si scompone in più soggetti: i "saperi esperti" di studiosi, scienziati, professionisti e i "saperi locali" delle comunità insediate. (Schifani C. et al.,2012)

La Information Technology, come visto all'inizio, è la madre di questa rivoluzione, ma gli elementi rivoluzionari che la I.T. ci propone non finiscono qui. La raggiungibilità di una platea estremamente vasta allarga l'insieme dei sistemi osservanti sia nel mondo professionale sia, soprattutto, nel mondo locale il quale, per sua natura, è vicino più di chiunque altro alle realtà territoriali "piccole", favorendo così il coinvolgimento e l'esplicitazione dei saperi locali che altrimenti resterebbero nascosti e col tempo verrebbero naturalmente perduti. In aggiunta a ciò, i sistemi locali trovano disponibile la tecnologia Web 2.0 che permette di appoggiare ulteriore informazione a sistemi trasversali, spesso "piatti", e in questo modo non solo si incrementa il patrimonio informativo, ma si propongono nuovi punti di vista e nuove interpretazioni, nella pratica i "saperi locali".
Le nuove tecnologie dell'informazione incidono, dunque, in qualità di strumenti tecnici a disposizione dell'osservatore, in grado di supportarlo nei processi di interpretazione ed in grado di creare nuova conoscenza e nuove forme di rappresentazione dei fenomeni territoriali.
Il panorama generale è quindi quello di un'integrazione di saperi, dove ciascuno è supportato dagli altri per quanto riguarda l'incremento dell'informazione disponibile e affiancato dagli altri per quanto riguarda l'interpretazione. Questo processo d'innovazione coinvolge anche i modelli di rappresentazione delle informazioni che tendono a trovare sempre più spesso una collocazione spaziale e, di recente grazie allo sviluppo della sensoristica, anche nel tempo. Inoltre i modelli di rappresentazione hanno l'opportunità di essere più "basici", cioè più vicini al dato di base e meno mediati da esperti.
Su questo mondo di nuove disponibilità e nuovi comportamenti trova terreno fertile il modo di pensare e di vedere geografico per una quantità di motivi:

- la geografia in generale è il modo con cui l'uomo vede se stesso nel territorio (a scale piccole e grandi) e si identifica con esso (a scale di grande dettaglio); è per certi aspetti simile al sistema delle relazioni umane e, allo stesso modo, favorisce l'identità della persona e produce certezze;
- l'analisi geografica aumenta le sue potenzialità in funzione della quantità di dati disponibili e della loro accessibilità, e in questo la I.T. gioca un ruolo decisivo;
- la selezione delle informazioni disponibili è, nel mondo geografico, più "naturale" e tecnicamente più semplice, per cui si evita il disorientamento di fronte all'inflazione di informazione;

- la metafora geografica della "sovrapposizione degli strati informativi" è un potente strumento per analizzare le relazioni tra le diverse componenti del territorio e si presta ai più diversi livelli di analisi, dalla banale visualizzazione alla più sofisticata modellistica;
- gli strumenti di visualizzazione che i diversi produttori hanno costruito si sono allineati, per la natura stessa dell'informazione geografica, verso un modello di interazione praticamente standard e ciò favorisce l'ampliarsi della platea dei soggetti;
- alcuni fornitori di servizi su Internet hanno investito in enormi quantità di dati di facile interpretazione (immagini telerilevate, cartografia di base e turistica, indirizzari, ecc.) che hanno fatto scoprire la "geografia sul computer" praticamente a tutti coloro che oggi accedono a Internet.

Chiunque oggi accede a dati geografici via Internet ha a disposizione gli strumenti per arricchire le banche dati esistenti (la filosofia e approccio Web 2.0) esplicitando così il proprio "sapere locale" che può essere proposto a comunità di piccole dimensioni, a gruppi di interesse o al pubblico in generale.
Nella costruzione del sito web del progetto TraMonti e in particolare nella costruzione dell'Atlante del patrimonio storico-culturale della Val di Vara abbiamo sposato completamente questi punti di vista, cercando di porre l'accento sulle potenzialità comunicative e partecipative degli strumenti per favorire la crescita dell'identità e la promozione di un territorio e della comunità che lo popola.

**Ringraziamenti**
Un riconoscimento è dovuto a tutto il team che ha partecipato alla realizzazione del progetto e in particolare a Claudio Schifani per la parte progettuale e il contributo culturale alle nuove forme di comunicazione e a Lorenzo Pini e Chiara Mannari per lo sviluppo dell'applicativo.

**Riferimenti bibliografici**
Echeverria J., (1995), *Telepolis – La nuova città telematica*, Roma-Bari , Laterza
Habermas J.(1997), *Teoria dell'agire comunicativo* – Vol.2, Il Mulino, Bologna
Dutton W.H.(2001), *La società online – Politica dell'informazione nell'era digitale*,
Castells M., (2004), *La città delle reti*, Venezia, Marsilio, p.49
Web1(2007), *Direttiva Europea per l'infrastruttura dell'informazione territoriale nella Comunità europea,* http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/it/oj/2007/l_108/l_10820070425it00010014.pdf, *in vigore il 15 maggio 2007*
Baldini&Castoldi Ed., Milano
Salvatori E.(2012), *Un progetto di Public Hystory nel cuore della Liguria*, in *Storia e Territorio della Val di Vara,* Felici Editore, Pisa 2012, pg.13-32
Schifani C.(2012), *Atlante del patrimonio storico e culturale della Val di Vara*, in *Storia e Territorio della Val di Vara,* Felici Editore, Pisa 2012, pg.185-196

# Land Change Modeler di IDRISI per la previsione CORINE 2006 e per la valutazione della copertura territoriale 1990-2006

Francesco Saveriano, Maria Zicarelli

Università degli Studi di Napoli "Parthenope", Dipartimento di Scienze Applicate Sezione di Geodesia, Topografia e Idrografia, Centro Direzionale Isola C/4 - 80143, 081.5476598, fax 081.5512330
francesco.saveriano@uniparthenope.it, maria.zicarelli@uniparthenope.it

**Riassunto**
L'obiettivo di quest'articolo è stato quello di generare, per il Nord della Toscana, la classificazione 2006 tipo CORINE Land Cover (CLC) utilizzando dati satellitari di una scena del 12 giugno 2006 provenienti dal sensore ASTER della piattaforma TERRA e confrontarla con le CORINE CLC del 1990 e del 2000, realizzate invece con i sensori di immagine Landsat TM ed ETM+.
A partire dai *vector files* dei CLC90 e CLC2000 si è provato a generare una previsione della classificazione al 2006 di tipo CORINE, la CLC2006, vagliarla rispetto alla classificazione 2006 realmente effettuata, nonché determinare, visualizzandoli, i cambiamenti della copertura totale dal 1990 al 2000 e al 2006 sfruttando le potenzialità del Land Change Modeler (LCM), recente modulo di IDRISI 15.0. È emerso un vasto scenario di opportunità per specialisti ambientali per l'intera gamma delle variazioni delle coperture presenti sul territorio.

*Abstract*
*The aim of this paper has been to determine, for the north of Tuscany (Italy), the CORINE Land Cover type classification for the year 2006, CLC, through satellite data of a scene of June 2006 of the ASTER sensor of TERRA Platform, to be compared with CLC of 1990 and 2000 realized by Landsat TM and ETM+ image sensors.*
*Then, the CLC90 and CLC2000 raster files have been used to produce a CORINE like classification forecasting for the year 2006 using the potentials of the recent new module of the Andes Edition of IDRISI Software, the Land Change Modeler. It emerged a big picture of opportunities for environmental analysts related to all the land cover classes related to the scene.*

## Introduzione

Il progetto CORINE [APAT, 2005], previsto per generare la classificazione delle coperture del territorio italiano, attualmente riconosce due date fondamentali, il 1990 e il 2000. Ogni elaborazione successiva alla seconda di queste date, è un perfezionamento dello stesso progetto per aggiornare la classificazione alla realtà più recente.
L'idea di questo lavoro è stata dunque quella di creare un aggiornamento della classificazione CORINE, utilizzando un'immagine ASTER multispettrale del 2006, relativa alla zona della Toscana del Nord, con coordinate UTM WGS84: Min X = 536501,00 ; Max X = 658871,00 ; Min Y = 4851970,00 ; Max Y = 4940200,00 .
Inoltre, è sembrato opportuno sottoporre al vaglio il modulo sperimentale del *software* IDRISI 15.0, il *Land Change Modeler* (LCM), per la predizione della copertura del suolo per un anno scelto dall'utente, disponendo di immagini classificate relative a due anni precedenti. In questo caso si è proceduto a verificare la bontà della predizione LCM rispetto alla classificazione realizzata per vettorizzazione manuale dell'immagine a disposizione.

**Classificazione CORINE**

L'iniziativa *CORINE Land Cover* (CLC) nacque a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e di uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela dello stesso. Coordinata dalla Commissione Europea e dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA), la prima realizzazione di un progetto CLC risale al 1990 (CLC90). A dieci anni dalla conclusione del CLC90, l'AEA lanciò il progetto "*Image & CORINE Land Cover 2000*", (I&CLC2000), con l'obiettivo di aggiornare la base dati CLC per individuare le principali dinamiche dei cambiamenti delle coperture derivanti dall'uso, più o meno legittimo, del territorio, (APAT – CLC2000), utilizzando lo stesso sistema di nomenclatura a tre livelli del CLC90 che non prevedeva aree "non classificate".

Per il progetto nazionale italiano furono proposti ed introdotti per il CLC2000 elementi innovativi rispetto agli obiettivi europei. In particolare:

- un maggior dettaglio tematico con l'infittimento della nomenclatura CLC2000 al IV e al V livello CORINE;
- la validazione al suolo della cartografia attraverso la realizzazione di controlli *in loco*.

Dalla valutazione del prodotto *CLC Change*, annesso alla documentazione CORINE delle coperture del suolo, è apparsa evidente la perdita colturale di aree agricole e pastorali a favore soprattutto della classe "territori boscati e ambienti seminaturali" e della classe "aree artificiali" distribuita tra le nuove aree residenziali, industriali e commerciali nonché servizi, aree estrattive, strade, ferrovie ed altro (quasi 60.000 ettari) – [APAT, 36/2005].

**Materiali e metodi**

La combinazione delle bande delle immagini del *Thematic Mapper*, dal Landsat5 al Landsat7, veniva generalmente suggerita nella guida tecnica redatta dagli esperti della Commissione Europea per il CORINE (*European Commission*, 1993). Diventato obsoleto il Landsat, il candidato più idoneo a proseguire gli studi sul cambiamento delle coperture territoriali in ambito CORINE è certamente l'*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) della piattaforma TERRA, una delle tre attuali dell'*Earth Observing System* della NASA, divenuta operativa nel Febbraio 2000 e a cui seguiranno altre quindici nei prossimi anni, [*http://asterweb.jpl.nasa.gov/*].

L'ASTER, unico strumento ad alta risoluzione sul TERRA, raccoglie dati in 14 bande, comprendenti quella del VNIR, con lunghezze d'onda nel *Visible* e nel *Near InfraRed*, a 15 m di risoluzione spaziale, dello SWIR, con lunghezze d'onda nello *ShortWave InfraRed*, a 30 m, e del TIR con lunghezze d'onda nel *Thermal InfraRed*, a 90 m.

L'ASTER non acquisisce in continuo ma mediamente 8 minuti di dati per orbita, ossia ogni 98 minuti della sua orbita quasi polare, [*http://terra.nasa.gov/About/ASTER*]. Tutti e tre i telescopi del sensore (VNIR, SWIR, e TIR), possono essere puntati in direzione perpendicolare alla traccia, *cross-track*, ma possono anche cambiare angolo di vista, così che ASTER può consentire la produzione di immagini stereoscopiche per *Digital Elevation Model* (DEM) dettagliati.

Per la georeferenziazione del gruppo di bande ASTER si è utilizzato il Portale Cartografico Nazionale – PCN, [*www.pcn.minambiente.it/PCN/*] e il modulo *RESAMPLE* di IDRISI 15.0.

Per tutte le operazioni di confronto tra le CLC georiferite (1990 e 2000) e la CLC2006 generata, si è dovuto cercare la combinazione di bande più simile a quella utilizzata per le classificazioni con le immagini Landsat nello stesso periodo stagionale, che è risultata essere la 2 (VNIR), 4 (SWIR) e 3 (VNIR) dell'ASTER, per cui, date le due diverse risoluzioni spaziali delle bande utili alla combinazione, sono state necessarie due distinte georeferenziazioni, una per le VNIR con 20 *Ground Control Points* (GCP) e l'altra per le SWIR con 15 GCP.

Per escludere dalle immagini ASTER zone liguri ed emiliane, non presenti nelle CLC90 e CLC2000 e quelle non relative al nord della Toscana, si è proceduto ad un'operazione di taglio (TG_CLC) dopo aver scelto, in UTM WGS84, le coordinate geografiche della zona d'interesse:

- Min X = 536501,00

- Max X = 658871,00
- Min Y = 4851970,00
- Max Y = 4940200,00

Il taglio TG_CLC90, così come l'identico TG_CLC2000, sono stati effettuati ricorrendo al *Wizard Geoprocessing* del modulo *ARCMAP* di ARCGIS sullo *shapefile* di CLC90, e poi convertiti in file *raster*, contenenti le classi, grazie all'uso dei *Vector Link Files* dei *database* annessi. Più specificamente, il taglio delle immagini ASTER (TAGLIO_ASTER) [2] è stato possibile grazie alla creazione di una maschera (MASK) [1], generata da TG_CLC90 con il modulo *IMAGE CALCULATOR* di IDRISI, moltiplicata per le varie bande della scena:

$$MASK = [TG\_CLC90]\ not(=0) \qquad [1]$$

$$TAGLIO\_ASTER = [MASK]*[ASTER] \qquad [2]$$

TG_CLC90 e TG_CLC2000 sono stati utilizzati per la generazione della classificazione reale del 2006 e hanno costituito l'*input* per la simulazione della previsione con il modulo LCM di IDRISI.
La soluzione per la realizzazione CLC2006, figura 1, è stata possibile grazie alla digitalizzazione della *false colour composite* 243 di ASTER, utilizzando CLC90 e i collegamenti in internet a *Google Earth* e *Visual Earth* che, *a posteriori*, si può dire abbiano contribuito anche a una discriminazione stagionale delle classi per la dovizia delle foto annesse.
La serie di variazioni della copertura territoriale per tutte le classi, subite nel periodo 1990 – 2006, dall'intera zona del taglio è stata riassunta nella costruzione della mappa tematica di figura 2.
Di quest'ultima è opportuno mostrare l'ingrandimento nella zona costiera che, in questo intervallo di tempo, ha visto l'estendersi della costa e la costruzione del porto, figura 3, classe "area portuale 1.2.3" di CORINE, di Marina di Carrara nelle attuali proporzioni.

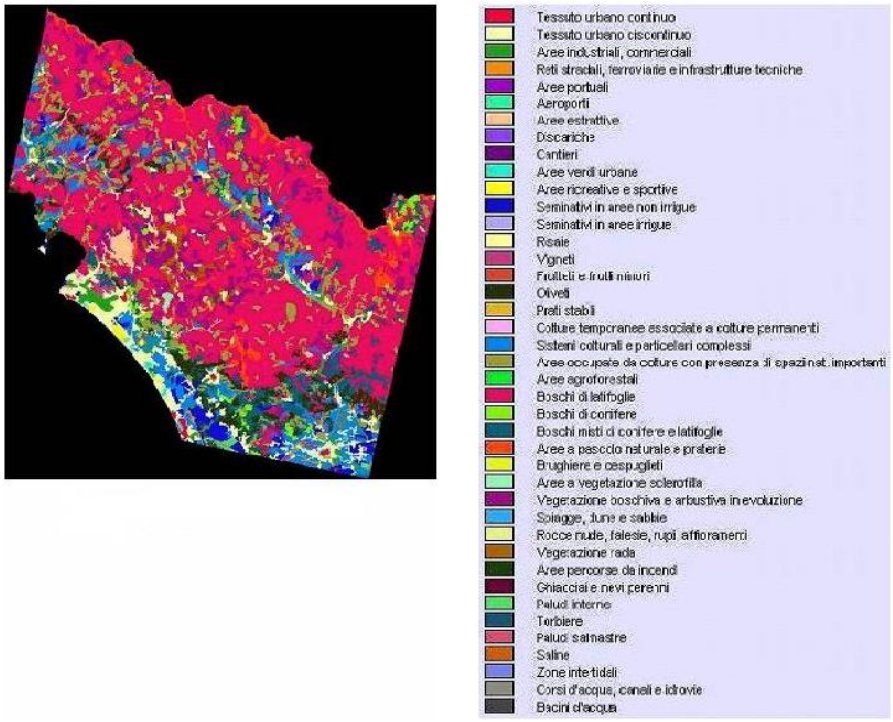



*Figura 1. Classificazione CLC 2006.*

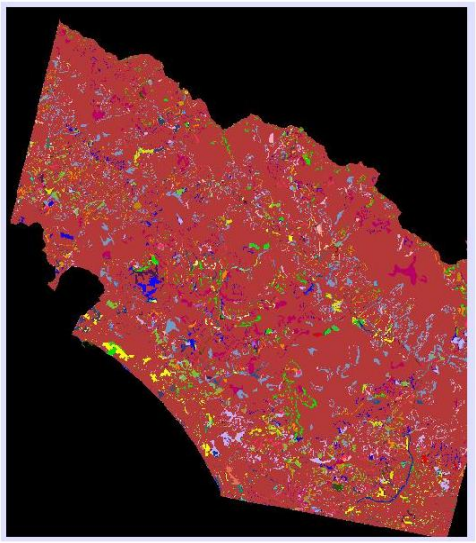


*Figura 2. Cambiamenti 1990-2006.*

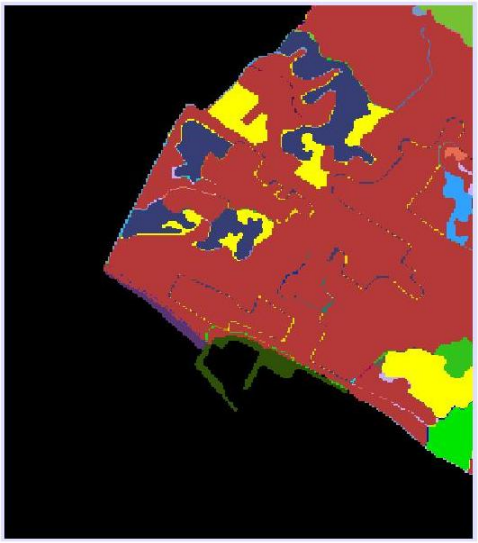


*Figura 3. Porto di Marina di Carrara.*

**Land Change Modeler, LCM**

LCM è un ambiente di *software* integrato per l'analisi delle variazioni della copertura territoriale, per la proiezione del loro andamento nel futuro e per la valutazione delle eventuali implicazioni nelle variazioni concernenti habitat e biodiversità. Esso rappresenta la prima applicazione estensiva verticale, ossia diretta verso una specifica applicazione, sviluppata dai Laboratori *Clark* [Eastman J. R., 2006].

Il modulo *Land Change Modeler*, che letteralmente significa simulatore di variazione della copertura del territorio a tutt'oggi fornito in versione sperimentale e non largamente testato, lo si è voluto utilizzare proprio per valutarne e commentarne le prestazioni, pur riconoscendo di non aver potuto individuare un buon numero di variabili o *forcings* per le desiderate applicazioni del modello di previsione.

Dal *Change analysis*, analisi di cambiamenti relativi ad un periodo già trascorso, al *Change prediction*, predizione di cambiamento futuro, si passa attraverso i *Transition Potentials*, modelli di valutazione delle potenzialità di cambiamento, che possono consistere in una singola transizione o in un gruppo di transizioni di copertura aventi le stesse variabili guida [Eastman J. R., 2006].

Per analizzare i cambiamenti e le relative predizioni nel futuro si specificano due mappe di copertura territoriale in due date diverse, che nel caso presente sono i due tagli, TG_CLC90 e TG_CLC2000. Quindi, col *Change Analysis* si perviene al pannello di figura 4 da cui si evince che c'è un gruppo di classi che non ha prodotto alcun cambiamento.

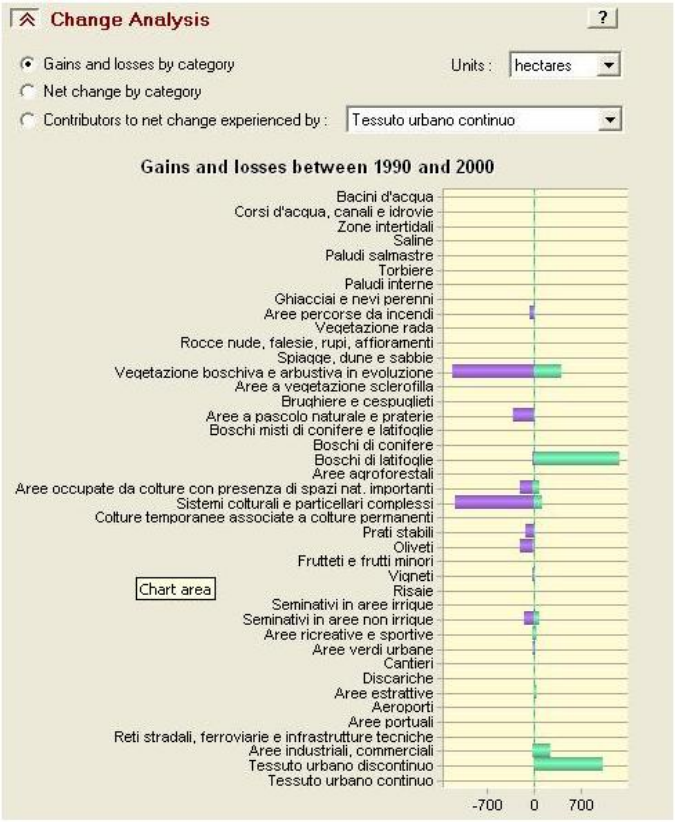



*Figura 4. LCM Change Analysis per tutte le classi.*

Questo gruppo di classi invariate viene fatto opportunamente confluire in un'unica classe, indicata con "Restanti classi", grazie alla quale con il modulo *RECLASS* sono state aggiornate le mappe dei tagli (CLC90 e CLC2000) in mappe tematiche, figura 5 e figura 6, con lo stesso formato (*byte*) della CLC2006 e la stessa legenda, dopo aver verificato che le aree di *background*, codificate con zero, fossero identiche su tutte e tre le immagini.

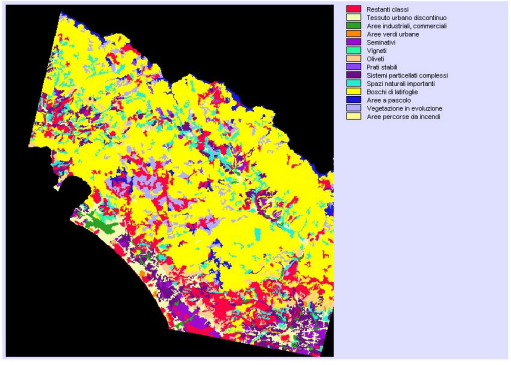


*Figura 5. CLC90 trasformata con 'RECLASS'.*

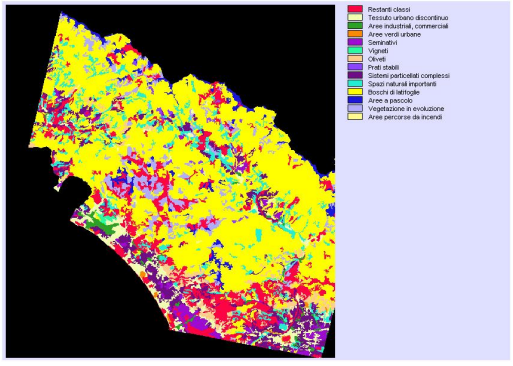


*Figura 6. CLC2000 trasformata con 'RECLASS'.*

L'analisi dei cambiamenti viene riportata e prospettata in ettari, figura 7, per meglio visualizzare il vincolo della soglia areale imposta da CORINE con ovvia decodifica dei versi nel pannello.
Volendo focalizzarsi sul caso delle classi che hanno contribuito alla variazione del tessuto urbano discontinuo, CORINE 1.1.2, che in maniera più evidente mostra solo *change* positivo, si abilita il pulsante *Contributors to net change experienced by*: ottenendo il pannello in figura 8.

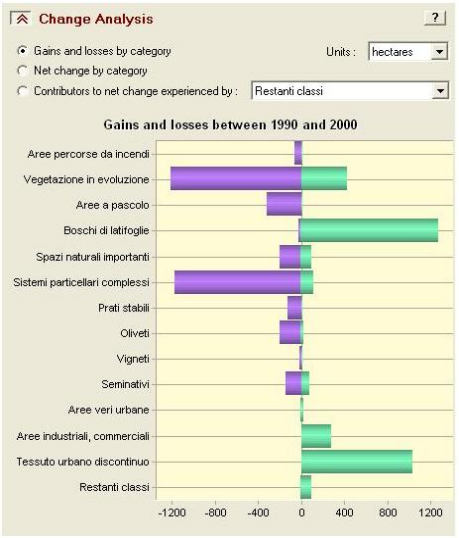



*Figura 7. LCM Change Analysis 1990-2000.*

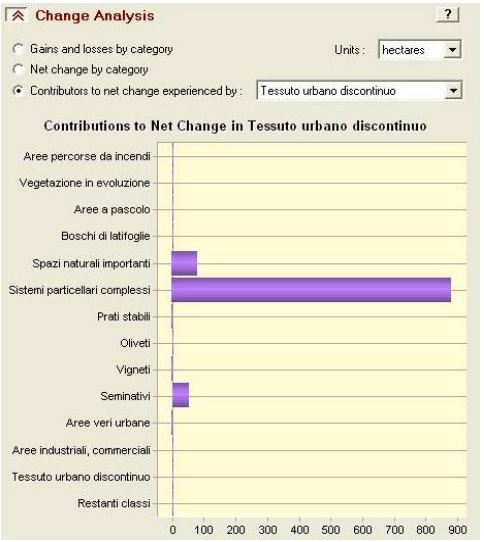



*Figura 8. LCM Change Analysis classe 1.1.2.*

Da quest'ultimo, com'è possibile notare anche visivamente, i maggiori contributi alla classe 1.1.2 sono derivati rispettivamente dalle categorie:
- aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali importanti, con 84 ha (CORINE 2.4.3);
- sistemi colturali e particellari complessi, con 885 ha (CORINE 2.4.2);
- prati stabili, con 5 ha (CORINE 2.3.1);
- vigneti, con 5 ha (CORINE 2.2.1);
- seminativi in aree non irrigue, con 53 ha (CORINE 2.1.1);
- aree verdi urbane, con 6 ha (CORINE 1.4.1).

Il passo successivo al *Change analysis* è consistito nell'organizzare e ipotizzare plausibili elementi utili per generare le previsioni future di cambiamento. In quest'ottica viene richiesto a una logica di tipo neurale del *Modeler* di valutare i *Transition Potentials*, ossia tutte le variazioni potenziali filtrate dalla soglia areale imposta dal progetto CORINE.
Avendo ipotizzato che le forze innescanti i cambiamenti siano le stesse per tutte le transizioni, si può procedere a organizzare un numero di sottomodelli che tengano conto di questa considerazione. È questo un problema con transizioni multiple, più cause con lo stesso effetto, gestito dall'opzione *Multi-Layer Perceptron* (MLP) di IDRISI, appartenente ad una fase piuttosto delicata che risente molto dell'esperienza dell'analista, fondamentale per la valutazione delle cause che avrebbero potuto innescare i cambiamenti registrati. È una fase che andrebbe affrontata in *equipe*, se si potesse contare sull'esperienza di analisti del territorio.
Tra le cause più probabili, dettate dal senso comune e non da particolari esperienze, è sembrato opportuno annoverare:
- tessuto urbano preesistente;
- rete stradale e infrastrutture tecniche;

- asperità e conformazione del territorio;
- probabilità condizionata che le aree di cambiamento sperimentino il disturbo in esame, come a dire: *How likely is it that you would have a value like this if you were an area that would experience change?*

Delineate le probabili cause, come farle diventare variabili in senso operativo?
Il primo punto si può tradurre in un'immagine reale di distanza dal disturbo generata col modulo *DISTANCE* di IDRISI dall'immagine booleana del tessuto urbano discontinuo; il secondo punto in un'altra immagine reale generata sempre da *DISTANCE* ma dalla booleana della rete stradale; il terzo è decisamente di competenza del DEM disponibile sulla zona e anche di un'immagine da esso generabile, la *slope*, che mette in risalto le inclinazioni dei declivi; il quarto è una mappa di verosimiglianza generata dalle CLC 90 e 2000 [Saveriano F., 2008].
Generate le variabili per le potenziali transizioni e scelta la data a cui si vuole la predizione, si è fatta partire la simulazione.
Al riguardo si sono dovute generare le previsioni di tutta la serie dei dieci sottomodelli delle venti *Transition Potentials* per ottenere quella che prende il nome di *Predizione 2006* (LCM06), figura 9.
Naturalmente, le variazioni di tutte le classi possono essere visualizzate dal *software* ma, per motivi di sintesi dell'articolo, non vengono mostrate.

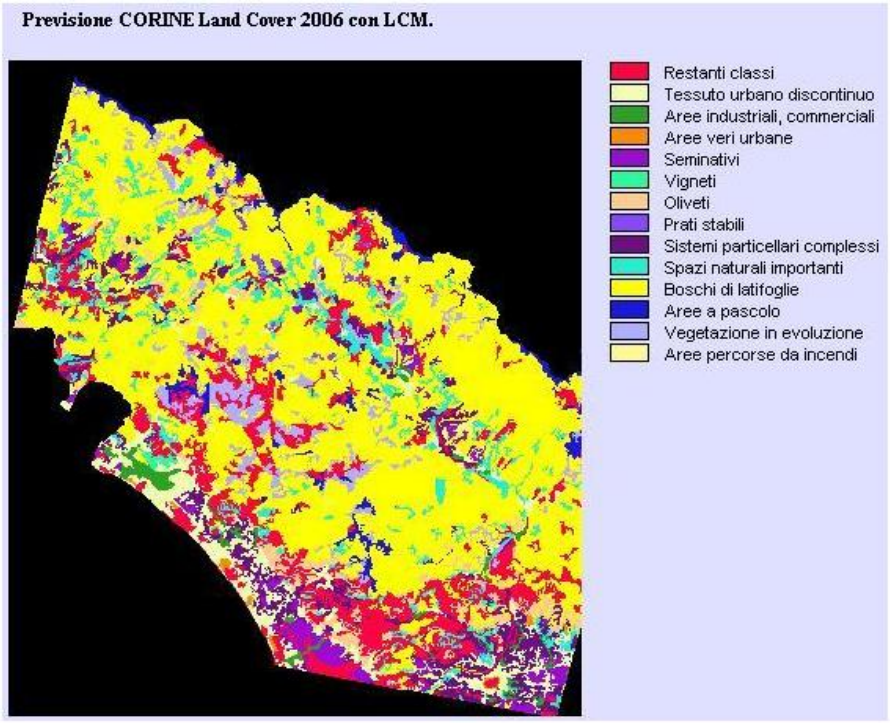



*Figura 9. CLC06 prevista da LCM.*

Nel grafico delle differenze di tutte le classi che hanno subito il cambiamento, figura 10, sono state rappresentate sull'asse orizzontale, in ettari, le aree percentuali delle classi che hanno subito variazioni nel territorio in esame (CLC2006) e sull'asse verticale le differenze, in valore assoluto, delle aree percentuali delle classi (LCM06 e CLC2006).

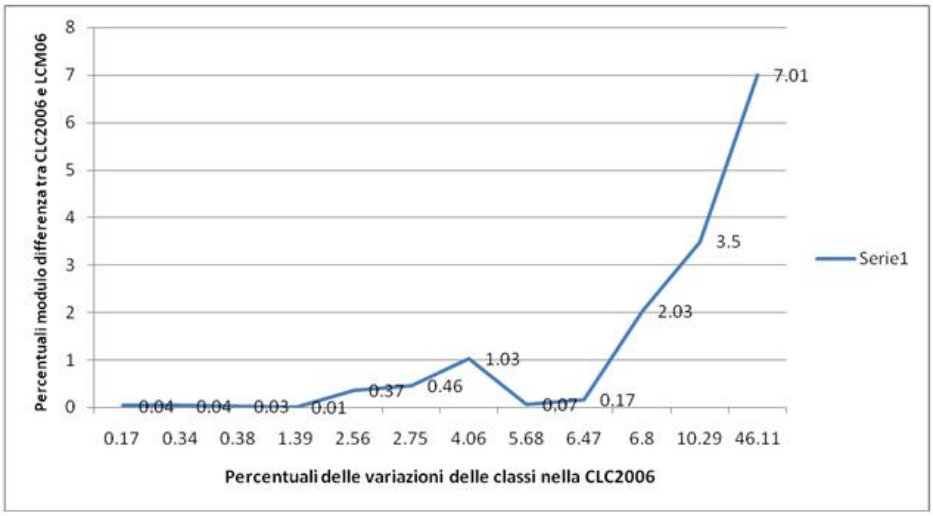



*Figura 10. Variazioni tra CLC2006 e LCM06.*

**Conclusioni**

In conclusione si può affermare che l'ipotesi di utilizzare il *Land Change Modeler*, per misurare e descrivere i cambiamenti nel tempo subiti dalla zona d'interesse, è stata giustificata dalla bontà e dalla chiarezza dei risultati prodotti. Questi possono costituire una miniera di stimoli per gli specialisti di impatto ambientale e pianificazione territoriale, giusto per citare alcuni campi di applicazione.

**Ringraziamenti**

Si ringrazia per la disponibilità l'Istituto Geografico Militare (IGM) che ha collaborato e fornito le immagini del sensore ASTER.

**Bibliografia**

APAT - CLC2000 (*http://www.clc2000.sinanet.apat.it*)

APAT (2005), La realizzazione in Italia del progetto europeo *Corine Land Cover 2000,* Rapporti 36/2005 (*www.sinanet.apat.it*).

Eastman J.R. (2006), IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing, Clark Labs.

European Commission (1993), CORINE land Cover Technical Guide, DG Environment, EUR 12585 EN, Luxenbourg, 137 pp.

Saveriano F. (2008), Metodologie di Analisi dei Dati Telerilevati per la Classificazione delle Immagini, Tesi di Laurea.

Università degli Studi di Napoli "Perthenope" (2008), (*http://dsa.uniparhtenope.it/dsa/Sezioni/SezionediGeodesiaTopografiaeIdrografia/FotogrammetriaeTelerilevamento/TesidiLaurea/tabid/862/Default.aspx*).

# Generalizzazione Automatica del DB50 IGM: i risultati della ricerca CARGEN

Sandro Savino (*), Massimo Rumor (*), Sergio Congiu (*),
Maurizio De Gennaro (**), Antonio Zampieri (**)

(*) sandro.savino@dei.unipd.it, rumor@unipd.it, congiu@unipd.it,
Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Via Gradenigo 6/B, 35131 Padova
(**) maurizio.degennaro@regione.veneto.it, antonio.zampieri@regione.veneto.it,
Regione del Veneto, Unità di Progetto per il Sistema Informativo Territoriale e la Cartografia,
Palazzo Linetti, Calle Priuli, Cannaregio 99, 30121 Venezia

**Abstract**
Recentemente presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova si è conclusa la seconda fase di un progetto di ricerca ad ampio respiro sulla generalizzazione cartografica. Questo progetto, chiamato CARGEN, voluto e finanziato dalla Regione Veneto e svolto in collaborazione con IGM, si occupa da diversi anni della progettazione, realizzazione e sperimentazione di tecniche automatiche per la generalizzazione cartografica di dati a scala medio-grande a partire dai dati a grande scala.
I risultati conseguiti recentemente, e che verranno presentati in questo articolo, permettono la derivazione di un geo-database in scala 1:50000 a specifiche IGM a partire dai dati in scala 1:5000 della Regione Veneto.

**Abstract**
*Recently the second phase of a long running research project on cartographic generalization has been concluded at the Department of Information Engineering of the University of Padova. This project, called CARGEN, funded by the local administration Regione Veneto and run with the cooperation of the Italian national mapping agency, the Istituto Geografico Militare, since many years focuses on the design, development and test of algorithms for the automatic generalization of medium-large scale databases from large scale data.*
*The most recent results achieved allow to derive a geodatabase at the 1:50000 scale from the 1:5000 scale geodatabase of the Regione Veneto and will be presented in the following article.*

## Introduzione

La generalizzazione cartografica è quel processo che permette di realizzare una cartografia a partire da una cartografia esistente a grande scala. L'operazione di generalizzazione è intimamente connessa con il concetto di selezione dell'informazione: per generalizzare è infatti necessario scegliere e filtrare, tramite un delicato e complesso processo, quali dati rappresentare sulla carta a scala minore a partire da quelli presenti sulla carta a scala maggiore. Nonostante questa complessità, la generalizzazione è da sempre utilizzata all'interno del processo produttivo degli enti cartografici in quanto, permettendo di utilizzare dati esistenti, risparmiando così sulle fasi di acquisizione e restituzione, riduce i costi e i tempi necessari a produrre una cartografia. Con l'avvento del digitale nel mondo della cartografia si è aperta a livello internazionale una linea di ricerca sulla automazione di tale processo: l'obiettivo è la produzione in maniera completamente automatica di cartografie derivate a scala minore a partire da una unica cartografia a grande scala. Il raggiungimento di tale obiettivo porterebbe indiscussi vantaggi quali l'abbattimento dei costi per la produzione di tali cartografie a scala minore, la consistenza tra i dati alle varie scale e la semplificazione delle

operazioni di aggiornamento, che dovrebbero essere effettuate solo ad un unica scala per essere poi riportate automaticamente alle altre scale.
Inseguendo tali ambiziosi obiettivi, già da vari anni molti gruppi di ricerca si sono creati e si stanno muovendo nel campo della generalizzazione automatica, portando a risultati che vanno costantemente migliorando al punto che, da qualche anno, stanno iniziando ad entrare a far parte dei processi produttivi di alcuni enti cartografici (si veda ad esempio Stoter, 2010).
In Italia il progetto di ricerca di più lungo corso e maggiormente attivo dal punto di vista internazionale è il progetto CARGEN, svolto presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova e finanziato dalla Regione Veneto.

**Il progetto CARGEN**
Il progetto CARGEN nasce nel 2006 con una convenzione di ricerca stipulata tra la Regione Veneto e il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova. Tale convenzione si avvale della collaborazione dell'Istituto Geografico Militare e il suo obiettivo principale è lo sviluppo e la sperimentazione di tecniche automatiche di derivazione dei dati in scala 1:5000 della Regione Veneto per la generalizzazione del DB25 IGM. Dopo i primi tre anni di lavoro il progetto viene esteso e gli obiettivi della ricerca vengono allargati per includere la generalizzazione alla scala 1:50000. I risultati di questa seconda fase del progetto CARGEN, che per brevità chiameremo CARGEN2, saranno l'oggetto di questo articolo.
L'obiettivo del progetto CARGEN è la generalizzazione automatica, ovvero che non necessita la supervisione di un operatore umano; poiché non esiste sul mercato alcun software dotato delle caratteristiche necessarie a questo scopo, la ricerca di CARGEN si è da subito concentrata sullo sviluppo di un software modulare che potesse eseguire in sequenza e in modo automatico una serie di algoritmi realizzati ad hoc, ognuno dei quali pensato per risolvere un particolare aspetto del processo di generalizzazione. Il software è stato sviluppato in Java all'interno del laboratorio GIRTS del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'ateneo Patavino, appoggiandosi inizialmente al DBMS Oracle Spatial. La ricerca del progetto CARGEN ha portato principalmente a tre risultati: la definizione di una mappa di derivazione che permette di popolare il DB25 IGM a partire dai dati in scala 1:5000 definiti secondo il modello dati della Regione Veneto, lo sviluppo di vari algoritmi di generalizzazione, in grado di trasformare i dati rappresentanti i vari tematismi della cartografia in ingresso dalla scala 1:5000 alla scala 1:25000 ed infine la creazione di un processo e la sua implementazione in un software automatico in grado di operare la generalizzazione.
I risultati della prima fase del progetto CARGEN, presentati nel 2009 (De Gennaro et al., 2009), costituiscono il punto iniziale per lo sviluppo di CARGEN2, che indaga la generalizzazione alla scala 1:50000.

**La generalizzazione al 50000**
L'estensione del progetto CARGEN alla scala 1:50000 ha reso come prima cosa necessario lo studio delle specifiche e delle metodologie per la derivazione a tale scala: la principale fonte di informazione per questo scopo è stata la documentazione fornita dall'Istituto Geografico Militare concernente la Carta d'Italia in scala 1:50000.
Uno dei primi obiettivi conseguiti a partire dalla lettura delle specifiche IGM è stata la formalizzazione di un modello dati per un database alla scala 1:50000, che attualmente non esiste ma è necessario per lo sviluppo degli algoritmi di generalizzazione, che effettuano una trasformazione da database a database. Per la formalizzazione di questo modello ci si è basati sul modello DB25 IGM, modificandolo in modo tale da contenere gli oggetti topografici presenti nelle specifiche della Carta d'Italia in scala 1:50000 IGM. Questo modello dati, che chiameremo DB50, è stato sviluppato in modo tale da essere completamente derivabile dal DB25, che è stato scelto come dato di ingresso del processo.

Una volta formalizzato il DB50 è stato possibile definire la mappa di derivazione: a partire dalle definizioni dei due modelli DB25 e DB50 si sono stabilite le relazioni tra le classi del secondo e del primo modello da utilizzare per popolare il database generalizzato a partire dal database di ingresso.
A partire dalle specifiche del DB50 è inoltre stato possibile definire le trasformazioni necessarie per la generalizzazione di ogni classe presente in questo modello dati a partire dal modello dati di ingresso; poiché parte delle specifiche del DB50 derivano dal DB25, alcune delle trasformazioni richieste sono simili a quelle coinvolte nella generalizzazione del DB25 stesso, ad esempio l'applicazione di limiti di acquisizione basati su misure di lunghezza o di superficie.
Le specifiche di derivazione del DB50 e la lista delle trasformazioni richieste si possono interpretare come i requisiti che il software di generalizzazione deve possedere: sulla scorta di questi requisiti è stato analizzato il processo sviluppato durante CARGEN per la derivazione del DB25, individuando quali algoritmi potessero essere adattati al processo di generalizzazione del DB50 e quali funzionalità fosse invece necessario sviluppare appositamente per questa operazione.
La generalizzazione alla scala 1:50000 in generale richiede delle trasformazioni più marcate che alla scala 1:25000 e questo in alcuni casi ha richiesto lo sviluppo di nuove tecniche di generalizzazione; due esempi notevoli sono l'operazione di tipificazione richiesta dalle classi legate all'edificato e le operazioni di classificazione e selezione necessarie per trattare le classi legate alla viabilità.
Lo sviluppo software ha visto l'adattamento di alcuni algoritmi esistenti e lo sviluppo di nuovi algoritmi, sempre in ambiente Java; durante lo sviluppo sono stati inoltre realizzati alcuni strumenti aggiuntivi in grado di facilitare il lavoro di parametrizzazione e collaudo degli algoritmi.
La definizione della mappa di derivazione tra le classi dei due modelli dati, il DB25 e il DB50 e lo sviluppo degli algoritmi di generalizzazione hanno permesso di progettare un processo completo di generalizzazione in grado di derivare i dati dalla scala 1:25000 alla scala 1:50000.
Con l'estensione del progetto CARGEN alla scala 1:50000 si è colta inoltre l'occasione per analizzare il software di generalizzazione prodotto e modificarne alcuni aspetti che con la sperimentazione si erano rivelati migliorabili, ad esempio rendendo indipendente il software dal DBMS.
Lo sviluppo del progetto CARGEN2, qui brevemente riassunto, ha portato a notevoli risultati, che sono illustrati nella prossima sezione.

**Risultati**

I risultati ottenuti dal progetto CARGEN2 sono molteplici; essi estendono i risultati di CARGEN alla scala 1:50000 e si pongono inoltre come un netto miglioramento dei risultati precedenti, sia dal punto di vista del processo, sia dal punto di vista algoritmico.
È tuttavia importante ricordare che essendo CARGEN un progetto sperimentale di ricerca, i risultati ottenuti non possono essere interpretati come una soluzione completa al problema della generalizzazione cartografica, né sono scevri da errori. Questo è particolarmente vero a riguardo dei risultati "grafici" degli algoritmi di generalizzazione, che possono sembrare in alcuni casi errati o comunque lontani da un risultato ottimo. Sarà compito dell'auspicabile proseguimento della ricerca sistemare e migliorare i risultati ottenuti e trovare nuove soluzioni per i problemi ancora da risolvere.

Il DB50 progettato all'interno di CARGEN2 è un database sviluppato secondo le specifiche IGM; la sua struttura e le sue specifiche derivano da quelle del DB25; i contenuti rispecchiano quelli della Carta d'Italia in scala 1:50000 IGM, che sono stati formalizzati utilizzando codici e attributi secondo lo standard DGWIG (DGWIG, 2000) e modellati secondo il modello dati DB25; il DB50 risulta completamente derivabile dal DB25.

Il processo di generalizzazione sviluppato è stato progettato per essere flessibile e modulare; il processo si basa sul modello dati DB25 come ingresso ma si può adattare facilmente a differenti

modelli dati di ingresso; ad esempio il DBT. Il software che implementa il processo è stato realizzato in Java ed è in grado di dialogare con diversi formati di dati e con dati residenti su diversi DBMS, in particolare Oracle Spatial e PostGIS; la sua modularità permette sia di estendere il formato dei dati in ingresso e uscita, sia di modificare il processo di generalizzazione, modificando alcune procedure o inserendo nuove funzionalità. Il software inoltre può essere eseguito all'interno di un ambiente GIS OpenSource (OpenJump) con il quale è possibile visualizzare direttamente i risultati del processo, eseguire e parametrizzare singolarmente gli algoritmi, oppure compiere delle pre e post elaborazioni sui dati (ad esempio applicando una vestizione).

Gli algoritmi di generalizzazione impiegati in CARGEN2 permettono la generalizzazione dei dati alla scala 1:50000. Alcuni degli algoritmi rappresentano una evoluzione di quelli sviluppati per CARGEN mentre altri sono stati realizzati completamente ex-novo per questo scopo. Il comportamento di ogni algoritmo è modificabile intervenendo su un insieme proprio di parametri, i cui valori sono stati tarati in accordo con le specifiche ed i requisiti per la scala 1:50000. Alcuni degli algoritmi sviluppati possono essere impiegati, modificando opportunamente i parametri, per produrre dati a scale diverse dal 1:50000.
Nel seguito sono illustrati i risultati di alcuni degli algoritmi impiegati in CARGEN2. Nelle immagini a sinistra sono rappresentati i dati originali in scala 1:5000 e a destra i dati generalizzati in scala 1:50000; le immagini non sono rappresentate in scala ma ogni immagine contiene una scala grafica che permette di capire le proporzioni degli oggetti rappresentati.

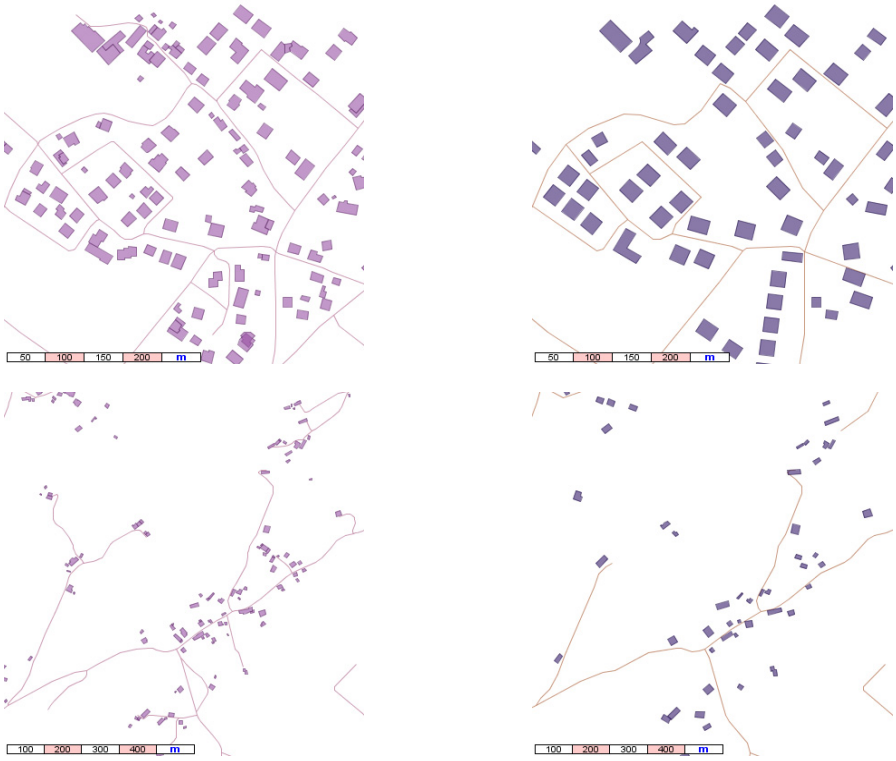



*Figura 1. Generalizzazione dell'edificato e della viabilità.*

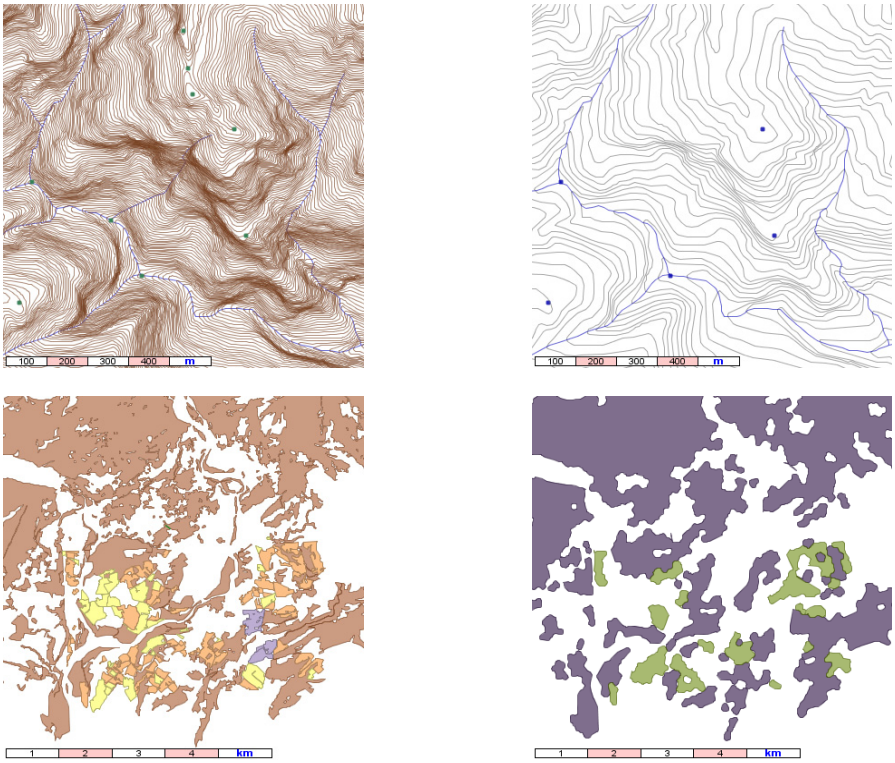



*Figura 2. Generalizzazione di tematismi naturali: curve di livello, dei punti quotati e dell'idrografia (riga superiore) e aree verdi (riga inferiore).*

**Conclusioni**

I risultati del progetto CARGEN2 sono molto soddisfacenti e, sotto tutti i punti di vista, si pongono come un netto miglioramento di quelli ottenuti nel precedente progetto CARGEN. Le scelte effettuate durante l'attività progettuale di CARGEN2 si sono rivelate corrette ed hanno portato allo sviluppo di un processo flessibile ma potente, che può essere esteso facilmente, incorporando nuove soluzioni tecniche e che per questo è auspicabile che presto sia esteso anche al processo di generalizzazione alla scala 1:25000, aggiornando il software prodotto durante il progetto CARGEN.

Durante le fasi di test e di collaudo degli algoritmi, si sono rilevati alcuni problemi nel processo di generalizzazione come pure si sono evidenziati dei margini di miglioramento.
La messa a punto delle procedure si è scontrata in particolare con problematiche legate alle difficoltà del software a gestire:

- dati di input incompleti o non corretti
- situazioni non previste durante la progettazione degli algoritmi

Il primo punto della lista è un problema annoso e difficilmente risolvibile "a valle"; come soluzione parziale al problema, all'interno degli algoritmi del progetto CARGEN2 sono state implementate tecniche anche complesse di correzione d'errore e strategie che hanno reso il processo abbastanza robusto agli errori; queste tecniche però a volte sono impotenti, soprattutto nei casi in cui il dato è mancante. L'auspicabile futuro utilizzo di tecniche di validazione più avanzate e rigorose in tutta la filiera di produzione del dato cartografico è la soluzione più promettente a questo problema.

Il secondo punto è connaturato con l'essenza stessa di un progetto di ricerca come CARGEN2 e di un tema così complesso come la generalizzazione cartografica, dove ogni soluzione trovata apre nuove prospettive di indagine e di sviluppo.
In questa ottica i risultati ottenuti con il progetto CARGEN prima e CARGEN2 oggi, rappresentano certamente un importante punto di arrivo per la ricerca sulla generalizzazione cartografica in Italia, ma ancor di più sono diventati, nel tempo, una sempre più solida base di partenza per poter arrivare a risultati ancor più importanti.

Sulla scorta di queste osservazioni, gli sviluppi futuri della ricerca sulla generalizzazione cartografica si muoveranno su tre fronti:

- test di nuovi campioni di dati
- miglioramenti agli algoritmi in termini di prestazioni, robustezza e parametrizzazione
- aggiunta di nuove funzionalità al sistema

**Bibliografia**

De Gennaro M, Rumor M, Savino S ( 2009 ) Le procedure per la derivazione del DB25 dal DBT della Regione del Veneto: risultati del progetto CARGEN, Bollettino della Associazione Italiana di Cartografia, 135, 73-76
DGIWG ( 2000 ) The Digital Geographic Information Exchange Standard ( DIGEST ): Feature and Attribute coding catalogue Digital Geographic Information Working Group
Foerster T, Stoter J, Kraak M-J ( 2010 ) Challenges for automated generalisation at European Mapping Agencies: a qualitative and quantitative analysis The Cartographic Journal, 47 (1), 41-54
Regnauld N, McMaster R B ( 2007 ) A Synoptic view of generalisation operators in: Mackaness W. A., Anne Ruas A., Sarjakoski L. T. (Editors), Generalisation of geographic information: Cartographic modelling and applications, Elsevier Science, 37-66
Sarjakosky T ( 2007 ) Conceptual models of generalisation and multiple representation in: Mackaness W A, Anne Ruas, Sarjakoski L T (Editors), Generalisation of geographic information: Cartographic modelling and applications, Elsevier Science, 11-37
Savino S, Rumor M, Congiu S ( 2011 ) Automated cartographic generalization in Italy. In E. M. Fendel, H. Ledoux, M. Rumor, and S. Zlatanova (Eds), The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38-4/C21, 109-114
Stoter J ( 2010 ) State-of-the-Art of Automated Generalisation in Commercial Software, Report of EuroSDR projects, online: http://www.eurosdr.net/publications/58.pdf

# Aspetti dell'innovazione digitale nelle pratiche di gestione del territorio. A proposito del rapporto tra cittadini e comuni[1]

Giuseppe Scanu (*), Cinzia Podda (**)

(*) Dipartimento di Storia, Scienze dell'Uomo e della Formazione, Università di Sassari, Piazza Conte di Moriana 8, Tel. 079 229636, Fax 079 229680, e-mail, gscanu@uniss.it
(**) Laboratorio di Cartografia «Pasquale Brandis», Università di Sassari, Piazza Conte di Moriana 8, Tel. 079 229746, Fax 079 229680, e-mail, cpodda@uniss.it

**Riassunto**
Le recenti normative nel campo dell'amministrazione digitale impongono agli enti pubblici di utilizzare procedure standardizzate nella costruzione e trattamento del dato territoriale al fine di favorire lo scambio e l'interoperabilità tra diversi soggetti, snellire le procedure burocratiche, erogare servizi al cittadino di maggiore qualità. La modernizzazione del paese, che comporta in primo luogo la digitalizzazione della PA, l'eliminazione del digital divide, l'introduzione di pratiche di e-government e lo sviluppo della banda ultra larga, riconosciuta dal Governo come una priorità per favorire la ripresa economica, si prospetta però difficile, in primo luogo perché necessita di una "rivoluzione culturale" per la quale i tempi di percorrenza non sono brevi e le difficoltà non facili da superare. Ciò, in particolare, per quanto concerne gli aspetti inerenti il territorio, le cui competenze sono frammentate tra enti e uffici diversi e laddove l'utilizzo di tecniche moderne basate sui GIS, o supportate da WebGIS, sono purtroppo a un livello ancora insoddisfacente. Il presente contributo vuole esaminare, seppure sinteticamente, il rapporto tra Cittadino e Comune in merito alla gestione delle pratiche urbanistico - edilizie per osservare come il supporto del GIS può favorire un buon livello di efficienza amministrativa e aumentare la soddisfazione dell'utente.

**Abstract**
New regulations in the field of digital administration require public bodies to use standardized procedures in the construction and processing of territorial data, to facilitate the exchange and interoperability between different subjects, reduce bureaucracy, provide citizens with higher quality services. But the modernization of the country, which involves in the first place the digitalization of Public Administration, the elimination of the digital divide, the introduction of e-government practices and the development of ultra-wideband recognized by the Government as a priority to facilitate the economic upturn, looks like a goal difficult to accomplish, primarily because it requires a "cultural revolution" that would take time and involve difficulties not easily overcome. This is particularly true for aspects connected with the territory, whose responsibilities are fragmented between different authorities and offices and where the use of modern techniques based on GIS, or supported by WebGIS, are unfortunately still at an unsatisfactory level. The present work aims to examine, albeit briefly, the relationship between City and Municipality regarding urbanistic and building management practices to observe how the support of GIS can foster a good level of administrative efficiency and increase user satisfaction.

[1] I paragrafi con il numero 3, 5 e 6 sono a cura di G. Scanu e quelli con il numero 1, 2, 4 di C. Podda mentre l'impostazione e la ricerca bibliografica sono comuni a entrambi

**1. Innovare la PA: un'esigenza diffusa**

Uno degli aspetti più significativi che caratterizzano il rapporto tra la pubblica amministrazione e il cittadino in questi ultimi anni è senza dubbio il tentativo di superare la consolidata tradizione della presenza allo sportello-ufficio degli utenti per la richiesta di documenti e certificati o per presentare pratiche e progetti. Ciò determina perdite di tempo notevoli e costi per entrambe le parti: i primi per il personale impegnato a ricevere la richiesta, sovente con lunghe e defatiganti code soprattutto nei periodi di scadenze comuni; i secondi per lo spostamento necessario a presentare l'istanza e/o per ritirare l'atto. Una tradizione che sembrerebbe ormai avviata a divenire uno storico ricordo e che a breve dovrebbe essere sostituita da procedure nuove, come metodo e come approccio, assolutamente innovative per un paese ad elevato livello di burocratizzazione come l'Italia. Lo scenario che si sta prospettando e di cui nel presente contributo si vogliono osservare alcuni aspetti territoriali, potrebbe fare approdare l'Italia tra le istituzioni più virtuose sotto questo profilo, con standard di efficienza nei rapporti tra amministrazione e cittadino-utente che, a completamento avvenuto e con il supporto della banda ultra larga, sarebbero tra i migliori al mondo. Del problema si discute ormai da tempo e da oltre un decennio gli è stata assegnata importanza fondamentale per la crescita e l'ammodernamento del Paese, tanto da necessitare di un nuovo ministero creato appositamente per promuovere l'innovazione, cui hanno fatto seguito risultati che, pur non avendo portato a compimento il processo di digitalizzazione delle pubblica amministrazione – e non poteva non essere altrimenti per il lasso di tempo a disposizione – ha comunque prodotto dei validi risultati, ponendo nel contempo le basi per sviluppare il processo e renderlo improcrastinabile. Nell'accelerazione di questo percorso sono stati senza dubbio determinanti la diffusione di internet e la consapevolezza della globalizzazione come un processo ormai irreversibile, il potenziamento delle reti e della velocità di trasmissione dei dati, l'impegno nella ricerca profuso dai vari colossi dell'informatica e la conseguente accelerazione nell'innovazione dell'ITC che ha generato "diverse evoluzioni della cosiddetta rivoluzione digitale": si pensi, ad esempio, allo sviluppo della social network, alla diffusione dei WebGIS, al cosiddetto *web 2.0* (ora quasi *web 3.0*), alla messa in campo di potenti e sofisticati mezzi di visualizzazione geografica, al successo mondiale delle varie "tavolette" e degli smartphone, ai GPS integrati nei cellulari di ultima generazione, ecc. Una generale tendenza verso la ricerca di tecnologie sempre più competitive nel campo dell'acquisizione e diffusione dell'informazione geografica, che è entrata "prepotentemente" nelle attività quotidiane dei cittadini comuni e sembra ormai essere la caratterizzazione dominante degli scenari dell'inizio di questo nuovo secolo. In una società, come la nostra, che può ormai considerarsi evoluta sotto il profilo informatico, seppur con dei vistosi *gap* (ovviamente da recuperare), è evidente che il problema del generale miglioramento dei processi che coinvolgono la quotidianità del cittadino, a partire dai rapporti con la pubblica amministrazione, non può non intravedere dei percorsi operativi di corto respiro, pur nella consapevolezza delle difficoltà strutturali, operative e logistiche che una rivoluzione culturale di tale portata necessariamente comporta: giustamente il Ministro per la pubblica amministrazione e la semplificazione, Filippo Patroni Griffi, ha osservato che *"Le norme sono importanti, ma non bastano. Occorre anche cambiare la cultura e i comportamenti quotidiani. Pei i cittadini e le imprese conoscere le nuove semplificazioni è essenziale per far valere i propri diritti"*.

**2. Nuove prospettive di gestione del rapporto tra cittadino e amministrazione**

Nonostante il ristretto lasso di tempo intercorso dal momento in cui l'esigenza di innovazione della PA si è affacciata alla ribalta della scena politica sono stati diversi i tentativi effettuati per avviare e poi strutturare questo processo e i risultati, lungi dal considerarsi definitivi o pseudo tali, sono stati raggiunti, tanto da fare apparire i tempi del primo CNIPA (il Centro Nazionale per la Informatizzazione della Pubblica Amministrazione) un lontano ricordo. La trasformazione di questo comitato nel più moderno "digitPA", in attuazione del decreto legislativo del 1 dicembre 2009 n. 177, è infatti recente, ma gli indirizzi sanciti dai protocolli cui ha dato luogo hanno comunque prodotto dei precisi riferimenti legislativi. Di certo il settore è delicato e il percorso

dell'innovazione della PA, a partire dalla sua digitalizzazione, appare irto di ostacoli soprattutto se si pensa, come si accennava, alla reattività negativa dei diretti interessati, apparsa spesso refrattaria all'introduzione di modifiche strutturanti per il timore di compromettere status acquisiti e rendite di potere derivate da posizioni consolidate in un sistema vecchio di lustri. Sta di fatto che il problema della modernizzazione della PA (da più parti, ormai, il termine modernizzazione viene fatto coincidere con digitalizzazione), tutto sommato ben avviato, viene ritenuto di natura strategica per la ripresa economica e della competitività del sistema-Paese. Anche il nuovo Governo, alle prese con i problemi legati alla crisi strutturale in cui versa la nostra economia, nella definizione della cosiddetta "fase due" incentrata sulla crescita della produzione e sullo sviluppo, consapevole che il peso eccessivo esercitato dalla burocrazia rappresenti una delle strozzature più importanti nell'avvio di nuove attività imprenditoriali e nella competizione per il miglioramento di quelle esistenti, ha posto il problema della digitalizzazione della PA come una delle priorità in senso assoluto e l'adozione della cosiddetta Digitalia, l'agenda digitale italiana cui spetterà il compito di sancire questo passaggio, è pertanto un fatto pressoché imminente. Peraltro, oltre all'enunciazione degli impegni di Digitalia, alcune iniziative sono state già adottate con il decreto "Semplifica Italia", poi tradotto nella legge n. 35 del 4 aprile del 2012, che rende obbligatoria l'acquisizione d'ufficio delle informazioni già in possesso delle amministrazioni estesa a diverse "certificazioni" (dall'anagrafe e stato civile alla regolarità contributiva e all'antimafia) e i risultati stimati per il solo primo anno di applicazione, questo in corso, secondo le previsioni del Ministero per la PA e la Semplificazione, mettono in evidenza cifre da record che denotano la validità del provvedimento: 24 milioni di certificati in meno con un calo, nei primi 4 mesi, del 37 % di certificati di stato civile e del 54 % di quelli anagrafici. Cifre da record. se si pensa alla soprarichiamata burocratizzazione, che consentono di intravedere una buona possibilità di successo di tutto il percorso innovatore, preludio degli importanti passi in avanti annunciati dal governo a favore delle imprese, come lo Sportello unico per l'edilizia, la Dichiarazione unica ambientale per le Pmi e altre iniziative tra le circa 80 proposte avanzate in questo senso dalle associazioni di categoria. Ma quelle più strutturanti appaiono essere Digitalia, la progressiva sostituzione del digital divide con la banda ultra larga e ulteriori azioni di e-government per stimolare lo sviluppo di alcuni settori strategici al fine di rilanciare la crescita economica e recuperare il pauroso ritardo che è ritenuto una delle principali cause del nostro svantaggio competitivo nel contesto europeo. D'altronde è sufficiente uno sguardo alla classifica della Banca Mondiale relativa al 2012 per osservare che l'Italia è all'87° posto (l'anno passato era al n. 83) tra i vari paesi del mondo per la "facilità di fare impresa"; al 77° posto (ma in netto peggioramento) per snellezza e costi necessari per avviare un'attività; al 93° per la facilità nell'ottenere permessi di costruzione per cui, secondo una stima del Sole 24Ore, occorrono almeno "285 giorni e un costo triplo rispetto alla media dei paesi avanzati" (Il Sole, n.288, 19.8.2012, p. 10). Da ciò l'esigenza, sollecitata anche dall'Unione Europea, di adeguare la nostra PA a standard con livelli di *workflow* elevati per quanto riguarda il rapporto con l'utente-cittadino.

**3. Verso l'innovazione nella gestione del territorio**

Se è vero che gli ultimi anni, anche su sollecitazione europea (si veda, ad esempio, la Comunicazione della Commissione europea COM (2010) 245 definitivo/2 del 26 agosto 2010), hanno segnato importanti passi in avanti nella creazione dei presupposti per la digitalizzazione della PA, è anche vero che per quanto concerne il territorio, o meglio la gestione dei dati territoriali, il problema è stato posto con maggiore determinazione dalla direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 14 marzo del 2007, che istituisce una infrastruttura per l'informazione territoriale all'interno dell'Unione. Sulla base di tale direttiva, meglio nota come INSPIRE (acronimo di **IN**frastructure for **SP**atial **I**nfo**R**mation in **E**urope) i paesi membri devono provvedere a riorganizzare dei dati territoriali prodotti dai soggetti pubblici (amministrazioni, enti, ecc.) stabilendo indirizzi comuni e adottando procedure condivise, tali da poter essere scambiati e resi disponibili anche ai cittadini attraverso portali e repertori dedicati. Ma già dal 2005, con l'art. 59 dedicato ai dati territoriali, il decreto legislativo 7 marzo n. 82, il cosiddetto Codice

dell'Amministrazione Digitale, il CAD, integrato in più di una occasione e novellato con il decreto legislativo 30 dicembre 2010 n. 235, si è avviata una grande opera di riordino dei dati geografici delle pubbliche amministrazioni, nella consapevolezza del ruolo che essi possono svolgere per il raggiungimento degli obiettivi istituzionali, grazie al supporto dei GIS. Con l'avvallo dell'allora Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione (CNIPA, oggi DigitPA), recependo gli indirizzi forniti al Comitato per le Regole Tecniche sui Dati Territoriali delle Pubbliche Amministrazioni dai vari gruppi di lavoro con cui ha operato, tra cui l'Intesa GIS, si definirono le specifiche tecniche per la produzione delle ortofoto digitali e la formazione dei database topografici e l'applicazione dello standard ISO 19115:2003 ai dati territoriali. Il 27 gennaio del 2010 veniva approvato il decreto legislativo n. 32, di recepimento anche nel nostro paese della direttiva INSPIRE, che può essere considerato il vero e importante passo verso l'adozione di innovazioni, in senso strutturante, da parte delle pubbliche amministrazioni in vista dell'infrastruttura europea, introducendo o rafforzando i concetti di metadato, di dato territoriale, di set dei medesimi e di servizi ad essi relativi, di oggetto territoriale ("rappresentazione astratta di un fenomeno reale connesso con una località o un'area geografica specifica", particolarmente significativo dal punto di vista applicativo) e, soprattutto, di interoperabilità (art. 6), concetto che già aveva fatto la sua comparsa ai tempi del CNIPA all'interno di Intesa GIS, destinato a rivoluzionare il mercato, il sistema della produzione, trattamento e gestione del dato territoriale. Una serie di provvedimenti assolutamente innovativi, come si vede, destinati a cambiare il mondo della gestione dei dati territoriali anche nel nostro paese, nonostante la refrattarietà generale del mondo della PA soprarichiamata, ulteriormente implementati dal decreto 10 novembre del 2011 (pubblicato nella G. U. n. 48, del 27. 2. 2012) sulle Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici, che segna un vero e deciso punto a favore della omogeneizzazione, tecnicamente strutturante, della produzione dei set di dati e applicativi territoriali, finora assolutamente incontrollati, con capitolati di appalto tra i più disparati possibile, il cui unico momento di uniformità era rappresentato dallo scambio dei file ad essi relativi tra enti, con assoluta libertà di modifica in relazione alle singole esigenze e con il risultato di produzioni mai omogenee anche all'interno della stessa regione, della stessa provincia o, peggio ancora, nel caso della presenza di enti di gestione particolari, come Consorzi industriali o di bonifica, dello stesso comune. Dopo le naturali definizioni (art. 1) che richiamano il Codice dell'Amministrazione Digitale e ribadiscono i concetti di dati territoriali e dei servizi ad essi relativi, di metadati, del Repertorio nazionale dei dati territoriali istituito presso il DigitPA, di Geoportale nazionale, come per altro indicato dall'art. 7 del decreto 32/2010, sottolineando anche gli attributi del Database geotopografico come archivio di dati territoriali organizzati secondo regole di struttura e di contenuti, viene precisato che questi ultimi costituiscono la base informativa territoriale delle amministrazioni e fanno parte dell'infrastruttura per l'informazione territoriale, come previsto dalla direttiva INSPIRE, anche ai fini dell'interoperabilità e della disponibilità per la consultazione e la fruibilità, il riuso e lo scambio telematico degli stessi dati tra amministrazioni. Viene inoltre stabilito il criterio della responsabilità della correttezza della gestione da parte dell'amministrazione titolare del dato pubblicato nel Repertorio con l'obbligo di verifica delle esigenze comuni al fine di pianificare l'acquisizione in maniera congiunta. Per quanto concerne la PA, quello che si prospetta per il futuro è un sistema di informazione geografica veramente innovativo rispetto alla situazione di qualche anno addietro, tanto da fare apparire la gestione del dato territoriale come la base della condivisione di politiche di coerenza tra soluzioni informative standardizzate, di raccordo nell'acquisizione e produzione, quindi nel riuso e aggiornamento dello stesso dato: uno scenario in cui la qualità, la produzione, l'aggiornamento, lo scambio del dato geografico, con tutto ciò che questo si porta appresso, diviene il nuovo paradigma della conoscenza, pianificazione e gestione del territorio. La geomatica e i suoi presupposti scientifici e operativi entrano così a fare parte in maniera determinante della pubblica amministrazione per quanto concerne gli aspetti connessi con il territorio e i cittadini e le imprese ed appare destinata a rafforzare vieppiù questo ruolo in corrispondenza con il progredire della "modernizzazione".

**4. Dati geografici, gestione del territorio, rapporti tra PA e cittadini-utenti**

Pure ammettendo che il nuovo paradigma della gestione delle politiche pubbliche si fondi sulla ristrutturazione dei dati geografici e sulla geomatica, non si può non considerare tutto ciò che questo comporta per il territorio e che va ben oltre le "politiche" in senso stretto. Ovvero, se quanto riguarda la conoscenza, la pianificazione-progettazione, la gestione, il governo e il controllo del territorio deve tenere necessariamente conto delle nuove "regole tecniche" di produzione e scambio dei dati geografici, è anche vero che queste operazioni vanno a interferire in qualche modo con la normale attività che su di esso si svolge, ad esempio, da parte di una pubblica amministrazione, e con le esigenze dei cittadini ai quali non interessa tanto l'azione di "superiore governo" quanto la realtà quotidiana incentrata, ad esempio, sulla presentazione della classica pratica o sulla più semplice richiesta del certificato. La riflessione, a questo punto, si potrebbe spostare proprio sui seguenti aspetti, peraltro argomento del presente contributo: dati geografici (che rappresentano il territorio e le sue dinamiche), pubblica amministrazione (ovvero tutto ciò che concerne la gestione operativa - autorizzativa del territorio), cittadino-utente, con le sue esigenze di pratica operabilità che in qualche modo coinvolge il territorio: dall'esercizio di attività produttive al permesso di costruire, dal catasto alle imposte fondiarie e sugli immobili, ecc. Emerge una sorta di triplice rapporto, schematizzabile nei vertici di un triangolo in cui stanno rispettivamente il dato geografico, la pubblica amministrazione, il cittadino-utente (figura 1). Immaginando di attribuire a ogni vertice il contenuto della sua strutturazione, emerge un quadro relazionale assai complesso per due di essi (dati geografici e Pubblica Amministrazione), rappresentato da azioni e retroazioni dirette nei due sensi, segno di reciproci scambi, collegamenti, dipendenze, interazioni, ecc. in una sorta ininterrotta di causa-effetto di stampo razionalista e uno molto semplificato, nel senso che le azioni appaiono dirette verso questo ultimo dagli altri due senza possibilità di retroazione, che coinvolge il terzo vertice. Così, se al vertice con i dati geografici viene riferito tutto ciò che si è detto (produzione, standardizzazione, qualità, interoperabilità, classificazione, ecc.) e al vertice della PA quello che in questo momento è concernente la politica di innovazione tecnologica (semplificazione, digital divide, banda ultra larga, Digitalia, firma digitale, ecc.), il vertice relativo ai cittadini-utenti non può che recepire gli input forniti dagli altri due, adeguarsi ad essi e svolgere un ruolo assolutamente passivo nel cogliere il risultato-prodotto che da questi gli possono essere trasferiti.

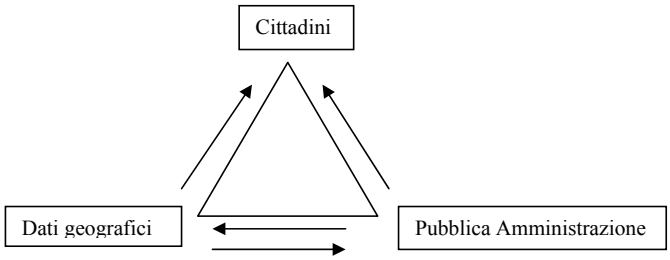



*Figura 1. Schematizzazione del rapporto tra Cittadini, PA, Dati geografici: uno sbilanciamento negativo.*

Quindi, le azioni volte alla strutturazione dei dati geografici secondo le direttive europee e la legislazione nazionale e da cui passa la nuova visione della gestione del territorio nel senso più ampio possibile, che producono comunque degli effetti sui cittadini in quanto ne rappresenteranno lo stato di riferimento e di fatto, andranno a indirizzare la base di azione della PA essendone l'essenza operativa mentre, viceversa, da questa potranno essere influenzati nella produzione – standardizzazione – distribuzione. Ma se le politiche volte a favorire l'innovazione del rapporto dei cittadini con la pubblica amministrazione, avendo riconosciuto alla lentezza burocratica una grande colpa nel ritardo dello sviluppo del paese e nella perdita di competitività, come si è dapprima accennato, intendono raggiungere l'obiettivo di digitalizzazione della burocrazia, è evidente come prioritariamente deve essere superato proprio lo squilibrio nei confronti del cittadino evidenziato nel

grafico: le azioni tra i tre vertici del triangolo devono cioè essere similari. In pratica, il problema che si pone è quello di vedere come lo snellimento burocratico, che passa dalla digitalizzazione della PA, grazie al dato geografico innovato, può giovare operativamente al cittadino e quindi favorire il rilancio del nostro sistema. Si potrebbe però vedere, posto che questo obiettivo venga raggiunto visto che ormai tutto porta a prevederlo, come può essere realizzato in tempi celeri, qualche mese o pochi anni al massimo, in modo da essere reso immediatamente fruibile dal cittadino con i conseguenti vantaggi. Sempre in relazione alle pratiche inerenti il territorio, ad esempio, si potrebbe osservare con quale processo si potrebbe configurare il miglioramento del rapporto tra il cittadino e il comune visto che per tutti rappresenta l'eccellenza della PA: di residenza o di svolgimento delle nostre attività. Occorre infine sottolineare che, nello schema dianzi teorizzato, se nel vertice dei dati geografici vengono inseriti altri elementi o informazioni relativi ad altri settori della PA, a prescindere dal territorio, questo discorso è pur sempre valido anche se cambiano le problematiche inerenti la loro acquisizione, teoricamente assai più semplice del caso in discussione. Inoltre, occorre sottolineare che l'unione tra sistemi informativi geografici e la gestione digitale dei procedimenti delle PA ha una forte ricaduta anche su alcuni aspetti cartografici. Il territorio, infatti, essendo una realtà dinamica in cui la velocità del cambiamento dipende da diversi fattori, antropici (ad esempio le dinamiche edilizie) e naturali (come le frane e le esondazioni), la relativa cartografia tecnica comunale, e in particolare il database topografico, è soggetta ad un ciclo di vita la cui durata dipende dalla sua capacità di rappresentare in maniera adeguata il territorio, del quale costituisce un modello semplificato, per quanto concerne la rapidità dell'aggiornamento. La possibilità, grazie ai procedimenti telematici, di inserire direttamente le variazioni delle condizioni del territorio con le nuove strutture e infrastrutture senza aspettare una nuova ripresa aerofotogrammetrica e una nuova cartografia, consente sia di tenere aggiornata la rappresentazione (cartografia digitale o geodatabase) sia di evitare i costi periodici di rifacimento della stessa. Il modello integrato di sistema che va delineandosi è, quindi, in grado di assicurare il continuo aggiornamento della cartografia attraverso il governo di tutti processi che intervengono a modificare la realtà territoriale. Infine, poiché la quasi totalità dei procedimenti comunali, riconduce la pratica all'oggetto territoriale catastale, la possibile integrazione tra il processo di mantenimento del database topografico e la presentazione di eventuali atti di variazione o accatastamento, permetterà di avviare l'adozione del Modello Unico Digitale per l'Edilizia ed il catasto (MUDE) introdotto dalla legge 80/2006.

**5. GIS, Web GIS, PA e cittadini - utenti**

Il discorso testé svolto relativamente alla produzione dei dati geografici e alla digitalizzazione della PA, a prescindere dalle annunciate azioni di governo che ancora, almeno in parte, devono essere prese, porta ad ammettere l'esistenza di condizioni indispensabili per favorire l'innovazione effettiva del rapporto tra la PA e il cittadino, in particolare del comune, l'istituzione a lui più vicina. Analizzando lo stato di fatto in un ottica geografica tale da comprendere quelli più virtuosi ed efficienti ma anche quelli al momento più restii a innovare pratiche e procedure, emergono una serie di condizioni al contorno, strutturali, umane, finanziarie, politiche, ecc. che portano a individuare dei punti di forza, ma anche di debolezza, tanto spingere a intentare, quasi, una sorta di analisi swot individuando le opportunità e le criticità. Tra i punti di forza occorre considerare le indicazioni dell'Unione europea sulla sburocratizzazione e sulla libera circolazione del dato in possesso delle pubbliche amministrazioni; la spinta innovatrice promossa dal governo sia in adeguamento alle direttive UE sia come processo cognitivo e autoreferenziale rivolto alla semplificazione amministrativa attraverso l'emanazione di provvedimenti legislativi e attuativi specifici; l'incremento esponenziale dell'accesso a internet e l'utilizzo sempre più frequente di pratiche digitali; la diffusione dei repertori, geoportali o simili che distribuiscono informazioni territoriali strutturate e georiferite e facilitano la conoscenza dei database multi precisione e delle banche di dati; l'utilizzo pressoché globale di visualizzatori geografici (Google Heart, Bing, ecc.) che forniscono informazioni sempre più precise sotto il profilo della localizzazione e dei rapporti di

topologia tra gli oggetti; la diffusione di documenti di identificazione digitale e di carte di servizi nazionali per le pratiche con la pubblica amministrazione; l'utilizzo di procedure e di tecniche di lavoro informatiche nella gestione delle pratiche concernenti il territorio e l'apertura di sportelli dedicati che dialogano in maniera informatica come ad esempio il SUAP; l'affaccio, seppure timido ma non trascurabile dei GIS e dei Web GIS, open o commerciali e la loro sempre maggiore diffusione non solo nella pubblica amministrazione. Tra gli elementi di debolezza occorre invece considerare: l'età non sempre giovanissima dei funzionari degli uffici tecnici comunali di solito restii a innovarsi nei metodi e nelle forme di lavoro; la scarsa conoscenza delle procedure informatiche, peraltro molto incentrate su attività tipo CAD piuttosto che GIS; la difficoltà di formazione professionalizzante nel settore dei GIS nonostante la presenza di open e di tutorial e manuali in lingua; la scarsa diffusione presso i professionisti e i tecnici di strumenti GIS e quindi la difficoltà di operare una certa pressione presso i comuni per spingere sull'adeguamento da parte di costoro, i maggiori interlocutori degli uffici; il tempo irrisorio solitamente dedicato all'aggiornamento professionale e all'innovazione per via della classica sommersione burocratica; la scarsità di risorse dedicate al miglioramento della funzionalità degli uffici tra preparazione dei funzionari e adozione di tecniche, tecnologie e pratiche adeguate alle nuove esigenze della moderna società. Un bilancio tra le due opzioni porta a evidenziare tra le opportunità la reale possibilità di avvio della riqualificazione in senso di efficienza operativa dell'attività dei comuni nel settore della gestione del territorio, tenendo appunto conto del supporto che in ciò possono fornire i GIS, le reti di internet, le nuove normative dedicate alla razionalizzazione del dato geografico e alla interoperabilità dello stesso, l'esigenza di economizzare la gestione delle pratiche, l'accettazione assai condivisa da parte dei cittadini e dei tecnici delle procedure informatiche per la gestione del rapporto con il comune, la distribuzione della Carta Nazionale dei Servizi, in alcune regioni già completata ed in attesa di attivazione (come la Sardegna) e in altre (come in Lombardia) già utilizzata, che costituisce un vero e proprio lasciapassare digitale del cittadino per il dialogo certificato con la PA.

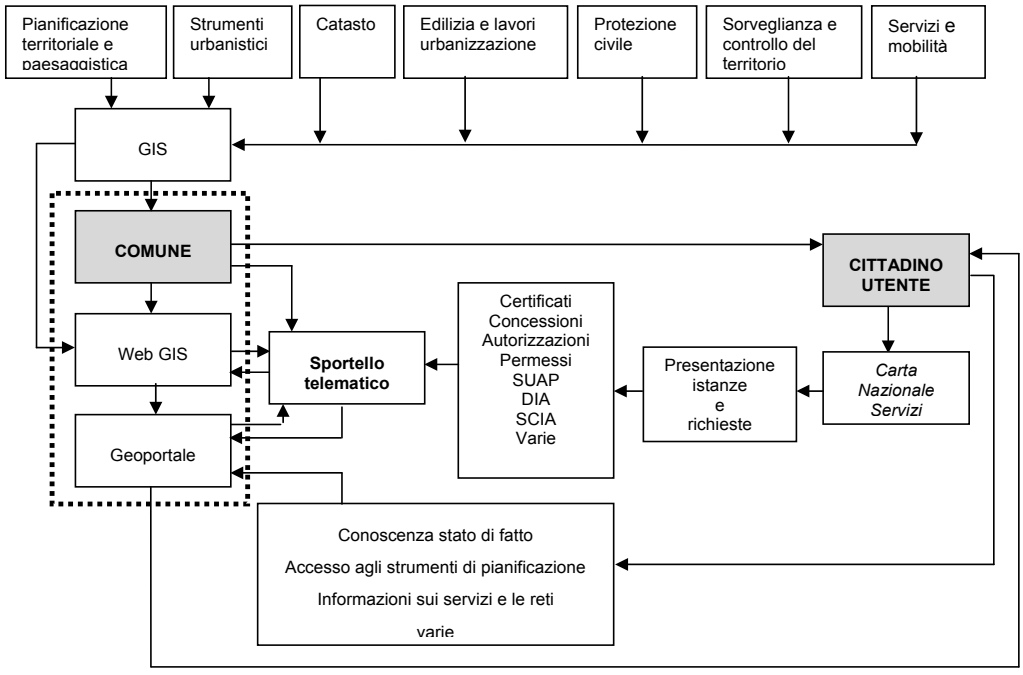



*Figura 2. Layout del processo di innovazione e digitalizzazione della PA e dell'interazione con il cittadino.*

Restano comunque evidenti punti di debolezza come la scarsa conoscenza dei GIS e delle procedure dedicate, su cui incombe, sovrana la pressoché inesistente preparazione nel campo della geomatica in generale e in riferimento al trattamento del dato territoriale nello specifico. Volendo ipotizzare uno schema logico di funzionamento del sistema si può fare riferimento allo schema della figura 2 dove si possono osservare le relazioni tra componenti, flussi informativi, andamento delle domande/risposte tra cittadino e PA ma anche la relazione diretta che il cittadino, per il tramite del geoportale, può avere con i dati territoriali del proprio comune o, evidentemente, di altri che adottano lo stesso sistema. Alla base di tutto il processo c'è, inizialmente, la realizzazione del sistema informativo comunale da una parte e, dall'altra, la possibilità che il cittadino abbia l'accesso certificato allo sportello (telematico) dell'amministrazione, cosi come di altre entità pubbliche cosa che, come si è detto, può avvenire grazie alla disponibilità del microchip nella Carta Nazionale di Servizi (di solito collegata alla tessera sanitaria). Altro elemento di non secondaria importanza è lo sviluppo degli applicativi software in dotazione all'amministrazione per supportare l'attività del GIS e dell'WebGIS proprio in merito alle procedure necessarie per il disbrigo delle varie pratiche e per le diverse funzionalità. Questo è ovviamente un aspetto che dipende dal singolo comune, dalle sue specifiche problematiche ed esigenze e anche dalla performanza del sistema scelto come GIS, da quelli open a quelli cosiddetti commerciali, anche se tra questi ultimi la preferenza delle amministrazioni pubbliche in Italia, a livello locale e regionale, è molto sbilanciata sui prodotti ESRI. Ciò non toglie, naturalmente, che il processo di implementazione delle procedure applicative per i vari compiti d'ufficio dei comuni possa seguire un percorso modulare, in parallelo anche alla formazione del personale e alla capacità di risposta manifestata nei confronti del processo formativo per cui, a iniziare dai vari sportelli previsti per legge, come il SUAP e la SCIA o la DIA, ormai di dominio generale, le altre procedure possono essere tali da arrivare gradualmente a quelle più complesse, come ad esempio l'esame di un progetto di costruzione edilizia o la verifica tra residenti e unità abitative e patrimonio immobiliare, tanto per citarne alcune. Come si osserva dal layout, operativamente le richieste possono essere inoltrate direttamente all'amministrazione previo riconoscimento-accettazione dell'utente, la quale provvede ad attivare e poi sviluppare il processo di elaborazione richiesto e a rilasciare il certificato/permesso/autorizzazione ecc. servendosi, in relazione alle esigenze, di un eventuale dialogo – sempre telematico – con il cittadino fino a conclusione dell'iter.

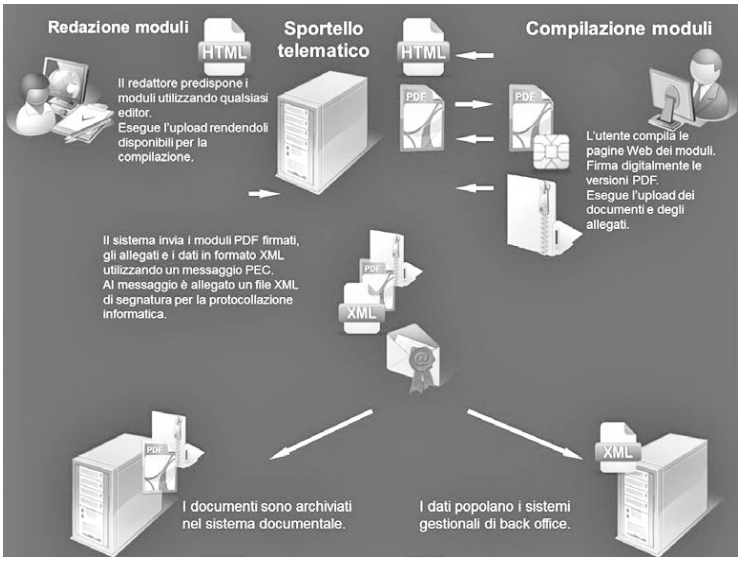



*Figura 3. Schema di funzionamento di uno sportello telematico (da: Deligios, 2012).*

Nei sistemi più evoluti è possibile verificare l'iter della pratica seguendone il percorso, così come si possono effettuare i pagamenti dei corrispettivi con la moneta elettronica. La presenza del geoportale risulta particolarmente importante in quanto consente l'accesso diretto ai dati di conoscenza e di gestione del territorio in possesso dell'amministrazione e di osservare direttamente alcuni stati di fatto, ad esempio la destinazione urbanistica di una determinata area, ottenendo direttamente un certificato con tutte le informazioni che lo stesso contempla, valido –quanto meno per alcuni usi- in quanto, anche se manca la firma del funzionario è prodotto dalla elaborazione delle informazioni a disposizione dell'amministrazione. Essendo tutto il sistema imperniato su base GIS, è evidente che tutte le procedure e le pratiche eseguite sono georiferite e posizionate correttamente sotto il profilo geografico; anche laddove l'utente ometesse la localizzazione dell'oggetto della richiesta, ciò può avvenire in maniera semi o automatica attraverso lo sportello telematico mentre la disponibilità del GIS consente delle performance sul trattamento delle informazioni territoriali di elevata utilità per l'amministrazione o l'utente, non solo in relazione alle richieste a sportello ma anche per quanto concerne altri aspetti legati alla normale attività di una amministrazione, come i lavori pubblici, i trasporti, i percorsi degli scuola bus e degli autobus, la raccolta dei rifiuti e il percorso seguito dai mezzi con l'ora e la frequenza dei passaggi nei punti di sosta dei cassonetti, ecc.

**6. Conclusioni**

Il Codice dell'Amministrazione Digitale ha introdotto, già dal 2005 un nuovo approccio nei rapporti tra amministrazioni, i cittadini e le imprese sancendo il diritto all'uso delle tecnologie informatiche e la partecipazione al procedimento amministrativo informatico, quindi favorendo, o meglio imponendo, il dialogo di tipo telematico per la gestione di tutte le pratiche, da quelle più semplici a quelle particolarmente complesse concernenti particolari autorizzazioni, ad esempio per le attività produttive oppure per la realizzazione di costruzioni, ecc. Successivi provvedimenti legislativi hanno via via rafforzato questa determinazione, fino all'obbligo dell'attivazione di sportelli (anche se unici), come il SUAP, destinati ad aspetti particolari ma che denotano come il percorso avviato è ormai irreversibile. Più di recente, la consapevolezza che l'elevato livello di burocratizzazione rappresenti un ostacolo per lo sviluppo economico, provvedimenti specifici per la modernizzazione del Paese sono stati assunti dal Governo e altri sono in itinere[2] ritenendo che il rilancio della crescita e della competitività passino necessariamente dall'efficienza del sistema amministrativo che deve essere assolutamente privo dei lacci imposti da una secolare storia burocratica, cui consegue un grande vantaggio in termini di risparmio di risorse da parte della PA e dell'utenza. In particolare si sono esaminati gli aspetti legati alla digitalizzazione del dato geografico, laddove l'emanazione di direttive europee ha imposto dei percorsi abbastanza obbligati, cui comunque il nostro Paese ha iniziato ad adeguarsi, osservando come i nuovi standard di produzione, strutturazione, scambio e aggiornamento producano dei vantaggi anche economici alle amministrazioni le quali, per altro, sono obbligate a "smaterializzare" e a rendere fruibile il dato geografico da esse posseduto. La strutturazione di qualsiasi percorso legato al territorio sotto questo profilo passa ormai chiaramente attraverso i GIS o gli Web GIS per quanto concerne l'interoperabilità e la consultazione la cui forma più diffusa è divenuta quella del geoportale capace di visualizzare i contenuti dei vari repertori. Nel percorso esaminato si è affrontato questo problema tenendo conto di quegli aspetti relativi al territorio che coinvolgono direttamente la gestione e le

[2] Oltre al decreto legislativo 5/2012 sulla semplificazione, convertito nella legge 35/2012 entrata in vigore il 7 aprile del 2012 già ricordata e i cui effetti sono stati assolutamente incoraggianti, occorre anche menzionare il decreto 83/2012 sullo sviluppo, convertito nella legge 134 da poco entrata in vigore (12.8.2012) che continua il programma di semplificazione, in particolare all'art. 13 relativamente alla presentazione delle pratiche edilizie residenziali (e non solo produttive) in maniera digitale. Per altro, al momento della chiusura del presente articolo, lo stesso governo ha annunciato l'approvazione a breve degli altri provvedimenti già richiamati, tra cui, in particolare, l'agenda digitale, l'estendimento della banda ultra larga, l'e-government.

esigenze dei cittadini nel caso delle amministrazioni comunali, ritenute, in questa ipotesi di studio, quella più significativa per quanto concerne, appunto, tali aspetti specifici e quella a più diretto e frequente contatto. Le ipotesi avanzate tengono conto di alcune esperienze già adottate in diversi comuni, ad esempio quello di Bergamo (http://territorio.comune.bergamo.it/), verificate e semplificate per favorire una facile comprensione nelle presenti pagine. Si è tenuto conto anche di alcune proposte progettuali portate avanti dalla società Globo Srl (www.globogis.it), specializzata nello sviluppo di applicativi GIS per le pubbliche amministrazioni, verificate ai fini della discussione in essere, soprattutto per quanto concerne la configurazione dello sportello telematico. Si ritiene che la proposta di articolazione operativa per rispondere ai requisiti richiesti dalla normativa sul settore, in particolare il Codice dell'Amministrazione Digitale ma anche gli altri provvedimenti legislativi ispirati dalla direttiva INSPIRE, oltre che la stessa direttiva, sia in condizioni di garantire anche quegli aspetti legati alla produzione, strutturazione, gestione e interoperabilità del dato geografico, per cui il supporto del GIS e la sua evoluzione in geoportale e WebGIS sia un aspetto non più derogabile. Per quanto concerne il territorio, il nuovo rapporto tra la PA e il cittadino, passa quindi necessariamente attraverso il sistema informativo geografico: è la qualificazione del dato territoriale, acquisita attraverso la strutturazione richiesta dal sistema, anche in termini di precisione nella localizzazione, a garantire la modernità, la qualità, l'economicità del dialogo tra questi due soggetti. La progettazione di questo tipo di soluzione personalizzata per i singoli comuni, al fine di garantire standard di efficienza operativa adeguati alle specifiche situazioni, piuttosto che quelle omologate a livello regionale da cedere in uso ai vari enti, è quindi la strada percorribile per far si che la digitalizzazione dell'amministrazione pubblica, in attesa di Digitalia, inizi a segnare lo snellimento burocratico procedurale e a facilitare il dialogo con i cittadini e con le imprese.

**Riferimenti bibliografici**

Attias M., Rotundo A. (2011), *Informazione geografica, Regioni e metadati: il contributo del CISIS nell'implementazione del Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali*, Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA, Colorno, 159-164

Borruso G. (2011), *Geografie di rete. Infrastrutture, regioni, città*, Pàtron, Bologna

Campanile G. (2011), *V Metadati, Dati, Servizi: un approccio integrato per esporre il proprio mondo secondo le regole INSPIRE*, Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA, Colorno, 543-548

Cilloccu F., Dequal S., Brovelli M. A., Crespi M., Lingua A. (2009), *Ortoimmagini 1: 10.000 e modelli altimetrici. Linee guida*, CISIS, Roma

Commissiono f the European Communites, 2007, INSPIRE Directive, 2007/02/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community. Official Journal of the European Union, 50, 25 April, L 108

Deligios M. (2012), *La presentazione telematica delle pratiche è una realtà,* Strategie Amministrative, Milano.

Favretto A. (2000), *Nuovi strumenti per l'analisi geografica*. I GIS, Pàtron, Bologna

Fraulini A., Ugoletti C., Mengoli B. (2011), *I Servizi WEBGIS realizzati dal Portale Cartografico della Provincia di Modena*, Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA, Colorno, 1079-1087

Gomarasca M. A. (2009), *Basics of Geomatics*, Springer, London

Turco G., Sarzotti E., Zamponi L., Bonansea E. (2007), *PFR Piemonte–Strumenti per la condivisione delle informazioni tra gli enti della PA*, Atti 11a Conferenza ASITA, Torino, 2135-2140

Vallega A. (2008), *Fondamenti di geosemiotica*, Società Geografica Italiana, Roma

# Generalizzazione dell'Uso del Suolo ai fini paesaggistici

Ilaria Scatarzi (*), Martina Angeletti (**),Christian Ciampi (*), Michele De Silva (*),
Michele Ercolini (*), Bruno Giusti (**), Emanuela Loi (*),Fabio Lucchesi (*),
Fabio Nardini (*), Chiara Nostrato (**)

(*) CIST, Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio,
Via Micheli 2, 50121 Firenze (FI), Tel. 055 2756476, Fax 055 2756484
(**) LaRIST, Dipartimento di Urbanistica e Pianificazione del Territorio, Università di Firenze,
Via Micheli 2, Firenze, Tel. 055 503111, Fax 055 587087

**Riassunto**
Nell'ambito della Ricerca attivata dal Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio e dalla Regione Toscana relativa alla revisione del Piano Paesaggistico Regionale, si è reso necessario elaborare l'uso del suolo a scala adeguata che potesse essere di supporto ai diversi gruppi di lavoro coinvolti. Il presente articolo illustra la metodologia e le procedure tecniche di generalizzazione utilizzate per la messa a punto di questo strato informativo.

**Abstract**
Among the project between the Italian Institute "Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio" and the Italian Regional Institution "Regione Toscana", whose aim is the revision of the Regional Landscape Plan, it was necessary since the beginning the availability of a land use layer with an appropriate scale that could support the various working groups involved . This article illustrates the methodology and the technical procedures of generalization used for the development of this layer.

## Introduzione

La metodologia sperimentale di seguito illustrata è parte dell'attività di ricerca svolta dal Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio (CIST) con cui la Regione Toscana ha stipulato un accordo per la revisione del Piano Paesaggistico della Regione. La necessità di una copertura di uso del suolo in scala 1:50.000 per fini paesaggistici si è resa indispensabile nelle primissime fasi di elaborazione e ricerca. A tal fine la cartografia prodotta doveva essere elemento di sintesi e allo steso tempo supportare le tematiche di approfondimento.

## Le fonti cartografiche

La possibilità di impiegare le informazioni contenute nella Banca Dati Geografica della Regione Toscana (SITA) ha permesso di utilizzare il più aggiornato uso del suolo a copertura dell'intera regione, realizzato per fotointerpretazione del volo 2007 a colori, in scala 1:10.000 ed in coerenza geometrica con la CTR alla stessa scala nominale[1]. Tale copertura presenta una struttura di legenda gerarchica affine a quella del progetto *Corine Land Cover*, con casi di classi a livelli di legenda maggiori del terzo, vista la scala di dettaglio. La copertura di uso del suolo 2007 è stata sottoposta ad una serie di elaborazioni di generalizzazione per renderla idonea alla rappresentazione in scala 1:50k. Di seguito si dà conto delle operazioni fondamentali svolte con questo fine.

[1] Uso del Suolo commissionato al Consorzio LAMMA dalla Regione Toscana

**Impostazione del lavoro**

Il processo di generalizzazione è stato affrontato non sull'intera copertura regionale ma su ambiti di paesaggio: aree sovracomunali omogenee a cui farà riferimento la revisione della disciplina paesaggistica del PIT.

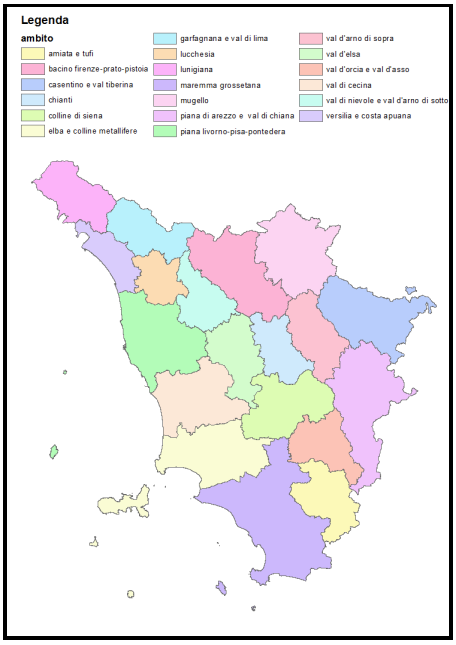



*Figura 1. Suddivisione in ambiti della Regione Toscana.*

Tale articolazione in contesti territoriali ha permesso sia di evidenziare le peculiarità locali delle diverse zone dal punto di vista della presenza e della distribuzione delle classi di uso del suolo, sia di svolgere il processo di generalizzazione su grandezze di dati accettabili in termini di quantità di memoria e di potenza di calcolo richiesti ai dispositivi *hardware*.

**Il processo di generalizzazione**

La generalizzazione cartografica, in sintesi, è un tipo di elaborazione che comprende processi fortemente interconnessi tra di loro: si tratta di un processo di derivazione da un dato geografico dettagliato (grande scala) a un dato geografico di minor dettaglio (piccola scala) attraverso una serie di operazioni che hanno lo scopo di ridurre l'articolazione geometrica del dato (sia in termini di quantità di informazioni necessarie che di dimensione) senza intaccarne la chiarezza e definizione alla scala desiderata. È implicito che tale processo sia fortemente influenzato dalle finalità della carta che si vuole ottenere.

Per tutte le fasi di elaborazione inerenti i dati vettoriali l'ambiente *software* utilizzato è stato ESRI ArcGIS. Va precisato però che le elaborazioni svolte avrebbero potuto essere realizzate con la maggior parte dei *software* GIS oggi disponibili. Va anche menzionata l'estensione *Patch Analyst*[2], che è stata impiegata per il calcolo degli indici spaziali utilizzati per l'impostazione delle generalizzazioni tematiche e per la verifica dei risultati.

[2]Rempel, R.S., D. Kaukinen., and A.P. Carr. 2012. Patch Analyst and Patch Grid. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario. http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/

**Metodologia applicata**

Trattandosi di una sperimentazione in corso d'opera, i risultati non sono da considerarsi come definitivi: gli indici e le sintesi proposte suggeriscono risultati oltre che attendibili, validi per ulteriori approfondimenti e soprattutto confermano la validità delle procedure scelte di seguito descritte.

*a) fase preparatoria di collassamento della viabilità e dell'idrografia (COLLAPSE)*

La prima fase del processo è consistita in una serie di elaborazioni che hanno permesso di predisporre il dato di origine alle fasi di generalizzazione. Poiché la copertura dell'uso del suolo è stata elaborata in coerenza geometrica con la CTR 10k, presenta alcune caratteristiche non compatibili con i risultati attesi. In particolare devono essere esclusi i poligoni corrispondenti alle infrastrutture viarie e ai corsi d'acqua, poiché tali elementi consistono in forme allungate con spessori inferiori ai parametri minimi di rappresentazione alla scala 1:50k. Si è pertanto proceduto all'eliminazione di queste informazioni dalla copertura originaria attraverso una metodo che non pregiudicasse le informazioni presenti nei poligoni limitrofi e che mantenesse la continuità spaziale del dato. Tale operazione è stata possibile attraverso la creazione di *poligoni di Thiessen* originati dalla conversione degli elementi poligonali corrispondenti a strade e fiumi in vertici. I poligoni così creati sono stati poi fusi ai poligoni adiacenti attraverso una operazione di *eliminate* con criterio "*border*" (sono stati in questo modo accorpati al poligono adiacente con cui hanno la massima lunghezza del bordo in comune).

L'operazione preparatoria è stata svolta separatamente per il territorio di ciascuna provincia toscana, poiché il numero dei poligoni che si sono originati dal *processo Thiessen* era troppo alto per le capacità di calcolo dell'*hardware*[3]. Le fasi di generalizzazione successive a questa sono state eseguite per l'estensione di ogni singolo ambito.

*b) analisi delle caratteristiche dell'area di interesse*

La conoscenza di un territorio e delle caratteristiche che lo contraddistinguono sono alla base della messa a punto della generalizzazione per fini paesaggistici seguita durante l'esperienza qui presentata. Da questo punto di vista la generalizzazione non va intesa come una sequenza ordinata di operazioni meccaniche, ma come un processo in cui, nella transizione tra scale di diverso dettaglio, vengono conservate leggibilità e completezza delle informazioni, valorizzando il ruolo descrittivo proprio degli elementi che definiscono l'identità di ciascuna zona. Con questa finalità, una preliminare analisi del contesto esaminato, che prenda in considerazione le classi di uso del suolo presenti e i caratteri della loro distribuzione spaziale può dare buoni *input* rispetto alle operazioni successive.

È stata realizzata a questo scopo per ciascun ambito una valutazione delle metriche spaziali della distribuzione delle *patch* di uso del suolo. Tale valutazione è stata realizzata, come si è anticipato, attraverso l'estensione *Patch Analyst*; tale estensione permette di calcolare per ogni classe di uso del suolo indici spaziali (caratteristici dei metodi di ecologia del paesaggio) relativi alle caratteristiche geometriche delle *patch* e alla loro ripartizione. Dalla tabella (Tab. 2) si capiscono quali sono le classi maggiormente rappresentate, la loro ripartizione percentuale, le caratteristiche geometriche, se rappresentate da una maggioranza di elementi piccoli ecc.

Le espressioni contenute nella tabella evidenziano le classi maggiormente rappresentate, oltre che la ripartizione percentuale e le caratteristiche geometriche e distributive degli usi del suolo.

Gli indici computati attraverso parametri quantitativi, veicolano, di fatto, una valutazione qualitativa in termini analitici; tale valutazione può dunque dare maggiore consistenza a giudizi interpretativi, sia che essi derivino da una conoscenza approfondita del territorio, sia da un approccio multidisciplinare, sia, infine, da una sensibilità specificamente paesaggistica.

[3] La sperimentazione ha dimostrato che il *software* utilizzato non riusciva a gestire più di 2.000.000 di poligoni nella fase di *eliminate* anche utilizzando una macchina dotata di doppio processore e 32 GB di RAM

| total edge | edge density | mean patch edge | mean patch size | numero patch | median patch size | patch size coefficient of variation | patch size standard deviation | class area | percentuale | classe | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **TE** | **ED** | **MPE** | **MPS** | **NumP** | **MedPS** | **PSCoV** | **PSSD** | **CA** | **perc** | **Class** | **descrizione** |
| 1.429.249,84 | 19,58 | 383,28 | 0,76 | 3.729,00 | 0,32 | 477,51 | 3,65 | 2.847,01 | 3,90 | 1 | aree edificate |
| 744.678,86 | 10,20 | 591,48 | 1,31 | 1.259,00 | 0,69 | 145,99 | 1,92 | 1.653,46 | 2,27 | 24 | aree agricole eterogenee |
| 2.570,42 | 0,04 | 367,20 | 0,73 | 7,00 | 0,47 | 79,32 | 0,58 | 5,10 | 0,01 | 33 | zone aperte veg. rada o assente |
| 22.730,31 | 0,31 | 1.337,08 | 7,55 | 17,00 | 4,57 | 126,53 | 9,55 | 128,32 | 0,18 | 131 | aree estrattive |
| 40.767,74 | 0,56 | 463,27 | 1,11 | 88,00 | 0,57 | 169,20 | 1,88 | 97,55 | 0,13 | 132 | cantieri e discariche |
| 1.705.553,44 | 23,37 | 780,57 | 2,60 | 2.185,00 | 0,79 | 376,71 | 9,80 | 5.684,78 | 7,79 | 211 | seminativi |
| 2.535.246,41 | 34,74 | 1.002,07 | 4,39 | 2.530,00 | 1,47 | 230,30 | 10,11 | 11.106,71 | 15,22 | 221 | vigneti |
| 2.592.780,50 | 35,52 | 939,41 | 2,75 | 2.760,00 | 1,00 | 220,08 | 6,06 | 7.594,72 | 10,41 | 223 | oliveti |
| 330.661,84 | 4,53 | 588,37 | 1,18 | 562,00 | 0,59 | 133,59 | 1,58 | 662,61 | 0,91 | 231 | prati |
| 4.098.404,99 | 56,15 | 4.861,69 | 47,46 | 843,00 | 0,54 | 2.490,09 | 1.181,91 | 40.012,46 | 54,82 | 311 | aree boscate |
| 33.206,13 | 0,45 | 626,53 | 1,25 | 53,00 | 0,55 | 143,20 | 1,78 | 66,04 | 0,09 | 321 | pascoli |
| 1.335.006,01 | 18,29 | 806,16 | 1,84 | 1.656,00 | 0,78 | 209,52 | 3,85 | 3.046,60 | 4,17 | 322 | arbusteti |
| 587,17 | 0,01 | 117,43 | 0,09 | 5,00 | 0,07 | 50,46 | 0,05 | 0,47 | 0,00 | 411 | paludi interne |
| 47.387,31 | 0,65 | 248,10 | 0,42 | 191,00 | 0,23 | 130,71 | 0,55 | 80,43 | 0,11 | 512 | bacini d'acqua |

*Tabella 2. Estratto delle elaborazioni del Patch Analyst: ambito CHIANTI.*

*c) riclassificazione delle classi di legenda (RECLASS)*
In questa fase sono state selezionate le voci della legenda di più alto livello gerarchico, il cui raggruppamento in classi di minor livello gerarchico (e di minor dettaglio) non compromettesse la caratterizzazione del territorio. In pratica, questa fase definisce la legenda di *output* della generalizzazione (es: le classi "bosco di latifoglie", "bosco di conifere" e "bosco misto" vengono tutte riclassificate come "superfici a bosco"). Una successiva analoga analisi degli indici statistici della copertura tematicamente generalizzata permette di valutare la coerenza delle caratteristiche geometriche e distributive della legenda raggruppata.

*d) individuazione delle classi di legenda da "enfatizzare" (EXAGGERATE)*
In questa fase sono state individuate le classi di uso del suolo che, per il proprio ruolo paesaggisticamente caratterizzante devono essere enfatizzate nella loro rappresentazione, e quindi geometricamente ingrandite per scongiurare il rischio di una loro scomparsa nelle successive operazioni di semplificazione geometrica. Vengono cioè individuate classi di uso del suolo particolarmente significative per il contesto territoriale ma rappresentate per la maggior parte da poligoni estremamente piccoli e sparsi (questa condizione è analiticamente corrispondente a numero alto di poligoni e a una mediana molto bassa). I poligoni di queste classi inferiori all'unità minima cartografabile (assunta pari a 2ha) sono sottoposti ad un processo di "exaggeration" che consiste nella creazione di un *buffer* il cui raggio è proporzionale alla superficie ed inversamente proporzionale al perimetro del poligono di origine [1].

$$\mathbf{Raggio}_{buffer} = (\text{Area poligono}/(2*\text{perimetro poligono})) \qquad [1]$$

Alcune operazioni ripetitive come quella qui descritta sono state automatizzate creando specifiche *routine* con lo strumento *ModelBuilder* dell'ambiente ESRI ArcGIS.

Il reinserimento delle classi enfatizzate nella copertura di uso del suolo attraverso operazioni di *erase* e *merge* progressivi, è regolato dalla percentuale della classe stessa: la classe più rappresentata in termini percentuali sarà la prima ad essere inserita, mentre l'ultima sarà quella con percentuale minore, che avrà maggiore peso poiché nella fase di *erase* "mangerà" tutte le altre classi.

*e) prima eliminazione dei poligoni adiacenti inferiori all'unità minima cartografabile con criterio di similitudine (ELIMINATE/AMALGAMATION)*
L'eliminazione dei poligoni al di sotto dell'unità minima cartografabile è stata effettuata con un criterio di affinità (*AMALGAMATION*): in pratica l'unione degli elementi piccoli ai poligoni adiacenti è realizzata in questa prima fase solo se gli elementi sono simili per classe di UDS[4]. Per mantenere questo criterio il processo di eliminazione ha coinvolto separatamente le classi di UDS agricole (classi 2xx) e quelle naturali e seminaturali (classi 3xx). In tale maniera la ridistribuzione dei poligoni piccoli è stata fatta rispetto a una classe di uso simile. Per avere una migliore distribuzione della ripartizione delle aggregazioni il processo di *eliminate* è stato effettuato progressivamente con intervalli di superficie di 2.500m$^2$, a partire da 2.500 fino a 20.000m$^2$.

*f) semplificazione del perimetro dei poligoni (SMOOTHING)*
La successiva operazione svolta riguarda la generalizzazione geometrica propriamente detta, comunemente definita *smoothing*. Il "passo" scelto è 50m in relazione alla scala di uscita finale, grandezza apprezzabile nell'ordine delle geometrie ammorbidite.

*g) costruzione della coerenza geometrica con il confine dell'ambito (IDENTITY)*
In questa fase la copertura UDS generalizzata viene resa coerente con il confine dell'ambito analizzato. È necessaria una successiva eliminazione delle microaree che si creano in questo passaggio.

*h) seconda eliminazione dei poligoni adiacenti inferiori all'unità minima cartografabile inclusi in altri poligoni (ELIMINATE)*
Con questa operazione, svolta sempre secondo *range* di superfici multiple di 2500m$^2$, sono eliminati tutti i poligoni completamente inclusi in UDS non affini. Per evidenti motivi di significatività paesaggistica, sono escluse da questa eliminazione le *patch* di superficie superiore a 1ha, ma inferiori all'unità minima cartografabile, appartenenti alle classi 4xx e 5xx.

*i) controllo topologico*
Il controllo topologico conclusivo è stato effettuato all'interno di un PersonalGeoDataBase ove sono state impostate le regole di non esistenza sia di sovrapposizione che di gaps*: must not overlap, must not have gaps*.

**Verifica dei risultati ottenuti**
Un nuovo calcolo degli indici spaziali della copertura generalizzata permette di valutare l'attendibilità e correttezza della metodologia applicata. Le operazioni finora descritte, anche se in fase di sperimentazione, hanno evidenziato alcune peculiarità. Per esempio il confronto della distribuzione percentuale delle classi UDS tra il dato finale e quello riclassificato non è mai eccessivamente discorde: i valori di variazione sono nella maggior parte dei casi entro ±2%.

[4] Uso del Suolo

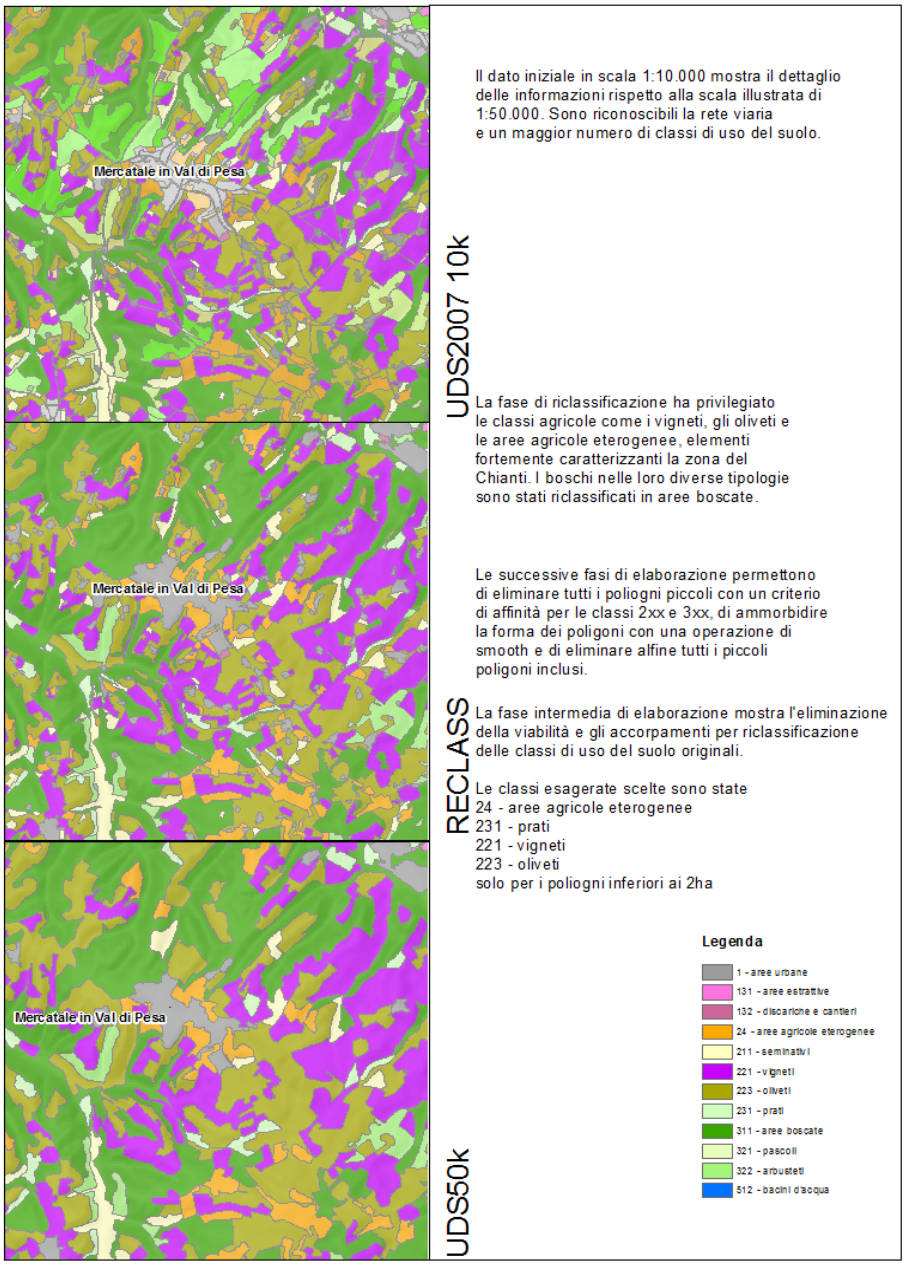



*Figura 3. Fasi principali di generalizzazione sull'ambito "Chianti".*

A titolo di esempio si riporta il grafico relativo all'ambito "Chianti" in cui si può notare che le classi di UDS dalla fase "reclass" alla fase "finale generalizzata" presentano valori di variazione percentuali molto contenute. Le superfici boscate, che rappresentano più della metà della superficie dell'ambito, hanno inoltre subito una variazione molto bassa. Costituisce unica eccezione la classe

edificato (1) che è diminuita di poco più del 2%; questo valore è dovuto al ruolo degli edifici sparsi nel territorio rurale che dopo il secondo *eliminate* sono stati accorpati alle classi agricole che li includevano. A loro volta, tali classi agricole presentano cambiamenti percentuali del tutto accettabili. Infine anche le classi enfatizzate (il cui elenco è riportato in Figura 3) hanno subito variazioni in termini di superficie assai contenute.

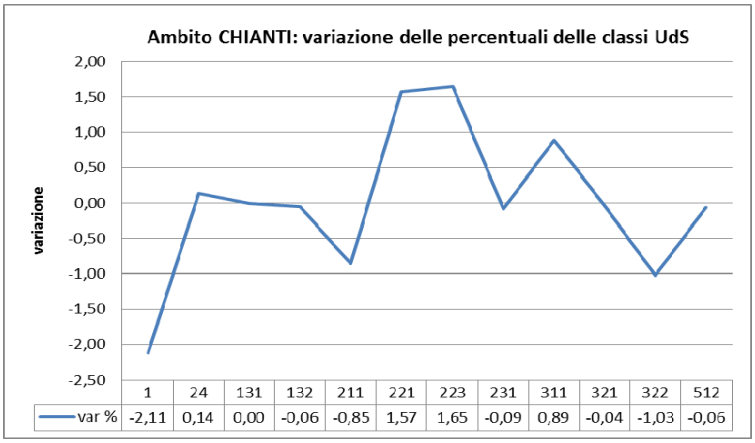



*Figura 4. Variazioni delle percentuali ambito Chianti tra UDS fase reclass e UDS finale generalizzato.*

**Ulteriori direzioni di sperimentazione**

Come più volte dichiarato, il processo presentato è attualmente in fase di perfezionamento. Per valorizzare il lavoro svolto, anche rispetto ad articolazioni territoriali diverse dagli ambiti di paesaggio, è stato concepito il progetto di unione dei dati in un'unica copertura regionale. In questa nuova operazione potrà essere ulteriormente approfondita la valutazione degli indici spaziali, nel tentativo di definire criteri generali, per esempio, nella scelta delle classi da enfatizzare. Un elenco dei possibili approfondimenti potrebbe essere individuato come segue: (i) definizione di una legenda unica e di una copertura omogenea di tutto il territorio regionale; (ii) in tale copertura omogenea, confronto della distribuzione delle classi UDS tra copertura originale e generalizzata; (iii) individuazione delle affinità paesaggistiche di ambiti caratterizzati dalle stesse variazioni delle metriche spaziali nel passaggio tra copertura originale e copertura generalizzata; (iv) verifica della possibilità di definizione di un metodo valido per la generalizzazione di qualsiasi uso del suolo.

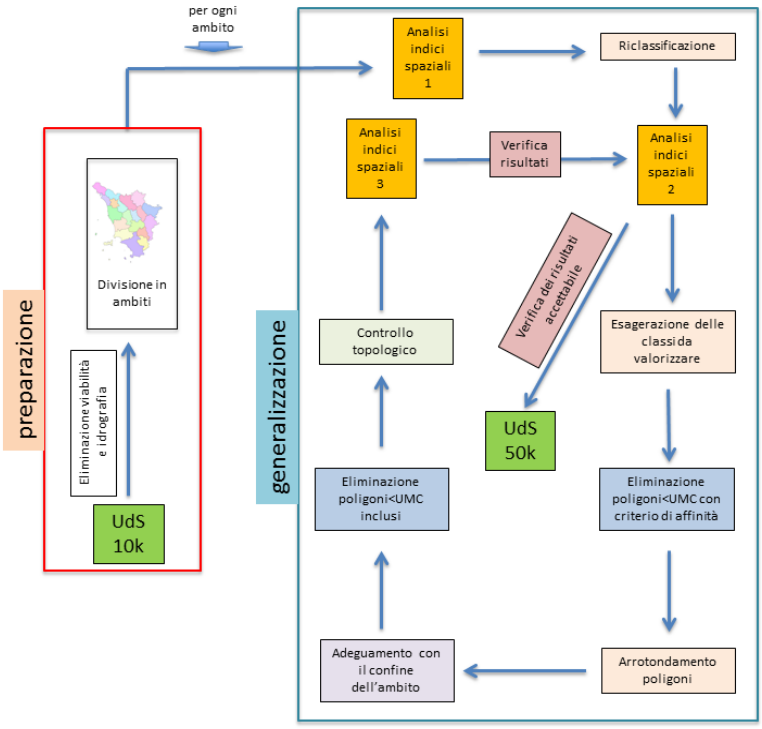



*Figura 5. Schema riassuntivo del processo di generalizzazione.*

**Bibliografia**

Carrao H, Henriques R, Nery F, Caetano M. (2001), *MapGen – Automated Generalisation for Thematic Cartography* - National Centre for Geographic Information (CNIG)

Jaakkola O. (1997), *Automatic iterative generalization for land cover data* – Auto-Carto XIII Proceedings of the Annual Convention and Exposition Technical Papers April 7-10, 1997 – Seattle, Washington

Lee D, Hardy P. (2005), *Automatic generalization – tools and models*, XXII Internation Cartographic Conference (ICC2005)

Liu Y.L, Jiao L.M, Liu Y.F. (2010), *Land use generalization indices based on scale and landscape pattern*, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol 38, Part II

Marchetti M., *Metodologia per una cartografia di uso del suolo multilivello e multiscala: analisi e sperimentazione applicativa* (2002), Centro Interregionale di coordinamento e documentazione per le informazioni territoriali

Rempel, R.S., D. Kaukinen., and A.P. Carr. 2012. *Patch Analyst and Patch Grid*. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario. http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/

Thiemann F, Warneke H, Sester M. and Lipeck U. (2011) *A Scalable Approach for Generalization of Land Cover Data*, Advancing Geoinformation Science for a Changing World, p. 399 - 420, Heidelberg

# Rilievo dinamico tridimensionale di ammassi granulari in movimento con tecniche fotogrammetriche

Paolo Scotton, Daniele Dallavalle

Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze, Via Gradenigo 6, 35131 Padova
e-mail: paolo.scotton@unipd.it, daniele.dallavalle.1@studenti.unipd.it

***Abstract***

*La ricerca sperimentale, svolta presso il Laboratorio di Geologia Applicata del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, indaga la possibilità di descrivere, con tecniche fotogrammetriche, l'evoluzione della superficie di un ammasso granulare in movimento. Lo studio è inserito nell'ambito della attività finalizzata alla comprensione dei fenomeni di movimento di ammassi granulari secchi e bagnati: valanghe di neve densa, valanghe di roccia, colate di detriti. I dati sperimentali ottenibili possono contribuire alla descrizione reologica del materiale e alla taratura di modelli fisico-matematico-numerici in previsione della loro applicazione sul campo (Scotton et al., 2004). L'apparato sperimentale è costituito da una canaletta, 8 videocamere digitali con ottiche a focale fissa e diversa distanza focale, un sistema di illuminazione e un sistema di acquisizione veloce delle immagini. La sincronizzazione del rilievo dei frames dalle videocamere è stata ottenuta mediante un sistema di controllo hardware NI e software appositamente scritto in LabView. La velocità di trasferimento delle immagini è stata ottimizzata utilizzando la tecnologia Raid. L'articolo descrive i dettagli dell'apparato sperimentale realizzato e alcuni risultati ottenuti.*

*The experimental research, carried out at the Laboratory of Applied Geology, Department of Geosciences of the University of Padua, investigates the possibility to describe, with photogrammetric techniques, the evolution of the surface of a moving granular mass. The study is inserted in the research activity aimed at understanding the phenomena of movement of dry and wet granular masses: dense snow avalanches, rock avalanches, debris flows. The obtained experimental data can contribute to the description of the material rheology and to the calibration of physical-mathematical-numerical models in view of their application in the field. The experimental apparatus consists of a support flume, 8 digital cameras with fixed focal length lenses, a lighting system and a system for fast image acquisition. The synchronization of the survey of the frames from the cameras has been obtained by a NI hardware control system and a proper software written in LabView. The velocity of images transfer has been optimized using Raid technology. The paper describes the details of the designed experimental apparatus and some results.*

## Introduzione

La taratura dei modelli fisico-matematico-numerici della evoluzione di ammassi granulari secchi e bagnati, realizzati per la produzione di carte di pericolosità e di rischio di fenomeni naturali come le valanghe di neve bagnata, le valanghe di roccia, le colate di detriti, viene effettuata, per lo più, attraverso la riproduzione in scala di modello degli stessi, basata sulla teoria della similitudine, e il confronto con i risultati ottenuti dalla applicazione del modello numerico. Spesso il confronto viene fatto sulla base della configurazione topografica sperimentale iniziale e finale o rilevando nel tempo alcune sezioni trasversali e longitudinali o, ancora, rilevando parametri dinamici come la velocità o la pressione. Nel caso presente l'obiettivo è la descrizione nel tempo dell'evoluzione topografica della intera superficie esterna dell'ammasso granulare in movimento al fine di fornire dati tridimensionali geometricamente più completi per la taratura dei modelli numerici. Altra esigenza

posta è il contenimento dei costi dell'apparato sperimentale e la possibilità del suo trasferimento sul campo per la riproduzione dei fenomeni reali in siti di monitoraggio. Agli scopi su indicati si è deciso di utilizzare le tecniche fotogrammetriche progettando un apparato sperimentale in grado di risolvere i problemi legati alle dimensioni geometriche del fenomeno (la sua lunghezza e la sua larghezza complessive), alle dimensioni del materiale granulare utilizzato nelle simulazioni e alla necessità di ottenere fotogrammi di buona qualità, adatti alle elaborazioni fotogrammetriche, con una frequenza sufficientemente alta, in modo da descrivere opportunamente la dinamica del fenomeno.

**L'apparato sperimentale**

In laboratorio i fenomeni vengono realizzati facendo scorrere un volume di circa 7 litri di un ammasso granulare, costituito da ghiaia naturale o da materiale granulare plastico, su un supporto costituito da due piani in *forex* liscio a diversa inclinazione incernierati tra di loro. Ogni piano ha forma quadrata e lato di lunghezza pari a 1500 mm.

Il piano di monte è posto a pendenze tipiche della zona di scorrimento dei fenomeni reali (35-60%). Il piano di valle a pendenze tipiche della zona di arresto (5-15%). Possono essere riprodotti scorrimenti su pendio aperto o incanalati mediante l'installazione di una canaletta sul piano di monte (Figura 1).




*Figura 1. L'apparato sperimentale utilizzato nelle prove.*

L'ammasso granulare in movimento viene ripreso da 8 videocamere contemporaneamente. È stato scelto il modello *Basler Ace GigE Ethernet*. Le proprietà fondamentali delle videocamere sono descritte in Figura 2.

| Specification | acA1600-20gm/gc |
|---|---|
| Sensor Size<br>(H x V pixels) | gm: 1628 x 1236<br>gc: 1624 x 1234 |
| Sensor Type | Sony ICX274 AL/AQ<br>Progressive scan CCD<br>Global shutter |
| Optical Size | 1/1.8" |
| Pixel Size | 4.4 µm x 4.4 µm |
| Max. Frame Rate<br>(at full resolution) | 20 fps |

*Figura 2. Proprietà principali della videocamera modello Basler Ace GigE Ethernet utilizzato nelle prove sperimentali (Basler, 2011).*

Sulle telecamere sono state montate ottiche di diversa distanza focale. Due ottiche hanno distanza focale pari a 6 mm, quattro pari a 8 mm e due pari a 12 mm. Le diverse distanze focali sono state scelte per poter adattare la distanza delle videocamere dalla superficie della canaletta.
La qualità del fotogramma è stata ottimizzata lavorando sui parametri intensità dell'illuminazione, apertura del diaframma e tempo di otturazione. Il tempo di otturazione è stato impostato elettronicamente mediante il *driver* della camera. La sua durata è funzione della velocità assunta dalle particelle costituenti l'ammasso (i valori massimi sono dell'ordine di 2 m/s) ed è stata posta pari a 300 μs (Figura 3). Durante questo periodo di tempo la traccia lasciata da un punto in movimento è pari a circa 600 μm, mentre le dimensioni delle particelle costituenti l'ammasso variano tra 2.000 e 10.000 μm.

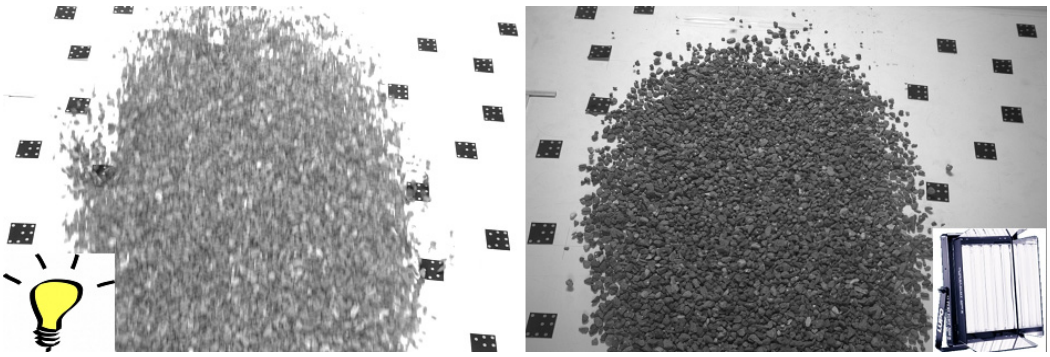


*Figura 3. A sinistra, l'immagine della massa in movimento ottenuta con l'illuminazione ambientale e tempo di esposizione di 0.01 s. A destra, immagine ottenuta con due illuminatori Lupo con un tempo di esposizione pari a 300 μs (0.00003 s) e massima apertura del diaframma. La qualità dell'immagine di destra è visibilmente migliore e rende perfettamente definite le particelle costituenti l'ammasso.*

Il tempo di otturazione indicato è stato ottenuto mediante l'utilizzo di due illuminatori *Lupo Quadrilight* ad alto rendimento e ad alta frequenza, della potenza di 220 Watt ciascuno. Uno dei due illuminatori è fornito di *dimmer* per ottimizzare l'intensità dell'illuminazione nelle diverse zone della canaletta. La frequenza della emissione luminosa è di 48.000 Hz ed assicura una omogenea intensità luminosa anche per i piccoli tempi di otturazione adottati (circa 15 emissioni luminose). La sincronizzazione e contemporaneità dei *frames* provenienti dalle videocamere è stata testata utilizzando un orologio come da Figura 4.
Nella configurazione descritta il diaframma delle videocamere è stato mantenuto quasi completamente aperto. La sincronizzazione dell'istante di presa dei fotogrammi dalle otto videocamere viene ottenuta mediante una scheda NI PCI-6602, che permette di generare un segnale di *trigger*, in differenza di potenziale, che viene inviato contemporaneamente a tutte le camere.
L'intero processo di acquisizione è stato sviluppato in ambiente *Labview*. Le otto telecamere sono connesse con protocollo GigE a 2 schede NI PCIE-8235 (Quad GigE). Il computer che alloggia le schede monta sette dischi fissi gestiti con modalità Raid 0. La capacità di trasmissione e archiviazione dati è di circa 3 Gb/s, assicurando una frequenza di acquisizione di 20 Hz alla massima risoluzione ottenibile dalle camere.

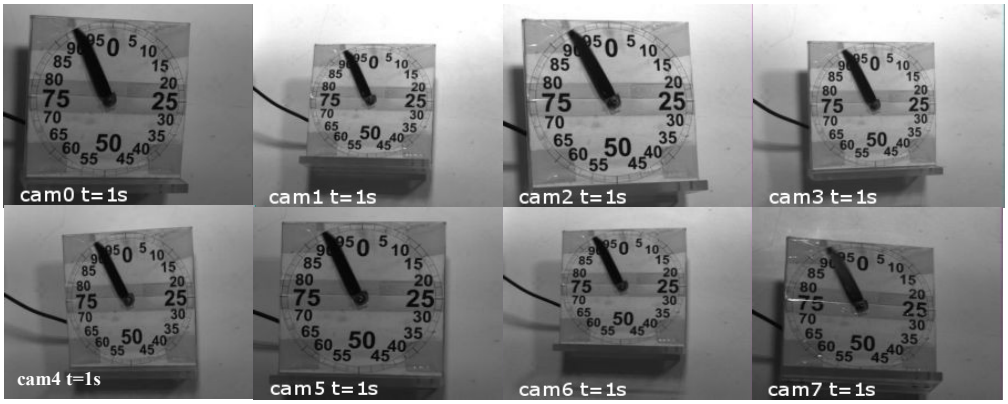



*Figura 4. La sincronizzazione delle otto videocamere è stata verificata mediante la ripresa contemporanea di un contasecondi analogico.*

Ai fini del contenimento dei costi sono state acquisite otto videocamere non metriche. La particolare applicazione effettuata (acquisizione di otto fotogrammi da otto camere diverse allo stesso istante) impone che le proprietà fotogrammetriche delle singole camere e delle ottiche montate vengano definite prima della esecuzione dei test sperimentali.
Per la calibrazione si è ritenuto adeguato l'utilizzo del software fotogrammetrico *Australis*, che mette a disposizione un efficiente tool di autocalibrazione che sfrutta dei target a riconoscimento automatico (*F. Remondino, C. Fraser, 2006)*. Nella Figura 5 è riportato il risultato della calibrazione per i vari accoppiamenti tra videocamere e ottiche. In generale gli accoppiamenti con ottiche ad uguale distanza focale si comportano alla stessa maniera. Gli accoppiamenti con ottiche a distanza focale pari a 6 mm hanno una distorsione radiale molto maggiore delle altre ottiche.

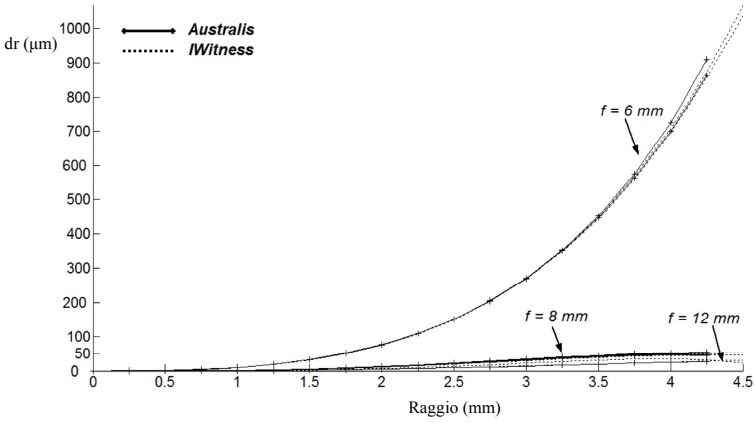



*Figura 5. Distorsione radiale sul sensore CCD per le ottiche con distanza focale da 6 mm, da 8 mm e da 12 mm montate su camere modello Basler Ace GigE Ethernet. Le ottiche con lunghezza focale 6 mm presentano valori della distorsione radiale molto maggiori rispetto alle altre ottiche.*

**Elaborazioni e risultati ottenuti**

Le elaborazioni sono state eseguite con diversi software: *Australis, Iwitness, Leica Photogrammetry* e *Agisoft PhotoScan. Australis* si è mostrato adeguato, oltre che nella calibrazione delle videocamere, nel rilievo del piano di base della canaletta (Figura 6), data anche la possibilità di

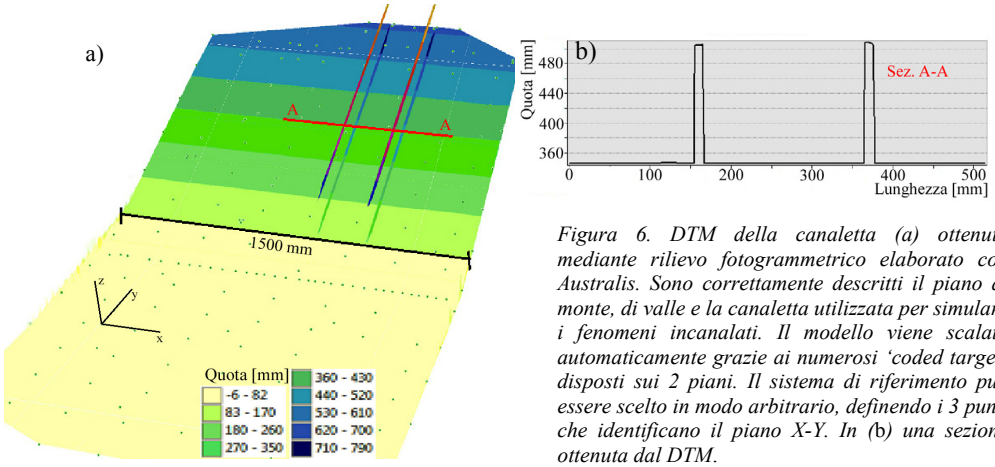



*Figura 6. DTM della canaletta (a) ottenuto mediante rilievo fotogrammetrico elaborato con Australis. Sono correttamente descritti il piano di monte, di valle e la canaletta utilizzata per simulare i fenomeni incanalati. Il modello viene scalato automaticamente grazie ai numerosi 'coded target' disposti sui 2 piani. Il sistema di riferimento può essere scelto in modo arbitrario, definendo i 3 punti che identificano il piano X-Y. In (b) una sezione ottenuta dal DTM.*

eseguire misurazioni semi-automatiche o manuali laddove la misurazione automatica non sia in grado di rilevare punti omologhi nelle diverse immagini. Il software *Agisoft PhotoScan* si è dimostrato più efficace, rispetto agli altri, nell'individuazione della nuvola di punti che descrive il materiale granulare in movimento. La prima fase della applicazione del software *Agisoft* consiste nell'allineamento delle immagini. In questa fase vengono ricercati i punti omologhi e viene stabilita la posizione delle videocamere (orientamento esterno). I parametri di orientamento interno, già determinati, vengono forniti. La fase successiva consiste nella costruzione della geometria del modello tridimensionale (sono disponibili quattro diversi algoritmi). Nell'ultima fase la geometria del modello può essere testurizzata e può essere generata l'immagine ortorettificata dell'oggetto di interesse.

In quanto segue vengono riportate alcune elaborazioni ottenute applicando i metodi descritti al fenomeno sperimentale ottenuto dal rilascio incanalato di 7 litri di ghiaia grossolana. Il piano di monte è stato posto alla pendenza del 56.6% (angolo sull'orizzontale pari a 29.5°), il piano di valle alla pendenza del 13.2% (angolo sull'orizzontale pari a 7.5°). Nella Figura 7 sono mostrate le immagini ottenute dalle 8 videocamere dopo 1.13 s dal rilascio del materiale.

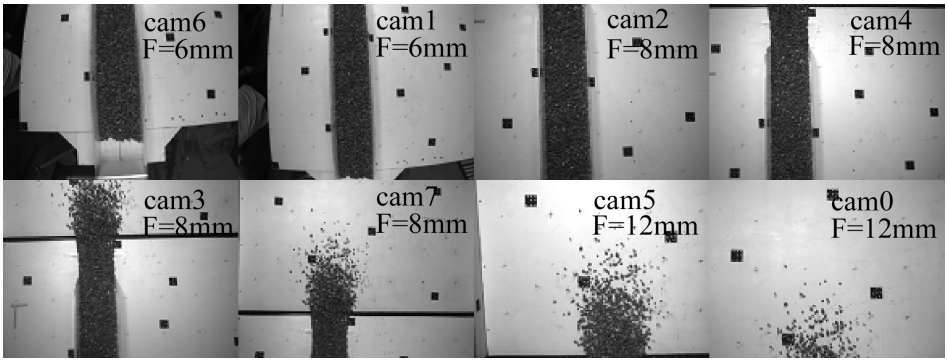



*Figura 7. Le immagini ottenute dalle otto videocamere (Figura 1) dopo 1.13 s dal rilascio di 7 litri di ghiaia grossolana con piano di monte posto alla pendenza del 56.6% e di valle alla pendenza del 13.2%.*

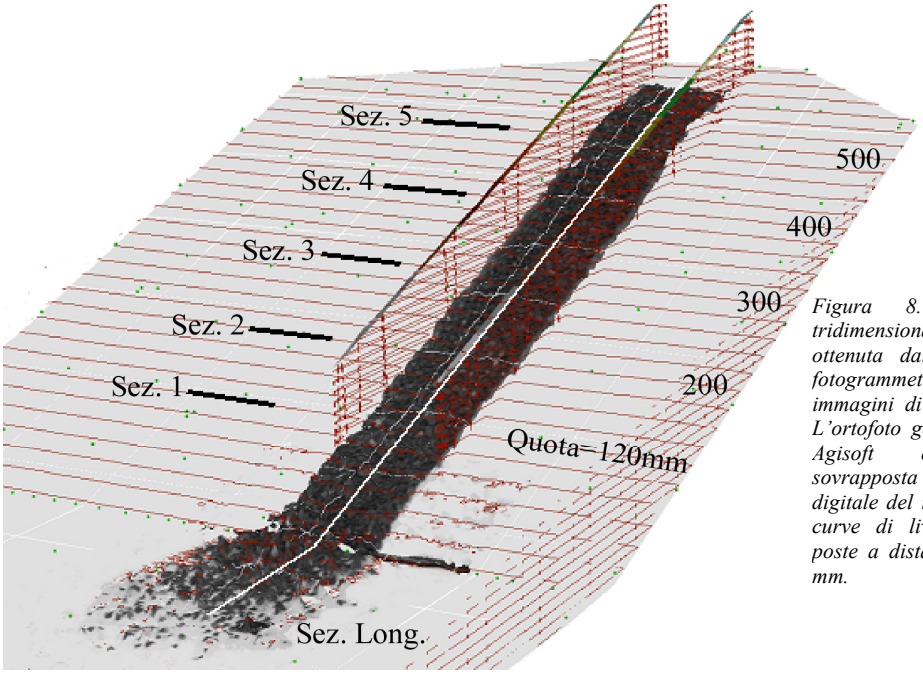



*Figura 8. Visione tridimensionale ottenuta dalla analisi fotogrammetrica delle immagini di Figura 7. L'ortofoto generata da Agisoft è stata sovrapposta al modello digitale del terreno. Le curve di livello sono poste a distanza di 20 mm.*

Le videocamere sono state posizionate in modo da ottimizzare il campo di vista di ciascuna, in funzione della distanza fra il sistema di supporto e i 2 piani. Le videocamere a focale minore sono state collocate nella zona di scorrimento, dove la distanza tra il sistema di supporto e il piano di scorrimento è minore. Il campo di vista è infatti inversamente proporzionale alla distanza focale.
Il modello tridimensionale ottenuto fotogrammetricamente (Figura 8) permette di analizzare la superficie topografica sia trasversalmente che longitudinalmente. Le sezioni di Figura 9 e Figura 10 sono state ricavate con l'ausilio di un software Gis.

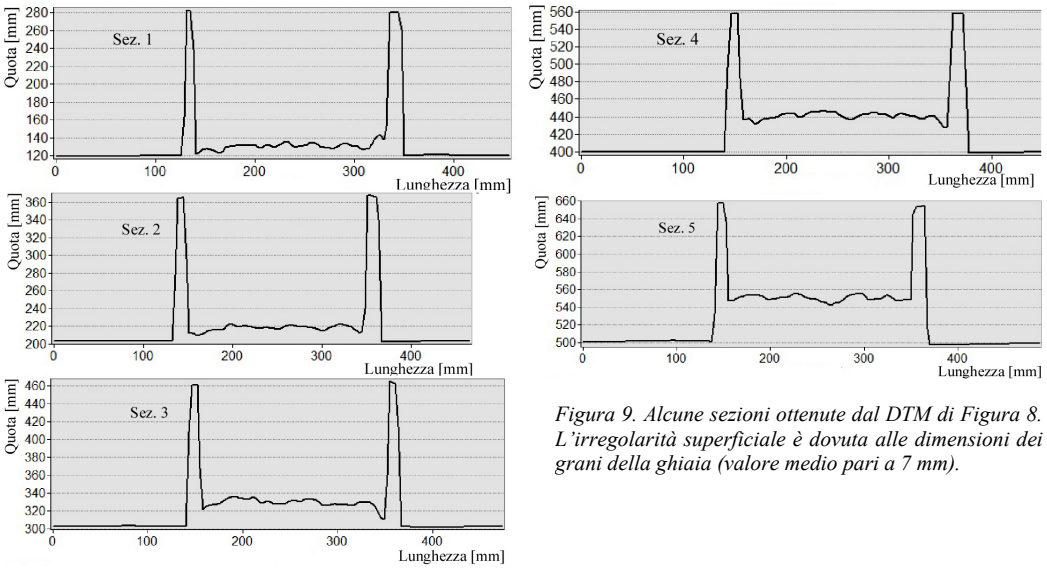



*Figura 9. Alcune sezioni ottenute dal DTM di Figura 8. L'irregolarità superficiale è dovuta alle dimensioni dei grani della ghiaia (valore medio pari a 7 mm).*

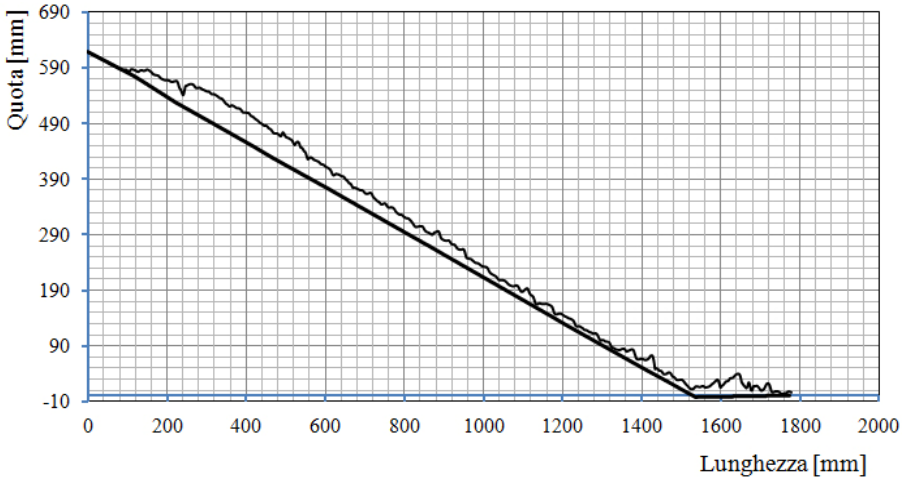



*Figura 10. Sezione longitudinale dei 2 piani dell'apparato sperimentale e del materiale granulare all'istante di Figura 7. Il sistema di riferimento è collocato sul piano di valle con asse z perpendicolare (Figura 6).*

Una stima della precisione del rilievo è stata effettuata confrontando i valori dell'angolo sull'orizzontale dei piani di monte e di valle della canaletta misurati con le tecniche fotogrammetriche, nell'istante di presa delle immagini di Figura 7, e mediante clisimetro.
I valori sono riportati in Figura 11. La qualità della misura deve essere considerata buona, soprattutto considerando l' incertezza insita nella misura diretta con clisimetro.

| ***Inclinazioni*** | *Misure sperimentali* | *Misure software* |
|---|---|---|
| *Piano di monte* | *30°± 0.5°* | *30.3°* |
| *Piano di valle* | *7.5° ± 0.5°* | *7.5°* |

*Figura 11. Confronto tra gli angoli sull'orizzontale del piano di monte e del piano di valle, ottenuti in modo diretto, mediante clisimetro, e con le tecniche fotogrammetriche.*

**Conclusioni**

- L'apparato sperimentale progettato si è dimostrato adatto a fornire fotogrammi di qualità sufficiente per la analisi fotogrammetrica;
- Durante le elaborazioni fotogrammetriche sono stati usati vari software per risolvere, in modo ottimale, i diversi aspetti delle procedure. Il grado di automatizzazione, benché possa ritenersi soddisfacente, non è ancora ottimale, soprattutto in considerazione dell'elevato numero di elaborazioni necessarie;
- I risultati ottenuti dalla analisi fotogrammetrica sono da ritenersi buoni agli scopi della ricerca. Ulteriori conferme della loro qualità sono in programma mediante l'utilizzo di tecniche di rilievo più tradizionali, per esempio mediante rilevatori laser lineari. La capacità dell'apparato sperimentale di descrivere adeguatamente il singolo elemento dell'ammasso granulare fa ritenere di poter spingere la analisi fino alla valutazione della distribuzione granulometrica superficiale dinamica;

**Riferimenti bibliografici**

*S. De Toni, P. Scotton, E. Bertolazzi (2004). Modello matematico e numerico bidimensionale per lo studio delle valanghe di neve densa. Quaderni del Dipartimento IDR2, Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale.*
*F. Remondino, C. Fraser (2006). Digital camera calibration methods: considerations and comparisons. Technical report, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Department of Geomatics, University of Melbourne, Australia.*
*Basler (2011). User's manual for GigE cameras Basler AG. An der Strusbek 60 - 62 22926 Ahrensburg Germany. www.baslerweb.com*

**Ringraziamenti**

La ricerca è stata eseguita nell'ambito del Progetto di Ateneo 2008 dell'Università di Padova dal titolo: *Rilievo topografico tridimensionale di flussi di ammassi granulari in rapido movimento mediante tecniche fotogrammetriche - indagine di laboratorio.*

# Geostatistica per le rinnovabili: vocazione territoriale del Minieolico in Veneto

Alessandro Seravalli

Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Discipline Storiche, Antropologiche e Geografiche
P.zza San Giovanni in Monte n. 2, Bologna, alessandro.seravalli@unibo.it
Presidente Sis-Ter srl, Via Mentana 10, Imola (Bo), +39 0542364030, a.seravalli@sis-ter.it

**Abstract**
I GIS sono strumenti multicriteriali e pertanto rompono le logiche disciplinari e permettono di analizzare e lavorare su dati eterogenei e hanno costituito un supporto utile all'analisi specifica volta a verificare le potenzialità vocative del territorio della regione Veneto relativamente al mini-eolico attraverso un recupero, la bonifica ed l'elaborazione di dati quantitativi di pubblico dominio.

*GIS are multi-criteria tools that breaks the disciplinary logic and allow user to analyze and work on heterogeneous data. GIS systems provide a useful support to specific analysis for verifying potential of Veneto region's territory about small wind turbines vocation. This work defines a methodology for GIS analysis through the recovery, reclamation and processing of quantitative public data for studing territorial energy potential deriving from small wind turbine.*

## 1. Inquadramento e Finalità dello studio

Oltre agli obiettivi della UE sintetizzati nella forma cosiddetta 20,20,20, è sempre più evidente la crescita di un sistema che Rifkin definisce "laterale", avviato da Internet e che vede nello sviluppo delle energie rinnovabili uno dei pilastri fondamentali della cosiddetta *third industrial revolution* (Rifkin, 2011).
L'energia non si può generare, l'energia può solo essere convertita. La capacità di usufruire di energia costituisce e costituirà sempre di più l'elemento di progresso dei paesi in cui questa abbonda e viceversa costituirà elemento di arretramento per i paesi in cui questa risorsa venga a mancare o sia limitata. Le fonti energetiche rinnovabili ci sono, sono date in modalità diverse, in ogni angolo del pianeta e in tal senso costituiscono una risorsa non riconducibile a poteri centralizzati come le risorse energetiche che hanno determinato l'industrializzazione del XX secolo.
Nell'ambito di un più ampio studio per conto del Gruppo Consigliare Veneto *Bortolussi Presidente* in cui sono state analizzate attraverso modelli geostatistici le potenzialità della Green Economy nella Regione del Veneto si inserisce il modello presentato nel presente documento.
Il vento è una fonte energetica pulita ed inesauribile da sempre utilizzata dall'uomo. Anche il vento è una fonte energetica che dipende dal sole e nello specifico è il risultato dell'espansione e del moto convettivo dell'aria derivante dal riscaldamento irregolare del sole. L'energia eolica è l'energia meccanica derivante dallo spostamento di masse d'aria. La turbina costituisce il macchinario che permette di trasformare l'energia cinetica in energia meccanica e successivamente in energia elettrica, almeno dall'epoca moderna visto che nella storia l'esempio dei mulini a vento hanno caratterizzato nel medioevo la movimentazione di macine o di sistemi idraulici e ancora prima il loro utilizzo per la forza meccanica è documentato in Persia e in Cina. Il loro grande sviluppo sarà tra il 1600 e il 1700 in particolare nel centro Europa e nei Paesi Bassi. E' il periodo in cui Cervantes scrive il don Chisciotte "*Ed ecco intanto scoprirsi da trenta o quaranta mulini da vento, che si trovavano in quella campagna; e tosto che don Chisciotte li vide, disse al suo scudiere: «La fortuna*

*va guidando le cose nostre meglio che noi non oseremmo desiderare."* (cap VIII) e ancora prima Rembrandt né fa il soggetto di proprie opere. L'arte e la letteratura da secoli descrivono le pale rotatorie nell'aria e come queste caratterizzino il paesaggio.
Le criticità operative derivanti dal minieolico sono generalmente classificabili nell'ordine della sitologia, delle turbine e dei costi, questi ultimi strettamente correlati alle turbine stesse (Battisti, 2012). La sitologia costituisce un insieme di elementi strategici alla valutazione dell'investimento. Le caratteristiche geografiche e termiche dei luoghi caratterizzano la ventosità degli stessi e l'errore di 1 m/s nell'ambito del minieolico può rendere insostenibile l'intervento stesso. La valutazione del vento in un determinato luogo non può prescindere dalla sua misura sul campo nelle diverse stagioni. Non è obiettivo dello studio fornire una risposta puntuale sulla convenienza di una installazione in un luogo rispetto ad un altro: il minieolico, soprattutto in ambito urbano, necessità di una modellazione delle interferenze derivanti da vegetazione o fabbricati. La finalità del presente studio è invece comprendere e classificare i territori che potenzialmente hanno maggiore vocazione rispetto ad altri e quindi identificare a livello territoriale azioni e programmazioni specifiche di sviluppo.

## 2. Il GIS nell'ambito del progetto

I GIS sono strumenti multicriteriali e pertanto rompono le logiche disciplinari (Farinelli, 2010) e permettono di analizzare e lavorare su dati eterogenei costituendo un supporto utile alle analisi specifiche di comprensione del territorio. La geostatistica e la GIS Analysis sono strumenti, procedure e metodi che permettono la correlazione e lo studio di fenomeni partendo da dati geografici (Seravalli, 2011). DeMers, introducendo l'analisi spaziale dei GIS, afferma come questa costituisca il "*cuore del GIS*"(DeMers, 2003). In questo senso risulta evidente l'interdisciplinarietà dell'utilizzo del GIS dove geografia, matematica, rappresentazione, sono discipline che concorrono insieme a comprendere un luogo.
Il presente studio è specificatamente volto a verificare le potenzialità vocative del territorio della regione Veneto relativamente al mini-eolico attraverso un recupero, bonifica ed elaborazione di dati quantitativi di pubblico dominio. L'analisi geo-quantitativa ha cercato di interpolare i dati al fine di distribuire e mappare il fenomeno dei venti medi analizzato. Grazie all'utilizzo di modelli di interpolazione, basati sul principio definito negli anni'70 dal geografo americano Tobler che in un insieme di punti discreti, i punti vicini hanno caratteristiche più simili ai punti lontani, i valori interpolati di un'area di influenza sono stati calcolati in base alla media pesata data dai valori noti. A seguito delle elaborazioni sono state individuate e classificate le parti del territorio caratterizzate da una distribuzione dei venti di intensità potenzialmente utile al minieolico.

## 3. L'analisi sul Veneto

Sul territorio italiano sono presenti diverse centraline di monitoraggio predisposte per finalità diverse, prevalentemente legate al monitoraggio della qualità dell'aria. Il dato acquisito ha però innumerevoli potenziali utilizzi legati non solo all'ambiente ma anche alla salute, alla mobilità, ecc. Tra i dati acquisiti e registrati in Veneto dall'ARPAV sono presenti anche informazioni sulla ventosità. Indipendentemente dalla qualità del dato suscettibile di deformazioni derivanti ad esempio alla manutenzione e alla periodica calibratura dell'anemometro di rilevazione, costituisce un dato di fatto la disponibilità distribuita di questo tipo di informazione e quindi il suo potenziale utilizzo per analisi vocative di programmazione energetica del territorio.
Nel caso specifico della Regione Veneto, oltre alle centraline di rilevazione della qualità dell'aria, sono state acquisite e georeferenziate anche le stazioni ARPAV_CMT con anemometro a 10 m. di altezza. Sul territorio della regione Veneto sono presenti e classificate 15 stazioni meteorologiche che posseggono queste caratteristiche a 10 m sul piano di campagna. L'insieme di queste stazioni costituisce un *dataset* informativo che copre in maniera sufficientemente capillare l'intero territorio regionale.

L'analisi in oggetto ha preso in considerazione le informazioni relative ai venti di ogni singola stazione negli ultimi 8 anni disponibili (dal 2004) facendo una comparazione fra i diversi venti medi al fine di evidenziare eventuali variazioni nel tempo. Insieme ai dati storici, sono stati acquisiti i dati nel periodo compreso fra il 26 agosto 2011 e il 24 ottobre 2011 dal sito http://www.arpa.veneto.it/datirete.htm e su questi sono state calcolate le relative medie. A questi dati sono stati aggiunte le medie degli anni 2004 e 2008 desunte dai dati annuali riportati sul sito della stessa Regione (http://www.regione.veneto.it/channels).
Da un punto di vista del ritorno dell'investimento, l'adozione del minieolico è sostenibile in siti che hanno una velocità media annua non inferiore a 4,0 - 4,5 m/s. Altresì nell'ambito del presente studio, è stata impostata l'ipotesi di non prendere in considerazione eventuali velocità di vento maggiori di 15 m/s che possono portare al blocco le eventuali turbine.
Attraverso i punti quotati 3D estratti dal sito della Regione del Veneto è stato elaborato, per interpolazione, il modello digitale del terreno per l'intero territorio regionale sui quali sono stati georiferiti i punti georeferenziati delle centraline.
Successivamente si è proceduto allo studio delle raffiche attraverso analisi spaziali e interpolazioni, in particolare è stato utilizzato il metodo della "Natural Kriging" in ambiente ArcGIS, studiato con più variabili ma che non ha evidenziato risultati utili. Il metodo di interpolazione del "Natural Neighbour" sempre in ambiente ArcGIS, ha evidenziato le zone dove l'intensità della raffica era omogenea e attraverso elaborazioni basate sulla densità dei punti e dei relativi valori, è stato possibile rappresentare e definire le aree con valori alti nelle zone dove ci sono maggiori raffiche di vento. In considerazione che alcune centraline hanno punti di monitoraggio a quote elevate, anche oltre i 1600 m.s.l.m. , per le finalità del modello e per un'analisi più cautelativa si è proceduto a ridurre il dominio di analisi a quote sotto i 1.000 m. s.l.m.
Il metodo di interpolazione spaziale denominato Natural Neighbour sviluppato da Robin Sibson ad inizio degli anni'80 si basa sul modello matematico dei diagrammi di Voronoi, ovvero dei poligoni di Thiessen che genera poligoni di influenza al cui interno il valore interpolato rimane pressoché costante o più comunemente dei vicini e lontani. Con il Natural Neighbour, i valori interpolati di un'area di influenza vengono calcolati in base alla media pesata data dai valori noti. Più è fitta la griglia dei punti, maggiore sarà la precisione ottenuta.
Come precedentemente indicato, sono state fatte nuove analisi escludendo tutte le centraline sopra i 1000 m.s.l.m. La centralina più vicino a questa quota è risultata quella in località di Asiago (VI), che si trova a 1010 m.s.l.m., in tal senso sono state fatte le opportune elaborazioni e unioni di dati, dividendo le stazioni anche in base alla raffica presente a 2 m/s, 5 m/s e 10 m/s.
Sono state rifatte tutte le analisi eseguite in precedenza, ed è risultato che solo una piccola parte delle Alpi venete è coperta da raffiche di vento, in prevalenza da quelle a 5 m/s.
Come detto in precedenza, per avere una buona efficienza in kW i venti del minieolico devono avere una velocità non inferiore a 4 m/s e non superiore a 6 m/s. L'analisi del minieolico è stata fatta con le raffiche di vento a 5 m/s. Con l'analisi Natural Neighbour è stato studiato il territorio dove questa raffica viene rilevata dalle centraline. Il colore più scuro indica le zone con valori alti.
Favaro veneto (VE) è la zona dove la raffica di vento a 5 m/s è maggiore rispetto a tutte le altre. Altre località con alti valori sono San Bortolo (VI), Crespadoro (VI), Vangadizza (VR) e Quero (BL). Queste risultano quindi essere le zone migliori per le possibili installazioni per produrre energia elettrica con il minieolico.
L'analisi prodotta sulla base dei dati di tutte le centraline del Veneto, evidenzia due corridoi di interesse, uno ovest-est da Dolcè (VR) a Lugugnana di Portogruaro (VE), mentre l'altro corridoio inizia a sud da Pellizzare di Bagnolo di Po' (RO), prosegue in direzione est fino a Venezia (VE), e si sposta in direzione nord fino alla stazione di Monte Cesen (TV). Sulla zona lagunare e sulle alpi si trovano zone con forte raffiche di vento.
A seguito di queste analisi è stata elaborata una carta nella quale sono stati definiti degli intervalli di visualizzazione dei venti medi in maniera da individuare le potenziali aree di interesse legate al micro e mini eolico, con venti medi che spaziano da un intervallo inferiore di 3,5 m/s a 6 m/s.

Questa elaborazione è stata poi sovrapposta e georeferenziata con la carta dei limiti amministrativi Comunali.

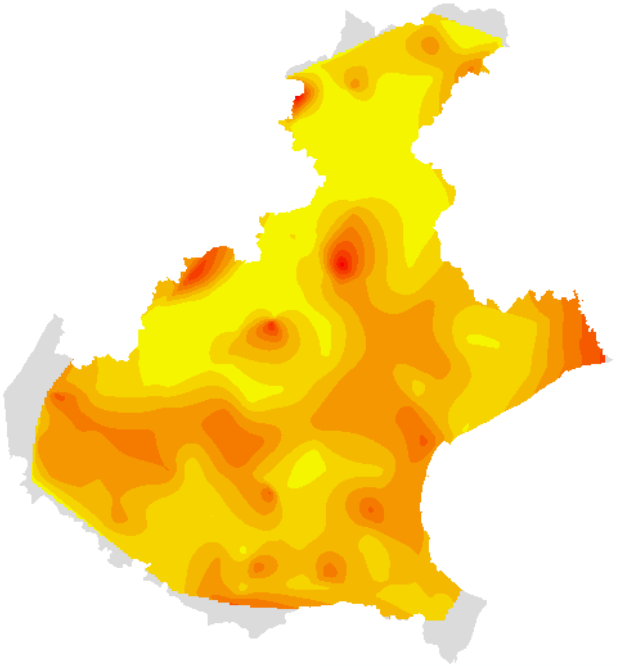


*Figura 1. Analisi spaziale Natural Neighbour con tutte le centraline.*

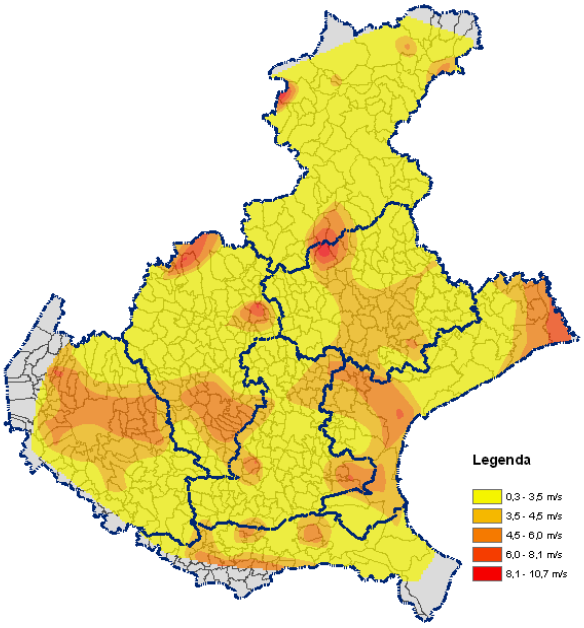



*Figura 2. Carta del potenziale mini-eolico nella regione del Veneto.*

Si segnalano la direttrice da Est-Ovest da Venezia a Verona e, con intensità minore da Venezia a Treviso. Il vento, secondo la scala di Beaufort, senza considerare le raffiche nell'elaborazione del modello, individua un vento di brezza e brezza vivace. Secondo i parametri indicati da Enel Green Power, l'intensità di vento è per impianti di piccola taglia con applicazioni per abitazioni, strutture commerciali e piccole e medie imprese. La potenza di un impianto di questo tipo porta a potenze elettriche da 1 a 6 KW.

**4. Conclusioni e sviluppi**

Il modello costituisce un tentativo di elaborare una valutazione sulla predisposizione del territorio al mini-eolico. Non basandosi su misurazioni sul campo ad hoc non intende essere esaustivo per una progettazione esecutiva quanto un supporto e strumento decisionale per la programmazione energetica regionale. Il modello potrà essere affinato anche per scale di dettaglio maggiori tenendo in considerazione ulteriori elementi conoscitivi legati principalmente alla conformazione dei sistemi urbani e alle diverse interferenze che queste possono portare nell'ambito dell'elaborazione. Riteniamo che sicuramente il modella possa e debba essere affinato, tuttavia lo riteniamo di interesse verso un mondo, quello del mini-eolico, ancora visto in sordina e per il quale non esiste un atlante completo come quello elaborato dal CISE per l'eolico. Altresì si ritiene estremamente importante, visto l'onere di campagne di rilevazione, le potenzialità che le diverse centrali e sensori di monitoraggio presenti sul territorio possono offrire ad analisi quali ad esempio quella in questa occasione presentata. In considerazione di questo si evidenzia la prospettiva dell'evoluzione del modello che tenga conto, a seguito di opportuni accordi di interscambio dei dati, della possibile fruibilità dinamica dei dati da essi derivanti e l'aggiornamento sistematico e periodico del sistema.

**Riferimenti bibliografici**

DeMers M.N, (2003), GIS, Fundamentals of Geographic Information Systems, Wiley and Sons
Rifkin J, (2011), "La terza rivoluzione industriale", Mondadori
Seravalli A, (2011), "GIS, teoria e applicazioni", Mandragora
Battisti L, (2012), "Il minieolico: quando e come applicarlo per ottenere i migliori risultati" 8° Lezione on line KyotoClub, 16 maggio
Sito regione Veneto: http://www.regione.veneto.it/channels
Sito Arpav: http://www.arpa.veneto.it/datirete.htm
Farinelli F, (2010), video intervista blog "Tanto"

# Simulazione e sistemi idroinformatici per la gestione della risorsa idrica

Claudio Schifani (*), Iacopo Borsi (**), Rudy Rossetto (***)

(*) ISTI-CNR, via Moruzzi 1, cla.schifani@gmail.com
(**) Università degli Studi di Firenze, Viale Morgagni 67/a, borsi@math.unifi.it
(***) Scuola Superiore Sant'Anna, via Santa Cecilia 3, rudy.rossetto@sssup.it

## Introduzione

A partire dagli anni '90 l'informazione geografica applicata alla gestione delle risorse idriche è stata ampiamente trattata in letteratura. Ricercatori di diversi paesi (Newell *et al.*, 1990; Gogu *et al.*, 2001; Karanjac, J. and Stanojkovic, S., 2003, Strassberg *et al.*, 2005; de Dreuzy *et al.*, 2006) hanno concentrato i loro sforzi verso la creazione di strumenti in grado di permettere una gestione dei dati necessari alla caratterizzazione idrologica. Tali strumenti devono consentire la rappresentazione spaziale dei principali parametri idrodinamici del sistema idrologico, la caratterizzazione in termini di qualità e quantità della risorsa idrica e le variazioni di tali caratteristiche nel tempo.
In questo scenario si colloca il progetto di ricerca SID&GRID (Simulazione e sistemi IDroinformatici per la Gestione delle Risorse Idriche, 2012)), il cui obiettivo principale è di progettare e sviluppare un *framework open source* per l'integrazione del mondo GIS con la modellistica idrologica ed idrogeologica, per la pianificazione e gestione condivisa degli usi della ricorsa idrica da parte di Enti pubblici e società preposte a tale ruolo.

## Architettura GIS di SID&GRID

Lo studio dell'architettura di SID&GRID si è basato su un obiettivo ritenuto centrale nel progetto, ovvero disporre di uno strumento che per sua natura sia idoneo e potenzialmente integrabile con il mondo della modellistica numerica idrologica. Ad oggi gran parte dei *software* ed interfacce per modelli numerici sia proprietari che *open source*, prevedono la fase di preparazione dei dati geografici in un ambiente GIS esterno a quello di modellazione. Tali dati sono successivamente importati nel modello tramite specifiche interfacce grafiche. In ambienti proprietari sono stati sviluppati alcuni strumenti e *software* in grado di interfacciarsi con i più diffusi codici di modellistica idrologica (Crestaz et al., 2012). SID&GRID pone come primo obiettivo quello di integrare GIS e modellistica numerica in un sistema aperto e basato su strumenti GIS *open source*.
Inoltre, la disponibilità di strumenti, la cui diffusione è oggi essenzialmente limitata dal costo delle licenze, e l'integrazione e la possibilità di sviluppare sessioni di modellistica in ambiente GIS amplierebbe l'attuale uso e diffusione della modellistica numerica. Ciò potrebbe indurre ad una reale integrazione di tale metodologia nei processi di pianificazione del territorio anche nella fase di implementazione e redazione del Sistema Informativo Territoriale.
Per tali ragioni SID&GRID è definibile come uno sistema basato sull'integrazione di più componenti tecnologiche ed informatiche al fine di supportare l'utente dalla fase di implementazione fino all'esecuzione e verifica dei risultati del modello idrologico. Per soddisfare tale requisito, sono stati individuati tre elementi principali dell'architettura:

- un *data base management system* con estensione geografica;
- un *software* GIS
- un codice numerico idrologico per la simulazione del ciclo delle acque superficiali e sotterranee.

Il software GIS utilizzato come base di partenza è gvSIG[1] sviluppato in linguaggio Java associato alla libreria di geoalgoritmi di Sextante GIS[2]. Per la componente DBMS si è scelta la soluzione PostgreSQL con estensione spaziale PostGis[3]1.5. Di contro per la parte modellistica si è scelto di utilizzare il modello idrogeologico MODFLOW-LGR (Mehl and Hill 2005) accoppiandolo con VSF-3D per la parte insatura (Thoms et al., 2006) unitamente a codici idrologici sviluppati ad hoc.
SID&GRID può essere considerato come un'estensione avanzata di gvSIG per il trattamento di informazioni geometriche e alfanumeriche a supporto dell'implementazione di un modello idrologico (v. figura 1). L'approccio modulare ha consentito di non alterare la struttura di gvSIG, ma di adattarsi alla stessa tramite specifiche librerie progettate e sviluppate ad hoc per il raggiungimento dell'obiettivo fissato dal progetto.

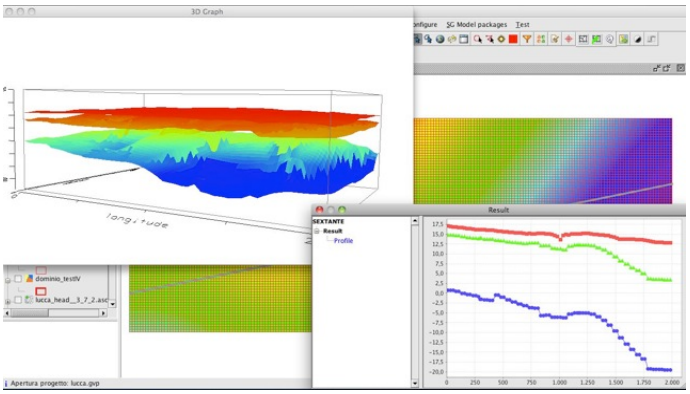



*Figura 1. Interfaccia di visualizzazione 3D del modello.*

L'estensione *software* di SID&GRID in gvSIG consente, dunque, l'elaborazione, verifica, implementazione ed esecuzione di modelli idrologici con un principio di modularità sia a livello di sviluppo che a livello procedurale.
Il primo livello di sviluppo si dimostra, ad esempio, nella possibilità di integrare nuovo codice (Java) per l'implementazione di ulteriori processi da simulare e che non siano attualmente presenti nella presente versione del s*oftware*. Il livello procedurale si esprime nella possibilità di implementare modelli idrologici via via più complessi senza necessariamente creare nuovi progetti o sessioni di lavoro. La struttura dell'estensione SID&GRID per gvSIG è caratterizzata da tre blocchi principali, ciascuno sviluppato per rispondere a precisi requisiti procedurali ma, contemporaneamente, connessi tra di loro durante la fase di modellazione:

- la gestione diretta del data base per ciascun modello implementato nel sistema;
- la creazione e costruzione degli strati informativi e dei relativi parametri idrologici necessari per eseguire il modello;
- strumenti di traduzione delle informazioni geografiche in parametri e dati di input per il solutore numerico del modello idrologico.

**La gestione dati nel DBMS**
gvSIG integra appositi *driver* per la connessione e gestione delle informazioni geometriche ed alfanumeriche con i principali data base *open source*. SID&GRID ha sfruttato tale capacità di base integrandola con specifici strumenti, progettati e sviluppati per rispondere alle particolari

[1] *gvSIG è un software GIS open source nato nel 2004. Maggiori informazioni nel sito: http://www.gvsig.org/web/*
[2] *Sextante GIS è una libreria di analisi di dati spaziali e un framework di geoalgoritmi open source. www.sextantegis.com*
[3] *PostGIS è l'estensione spaziale per il data base management system Postgresql. http://postgis.refractions.net/*

caratteristiche dello schema fisico dei dati e dei parametri per il modello idrologico. Ciò si è reso necessario in seguito alla progettazione logica e fisica del data base di supporto per il modello numerico e, contemporaneamente, ha reso possibile la gestione diretta, tramite apposite interfacce, dei parametri temporali, idrodinamici, etc. La costruzione di un modello idrologico in SID&GRID prevede la preventiva creazione di un data base di appoggio, la cui struttura fisica è definita di *default* a livello di *script* SQL. Ciò consente e facilita l'utente nella creazione del data base senza dovere intervenire manualmente, evitando disallineamenti tra la composizione del modello e il data base di supporto per l'archiviazione dei parametri ad esso collegati.
In particolare, la creazione del data base prevede una struttura di base definita da due tabelle iniziali:

- una tabella per l'archiviazione degli intervalli temporali di simulazione (*stress period)*;
- una tabella per l'archiviazione delle caratteristiche idrodinamiche di ciascun *layer* del modello;

Tale schema costituisce la base elementare per la definizione di un modello idrologico in SID&GRID e può essere ulteriormente implementato nella fase di *pre-processing* attraverso strumenti per la definizione delle caratteristiche geometriche del modello stesso. Ad esempio la costruzione del primo *layer* comporterà l'implementazione di una tabella (v. figura 2) contenente tutte le caratteristiche geometriche e fisiche del *layer* stesso.

| | gid [PK] serial | ID integer | ROW integer | COL integer | BORDER integer | ACTIVE integer | TOP double precis | BOTTOM double precis | STRT double precis | KX double precis | KY double precis | KZ double precis | SS double precis | SY double |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 154 | 154 | 153 | 1 | 154 | 1 | 1 | 44.6811485 | 43.096 | 1 | 0.0864 | 0.0864 | 0.0864 | 1 | 1 |
| 155 | 155 | 154 | 1 | 155 | 1 | 1 | 40.3071823 | 38.498 | 1 | 0.0864 | 0.0864 | 0.0864 | 1 | 1 |
| 156 | 156 | 155 | 1 | 156 | 1 | 1 | 37.2475280 | 33.921 | 1 | 0.0864 | 0.0864 | 0.0864 | 1 | 1 |
| 157 | 157 | 156 | 1 | 157 | 1 | 1 | 34.8925857 | 34.354 | 1 | 432 | 432 | 432 | 1 | 1 |
| 158 | 158 | 157 | 1 | 158 | 1 | 1 | 41.4352989 | 38.088 | 1 | 432 | 432 | 432 | 1 | 1 |
| 159 | 159 | 158 | 1 | 159 | 1 | 1 | 39.4814109 | 39.211 | 1 | 0.0864 | 0.0864 | 0.0864 | 1 | 1 |
| 160 | 160 | 159 | 1 | 160 | 1 | 1 | 40.6080703 | 39.168 | 1 | 0.0864 | 0.0864 | 0.0864 | 1 | 1 |
| 161 | 161 | 160 | 1 | 161 | 1 | 1 | 41.2745437 | 39.26 | 1 | 0.0864 | 0.0864 | 0.0864 | 1 | 1 |
| 162 | 162 | 161 | 1 | 162 | 1 | 1 | 43.3630447 | 40.195 | 1 | 0.0864 | 0.0864 | 0.0864 | 1 | 1 |
| 163 | 163 | 162 | 1 | 163 | 1 | 1 | 46.6392402 | 42.688 | 1 | 0.0864 | 0.0864 | 0.0864 | 1 | 1 |
| 164 | 164 | 163 | 1 | 164 | 1 | 1 | 47.5011863 | 45.798 | 1 | 0.0864 | 0.0864 | 0.0864 | 1 | 1 |

*Figura 2. Esempio di schema dati per il layer superficiale.*

Il *data base*, così come l'intera architettura di SID&GRID, è stato progettato in una visione modulare della sessione di lavoro, prevedendo la creazione di una nuova tabella soltanto a conclusione della fase di implementazione di uno specifico processo che l'utente intende simulare nel proprio modello. Gli strumenti integrati in SID&GRID, oltre ad interfacciarsi in maniera specifica con il data base del modello, consentono anche di eseguire inserimenti nella struttura dati a partire dai dati contenuti in fogli elettronici esterni come, ad esempio, per il calcolo delle condizioni al contorno relative agli *stress period* della simulazione.

**L'ambiente di modellazione in SID&GRID**

L'integrazione tra GIS e modellistica numerica proposta in SID&GRID ha consentito di non alterare l'architettura *software* di gvSIG e di mantenere il linguaggio di programmazione FORTRAN per il codice idrologico. Ciò ha reso necessaria la progettazione e scrittura di appositi "interpreti" scritti come algoritmi nel *framework* di Sextante ed in grado di tradurre ciascun *Data Model Object* nel rispettivo o rispettivi *files* di input del modello numerico.
Tale approccio ha consentito di strutturare l'ambiente GIS come un pannello di controllo del modello idrologico. Questa strategia ha richiesto non soltanto la scrittura di algoritmi traduttori in ambiente GIS, ma anche l'integrazione di un ulteriore *file* di parametrizzazione del modello che ne costituisce la meta informazione geografica. Attraverso questo *file*, SID&GRID è in grado di convertire le coordinate *i j* usate dal solutore numerico in coordinate x e y geografiche secondo il proprio *Spatial Reference System*. Il *file* è facilmente individuabile nella *directory* di lavoro grazie all'estensione ".geo" ed è modificabile, come tutti gli altri *files* di input del modello, attraverso un qualunque editor di testo. In particolare il file ".geo" contiene le seguenti informazioni:

- Numero di righe e di colonne del modello idrologico;
- Dimensione della cella;
- Coordinate geografiche x e y del centroide della cella posta in alto a destra (NW);
- Valore di *no data*.

Ciascun algoritmo di traduzione dispone di una propria interfaccia grafica e restituisce un *file* di input relativo al processo idrologico che l'utente intende simulare. Al fine di guidare l'utente nella scrittura dei *files* di input, i traduttori sono stati aggregati in "necessari" e "prioritari" in funzione del ruolo che essi ricoprono nel processo di simulazione. A titolo esemplicativo si cita il *file* ".dis", contenente le informazioni geometriche e temporali della simulazione, come necessario ed il *file* ".wel", contenente la parametrizzazione spaziale e temporale dei pozzi, come input prioritario dal punto di vista modellistico.

Svolgere interamente una sessione di modellistica all'interno di un ambiente GIS pone problemi anche di carattere semantico. Ciò si verifica in modo esplicito con l'uso del termine *layer* e con i significati che esso assume in modellistica ed in ambiente GIS. Tale problema di solito non è stato affrontato poiché non si pone con le attuali soluzioni informatiche a disposizione del modellista che articola il proprio lavoro in una sessione GIS, in cui prepara i dati di input, ed in una sessione di modellistica con specifiche interfacce grafiche dei modelli idrologici. Questa procedura non pone problemi semantici poiché gli ambienti di lavoro sono ben distinti nell'uso e nel tempo.

Avviare ed eseguire una sessione di modellistica in ambiente GIS, senza cambiare ambiente di lavoro come previsto da SID&GRID, richiede una revisione di linguaggio e, per essere più incisivi, la definizione di un proprio glossario. In SID&GRID si distinguono tre principali tipologie di strati informativi, tutti caratterizzati dal possedere un elemento in comune, la geografia:

- *Layer GIS*, ovvero tutti gli strati informativi di base provenienti da data base esterni a SID&GRID (es. grafo fluviale, urbanizzato, etc..);
- *Model layer*, ovvero gli strati informativi riferiti ai layer discretizzati del modello numerico idrologico (es. top model layer);
- *Model data object*, ovvero gli strati informativi riferiti ai dati necessari per la simulazione dei processi idrologici e provenienti dal data base di SID&GRID.

Definita la struttura semantica che accompagna il modulo di SID&GRID nella sua interfaccia e nella documentazione tecnica, è possibile descriverne la struttura fisica a livello di interfaccia GIS.

gvSIG, similmente alla nota versione 3.x di ArcView di ESRI®, definisce la sua struttura in tre livelli: viste geografiche, tabelle alfanumeriche e *layout* di stampa. SID&GRID ha ampliato tale struttura di base con un ulteriore elemento che prende il nome di "Modello". Il modello è, dunque, un vero e proprio "oggetto" dell'ambiente GIS e ne caratterizza la sessione di lavoro alla pari delle viste geografiche (*View*) e come tale è caratterizzato da una serie di proprietà:

- *directory* di lavoro in cui saranno archiviati tutti i dati di input per il solutore del modello numerico;
- elenco dei *Model layer* che definiscono la geometria del modello;
- definizione delle unità spaziali e temporali del modello;
- definizione della durata della simulazione (numero di *stress period*).

Alla creazione di un nuovo "oggetto modello" segue la creazione di una nuova mappa per le operazioni di processamento e visualizzazione dei dati.

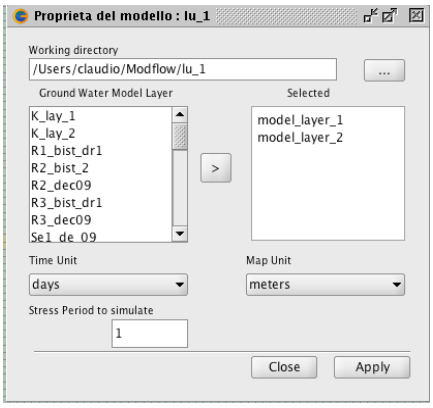



*Figura 3. Interfaccia per la gestione delle proprietà del modello.*

Al modello, oltre alle proprietà (v. figura 3) , è associata un'ulteriore interfaccia operativa per la gestione dei processi idrologici da simulare in relazione ai dati di input presenti nella *directory* di lavoro. Ciò vuol dire che l'utente avrà a disposizione ciascun "processo" di cui abbia preventivamente elaborato il relativo *file* di input.
Come si nota in figura 4, l'interfaccia del modello consente all'utente di impostare anche il lettore per il *report* testuale, l'eseguibile del solutore del modello numerico e la finestra del terminale in cui verificare lo stato di processamento dei dati. Il sistema è stato studiato per essere eseguito direttamente dall'ambiente GIS senza l'ausilio di altre applicazioni esterne ed è totalmente *platform indipendent* in quanto effettua il *check* sul sistema operativo prima di eseguire il solutore del modello numerico.

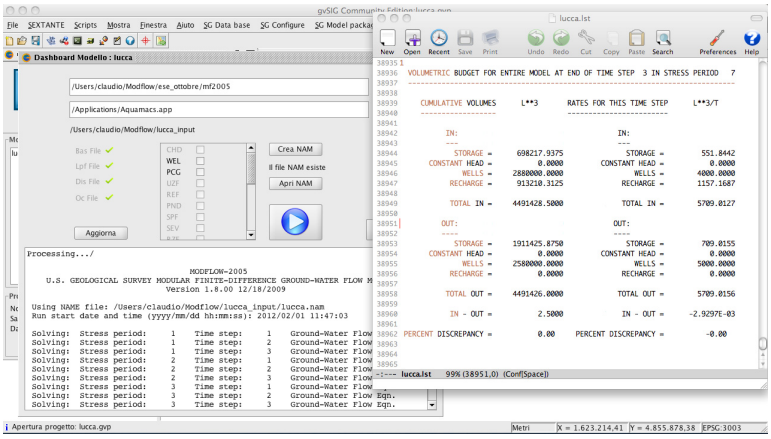



*Figura 4. Interfaccia di controllo del modello, dei processi simulati e degli output testuali.*

**Il processamento dei dati geografici**
Per chiarire la procedura di implementazione di un processo idrologico e la sua simulazione è utile descrivere un caso pratico in cui l'utente, dalla costruzione della geometria del modello e

implementazione dei parametri idrodinamici passa alla definizione di un campo pozzi i cui prelievi da falda intende simulare nel suo modello.
Il primo passo consiste nell'importare nella vista di lavoro geografica il *dataset* dei pozzi in uno dei seguenti formati supportati da SID&GRID: *shape file* ESRI, *dxf*, *gml*, *kml* oltre ai principali database geografici tra cui PostGIS e Oracle Spatial. Il *dataset* dei pozzi sarà disponibile per la fase di normalizzazione in relazione alle caratteristiche spaziali e temporali del modello idrologico.
SID&GRID mette a disposizione dell'utente una serie di strumenti disposti in una specifica *toolbar* così articolata:

- *SG DataBase,* contenente gli strumenti per la gestione dei *data base* relativi a ciascun modello creato dall'utente;
- *SG Configure,* contenente gli strumenti utili alla creazione e processamento dei dati geografici per la configurazione fisica del modello idrologico;
- *SG Model Packages,* contenente gli strumenti per la conversione dei dati geografici in dati di input del modello, articolati secondo la specifica denominazione dei processi da simulare;
- *SG Calculator,* contenente *scripts* utili al calcolo dei principali parametri fisici e idrologici.

In particolare, gli strumenti presenti nella sezione *SG Configure* e *SG Model Package* sono stati sviluppati all'interno del *framework* di geoalgoritmi di Sextante e ne costituiscono le interfacce grafiche attivabili direttamente dall'ambiente di gvSIG. L'integrazione dei principali algoritmi di processamento nel *framework* di Sextante GIS consente sia di disporne per un eventuale *workflow* nel *model builder*[4] sia di disporre delle esecuzioni in *batch* e di utilizzarli anche in altri ambienti GIS compatibili con Sextante.
L'architettura di SID&GRID prevede uno specifico flusso di lavoro necessario per la normalizzazione dei dati. Per il caso appena citato dei pozzi, l'utente dovrà importare il *dataset* dei pozzi nel proprio *data base* del modello e contestualmente aggiungervi, tramite algoritmi, alcune caratteristiche richieste dal modello quali la discretizzazione spaziale e temporale. Ad es., per la discretizzazione spaziale saranno aggiunte alle note x e y geografiche anche le coordinate i e j identificative delle celle del modello.
Un altro esempio è costituito dalla possibilità di rappresentare nel modello idrologico corsi d'acqua superficiali. (v. figura 5) In tale caso, il problema principale, se consideriamo ad es. l'implementazione di un fiume, risiede nella differente struttura geometrica dell'oggetto fiume nella sua componente geografica e modellistica. Nel primo caso il fiume è rappresentato da una geometria lineare che segue il percorso del corso d'acqua, nel secondo caso bisogna riferirsi alla discretizzazione geometrica delle celle del modello idrologico.

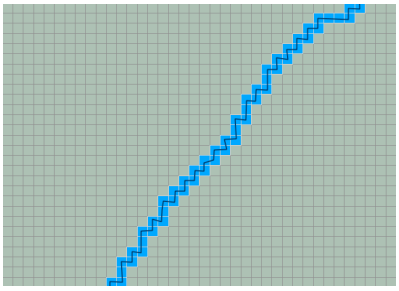


*Figura 5. Esempio di modellazione di un'asta fluviale.*

Ulteriore elemento di rilievo è dato dalla necessità di disporre di numerosi parametri, cella per cella con la variabilità temporale riferita agli *stress period* da simulare, mentre il dato iniziale è solitamente costituito dai valori a monte e a valle del tratto fluviale. Ciò ha richiesto lo sviluppo di

[4] *Ambiente grafico di Sextante GIS per la costruzione di flussi di processamento dei dati spaziali*

un interpolatore lineare in grado di calcolare la stima sia nello spazio che nel tempo. Per tale motivo in SID&GRID sono disponibili una serie di strumenti a supporto del *workflow* richiesto per l'implementazione dei fiumi e tale procedura è stata adottata in tutti i casi analoghi come ad esempio per il calcolo dei parametri dei dreni.
L'algoritmo richiede all'utente due principali tipologie di input:

- il dato geometrico del corso fluviale;
- il dato tabellare con i parametri in ingresso ed uscita da simulare per ciascun *stress period* definito nel modello.

La metodologia di processamento dei dati geografici è stata codificata in SID&GRID e strutturata con una serie di algoritmi in grado di convertire dei semplici strati informativi geografici in *Model Data Object*. Questi ultimi definiscono ciascun *data base* del modello idrologico e costituiscono i successivi dati di input per la scrittura dei *files* testuali di input per il solutore numerico del modello.

**L'estrazione dei risultati della sessione di modellistica**

Ad ogni nuovo modello creato in SID&GRID segue una propria *directory* di lavoro, un proprio *set* di dati di input per il solutore numerico ed un proprio data base geografico. Come già descritto, SID&GRID possiede un'interfaccia specifica per il controllo e l'esecuzione del modello idrologico, in cui l'utente dichiara quali processi intende simulare in relazione ai dati in suo possesso.
L'esecuzione di una simulazione produce tre serie di *array* di valori per ciascuna cella del modello e per ciascun *stress period* e *time step*. Tali dati di uscita del modello sono immediatamente visualizzabili in SID&GRID attraverso uno strumento di "traduzione inversa" in grado di georeferenziare ciascun *array* grazie alla meta informazione contenuta nel *file* di input ".geo" di cui si è già discusso (v. figura 6).
Il primo *dataset* è costituito dal file di output ".fhd" cui è associato il carico idraulico simulato in ogni cella del dominio analizzato permettendo la ricostruzione del campo di moto delle acque sotterranee. La possibilità di restituire tale dato in ambiente GIS, tramite gli strumenti di SID&GRID, consente di sviluppare e studiarne le caratteristiche con algoritmi di interpolazione deterministici e stocastici creando rappresentazioni nel continuo o tramite estrazione delle isolinee.

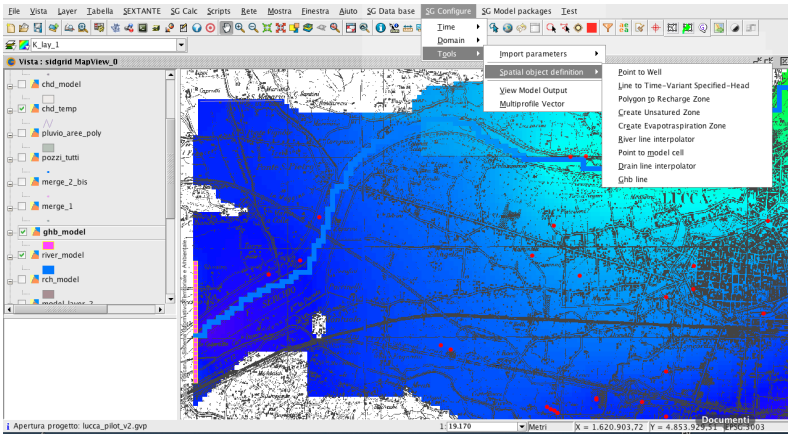



*Figura 6. Esempio di visualizzazione dei dati di output geografici.*

Il secondo dato in uscita è costituito dall'abbassamento (file ".fdn") calcolato rispetto ad una distribuzione iniziale o specificata dall'utente del carico idraulico. Questa uscita permette, ad esempio di effettuare valutazioni sugli abbassamenti indotti dai pompaggi in corrispondenza di campi pozzi.

Il terzo e più importante risultato è dato dalla possibilità di analizzare i bilanci nei diversi intervalli temporali per diverse porzioni di dominio di studio, si da poter analizzare, ad esempio, i prelievi antropici su determinate porzioni del dominio, passando da un'analisi di tipo *lumped* ad un'analisi di tipo locale.

Tale opportunità costituisce una tra le principali potenzialità di SID&GRID poiché consente all'utente di sviluppare un unico flusso di lavoro dalla preparazione dei dati di input fino alla restituzione geografica dei risultati. Ciò, oltre a fornire un indubbio vantaggio procedurale, permette all'operatore di usufruire direttamente di tutti gli strumenti di analisi spaziale resi disponibili dall'ambiente GIS di gvSIG e Sextante GIS.

**Riferimenti bibliografici**

Newell C.J., Hopkins L.P., Bedient P.B. (1990), "A hydrogeologic databse for groundwater modelling", *Groundwater* 28, 5: 703-714

Gogu R.C., Carabin G., Hallet V., Peters V., Dassargues A. (2001), "GIS-based hydrogeological database and groundwater modelling", *Hydrogeology Journal* 9, 6:555-569

Karanjac, J. and Stanojkovic, S., (2003). *The United Nations Ground Water for Windows, Software Version 1.31*, Available on line from: http://www.geocities.com/Eureka/8409/

Mehl S.W. and Hill M.C. (2005). "MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- documentation of shared node local grid refinement (LGR) and the Boundary Flow and Head (BFH) Package", U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A12, 68 p.

De Dreuzy J.R., Bodin J., Le Grand H., Davy P., Boulanger D., Battaias A., Bour O., Gouze P., Porel G (2006), *General Database for groundwater site information*, Ground Water 44, 5: 743-748

Thoms R.B., Johnson R.L. and Healy R.W. (2006). "User's guide to the Variably Saturated Flow (VSF) Process for MODFLOW", U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A18, 58 p.

Shermann G. E. (2008), *Desktop GIS. Mapping the planet with open source tools*, The Pragmatic Bookshelf

SID&GRID (2012), Simulazione e sistemi IDroinformatici per la Gestione delle Risorse Idriche. http://sidgrid.isti.cnr.it/ [Ultimo accesso 4/09/2012]

Crestaz E., Pellegrini M., Schätzl P. (2012). "Tight ight-coupling of groundwater flow and transport modelling engines with spatial database and gis technology. A new approach integrating feflow and Arcgis", *Acque Sotterranee –Italian Journal of Groundwater n.2/129 Vol.1,* Settembre 2012 (in stampa)

# Piattaforma software per un turismo montano sicuro

Giovanni Luca Spoto, Libera Cavallin, Antonella Frisiello,
Antonio Lotito, Francesco Scullino (*), Claudia Marin (**)

(*) Istituto Superiore Mario Boella, Via PierCarlo Boggio 61, Torino, Tel. +39 011 2276233, Fax +39 011 2276299,
{spoto,cavallin,scullino,lotito,frisiello}@ismb.it
(**) Laser, indirizzo, Tel. +39 0125 636101, Fax +39 0125 636199,
claudia.marin@laser-group.com

**Riassunto**

Il presente articolo descrive i risultati di un progetto di ricerca, attualmente in corso, per la realizzazione di una piattaforma software per l'erogazione di servizi georeferenziati, dedicata al turismo montano e finalizzata alla promozione di un comportamento sicuro in montagna. L'obiettivo della piattaforma è raggiungere i turisti, tramite un'applicazione fruibile sullo smartphone, fornendo indicazioni utili per evidenziare le particolarità legate al contesto in cui possono trovarsi e per evitare loro di esporsi a inutili rischi. L'applicazione *mobile* è sviluppata con una logica "a due livelli", per garantire di avere sullo smartphone, indipendentemente dalla copertura di rete, tutte le informazioni statiche (cartografia di base, informazioni su sentieri e rifugi, etc.). Le informazioni dinamiche, che costituiscono il secondo livello, sono disponibili e aggiornate solo in condizioni di connettività. Queste informazioni vengono, dapprima, elaborate dalla piattaforma, aggregando dati on-line provenienti da una selezione di fonti accreditate (bollettino meteo, rischio valanghe, etc.) e, successivamente, rese disponibili all'applicazione che le userà per aggiornare la propria banca dati e per informare il turista nella maniera più consona. Relativamente al supporto cartografico, si è scelto di costruirlo ad hoc, combinando diversi *layer* vettoriali e non (DTM, carta tecnica, ortofoto), per avere una base di facile leggibilità e interpretazione in ambito montano. Tale supporto è stato pre-renderizzato a diversi livelli di dettaglio e, successivamente, memorizzato come MBTiles, un formato appositamente pensato per l'ambiente *mobile*, per offrire un'interazione veloce e reattiva. Dal punto di vista del metodo, i dati scelti e le informazioni aggregate sono state definite grazie a una collaborazione con gli enti locali coinvolti nell'erogazione di servizi turistici in Valle D'Aosta. Tale collaborazione è stata fondamentale per definire una piattaforma calata sulle esigenze del territorio valdostano ma anche facilmente adattabile a eventuali esigenze specifiche di altre regioni.

**Abstract**

*This paper describes the results obtained from a research project, currently ongoing, whose aim is the development of a software platform to deliver georeferenced services dedicated to mountain tourism aimed at promoting a safe behavior on the mountains. The target of this platform is to reach the tourists, through a smartphone application, and give them useful tips to highlight the specific nature of the context in which they may be and to avoid being exposed to unnecessary risks. The mobile application was developed with a "two-level" logic, in order to grant the availability on the smartphone, independently from the network status, of all the statical informations (basic cartography, informations about paths and refuges, etc.). Dynamical informations, which form the second logical level, are obtainable and updated only when connectivity is available. At first such informations are processed by the platform by aggregating online data coming from accredited sources (weather forecast, avalanche risk, etc.), then they are made available to the application which will use them to update its own database and to inform the tourist in the most proper way.*

*We choose to build an ad-hoc cartographic support, combining different vectorial and non-vectorial layers (DTM, technical paper, orthophotos), in order to improve readability and interpretation in a mountain environment. This support was pre-rendered to different detail levels, then saved in the MBTiles format, as this format was designed to offer a quick and reactive interaction on mobile devices. The methodology used in our approach was to establish a collaboration with local authorities involved in the delivery of tourism services in Valle d'Aosta, in order to define the data and the aggregated information. This collaboration was fundamental to define a platform tailored to the needs of the Valle d'Aosta, but that could be easily adapted to possible specific requirements from other regions.*

**Motivazioni e scenario di riferimento**

Il fatto che la tecnologia ICT abbia pervaso pressoché tutti gli ambiti della nostra vita privata e lavorativa è oramai un'evidenza. Non è escluso da questo trend anche il settore del Turismo, dove, inizialmente, Internet ha stravolto i canali distributivi e le logiche economiche e ora le tecnologie mobili stanno potentemente influenzando la fruizione dei servizi.

La grande disponibilità di dati georeferenziati in formato digitale, sia di natura statica (cartografia digitale, collocazione di punti di interesse culturali, commerciali, etc.), sia di natura dinamica (previsioni meteorologiche, condizioni del traffico, etc.) ha modificato le abitudini dei turisti, che vi trovano supporto, per le proprie scelte e decisioni in tutte le fasi dell'esperienza turistica. Il turista ha oggi molti più strumenti a disposizione per pianificare, fruire e documentare le proprie esperienze (Gerosa & Milano, 2011); queste stesse fasi, grazie alle tecnologie mobili e di comunicazione, non sono più sequenziali, ma si configurano come operazioni che ricorrono durante tutta l'esperienza e che il turista può eseguire durante i suoi spostamenti. Continuamente possiamo aggiornarci e modificare il nostro itinerario e le informazioni a nostra disposizione possono influenzare decisioni e comportamenti.

Questo aspetto assume particolare importanza se si considera la crescita del turismo montano e le statistiche relative agli incidenti, ricondotti principalmente alla crescente presenza di turisti, spesso non adeguatamente informati e preparati, come testimonia una ricerca effettuata dal Corpo Nazionale di Soccorso Alpino e Speleologico (CNSAS, 2011), che ha coinvolto circa un migliaio di escursionisti e sci alpinisti. La ricerca denuncia una scarsa preparazione e attenzione al rischio montano (soprattutto relativo alle valanghe): nel campione esaminato, solo il 47% degli intervistati legge i bollettini prima delle uscite e solo il 38% ha dichiarato di aver seguito un'attenta preparazione dell'escursione. Altri fattori critici per la sicurezza sono riconosciuti nella scarsa consapevolezza delle potenziali difficoltà dell'itinerario scelto, nella mancanza di preparazione in caso di repentini cambiamenti delle condizioni atmosferiche (molto frequente in montagna), in un inadeguato equipaggiamento.

La sicurezza delle persone e dell'ambiente rappresenta un tema sul quale le pubbliche amministrazioni e gli enti del territorio sono particolarmente attenti. Su questa linea, la Regione Valle D'Aosta, già impegnata in servizi di info-turismo e di assistenza, ha promosso lo sviluppo di una piattaforma software per l'erogazione di servizi georeferenziati dedicata al turismo montano, e finalizzata alla promozione della sicurezza e alla segnalazione di eventuali emergenze.

La piattaforma per l'erogazione di tali servizi, sviluppata da una PMI del territorio, Laser, e il centro di ricerca ISMB, si basa su un centro servizi che aggrega diverse informazioni, la maggior parte già disponibili on-line, in un servizio integrato e da un'applicazione *mobile* che ne consente la fruizione direttamente sul territorio.

*Asset* tecnologici della piattaforma sono il supporto cartografico, la geo-localizzazione e la geo-referenziazione, *feature* oggi disponibili sulla maggior parte dei terminali mobili disponibili sul mercato. Per quanto riguarda l'ambiente software per lo sviluppo lato *mobile* si è scelto Android. La fotografia della situazione attuale del mercato degli smartphone e le previsioni fornite da IDC della visione al 2015 (IDC, 2011), riportate in Figura 1, indicano, infatti, Android come la piattaforma che copre e coprirà la porzione più vasta del mercato, con percentuali vicine al 50%.

| Sistema Operativo | 2011 (%) | 2015 (%) |
|---|---|---|
| Android | 38,9 | 43,8 |
| Blackberry | 14,2 | 13,4 |
| Symbian | 20,6 | 0,1 |
| Apple iOS | 18,2 | 16,9 |
| WP 7/WM | 3,8 | 20,3 |
| Altri | 4,3 | 5,5 |
| Totale | 100 | 100 |

Fonte: IDC Worldwide Quarterly Mobile Phone Tracker, June 9, 2011

Note: Market share based on unit shipments.

*Figura 1. Dati del mercato mobile IDC.*

**Requisiti per la realizzazione di un servizio legato al turismo sicuro in montagna**

Tutti noi utilizziamo un servizio sostanzialmente per realizzare uno o più obiettivi. L'analisi di tali obiettivi, in accordo con il metodo di design centrato sulla persona o *User Centred Design* (Norman & Draper, 1986), è stato il punto di partenza per arrivare a definire in dettaglio le varie fasi dell'interazione con il servizio, le funzionalità, i contenuti. Il contesto, poi, contribuisce a definire con maggiore precisione la priorità di ciascuna funzione e le conseguenti logiche di servizio. La progettazione della piattaforma per il turismo montano ha avuto inizio dall'analisi dei requisiti raccolti attraverso lo stato dell'arte, e secondo un approccio di service design partecipativo, dalla collaborazione con gli stakeholder. Regione Valle d'Aosta e associazioni del territorio hanno contribuito a esplicitare esigenze, priorità, contenuti tipologie di servizi per finalizzare lo sviluppo sulla tematica della sicurezza in montagna.

Gli elementi fondamentali per offrire un supporto al turista, sia esperto, sia occasionale, sono stati indicati in:

- un supporto cartografico adeguato;
- una georeferenziazione di qualità, anche grazie all'impiego delle ultime tecnologie disponibili (EGNOS, 2012);
- integrazione di informazioni, a partire dai dati già disponibili on-line; sono stati indicati come fondamentali le descrizioni degli itinerari, informazioni sulle condizioni meteo (temperatura, esposizione al sole, persistenza e intensità del vento, precipitazioni nevose); identificazione delle zone sottoposte ai rischi tipici della montagna (valanghe, frane, colate detritiche, alluvioni, ecc.), così come la centralità del tema della sicurezza, con raccomandazioni utili a favorire comportamenti sicuri per se stessi, gli altri e l'ambiente circostante;
- la continuità di servizio, anche in condizioni di assenza di connettività;
- l'usabilità dell'interazione, definita come il grado in cui un servizio può essere utilizzato da determinati utenti (nel nostro caso i turisti), per raggiungere obiettivi specifici (progettare e fruire in sicurezza delle risorse) con efficacia, efficienza e soddisfazione in un determinato contesto di utilizzo (il territorio montano) (ISO standard 9261).

**Modello di erogazione del servizio e architettura di sistema**

Il contesto di utilizzo e gli obiettivi legati alla promozione del turismo sicuro hanno guidato la progettazione del modello di servizio, così da privilegiarne robustezza e continuità. Pertanto le funzionalità e l'architettura dell'informazione sono state organizzate in livelli diversi in base alla disponibilità di connettività dati (non garantita ovunque in montagna). L'applicazione *mobile* rende sempre disponibili (residenti localmente sul terminale utente) alcune informazioni, come cartografia, raccomandazioni, descrizioni e riferimenti dei Punti di Interesse (POI).

Altre informazioni, come il monitoraggio meteo, proveniente dalle stazioni disposte sul territorio e che varia con frequenza oraria, e i bollettini neve prodotti, invece, giornalmente sono aggiornate in modo dinamico e la loro fruibilità dipende dalla connessione dati.

La piattaforma acquisisce l'insieme dei dati dinamici da alcune fonti selezionate (bollettini regionali su meteo, rischio valanghe, etc.) salvandoli su un unico sotto-sistema. In questo modo si ha la possibilità di aggregare e integrare queste informazioni in modo automatico e, successivamente, renderle disponibili all'applicazione, che le userà per aggiornare la propria banca dati e per informare il turista nella maniera più consona.
Il servizio estrae dalle basi dati esistenti le informazioni pertinenti al contesto dell'utente, determinate in base alla posizione geografica rilevata.
Nel modello di servizio, il contesto dell'utente e la sua localizzazione sono elementi fondamentali che contribuiscono a offrire un'interazione "situata", ovvero collegata in modo significativo con la situazione in cui si trova il turista.
Da un punto di vista software, le premesse descritte orientano la progettazione verso una soluzione architetturale "*client-server* a due livelli" (Figura 2).

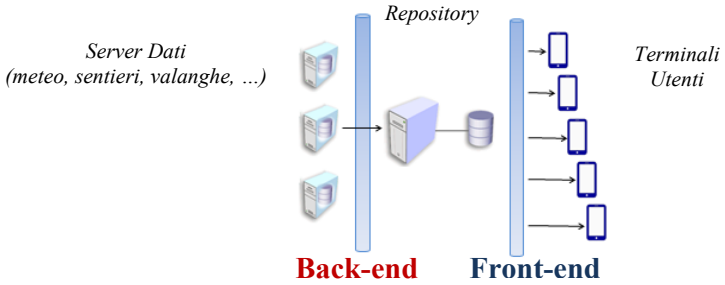



*Figura 2. Schema architettura software.*

Il primo livello informativo, definito di *Back-end*, è rappresentato dai canali di comunicazione tra i server delle varie fonti del servizio e un sottosistema centrale che funge da *Repository*.
Il secondo livello, definito *Front-end*, è rappresentato dai canali di comunicazione tra le applicazioni installate sugli smartphone dei turisti e il *Repository* centrale. Il vantaggio dell'impiego di questo tipo di architettura consiste nel poter realizzare porzioni di funzionalità in maniera indipendente su piattaforme eterogenee, abilitando l'interazione tra i vari moduli software tramite tecnologie e standard tipiche del mondo Web.
In questo modo si ottiene un'architettura scalabile e componibile che permette di controllare e gestire le informazioni del *Repository* (es. tipologia dei dati, frequenza di aggiornamento, disponibilità e affidabilità, …).

**Cartografia in ambito montano**
La fase iniziale di definizione dei requisiti ha individuato come priorità la disponibilità del servizio anche in assenza di connettività. A causa della dipendenza dalla copertura dati del classico approccio e delle funzionalità native dell'ambiente Android (mappe online del servizio Google Maps), si è reso necessario progettare una soluzione alternativa in grado di memorizzare direttamente sullo smartphone, oltre a una serie di informazioni statiche, una cartografia di base per consentire all'utente di fruire delle mappe, anche, in modalità off-line. Le mappe, inoltre, devono offrire agli utilizzatori livelli di accuratezza della georeferenziazione, sia dei sentieri, sia delle zone ritenute rischiose. Per queste ragioni si è deciso di generare una cartografia *ad-hoc*, che l'utente scarica e ha sempre a disposizione sul proprio smartphone.
Nella realizzazione della cartografia *ad hoc* si è tenuto conto delle risorse di visualizzazione che caratterizzano i terminali mobili, al fine di rendere l'applicazione in grado di proporre una sintesi di quanti più dati elementari possibili, nel rispetto della capacità dell'utente di decodificarne il significato.

Al tal proposito si riporta una comparazione di due rappresentazioni cartografiche diverse, visualizzate su smartphone. Le due figure seguenti (Figura 3 a - b) ritraggono la stessa zona; l'immagine di sinistra è un'ortofoto, che in genere rende molto leggibile e di facile interpretazione le aree urbanizzate, ma diventa praticamente incomprensibile in ambito non urbano o alpino: risulta, infatti, difficile interpretare le caratteristiche del terreno (fatta esclusione per il tipo di vegetazione) e, in particolare, la conformazione tridimensionale dello stesso.
L'immagine di destra, definita carta pittorica, appare invece certamente più intuitiva e leggibile perché offre un'immediata e chiara rappresentazione dello sviluppo tridimensionale del territorio.

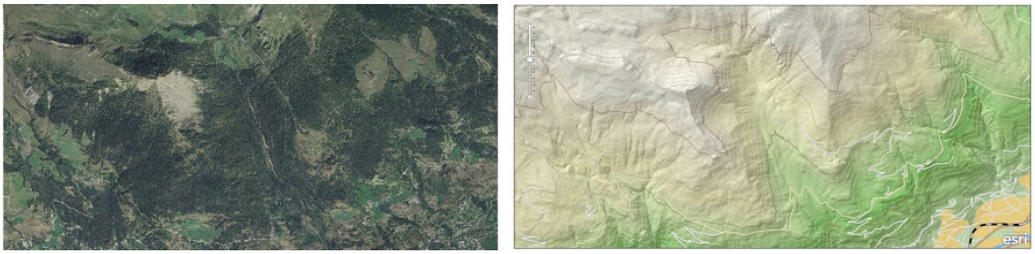


*Figure 3. Ortofoto (a) e carta pittorica (b) a confronto.*

L'utilizzo di una carta pittorica è stato, quindi, privilegiato poiché fornisce una rappresentazione chiara e precisa di un'area. Inoltre, tale rappresentazione rende veloce e intuitiva l'analisi delle principali informazioni, come distanze, profilo altimetrico e dislivello massimo da affrontare.
La carta pittorica, è stata generata combinando una serie di strati vettoriali delle carte tecniche regionali con *Grid* altimetrico e *Hillshade* per l'effetto tridimensionale. Tale supporto è stato pre-renderizzato a diversi livelli di dettaglio e successivamente convertito in MBTiles (MBTiles, 2012), un formato appositamente pensato per l'ambiente *mobile*, per offrire un'interazione veloce e reattiva. MBTiles è un formato open source che permette lo storage di mappe (raster) sotto forma di tile. Questo formato non è altro che un database SQLite (SQLite, 2012) e, quindi, adatto per essere utilizzato su uno smartphone. Per la fruizione di tale supporto, su piattaforma Android, si è utilizzata la libreria osmdroid.
Osmdroid (osmdroid, 2012) è una libreria che consente la visualizzazione delle mappe on-line di OpenStreetMap e di altri provider ed è in grado di visualizzare anche mappe *custom* memorizzate direttamente sullo smartphone, dando la possibilità di interagire tramite azioni di *panning* e *zooming*. Oltre alla visualizzazione della mappa custom, osmdroid permette la gestione di *overlay* che identificano luoghi di interesse. Dal punto di vista pratico, le mappe sono state organizzate secondo una struttura a piramide. In altre parole, a partire da una mappa *raster* geo-referenziata, ne vengono generate diverse a risoluzioni decrescenti, che vengono suddivise in sezioni da 256x256 *pixel* meglio conosciuti come *tile* (vedi Figura 4).

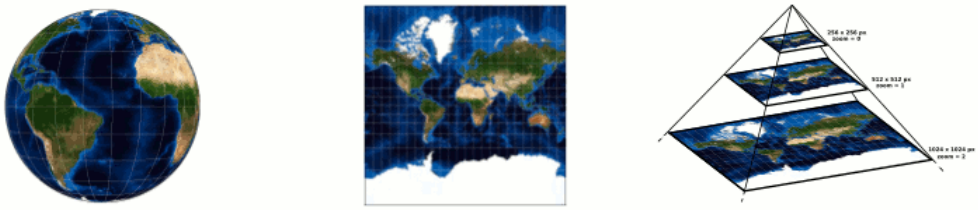


*Figura 4. Passaggio da una mappa geo-referenziata al formato tile.*

La suddivisione in *tile* e la "piramidazione" sono molto efficienti per distribuire mappe, in quanto l'immagine potrà essere visualizzata direttamente alla risoluzione adatta al livello di *zoom* attivo, e

verranno caricati in memoria soltanto i tile dell'area che si sta osservando sul *display*. Un punto, su un determinato tile, può essere referenziato tramite una coppia di coordinate (x,y). Per ogni *tile*, l'origine corrisponde all'angolo in alto a sinistra dello stesso. Analizzando, ad esempio, il *tile* al livello 0, che rappresenta l'intero pianeta (Figura 5), è possibile notare che la sua origine corrisponde al polo nord con una longitudine di -180°.




*Figura 5. Coordinate in pixel.*

Il valore della longitudine all'interno di un singolo tile cresce spostandosi verso est (asse x), il valore della latitudine cresce, invece, spostandosi verso sud (asse y). Aumentando il livello di *zoom*, il numero di *pixel*, sia lungo l'asse x sia sull'asse y, raddoppia. Ad esempio, a un livello di *zoom* pari a 1, la mappa consiste di 4 *tile* (ognuno dei quali ha dimensione 256 x 256 pixel) e, pertanto, la dimensione complessiva della mappa sarà pari a 512 x 512 pixel. Generalizzando, quindi, a un livello di *zoom* n, un *pixel* (di coordinate x e y), può essere geo-referenziato utilizzando un valore compreso tra 0 e 256 * 2^n (Google Maps Coordinates,2012). Considerando di voler visualizzare l'intera Terra e di voler geo-referenziare un punto qualsiasi, l'operazione risulterebbe assai onerosa a meno di non lavorare su singoli *tile*. È necessario, quindi, determinare a quale di questi *tile* ci si riferisce e, solo successivamente, passare al calcolo delle coordinate del *pixel* relative all'origine del tile. Per effettuare l'identificazione di un *tile*, si utilizza il formato open Tile Map Service (TMS, 2012), che consente di essere sicuri che il tile di origine sia sempre posizionato nell'angolo in basso a sinistra della mappa. Affinché tutti i *tile* risultino geo-referenziati correttamente, le mappe da includere in osmdroid devono rispettare una opportuna proiezione. In particolare, il sistema finale che si è utilizzato è identificato dal codice EPSG:900913 o EPSG:3857 (Spatial Reference, 2012). In particolare, la proiezione adottata, meglio conosciuta come proiezione di Mercatore, viene utilizzata perché riesce a preservare forme e direzioni sul piano e risulta, quindi, meno complessa da gestire e più veloce nel suo utilizzo (OpenLayers, 2012).

**Realizzazione soluzione *mobile***

L'intera progettazione fonda le proprie basi nell'analisi dei requisiti utente, che ha permesso di individuare le principali variabili in gioco nell'esecuzione di un compito e nel raggiungimento degli obiettivi prefissati, al fine di realizzare una applicazione *user friendly*, in un contesto peculiare come la montagna.

La schermata principale dell'applicazione (Figura 6 a - b) presenta all'utente le sezioni informative che vi troverà all'interno. L'applicazione è organizzata in cinque sezioni (Sport, Turismo, Meteo, Consigli, Emergenza), presentate come opzioni della *BottomBar*, sempre visibile in ogni schermata, garantendo una navigazione orizzontale nelle stesse. La *BottomBar* svolge, allo stesso tempo, la funzione di informare l'utente circa la sezione in cui si trova. Invece la navigazione verticale porterà ai dettagli di ogni sezione. I livelli di profondità della navigazione di ciascuna sezione sono ridotti al minimo: in 3 *step* l'utente è in grado di arrivare all'informazione di dettaglio che desidera.

Inoltre, dal momento che l'applicazione sfrutta la geo-localizzazione sia del terminale utente, sia dei contenuti che presenta, l'utente può scegliere tra diverse modalità di consultazione e visualizzazione delle informazioni:

- La *list-view* è la modalità di *default*, presentata all'utente che entra in una qualsiasi sezione.
- La *map-view* contestualizza su mappa le informazioni che l'utente consulta. Sulla mappa possono essere visualizzate la posizione del terminale utente, la localizzazione delle strutture collegate ad attività sportive e turistiche, così come punti di interesse paesaggistico.

L'utilizzatore può muoversi da una visualizzazione all'altra, in base alla preferenza o all'esigenza del momento, attraverso uno specifico pulsante posto nella *ActionBar* in alto.




*Figura 6. Menu principale dell'applicazione (a), BottomBar presente in tutte le sezioni (b).*

Un tipo particolare di contenuto che l'applicazione gestisce sono eventuali segnalazioni ufficiali provenienti dalle fonti selezionate. Tali segnalazioni riguardano eventi «anomali», come chiusure straordinarie di sentieri o strutture, passi inaccessibili. In ragione delle tipologie di cause collegate alle possibili segnalazioni e della priorità, l'applicazione utilizza due modalità di avviso: modalità *pull* (a richiesta) per le segnalazioni sul territorio e modalità *push* (proattivo) per allerta criticità che possono compromettere la sicurezza della persona.

**Conclusioni e sviluppi futuri**

Il progetto ha raggiunto importanti risultati già nelle fasi intermedie, come l'ottimizzazione del modello di erogazione dei servizi e l'adozione di tecnologie flessibili impiegate come "blocchi base", utilmente riconfigurabili per realizzare nuove applicazioni e servizi rivolti al cittadino.

Il progetto ha messo anche in evidenza possibili evoluzioni dell'applicazione ed espansioni verso servizi correlati. Un'importante innovazione potrebbe essere quella di cambiare il paradigma informativo alla base dell'applicazione. Oggi la piattaforma svolge il ruolo di aggregatore di informazioni relative a temi (turismo sportivo, meteo e territorio) legati a una specifica area geografica. Le informazioni aggregate provengono da autorevoli fonti selezionate, che istituzioni locali mantengono e aggiornano. Tale impostazione può essere resa complementare all'utilizzo del *crowdsourcing*, un modello che implica la raccolta delle informazioni da una *community* di utenti, che attivamente interagiscono con la base dati, arricchendola di contenuti, segnalazioni, testimonianze. Si tratta di una modalità collaborativa per alimentare il sistema che integra e sfrutta funzionalità di natura «*social*». Le informazioni così raccolte possono aumentare il valore informativo dell'applicazione.

Il progetto presentato guarda a uno scenario evolutivo, nel quale i servizi e le tecnologie possono contribuire in modo rilevante all'integrazione di processi amministrativi, organizzativi e applicativi. Inoltre, risultando compatibile con obiettivi di mercato che si riferiscono al contesto nazionale, ulteriori valutazioni sull'esportabilità del modello a livello europeo sono da mettere in relazione con una analisi delle disponibilità e della tipologia tecnica di informazioni a livello di singolo paese.

**Bibliografia**

AINEVA (2011) “Incidenti da valanga in Italia”, consultato 05 dicembre 2011, disponibile all’indirizzo http://www.aineva.it/incidenti/incidentitot2.php?annoc=2010-11.

CNSAS (2011) “Prevenzione incidenti valanga”, consultato 05 dicembre 2011, disponibile all’indirizzo http://www.vienormali.it/montagna/speciale-giornata-nazionale-prevenzione-incidenti-valanga-2011.asp

EGNOS (2012), “European geostationary navigation overlay system”, consultato 24 agosto 2011, disponibile all’indirizzo http://egnos-portal.gsa.europa.eu

Gerosa M., Milano R. (2011), *Viaggi in rete,* Franco Angeli, Milano.

Google Maps Coordinates (2012), “Google Maps Coordinates”, consultato 24 agosto 2011, disponibile all’indirizzo https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/v2/overlays#Google_Maps_Coordinates

IDC (2011), “IDC Worldwide Quarterly Mobile Tracker”, consultao 9 giugno 2011, disponibile all’indirizzo http://www.idc.com

ISO 9241-11, (1998). *Guidance on Usability*.

MBTiles (2012), “MBTiles Specification”, consultato 24 agosto 2011, disponibile all’indirizzo https://github.com/mapbox/mbtiles-spec

Norman D. A., Draper S. W. (1986). *User centered system design: New perspectives on human-computer interaction*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

OpenLayers (2012), “Spherical Mercator”, consultato 24 agosto 2011, disponibile all’indirizzo http://docs.openlayers.org/library/spherical_mercator.html

osmdroid (2012), “osmdroid - OpenStreetMap-Tools for Android - Google Project Hosting”, consultato 24 agosto 2012, disponibile all’indirizzo http://code.google.com/p/osmdroid

Spatial Reference( 2012).”sr-org projection 6864 - epsg:3857”, consultato 24 agosto 2011, disponibile all’indirizzo http://spatialreference.org/ref/sr-org/6864

SQLite (2012), “SQLite Home Page”, consultato 24 agosto 2012, disponibile all’indirizzo http://www.sqlite.org

TMS (2012), “Tile Map Service Specification”, consultato 24 agosto 2011, disponibile all’indirizzo http://wiki.osgeo.org/wiki/Tile_Map_Service_Specification

# Utilizzo di Alberi Decisionali per la classificazione di aree urbanizzate

Steffenino Sara (*), Angeluccetti Irene (*), Disabato Franca (**)

(*) DIST, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino,
011 19751874, sara.steffenino@polito.it, irene.angeluccetti@polito.it
(**) ITHACA, Via Pier Carlo Boggio 61, 10138 Torino, 011 19751854, franca.disabato@ithaca.polito.it

**Riassunto**
Il presente articolo descrive uno studio preliminare per la classificazione di aree urbanizzate condotta per mezzo di Alberi Decisionali. Lo studio è stato effettuato sull'area di Torino, utilizzando immagini acquisite dal sensore Landsat ETM+ e la Cartografia Tecnica Regionale per la validazione. In particolare è stato valutato il variare dell'accuratezza di classificazione a seconda dei diversi attributi di input dell'algoritmo, quali il livello di pre-elaborazione radiometrica applicato, il numero di classi considerato, l'estensione temporale del training set e l'utilizzo di indici derivati da informazioni spettrali. I risultati hanno dimostrato che si possono raggiungere accuratezze globali intorno all'80% e che gli indici sono l'attributo che permette di raggiungere tali accuratezze.

**Abstract**
The paper describes a preliminary study on the urban classification accuracies obtained by means of the Decision Tree classifier. The study was conducted over the area of Turin (Italy), with Landsat ETM+ imagery and with an official regional map (Cartografia Tecnica Regionale) used as ground truth. In particular the variation of the accuracies was evaluated, depending on the changing of the algorithm input attributes such as the level of applied radiometric pre-processing, the considered number of classes, the temporal extent of the training set and the use of spectral indexes. Results show that overall accuracies of 80% can be achieved and that spectral indexes are the type of attribute that affect most these accuracies.

## Introduzione

L'aggiornamento automatico di dati cartografici di base è di fondamentale importanza per una pluralità di applicazioni, dalle emergenze ambientali alla pianificazione territoriale. La classificazione di aree urbanizzate è una delle problematiche tuttora aperte nel campo dell'estrazione di tematismi da immagini satellitari. Nello specifico la presenza di pixel misti rende particolarmente difficoltoso il confronto tra diverse tipologie di ambiente urbano e l'identificazione di caratteristiche comuni che rendano possibile la creazione di procedure automatizzabili. L'utilizzo di tecniche di *data mining* permette di individuare regole per l'estrazione del suddetto tematismo, applicabili ad altre immagini acquisite dalla stessa tipologia di sensore.
Il presente lavoro si svolge nell'ottica di fornire un supporto alla produzione di cartografia speditiva per la logistica delle emergenze, costituendo un primo passo per la definizione di una metodologia di estrazione automatica delle aree urbanizzate a livello globale.
In particolare ci si è concentrati sulla valutazione dell'efficacia dell'utilizzo di Alberi decisionali per la classificazione di dati multispettrali, in termini di variazione dell'accuratezza in funzione di diversi attributi di input. Al fine di poter applicare la metodologia a scala sinottica, sono state utilizzate immagini a media risoluzione acquisite dal satellite Landsat 7. Viene nel seguito illustrata

la prima fase dello studio, in cui sono stati effettuati dei test sull'area di Torino, per la quale sono disponibili dei dataset di riferimento per la validazione.
Le accuratezze di classificazione sono state derivate per mezzo di una validazione che utilizza come riferimento una maschera estratta dalla Cartografia Tecnica Regionale Numerica (CTRN) a scala 1:10000.

**La classificazione tramite alberi decisionali**
L'Albero Decisionale è un classificatore non parametrico che non richiede nessuna assunzione aprioristica circa la distribuzione del campione. Tale classificatore è rappresentato da una struttura ad albero dove le foglie contengono gli elementi del campione classificati, mentre le ramificazioni, costituite da diversi nodi foglia, rappresentano l'insieme degli attributi che portano a quelle classificazioni (Shen et al., 2011).
Si definiscono attributi quelle caratteristiche dei dati stessi che vengono utilizzate per assegnare ciascun dato ad una delle classi predefinite (*target*).
L'Albero Decisionale, tra i classificatori esistenti, presenta alcuni vantaggi utili per classificare tematismi a livello globale: in primo luogo consente di generare delle regole che possono poi essere applicate a diversi dataset, secondariamente può gestire attributi continui determinando uno *split point* che divide in due l'intervallo dei valori.
L'algoritmo del classificatore utilizza dei dati di *training* per costruire, tramite un procedimento induttivo, un modello costituito da regole di classificazione. Ciascun percorso radice-foglia rappresenta perciò una regola di classificazione.
Il modello così costruito viene successivamente applicato a dati definiti di *test*. Tali dati vengono quindi classificati secondo le regole contenute nel modello.
Tra i diversi algoritmi esistenti si è scelto di utilizzare il C4.5 (Quinlan, 1993), di riconosciuta efficacia (Shen et al., 2011). L'algoritmo determina il miglior attributo di *split* del campione sulla base del criterio GainRatio, che privilegia la generazione di classi pure e di numero contenuto (Kohavi & Quinlan, 2002). In particolare per questo studio è stato utilizzato WEKA, software open source per il *data mining*, che implementa l'algoritmo C4.5 con il nome J48.
La classificazione è influenzata in primo luogo dall'algoritmo utilizzato e dagli attributi di input ma anche da alcuni parametri impostabili dall'operatore quali: il numero minimo di oggetti che ciascuna "foglia" dovrà contenere (minNumObj) e il fattore di confidenza (confidenceFactor), da cui dipende il numero di ramificazioni che vengono eliminate dall'albero (*pruning*) per ridurne la complessità ed aumentarne l'accuratezza tramite la diminuzione dell'*overfitting*. All'aumentare del minNumObj diminuisce il numero di ramificazioni dell'albero; l'aumentare del confidenceFactor risulta invece in una diminuzione del *pruning* (Bouckaert et al., 2008).

**Caso studio**
La scelta dell'area di indagine è ricaduta sulla città di Torino: la città presenta una buona copertura temporale di immagini acquisite dai satelliti Landsat e dispone di una CTRN in scala 1:10000 con cui effettuare la validazione.
Per lo studio in questione sono state utilizzate sei scene Landsat della collezione *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+) slc-on ed una scena della collezione *Global Land Survey* (GLS) 2005 (Tabella 1).
Il GLS contiene, per ogni area geografica, almeno un'immagine acquisita in quell'anno appartenente alla collezione TM, oppure alla collezione ETM+ slc-off; in quest'ultimo caso viene corretta dagli effetti indotti all'immagine dal malfunzionamento dello scanner.
Le sezioni della CTR utilizzate per creare la maschera di validazione sono le seguenti: 155080, 155110, 155120, 155150, 155160, 156050, 156060, 156090. Tutte le sezioni sono aggiornate al 31 dicembre 2005 e disponibili gratuitamente in rete in formato vettoriale (www.webgis.csi.it/Ctrig/main.asp).

| Data Set | Data acquisizione | Path/row | Cloud cover (%) |
|---|---|---|---|
| L7 ETM+ slc-on | 06/10/1999 | 194/29 | 0,54 |
| L7 ETM+ slc-on | 30/11/1999 | 195/29 | 3,02 |
| L7 ETM+ slc-on | 05/06/2000 | 195/29 | 1,34 |
| L7 ETM+ slc-on | 30/07/2001 | 195/29 | 6,80 |
| L7 ETM+ slc-on | 24/08/2001 | 194/29 | 4,41 |
| L7 ETM+ slc-on | 28/09/2002 | 194/29 | 13,99 |
| GLS 2005 | 02/07/2005 | 194/29 | - |

*Tabella 1. Scene utilizzate per il caso studio.*

## Metodologia

L'obiettivo di questo primo lavoro effettuato sull'area di Torino è quello di valutare in che modo gli attributi utilizzati come input nell'Albero Decisionale possono influenzare l'accuratezza raggiungibile nella classificazione.
A tal fine sono stati valutati i seguenti attributi, descritti nel seguito: tipo di pre-elaborazione radiometrica, estensione temporale del training set (una o più immagini), numero di classi considerato e informazioni contenute nel pixel (radiometriche e/o indici derivati).
Per quanto riguarda i parametri di input che usa l'algoritmo per generare il classificatore, il confidenceFactor è stato impostato pari a 0.25, come di default, mentre al minNumObj è stato assegnato il valore 10 in tutti i casi tranne quello in cui vengono utilizzati solo gli indici per addestrare il classificatore, caso in cui è stato posto pari a 20.
Le combinazioni di parametri che sono state testate sono riportate in Tabella 2.

| NUMERO DI CLASSI | ESTENSIONE TEMPORALE DEL TRAINING SET | INDICI E INFORMAZIONI SPETTRALI | PRE-ELABORAZIONI RADIOMETRICHE | NOME CASO |
|---|---|---|---|---|
| 2 CLASSI / 5 CLASSI | Immagine singola (02/07/2005) | indici | Dark Subtraction | index_DS |
| | | | Calibrazione in riflettività | index_calib |
| | | | FLAASH | index_flaash |
| | | info spettrali | Dark Subtraction | spectral_DS |
| | | | Calibrazione in riflettività | spectral_calib |
| | | | FLAASH | spectral_flaash |
| | | indici + info spettrali | Dark Subtraction | spectral_index_DS |
| | | | Calibrazione in riflettività | spectral_index_calib |
| | | | FLAASH | spectral_index_flaash |
| | Set multitemporale | indici | Dark Subtraction | index_DS |
| | | | Calibrazione in riflettività | index_calib |
| | | | FLAASH | index_flaash |
| | | info spettrali | Dark Subtraction | spectral_DS |
| | | | Calibrazione in riflettività | spectral_calib |
| | | | FLAASH | spectral_flaash |
| | | indici + info spettrali | Dark Subtraction | spectral_index_DS |
| | | | Calibrazione in riflettività | spectral_index_calib |
| | | | FLAASH | spectral_index_flaash |

*Tabella 2. Casistiche considerate per l'analisi.*

Questi attributi sono stati utilizzati per generare diversi classificatori, applicati poi alla sola immagine del 02/07/2005: scelta dovuta alla necessità di rispettare la coerenza temporale tra la classificazione e il dataset di validazione. Le diverse classificazioni sono state validate tramite l'utilizzo della CTRN aggiornata al 2005, la quale ricopre una porzione della scena Landsat.

#### Pre elaborazioni radiometriche (calibrazione e correzione atmosferica)

Per analizzare lo stato delle superfici e i loro cambiamenti nel corso del tempo in modo quantitativo occorre basarsi su una serie di misure confrontabili.

Una prima riduzione della variabilità fra le diverse scene acquisite può essere ottenuta attraverso una normalizzazione rispetto alla radiazione incidente, passando dalla Radianza spettrale alla Riflettività apparente; questa pre-elaborazione radiometrica, nota come Calibrazione radiometrica in riflettività, è solo il primo passo per un confronto di tipo quantitativo tra i dati ottenuti dai diversi satelliti in tempi diversi.
Per ottenere la riflettività (albedo) della superficie a terra è necessario depurare il segnale anche dagli effetti dell'atmosfera, attraverso tecniche di correzione atmosferica più o meno complesse.
In questo caso studio sono stati utilizzati sia una correzione atmosferica di tipo semplificato, nota come *Dark Subtraction*, che una di tipo fisico rigoroso, nota come *Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH).
Il metodo della Dark Subtraction elimina l'effetto della componente diffusiva dell'atmosfera sottraendo a tutti i pixel dell'immagine, banda per banda, il valore di DN corrispondente al minimo valore di riflessione. FLAASH, invece, è uno strumento di correzione atmosferica che utilizza MODTRAN4 per risolvere l'equazione di trasferimento radiativo. I parametri che entrano in gioco nell'equazione dipendono dall'elevazione media della superficie, angolo di vista del satellite ed elevazione solare, e presuppongono la conoscenza del modello atmosferico, del tipo di aereosol e della visibilità, ricavati da informazioni desumibili dalle scene.
I classificatori sono stati addestrati con training set estratti da immagini a cui sono stati applicati questi 3 tipi di pre-elaborazioni radiometriche.

**Estensione temporale del training set**

Considerando l'obiettivo finale di ottenere un algoritmo in grado di classificare in modo automatico le aree urbane, che possono essere derivate da scene differenti, si è scelto di valutare l'effetto dell'utilizzo di informazioni radiometriche e/o indici derivati da una singola scena o da una media dei valori di un set multitemporale.
Gli input sono quindi, in un caso (immagine singola) le firme spettrali acquisite solo sull'immagine del 02/07/2005, nell'altro (set multitemporale) le firme spettrali medie delle scene riportate in Tabella 1.

**Indici e informazioni spettrali utilizzati per il training set**

Indici derivati da informazioni spettrali vengono spesso utilizzati nel telerilevamento per identificare elementi di interesse.
In questo studio sono stati valutati alcuni indici già utilizzati in letteratura per l'estrazione dell'urbano e ne è stato proposto uno nuovo.
Gli indici considerati, le cui equazioni sono riportate in Tabella 3, sono i seguenti:

- NDBI (Normalized Difference Built-up Index), utilizzato per la mappatura di aree urbane insieme all'NDVI in studi precedenti (Zhang et al., 2003) con accuratezze del 92%;
- NDBBBI (Normalized Difference Blue Band Built-up Index), utilizzato in Baraldi et al. (2006), tiene conto della componente di blu presente nelle aree urbane e nei terreni non coltivati;
- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), utilizzato in studi sulla vegetazione ed utile per separare le classi acqua, suolo e vegetazione;
- BUI (Built-Up Index), utilizzato in Lee, Lee, and Chi (2010);
- TEST, un indice proposto dagli autori sulla base dell'analisi delle firme spettrali di aree campione, che presenta valori di poco superiori ad 1 (range approssimativo: 1.1 ÷ 1.2) in corrispondenza delle aree urbane e valori più alti in corrispondenza delle altre classi analizzate.

| **INDICE** | NDBI | NDBBBI | NDVI | BUI | TEST |
|---|---|---|---|---|---|
| **EQUAZIONE** | $\frac{TM5-TM4}{TM5+TM4}$ | $\frac{TM1-TM5}{TM1+TM5+0.001}$ | $\frac{TM4-TM3}{TM4+TM3}$ | NDBI-NDVI | $TM5+\frac{TM4}{TM7}$ |

*Tabella 3. Indici utilizzati come attributi in input.*

In input al classificatore sono state utilizzate alternativamente solo le informazioni spettrali, oppure solo gli indici, oppure entrambe. Tra questi l'algoritmo determina i migliori attributi di *split*, che costituiranno i nodi foglia di ciascun classificatore.

**Numero di classi considerato nel training set**

Il training set utilizzato per addestrare il classificatore è composto da informazioni relative alla classe di urbano e da informazioni relative alle altre classi.
In un caso (5 classi) sono state estratte ROI di urbano, aree industriali, vegetazione, acqua e suolo nudo, l'albero decisionale classifica secondo questi 5 target e i tematismi vengono poi aggregati per la validazione in modo da analizzare solamente la classe di urbano (aree urbane ed aree industriali) e non urbano (acqua, vegetazione, suolo nudo).
Nel secondo caso (2 classi) queste stesse ROI vengono aggregate a monte del processo di classificazione; il classificatore pertanto definisce solo una classe di urbano e una di non urbano.
In questo modo è possibile valutare se l'utilizzo di diverse classi nel training set affina il processo di classificazione oppure se è sufficiente basarsi su due macro classi di urbano e non urbano.

**Maschera di validazione**

Le diverse classificazioni sono state validate con una maschera a due valori (urbano/non urbano) ottenuta dalle sezioni aggiornate al 2005 della CTRN.
Gli elementi della CTRN sono ripartiti in 11 gruppi in funzione della tipologia di entità cartografica che questi rappresentano (es. Strade e Ferrovie, Vegetazione, etc) e, all'interno di ogni gruppo, sono ulteriormente suddivisi per categorie (es. Tronco di Strada Asfaltata, Piazza e Parcheggi, etc) (www.regione.piemonte.it/sit/argomenti/pianifica/cartografia_sit/dwd/manuale_ctr/). Le entità che sono state prese in considerazione per la costruzione della maschera sono solo quelle di tipo areale; in particolare, nella classe urbano sono state incluse le entità appartenenti ai gruppi 01 (Strade e ferrovie) e 02 (Fabbricati, arredo urbano e manufatti tecnici). Alcuni affinamenti di questa attribuzione sono tuttavia stati operati in ambiente GIS, ed in particolare:

- gruppo 01: le "Aree urbane non pavimentate", categoria molto ampia comprendente una varietà di entità (dalle aree verdi di proprietà privata alla pavimentazione asfaltata circostante agli edifici), sono state attribuite alla classe urbano se adiacenti agli edifici residenziali (buffer di 10 m), e alla categoria non urbano negli altri casi. Gli "Impianti sportivi", invece, sono stati attribuiti alla classe non urbano ad esclusione delle loro coperture e fabbricati;
- gruppo 05 (Divisioni del terreno): le entità appartenenti alla tipologia "Cimitero" sono state assegnate alla classe urbano ad esclusione di alcuni cimiteri più vegetati.

La nuova *feature* poligonale così ottenuta è stata quindi convertita in un raster con risoluzione di 30 m, assegnando ad ogni pixel la classe presente con un'area maggiore nella *feature* di partenza. Il processo è schematizzato in Figura 4.

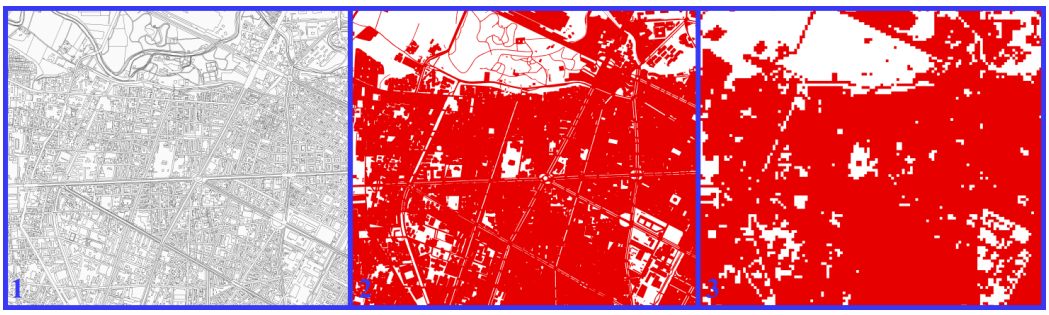



*Figura 4. Fasi di creazione della maschera di validazione: (1) stralcio di cartografia numerica di Torino; (2) attribuzione di una classe (urbano in rosso, non urbano in bianco) a ciascun elemento; (3) conversione da formato vettoriale a raster.*

**Risultati**

Le classificazioni ottenute sono state validate con la maschera creata a partire dalla CTRN; in totale sono stati validati 323864 pixel, ricavando il numero di pixel correttamente e non correttamente classificati. Una procedura tradizionale di verifica dell'accuratezza della classificazione si ottiene dall'analisi della matrice di confusione (Gomarasca, 2004), dalla quale si estraggono i seguenti parametri di accuratezza: *Overall Accuracy* (OA), per descrivere l'accuratezza globale, *Producer's Accuracy* (PA), *User's Accuracy* (UA) per descrivere il comportamento del classificatore per ogni singola classe.

Si rimanda all'ampia letteratura già presente sull'argomento per la definizione dei vari parametri (Congalton, 1991; Foody, 2002).

I parametri estratti da ciascuna matrice sono presentati in Tabella 5.

Analizzando globalmente i risultati in termini di *OA*, si può affermare che i classificatori che utilizzano set multitemporali forniscono generalmente risultati migliori ($\overline{OA} = 76.6\%$) rispetto a quelli che utilizzano l'immagine singola ($\overline{OA} = 66.2\%$), e che i training set costituiti da 5 classi distinte ($\overline{OA} = 72.6\%$) invece di 2 ($\overline{OA} = 70.2\%$) consentono di individuare meglio il tematismo urbano.

L'utilizzo di diversi livelli di pre-elaborazioni radiometriche non sembra influenzare le accuratezze di classificazione, mentre le combinazioni di indici e informazioni spettrali le condizionano più marcatamente.

Alcune classificazioni presentano bassi valori di *UA* per la classe urbano ($UA < 60\%$), dovuti ad una sovraclassificazione del tematismo: questo è il caso delle classificazioni a immagine singola in cui sono state utilizzate le informazioni spettrali. Nettamente diverso è il comportamento dei rimanenti classificatori a immagine singola che utilizzano solo gli indici come input.

| | | | URBANO | | NON URBANO | | | URBANO | | NON URBANO | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NOME CASO | OA | PA | UA | PA | UA | OA | PA | UA | PA | UA |
| Immagine. singola (02/07/2005) | index_DS | **79.9** | 86.9 | 71.3 | 74.8 | 88.8 | **80.5** | 85.6 | 72.6 | 76.8 | 88.1 |
| | index_calib | **69.9** | 91.3 | 59.0 | 54.4 | 89.7 | **71.1** | 85.9 | 61.0 | 60.5 | 85.7 |
| | index_flaash | **72.7** | 91.5 | 61.7 | 59.2 | 90.7 | **72.6** | 90.1 | 61.9 | 60.0 | 89.4 |
| | spectral_DS | **59.6** | 97.3 | 50.9 | 32.4 | 94.4 | **67.4** | 96.6 | 56.5 | 46.4 | 95.0 |
| | spectral_calib | **59.6** | 97.3 | 50.9 | 32.4 | 94.4 | **67.4** | 96.6 | 56.5 | 46.4 | 95.0 |
| | spectral_flaash | **59.5** | 97.3 | 50.8 | 32.2 | 94.4 | **58.7** | 97.6 | 50.4 | 30.8 | 94.6 |
| | spectral_index_DS | **58.3** | 97.6 | 50.1 | 30.0 | 94.6 | **67.9** | 89.2 | 57.5 | 52.6 | 87.1 |
| | spectral_index_calib | **59.6** | 97.3 | 50.9 | 32.4 | 94.4 | **68.2** | 90.5 | 57.7 | 52.2 | 88.4 |
| | spectral_index_flaash | **59.5** | 97.3 | 50.8 | 32.2 | 94.4 | **59.3** | 90.5 | 50.7 | 36.8 | 84.3 |
| Set multitemporale | index_DS | **78.6** | 72.1 | 75.5 | 83.2 | 80.6 | **78.4** | 75.0 | 73.7 | 80.8 | 81.8 |
| | index_calib | **77.0** | 87.4 | 67.4 | 69.6 | 88.5 | **77.7** | 66.8 | 76.9 | 85.6 | 78.2 |
| | index_flaash | **77.4** | 69.9 | 74.4 | 82.7 | 79.3 | **79.8** | 71.0 | 78.6 | 86.1 | 80.5 |
| | spectral_DS | **63.8** | 98.0 | 53.7 | 39.2 | 96.5 | **72.6** | 92.6 | 61.5 | 58.3 | 91.6 |
| | spectral_calib | **75.5** | 68.7 | 71.7 | 80.5 | 78.1 | **78.6** | 69.1 | 77.3 | 85.4 | 79.4 |
| | spectral_flaash | **77.4** | 81.3 | 69.8 | 74.7 | 84.8 | **77.5** | 79.7 | 70.4 | 75.9 | 83.9 |
| | spectral_index_DS | **78.6** | 72.1 | 75.5 | 83.2 | 80.6 | **73.2** | 92.5 | 62.6 | 58.9 | 91.3 |
| | spectral_index_calib | **79.2** | 65.3 | 81.3 | 89.2 | 78.1 | **78.6** | 69.1 | 77.3 | 85.4 | 79.4 |
| | spectral_index_flaash | **77.4** | 69.9 | 74.4 | 82.7 | 79.3 | **77.3** | 79.8 | 70.1 | 75.6 | 83.9 |
| | | 2 CLASSI | | | | | 5 CLASSI | | | | |

*Tabella 5. Accuratezza delle classificazioni (%) in termini di Overall Accuracy (OA), Producer's Accuracy (PA), User's Accuracy (UA).*

Sono stati evidenziati in verde i tre migliori classificatori, con *OA* intorno all'80%, caratterizzati da regole costruite con i seguenti attributi di *split*:

- index_DS (2 classi, immagine singola): utilizza NDBI e NDBBBI;
- index_DS (5 classi, immagine singola) : utilizza NDBBBI ed NDVI;
- index_flaash (5 classi, set multitemporale): utilizza NDVI, TEST, NDBBBI e BUI.

Dal momento che le accuratezze dai suddetti classificatori sono molto simili tra loro e che l'area classificata copre un'area più vasta della maschera di validazione, un'ulteriore analisi visiva è stata condotta anche al di fuori dell'area validata, al fine di meglio comprendere il comportamento di questi tre classificatori.

Alcuni esempi sono riportati in Figura 6.

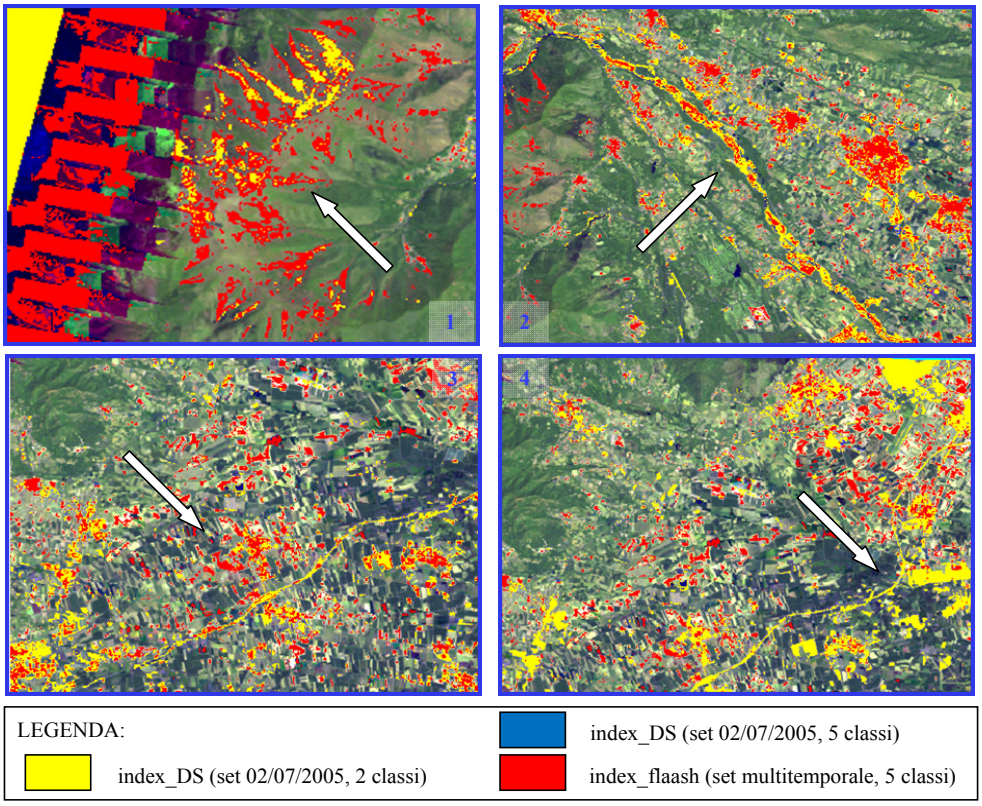



*Figura 6. Comportamento dei 3 classificatori nelle zone d'ombra (1), nelle zone di suolo nudo (2), nelle aree vegetate (3) e lungo le strade (4).*

I classificatori a singola immagine hanno comportamento simile tra di loro nelle zone analizzate e per questo in Figura 6 è visibile solo quello a 2 classi; dalla Figura 6 emerge che il classificatore addestrato con un set multitemporale classifica meglio le zone di suolo nudo (in Figura 6.2 le zone di suolo nudo sono quelle adiacenti al corso d'acqua) includendo meno urbano in questa classe, ma sovraclassifica maggiormente l'urbano nelle zone d'ombra (6.1) e in quelle vegetate (6.3). Per quanto riguarda le strade (6.4), queste non vengono classificate come urbano nel caso multitemporale.

Le regole generate dall'algoritmo che applicate all'immagine hanno fornito i risultati migliori, sono rappresentate nell'albero di Figura 7.

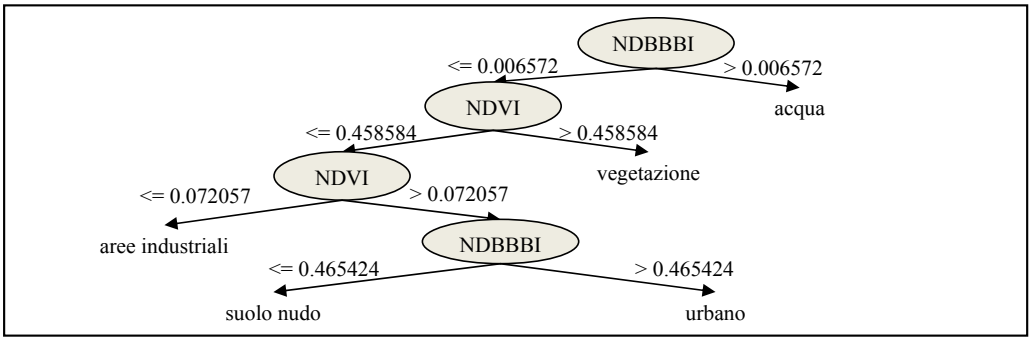



*Figura 7. Regole estratte dal classificatore che ha ottenuto la miglior Overall Accuracy (index_DS: 5 classi, immagine singola del 02/07/2005).*

**Conclusioni e sviluppi futuri**

In questo studio si è valutato in che modo i parametri utilizzati in input al classificatore considerato (Albero decisionale), influenzino l'accuratezza finale delle classificazioni.

I risultati ottenuti mostrano che, mentre alcuni parametri di input condizionano in modo trascurabile il risultato finale (es. il tipo di pre-elaborazione radiometrica applicata all'immagine), altri risultano di fondamentale importanza per il corretto riconoscimento del tematismo (es. indici).

La presenza dell'indice TEST nelle regole di uno dei classificatori risultati più performanti, incoraggia ulteriori investigazioni circa l'opportunità del suo utilizzo.

Lo studio proposto in questo articolo va considerato come il primo *step* di un lavoro più ampio volto all'individuazione automatica delle aree urbane da dati a media risoluzione.

In futuro tale metodologia verrà testata su aree differenti e verrà valutato l'utilizzo di altri parametri di input (es. informazioni tessiturali), nonché di altre elaborazioni da applicare all'immagine (es. tecniche di segmentazione) per favorire l'estrazione di tale tematismo.

**Riferimenti bibliografici**

Baraldi A., Puzzolo V., Blonda P., Bruzzone L., & Tarantino C. (2006), "Automatic Spectral Rule-Based Preliminary Mapping of Calibrated Landsat TM and ETM+ Images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44: 2563–2586

Bouckaert R. R., Frank E., Hall M., Kirkby R., Reutemann P., Seewald A., & Scuse D. (2008), *WEKA Manual for version 3-6-0*, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.

Congalton R. G. (1991), "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data", *Remote Sensing of Environment*, 37(1): 35–46.

Foody G. M. (2002), "Status of land cover classification accuracy assessment", *Remote Sensing of Environment*, 80(1): 185–201.

Gomarasca M. (2004), *Elementi di geomatica*, Edizioni AIT, 422-423

Kohavi, R., & Quinlan, J. R. (2002), "Handbook of data mining and knowledge discovery", *Oxford University Press*

Lee J. I. N. A., Lee S. S., & Chi K. H. (2010), "Development of an urban classification method using a built-up index", *Selected topics in power systems and remote sensing*, 39–43

Quinlan J. R. (1993), *C4.5: Programs for Machine Learning*, M. Kaufmann Ed, California

Shen W., Wu G., Sun Z., Xiong W., Fu Z., & Xiao R. (2011), "Study on classification methods of remote sensing image based on decision tree technology", *International Conference on Computer Science and Service System (CSSS)*, 4058–4061

Zhang X., Friedl M. A., Schaaf C. B., Strahler A. H., Hodges J. C. F., Gao F., Reed B. C., et al. (2003), "Monitoring vegetation phenology using MODIS", *Remote Sensing of Environment*, 84: 471–475

# Il Geoportale europeo INSPIRE parla 23 lingue

Jens Stutte (*), Jens Fitzke (**), Massimo Zotti (*)

(*) Planetek Italia S.r.l., Via Massaua 12, 70132 Bari (BA), Tel. +39 0809644200, stutte@planetek.it
(**) lat/lon GmbH, Aennchenstraße 19, D-53177 Bonn, fitzke@lat-lon.de

**Riassunto**
Lo sviluppo del Geoportale europeo INSPIRE è in piena attività. A settembre 2012 è stato consegnato il secondo prototipo dopo essere stato sottoposto a verifiche di usabilità da parte di esperti di usabilità di diversi paesi. In questo articolo sarà presentata una panoramica del servizio di "interactive discovery" del geoportale, illustrando le peculiarità emerse e tipiche per geoportali di livello europeo.

**Abstract**
The development of this INSPIRE Geoportal is going on. As of this writing, a second prototype has been delivered and based on the two prototypes, usability workshops with experts from several countries have taken place. At the time of the conference, the project will be in a more advanced status. This paper gives an overview of the portal's "interactive discovery" approach, which is quite specific to this European-level geoportal.

**Introduzione**
La Direttiva INSPIRE del 2007 mira a stabilire una "Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità Europea". Essa si basa sulle infrastrutture esistenti negli Stati membri dell'Unione Europea, al fine di fornire l'accesso ai dati territoriali disponibili in formato elettronico dalle Autorità Pubbliche per attività di policy-making in relazione a tutte le politiche e attività che possono avere un impatto diretto o indiretto sull'ambiente. Al fine di rendere questi set di dati territoriali individuabili e accessibili la Direttiva impone agli Stati Membri di istituire servizi di rete INSPIRE per la loro ricerca, visualizzazione, richiesta, download e trasformazione.

La Commissione Europea ha istituito il Geoportale INSPIRE che consentirà l'accesso transnazionale, multilingue e armonizzato ai servizi di rete INSPIRE degli Stati Membri.
Lo sviluppo del Geoportale sarà realizzato dalla Planetek Italia capogruppo di un RTI con la tedesca lat/lon. Gli sviluppi, iniziati nel mese di marzo 2011, dureranno diciotto mesi, al termine dei quali il Geoportale INSPIRE sarà installato in un ambiente di hosting della commissione.
Le specifiche tecniche del Geoportale INSPIRE si basano sull'esperienza acquisita nelle attività di ricerca e di prototipazione dall'unità Spatial Data Infrastructure del Centro Comune di Ricerca (CCR) della Commissione Europea.

Lo sviluppo del Geoportale INSPIRE prevede la realizzazione delle interfacce di integrazione per i servizi di ricerca e di visualizzazione dai portali degli Stati Membri. Un obiettivo è favorire l'armonizzazione delle implementazioni dei geoportali nazionali degli Stati Membri attraverso l'adozione di prodotti open standard e open source.

Per i cittadini europei il Geoportale fornisce l'accesso unico a set di dati territoriali e servizi INSPIRE, integrando i servizi degli Stati Membri e permettendo le ricerche multilingua, il

raffinamento iterativo dei set di risultati di ricerca e la combinazione di set di dati transnazionali nelle mappe utente personalizzate.




*Figura 1. Homepage del Geoportale.*

**Il portale**

La facilità d'uso rappresenta un elemento determinante nel decretare il successo delle applicazioni web orientate ai cittadini. Quindi è stata posta particolare attenzione alla implementazione della funzione di ricerca interattiva.

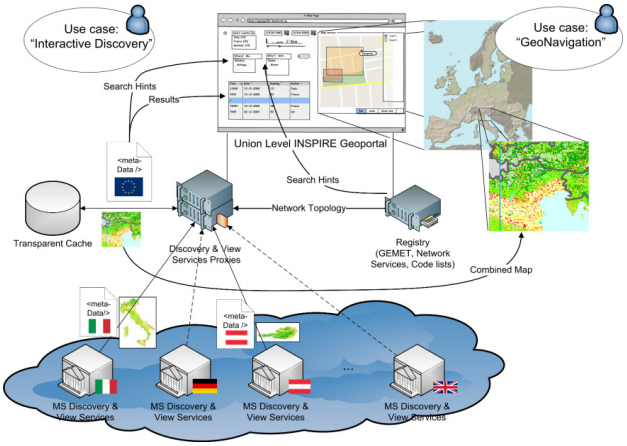



*Figura 2. I principali casi d'uso "Interactive Discovery" e "GeoNavigation".*

Il “discovery” del Geoportale INSPIRE si basa su un "meta-catalogo" che unifica i cataloghi degli Stati Membri sotto un “unico tetto”. Questo meta-catalogo è stato costruito ricercando e raccogliendo le istanze di “Discovery services” degli Stati Membri, registrati nel Geoportale, e contiene quindi i record in almeno 23 lingue ufficiali dell'Unione Europea. Per supportare le “query” sui cataloghi dei metadati in tutte le lingue, il catalogo del Geoportale INSPIRE costruisce un indice di ricerca su una selezione degli elementi di metadati disponibili. Questo indice armonizza i contenuti attraverso dei registri con liste di codici. In questo modo l'interfaccia utente del Geoportale riesce ad offrire un sistema di ricerca di metadati multi-lingua con risultati affidabili.

Un'istanza del catalogueService deegree funziona come punto di accesso centrale ai metadati per l'applicazione web. Inoltre, una seconda istanza di Service Discovery è messa a disposizione del pubblico per ogni tipo di finalità di integrazione SDI.

**UI Design: Interactive Discovery**

Un’analisi dei Geoportali esistenti a livello internazionale ha evidenziato che i siti più graditi dagli utenti raggruppano tutte le funzioni di ricerca su una sola pagina web che che consenta la raffinazione successiva dei risultati di ricerca. Tale caratteristica è definita "Interactive Discovery".

Le attività di Interactive Discovery sono ulteriormente semplificate offrendo alll’utente suggerimenti proposti dal thesaurus e/o da liste di parole chiave:

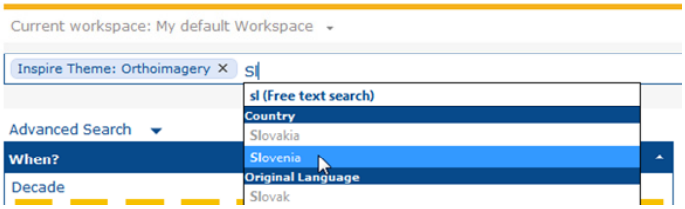



*Figura 3. Suggerimento automatico.*

I suggerimenti che vengono proposti sono forniti nella lingua dell'utente indipendentemente dalla lingua originale in cui sono disponibili i record dei metadati originali:




*Figura 4. Supporto multilingua per i query.*

I risultati che si ottengono dalle attività di ricerca sono indipendenti dalla lingua dell'utente, quindi ricerche identiche effettuate in lingue differenti portano agli stessi risultati:

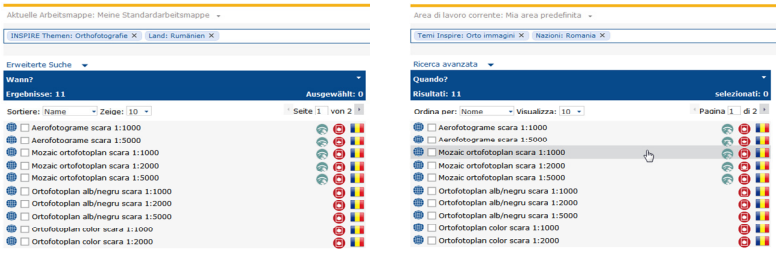


*Figura 5. Risultati di ricerca indipendenti dalla lingua usata.*

In questo modo, l'utente può cercare dati spaziali oltre le barriere linguistiche e quindi in modalità "*cross-border*". I suggerimenti guidano l'utente a strutturare la richiesta in modo coerente con i metadati. L'utente è indotto, attraverso i suggerimenti che gli vengono proposti, a formulare ricerche che sfruttano in modo ottimale la struttura dei metadati. Ciò consente di ottenere una qualità dei risultati nettamente superiore, in termini di coerenza, con i contenuti che l'utente vuole trovare, rispetto ad una ricerca di stile "testo libero" su tutti i campi:

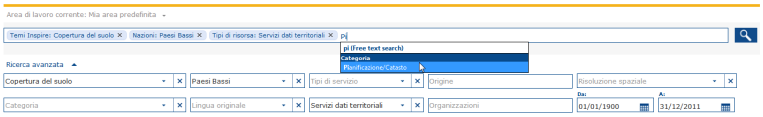


*Figura 6. Suggerimenti riferiti ai campi.*

La navigazione è agevolata dalla visualizzazione contemporanea dei filtri selezionati nella sezione di ricerca avanzata, in sincronia con il campo di ricerca.

L'interfaccia utente di navigazione del Geoportale INSPIRE che restituisce i risultati di ricerca è strutturata in 3 aree:

- una lista alfanumerica che elenca i risultati ottenuti,
- una time line che rappresenta la distribuzione temporale
- un geoviewer che mostra la dislocazione geografica.

Questo aiuta ad inquadrare meglio le tre dimensioni chiave "cosa", "dove" e "quando".
I risultati del cosa, dove e quando sono sincronizzati e modificando uno dei tre parametri automaticamente gli altri si aggiornano.

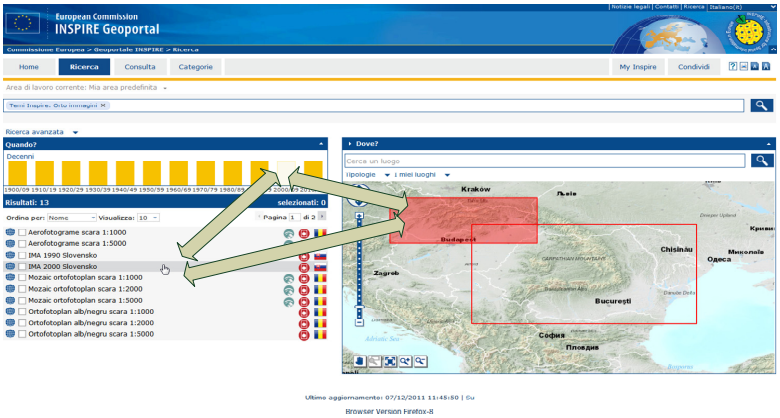


*Figura 7. Interazione tra elementi dell'UI.*

L'utente può raffinare le proprie ricerche via via che gli vengono mostrati i risultati. Ad esempio può definire l'area geografica di proprio interesse interattivamente agendo sul geoviewer con immediato aggiornamento dei risultati nella lista e nella timeline. Quindi può restringere la propria selezione scegliendo i temi INSPIRE di proprio interesse cliccando sull'icona dei temi, e scegliere la tipologia di record ("service", "dataset", "dataset series", "layer") o selezionare lo Stato di proprio interesse attraverso la bandierina del paese:




*Figura 8. Risultati come nuovi parametri di ricerca.*

Un istogramma nella timeline mostra la distribuzione dei risultati all'interno dell'intervallo di tempo a cui afferiscono i risultati della selezione. Questo intervallo è sempre aggiornato dinamicamente e riferito ai filtri della query corrente. Questo istogramma è anche elemento di "input", cliccando su una barra si adegua l'intervallo temporale della ricerca.
L'utente inoltre dispone del conteggio automatico e dinamicamente aggiornato dei risultati della selezione in funzione dei filtri attivi:

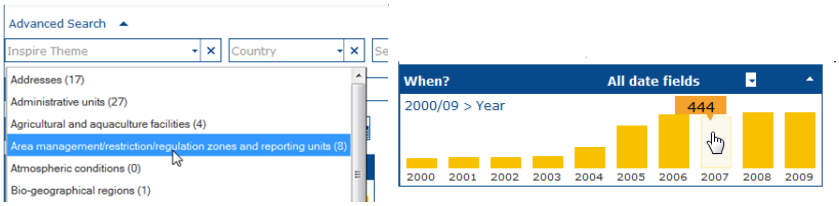



*Figura 9. Conteggio anticipato dei risultati attesi.*

Questa funzione si basa su un estensione apposita del protocollo CSW attraverso una <ogc:Function> e la definizione specifica di schemi di risultati.

**Tecnologia Open Source**
I servizi di base del geoportale sono realizzati basandosi sul framework deegree.
La funzionalità di harvesting dei metadati e la loro messa a disposizione in un database locale funzionale alle ricerche multilingua ha richiesto alcune modifiche al catalogue service.

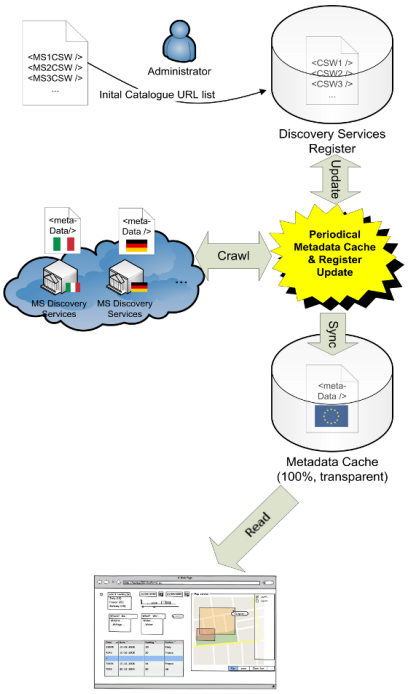



*Figura 10. Il processo del harvesting.*

Durante questo harvesting, i metadati sono sottoposti ad una verifica della correttezza ai sensi delle specifiche INSPIRE ed arricchiti con parole e/o codici chiave in modo indipendente dalla lingua, basato sul thesaurus GEMET, code list register e un "semantic keyword matcher".
L'intero sviluppo del Geoportale è basato sull'adozione di tecnologia open source.
Le tecnologie adottate sono deegree (CatalogueService), Jackrabbit (Registro), GEMET (Thesaurus), GeoNames (Gazetteer), Plone (Web Application) e OpenLayers (Map Viewer). Inoltre, la stessa interfaccia utente del Geoportale sarà rilasciata come progetto open source e gli sviluppi fatti in estensione del progetto deegree saranno messi a fattor comune della stessa community di deegree.

**Conclusioni**

L'intero progetto per lo sviluppo del Geoportale INSPIRE ha puntato sulla centralita dell'utente in coerenza con il modello di Design Thinking. In questo processo i test di usabilità sono stati momenti chiave per il processo di sviluppo Geoportale. L'analisi combinata di feedback statistici raccolti attraverso esercitazioni e questionari, insieme ai feedback individuali e alle tavole rotonde con gli esperti ha permesso di migliorare la comprensione delle problematiche e fornito la conferma di alcuni principi di progettazione, come la validità del completamento automatico come guida alle query strutturate o il perfezionamento continuo di set di risultati in una pagina.
Il Geoportale INSPIRE quindi rappresenta sia un sistema che integra in modo ottimale le migliori tecnologie open source disponibili attualmente che un modello di riferimento nella implementazione di una intefaccia utente che possa fornire agli utenti una esperienza di navigazione semplice e piacevole nonostante la complessità delle basi informative che utilizza.
Per approfondimenti sul Geoportale INSPIRE un'ampia documentazione è disponibile ai seguenti siti web:
INSPIRE website: http://inspire.jrc.ec.europa.eu
Descrizione del Progetto: http www.planetek.it/progetti/geoportale_inspire

# Database topografici e calamità naturali

Luciano Surace

Facoltà di Architettura, CdL Pianificazione della città, del territorio e del paesaggio,
Via Paladini 40, 50053 Empoli (FI), e-mail: luciano.surace@libero.it

**Sommario**
Le dolorose esperienze delle ripetute e "periodiche" catastrofi, che fanno del nostro paese un'area ad elevato rischio permanente, propongono in termini drammatici l'esigenza di poter contare, specialmente nei momenti di emergenza, su un adeguato sistema di informazioni territoriali. Il primo ed efficace passo dell'opera di prevenzione è infatti la conoscenza aggiornata di ciò che deve essere preventivamente difeso: il territorio. Affrontare in "tempo di pace" il problema dei dati territoriali consente di non dover assumere, in "tempo di guerra", il sistematico atteggiamento di impotenza, di fronte ad un sistema informativo anche efficiente nelle componenti umane e tecnologiche, ma inefficace per le carenze della componente informativa, con il conseguente ricorso a soluzioni estemporanee cariche di rischi di sovrapposizione di competenze e di sperpero di risorse. La relazione analizza le molteplici ed efficaci funzioni che i database georeferenziati possono svolgere ai fini della difesa dalle calamità naturali, sia in ambito di prevenzione che nel soccorso immediato e nella successiva fase di ricostruzione. Per quanto attiene alla prevenzione, vengono individuati tre differenti livelli di analisi del territorio, ai quali corrispondono diversi requisiti del sistema informativo. Con riferimento alle operazioni di soccorso e ricostruzione, vengono successivamente esaminate le diverse esigenze alle quali i database topografici devono far fronte nelle varie fasi temporali successive a un evento calamitoso. Si delinea infine l'opportunità di istituire un indicatore sintetico di efficacia (ISE) utile a classificare e quantificare l'effettiva fruibilità di un database topografico per la gestione del territorio anche in situazioni di emergenza.

## Introduzione

Le dolorose esperienze delle ripetute e "periodiche" catastrofi, che fanno del nostro paese un'area ad elevato rischio permanente, propongono in termini drammatici l'esigenza di poter contare, specialmente nei momenti di emergenza, sulla conoscenza del territorio e sulla disponibilità di un'adeguata ed efficace documentazione ed obbligano a riflettere sull'importanza che il fattore tempo riveste nei confronti di tali esigenze. Le calamità, talvolta annunciate, hanno determinato nell'opinione pubblica una maggiore sensibilità verso la problematica della prevenzione dei rischi sul territorio; esse, nel contempo, hanno accresciuto la consapevolezza che sono causa di disastri non solo i fenomeni naturali - o quasi - come i cicloni e i nubifragi, le alluvioni, le frane, le eruzioni vulcaniche, i terremoti, i maremoti, i bradisismi, ma anche l'uso distorto ed incontrollato delle risorse, l'abbandono dell'agricoltura di collina, l'irrazionale e prolungato disboscamento, gli inquinamenti del suolo, delle acque e dell'atmosfera, i rilasci radioattivi, l'espansione urbana su aree di riconosciuta instabilità geologica e di pertinenza fluviale, con insediamenti che hanno occupato l'area pedemontana e le pianure dei primitivi nuclei storici, l'incontrollata cementificazione degli alvei e del suolo e la conseguente impermeabilizzazione, il progressivo abbandono delle zone di montagna, il tutto non sufficientemente compensato da azioni correttive e di controllo del territorio. Le ricorrenti catastrofi idrogeologiche sono certamente favorite dalla fragilità geomorfologica del territorio nazionale, caratterizzato da una configurazione fortemente corrugata, complessa e talora caotica, nonché dalla frequente presenza di formazioni e coperture detritiche con parametri geotecnici scadenti e con accentuate pendenze dei corsi fluviali. In queste

condizioni, all'arrivo di eventi meteorologici avversi, alluvioni e frane diventano un rischio generalizzato. Se per alcuni di questi fenomeni non possiamo che essere testimoni impotenti, per altri l'uomo, e il tecnico in particolare, ha dato un rilevante contributo al loro verificarsi. Questa prassi in molti casi ha alterato il già precario equilibrio delle reti idrologiche di superficie, opere che furono realizzate nel corso di molti secoli e che i nostri avi ci hanno consegnato ancora efficienti. Si è trattato di scelte dettate non solo da imprevidenza, ma soprattutto da speculazione e malaffare. Troppo spesso ci si è dedicati a interventi dissennati di diversa matrice: privati che hanno perseguito interessi miopi e dettati dall'interesse immediato, pubblici amministratori e politici che non hanno saputo o voluto prevedere la "capacità di carico" dei sistemi naturali, che non hanno pianificato il corretto uso del territorio e che, quando c'erano le leggi idonee, le hanno disattese. Se a questo preoccupante scenario si aggiungono gli effetti indotti dal surriscaldamento complessivo della Terra che, accelerando il ciclo dell'acqua, rende più frequenti e intensi gli eccessi meteorologici, il quadro, purtroppo, è almeno allarmante e per i prossimi anni c'è da aspettarsi un'emergenza pressoché continua.
Le aree metropolitane di Napoli e Genova sono un tipico esempio di questa situazione di rischio. Nell'hinterland di Napoli l'esplosione urbanistica non ha risparmiato neppure le pendici del Vesuvio che pur incombe minaccioso su quasi un milione di abitanti. L'immagine (fig. 1) della brulicante diffusione di centri urbani e case sparse che assediano il vulcano da ogni lato, sgomenta.



*Figura 1. Vista prospettica dell'area del Vesuvio*[1]

[1] Per gentile concessione di Blom CGR SpA

Il Vesuvio, infatti, sta attraversando solo un periodo di quiete della sua millenaria attività, ma sembra persa la memoria storica delle ultime eruzioni. In proposito è sufficiente ricordare l'eruzione del 79 dopo Cristo che, distruggendo ricche e importanti città come Pompei, Ercolano e Stabia, raggiunse il mare in brevissimo tempo senza lasciare alcuna possibilità di fuga a quanti popolavano quell'area. Con un recente modello fisico-matematico i vulcanologi hanno simulato le possibili caratteristiche di un'eventuale eruzione del Vesuvio. Secondo questo modello si prevede che in soli cinque minuti i flussi piroclastici incandescenti generati dal collasso dei materiali eruttati ad alta velocità, possano raggiungere località distanti sette chilometri dall'asse del cratere e che il peso delle ceneri possa far crollare i tetti delle case nel raggio di molte decine di chilometri.
Nel campo delle calamità idrogeologiche una ricorrenza che dobbiamo ricordare è certamente il 4 novembre. Per quelli della mia generazione, è una data che rappresentava un giorno di festa. Era la festa della Vittoria e delle Forze Armate, in memoria ed in rispetto dei lutti che portarono a quel novembre 1918, giorno della vittoria, anche italiana, della prima guerra mondiale. Era dunque un giorno di festa, quella mattina del 4 novembre 1966, in cui si scatenò l'alluvione di Firenze. Si contarono, purtroppo, 34 morti, in fondo un numero contenuto in rapporto alle dimensioni della catastrofe (Fig. 2).

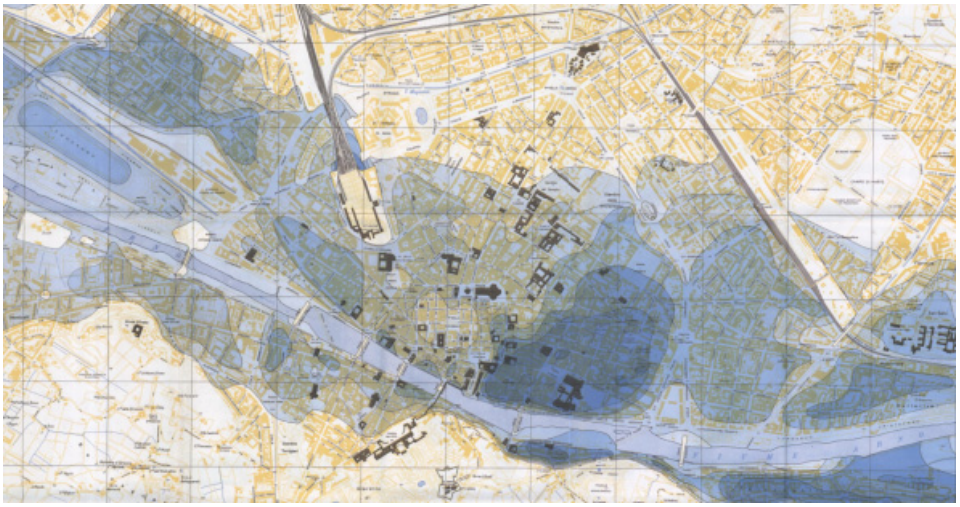


*Figura 2. Stralcio della pianta di Firenze con la perimetrazione delle aree alluvionate*[2]

Non era un giorno di festa il 4 novembre 2011, a Genova. E si è vista la differenza, purtroppo. Un evento alluvionale molto più contenuto di quello del 1966 ha registrato 6 vittime, che si vanno ad aggiungere a quelle che la settimana prima i territori della Lunigiana e di La Spezia avevano subito. Eccezionalità dell'evento, così si sono espressi i mezzi di comunicazione, dimentichi che in idraulica un evento è da considerare eccezionale se il tempo statistico di ritorno è superiore a 500 anni. Nel 1970, solo 41 anni prima, lì, a Genova, nello stesso posto del 4 novembre 2011, si era verificato lo stesso tipo di evento. Altro che eccezionalità: un evento che si verifica con frequenza inferiore a 50 anni deve essere considerato ordinario. Genova è interessata quasi ogni anno da alluvioni più o meno gravi, i cui effetti sono una diretta conseguenza dell'intervento umano su un territorio particolarmente accidentato e difficile: la città detiene il primato europeo per piovosità concentrata nelle ventiquattro ore, sia nell'arco del diciannovesimo che del ventesimo secolo. Si consideri che a Genova circa quaranta corsi d'acqua sono "intubati" sin dal Medio Evo; tra questi anche importanti torrenti, come il Bisagno, il cui tratto finale è stato completamente coperto. Ora le

[2] Dai tipi dell'Istituto Geografico Militare - www.igmi.org - Autorizzazione n. 6692 del 12.09.2012

sue acque passano sotto gli ampi viali dei quartieri Marassi, Foce, San Martino e Brignole, densamente popolati. L'urbanizzazione e la conseguente impermeabilizzazione determinano una drastica riduzione dei tempi di corrivazione delle reti di deflusso; scrivevo 10 anni fa che i pericoli di alluvione non possono essere considerati soltanto un'inevitabile fatalità: gli eventi dello scorso anno mi hanno dato purtroppo rattristante ragione (Fig. 3).



*Figura 3. Alluvione di Genova – novembre 2011.*

Si impone perciò un'attenta politica di prevenzione per non perseverare in scelte che con il tempo potrebbero rilevarsi causa scatenante di eventi sempre più nefasti e per studiare le possibili soluzioni alternative che consentano di non mortificare progresso e sviluppo. E' a tutti evidente che un'efficace difesa dalle catastrofi, sia naturali sia indotte da attività antropica, implica sempre, a monte delle decisioni in merito agli interventi di protezione, un'esauriente, corretta e aggiornata conoscenza del territorio. Necessariamente le informazioni devono essere organizzate in banche dati efficienti, progettate in modo da consentire sia un organico e facile accesso, sia la possibilità di evidenziare ed estrarre gli aspetti tematici di volta in volta più significativi. Fondamentale è la necessità che tutte le informazioni siano il più possibile certe, aggiornate e omogenee, che interessino l'intero territorio nazionale senza soluzioni di continuità e in un unico sistema di riferimento condiviso da tutte le pubbliche amministrazioni, come oggi è d'altra parte prescritto dalla legislazione vigente (DPM 10 novembre 2011 – Adozione del Sistema di riferimento geodetico nazionale). Nella fase di acquisizione e conservazione di conoscenze, è ben evidente il ruolo essenziale dei database georeferenziati come base informativa. Altrettanto fondamentale è la loro funzione ai fini dello studio degli interventi preventivi. Un approccio non emotivo ai problemi creati dalle emergenze impone dunque la definizione di modelli organizzativi degli interventi che evitino il ricorso a soluzioni estemporanee cariche di rischi di inefficacia, di sovrapposizione di competenze e di sperpero di risorse; è dunque indispensabile un'efficace opera di prevenzione applicata al territorio in grado di annullare o minimizzare i rischi e rendere di conseguenza non più necessari o minimi gli interventi di emergenza; il primo e fondamentale passo è la conoscenza aggiornata di ciò che deve essere preventivamente difeso: il territorio. Sotto l'aspetto della tempestività ed efficacia degli interventi, la cognizione immediata e precisa dei dati e delle situazioni sulle quali occorre operare è di importanza decisiva, poiché l'efficacia

dell'organizzazione dipende in modo determinante dalla preventiva individuazione delle necessità e dei problemi che possono nascere e dalla possibilità di fornire aiuti specifici al momento opportuno e nei luoghi in cui vi sia più effettivo bisogno. La difesa e la conservazione del territorio e dell'ambiente divengono pura utopia se non si dispone di un adeguato strumento conoscitivo, preventivo e successivo all'evento. Senza di esso continueremo ad assistere a tutte quelle situazioni di anormalità in più occasioni denunciate dagli organi di informazione anche a seguito di gravi eventi (insediamenti industriali che violano l'equilibrio degli ecosistemi, insediamenti residenziali sorti e sviluppati sulle falde di vulcani, alle pendici di costoni rocciosi, in zone franose, all'interno dei boschi o a quote inferiori al letto dei fiumi ecc.).

**Quali modelli di intervento?**

Gli interventi di protezione vengono normalmente distinti tra strutturali e non strutturali. Sono interventi strutturali quelli che permettono di ottenere un controllo dei fattori di rischio mediante un'attività di modificazione del territorio. Possono agire, a seconda dei casi, in due direzioni diverse, ma entrambe efficaci:

- diminuzione del rischio (tendenza a ridurre la probabilità che un evento calamitoso si verifichi;
- protezione dal rischio (riduzione della probabilità di danneggiamento per un dato evento calamitoso).

Gli interventi strutturali possibili sono ovviamente proporzionali alle risorse disponibili, per cui è necessario pianificarli adeguatamente: non è possibile proteggere tutto contro qualunque livello di rischio. In sede di progettazione di interventi strutturali, a qualunque livello, la funzione dei database topografici è evidentemente essenziale. In Italia, all'indomani di una catastrofe idrogeologica, di norma viene montata una "macchina" costosissima destinata a produrre "interventi strutturali", ossia opere in gran parte di natura idraulica (argini, pennelli, canalizzazioni in genere) e di sostegno (muri; palificate, ecc.); tali opere non hanno vita lunga, o almeno commisurata al loro costo e, di solito, non ottengono risultati atti a modificare le cause dei dissesti, in quanto sono mirate a controllare solo alcune manifestazioni (Fig. 4).



*Figura 4. Intervento strutturale a seguito di una frana che nel 2010 ha interrotto per alcuni giorni la SS 632 – loc. Pracchia (PT)*

Invece è opportuno realizzare e potenziare gli "interventi non strutturali", atti a prevenire i dissesti, con un costo minore rispetto ai primi. Essi possono articolarsi nelle seguenti categorie:

1. favorire comportamenti delle pubbliche amministrazioni e dei privati atti a prevenire i dissesti e/o a evitarne le cause: ad esempio, la pianificazione territoriale vigente va fatta osservare e in particolare bisogna esercitare un severo controllo delle nuove costruzioni; spesso vengono realizzati fabbricati e infrastrutture in aree caratterizzate da elevata probabilità di inondazione o su pendici predisposte ai franamenti; i frequenti condoni edilizi sono andati in senso opposto a quanto qui auspicato. Merita accennare in particolare alla necessità che negli strumenti urbanistici comunali o provinciali vengano adeguatamente valutati i rischi geologici, cosa che non sempre avviene perché non tutte le normative regionali richiedono tali valutazioni, oppure perché tali rischi vengono sottovalutati; eppure i mezzi per una corretta valutazione ci sono, se consideriamo che oltre alle norme a livello locale si deve fare riferimento anche alla pianificazione di bacino;
2. redigere piani di emergenza per la protezione civile che coprano l'intero territorio soggetto a rischio: attualmente questi piani sono predisposti "a macchia di leopardo". Occorre perfezionare e completare quelli esistenti, verificando, ad esempio, l'indicazione dei luoghi in cui raccogliere le popolazioni evacuate e svolgendo le necessarie esercitazioni preventive. La base per la redazione di tali piani non può che essere un adeguato database topografico;
3. sviluppare gli aspetti relativi all'informazione, formazione, educazione in modo capillare e in tutti gli strati sociali, poiché si è visto, in ogni occasione, che la cultura del rischio, sia a livello di base che a livello tecnico, manca o è carente.

Gli interventi non strutturali non comportano modificazioni del territorio. Essi non mirano a diminuire la probabilità di un evento o dei danneggiamenti di cose o luoghi, ma consistono in attività volte all'incremento delle conoscenze sui fenomeni che possono dar luogo a calamità, alla creazione di affidabili sistemi di previsione e al miglioramento delle relazioni con le popolazioni residenti nei luoghi a rischio: realizzano, in sostanza, una protezione di tipo indiretto. In tale contesto il database topografico è classificabile come la madre di tutti gli interventi non strutturali e di fondamentale importanza, ad esempio, nella formazione di inventari aggiornati delle aree vulnerabili, ovvero nella cosiddetta "zonazione dei rischi", essenziale nella pianificazione di opere quali nuovi insediamenti o vie di comunicazione; se accuratamente eseguita essa riduce il rischio nel modo più efficace. Indipendentemente dal tipo di rischio o di calamità, si può suddividerne il ruolo dei database topografici in livelli corrispondenti a diverse esigenze di conoscenza e di indagine. In generale il tempo entra nella problematica dei database topografici in quanto gran parte dei dati e dei parametri che descrivono il territorio, siano essi geometrici o geofisici, biologici o antropici, si modificano con esso. Si tratta per lo più di variazioni lente che si traducono in un graduale invecchiamento dei dati e dei documenti che in vario modo li rappresentano, e richiedono perciò una costante opera di aggiornamento. Ma oltre che nel produrre variazioni lente, il tempo entra nella tematica in questione anche producendo modificazioni od a volte alterazioni improvvise, come nel caso di calamità. In questo caso la problematica della conoscenza del territorio si presenta in maniera atipica e va affrontata con la massima concretezza possibile; essa può essere scissa e analizzata secondo quattro esigenze fondamentali, differenziabili cronologicamente:

- conoscenza della situazione preesistente alla calamità;
- conoscenza in tempo "reale" della situazione territoriale immediatamente successiva alla calamità, per la pianificazione dei soccorsi e delle urgenze;
- conoscenza del territorio in tempo "quasi reale" per la pianificazione dei primi interventi di ricostruzione e di eventuale dislocazione provvisoria degli insediamenti;
- conoscenza del territorio in tempo "differito" per la pianificazione definitiva degli interventi di ricostruzione o di normalizzazione.

Nel seguito si analizzeranno con maggior dettaglio le esigenze cui il database topografico deve far fronte nelle quattro fasi temporali sopra individuate.

**I database topografici nella prevenzione**

Come già anticipato nell'introduzione, un corretto ed aggiornato sistema informativo territoriale è un sussidio fondamentale nell'opera di prevenzione delle calamità, in quanto base indispensabile per prevenire, nei limiti del possibile, i rischi del territorio. Va rilevata, innanzitutto, l'importanza di poter disporre di un database topografico omogeneo ed aggiornato, come punto di partenza per qualunque analisi sul territorio o per la progettazione degli interventi di protezione. Entrando nel dettaglio dello studio dei fenomeni naturali che possono dar luogo a dissesti idrogeologici, è evidente come il ruolo maggiore venga giocato dalla capacità di mettere in risalto, caso per caso, gli aspetti più significativi per la descrizione dei fenomeni stessi ai fini della prevenzione. Non un database topografico ad hoc per le calamità, ma un accesso ad hoc sempre disponibile in tempo reale. Ai fini pratici, è necessario definire la quantità e la qualità degli strumenti informativi di supporto alla redazione di piani operativi ed in generale degli strumenti conoscitivi necessari. Per quanto riguarda la conoscenza della situazione preesistente, si ripropone una problematica che è ormai nota a chiunque si occupi di informazioni territoriali, o ne faccia, anche marginalmente, uso: quella dello stato di aggiornamento delle informazioni stesse. Si tratta di un problema generale, che risulta però particolarmente sentito nelle zone "a rischio" nelle quali il possesso di dati aggiornati sullo stato di edificazione, sulla viabilità e sulle infrastrutture in genere, può risultare fondamentale per la pianificazione degli interventi, sia nella fase di prevenzione che in quella di soccorso (ad esempio, per la realizzazione di efficaci piani di evacuazione). Per queste finalità risulta senz'altro preferibile un database topografico aggiornato con criteri di economia e celerità (anche se in certa misura a scapito della precisione metrica) a uno di ottima qualità ma non aggiornato da decenni.



*Figura 5. Stralcio della "Carta della viabilità per i primi interventi" –scala 1:250000 realizzata dal TCI in occasione del sisma del 1980 nell'Italia Meridionale.*

Per valutare le capacità di risposta di un sistema informativo alle esigenze di conoscenza efficace del territorio è opportuno istituire un Indice Sintetico di Efficacia (ISE) utile a classificare il livello di aggiornamento e completezza delle informazioni disponibili. Pur nella disomogeneità quasi intollerabile presente nel panorama nazionale, che va da coperture solo cartografiche digitalizzate in formato raster (in pratica fotocopie digitali delle carte di carta senza alcuna organizzazione dei dati) alla cartografia numerica e ai database topografici a varie scale nominali, anche solo per avere una quantificazione di massima della qualità dei dati, si possono assumere le seguenti ipotesi, derivate da analoghe classificazioni e linee guida esistenti in ambito internazionale:

- un'informazione georeferenziata presenta il massimo di efficacia al momento del suo inserimento nel sistema informativo, dopo il tempo tecnico di acquisizione, elaborazione e verifica;
- l'efficacia decresce con il passare del tempo e necessita di cicli di aggiornamento, in attesa di un processo, ancora da istituire, di aggiornamento continuo;
- la cadenza dei cicli di aggiornamento dipende ovviamente, oltre che da realistiche considerazioni economiche, dalla risoluzione (la scala di un tempo) del sistema informativo; la frequenza necessaria è certamente tanto più elevata quanto più grande è la risoluzione (o la scala o la scala nominale);
- un valore accettabile e ampiamente condiviso di cadenza limite di aggiornamento per un territorio industrializzato e fortemente popolato, come il nostro, può essere posto pari a 10 anni per scale nominali 1:5000 o minori e pari a 5 anni per scale maggiori;
- in presenza di evoluzioni normali del territorio, si può adottare un modello lineare di obsolescenza tale per cui ogni anno l'informazione perde mediamente dal 10% al 20% della sua efficacia;
- dopo 10 (5 per grandi e grandissime scale) anni l'informazione è da considerare inefficace e talvolta capace di produrre un incremento dei rischi da errori nella pianificazione degli interventi;
- il parametro ISE assume valori da 0 (inefficacia) a 1 (efficacia totale).

In termini numerici si avrà:

$$ISE = \frac{1}{L}\left(L - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n}\Delta a_i\right) \qquad \text{per} \qquad \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n}\Delta a_i \le L$$

$$ISE = 0 \qquad \text{per} \qquad \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n}\Delta a_i > L$$

dove

$\Delta a_i$ [anni] = anno di impiego – anno di produzione dell'*i-mo* elemento del database

n = numero degli elementi esaminati

L [anni] = cadenza limite di aggiornamento (10 per piccole e medie scale, 5 per grandi e grandissime scale)

Se si calcolasse il valore dell'indicatore per i vari sistemi di informazioni territoriali esistenti a livello nazionale e locale, si ricaverebbero indicazioni quanto meno preoccupanti e, in alcuni casi non marginali, da allarme rosso.

Esaminando a fondo le attività di prevenzione, risultano individuabili tre differenti livelli di analisi territoriale su cui basare l'indagine conoscitiva e la redazione dei piani operativi. A ciascun livello corrisponde un adeguato sistema informativo e definiti metodi di rilevamento. La classificazione ipotizzata è la seguente:

a) Sistema informativo di primo livello o di riconoscimento

Il database topografico che meglio si presterebbe allo scopo è quello alla scala nominale 1:50.000, sia dal punto di vista del campo abbracciato dai sottoprodotti cartografici (un foglio 1:50000 copre circa 600 $Km^2$), sia da quello delle precisioni altimetriche (punti quotati e curve di livello). Gli strumenti per questo livello di indagine devono consentire l'inquadramento geografico complessivo del fenomeno da analizzare e l'individuazione morfologica generale delle zone presumibilmente soggette a rischio. Deve essere inoltre possibile una individuazione di massima delle strutture e delle infrastrutture principali (aree industriali, centri abitati, etc.) interne all'area di previsto rischio.

b) Sistema informativo di secondo livello o di lavoro

Il database topografico che meglio si presterebbe allo scopo varia, in funzione delle più o meno accentuate variazioni altimetriche presenti nelle zone di interesse, da quello a scala nominale 1:25.000 a quello 1:5.000, purché aggiornati dal punto di vista informativo ed eventualmente integrati da quello metrico. Gli strumenti per questo livello devono consentire la delimitazione delle aree vulnerabili e la ripartizione in classi di pericolosità; nell'ambito di tali classi deve poi essere

possibile individuare e differenziare le qualità del rischio, localizzare le strutture di interesse specifico (es. gli argini nel rischio di inondazioni). In ogni caso è auspicabile che le informazioni altimetriche contribuiscano alla generazione di un omogeneo modello digitale del terreno che, completato con le necessarie integrazioni a terra, è l'unico strumento efficace per un'analisi corretta di estesi fenomeni e per realizzare una modellistica che consenta la simulazione degli eventi.

c) Sistema informativo di terzo livello o di dettaglio

Mentre la documentazione relativa al primo livello deve comunque essere allestita per tutto il territorio nazionale e quella del secondo livello per le aree definite come vulnerabili, quella relativa al terzo livello potrebbe essere predisposta solo nelle aree dove le caratteristiche morfologiche e/o le qualità del rischio lo richiedano. Nelle zone ove la particolare morfologia necessita, per una corretta modellistica, di una risoluzione altimetrica e/o planimetrica spinta, così come nelle zone a elevata qualità del rischio per il tipo di strutture e infrastrutture presenti, si deve realizzare un apposito strumento, individuabile nel database topografico alla scala nominale 1:2000. Il modello preso in considerazione come esempio è quello del database topografico a grande scala (1:2.400) redatta in simili situazioni dall' Army Corps of Engineers degli Stati Uniti (fig. 6). Si tratta di una carta di previsione del livello di esondazione lungo un tratto del fiume Cohocion, soggetto a frequenti esondazioni, distribuita agli abitanti della zona. L'utente, informato da una corposa legenda di istruzioni, è invitato a:

- prendere nota di dettagliate procedure da mettere in atto prima dell'esondazione, all'annuncio della fase di emergenza, durante e dopo l'evacuazione e nel caso di isolamento forzoso nella propria abitazione;
- individuare la propria abitazione sulla carta;
- stimare il livello delle acque che potrebbe interessare la proprietà e le procedure di evacuazione;
- ascoltare gli annunci diffusi dai media e iniziare le procedure di emergenza o attendere l'evoluzione delle previsioni.

Gli obbiettivi di uno strumento di questo tipo sono quelli della definizione di modelli di dettaglio per l'analisi spazio – temporale del fenomeno e per la valutazione puntuale del rischio e della sua evoluzione. Dopo aver predisposto lo strumento di base alla scala nominale opportuna, debitamente aggiornato, e il modello digitale del terreno, è necessario procedere alla localizzazione dei fenomeni in studio e alla definizione delle aree vulnerabili, con opportuna graduazione per livello di rischio. A tale scopo risulta spesso di grande utilità l'operazione di fotointerpretazione, eseguita ovviamente da specialisti dello specifico settore in cui rientra il fenomeno da descrivere. Il modello digitale permette poi di affinare la definizione dei meccanismi con cui gli eventi studiati si verificano. Sia per l'integrazione degli strumenti disponibili che per l'allestimento di quelli di nuovo impianto, è necessaria una dettagliata analisi preliminare, che, escludendo strumentazioni e metodologie di modesta affidabilità, preveda il ricorso a tecniche digitali e ortofotografiche integrative dei tradizionali metodi di rilievo. Molto spesso è anche utile approfondire la conoscenza storica dei fenomeni attraverso l'analisi diacronica delle documentazioni esistenti per ciascuna area di interesse. Uno dei primi obiettivi individuati nei riguardi della prevenzione idrogeologica è stato ed è quello di costituire un "archivio delle aree vulnerabili": è evidente che uno dei metodi più efficaci per una tale archiviazione è senza dubbio l'elaborazione tematica del database topografico. Nei riguardi dei fenomeni di esondazione va comunque considerato che già la morfologia dei terreno costituisce un parametro essenziale ai fini della vulnerabilità. Dal punto di vista della fotointerpretazione delle frane le riprese aerofotogrammetriche più antiche risultano maggiormente significative rispetto a quelle più recenti, in quanto all'epoca delle prime il territorio risentiva assai meno di oggi delle trasformazioni operate dagli interventi umani (come ad esempio la coltivazione intensiva meccanizzata, o la realizzazione di ingenti movimenti di terra). Aspetti morfologici quali nicchie di distacco, topografia tormentata e accumuli di detriti sono maggiormente visibili sulle "vecchie" foto che su quelle più recenti.




*Figura 6. Esempio di carta di previsione delle inondazioni.*

Una carta "inventario" è la più semplice forma di carta tematica sulle frane: il suo scopo è quello di registrare la dislocazione sul territorio delle frane che hanno avuto effetti riconoscibili. Delle frane viene riportata la perimetrazione (con accuratezza compatibile con la risoluzione di acquisizione) e la classificazione in base ai criteri di pericolosità, rischio e danno prevedibili. L'inventario delle frane si presta a svariate utilizzazioni: dagli studi sull'evoluzione dei versanti, alla valutazione di massima del grado di rischio nella pianificazione territoriale e nella progettazione di infrastrutture, allo studio delle relazioni tra franosità e caratteristiche litologiche e geomorfologiche. Una migliore conoscenza della geomorfologia, dell'idrografia, della viabilità veicolare e pedonale, della dislocazione di edifici ed infrastrutture umane, della copertura vegetazionale, è fondamentale per valutare l'entità dei fattori di rischio, per attuare interventi volti a ridurre la "vocazione" dei siti alla franosità e alle esondazioni, per dislocare le risorse disponibili, per conferire efficienza ed efficacia agli interventi, infine per pianificare le operazioni di ripristino ambientale nelle aree colpite.

**I database topografici nel soccorso**

L'emergenza che immediatamente segue un evento calamitoso necessita di adeguati strumenti conoscitivi del territorio per uno sfruttamento ottimale delle risorse disponibili rispetto al tempo di impiego delle stesse. La conoscenza in tempo "reale" della situazione nell'immediato post-calamità pone problemi di efficienza, di tempestività e di potenzialità delle strutture impegnate, cioè problemi soprattutto organizzativi e gestionali. Dal punto di vista tecnico si può facilmente affermare che l'unica risposta valida alle esigenze di conoscenza immediata è rappresentata dalle riprese da piattaforma aerea e/o satellitare nelle varie bande dello spettro. Nei casi di emergenza vengono spesso necessariamente a cadere molti dei criteri di ottimizzazione normalmente adottati nella realizzazione delle riprese aeree, quali la scelta della stagione e delle condizioni atmosferiche più opportune per inclinazione della luce solare e per copertura di vegetazione. Certo la documentazione fotogrammetrica, indubbiamente la più veloce da acquisire, trova i suoi limiti di efficacia in due aspetti ben noti: la mancanza di una metrica costante e la difficoltà di lettura da parte di chi non possegga almeno gli elementi di base della fotointerpretazione. Alla luce di queste considerazioni si può prendere in esame la possibilità di realizzare un aggiornamento dinamico del database topografico, che pur caratterizzato da una accuratezza metrica inferiore a quella normalmente accettata, può comunque generare un documento cartografico di leggibilità ben superiore a quella dei fotogrammi e può costituire un supporto comunque efficace nella fase del primo intervento. Un prodotto fotogrammetrico è una documentazione che si può ottenere in brevi tempi, ma ha lo svantaggio di necessitare della fotointerpretazione; è' quindi opportuno che, nell'équipe di chi è preposto alla gestione dell'emergenza, sia sistematicamente prevista la presenza di specialisti di fotointerpretazione, dato che l'esperienza ha mostrato che nelle emergenze il ricorso

alla fotogrammetria aerea è sistematico. Una possibile alternativa alla fotogrammetria è rappresentata dal telerilevamento da satellite con sensori ad elevatissima risoluzione. Questa possibilità appare particolarmente interessante per le zone raggiungibili con maggiori difficoltà o situate in nazioni dotate di modeste attrezzature di protezione civile. In relazione al possibile impiego del telerilevamento satellitare, va comunque osservato che, in presenza di copertura nuvolosa o nei casi di eruzioni o altre calamità con grande produzione di fumo, la tecnica stessa non è in grado di fornirci alcuna informazione. Un altro limite del telerilevamento nei confronti della ricognizione o della fotogrammetria aerea è costituito dal fatto che il satellite è in grado di fornirci le immagini quando passa sulla zona e non sempre nel momento di maggior interesse; ciò rende il metodo più adatto a documentare eventi calamitosi a decorso relativamente lento, come ad esempio i fenomeni di inquinamento marino su zone di grande estensione. In ogni caso risultano fondamentali le attività di monitoraggio e di documentazione dell'evoluzione dei fenomeni. Per il primo tipo di intervento è evidente l'importanza ai fini della decisione degli interventi di protezione civile più immediati (evacuazione di popolazione, sgombero di edifici, ecc.), mentre altrettanto importante è l'operazione di aggiornamento delle informazioni: il possesso di dati aggiornati a grande risoluzione e immediatamente riproducibili e distribuibili, anche se realizzate in modo speditivo e quindi necessariamente con qualità metriche inferiori a quelle ordinarie, è essenziale sia per gli spostamenti "sul campo" delle forze di protezione civile, sia per la progettazione degli interventi con cui si cerca, ad esempio, di contrastare le esondazioni o domare i flussi lavici (realizzazione di argini, barriere, canali artificiali, ecc., con impiego di grossi macchinari da cantiere, elicotteri ed esplosivi).

**I database topografici per la pianificazione dei primi interventi**

L'aspetto delle conoscenza in tempo "quasi reale" rappresenta il nodo centrale delle risposte di un sistema informativo: all'esigenza di conoscere in tempi brevi ed in maniera organica la situazione territoriale, la prima efficace reazione è costituita, come si è detto, dalle riprese aerofotogrammetriche della zona coinvolta nel disastro. Nel corso degli anni le tecniche di ripresa si sono evolute: alle riprese eseguite con apparati convenzionali, oggi comunque digitali, se ne affiancano altre effettuate con teste multispettrali, in grado di darci informazioni più ricche e suscettibili di approfondimenti ed interpretazioni. A questo proposito va peraltro osservato che quanto più sofisticato è il documento prodotto, tanto più competente dovrà essere l'utente: la documentazione ricavabile con immediatezza da sensori fotogrammetrici e/o multispettrali e iperspettrali, indubbiamente la più veloce da acquisire, trova i suoi limiti di efficacia in due aspetti ben noti: la mancanza di una metrica costante e la difficoltà di lettura da parte di chi non possegga almeno gli elementi base della interpretazione dei dati. È necessario quindi fornire in breve tempo agli operatori presenti in loco, un documento metrico di più facile leggibilità e riproducibilità rispetto alle "immagini". Quest'ultimo aspetto, la riproducibilità, non è da sottovalutare, giacché la documentazione per "immagini", velocemente acquisita, segna il passo allorché si affronta il problema della riproduzione analogica necessaria in emergenza. L'esperienza nel settore del rilevamento territoriale e ambientale ed in particolar modo nella tempestiva documentazione aerofotogrammetrica dei principali eventi calamitosi verificatisi in Italia nell'ultimo cinquantennio, consente di individuare un possibile modello di organizzazione degli interventi tecnici conoscitivi, fotogrammetrici, topografici e cartografici. Esso fa ricorso all'uso della fotogrammetria diretta, delle ortofoto digitali, di rilievi LIDAR e di tecniche di posizionamento satellitare per l'inquadramento e la localizzazione dei fenomeni calamitosi. Con tali tecniche, correttamente impiegate, è possibile una previsione affidabile dei rischi, una stima corretta dei danni, una pianificazione razionale, tempestiva ed efficace delle operazioni. Mentre il GPS ha semplificato e migliorato il posizionamento diretto, la fotogrammetria digitale associata a GPS e sistemi inerziali ha semplificato e migliorato il posizionamento indiretto, consentendo la determinazione diretta dei parametri di orientamento esterno dei fotogrammi. I sistemi di Laser-scanning aerotrasportati consentono infine una veloce e accurata costruzione del modello digitale del terreno e la

conseguente produzione standardizzata di ortofoto digitali. Queste ultime rappresentano indubbiamente lo stadio più recente dell'evoluzione delle metodologie di rappresentazione del territorio; si impongono, per efficacia, rapidità ed economicità, come strumento utile per la costituzione, l'integrazione e l'aggiornamento di un database topografico. Le ortofoto digitali sono in sintesi porzioni o mosaici di fotogrammi aerei oggi digitali, un tempo digitalizzati, geometricamente corretti per le distorsioni causate dalla variabile morfologia del terreno e dalla prospettiva centrale tipica della fotografia. In termini particolarmente semplificativi si può dire che nella proiezione centrale, costituita da un fotogramma, ciascun particolare si presenta in una posizione planimetricamente scorretta rispetto alla proiezione ortogonale costituita dalla carta; tale spostamento planimetrico deriva fondamentalmente da due cause: la prima è l'inclinazione del fotogramma rispetto al piano orizzontale (o dell'asse ottico rispetto alla verticale); la seconda e più grande causa di spostamento dell'immagine è costituita dal rilievo orografico: questo comporta sul fotogramma una variazione di scala continua al variare della distanza del particolare fotografato. E' necessario perciò introdurre ed utilizzare informazioni altimetriche tali da correggere gli errori in questione. E' proprio ciò che viene fatto nel processo ortofotografico, attraverso l'uso del modello digitale del terreno. Una volta che le immagini digitali sono geometricamente corrette e georeferenziate (cioè inquadrate in un sistema di riferimento, oggi unico per legge), esse possono essere usate a supporto dei database topografici per effettuare, nel caso di calamità, veloci aggiornamenti, correzioni, calcoli di distanze e di superfici, stima dei danni, analisi di rischi residui ed altro ancora. L'ortofotocarta si può definire dunque come una carta a base fotografica che rispetta le tolleranze planimetriche delle carte tradizionali di pari scala, alla quale è associato o associabile un contenuto altimetrico di analoga accuratezza. L'ortofoto digitale è preferibile alla carta convenzionale per il suo maggior livello d'aggiornamento ed il superiore contenuto informativo ed è particolarmente efficace nel rispondere alle esigenze di monitoraggio delle emergenze, è meno costosa e di più veloce producibilità rispetto alla carta convenzionale e integra in modo efficace le principali caratteristiche delle riprese aerofotogrammetriche (contenuto informativo) e della carta tradizionale (contenuto metrico). L'analisi dei danni ambientali rappresenta un esempio tangibile e di immediata comprensione della superiorità dell'ortofoto digitale, rispetto sia al database topografico classico sia rispetto alle semplici riprese aerofotogrammetriche. E' il caso in cui l'aggiornamento delle informazioni e la velocità di produzione sono ritenuti essenziali: l'integrazione in un contesto informatico del contenuto informativo delle foto aeree e del contenuto metrico della carta e del DTM, consente contemporaneamente e senza incertezze di esaminare in tempi strettissimi la tipologia dei danni conseguenti ad un evento imprevisto, di quantificare con accuratezza le dimensioni del danno in termini di estensione spaziale, di eseguirne una stima affidabile e di pianificare correttamente l'impiego delle risorse umane, finanziarie e materiali per il risanamento ambientale. Un'analisi integrata, qualitativa e quantitativa, non sarebbe possibile con le sole foto aeree, affette da continue variazioni di scala, né sul database topografico preesistente, sul quale il danno non è ovviamente presente, né sull'ortofoto in sé per la carenza del dato altimetrico. Con l'ortofoto digitale, geometricamente corretta e georeferenziata, associata al modello altimetrico del terreno, l'utente può "navigare" tridimensionalmente all'interno delle immagini, conoscere le coordinate delle diverse tipologie di oggetti nel sistema di riferimento satellitare omogeneo con i rilievi topografici del danno sul terreno, "zoomare", anche al di là della scala di utilizzabilità metrica dell'ortofoto, per esaminare qualitativamente i dettagli di interesse, sovrapporre informazioni vettoriali provenienti da altre sorgenti di dati (carte, raster, fotointerpretazione, e così via) e associare informazioni alfanumeriche provenienti da database differenti.

**La fase di normalizzazione**

L'ultimo aspetto della conoscenza dei territorio in caso di calamità, quello della conoscenza in tempo differito, si riferisce all'allestimento di database topografici mediante procedure rigorose ed esula dai fini di questa relazione, investendo più ampi problemi di pianificazione e di progettazione e rientrando nella produzione di database topografici di tipo generale. La realizzazione in tempi

"ragionevoli" (alcuni mesi) di uno strumento per la pianificazione degli interventi di ricostruzione a carattere definitivo è tanto più necessaria quanto più carente era la situazione del database topografico precedentemente al disastro. Certo i tempi medi correnti di produzione mal si prestano a situazioni di emergenza, anche se, è doveroso dirlo, per le popolazioni colpite da grandi calamità naturali qualsiasi intervento è, sempre e comunque, tardivo e insufficiente. La realizzazione degli interventi di ricostruzione negli anni successivi alla calamità renderà comunque anche il nuovo sistema informativo rapidamente obsoleto e ne imporrà il tempestivo aggiornamento, magari continuo con le sue conseguenze e le sue esigenze, utile almeno per la successiva calamità!

**Conclusioni**

L'emergenza che immediatamente segue un evento calamitoso necessita di adeguati strumenti conoscitivi dei territorio per uno sfruttamento ottimale delle risorse disponibili rispetto al tempo di impiego delle stesse. Si tratta di un problema dei database topografici in genere, che risulta però particolarmente sentito nelle zone "a rischio" nelle quali il possesso di dati aggiornati sullo stato di edificazione, sulla viabilità e sulle infrastrutture in genere può risultare fondamentale per la pianificazione degli interventi di protezione civile, sia nella fase di prevenzione che in quella di soccorso (ad esempio, per la realizzazione di efficaci piani di evacuazione). Per queste finalità risulta senz'altro preferibile una documentazione aggiornata con criteri di economia e celerità (anche se in certa misura a scapito della precisione metrica) a un database topografico di ottima qualità ma non aggiornato da decenni. Va in ogni caso rilevato che, mentre è facile constatare che i database topografici italiani non sono, nel loro complesso, sufficientemente aggiornati alla situazione attuale, è anche vero che è difficile rendersi conto della complessità dei problema e che poche persone, purché siano specialisti, possono valutare quanti e quali fattori, per lo più contrastanti, intervengono a determinare la soluzione pratica e le sue motivazioni. Il database topografico post-calamità è una risposta di lunga portata, non realizzabile in tempi compatibili con le esigenze di soccorso. Nei casi di emergenza vengono spesso necessariamente a cadere molti dei criteri di ottimizzazione normalmente adottati nella realizzazione delle riprese aeree, quali la scelta della stagione e delle condizioni atmosferiche più opportune per inclinazione della luce solare e per copertura di vegetazione. Alla luce di queste considerazioni è opportuno prendere in esame la possibilità di realizzare un'ortofoto digitale, che pur caratterizzata da una precisione metrica complessivamente inferiore a quella normalmente accettata nei database topografici di analoga scala nominale, può costituire un supporto comunque efficace nella fase del pronto intervento. La realizzazione in tempi "ragionevoli" (alcuni mesi) di un sistema informativo per la pianificazione degli interventi di ricostruzione a carattere definitivo è tanto più necessaria quanto più carente era la situazione del sistema informativo di base precedentemente al disastro. Certo i tempi medi correnti di produzione mal si prestano a situazioni di emergenza, anche se, è doveroso dirlo, per le popolazioni colpite da grandi calamità naturali qualsiasi intervento è, sempre e comunque, tardivo e insufficiente. La realizzazione degli interventi di ricostruzione renderà comunque anche questo sistema rapidamente obsoleto. E' quindi indispensabile ricorrere alle modalità e alle tecniche più avanzate di produzione che consentono un più agevole aggiornamento, in attesa di un processo standardizzato di aggiornamento continuo, con le sue conseguenze e le sue esigenze. Come è stato più volte sottolineato, è opportuno infine evitare che spregiudicati trionfalismi indotti dalle potenzialità tecnologiche facciano abbassare la guardia sui problemi di efficacia di un Sistema Informativo orientato alla protezione civile. Infatti, assumendo la consolidata definizione di Sistema Informativo Territoriale come complesso di risorse tecnologiche, risorse umane ed informazioni georeferenziate, occorre porre particolare enfasi sul fatto che qualsiasi livello di efficienza delle prime due componenti viene vanificato se i dati non sono adeguati a garantire un corretto processo decisionale. In sintesi da essi dipende fondamentalmente l'efficacia del Sistema, che va razionalmente definita e quantificata attraverso un indicatore sintetico quale quello proposto precedentemente. E' in ultima analisi necessario affrontare in "tempo di pace" il problema dei dati territoriali georiferiti, della loro organizzazione, consistenza, completezza, accuratezza e stato di

aggiornamento, per non ridursi, in "tempo di guerra", al sistematico atteggiamento di impotenza, di fronte ad un sistema informativo efficiente nelle componenti umane e tecnologiche, ma inefficace per le carenze della componente informativa. Si impone perciò un'attenta politica di prevenzione per non perseverare in scelte che con il tempo potrebbero rilevarsi causa scatenante di eventi nefasti e per studiare tutte le possibili soluzioni alternative che consentano di non mortificare il progresso nel quadro di uno sviluppo sostenibile. Il telerilevamento da satellite appare particolarmente interessante per l'evoluzione qualitativa e quantitativa dei sensori, ma va comunque osservato che la tecnologia satellitare non è sempre in grado di fornirci informazioni esaustive, specialmente per gli eventi a decorso veloce. Nell'ambito della valutazione della completezza dei dati, un problema non secondario e tutto italiano, è inoltre quello della disponibilità selettiva delle informazioni in aree strategicamente sensibili. E' un problema che certo esula dagli obbiettivi della presente nota, non precisamente quantificabile nella sua dimensione nazionale, ma che qui si vuole solo porre all'attenzione del lettore e degli addetti ai lavori. Esistono, in aree ad elevato rischio ambientale, differenze significative tra il contenuto informativo di documentazioni in dotazione al Ministero dell'Ambiente, quello di database topografici regionali e quello desumibile dalle riprese satellitari ad alta e altissima risoluzione, disponibili a livello internazionale e non sottoposte ad emendamenti. Tali differenze evidenzierebbero carenze anche per quanto riguarda le infrastrutture viarie di accesso e di collegamento. Con quali dati sono predisposti i piani di intervento, quelli di evacuazione e quelli di protezione? Ad altri la risposta, al cittadino il dubbio e la sete di conoscenza…

Un'opera di prevenzione, in grado di minimizzare i rischi e di conseguenza gli interventi di emergenza, ha come fondamentale passo la conoscenza aggiornata di ciò che deve essere difeso: il territorio. I buoni esiti spesso ottenuti in condizioni di emergenza, in gran parte grazie all'abnegazione e all'inventiva sviluppate dalle particolari circostanze, non possono compensare carenze "croniche" quali la mancanza di aggiornamento e, in generale, sarebbe auspicabile un maggior peso dell'attività di prevenzione nei confronti di quella di "cura" eseguita in situazioni di urgenza.

# Norme per la rappresentazione della Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:50.000

Domenico Tacchia, Sabrina Grossi

Servizio Geologico d'Italia, Settore Cartografico del Dipartimento Difesa del Suolo,
ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, Via Vitaliano Brancati n. 60,
domenico.tacchia@isprambiente.it; sabrina.grossi@isprambiente.it

**Riassunto**
Tra le collane di cartografia tematica del Servizio Geologico d'Italia - Dip. Difesa del Suolo – ISPRA, la Carta Gravimetrica è seguita da uno specifico Ufficio del Servizio che cura direttamente la raccolta dei dati, la loro elaborazione e valutazione scientifica. Nella prima serie le informazioni erano stampate su supporto plastico trasparente da sovrapporre al corrispondente foglio geologico. La nuova collana cartografica alla scala 1:50.000 è stampata su unico supporto cartaceo piegato in dimensioni standard A5 uniformandosi alle altre collane edite dal Servizio. Sono esaminati i problemi relativi alla lettura di tre informazioni sovrapposte: topografia, geologia e gravimetria. La semplificazioni del dato geologico è effettuata con l'ausilio della Banca Dati del Progetto CARG mentre l'impostazione generale segue gli standard editoriali definiti dal Servizio Geologico.

**Abstract**
Among the series of thematic maps of the Geological Survey of Italy - Department of Soil - ISPRA the Gravimetric map is followed by a specific office of the Service that directly manages the collection of data, its processing and scientific evaluation. In the first series the information was printed on transparent plastic support that overlays the corresponding geological sheet. The new series mapping at 1:50,000 scale is printed on a single folded paper in standard sizes A5 conforming to other series published by the Service. The study examines the problems of interpreting three superimposed information: topography, geology and gravimetry. The simplification of the geological data is performed using the database of the CARG project while the general approach follows the editorial standards defined by the Geological Survey.

## Le esperienze precedenti la scala 1:50.000

La Collana editoriale della Carta Gravimetrica d'Italia del Servizio Geologico d'Italia, Organo Cartografico dello Stato, trattando dati del sottosuolo di una determinata area, è stata pensata ed organizzata per integrare le informazioni fornite alla medesima scala dalla Carta Geologica d'Italia, all'epoca ancora alle prese con il completamento della Collana editoriale alla scala 1:100.000. Probabilmente non poteva essere diversamente, tenuto conto dello stretto legame tra dato profondo e quello geologico interpretato in "superficie" ancorché scaturito da letture stratigrafiche di indagini puntuali. Questo stretto legame ha di fatto imposto le scelte cartografiche operate dal Servizio e definito la stessa tipologia editoriale per la divulgazione delle informazioni gravimetriche. Infatti questo dato alla scala 1:100.000 è realizzato tipograficamente con la stampa delle informazioni su una pellicola indeformabile trasparente da "registrare" sul corrispondente foglio della Carta Geologica d'Italia permettendo la contestuale lettura, in planimetria e nelle corrispondenti sezioni del foglio (in modo ovviamente traslato da metri a mGal), del dato di profondità con quello geologico.

Invero se si ha presente la composizione editoriale dei fogli della collana alla scala 1:100.000 probabilmente non c'era altra scelta possibile: l'informazione geologica è impressa su un supporto cartaceo di spessore consistente, ben oltre i 150 gr/mq, non piegabile e da consultare a foglio completamente aperto nelle sue massime dimensioni comprensive delle legende (circa100 x 70 cm). Si potrebbe obiettare che poteva essere l'occasione di cambiare il formato della base geologica ma questa risente di scelte tipografiche obbligate dalla garanzia di stabilità del supporto a causa dei numerosi passaggi nei rulli delle macchine offset, calcolati in non meno di trenta per foglio di media complessità per ottenere tutte le gamme cromatiche necessarie alla sua lettura. Tuttavia la divulgazione del dato cartografico di ordine gravimetrico, con la scelta operata, è stato certamente agevolato sia in termini di produzione operativa che in quella scientifica. Per la prima la mera necessità di stampa su pellicola trasparente indeformabile (oggi invero interdetta per questioni sanitarie) per la seconda la non trascurabile opportunità di evitare di trattare il dato geologico, utilizzabile direttamente come sfondo, oltre quella, per alcuni versi più importante, di fare riferimento alla base topografica presente, nelle sue componenti essenziali, sul foglio geologico pubblicato. Inutile dire che la scelta tipografica ha i vantaggi illustrati ma anche molte evidenti complicazioni sia sul lato divulgativo che su quello di archiviazione. Tra tutte la difficoltà di spedizione per scambi con altri Istituti nazionali ed internazionali ma anche in caso di acquisto da parte di professionisti od utenti. Il foglio deve essere spedito in apposito rotolo fuori dimensioni postali ed accompagnato, in presenza della Nota Illustrativa, da un'ulteriore plico che ne completa l'informazione. Parimenti l'archiviazione comporta la presenza di scaffalature di notevoli dimensioni (con piano di almeno 100 x 70 cm) con obbligo di riporre stesa l'intera tiratura del foglio. Proprio per questi motivi il nuovo 50.000 geologico nasce in formato "piegato" dapprima in dimensioni "busta americana" poi in formato UNI A5 del Progetto CARG dal 1988.

Si diceva però dell'indubbio vantaggio di presentare l'informazione gravimetrica sulla citata pellicola trasparente priva di altre informazioni scientifiche o topografiche dell'area limitandosi alla sua sola descrizione, permettendo peraltro una stampa "monocromatica" in colore nero per tutte le componenti grafico/numeriche presenti. Il contenuto del campo carta del 100.000 gravimetrico comprende l'indicazione delle stazioni di campionamento del dato (punto nero), la rappresentazione delle "isoanomale" graficamente rese come curve con arrotondamento piuttosto accentuato e le segnalazioni dei massimi e minimi gravimetrici relativi con intuitivi "+" e "-" matematici. Nell'inquadratura marginale in basso, "registrate" nella posizione delle geologiche, le sezioni gravimetriche, quindi nel campo "A" (ad ovest del foglio) la legenda dei simboli presenti nel campo carta, in quello "B" le carte di sintesi con applicazione dei vari filtri.

L'impegno del cartografo per la realizzazione del foglio gravimetrico si concentrava soprattutto nella composizione della traccia delle "isoanomale" che, all'epoca, imponeva un non indifferente impegno perché il tracciamento di curve con arrotondamento accentuato veniva realizzato per tratti parziali con uso di curvilinee rigido con la nota difficoltà nella ripresa di attacco tra i vari tratti. L'evoluzione delle attrezzature a disposizione del cartografo sono poi notevolmente migliorate con l'uso di curvilinee flessibile (barra di stagno/piombo ricoperta in gomma) poi con la diffusione di nastrini adesivi che permettevano una più che apprezzabile continuità nel tracciamento delle citate curve. Inutile dire che oggi l'uso di programmi di interpolazione o con curve "Bezier" hanno relegato a pura archeologia grafica cose che il cartografo utilizzava professionalmente non più di 20 anni fa.

L'esperienza della Collana Cartografica del 100.000 Gravimetrico, presente in moltissimi dei 270 fogli circa della carta d'Italia, ha permesso comunque una successiva evoluzione nella cartografia di queste caratteristiche del Servizio Geologico d'Italia, ancorché a scala e con obiettivi diversi. Il milione del 1989 con isoanomale differenziate in colore diverso se superiori (rosso) od inferiori (blu) alla curva di quota zero. Per base topografica è utilizzata una geologica semplificata derivata dalla mineraria di corrispondente scala, allegata in originale ad una Memoria della Carta Geologica. Quindi l'aeromagnetica sempre al milione del 1994, con medesimo trattamento cromatico delle curve rappresentate ad eccezione della quota "zero" evidenziata in colore nero. Infine la

gravimetrica alla scala 1:1.250.000 del 32° Congresso Geologico Internazionale tenuto a Firenze nel 2004 (completata nel 2005 con la parte della Corsica fornita dal BRGM) in cui compaiono le tinte a passaggi cromatici (ipsometriche) per evidenziare i massimi e minimi gravimetrici, con una scala rispettivamente dal rosso al blu attraverso il giallo valore centrale di quelli riscontrati. L'evidenza del dato gravimetrico, anche se a piccola scala, è notevolmente accentuato dall'ombreggiatura del modello digitale derivato dalle isoanomale. Non compare il dato geologico per evitare interferenze cromatiche e l'informazione topografica è notevolmente semplificata al limite della costa della penisola e alle principali città.
Queste esperienze hanno comunque indirizzato le successive scelte per la divulgazione del dato gravimetrico di cui di seguito si vedranno alcuni aspetti essenziali.

**La Collana editoriale della Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:50.000**

Dalla descrizione delle esperienze trascorse è evidente che nell'impostazione e nella composizione editoriale della nuova Carta Gravimetrica alla scala 50.000 non potevano non essere affrontati e risolti i problemi incontrati nella Collana al 100.000. Alcune questioni sono state peraltro chiuse da evoluzioni impreviste quale l'impossibilità di stampa sul supporto trasparente indeformabile ritenuto nocivo per la salute. Da una parte dunque l'impossibilità di stampa su trasparente e dall'altra la questione di un formato della carta facilmente consultabile, trasportabile ed archiviabile hanno indirizzato per scelte ben diverse da quelle effettuate in precedenza fermi restando, evidentemente, i contenuti scientifici costitutivi. Il dato Gravimetrico è stampato sullo stesso supporto cartaceo di quello geologico e la questione, sia dal punto di vista cartografico che editoriale, appare tutt'altro che di semplice soluzione.
Anzitutto la carta geologica utilizzata come base per il riscontro del dato gravimetrico, non può avere i medesimi contenuti di quella già pubblicata, per evitare l'inutile duplicazione di informazioni scientifiche già note, ma neanche modificata arbitrariamente, per la necessaria salvaguardia dei contenuti definiti a suo tempo dagli autori, diversi ovviamente da quelli che hanno definito l'informazione gravimetrica. Si aggiunge a questo che le informazioni presenti nel campo carta del generico foglio pubblicato dal Servizio Geologico hanno necessità di trovare la corretta lettura nella legenda quando, per completezza dell'informazione, non c'è necessità di integrazione delle Note Illustrative. Ciò comporta l'impossibilità di semplificazione dei contenuti descrittivi se permangono tutti gli elementi riportati nell'area geografica del foglio, con l'ovvia conseguenza di impossibilità di aggiunta o sovrapposizione di ulteriori informazioni nei campi ad esse riservati. Anche il campo carta risente di questioni dello steso tipo comportando la contestuale presenza, su unico supporto cartaceo, di almeno tre informazioni: quella geologica, quella topografica ed ovviamente quella gravimetrica. E' necessario che per tutte e tre queste componenti sia possibile la lettura del singolo "strato" e la contestuale integrazione con gli altri ancorché riferita capacità scientifica del fruitore della carta. Vedremo meglio di seguito le soluzioni adottate segnalando però l'impossibilità per il dato gravimetrico sovrapposto a quello geologico di utilizzare tinte ipsometriche per enfatizzare i risultati scientifici ottenuti.
Queste osservazioni, unite a molte altre considerazioni tra le quali quelle di opportunità ed uniformità dimensionali tra le collane editoriali del Servizio Geologico d'Italia, molte delle quali meglio descritte nel Quaderno n. 2 "Guida alla rappresentazione cartografica" (1996) , hanno indirizzato alla definizione di una collana editoriale sulla falsa riga di quella adottata per la nuova carta geologica alla scala 1:50.000 del Progetto CARG. Formato finale piegato del foglio e composizione editoriale costituita da un cofanetto in UNI A5 contenente da un lato (sinistra) la carta e dall'altro le Note Illustrative. Composizione editoriale, piega del foglio, iter procedurali e realizzativi secondo i criteri descritti nel richiamato Q. 2. La Collana gravimetrica alla scala 1:50.000, così come le altre alla medesima scala – geomorfologica, idrogeologica, ecc. - è distinta da una banda in colore diverso sulla copertina (in questo caso il colore rosso).

**La semplificazione del dato geologico**

La necessità di condividere il medesimo supporto cartaceo per informazioni diverse (base topografica, geologia e gravimetria) ha di fatto imposto la semplificazione del dato geologico ritenendo gli elementi della base topografica estratti dall'IGM (Planimetria, Altimetria ed Idrografia) tutti necessari all'orientamento della carta e lasciando inalterata l'informazione gravimetrica oggetto della nuova pubblicazione. Come si immagina la questione merita di essere approfondita perché, nonostante l'operazione è stata sperimentata per derivare carte a minor scala (ad esempio il milione geologico pubblicato in una prima versione divulgativa nel 2004 e come Carta Ufficiale di Stato nel 2008), il modo di operare, alla medesima scala di rappresentazione e con la presenza di una banca dati strutturata, quale quella prevista nel Progetto CARG, ha permesso, anche al cartografo, di verificarne i risultati pressoché in tempo reale valutandone, unitamente all'autore, l'opportunità cartografico/scientifica della semplificazione derivata.

Per un verso l'agevolazione per la non necessaria rettifica dei limiti delle formazioni geologiche alla medesima scala e sulla stessa base topografica dell'originale, per l'altro la complessa definizione dei criteri scientifici di "accorpamento", peraltro non sempre generalizzabili perché talune formazioni non possono essere eliminate in quanto significative per il dato gravimetrico. La prima esperienza in questo senso è stata effettuata sul foglio n. 374 "Roma" pressoché in parallelo alla pubblicazione del dato geologico del medesimo foglio e quindi con possibilità di interagire con gli autori di quelle informazioni per derivarne una ragionevole e, per quanto possibile, concordata semplificazione.

Per quanti conoscono il Progetto CARG la trattazione cartografica numerica è risultata relativamente agevolata perché le indicazioni fornite dal geologo, sui criteri di accorpamento, sono state operate dal cartografo utilizzando le informazioni contenute nello Strato 018 e relativa tabella 2000 della BD CARG depositari, in combinazione, delle informazioni sui poligoni presenti nel foglio. Senza alcuna modifica del dato originario è stato introdotto un nuovo item di equivalenza delle aree da accorpare inserendo una nuova sigla specifica da utilizzare proprio (e solo) per il foglio gravimetrico. Già in questa prima esperienza è emersa l'impossibilità, prima cennata, di procedere ad una semplificazione in "automatico" o solo attraverso il periodo geologico presente nella BD CARG, perché questo non permette di mantenere la specifica area ritenuta significativa per l'informazione gravimetrica (per il caso del Foglio n. 374 "Roma", Fig. 1, ad esempio la "Formazione di Valle Giulia"), confermando pertanto la necessità di operare interattivamente nella trattazione del dato geologico e nella sua trasposizione in una nuova informazione da finalizzare alla pubblicazione della nuova carta.

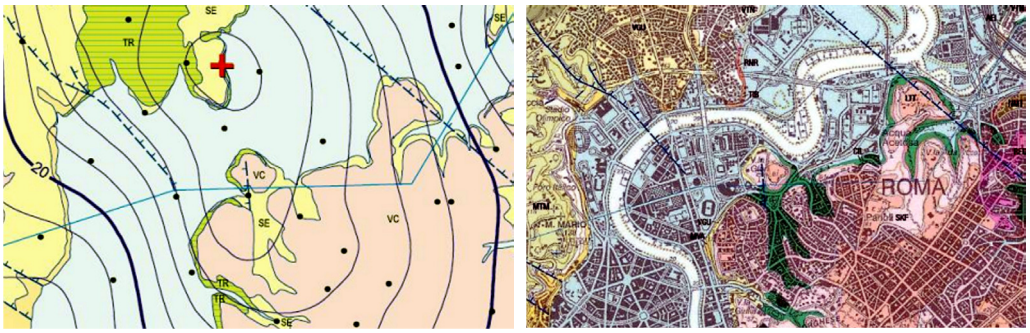



*Figura 1. Confronto alla stessa scala dei dati sulla carta gravimetrica e su quella geologica, attraverso lo stralcio del foglio n. 374 Roma Gravimetrico (a sinistra) e Geologico a destra.*

Facilita invece la presenza della Banca Dati la ricostruzione della legenda geologica "semplificata" perché si è scelto di riportare sinteticamente i titoli delle varie unità mantenendo, nelle descrizioni

dei vari tasselli, le sigle CARG di ciascuna area, permettendo così la possibilità di recuperare i contenuti completi del dato originario, potendone ricostruire la provenienza con l'ausilio della relativa BD. Come semplice l'estrazione, dalla stessa BD, degli altri elementi ritenuti significativi per l'informazione gravimetrica quali ad esempio le faglie con relativa tipologia: dirette, incerte, sepolte ecc.; le sorgenti da distinguere in generiche o minerali; i sondaggi con la relativa profondità in metri. Senza approfondire oltre viene estratto dalla Banca dati qualsiasi altro elemento necessario per completare od arricchire l'informazione gravimetrica. Per questi ultimi peraltro è stata scelta la riproduzione secondo i criteri stabiliti nel Progetto CARG e definiti, in tipologia e cromatismo, nella "libreria dei simboli" presente nel Q.2 del 1996 e successive modifiche ed integrazioni. Viceversa per le nuove formazioni geologiche accorpate è stato necessario definire nuovi criteri per il trattamento del dato derivato. Si è scelto di utilizzare il cromatismo intermedio del periodo geologico delle diverse formazioni, preferendo quello meno intenso e utilizzando la possibilità di accentuazione cromatica per aree di medesimo periodo non accorpate, ricostruendone comunque timbro e tono di colore da utilizzare nella stampa del foglio con l'ausilio del Manuale Cromatico di Riferimento per la Stampa delle Carte Geologiche edito nel 2002 dal Servizio Geologico d'Italia.
Infine per il dato gravimetrico lineare (isoanomale) è stato scelto, per la stampa, il colore XIV dei primari presenti nel citato Manuale Cromatico (Pantone – Violet), non utilizzato negli elementi lineari geologici, definendo il diverso spessore di rappresentazione tra isoanomale "principali" (10 mGal) e "secondarie" (0,5 mGal). Viceversa per l'individuazione delle stazioni gravimetriche si è mantenuto il cerchietto in colore nero pieno come nella carta storica. Così come dall'esperienza storica sono ripresi i simboli matematici di "+" e "-" rispettivamente dei massimi e minimi gravimetrici, adottando lo stesso font ombreggiato ma in colore diverso, come nelle rappresentazioni al milione citate in precedenza, rosso per i massimi e blu per i minimi. Simboli previsti con dimensioni diverse se utilizzati come informazione ausiliaria (compresa tra curve di diversa quota) oppure per massimi e minimi relativi quando contenuti in unica curva chiusa.

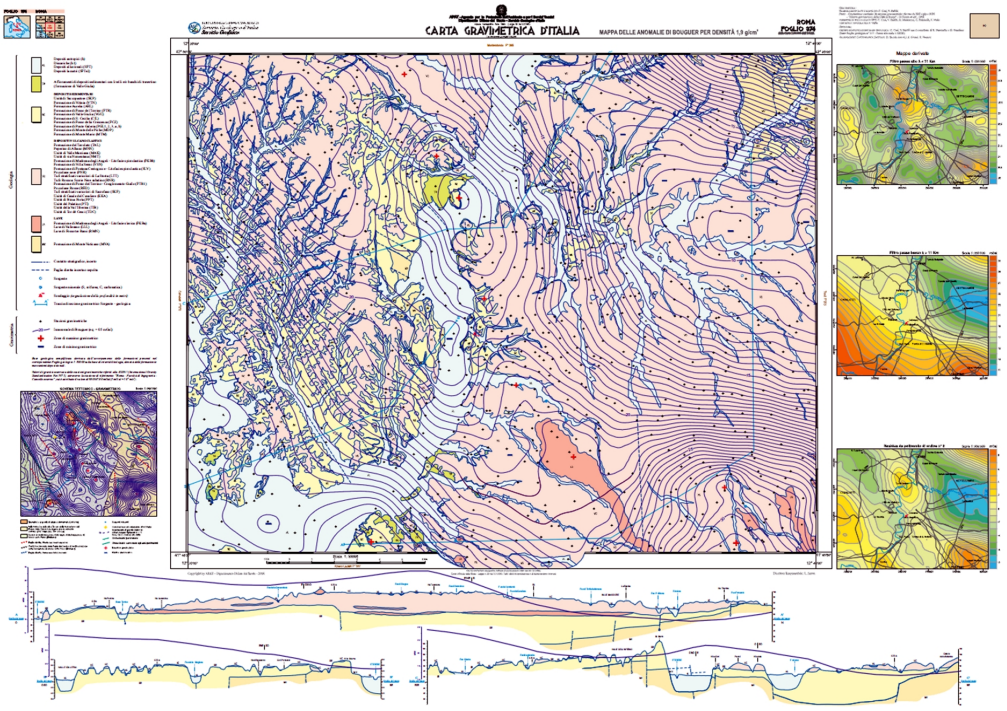



*Figura 2. Inquadratura marginale del foglio della Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:50.000 n. 374 Roma.*

**Altri elementi caratteristici della collana editoriale**

La nuova collana editoriale della Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:50.000 è nella tradizione del Servizio Geologico d'Italia, segue i tagli della corrispondente Carta Topografica dell'Istituto Geografico Militare con lo stesso taglio geografico, numerazione e nome del foglio, lasciando la possibilità di accorpamento di porzioni di fogli limitrofi se necessarie alla continuità delle informazioni scientifiche (con doppia numerazione e nomenclatura). Inalterati nella composizione editoriale gli elementi della testata editoriale e degli elementi giuridici, come descritti nel Quaderno n. 2, ed i criteri di impostazione ed utilizzo dei campi di legenda con quelli A e B sempre presenti e l'inserimento del C (lato est del campo carta – foglio ampliato) e del D ad ovest (solo previa approvazione del Servizio). Nella normalità sarà sufficiente il campo A di legenda per la descrizione delle informazioni geologiche semplificate, per quella degli elementi gravimetrici e per l'inserimento di eventuale schema "combinato" tettonico/gravimetrico. La B (e se necessario la C) sarà riservata alla serie di mappe con informazione gravimetrica restituite con uso di filtri diversi con possibilità di enfatizzare il dato utilizzando tinte ipsometriche e base topografica semplificata.

Le sezioni geologiche permangono nella posizione originale prefissata dal corrispondente foglio geologico e dovranno contenere le medesime semplificazioni ed identificativi effettuati nel campo carta. La linea di variazione gravimetrica, di rilevante spessore grafico, sarà posizionata in ragione della scala in mGal che affiancherà quella metrica già presente ai lati delle sezioni (Fig. 2).

Anche per questa collana sono previste le Note Illustrative che accompagneranno ciascun elemento a completamento delle informazioni presenti nel foglio. Come detto il volume è composto nel formato UNI A5 per essere inserito nella tasca del previsto cofanetto secondo le indicazioni delle normative CARG. La composizione editoriale per capitoli, con indice e bibliografia, ripete i criteri prefissati nel foglio geologico secondo il modello allegato al Q. 2.

Il citato Foglio n. 374 "Roma" della Collana Editoriale della Carta Gravimetrica d'Italia alla scala 1:50.000, edita dal Servizio Geologico d'Italia quale Organo Cartografico dello Stato (Legge 2.2.60 n. 68), è il primo foglio pubblicato e ad esso può farsi riferimento per altre informazioni non presenti nella presente sintetica nota.

# Criteri per l'allestimento dei fogli CARG con geologia marina

Domenico Tacchia, Silvana Falcetti

Servizio Geologico d'Italia, Settore Cartografico del Dipartimento Difesa del Suolo,
ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, Via Vitaliano Brancati n. 60,
domenico.tacchia@isprambiente.it; silvana.falcetti@isprambiente.it

**Riassunto**
Una delle novità introdotte con la pubblicazione del Quaderno n. 12 del Servizio Geologico d'Italia - Dip. Difesa del Suolo dell'ISPRA, è la sistematizzazione ed il completamento delle simbologie da utilizzare nella descrizione delle informazioni geologiche nei numerosi fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 con presenza di aree marine. Elementi sperimentali di geologia marina sono già presenti fin dalle prime carte pubblicate nel Progetto CARG (n. 541 Jerzu; n. 549 Muravera del 2002 n. 240/241 Forlì-Cervia e 256 Rimini nel 2005) e nella Carta Geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000. Il "Quaderno n. 12" sistematizza la rappresentazione delle informazioni geologiche sotto il livello del mare. Per la descrizione dei "depositi sommersi" sono inseriti 36 simboli, mentre 58 (punti, linee ed aree) da utilizzare nelle aree sommerse. Due questioni sono affrontate per l'allestimento delle carte: leggibilità della linea di costa e attenuazione dei timbri cromatici per la geologia sommersa.

**Abstract**
One of the new features introduced with the publication of the Book no. 12 of the Geological Survey of Italy - Department of Soil - ISPRA is the systematization and the completion of the symbols to be used in the description of the geological information of several sheets of the Geological Map of Italy at 1:50,000 scale with the presence of marine areas. Experimental elements of marine geology are already present from the first maps published in the "CARG Project" (No. 541 Jerzu, n. 549 Muravera of 2002 n. 240/241 Forlì-Cervia and Rimini 256 in 2005) and in the Geological Map of the Italian Seas scale of 1:250,000. The "Book no. 12" systematizes the representation of geological information below sea level. For a description of the "submerged deposits" shall be inserted 36 symbols, and 58 (points, lines and areas) for use in submerged areas. Two issues are addressed for the preparation of maps: readability of the coastline and the mitigation of chromatic tones for geology submerged.

**La rappresentazione della geologia sommersa nella Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000**
Una delle novità introdotte con la pubblicazione del Quaderno n. 12 del Servizio Geologico d'Italia - Dip. Difesa del Suolo dell'ISPRA, insieme alla sistematizzazione ed aggiornamento, è l'introduzione ed il completamento delle simbologie da utilizzare nella descrizione e rappresentazione delle informazioni geologiche con presenza di aree marine, rilevate nei numerosi fogli della Collana della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. La stessa conformazione della penisola italiana doveva in qualche modo deporre per la sua predisposizione fin dalle origini del Progetto CARG (di CARtografia Geologica del territorio nazionale - 1988), ma solo in tempi successivi e con l'introduzione di nuove leggi di finanziamento è stato possibile prevedere e sostenere il rilevamento delle aree marine di molti dei fogli geologici programmati. L'attenzione a questa tipologia di informazione da parte del Servizio Geologico è comunque dimostrata con una prima sperimentazione, ma alla scala 1:250.000, con il foglio NL 33-10 Ravenna, finanziato con la primordiale legge 67/88 e pubblicato nel 2001. Questa stampa ha permesso la definizione della

normativa di rilevamento con il Quaderno n. 8 "Carta Geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000: Guida al rilevamento" pubblicato nel 2002 e, con la successiva legge di finanziamento n. 226/99, sono stati pubblicati ulteriori 5 fogli, a copertura pressoché totale della piattaforma continentale di competenza italiana del Mare Adriatico (NL 33-7 Venezia; NK 33-1/2 Ancona; NK 33-5 Pescara; NK 33-6 Vieste e NK 33-8/9 Bari). Dal punto di vista cartografico, pur nella notevole differenza dei contenuti tra le due scale di pubblicazione, è stato possibile testare quanto meno gli elementi ritenuti indispensabili per la rappresentazione del dato rilevato. Ad esempio la necessaria presenza, tra le carte a margine, di quella contenenti i tracciati delle linee sismiche oppure, con la medesima importanza delle sezioni geologiche, i profili sismici a riflessione e, spesso, l'introduzione di modelli tridimensionali del sottofondo marino con ampliamento degli schemi strutturali all'area marina interessata al rilevamento. Ad essi si sommano i nuovi elementi di legenda e simbologia nonché la particolarità nel trattamento delle campiture delle aree rilevate diverse tra le due collane editoriali perché alla citata scala 1:250.000, l'assenza delle informazioni geologiche delle aree emerse ha permesso una relativa libertà nella scelta dei timbri cromatici da utilizzare.
La collana editoriale della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 del Progetto CARG già nei primi fogli pubblicati ha dovuto cimentarsi con il dato geologico marino, come ad esempio nei fogli n. 541 Jerzu e n. 549 Muravera pubblicati nel 2002, invero con limitata estensione quasi a ridosso della costa, e successivamente nel 2005 nelle aree marine dei fogli n. 240/241 Forlì-Cervia e 256 Rimini, in modo più esteso che nei precedenti, fino al foglio n. 248 "La Spezia" sempre del 2005 con estensione di circa 1/3 del campo carta dell'area marina rilevata (vedi Fig. 1).

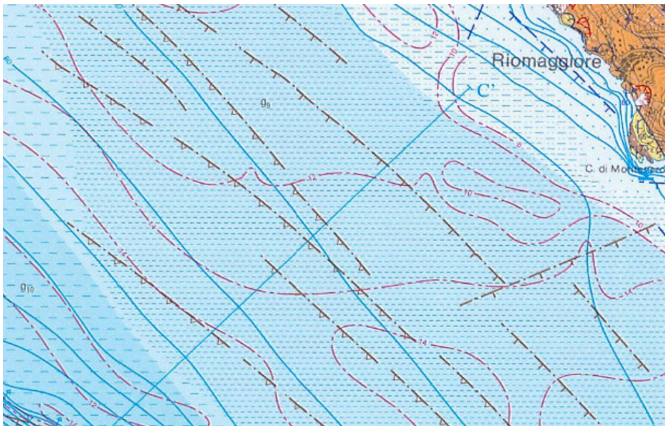



*Figura 1. Stralcio del foglio n. 248 La Spezia della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 pubblicato nel 2005.*

Sono tutti fogli ovviamente sperimentali, almeno per la rappresentazione cartografica della geologia marina, utili però per alcune indicazioni successivamente confermate. Ad esempio la divisione obliqua del tassello di legenda con riportati i due timbri geologici scelti e la precisazione a lato "emerso" oppure "sommerso"; od anche la posizione in legenda della simbologia puntuale e lineare, inserita nella posizione prevista per quella geologica della medesima tipologia, mentre per l'inserimento in legenda delle descrizioni valide per le aree sommerse, è ammessa la possibilità di inserimento nei vari periodi cronologici di legenda (ovviamente preferito) oppure riservando un apposito spazio successivo la descrizione geologica dell'emerso.
E' solo con la pubblicazione del Quaderno n. 12 del 2009, comunque, che si arriva ad una vera sistematizzazione delle modalità rappresentative delle informazioni geologiche sotto il livello del mare in particolar per quanto riguarda la simbologia puntuale e lineare e nella rivisitazione della tabella 3000 della banca dati geologica relativa ai "caratteri tessiturali" e della 4000 con l'ampliamento degli "ambienti deposizionali" richiesti dalla geologia marina (Q. 12 pagg. 102 e

103). Sono stati complessivamente integrati alle simbologie già presenti, un totale odierno di circa 58 simboli tra puntuali, lineari ed areali e ben 36 soprassegni da utilizzare, nella quasi totalità, nella qualificazione dei depositi sommersi. Come si immagina l'approccio è stato più che complesso dal punto di vista cartografico perché molte le implicazioni grafico-editoriali da tenere presenti per la definizione dei singoli elementi. La presentazione della simbologia è effettuata con gli stessi criteri compositivi, organizzativi e strutturali dei simboli previsti per le aree emerse e sono individuati attraverso numerazione di banca dati con valore dell'item "tipo", se non presente nel Q. 6 del 1997, maggiore di 9000 per quelli di nuova introduzione. Come detto numerosi i criteri e le necessità cartografiche che si sono dovute affrontare per integrare le informazioni geologiche sommerse con quelle emerse. Di seguito se ne affrontano due delle più significative lasciando agli interessati di approfondire l'argomento con la consultazione combinata dei Quaderni dedicati anche alla rappresentazione cartografica della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (i nn. 2-1996; 6-1997; 11-2007 e 12 del 2009).

**Aggiornamento della linea di costa**

Il problema si pone quasi sempre a causa del mancato aggiornamento della base topografica dell'IGM con la necessità di evidenziare, ad esempio, eventuali arretramenti od ampliamenti rispetto a quella in essa presente, definendo una nuova linea di costa nei limiti dei rilevamenti riportati, con sempre maggior frequenza, sulla carta tecnica regionale alla scala 1:10.000, quasi sempre molto più recente dei rilevamenti dell'IGM. La necessità di evidenziare la nuova linea di costa è uno degli elementi che si ritengono significativi per garantire la corretta leggibilità della base topografica anche perché spesso, arretramenti ed ampliamenti sono significativamente apprezzabili anche alla scala 1:50.000. Il problema per la cartografia Ufficiale del Servizio Geologico è tutt'altro che secondario perché la linea di costa è definita da quella presente nella base topografica ufficiale fornita dall'IGM con ovvia impossibilità di modifica o alterazione della stessa. In questi casi, tuttavia, oltre garantire la giusta geometria della nuova linea di costa, prevale la necessità di fornire le informazioni geologiche nei limiti di quanto effettivamente rilevato. Si è scelto pertanto di mantenere quella presente nella base topografica IGM (con la preferenza ove coincidente di lasciare quella IGM) e riportare la nuova linea di costa (limite dei rilevamenti geologici) con una linea nera sottile diversa dal cyan presente nella base ufficiale IGM. Le campiture delle formazioni geologiche terminano nella nuova linea di costa inserita anche sovrapponendosi, ove necessario, a quella della base topografica ufficiale dell'IGM, dando in questo caso la priorità al dato geologico ed accentando la possibile presenza di elementi della base topografica non rispondenti a quanto effettivamente presente nella realtà all'epoca del rilevamento geologico.

**I cromatismi per la geologia sommersa**

Il problema cartografico più significativo affrontato è stato quello della definizione dei cromatismi da attribuire alle aree geologiche non emerse. La discussione si è snodata su due principali direttrici che vedevano da una parte le esigenze di continuità del dato scientifico con eguaglianza di rappresentazione tra emerso e sommerso e dall'altra quella di segnalare comunque la presenza di elementi topografici di rilevante interesse quali appunto la presenza di acqua. Mentre nella cartografia topografica di base la questione è risolta semplicemente con il cambio di colore delle isoipse (dal bistro dell'emerso al cyan del sommerso rispettivamente curve di livello e batimetriche) è evidente che nella descrizione della tipologia di suolo la soluzione si complica non poco. La ricerca di un giusto indirizzo è cosa di rilevante interesse perché, come detto, molti dei fogli geologici italiani della carta alla scala 1:50.000 comprendono, per ovvi motivi, porzioni più o meno ampie sia di aree marine che di specchi d'acqua di rilevante superficie ad esempio laghi, lagune, ecc.. Non bisogna dimenticare ancora che i rilevamenti per definire le caratteristiche delle terre sommerse, sono quasi sempre molto più onerosi delle operazioni sulle superfici emerse essendo legate comunque a specifici sondaggi od immersioni con macchine e strumenti di ben altra complessità da quelli di terra. Anche per questo le informazioni raccolte non possono essere solo

relegate ad una Banca Dati ma vanno necessariamente riportate sul foglio stampato a completamento del quadro scientifico di conoscenze. Infine, ma non ultima considerazione, la rappresentazione della tipologia geologica delle aree sommerse deve seguire, in sede di stampa, lo stesso trattamento delle emerse, legata alla convenzione internazionale, da sempre utilizzata dal Servizio Geologico d'Italia, che stabilisce il cromatismo del periodo geologico in cui è collocata l'area rilevata.
L'insieme dei problemi sinteticamente descritti ha portato alla soluzione adottata nel Progetto CARG, descritta nel par. 4.6.2. del citato Quaderno n. 12, di mantenere il timbro utilizzato nel periodo geologico riportandolo però con una attenuazione del tono, se relativo ad aree sommerse, superiore almeno al 50% di quello scelto per le aree emerse del medesimo periodo geologico. Come può intuirsi questa scelta media tra le volontà scientifiche di carattere geologico, che vorrebbero una logica continuità cromatica con le terre emerse, con quelle di carattere cartografico, che puntano a garantire anche la leggibilità degli elementi significativi della base topografica, quali la presenza del mare, del lago o di altri specchi d'acqua, certamente rilevanti nella corretta lettura ed orientamento in sede di consultazione della carta pubblicata.
La scelta come si immagina ha conseguenze dirette ed indirette su una serie di questioni cartografiche nell'allestimento alla stampa del foglio geologico. La prima, quella certamente di maggiore complessità, nella costruzione dell'impianto colori del singolo foglio geologico nel quale si dovrà considerare, necessariamente in parallelo, che la scelta di un determinato timbro del Manuale Cromatico per l'emerso dovrà comprendere le opportune considerazioni sulle sue variazioni di tono nel sommerso, prefissate dello stesso Manuale nelle tre possibili percentuali del 10, 30 o 50% di intensità (escludendo, per quanto si dirà in seguito, la possibilità di timbri con ribattiture). Va da se che la professionalità del cartografo è più che sollecitata in questa operazione anche perché, nella generalità, si tratta di terreni di recente formazione nella cronoscala geologica essendo molto spesso al di sopra (più recenti) del periodo pliocenico e quindi con tinte cromatiche per se stesse già molto tenui (ricordiamo che oltre la gamma cromatica stabilita da convenzioni internazionali anche l'intensità chiaroscurale è una precisa indicazione nella cartografia geologica rappresentando terreni più recenti se più chiari). Complica non poco peraltro l'impossibilità di utilizzare timbri del Manuale Cromatico con ribattiture o figurati (rigati, puntinati ecc.) per la presenza, pressoché generalizzata nella geologia marina, delle trame riservate alle "tessiture dei sedimenti" la cui combinazione potrebbero originare inopportuni "moirè" sulla carta stampata. Per queste tessiture è stato necessario peraltro introdurre apposite schede simboli nel Q. 12 per permettere la descrizione proprio dei "caratteri tessiturali della parte a mare" (vedi nella Libreria dei Simboli del Q. 12 le pagg. 63-65 - Fig. 2) proponendo uno specifico colore, il Pantone Process blue 2, da utilizzare al 70% per la loro rappresentazione (n. 080070 notazione numerica del Manuale Cromatico come indicata nel Quaderno n. 11/2007 nella Tav. 22 pag. 106).

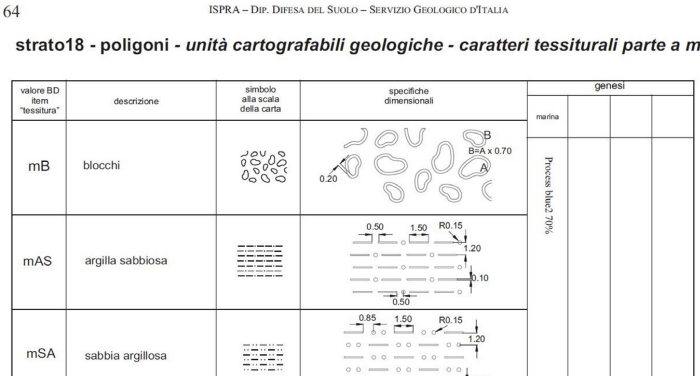



*Figura 2. Stralcio della libreria dei simboli del Quaderno n. 12 del Servizio Geologico d'Italia pubblicato nel 2009.*

Non è stato peraltro possibile descrivere, almeno per questa prima fase, precise norme comportamentali nell'applicazione dell'attenuazione del cromatismo per aree sommerse perché molto dipende anche dal timbro cromatico oggetto di variazione. L'indicazione citata del 50% come limite minimo, va intesa come generica soglia di riferimento per apprezzare visivamente la variazione necessaria. Tuttavia in presenza di timbri intensi in terraferma questa percentuale potrà avvicinarsi anche al 10% (la minore prevista nel Manuale Cromatico) perché la contiguità dei due timbri, divisi dalla sola linea di costa, permette di intuire la continuità, in mare, della stessa formazione geologica in emerso. Invece in presenza di timbri tenui, che, come detto, sono la maggioranza nell'informazione geologica marina, l'indicazione potrà risultare solo parzialmente utilizzabile partendo, nella zona emersa, da percentuali già ai limiti del 50 o 30% previsti nel Manuale Cromatico (sono più tenui anche perché più recenti secondo una delle citate convenzioni internazionali). In questa seconda ipotesi il cartografo dovrà costruire l'Impianto colori del singolo foglio preferendo l'aumento di intensità delle aree emerse (adottando ad esempio il previsto 70% in luogo del 50 e del 50% invece del 30 ferma restando la scala chiaroscurale delle intensità) per ottenere un certo margine nella scelta dei cromatismi delle aree sommerse, tenuto conto che percentuali inferiori al 10%, minime del Manuale Cromatico, non risulterebbero apprezzabili. Data la complessità nella determinazione di questi timbri è stata comunque indicata la necessità di approvazione da parte dei cartografi del Servizio Geologico d'Italia nell'ambito delle funzioni di coordinamento per la stampa dei fogli del Progetto CARtografia Geologica.

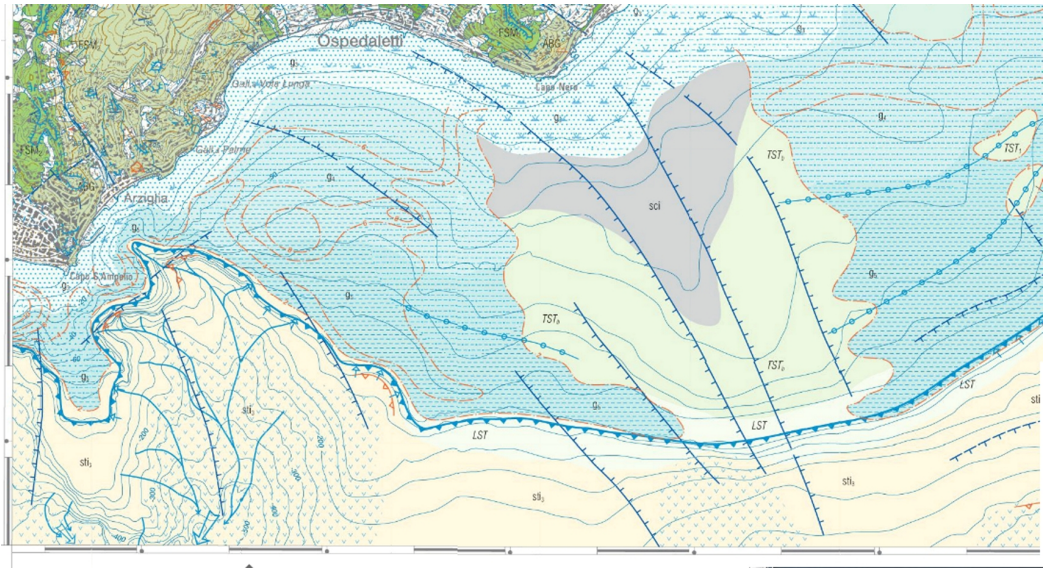



*Figura 3. Stralcio del foglio n. 258-271 San Remo della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 pubblicato nel 2010.*

I primi esempi sui risultati parziali ottenuti possono essere analizzati, tra gli altri, nei fogli pubblicati n. 486 Foce del Sele del 2009 (utilizzato in parte per la sperimentazione dei timbri cromatici attribuiti agli elementi lineari e puntuali della geologia marina - sommersa) e n. 258-271 San Remo del 2010. Un primo riscontro complessivo è atteso con la pubblicazione del foglio n. 413 Borgo Grappa/Isole Ponziane, in corso di allestito direttamente dal Servizio Geologico d'Italia, con ampia area marina rilevata ed uso integrale della nuova simbologia.

**Riferimenti bibliografici**

ARTIOLI G.P. *et alii* (1997) – *Carta Geologica d'Italia – 1:50.000 Banca dati Geologici – Linee guida per l'informatizzazione e per l'allestimento per la stampa dalla banca dati* - Quaderni serie III n. 6 – Servizio Geologico d'Italia.

COMMISSION DEL LA CARTE GEOLOGIQUE DU MONDE CCGM (2005) - *Color Code according*, Paris, France (versione predisposta in CMYK) in: http://www.stratigraphy.org/codeu.pdf.

COMMISSIONE GLINT (2009) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Progetto CARG: Modifiche ed integrazioni ai Quaderni n. 2/1996 e n. 6/1997* - Quaderni serie III n. 12 fascicolo I – Servizio Geologico d'Italia. Roma.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE – COMMISSIONE PER LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA (a cura del) – (1992) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000 – Guida al Rilevamento* in Servizio Geologico d'Italia, Quaderni serie III Vol. I°.

COSCI M., FALCETTI S., TACCHIA D. (1996) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Guida alla rappresentazione cartografica* - Quaderni serie III n. 2 – Servizio Geologico d'Italia.

MINISTERO INDUSTRIA COMMERCIO E ARTIGIANATO – Direzione Generale delle Miniere – Servizio Geologico d'Italia (1968) – *Impianto generale dei colori per la stampa dei fogli geologici.*

RENEVIER E. (1881) – *Rapport du Comité Suisse sur l'unification de la nomenclature - Congres Geologique International de Bologne –1881* in Archives des sciences physiques et naturelles – 3 periode – tom. 5 1881: 497-512.

TACCHIA D. (2007) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Manuale Cromatico di riferimento per la stampa delle Carte Geologiche* - Quaderni serie III n. 11 – Servizio Geologico d'Italia. Roma.

UNESCO-IUGS (2000) – International Stratigraphic chart (versione aggiornata reperibile nel sito: http://www.iugs.org/iugs/pubs/intstratchart.htm).

# Applicazione della tecnologia Field-Map in selvicoltura urbana: sviluppo di GIS per l'inventario e la gestione dei parchi storici

Antonio Tomao, Valerio Quatrini, Mariagrazia Agrimi, Rosaria Cartisano, Walter Mattioli, Diego Giuliarelli

Dipartimento per l'Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF), University of Tuscia, Via S. Camillo de' Lellis, s.n.c., I - 01100 Viterbo (Italy), Telephone: +390761357407, Fax +390761357389
antonio.tomao@unitus.it, valequa86@unitus.it, agrimi@unitus.it, walter.mattioli@unitus.it, cartisano.r@unitus.it, dgiuliarelli@unitus.it

**Riassunto**
Il lavoro illustra un'applicazione della stazione computerizzata portatile Field-Map nell'ambito della ricerca applicata in selvicoltura urbana, con particolare riferimento all'inventario della vegetazione arborea nei parchi storici. Il caso di studio presentato si riferisce al rilievo e alla registrazione di parametri dendro-auxometrici, strutturali e infrastrutturali, su base GIS, dei sistemi di alberi (filari, piante isolate, gruppi) che vegetano nel parco storico di Villa Lante di Bagnaia (VT) su un'estensione di circa 2,5 ha, per la creazione di un sistema informativo e l'elaborazione di cartografica tematica georeferenziata. I dati raccolti riguardano la posizione dei fusti, la struttura e lo stato ontogenetico delle chiome, l'analisi dello stato fitosanitario degli alberi e la posizione delle infrastrutture interagenti con i sistemi di alberi. E' stato possibile elaborare uno strumento di supporto per il monitoraggio e per le scelte di gestione dell'amministrazione del parco, basilare per una piena valutazione della consistenza del patrimonio arboreo e indispensabile per impostare, pianificare e programmare gli aspetti operativi e le attività di controllo della gestione tecnica.

**Abstract**
The paper presents a methodology for implementation of the portable computer station Field-Map in urban forestry research, with particular reference to the inventory of trees within historical parks. The case study refers to the survey and recording of dendro-auxometrical and structural parameters, GIS-based, aimimg to produce an information sistem and georeferenced technical maps for the *tree system* (trees rows, isolated trees and small groups) growing in the historical park of Villa Lante, Bagnaia (VT) on an area of about 2,5 hectares. The information system realized contains data about stem position, dendrometrical data, tree crown architecture classification and the position of artifacts and infrastructures near the trees. The aim of the research was to develop an effective tool to support management decisions for the historic park administration. The information system is required to assess the consistency of the tree assets, essential to set planning and operational aspects and to control the effects of technical activities.

## Introduzione

Il parco rinascimentale di Villa Lante di Bagnaia (VT) - costruita nel XVI sec. e attribuita al Vignola - è ricco di specie arboree e arbustive catalogate, sotto il profilo botanico, nella relativa scheda "Parchi e Giardini" (Dinelli *et al*., 1999). Le conoscenze sulle caratteristiche quali-quantitative della vegetazione arborea richiedono, tuttavia, di essere approfondite sotto il profilo strutturale, dendrometrico, bioeccanico e fitopatologico per supportare efficacemente le scelte di gestione e avviare un efficace e costante processo di monitoraggio. Nei parchi storici, gli alberi oltre ad assolvere numerose e importanti funzioni ambientali caratterizzano il paesaggio quali elementi di

identità culturale e storica (Harris *et al*., 2004; Ferrini, Baietto, 2006). E' indispensabile che la gestione tecnica degli alberi, in tali specifici ambiti, poggi su solide basi di ecologia applicata, orientata verso la conservazione del patrimonio, l'uso sostenibile consentito ai visitatori e il mantenimento di servizi ecosistemici (Costanza *et al*., 1997) inerenti alla presenza e alla struttura delle architetture vegetali. L'analisi quali-quantitativa ha, infatti, lo scopo di individuare le linee di gestione ottimali per la tutela del patrimonio arboreo in connessione con le opere necessarie al mantenimento e alla valorizzazione delle strutture architettoniche che li ospitano (Salbitano, 2001). Nel corso degli ultimi anni, si è consolidato l'approccio all'inventario degli alberi non solo come catalogo degli individui presenti e della loro posizione spaziale, ma come percorso ragionato che sintetizzi la storia dell'albero e il suo stato di vigoria e salute riguardo alle vicende subite nel tempo (Corona, Salbitano, 2001; Salbitano, 2005; Ferrini, 2011). Il lavoro illustra una metodologia di applicazione della stazione computerizzata portatile Field-Map sviluppata nell'ambito della ricerca applicata in selvicoltura urbana. Il caso di studio si riferisce al rilievo e alla registrazione di parametri dendro-auxometrici, strutturali e infrastrutturali, su base GIS, per la formazione di un sistema informativo e l'elaborazione di cartografica tematica georeferenziata relativa ai sistemi di alberi (filari, piante isolate, gruppi) che vegetano nel parco storico di Villa Lante di Bagnaia (VT). L'inventario riguarda la posizione dei fusti, la struttura e lo stato ontogenetico delle chiome, la posizione delle infrastrutture interagenti con i sistemi di alberi e l'analisi dello stato fitosanitario. Il sistema informativo è stato elaborato allo scopo di supportare le future scelte gestionali dell'amministrazione del parco in quanto si tratta di uno strumento basilare per valutare pienamente la consistenza del patrimonio arboreo e indispensabile per impostare le attività di pianificazione, di programmazione degli investimenti e degli aspetti operativi e le attività di controllo della gestione tecnica (Sanesi *et al*., 2008).

**Inquadramento dell'area**

L'area di studio è ubicata nel parco storico di Villa Lante in località Bagnaia, nel comune di Viterbo (Figura 1), sito di importanza rilevante sotto il profilo culturale, paesaggistico, sociale ed economico per il territorio della provincia. Il compendio monumentale, posto ad una quota di circa 440 m s.l.m., occupa una superficie complessiva di 22 ettari. La vegetazione configura tre elementi strutturali differenti: il giardino all'italiana, il "*barco*" e il "*sistema di alberi*". Il *barco* è un elemento tipico dei giardini rinascimentali e corrisponde ad un'antica riserva di caccia risalente al XVI secolo, oggi rappresentata da un lembo di bosco a prevalenza di leccio (*Quercus ilex* L.) e alloro (*Laurus nobilis* L.) assimilabile, sul piano fitosociologico, all'associazione *Quercetum mediterraneo-montanum* (Piovesan *et al*., 1994). Il giardino all'italiana è stato premiato nel 2011 come il "Parco più bello d'Italia". I *sistemi di alberi*, su cui si sono concentrati i rilievi descritti in questa relazione, corrispondono ai filari, alle piante isolate e ai nuclei di piante esterni al bosco ubicati nell'area adiacente al giardino all'italiana - ad accesso a pagamento - e nelle aree prospicienti l'ingresso e lo stradone che conduce al *barco* - ad accesso gratuito - dove la presenza dei visitatori è continua e intensa.

**Materiali e metodi**

I rilievi sono stati effettuati utilizzando la stazione computerizzata portatile Field-Map modello *Antelope*, progettata per l'esecuzione degli inventari forestali, che - come verrà illustrato - trova valida applicazione anche nell'inventario per il monitoraggio e la gestione dei *sistemi di alberi* nei parchi storici. L'apparecchiatura combina un *software* GIS che elabora i dati in ingresso in tempo reale con un equipaggiamento elettronico per la realizzazione di misure dendrometriche.

L'uso di Field-Map ha consentito - previo posizionamento dello strumento in un punto di coordinate note, ottenuto con una triangolazione a partire da posizioni rilevate con un GPS Trimble©, a precisione submetrica - di effettuare la misura del perimetro della proiezione a terra delle chiome (perimetro di insidenza) e di ottenere la precisa collocazione spaziale georeferenziata degli alberi nonché dei circostanti elementi strutturali di supporto all'utenza (panchine, tombini, ecc.).

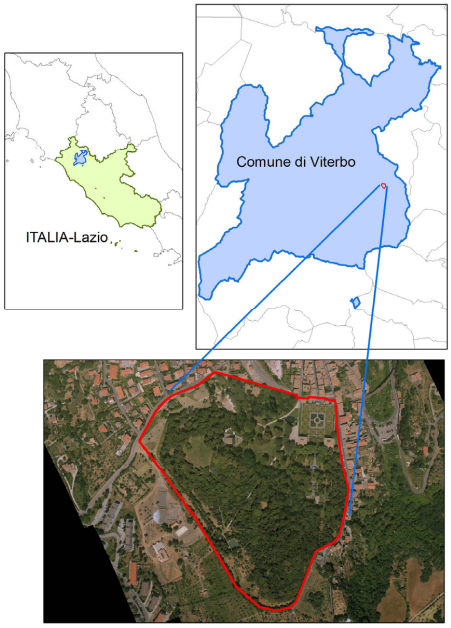



*Figura 1. L'area di studio: il Parco storico di Villa Lante.*

Contestualmente sono stati misurati altri parametri dendrometrici degli alberi quali il diametro a petto d'uomo (1,30 m) tramite cavalletto dendrometrico, l'altezza totale e l'altezza di inserzione della chioma con ipsometro Vertex. I dati sono stati associati a ciascun individuo censito tramite il *software* GIS implementato in Field-Map. Parallelamente, ciascun albero è stato catalogato utilizzando una scheda di rilievo standardizzata, elaborata secondo la metodologia di valutazione visiva della stabilità delle piante di Mattheck & Breloer (1998). La scheda comprende più serie di indicatori, relativi alle dimensioni di ciascun soggetto, alla collocazione spaziale (con particolare attenzione alla tipologia di copertura del suolo e di substrato), agli aspetti strutturali e fisionomici dei singoli alberi e alle loro caratteristiche di vigoria. Inoltre, dai dati raccolti è stato tratto un giudizio qualitativo riguardante lo stato di invecchiamento delle chiome, utilizzando le categorie di analisi proposte da Drenou (2001), sintomo delle difficoltà che l'individuo arboreo ha potuto incontrare nella propria vita e della conseguente condizione attuale di vitalità (Salbitano, 2005; Dujesiefken *et al*., 2005). Tutte le informazioni sono state elaborate in ambiente GIS, avvalendosi di immagini ad alta risoluzione in colori reali e in falsi colori (bande spettrali del verde - 550 nm, del rosso - 680 nm e dell'infrarosso vicino - 780 nm) appositamente acquisite nell'estate 2010 tramite un sistema di telerilevamento aereo multispettrale DFR, sviluppato da TERRASYSTEM SRL, con risoluzione di 1920 x 1075 pixel. I voli sono stati effettuati dall'aereo ultraleggero Sky Arrow ad una quota di 1.000 metri a cui corrisponde una risoluzione a terra del dato immagine di 0.5 m (Carlini *et al*. 2006).

**Risultati**

I dati raccolti sono stati elaborati in un sistema informativo (SI) dedicato al sistema degli alberi ornamentali di Villa Lante corredato da rappresentazioni cartografiche georeferenziate.

Il *sistema di alberi* occupa una superficie di circa 2,5 ha al cui interno ciascun individuo censito è stato identificato in modo univoco, tramite un codice numerico (ID) non materializzato sulla pianta. Al dato spaziale (coordinate geografiche acquisite per il posizionamento assoluto e relativo rispetto alle altre piante e alle strutture di servizio all'utenza (Figura 2) è stata associata una tabella

contenente dati quantitativi (diametro a 1,30 m, altezza dendrometrica, area di insidenza della chioma, profondità della chioma) e qualitativi (denominazione della specie; qualità della chioma, anomalie di varia origine su colletto, fusto, castello e chioma; attacchi parassitari) (Figura 3).

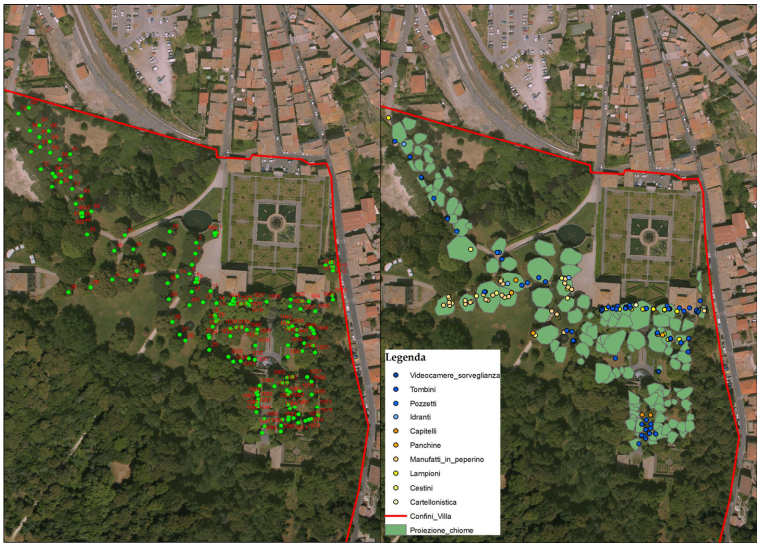
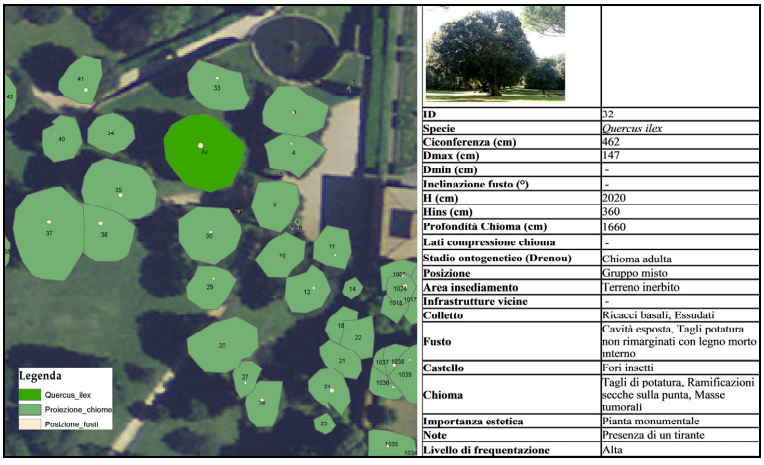



*Figura 2. Mappe del sistema di alberi del Parco storico di Villa Lante: ID identificativo (sin.); proiezione a terra delle chiome e strutture di servizio all'utenza (des.).*




| | |
|---|---|
| **ID** | 32 |
| **Specie** | *Quercus ilex* |
| **Ciconferenza (cm)** | 462 |
| **Dmax (cm)** | 147 |
| **Dmin (cm)** | - |
| **Inclinazione fusto (°)** | - |
| **H (cm)** | 2020 |
| **Hins (cm)** | 360 |
| **Profondità Chioma (cm)** | 1660 |
| **Lati compressione chioma** | - |
| **Stadio ontogenetico (Drenou)** | Chioma adulta |
| **Posizione** | Gruppo misto |
| **Area insediamento** | Terreno inerbito |
| **Infrastrutture vicine** | - |
| **Colletto** | Ricacci basali, Essudati |
| **Fusto** | Cavità esposta, Tagli potatura non rimarginati con legno morto interno |
| **Castello** | Fori insetti |
| **Chioma** | Tagli di potatura, Ramificazioni secche sulla punta, Masse tumorali |
| **Importanza estetica** | Pianta monumentale |
| **Note** | Presenza di un tirante |
| **Livello di frequentazione** | Alta |

*Figura 3. Database informativo associato al poligono di proiezione reale a terra della chioma di un esemplare di leccio.*

Sono stati censiti e analizzati 167 individui arborei appartenenti a dieci specie: *Quercus ilex* L. (Leccio) (48%), *Pinus pinea* L. (Pino domestico) (18%), *Platanus orientalis* L. (Platano orientale) (14%), *Camellia japonica "Hybrida"* (Camelia) (5%), *Cupressus sempervirens* L. (Cipresso) (4%) *Laurus nobilis* L. (Alloro) (3%), *Aesculus hippocastanus* (Ippocastano) (3%), *Prunus laurocerasus* L. (Lauroceraso) (3%), *Ilex aquifolium* L. (Agrifoglio) (1%), *Fillirea latifolia* L. (Fillirea) (1%).

Gli esemplari di leccio rappresentano circa la metà del patrimonio arboreo inventariato e sono caratterizzati da diametro medio di 71 cm e altezza media di 19,2 m. Il diametro medio complessivo è pari a 74,6 cm testimoniando la presenza di alcuni individui (lecci e platani, in particolare) di dimensioni notevoli e classificabili, ai sensi della L.R. 39/2002 del Lazio, come alberi monumentali che richiedono una gestione tecnica ancora più mirata, anche alla luce del loro valore sotto il profilo culturale e storico.
Le osservazioni riguardanti lo stato fitosanitario in relazione alla stabilità meccanica evidenziano carie a livello del colletto presenti su circa un terzo degli esemplari censiti. Lo stato delle chiome è generalmente buono pur con la presenza di 4 piante morte in piedi e di circa 10 piante con chioma sofferente o con sintomi di inizio mortalità. I fenomeni di compressione delle chiome sono frequenti (circa il 50% degli alberi) dovuti alla distanza ravvicinata tra le piante, con area media di insidenza della chioma di circa 75 $m^2$.
Oltre il 70% degli alberi è in stretta connessione con altre strutture e manufatti. Sono stati censiti e georeferenziati 134 elementi, divisi per tipologia di utilizzo in: *dispositivi di servizio* (tombini, pozzetti, idranti) e *attrezzature per l'utenza* (capitelli, panchine, lampioni, ecc).

**Discussione e conclusioni**
Nella gestione dei parchi storici dei compendi monumentali è necessario ottenere un equilibrio tra tutela delle architetture vegetali e conservazione della natura, nella consapevolezza degli effetti fisiologici legati alla esecuzione degli interventi colturali e alla razionalizzazione dei costi di gestione, senza trascurare di valutare gli effetti dell'uso della risorsa ambientale da parte del pubblico, in relazione alla sua fruizione in sicurezza. Questo studio intende ribadire la necessità di adottare veri e propri inventari della vegetazione arborea nei parchi storici, superando il concetto statico di "materiale vegetale". La metodologia inventariale e il sistema informativo sviluppati rispondono all'esigenza di acquisire, mettere in relazione, elaborare e, soprattutto, aggiornare molte più informazioni rispetto a quelle contenute nelle tradizionali Schede Parchi e Giardini.
L'uso delle nuove tecnologie disponibili aiuta in tal senso consentendo di ridurre i costi una volta superata la fase sperimentale. La base di dati relazionale ottenuta può essere interrogata per ottenere nuove informazioni dall'incrocio dei dati di origine anche per elaborare rappresentazioni cartografiche tematiche (a esempio, per evidenziare lo stato fitostatico degli alberi in relazione alle aree più frequentate dal pubblico, per identificare priorità di intervento di manutenzione ordinaria e straordinaria, per elaborare piani di sostituzione, per progettare percorsi alternativi, ecc.). L'utilizzo di Field-Map *Antelope* che unisce *software* per la gestione di dati GPS direttamente in campo con rilievi di tipo topografico ad alta precisione si conferma un valido strumento per affrontare problematiche di gestione in campo forestale. L'unico limite è rappresentato dal costo elevato dell'apparecchiatura; tuttavia, l'espansione dell'uso anche per gli inventari nei parchi storici potrà facilitarne la diffusione tra i professionisti del settore. Un possibile sviluppo del sistema riguarda la realizzazione di un *tool* che consenta di archiviare direttamente i dati richiesti da una scheda standardizzata per il rilievo fitostatico.

**Ringraziamenti**
E' stato possibile approfondire il tema degli inventari degli alberi dei parchi storici nell'ambito del Protocollo d'intesa stipulato tra il Dipartimento DIBAF - Università della Tuscia - e la Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici del Lazio del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, grazie all'interesse mostrato dalla Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici per le province di Roma, Frosinone, Latina, Rieti e Viterbo. Gli autori ringraziano la Soprintendenza, la Direzione e il personale tecnico e di custodia del Compendio monumentale di Villa Lante di Bagnaia per la cortese collaborazione. Il lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto di ricerca *Inventario e analisi dei popolamenti forestali e dei sistemi di alberi per la gestione dei parchi storici di Villa Lante di Bagnaia e di Villa Farnese di Caprarola*, cofinanziato dalla Fondazione CARIVIT di Viterbo, coordinato da M. Agrimi.

**Bibliografia**

- Carlini M., Valentini R., Belli C., Capitoni B., Papale D. (2006), *Progetto SIMIB: mappe degli incendi e valutazione dei danni da oggi a portata di mouse*. Silvae, 2 (5): 73-98.
- Corona P., Salbitano F. (2001), *Aspetti progettuali e di gestione delle alberature urbane*. Linea Ecologica, 11-25.
- Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B, Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Van Den Belt M. (1997), *The values of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature, 387: 253-260.
- Dinelli A., Guarrera P.M., Tonelli A. (1999), *Villa Lante*. In: "Ville storiche, parchi e giardini del Lazio" a cura di P.M. Guarrera. Regione Lazio - Assessorato alla Cultura. Dipartimento di Biologia Vegetale, Università "La Sapienza", Roma.
- Drenou C. (2001), *Vitalité et solidité de l'arbre: choisir les méthodes de diagnostic.* Arbre Actuel. Les cahiers.
- Dujesiefken D., Drenou C., Oven P., Stobbe H., (2005), *Arboricoltural practices*. In: Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B., Schipperijn, J. (Eds.), "Urban Forests and Trees". Springer, Berlin, pp. 419-441.
- Ferrini F. (2011), *Gestione degli alberi monumentali*. Acer, 1: 20-26. Il Verde Editoriale.
- Ferrini F., Baietto M. (2006), *Forestare la citta: ruoli e funzioni del verde urbano e periurbano.* Arbor, 19: 13-19.
- Harris R.W., Clark J.R., Matheny N.P. (2004), *Arboriculture. Integrated Management of Landascape Trees, Shrubs and Vines*. Prentice Hall.
- Mattheck C., Breloer H. (1998), *La stabilità degli alberi. Fenomeni meccanici e implicazioni legali dei cedimenti degli alberi*. Il Verde Editoriale.
- Piovesan G., Schirone A., Schirone B. (1994), *La storia dendrologica del parco di Villa Lante a Bagnaia fondamento per la sua gestione*. In: Macera M. (a cura di), I giardini del "Principe". Atti del Convegno. Min. B.B. C.C. A.A. Comitato Nazionale per lo Studio e la Conservazione dei Giardini Storici; Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici del Piemonte. 22-24 settembre 1994, Racconigi, 539-545.
- Salbitano F. (2005),. *Metodologie integrate di gestione delle alberature urbane. Sistemi di valutazione e censimento degli alberi dell'area gestita dall'Opera delle Mura di Lucca.* In M. A. Giusti (a cura di). "Le mura di Lucca dal restauro alla manutenzione programmata", pp. 63-95. Alinea Editrice.
- Sanesi G., Villa G., Rancati C., Fiorillo S., Bonanomi L., Colangelo G., Colaninno B., Lafortezza R., Ricciardi A. (2008), *Metodologie di censimento del verde urbano*. In: Sanesi G. (a cura di). Manuale RISVEM - Linee guida tecnico-operative per la pianificazione, progettazione, realizzazione e gestione di spazi verdi multifunzionali. ISBN: 88-87553-15-7, 978-88-87553-15-4. http://www.greenspace.it/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=128&Itemid=336.

# Potenzialità del telerilevamento *laser scanner* aereo per la classificazione delle coperture forestali in funzione della forma di governo

Davide Travaglini (*), Francesca Bottalico (*), Gherardo Chirici (**), Piermaria Corona (***), Susanna Nocentini (*)

(*) Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali, Università degli Studi di Firenze. Via San Bonaventura 13, 50145 Firenze, Tel. 055 3288618, Fax 055 319179, e-mail: davide.travaglini@unifi.it, francesca.bottalico@unifi.it, susanna.nocentini@unifi.it
(**) Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise. Contrada Fonte Lappone snc, 86090 Pesche (Isernia), Tel. 0874 404113, Fax 0874 404123, e-mail: gherardo.chirici@unimol.it
(***) Dipartimento per l'Innovazione nei Sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali, Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis snc, 01100 Viterbo, Tel. 0761 357406, Fax 0761 357389, e-mail: piermaria.corona@unitus.it

**Riassunto**
In questo studio è stata valutata la potenzialità del telerilevamento *laser scanner* aereo (ALS) per classificare le forme di governo forestale in un bosco misto di latifoglie. La metodologia applicata prevede l'utilizzo del modello digitale delle chiome (CHM) ottenuto da dati ALS e l'impiego di procedure automatizzate per la segmentazione *object-oriented* delle immagini telerilevate. La classificazione delle forme di governo si basa sulle metriche estratte dal CHM. I risultati ottenuti indicano che la media delle altezze e il coefficiente di variazione delle altezze estratti dal CHM sono utili per distinguere i boschi governati a ceduo da quelli governati a fustaia.

**Abstract**
In this study aerial laser scanning (ALS) data has been tested to classify coppice stands and high forest stands in a mixed broadleaved forest. The method is based on a canopy height model (CHM) obtained from ALS data. Forest stands have been delineated using a object-oriented approach. The polygons have been classified into coppices and high forests based on the metrics derived from CHM. Our results indicate that the mean of the heights and the coefficient of variation of the heights extracted from CHM are useful to discriminate coppices from high forests.

## Introduzione

Il telerilevamento con *laser scanner* aereo (*Airborne Laser Scanning* - ALS) con strumentazione LiDAR (*Light Detection And Ranging*) rappresenta un ottimo strumento di supporto per l'inventariazione delle risorse forestali. Le ricerche svolte nel nostro Paese evidenziano la capacità dei dati ALS di produrre stime accurate dei principali parametri dendrometrici delle foreste a supporto della pianificazione a livello aziendale (Clementel et al., 2012; Corona et al., 2012; Pirotti et al., 2012).
A esempio, utilizzando approcci *area-based* (Corona e Fattorini, 2008) per la stima della provvigione legnosa (o della biomassa epigea) con metodi parametrici, è stata osservata in diversi contesti forestali una buona relazione tra il volume legnoso rilevato in aree di saggio e le metriche estratte dal modello digitale delle chiome (*Canopy Height Model* - CHM) ottenuto da ALS. Le metriche CHM più efficienti per la stima del volume sono risultate: media delle altezze, mediana delle altezze, somma delle altezze (Corona et al., 2008; Fusco et al., 2008; Barbati et al., 2009; Floris et al., 2010). Approcci *area-based* sono stati utilizzati per classificare la struttura dei

soprassuoli boschivi in termini di densità e altezza media sfruttando le informazioni contenute nel CHM (Barilotti et al., 2005; Fusco et al., 2008; Floris et al., 2009; Floris et al., 2010). I dati CHM si sono dimostrati utili anche ai fini della identificazione dei *gaps* nella copertura forestale (Barbati et al., 2009; Bottalico et al., 2009). Tale informazione, oltre ad essere utile per lo sviluppo di indagini di carattere ecologico e per l'analisi delle dinamiche forestali, risulta vantaggiosa anche per aumentare l'efficienza dei campionamenti inventariali tramite l'esclusione dei *gaps* dal processo di campionamento. Inoltre, l'uso combinato di dati LiDAR e di dati iperspettrali è stato testato per l'identificazione e la classificazione delle specie forestali (Dalponte et al., 2008).
Un aspetto ancora inesplorato ma di rilevante interesse per la gestione forestale in ambiente mediterraneo è la valutazione delle potenzialità dei dati ALS nel discriminare le coperture forestali in funzione della forma di governo. Di fatto, la possibilità di differenziare tra loro le forme di governo forestale mediante tecniche di *remote sensing* passivo è limitata dalla scarsa capacità dei sensori di caratterizzare la struttura verticale dei soprassuoli boschivi (Wulder et al., 2007). Le tecniche di *remote sensing* attivo, quali quelle ALS che vengono sempre più proposte per la descrizione della struttura dei popolamenti forestali nei suoi aspetti di distribuzione verticale e orizzontale e di copertura delle chiome, rappresentano invece un filone di ricerca promettente a tal fine. In questa prospettiva, di particolare interesse a livello operativo è l'utilizzo del CHM ottenibile da ALS, il quale non di rado può essere acquisito dai professionisti a costo relativamente basso o, talora, addirittura nullo (come *by-product* di progetti realizzati da amministrazioni pubbliche per scopi diversi, soprattutto topografici, da quelli forestali: v. Corona et al., 2011).
Obiettivo di questo studio è, dunque, di testare le prestazioni del CHM per la classificazione dei soprassuoli forestali in cedui e fustaie, con riferimento, come prima sperimentazione, a un caso di studio relativo a un bosco misto di latifoglie decidue a prevalenza di specie quercine.

## Materiali e metodi

### *Area di studio*

Lo studio è stato condotto nel complesso territoriale delle Cerbaie in Provincia di Pisa. Le Cerbaie sono caratterizzate da basse colline boscose situate a quote comprese tra 0 e 114 m s.l.m. Le temperature medie annue sono comprese tra 14 °C e 15 °C; le precipitazioni annue sono comprese tra 1000 mm e 1150 mm. Secondo la classificazione fitoclimatica di Pavari, le Cerbaie ricadono nella zona del *Lauretum* sottozona media con siccità estiva.
La vegetazione forestale delle Cerbaie può essere inquadrata in due piani distinti in funzione della morfologia del territorio (Paci, 2009; Travaglini et al., 2011). Il primo piano è dominato dalle pinete di pino marittimo e si può individuare nelle superfici alle quote maggiori e nelle zone pianeggianti, caratterizzate da un ambiente di tipo mediterraneo, termofilo e con una buona esposizione. Il secondo piano vegetazionale è individuabile negli impluvi e nei piani di fondovalle, caratterizzati da un ambiente di tipo mesofilo e con un certo grado di umidità. In questo piano domina il bosco misto di latifoglie decidue a prevalenza di specie quercine, composto per lo più da cerro e orniello, con rovere e farnia negli ambienti più freschi.

### *Dati*

È stato utilizzato un CHM raster con risoluzione pari a 1 m prodotto con dati ALS acquisiti per finalità topografiche. I dati ALS sono stati rilevati nell'inverno del 2008 con sensore Altm Gemini. L'accuratezza orizzontale e l'accuratezza verticale dichiarate dal produttore sono rispettivamente di 0,3 m e di 0,15 m.
Nella zona coperta dal CHM, i boschi misti di latifoglie decidue a prevalenza di specie quercine sono stati individuati per fotointerpretazione di ortofoto digitali AGEA a colori del 2007. Sono presenti sia cedui semplici matricinati regolarmente gestititi, sia soprassuoli transitori (Ciancio e Nocentini, 2004) derivanti da avviamento a fustaia che presentano ormai un solo pollone per ceppaia e quindi con una struttura verticale del soprassuolo assimilabile a una giovane fustaia. I

soprassuoli così identificati sono stati visitati a terra. L'età dei boschi cedui è stata stimata tagliando un pollone rappresentativo e contando gli anelli alla base del fusto; l'età dei soprassuoli transitori è stata ricavata da un precedente piano di gestione forestale (Gualdi, 1977) ed è risultata compresa tra 40 e 60 anni. Nel caso del ceduo è stata effettuata la distinzione tra ceduo e ceduo giovane per separare i soprassuoli di età vicina all'età del turno minimo di utilizzazione (18 anni secondo il regolamento forestale della Regione Toscana) dai soprassuoli utilizzati da non più di 10 anni. La distinzione tra ceduo e ceduo giovane, oltre ad essere rilevante ai fini gestionali, è da ritenersi funzionale anche ai fini della classificazione dei dati ALS. Infatti, la struttura di un ceduo giovane è differente da quella di un ceduo adulto, ad esempio: in un ceduo giovane, la differenza tra l'altezza delle matricine e l'altezza dei polloni è superiore rispetto a quella che si osserva in un ceduo adulto; in un ceduo giovane, la dimensione delle chiome delle matricine è inferiore a quella che si rileva in un ceduo adulto; in un ceduo giovane, nei primi anni dopo il taglio, il grado di copertura esercitato dalle chiome dei polloni e delle matricine è inferiore rispetto a quello di un ceduo adulto. Tali differenze di struttura sono potenzialmente rintracciabili con il telerilevamento sfruttando le informazioni acquisite con strumentazione ALS (Koch et al., 2006; Pascual et al., 2008).
Dall'insieme dei boschi misti di latifoglie decidue è stato estratto un campione casuale di soprassuoli di estensione pari a 45 ettari, equamente ripartito tra i seguenti tipi: fustaia (T1), ceduo (T2) e ceduo giovane (T3). La superficie di ciascun tipo è stata poi separata casualmente in *training sites* e *test sites*, per una percentuale rispettivamente pari al 20% e all'80%.

***Pre-elaborazioni e analisi***
Il CHM è stato riclassificato in modo da assegnare un valore di 0 a tutti i *pixel* del CHM con altezza inferiore a 2 m, in modo da escludere l'eventuale presenza dello strato arbustivo. In seguito, il CHM è stato sottoposto ad un processo automatico di segmentazione multilivello (Chirici et al., 2006; Lamonaca et al., 2008) per valutare le prestazioni dei dati ALS al variare della scala di analisi spaziale. Utilizzando il *software* Definiens (vers. 5) sono stati creati 6 livelli di segmentazione variando il fattore di scala tra 50 e 5; gli altri parametri della segmentazione (colore, forma, compattezza e regolarità) sono stati mantenuti costanti assegnando loro un valore di 0,5. Passando da un fattore di scala di 50 fino ad un fattore di scala di 5, si sono generati poligoni di dimensione sempre più piccola. Nel caso dei cedui, utilizzando un fattore di scala $\leq 10$, è stato possibile segmentare le chiome delle piante più alte, che verosimilmente corrispondono alle matricine (Figura 1).
Per ciascun poligono generato con i diversi livelli di segmentazione sono state calcolate le seguenti metriche sulla base dei valori di altezza estratti dai *pixel* del CHM: altezza minima, altezza massima, somma delle altezze, media delle altezze, range delle altezze, deviazione standard (DS) e coefficiente di variazione (CV) delle altezze.
I *training sites* sono stati utilizzati per eseguire l'analisi statistica delle metriche CHM allo scopo di individuare le metriche che, nel caso di studio esaminato, consentono una migliore discriminazione tra boschi governati a ceduo e boschi governati a fustaia. A tal fine sono stati applicati due test non parametrici (Kruskal-Wallis test e Median test) per valutare se le metriche CHM variano significativamente tra i tipi T1, T2 e T3; in caso di differenza significativa, è stato applicato il test di confronto a coppie di Mann-Whitney per individuare le differenze tra i tipi. Tutte le analisi statistiche sono state eseguite con il *software* SPSS (vers. 13.0).

***Classificazione e valutazione dell'accuratezza***
Le metriche che dell'analisi statistica sono risultate più efficienti per la differenziazione dei tipi T1, T2 e T3 sono state utilizzate per classificare i dati ALS con approccio *supervised*. La classificazione è stata eseguita con il *software* Idrisi (vers. 32.22) utilizzando un algoritmo di massima verosimiglianza (Lillesand, Kiefer, 2000) e i *training sites* descritti in precedenza. I valori originali delle metriche calcolati sull'immagine del CHM sono stati standardizzati nell'intervallo di valori 0-255 utilizzando una procedura di riclassificazione lineare.

L'accuratezza della classificazione è stata valutata sui *test sites* confrontando i risultati della classificazione *supervised* con la verità osservata a terra e calcolando i seguenti indici di accuratezza tematica: *overall accuracy* (OA), *producer's accuracy* (PA), *user's accuracy* (UA) e *kappa index of agreement* (KIA) (Congalton, 1991).

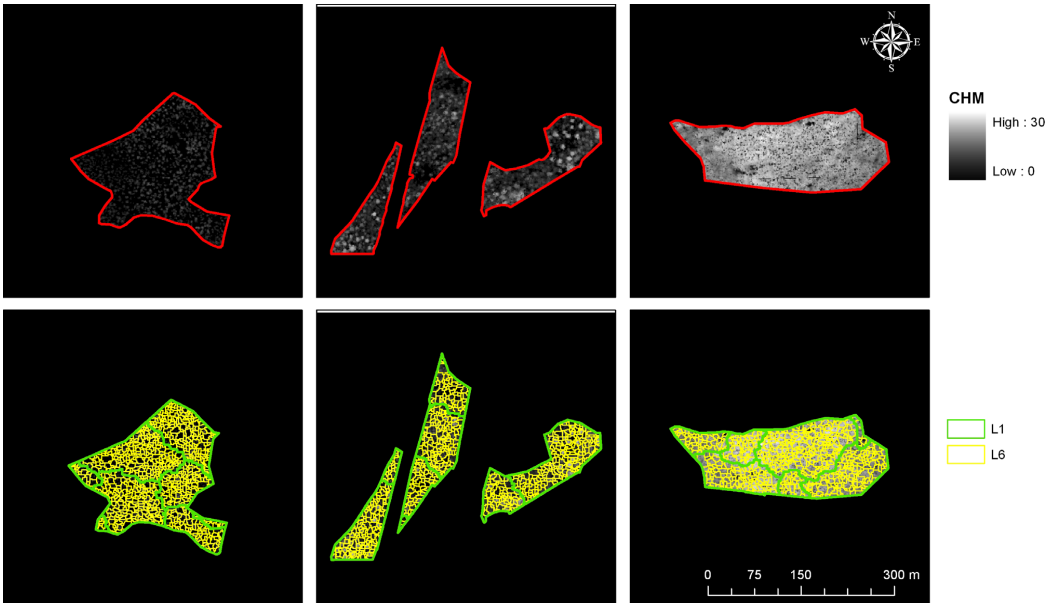



*Figura 1. In alto, visualizzazione dei tipi strutturali T1 (fustaia, a destra), T2 (ceduo, al centro) e T3 (ceduo giovane, a sinistra) sull'immagine del CHM. In basso, poligoni generati con la segmentazione dei tipi strutturali utilizzando due diversi fattori di scala: 50 (livello di segmentazione 1, poligoni in verde) e 5 (livello di segmentazione 6, poligoni in giallo).*

**Risultati**

In Tabella 1 sono riportati i risultati dei test eseguiti sulle metriche estratte dal CHM in corrispondenza dei poligoni dei *training sites* generati con la segmentazione multilivello. Tali risultati evidenziano la possibilità di discriminare la forma di governo del bosco sulla base dei dati ALS. Tuttavia, nelle condizioni esaminate, alcune metriche mostrano un comportamento diverso al variare del fattore di scala utilizzato nella procedura di segmentazione. Tali metriche sono da considerarsi meno efficienti per la classificazione dei boschi cedui regolarmente gestiti e dei boschi con struttura tipica della fustaia, visto che producono risultati sensibili alla scala di analisi dei dati ALS.

Le metriche CHM che hanno presentato un tale comportamento sono: altezza minima, somma delle altezze e deviazione standard delle altezze. In particolare, dall'analisi della Tabella 1 si evince quanto segue:

- l'altezza minima è capace di differenziare i tipi T1, T2 e T3 quando il fattore di scala è ≤ 15; con un fattore di scala = 20, i tipi T1 e T2 risultano ancora differenti, mentre con un fattore di scala = 30 non si osservano differenze tra i tipi;
- la somma delle altezze permette di differenziare i tipi T1, T2 e T3 quando il fattore di scala è ≤ 30, mentre con un fattore di scala = 50 non si rilevano differenze tra i tipi;
- la deviazione standard delle altezze consente di differenziare i tipi T1, T2 e T3 quando il fattore di scala è ≤ 10; con un fattore di scala ≥ 15 si osservano differenze tra i tipi T2 e T3, ma non si rilevano differenze tra il tipo T1 e i tipi T2 e T3.

Viceversa, le metriche CHM che hanno prodotto risultati consistenti al variare della scala di analisi, e che per ciò possono essere considerate maggiormente affidabili per la classificazione della forma di governo del bosco, sono: altezza massima, valore medio delle altezze, range e CV delle altezze. Tali metriche sono state utilizzate per effettuare la classificazione *supervised* dei dati ALS. La classificazione è stata eseguita rispetto ai poligoni generati con il primo livello di segmentazione (fattore di scala = 50). Considerato che a questa scala di analisi le metriche relative all'altezza massima e al range coincidono nel caso di studio qui esaminato, si è deciso di escludere il range dalla procedura di classificazione.

| Livello di segmentazione (fattore di scala) | Numero di poligoni generati con la segmentazione dei *training sites* | | | Metrica estratta dal CHM | Valore medio della metrica calcolato sui poligoni dei *training sites* | | | Kruskal-Wallis test (sig.) | Median test (sig.) | Mann-Whitney test |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T1 | T2 | T3 | | T1 | T2 | T3 | | | |
| L1 (50) | 7 | 8 | 9 | Minimo | 0,0 | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| | | | | Massimo | 26,5 | 20,5 | 13,0 | 0,000 | 0,001 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Somma | 91123 | 27661 | 9490 | 0,009 | 0,002 | T1=T2=T3 |
| | | | | Media | 18,9 | 6,4 | 2,2 | 0,000 | 0,001 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Range | 26,5 | 20,5 | 13,0 | 0,000 | 0,001 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | DS | 4,3 | 4,3 | 3,1 | 0,002 | 0,002 | T1=T2≠T3 |
| | | | | CV | 0,2 | 0,7 | 1,4 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| L2 (30) | 10 | 16 | 21 | Minimo | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,157 | 0.151 | T1=T2=T3 |
| | | | | Massimo | 26,8 | 20,1 | 12,9 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Somma | 63786 | 13831 | 3615 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Media | 19,5 | 7,0 | 2,3 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Range | 26,3 | 20,1 | 12,9 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | DS | 4,3 | 4,2 | 3,1 | 0,000 | 0,000 | T1=T2≠T3 |
| | | | | CV | 0,2 | 0,7 | 1,5 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| L3 (20) | 37 | 48 | 42 | Minimo | 1,7 | 0,5 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2=T3 |
| | | | | Massimo | 23,5 | 16,7 | 10,4 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Somma | 17238 | 4610 | 1808 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Media | 17,5 | 7,1 | 2,0 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Range | 21,9 | 16,3 | 10,4 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | DS | 3,6 | 3,5 | 2,6 | 0,000 | 0.001 | T1=T2≠T3 |
| | | | | CV | 0,2 | 0,7 | 1,6 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| L4 (15) | 73 | 102 | 80 | Minimo | 3,7 | 0,8 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Massimo | 24,0 | 15,4 | 9,9 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Somma | 8737 | 2170 | 949 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Media | 18,4 | 7,2 | 2,2 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Range | 20,2 | 14,5 | 9,9 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | DS | 3,4 | 3,3 | 2,5 | 0,000 | 0,000 | T1=T2≠T3 |
| | | | | CV | 0,2 | 0,7 | 1,6 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| L5 (10) | 169 | 235 | 212 | Minimo | 6,8 | 1,6 | 0,1 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Massimo | 23,3 | 13,4 | 9,0 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Somma | 3774 | 942 | 358 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Media | 18,3 | 7,3 | 2,6 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Range | 16,5 | 11,8 | 8,9 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | DS | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 0,000 | 0,029 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | CV | 0,2 | 0,6 | 1,6 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| L6 (5) | 770 | 785 | 882 | Minimo | 12,1 | 2,9 | 0,6 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Massimo | 21,9 | 10,7 | 6,2 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Somma | 828 | 282 | 86 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Media | 18,4 | 7,0 | 2,8 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | Range | 9,8 | 7,8 | 5,6 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | DS | 2,4 | 2,0 | 1,6 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |
| | | | | CV | 0,2 | 0,5 | 1,1 | 0,000 | 0,000 | T1≠T2≠T3 |

*Tabella 1. Risultati dei test non parametrici condotti sulle metriche estratte dal CHM sui poligoni della segmentazione multilivello dei training sites dei tipi T1 (fustaia), T2 (ceduo) e T3 (ceduo giovane).*

L'accuratezza complessiva della classificazione calcolata sui *test sites* è risultata pari all'86%. La *producer's accuracy* e la *user's accuracy* sono risultate massime per i tipi T1 e T3, mentre, per il tipo T2, sono risultate rispettivamente pari al 58% e al 71%, a causa di una imprecisa assegnazione del tipo T2 ad alcuni poligoni test appartenenti al tipo T3 (Tabella 2). L'indice KIA è risultato pari a 0,79.
Considerando solo la distinzione tra il tipo T1 e i tipi T2 e T3, l'accuratezza tematica della classificazione risulta pari al 100% (Tabella 3), con indice KIA pari a 1.

| | | Verità | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | T1 (ha) | T2 (ha) | T3 (ha) | UA (%) |
| Classificazione | T1 (ha) | 11,7 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| | T2 (ha) | 0,0 | 11,9 | 4,9 | 70,8 |
| | T3 (ha) | 0,0 | 0,0 | 6,8 | 100,0 |
| | PA (%) | 100,0 | 100,0 | 58,1 | OA (%) = 86,1 |

*Tabella 2. Accuratezza tematica (OA = overall accuracy, PA = producer's accuracy; UA = user's accuracy) della classificazione dei tipi T1 (fustaia), T2 (ceduo) e T3 (ceduo giovane) calcolata sui test sites.*

| | | Verità | | |
|---|---|---|---|---|
| | | T1 (ha) | T2+T3 (ha) | UA (%) |
| Classificazione | T1 (ha) | 11,7 | 0,0 | 100,0 |
| | T2+T3 (ha) | 0,0 | 23,6 | 100,0 |
| | PA (%) | 100,0 | 100,0 | OA (%) = 100,0 |

*Tabella 3. Accuratezza tematica (OA = overall accuracy, PA = producer's accuracy; UA = user's accuracy) della classificazione dei tipi T1 (fustaia) e T2+T3 (ceduo e ceduo giovane) calcolata sui test sites.*

**Discussione e conclusioni**

Il telerilevamento ALS con strumentazione LiDAR fornisce una vasta gamma di informazioni utili per la caratterizzazione delle risorse forestali. Tali informazioni possono essere sfruttate in modo efficace durante le fasi analitiche della redazione dei piani di gestione forestale al fine di contenere i costi connessi alle attività di rilievo a terra. Gli studi condotti in Italia e all'estero dimostrano infatti l'effettiva capacità dei dati ALS di supportare la stima di importanti parametri biofisici come la provvigione legnosa e l'area basimetrica, con errori simili se non addirittura inferiori a quelli prodotti con metodi tradizionali basati esclusivamente sui rilievi a terra (Corona et al., 2012).
Lo studio qui presentato dimostra le potenzialità dei dati ALS per caratterizzare la forma di governo del bosco in soprassuoli di latifoglie decidue di ambiente mediterraneo. La metodologia descritta prevede l'utilizzo del CHM ottenibile da dati ALS e l'impiego di procedure automatizzate per la segmentazione *object-oriented* delle immagini telerilevate. La classificazione della forma di governo si basa sulle metriche estratte dal CHM.
Le potenzialità della segmentazione *object-oriented* per differenziare strutture forestali con tecniche di *remote sensing* passivo sono state dimostrate da Lamonaca et al. (2008). Una procedura basata su dati ALS e segmentazione, simile a quella sperimentata dal presente studio, è stata utilizzata da Pascual et al. (2008) per caratterizzare la struttura dei boschi di pino silvestre in Spagna centrale. Questo studio, per la prima volta (non è infatti reperibile alcun riferimento bibliografico in merito), ha esteso questo tipo di procedura per caratterizzare la forma di governo del bosco.
Nelle condizioni esaminate, le metriche CHM più efficaci per la differenziazione dei boschi governati a ceduo rispetto a quelli con struttura a fustaia sono risultate: altezza massima, media delle altezze, CV delle altezze. La capacità di queste metriche di differenziare i tipi strutturali non sembra essere condizionata dalla scala di analisi dei dati ALS. Risultati per certi versi simili a quelli qui evidenziati, sebbene non riferiti alla differenziazione tra cedui e fustaie, sono stati ottenuti da Lefsky et al. (2005) e da Pascual et al. (2008). Secondo Lefsky et al. (2005), l'altezza media e la

variabilità delle altezze estratte dai dati LiDAR sono ben correlate con la struttura delle coperture forestali. Secondo Pascual et al. (2008), la media e la deviazione standard delle altezze sono utili per discriminare i boschi di pino silvestre con struttura orizzontale omogenea, mentre, nel caso di pinete con struttura orizzontale eterogenea, la mediana e la deviazione standard sono più efficienti.
In conclusione, i risultati ottenuti da questo studio indicano che la media e il CV delle altezze (metrica che include implicitamente la deviazione standard) estratti dal CHM prodotto con dati ALS sono utili per distinguere i boschi a prevalenza di cerro governati a ceduo da quelli con la struttura tipica della fustaia coetanea. Da ribadire l'importanza di aver dimostrato come a tal fine siano sufficienti le informazioni contenute nel CHM, dato in genere acquisibile dai professionisti forestali a costo relativamente basso o, talora, addirittura nullo. Ulteriori indagini sono comunque necessarie per testare la metodologia proposta in contesti forestali più vasti e con diversa composizione specifica.

**Ringraziamenti**
I dati ALS sono stati gentilmente concessi dalla Provincia di Pisa nell'ambito della convenzione "Piano di Gestione del Consorzio Forestale delle Cerbaie" (responsabile scientifico: S. Nocentini), stipulata nell'ambito del Progetto BIOMASS del "Programma Operativo Italia – Francia Marittimo 2007-2013".
Il lavoro è stato svolto in parte con fondi di ricerca di Ateneo anno 2011 (responsabile scientifico: D. Travaglini), in parte con fondi del progetto PRIN 2009 "in_FLAMING: Sperimentazione di modelli e tecniche innovative per la gestione integrata dei combustibili nella prevenzione degli incendi boschivi in foreste mediterranee e temperate" (coordinatore nazionale: P. Corona) finanziato dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca, e in parte con fondi del progetto FIRB 2008 "Modellizzazione dell'accumulo di carbonio negli ecosistemi forestali nazionali tramite integrazione di dati convenzionali, dati telerilevati e modelli di produttività" (coordinatore nazionale: G. Chirici).

**Bibliografia**
Barbati A., Chirici G., Corona P., Montaghi A., Travaglini D. (2009), Area-based assessment of forest standing volume by field measurements and airborne laser scanner data, *International Journal of Remote Sensing*, 30(19): 5177–5194.

Barilotti A., Turco S., Napolitano R., Bressanc E. (2005), La tecnologia LiDAR per lo studio della biomassa negli ecosistemi forestali, *Atti del XV Congresso della Società Italiana di Ecologia, 12-14 Settembre 2005, Torino.*

Bottalico F., Montaghi A., Travaglini D. (2009), Identificazione dei gaps nella copertura forestale con dati LiDAR, *Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, Bari, 1-4 Dicembre 2009.*

Chirici G., Barbati A., Corona P., Lamonaca A., Marchetti M., Travaglini D. (2006), Segmentazione di immagini telerilevate multirisoluzione per la derivazione di cartografie di uso/copertura del suolo multiscala, *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 37: 113–136.

Ciancio O., Nocentini S. (2004), *Il bosco ceduo, selvicoltura, assestamento, gestione,* Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze.

Clementel F., Colle G., Farruggia C., Floris A., Scrinzi G., Torresan C. (2012), Estimating forest timber volume by means of "low-cost" LiDAR data, *Italian Journal of Remote Sensing*, 44(1): 125–140.

Congalton R. (1991), A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, 37: 35–46.

Corona P., Fattorini L. (2008), Area-based LiDAR-assisted estimation of forest standing volume. *Canadian Journal of Forest Research*, 38: 2911–2916.

Corona P., Lamonaca A., Chirici G., Travaglini D., Marchetti M., Minari E., Montaghi A. (2008), Estimation of growing stock of broadleaved forests by airborne laser scanning, *in: Gianelle D., Travaglini D., Mason F., Minari E., Chirici G., Chemini C. (eds.), Canopy analysis and*

*dynamics of a floodplain forest. Rapporti Scientifici, 3*, Centro Nazionale per lo studio e la conservazione della Biodiversità Forestale – Bosco della Fontana, Cierre Grafica Editore.

Corona P., Marchetti M., Scrinzi G., Torresan C. (2011), Stato dell'arte delle applicazioni laser scanning aereo a supporto della gestione delle risorse forestali in Italia. *ASITA, Atti XV Conferenza Nazionale*, 2011, Colorno: 721-732.

Corona P., Cartisano R., Salvati R., Chirici G., Floris A., Di Martino P., Marchetti M., Scrinzi G., Clementel F., Travaglini D., Torresan C. (2012), Airborne Laser Scanning to support forest resource management under alpine, temperate and Mediterranean environments in Italy, *European Journal of Remote Sensing*, 45: 27–37.

Dalponte M., Gianelle D., Bruzzone L. (2008), Use of hyperspectral and LIDAR data for classification of complex forest areas, *in: Gianelle D., Travaglini D., Mason F., Minari E., Chirici G., Chemini C. (eds.), Canopy analysis and dynamics of a floodplain forest. Rapporti Scientifici, 3*, Centro Nazionale per lo studio e la conservazione della Biodiversità Forestale – Bosco della Fontana, Cierre Grafica Editore.

Floris A., Clementel F., Farruggia C., Scrinzi G. (2009), Il LiDAR nella stratificazione tematica dei soprassuoli forestali: applicazioni in Trentino, *Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, Bari, 1-4 dicembre 2009.*

Floris A., Clementel F., Farruggia C., Scrinzi G. (2010), Stima su base Lidar delle provvigioni legnose forestali: uno studio per la foresta di Paneveggio, *Italian Journal of Remote Sensing*, 42(3): 15–32.

Fusco S., Pflugmacher D., Kirschbaum A., Cohen W., Chiatante D., Montagnoli A. (2008), Uso di dati LiDAR per stima della biomassa forestale in un bosco misto di latifoglie: un caso studio in Valsassina (LC), *Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila, 21-21 Ottobre 2008.*

Gualdi V. (1977), *R.N.B. di Montefalcone. Piano di assestamento per il decennio 1977-1986*, MAF-CFS, Gestione ASFD, Roma.

Koch B., Heyder U., Weinacker H. (2006), Detection of Individual Tree Crowns in Airborne Lidar Data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72: 357–363.

Lamonaca A., Corona P., Barbati A. (2008), Exploring forest structural complexity by multi-scale segmentation of VHR imagery, *Remote Sensing of Environment,* 112: 2839–2849.

Lefsky M.A., Hudak A.T., Cohen W.B., Acker S.A. (2005), Patterns of covariance between forest stand and canopy structure in the Pacific Northwest, *Remote Sensing of Environment*, 95: 517–531.

Lillesand T.M., Kiefer R.W. (2000), *Remote Sensing and Image Interpretation*, Wiley.

Paci M. (2009), *Le pinete delle Cerbaie: struttura, dinamismo e possibili indirizzi selvicolturali, in: Scritti in onore di Mario Cantiani* (a cura di: Hermanin L. e La Marca O.), Edizioni Polistampa, Livorno: 173–183.

Pascual C., García-Abril A., Garcıía-Montero L.G., Martín-Fernández S., Cohen W.B. (2008), Object-based semi-automatic approach for forest structure characterization using lidar data in heterogeneous Pinus sylvestris stands, *Forest Ecology and Management*, 255: 3677–3685.

Pirotti F., Grigolato S., Lingua E., Sitzia T., Tarolli P. (2012), Laser Scanner Applications in Forest and Environmental Sciences, *Italian Journal of Remote Sensing,* 44: 109–103.

Travaglini D., Bottalico F., Fiorentini S., Lisa C., Marchi E., Mottola S., Neri F., Nocentini S., Puletti N. (2011), *I boschi delle Cerbaie: gestione, conservazione e uso sostenibile*, Pacini Editore SpA, Ospedaletto (Pisa).

Wulder M.A., Han T., White J.C., Sweda T., Tsuzuki H. (2007), Integrating profiling LIDAR with Landsat data for regional boreal forest canopy attribute estimation and change characterization, *Remote Sensing of Environment*, 110: 123–137.

# Itinerari in Lombardia: una piattaforma per la redazione e la fruizione su web

Sergio URBISCI (*), Paolo MILANI (**)

(*) Regione Lombardia, Direzione Generale Istruzione, formazione e cultura,
P.zza Città di Lombardia, 20124 Milano, Tel. 02/6765.2655,
e-mail Sergio_Urbisci@regione.lombardia.it
(**) Lombardia Informatica S.p.A., Via Durando 38, 20158 Milano,
Tel. 02/39331543, e-mail paolo.milani@lispa.it

**Riassunto**
Regione Lombardia sta sviluppando una piattaforma per la realizzazione e la pubblicazione di itinerari su web (desktop e mobile) che ha l'obiettivo di favorire valorizzazione, diffusione e fruizione dell'offerta turistico-culturale lombarda.
La piattaforma consentirà a redattori, anche se privi di competenze in ambito GIS, di progettare e pubblicare itinerari su web individuandoli in un contesto territoriale (es. un mappa, un elenco di ambiti amministrativi, i risultati di un'interrogazione su banche dati tematiche georeferenziate) e corredandoli di un'area di contorno (buffer) all'interno della quale evidenziare ulteriori informazioni estratte sia da banche dati sia altri itinerari.

**Abstract**
Regione Lombardia is going to develop a framework to realize routes and to publish them on web (desktop and mobile). The framework will allow an editor, though not skilled in GIS, to perform a route on web by selecting elements into a database, putting them on a map, connecting them and finally by applying a buffer on the route for extracting new elements from more databases of different kind.

**Scopo del progetto**
Regione Lombardia sta sviluppando una piattaforma per la realizzazione di itinerari da pubblicare su web articolata in tre diversi ambienti, uno per la redazione, uno per la fruizione in modalità web desktop e uno per la fruizione in modalità mobile. La piattaforma ha lo scopo di consentire a qualunque unità di redazione dell'ente di realizzare e pubblicare su web itinerari territoriali a partire dalle informazioni che caratterizzano l'attività dell'unità stessa e che sono presenti in banche dati già georeferenziate oppure georeferenziabili anche soltanto per mezzo dell'indirizzo degli elementi in esse contenuti. Ogni itinerario si sviluppa a partire da un particolare ambito, culturale, turistico, sportivo, enogastronomico, etc. (esempi di temi specifici per i diversi ambiti: il Romanico in Lombardia, la Strada dei vini della Franciacorta, i siti UNESCO, le terme in Alta Valtellina, il sistema dei Navigli …) e può avvalersi anche delle informazioni presenti nel contesto territoriale che la piattaforma consente di leggere sia da banche dati interne a Regione Lombardia sia da altri siti o portali web (es. Parchi, Comuni, centri termali, aziende turistico-alberghiere o di ristorazione etc.).

**Redazione di un itinerario**
L'esempio qui illustrato fa riferimento alla realizzazione di itinerari in ambito culturale perché la piattaforma, benché di valenza generale, è stata sviluppata dalla D.G. Istruzione, formazione e cultura e sperimentata sui propri temi. Tali itinerari si rivolgono ad un pubblico interessato

principalmente al turismo culturale, al quale vengono proposte differenti selezioni tra i più rilevanti monumenti lombardi insieme alla possibilità di usufruire, sia nella fase di programmazione sia in quella di effettuazione della visita, non solo delle informazioni relative al patrimonio culturale ma anche di quelle sulla ricettività (alberghi, ristoranti, agriturismi etc.) e sulla presenza di altri elementi caratteristici della zona interessata.
La banca dati di partenza, all'interno della quale il redattore individuerà le tappe principali dell'itinerario è, in questo caso, quella su cui si basa il SIRBeC (Sistema Informativo Regionale Beni dei Culturali); lo descriviamo brevemente per consentire di valutare un contesto tipo per una redazione.

SIRBeC è il sistema di catalogazione, secondo standard dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione del MiBAC, del patrimonio culturale mobile e immobile diffuso sul territorio regionale o conservato all'interno di musei, raccolte e altre istituzioni culturali. E' stato avviato da Regione Lombardia nel 1992 per realizzare uno strumento di conoscenza, documentazione e supporto alle decisioni in materia di tutela, conservazione e valorizzazione del Patrimonio culturale, è in continuo accrescimento e attualmente comprende oltre 650.000 beni culturali mobili e immobili presenti sul territorio lombardo; in particolare:

- architetture: circa 25.000 edifici georeferenziati tra i quali complessi monumentali, edifici pubblici e di culto, edilizia rurale di interesse storico, dimore gentilizie, architetture fortificate, residenze private, fabbricati di archeologia industriale
- opere d'arte: circa 280.000 tra dipinti, disegni, sculture, arredi di culto, mobili, tessuti
- fotografie: circa 220.000 supporti fotografici provenienti da fondi di interesse artistico, storico, documentario
- parchi e giardini, reperti, siti e monumenti archeologici, beni etno-antropologici, stampe d'arte, strumenti medico-scientifici e tecnologici, beni naturalistici.

SIRBeC alimenta un ambiente web di pubblica fruizione**,** **www.lombardiabeniculturali.it,** che costituisce il portale di accesso integrato alle risorse culturali e ai luoghi della cultura della Lombardia. Nel portale è descritto e illustrato non solo il patrimonio artistico ma anche quello storico-documentario e bibliotecario, insieme agli istituti culturali in cui i beni sono conservati ossia musei, archivi e biblioteche. Le informazioni vengono presentate a differenti livelli di approfondimento: all'interno di particolari format di valorizzazione (vetrine, percorsi e itinerari tematici) realizzati su specifiche tipologie di beni e aree territoriali per favorire un'ampia fruizione da parte di pubblico non specializzato e ad un livello scientificamente più approfondito per studiosi e professionisti; il portale ha attualmente una media mensile di oltre 100.000 contatti.

Il redattore dunque, per costruire l'itinerario che intende proporre, utilizza l'ambiente di redazione della piattaforma per il quale, come già detto, è richiesta la conoscenza delle informazioni presenti nella propria banca dati disciplinare mentre non è richiesta alcuna competenza in ambito GIS.
Attraverso l'applicazione geografica dell'ambiente di redazione egli individua su mappa un punto di inizio, un punto di fine ed eventualmente dei punti di tappa intermedi; ciascuno di questi punti, corrispondente ad un'architettura georeferenziata presente in SIRBeC, può essere scelto in un elenco oppure attraverso una selezione degli edifici rappresentati sulla mappa.
Per collegare tra di loro i punti selezionati, al redattore viene proposta l'opzione tra un percorso stradale e un percorso pedonale su strada (in seguito potranno essere rese disponibili anche opzioni per percorsi ciclabili, percorsi pedonali su sentieri, etc.) e viene di conseguenza calcolato e tracciato il percorso scelto.

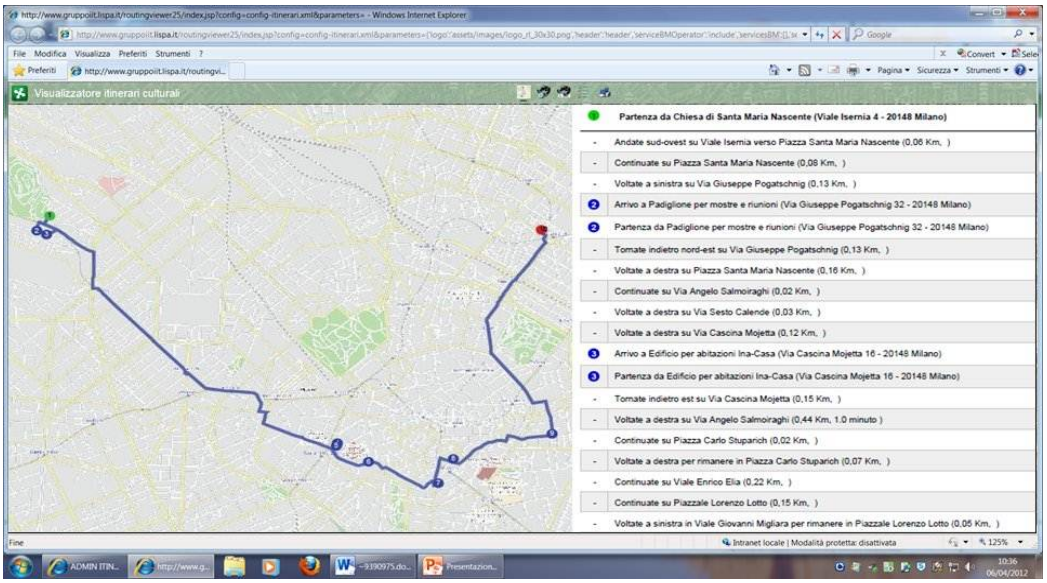



*Figura 1. Calcolo e tracciamento del percorso.*

A questo punto è possibile utilizzare una funzione di buffer, riferita al percorso, che consente di estrarre da differenti banche dati altre entità localizzate nelle vicinanze del percorso stesso.
In primo luogo dalla banca dati di partenza, ad esempio quella delle architetture, vengono estratti e presentati (in forma testuale o geografica a scelta) altri edifici oltre a quelli che già determinano inizio, tappe e fine dell'itinerario. Poi, in relazione alle altre banche dati disponibili, possono essere estratti altri punti di interesse, vicini all'itinerario, provenienti da altre fonti: ad esempio ristoranti e hotel da banche dati disponibili su web come Teleatlas oppure aziende agrituristiche dalla relativa banca dati regionale, etc..

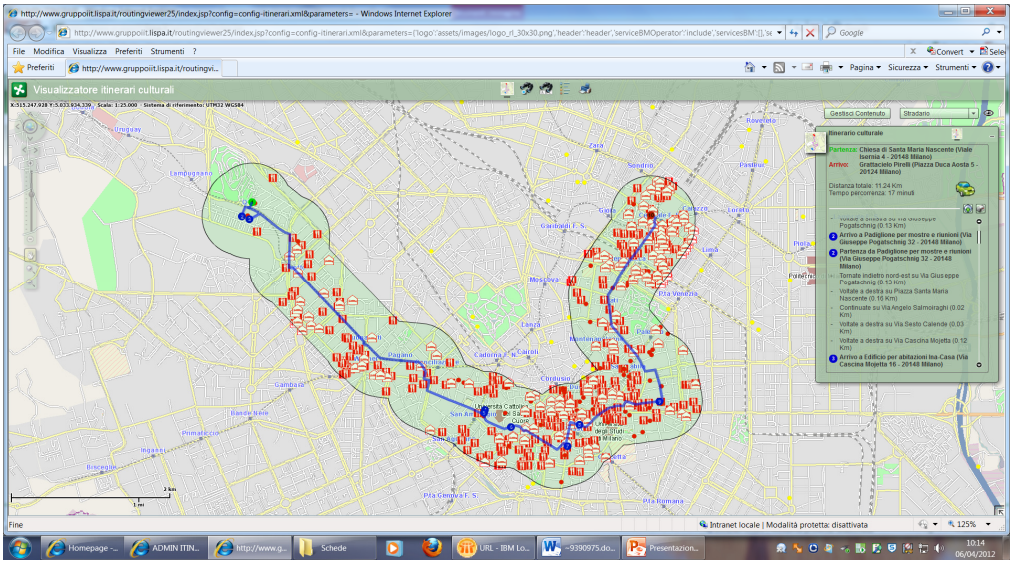



*Figura 2. Buffer contenente altre architetture, alberghi e ristoranti.*

Definito così l'itinerario, con un limitato numero di tappe proposto dal redattore, l'ampliamento alle altre architetture vicine e l'individuazione di punti di interesse riferiti ad altri temi o servizi presenti sul percorso, il redattore può inserire, questa volta all'interno dell'applicazione di CMS sul Portale di Regione Lombardia che costituisce il punto di partenza per la fruizione degli itinerari da parte del pubblico, una descrizione dell'itinerario stesso e delle singole tappe, un'immagine del percorso completa dei punti di interesse, prodotta da una funzione della piattaforma, e infine l'URL che era stato rilasciato da un'altra funzione della piattaforma e che servirà ora per richiamare l'itinerario.

**Fruizione di un itinerario**

Sono previsti due ambienti di fruizione, il primo in modalità web desktop e il secondo in modalità mobile.

L'ambiente web desktop offre le seguenti funzionalità:

- scelta dell'itinerario di base dal catalogo degli itinerari già pubblicati
- visualizzazione dell'itinerario scelto utilizzando come sfondo le ortofoto o lo stradario
- esportazione del percorso in GPX
- stampa dell'itinerario (mappa, descrizione ed eventuali note)
- accensione/spegnimento degli strati contenenti gli altri punti di interesse vicini al percorso
- calcolo e tracciamento del percorso tra due punti qualsiasi (es. per raggiungere un punto di interesse del percorso o delle sue vicinanze da un qualunque altro punto sulla mappa)
- identificazione (funzione identify) dei punti visualizzati
- apertura di un pop-up con informazioni su un punto scelto e link per approfondimenti: questa funzione è particolarmente utile perché consente di integrare ai punti visualizzati varie informazioni; ad esempio un link da un punto che rappresenta un albergo o un ristorante verso il sito dell'albergo o del ristorante consente di acquisire informazioni aggiornate sugli orari di apertura oppure di effettuare prenotazioni; un link da un punto che rappresenta un edificio di interesse storico-artistico consente di raggiungere la relativa scheda descrittiva, completa di immagini e di visualizzazione prospettica, nel portale www.lombardiabeniculturali.it

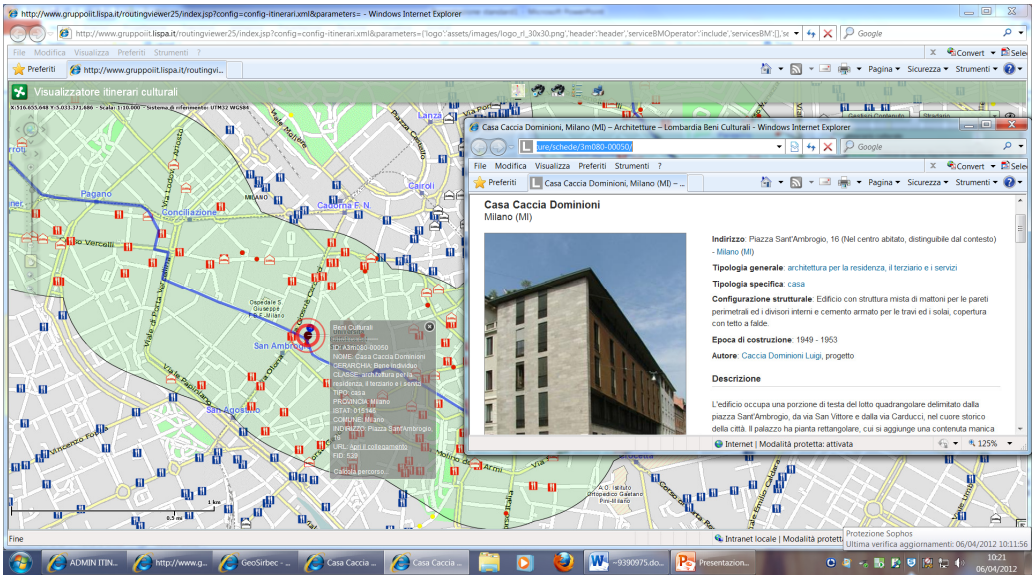



*Figura 3. Link alla scheda dell'architettura nel portale www.lombardiabeniculturali.it.*

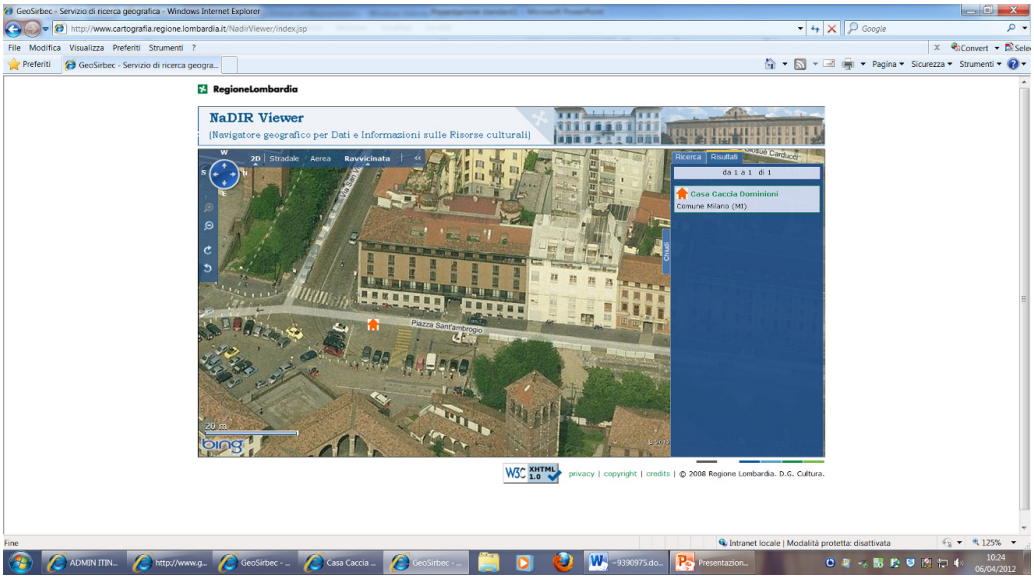



*Figura 4. Dalla scheda dell'architettura nel portale [www.lombardiabeniculturali.it](http://www.lombardiabeniculturali.it) alla visualizzazione prospettica dell'edificio in [www.cartografia.regione.lombardia.it/NadirViewer](http://www.cartografia.regione.lombardia.it/NadirViewer).*

L'ambiente per la fruizione in modalità mobile è in fase di definizione e dovrà consentire di pubblicare gli itinerari, già realizzati dalle redazioni, in formati fruibili attraverso i vari dispositivi mobili presenti sul mercato: le soluzioni in esame si orientano sia verso app sia verso web app; un prototipo dell'ambiente sarà disponibile entro la fine dell'anno in corso.

**Ambito del progetto, tempi e fasi di realizzazione, software utilizzati**

- Il progetto si avvale dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale (IIT) di Regione Lombardia, un insieme di tecnologie, metodi, politiche ed accordi istituzionali che ha lo scopo di facilitare la disponibilità, la condivisione e l'accesso a dati e servizi geografici. Il substrato tecnologico dell'IIT è costituito dalla piattaforma geografica REGIS, sviluppata da Lombardia Informatica S.p.A., che eroga servizi geografici utilizzabili da pubbliche amministrazioni, imprese, professionisti, privati cittadini.
- Dalla raccolta dei requisiti al rilascio dei primi due ambienti sono passati circa dieci mesi (da novembre 2011 a settembre 2012); la realizzazione del prototipo in ambiente mobile è prevista per dicembre di quest'anno.
- Sono stati utilizzati i seguenti software: ArcGIS Server 9.31 e 10; ArcSDE 9.2; Flex ESRI API 2.5; Java.

# Tecniche di rilievo tridimensionale e rischio idrogeologico: condivisione in rete di dati in alta risoluzione LiDAR. Il caso di studio della Regione Veneto

Giorgio Paolo Maria Vassena (*), Tiziana Chiamone (*), Raffaela Gabriella Rizzo (*), Luca Simone Rizzo (**), Paolo Tizzani (***)

(*) Università degli Studi di Brescia, Dip. di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente, Via Branze 43, 25123 Brescia, giorgio.vassena@ing.unibs.it, tiziana.chiamone@ing.unibs.it, raffaela.rizzo@ing.unibs.it
(**) Università degli Studi di Padova, Dip. di Scienze Storiche, Geografiche e dell'Antichità, Via del Santo 26, Padova, lucasimone.rizzo@unipd.it
(***) Università degli Studi di Torino, Dip. di Produzioni Animali, Epidemiologia ed Ecologia, Via Leonardo da Vinci 44, Grugliasco (TO), paolo.tizzani@unito.it

**Riassunto**

Le tecniche di rilevamento tridimensionale con misurazione ad alta densità, ad esempio tramite approcci LiDAR aerotrasportati, da terra (TLS - Terrestrial Laser Scanner) o su mezzi mobili (mobile mapping), permettono di rilevare e osservare il territorio con una accuratezza, una particolare risoluzione e una ricchezza di dettaglio globalmente molto elevate rispetto agli approcci di rilevamento tradizionali.

Tali tecnologie, a causa delle dimensioni dei dati grezzi rilevati, non permettono la condivisione e la lettura diretta del dato tridimensionale da parte di diversi utenti. Solitamente il dato rilevato viene tradotto in formati standard (modelli digitali del terreno, curve di livello, eccetera) per poter essere condiviso. Il dato grezzo, invece, con tutta la ricchezza di contenuti associata, viene in generale perso o memorizzato in formati e modalità (dischi rigidi o DVD) che non lo rendono disponibile al committente.

Di seguito si introduce una applicazione di una tecnologia sviluppata dall'Università degli Studi di Brescia, in accordo con l'azienda *spin-off* Gexcel srl, che permette la condivisione e visualizzazione di tali dati anche via rete.

La difficoltà di implementare le tecnologie di condivisione dei dati rilevati tramite tecnologia LiDAR risiede nella problematicità di trasferire, anche solo per la visualizzazione, il dato tridimensionale rilevato.

La ricerca propone, dunque, una nuova modalità di gestione dei dati tridimensionali (*mesh*, nuvole di punti, colore associato alle nuvole di punti), praticamente senza limiti di dimensioni, e di visualizzare e trasmettere tale dato anche via internet.

In particolare, si mostra come su un unico file, residente su un server remoto, sia stato possibile visualizzare dati tridimensionali multirisoluzione di frane, smottamenti, modelli digitali del terreno relativi all'intera regione Veneto. Tali dati tridimensionali (arricchiti dai livelli di informazione territoriale) sono visualizzabili, scaricabili, interrogabili e condivisibili via web.

Viene, inoltre, mostrato come sia possibile visualizzare sul modello tridimensionale livelli informativi provenienti da sistemi informativi territoriali che analizzano i dati di rischio idrogeologico.

La ricerca propone così una prima applicazione di condivisione in rete di dati in alta risoluzione LiDAR applicata agli studi dei dissesti idrogeologici della Regione Veneto, come esempio di tecnologia utile alle attività di rapido supporto alle decisioni.

**Abstract**
3D surveying techniques dealing with high density measurement (i.e. through airborne LiDAR by TLS - Terrestrial Laser Scanner - or by mobile mapping) allow to survey and observe the territory with accuracy, a particular resolution and richness of details extremely high compared to traditional survey approaches. These technologies, due to the size of raw data, not allow the sharing and the direct reading of 3D data by different users. Usually, the data are put into standard formats (digital terrain model, contour lines, etc.) to be shared. The raw data (with all the associated contents) are, on the other hand, generally lost or saved in formats and devices (hard disks or DVD) that doesn't make it available to the costumer.
An application of a technology developed by the University of Brescia (together with the spin-off Gexcel srl) is presented. This application allows the sharing and visualization of these data by web.
The difficulty of implementing the sharing technologies of LiDAR data lies in the transfer of 3D surveyed data, even if only to display them. This research intends to propose a new way of data managing/transmission, also by internet, enabling to store 3D LiDAR data in a single file and to add different layers on this model.
In particular, the research shows how in a file - on a remote server - it is possible to store 3D multi-resolution data about landslides of the Veneto Region. These 3D data (enriched by different layers) can be visualized, downloaded, queried and shared via web. It also shows how it can be displayed on 3D model, information levels from GIS that analyze data of hydrological risk.
The research proposes a first application of LiDAR data web sharing applied to studies of hydrological disasters of the Veneto Region. This is intended as an example of a useful technology to support all the activities for rapid decisions.

## 1. Introduzione

Le tecnologie LiDAR hanno introdotto un nuovo dato rilevato: la nuvola di punti nello spazio. La caratteristica di tale informazione è l'elevata risoluzione e di conseguenza la pesantezza del dato e l'impossibilità, fino ad oggi, di visualizzare, interrogare e condividere in rete tale dato. La tecnologia che viene qui introdotta, e applicata ad un caso test di seguito dettagliato, mostra come sia ora possibile, grazie alla ricerche integrate tra l'Università degli Studi di Brescia e la società *spin-off* Gexcel srl, condividere via rete nuvole di punti georeferenziate senza limiti di dimensioni, *mesh*, modelli digitali del terreno, e come su tali nuvole o superfici sia si possa visualizzare l'immagine della cartografia raster CTR, quelle di livelli informativi provenienti da sistemi informativi geografici, fino ad arrivare al calcolo di volumi, distanze e aree. Da ultimo la possibilità di estrarre via rete immagini ortografiche, immagini solide (gestibili in ambiente CAD), piante e sezioni.
Si tratta, dunque, di una innovativa modalità di gestione e condivisione delle informazioni nonché di un nuovo approccio di supporto alle decisioni. Utenti vari, connessi via rete, possono interrogare il dato spaziale multirisoluzione e multipiattaforma (Goswami P., *et. al*., 2012), effettuare analisi condivise e procedere in remoto allo scarico del dato.
L'articolo presenta i primi risultati su un primo caso test, limitato nei dati impiegati ma significativo come filosofia operativa.

*Inquadramento geografico. Le province di Verona e Vicenza con i bacini idrografici dei torrenti Alpone e Chiampo* - Da alcuni anni gli autori si stanno occupando di studi inerenti la regione Veneto con particolare riguardo al Veronese orientale e al Vicentino occidentale (Manzoni, Rizzo R.G., 2006; Rizzo L.S, Rizzo R.G., Tizzani 2012). Tali studi hanno implicato - e tuttora comportano - una continua raccolta e produzione di dati della più varia natura, nonché l'analisi che ne consegue. Per questo contributo, vista appunto tale consistente mole di dati (cfr. §2.1), ci si soffermerà sull'elaborazione di un modello di lavoro che coinvolge i due bacini idrografici dei Torrenti Alpone e Chiampo situati rispettivamente nelle province di Verona e di Vicenza (Figura 1).

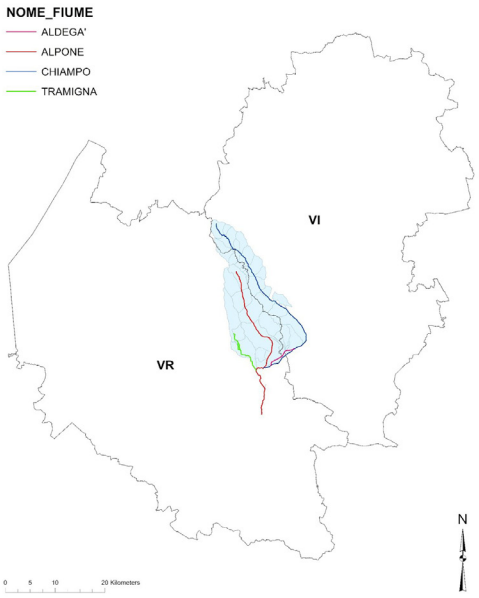



*Figura 1. I bacini idrografici dei Torrenti Alpone e Chiampo, comprendenti anche quelli di Tramigna e Aldegà rispettivamente, situati al confine tra le province di Verona e di Vicenza.*

Qui si fornisce una succinta descrizione della trama territoriale che connota tali zone. Si tratta di un'area caratterizzata - soprattutto nella sua parte meridionale - da un importante nodo idrografico che vede interventi continui da oltre 600 anni (Sambugaro, 2012) in uno scenario paesaggistico di pregio soprattutto nei territori a nord della fascia della SR11 Verona - Vicenza. Tale area è localizzata lungo il Corridoio Europeo n.5 (Lisbona-Kiev) ed è attraversata da una significativa viabilità: autostrada A4 Milano/Venezia, rete ferroviaria Torino/Venezia, nonché da un dedalo di vie di comunicazione minori regionali, provinciali e locali. Lungo tale asse si è sviluppata una sequenza di aree produttive industriali e terziarie con imprese di diversa tipologia. Basti citare come esempio i distretti termo-meccanico e viti-vinicolo. Quest'ultimo ha dato vita negli anni ad un paessagio a monocoltura viticola famoso a livello internazionale che si stende nella parte pedecollinare delle dorsali parallele e degradanti dai Monti Lessini, le quali poi si aprono a ventaglio verso la pianura. Tale area è ricca di beni culturali e di *heritage* (anche minore) quali la città murata di Soave, ville venete di pregio, il palazzo vescovile di Monteforte d'Alpone, l'abbazia di Villanova...

**2. I dataset del caso assunto a test**

I dati utilizzati nelle ricerche citate (cfr. §1) e nell'implementazione della metodologia proposta per questo contributo sono multisorgente in quanto prodotti da attività realizzate con strumenti e modalità tecniche e di contenuto differenti da parte di Enti e Istituzioni diverse e/o dagli stessi autori. I dati si presentano dunque in diverse forme, risoluzione e accuratezze (i.e. con multirisoluzione) ed è dunque opportuno fornire dettagli tecnici sulle differenti tipologie di *dataset*.

*2.1 Dataset territoriali e le Carte Tecniche Regionali della Regione Veneto*[1]

La Regione Veneto mette a disposizione sul Geoportale Regionale *dataset* cartografici e territoriali. Questi ultimi sono inerenti alla copertura del suolo, alla sua permeabilità, al reticolo idrografico, ai geositi, alle reti ecologiche, ai limiti amministrativi, alla rete viaria e al patrimonio culturale (centri storici e ville venete). Tali dati sono prodotti dall'Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia ad eccezione della rete idrografica creata dall'ARPA Veneto e il patrimonio culturale fornito per i centri storici dalla Direzione Pianificazione Territoriale e Parchi (sempre della Regione Veneto), per le ville venete dall'Istituto Regionale Ville Venete. Il sistema di riferimento dei *dataset* è ROMA40/OVEST. Per l'esempio a cui ci siamo applicati, abbiamo provveduto a trasformare tutti dati nel sistema di riferimento WGS84-UTM32).

| ***Tipologia*** | ***Formato*** | ***Scala*** | ***Data*** | ***Note*** |
|---|---|---|---|---|
| Copertura del suolo | .shp (polygon) | 1:10.000 | 2009 | Area tematica minima 0.25 ha, legenda su 5 livelli basata su CLC |
| Permeabilità | .shp (polygon) | 1:100.000 | 2009 | Db derivato dalla carta dei litotipi |
| Reticolo idrografico | .shp (polyline) | 1:10.000 | 2008 | Dgitalizzazione dei corsi d'acqua sulle sezioni della CTR |
| Geositi | .shp (point) | 1:50.000 | 2006 | Digitalizzazione Cartografia IGM raster 50.000 |
| Reti ecologiche | .shp (polygon) e .dxf | 1:10.000 | 2007 | Rete Natura 2000, siti SIC e ZPS |
| Confini provinciali | .shp (polygon) | 1:10.000 | 2005 | Derivazione da CTR raster |
| Rete viaria | .shp (polyline) | 1:10.000 | 2011 | Estrazione dati da CTR |
| Centri storici | .shp (polygon) | 1:10.000 | 2005 | Digitalizzati da mappe del PTRC del 1992 |
| Ville venete | .shp (polygon) | 1:10.000 | 2006 | Estrazione dati da CTR |

*Tabella 1. Dati della Regione Veneto: note tecniche.*

In aggiunta a tali dati sono state prese in considerazione anche le CTR in scala 1:10.000 in formato raster (derivanti dalla corrispondente cartografia in formato vettoriale).

*2.2 Dati LiDAR prodotti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare*[2]

Il dataset utilizzato è comprensivo di DTM, DSM (first e last) e nuvole di punti in formato rispettivamente .asc. e .xyz. Il sistema di riferimento cartografico in cui sono stati forniti è GCS-WGS 84. I DTM e DSM presentano una maglia di restituzione di 1m x 1m in quote ortometriche. I dati sono caratterizzati da un'accuratezza altimetrica di ±15 cm e planimetrica di ±30 cm (1s); il livello di confidenza è al 95% (≈2s) ±40 cm. Per quanto attiene la nuvola di punti, essa è in quote ellissoidiche. Per il modello di studio inerente

[1] http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Sistema+Informativo+Territoriale+e+Cartografia/Accedi+al+GeoPortale.htm. Per i singoli metadati si confronti l'*Infrastruttura dei Dati Territoriali del Veneto - Catalogo dei Dati* (IDT).

[2] Nello specifico la Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche, Geoportale Nazionale, Piano Straordinario Telerilevamento. Per quanto concerne l'uso del dato per questo specifico studio, i DTM (per motivi di tempo) ci sono stati forniti riprocessati in WGS84 - UTM 32N da Geomatica e Ambiente s.r.l., spin-off dell'Università degli Studi di Padova.

questo contributo, si è scelto di utilizzare i dati DTM e LiDAR relativi al bacino veronese e vicentino dei quattro torrenti sopracitati (cfr. Figura 1), ad implementazione dei lavori svolti in precedenza dagli autori.

*2.3 Dataset creati ad hoc dagli autori sugli eventi alluvionali e sul patrimonio culturae per i lavori più sopra citati, provenienti da livelli di un sistema informativo*
Come indicato nel paragrafo 1.2 gli autori hanno studiato i fenomeni di esondazione che hanno interessato i Torrenti Aldegà, Alpone, Chiampo e Tramigna nell'autunno del 2010 e nella primavera del 2011. In tale occasione si sono confrontati il *database* regionale sull'uso del suolo (riclassificato dagli autori a livello 1 e 3) e anni diversi della banca dati Corine Land Cover (1990, 2000, 2006)[3]. Inoltre, si è prodotto uno strato informativo puntuale sugli elementi di *heritage* presenti in tali zone, editandolo sulla CTR raster in scala 1:10.000 della Regione Veneto.

*2.4 Dataset di oggetti tridimensionali a nuvola di punti (frane e beni architettonici) a disposizione degli autori*
Si è, infine, provveduto ad inserire un *dataset* di dati provenienti da rilievi di frane e di elementi architettonici (Sgrenzaroli M., 2005), provenienti da rilievi a disposizione degli autori (anche se non attinenti l'area sotto analisi), al solo fine di mostrare la potenzialità della visualizzazione multipiattaforma e multirisoluzione dell'applicativo *gexcel R³*.

## 3. Metodo e relativi risultati

Come sopra anticipato, scopo principale di questo studio è illustrare una metodologia innovativa che permette di usufruire e interrogare grandi moli di dati tridimensionali di diversa origine e struttura (*mesh*, modelli digitali del terreno, nuvole di punti (nei diversi formati tra cui l'E57), immagini provenienti da shape files, file in formato DXF, ecc) tramite una piattaforma di visualizzazione e condivisione dei dati via rete di recente introduzione (Vassena, in corso di stampa). Le grandi dimensioni dei file a nuvola di punti, rappresentano un importante ostacolo alla gestione e visualizzazione delle informazioni geometriche. I soli dati LiDAR, DTM e DSM ammontano a circa 80 GB, a cui vanno aggiunte le immagini della CTR e dei livelli grafici estratti dallo shape file delle zone sotto studio. Un primo aspetto critico ha riguardato innanzitutto la necessità di rendere i dati omogenei e interoperabili per poterli gestire con i diversi applicativi in uso nello studio, in particolare per ciò che riguarda il sistema cartografico di riferimento (cfr. § 3.1).
Il software utilizzato per la realizzazione del progetto è stato il *JRC 3D Reconstructor* sviluppato da Gexcel srl (*spin-off* dell'Università degli Studi di Brescia), dotato del *tool* "gexcel R³" per la navigazione di nuvole di punti ad alta risoluzione.

*3.1 Elaborazione dei dati*
I dati citati, provenendo da fonti diverse presentano problemi di interoperabilità sia nel formato sia nel sistema di riferimento adottato. I *dataset* si riferiscono a dati vettoriali e raster con estensioni .shp, .dxf, .tiff, .png, .asc, .aux, .xyz e datum diversi. Ciò ha comportato un lavoro preliminare di omogeneità degli stessi prima dell'importazione nel modello. Tale omogeneità ha richiesto una trasformazione degli shape poligonali in polilinee con estensione .dxf (lo strato informativo del bacino idrografico ad esempio) con un passaggio di sistema di riferimento da ROMA/40 OVEST a WGS84-UTM32N. Per fare questo si sono usati a fasi alterne ArcGIS Desktop (ESRI), AutoCAD e AutoCAD Map 3D. Successivamente è stato possibile importare i DTM e le nuvole di punti LiDAR concernenti i bacini idrografici scelti attraverso l'utilizzo di JRC 3D Reconstructor (Figura 2).

[3] Si veda il sito http://www.sinanet.isprambiente.it/it/coperturasuolo per i dettagli tecnici del progetto CLC e dei dati prodotti.

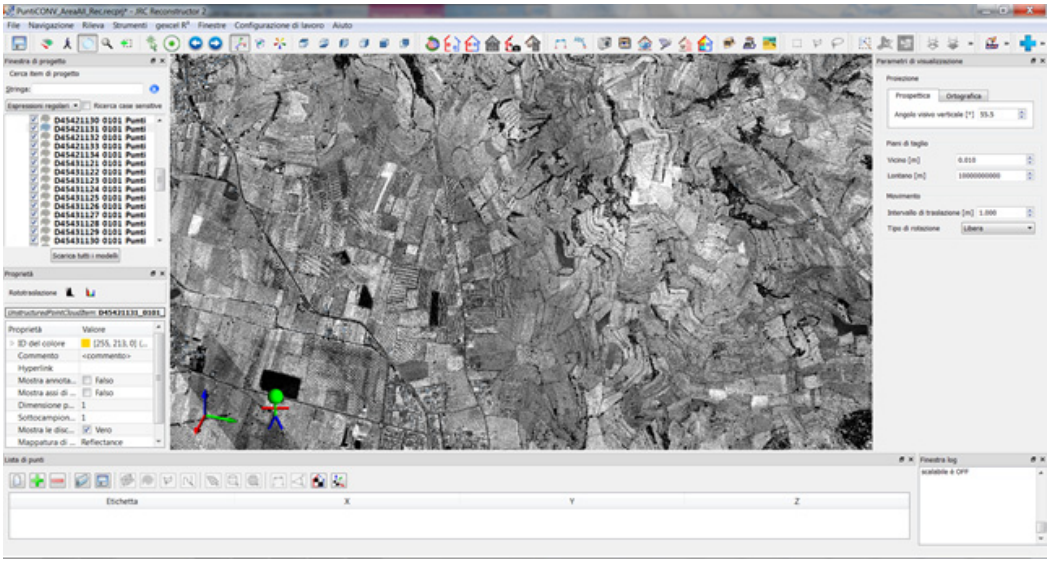


*Figura 2. Importazione di dati LiDAR di parte del bacino in oggetto in JRC 3D Reconstructor.*

L'integrazione dei modelli tridimensionali con i vari livelli informativi ha comportato l'importazione in JRC 3D Reconstructor dei *dataset* regionali e di quelli creati *ad hoc* dagli autori sugli eventi alluvionali e sullo *heritage* sopra citati, relativi alle aree soggette a dissesto idrogeologico.

Le nuvole di punti possono essere altresì "colorate" mediante immagini digitali, in modo che ogni punto appartenente alla nuvola assuma la colorazione della porzione di immagine corrispondente (ad esempio, fotografie di un'area). Inoltre, alle nuvole si possono sovrapporre dati sotto forma di polilinee o di immagini. Le polilinee vengono importate direttamente in *JRC 3D Reconstructor* e, grazie alla conservazione delle informazioni geografiche possono essere istantaneamente unite al modello digitale del terreno e ai dati LiDAR. Una metodologia differente va, invece, adottata qualora i livelli informativi da sovrapporre siano costituiti da immagini (.png, .bmp, .jpg): risulta necessaria un'operazione di proiezione delle stesse su *mesh* create dalle nuvole di punti.

A questo punto è stato possibile esportare gli *output* delle operazioni precedenti, mediante i corrispettivi file di interscambio .r3c, leggibili mediante l'apposito *tool "gexcel R*$^3$*"*.

*3.2 Visualizzazione e gestione dati ad alta risoluzione in remoto*

Il *tool "*gexcel R$^3$*"* è basato sulla tecnologia Gexcel Xtream in grado di visualizzare, navigare e interrogare dati a nuvola di punti senza limite teorico di dimensioni. La più recente versione di questo applicativo permette, inoltre, di condividere via rete il dato, costituito dalla nuvola di punti, dalle *mesh*, ma anche da immagini e file vettoriali in formato DXF.
Di seguito, Figura 3, si osserva la visualizzazione su unico file di una porzione del modello digitale altimetrico regionale, di un settore della Carta Tecnica Regionale, del rilievo multirisoluzione (sensori Optech Ilris e Faro Focus3D) di una frana e di una chiesa sovrastante. Un esempio esemplificativo di visualizzazione in multi sensore, multi piattaforma e multi risoluzione.

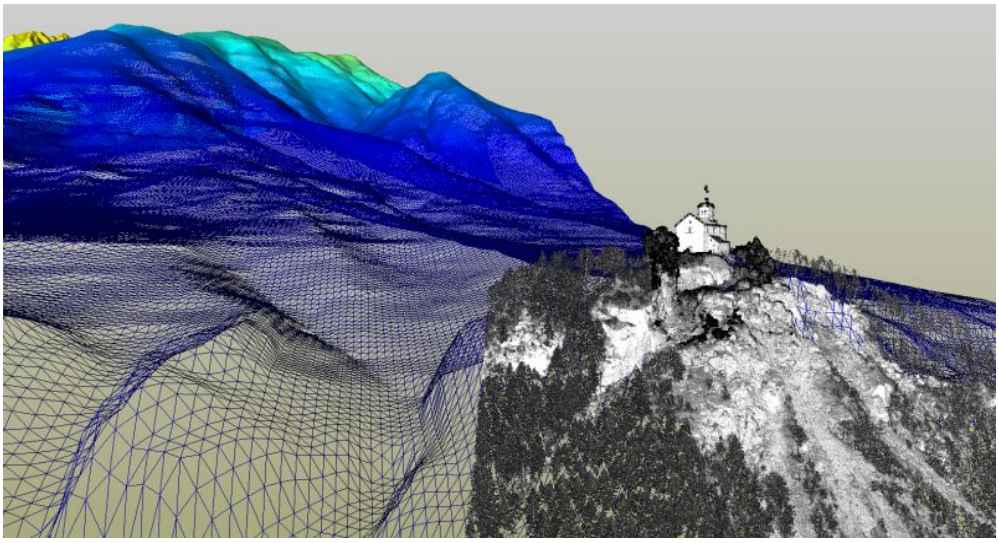


*Figura 3. Esempio di visualizzazione in streaming (in ambiente gexcel $R^3$) in multirisoluzione/multisorgente (DTM Regionale - Frana con sensore TLS a lunga portata (Optech Ilris) - Chiesa con sensore alla fase Faro Focus3D) (Esempio realizzato da Gexcel srl).*

**Conclusioni**

La ricerca ha permesso di mostrare le importanti potenzialità di questo approccio innovativo in cui, su una medesima piattaforma server, su un medesimo file, vengono visualizzati e interrogati via rete dati e informazioni tridimensionali anche appartenenti a nuvole di punti di densità e "pesantezza" assai elevata. Gli sviluppi e l'integrazione di nuovi strumenti per permettere una efficace interrogazione e visualizzazione delle informazioni via rete sono in continuo e rapido sviluppo.
Le reali potenzialità di questa piattaforma software sono ancora da indagare e lo sviluppo di nuovi potenti strumenti di supporto alle decisioni ancora da pensare e sviluppare.
Il primo approccio qui mostrato dimostra la possibile integrazione tra dato tridimensionale rilevato a nuvola di punti, dato cartografico (DTM e/o DSM) e informazioni provenienti da analisi tramite piattaforme di sistemi informativi. Sono in fase di studio gli effetti operativi e di supporto alle analisi territoriali che tale approccio ora permette.

**Ringraziamenti**

Si ringrazia per la disponibilità nella fase di reperimento dei dati LiDAR

- il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche, Geoportale Nazionale, Piano Straordianrio Telerilevamento (dott. Salvatore Costabile);
- la Regione Veneto - Unità di Progetto Sistema Informativo e Cartografia (ing. Maurizio De Gennaro nonché i collaboratori Delio Brentan e Mauro Bettella);
- l'Università di Padova - Geomatica e Ambiente s.r.l..

Si ringraziano, inoltre, Massimo Gelmini, Lorenzo Cavallari, Davide Cantoni, Giorgio Dotti e Massimo Dierna di Gexcel srl per l'esempio di gestione dati in *gexcel $R^3$* fornito.

**Bibliografia**

Goswami P., Erol F., Mukhi R., Pajarola R., Gobbetti E. (2012), "An Efficient Multi-resolution Framework for High Quality Interactive Rendering of Massive Point Clouds using Multi-way kd-Trees", *The Visual Computer*, 28: 1-15.

Manzoni G., Rizzo R.G. (2006), "La rappresentazione cartografica e le sue innovazioni. Il caso della fascia attorno alla ex SS11 ad est di Verona" in Robiglio C. (a cura di), *VeronaEST. Le attività economiche e il territorio. Approcci e metodi per lo studio di territori complessi*, Università degli Studi di Verona - DESI, Camera di Commercio Industria Artigianato Agricoltura di Verona, Università degli Studi di Trieste - CER, Verona, 87-114.

Ravelli M., Clerici A., Gelmini M., Lanzi C., Riva P., Sgrenzaroli M., Vassena G. (2005), "Il laser terrestre applicato in rilevamenti di dissesti di strutture di ingegneria civile", *In Atti Convegno SIFET 2005*, Palermo, Giugno-Luglio 2005.

Id. (2005), "A laser scanning approach to model and survey damaged road tunnels", *in Proceedings of 2nd Italy – Canada Workshop "3D Digital Imaging and Modeling – Applications of Heritage, Industry, Medicine and Land"*, Padova, 17-18 Maggio 2005.

Rizzo L.S., Rizzo R.G., Tizzani P. (2012), "Consumo di suolo e cementificazione nel Veneto Occidentale. Emergenze, svantaggi e riflessi sull'assetto del territorio. Un'analisi GIS" in Atti della *13a Conferenza Italiana Utenti ESRI*, Roma, 18-19 aprile 2012, cfr. http://www.esriitalia.it/eventi/atti-13a-conferenza-italiana.html.

Sambugaro G. (2012), *L'alluvione tra Soave e Monteforte d'Alpone: un disastro annunciato?,* relazione tenuta presso l'Accademia di Agricoltura Scienze e Lettere di Verona il 30.03. 2012.

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**

http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Sistema+Informativo+Territoriale+e+Cartografia/Accedi+al+GeoPortale.htm.

http://www.sinanet.isprambiente.it/it/coperturasuolo

# Il fotorilevamento per lo studio e il monitoraggio delle formazioni erbose rupicole calcicole o basofile dell'*Alysso-Sedion albi*

A. Velli (*), G. Pellis (*),G. Puppi (*), C.Ferrari (*), G.Pezzi (*)

[*]Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna,
Via Irnerio 42, 40126 Bologna,
Email: andrea.velli2; guido.pellis; giovanna.puppi; carlo.ferrari; giovanna.pezzi (@unibo.it)

**Riassunto**
Nel presente lavoro, attraverso l'impiego di photoplot e delle analisi basate sui Sistemi Geografici Informatizzati, si propone un metodo per implementare la qualità e la quantità dei dati utilizzabili per le analisi di tipo ecologico per la produzione di modelli sintetici che comprendano il maggior numero di parametri possibili: biologici, pedologici, idrologici e geomorfologici considerati nello spazio e nel tempo.
Un macroplot di 1,5x1,5 m è stato collocato in un Sito di Importanza Comunitaria caratterizzato dalla presenza dell'habitat prioritario 6110* - Formazioni erbose rupicole calcicole o basofile dell'*Alysso-Sedion albi*. Ogni quadrato è diviso in nove plot 50x50cm suddivisi ancora in 100 subplot 5x5cm. Di ogni plot è stata effettuata una fotografia digitale in posizione pseudozenitale (photoplot) ogni 20 giorni nella medesima posizione per un anno. In campo sono stati registrati la posizione delle singole specie vegetale in ogni subplot e una misura delle microquote del substrato. In ambiente GIS è stato generato il DEM di ogni plot derivando da esso tutti i parametri topografici utili. Sempre in ambiente GIS sono state digitalizzate le coperture di tutte le specie presenti e calcolati diversi indici spaziali. Attraverso il confronto dei photoplot nell'arco dell'anno sono stati ricavati dati sullo sviluppo temporale delle specie e il loro turnover.

**Abstract**
Through a study case in a Site of Comunity Importance in northern Appenino, is shown a monitoring method using jointly zenital photo survey (photoplot), GIS-based analisys and field sampling ( species composition, phenology and micro-topography). A macroplot 1,5x1,5m has been placed and divided into nine 50x50 cm plot. Of each plot a photoplot have been taken and repeated every 20 days from March to October 2012. In field, three variables were recorded: plant species and their posistion, the phenology stage and a measure of the micro-topography of the substrate. Each frame were georeferenced and interpreted building the layers of species distribution and cover and a Digital Terrain Model. This method allows to obtain comparable data in space and time in a standardized way and it has been possibile to described the relationship between specific richness and ground heterogeneity, the essential role of the moss mat for the colonization dynamics and some phenological aspect of the sampled species.

**Introduzione**
Gli ecosistemi dei gessi carsici rappresentano una peculiarità di grande valore per la conservazione della biodiversità grazie all'elevato grado di adattamento espresso dalle specie vegetali in essi presenti.
Lo sviluppo di particolari formazioni vegetali è dovuto a determinate caratteristiche fisico-chimiche e morfologiche del gesso, che si esprimono in un'elevata microeterogeneità ambientale e in una

disponibilità limitata di nutrienti (Rubio e Escudero 2000, Escudero et al 2000, Guerriero – Campo 2002, Palacio et al 2006). E' noto, infatti, che l'eterogeneità dei fattori ambientali contribuisce al mantenimento della diversità biologica (Ricklefs 1977, Grime 1979, Tilman 1982, Palmer 1994). In particolare, in ambienti con importanti fattori limitanti, come nel caso degli affioramenti gessosi, gli effetti della diversità ambientale potrebbero pesare notevolmente sulla sua composizione specifica.
Lo studio proposto si focalizza sull' Habitat di interesse prioritario *6110 Formazioni erbose rupicole dell'Alysso-Sedion albi*, non esclusivo degli affioramenti gessosi, ma che in Italia vi trova un'importante zona di rifugio per specie adattate ad ambienti così ostili. Le formazioni vegetali dell'Habitat comprendono comunità che si sviluppano su superfici ridotte caratterizzate da relazioni microambientali tra specie vascolari e muschi.
Le analisi di questo habitat sono state finora di tipo genericamente descrittivo basate su campionamenti con l'approccio fitosociologico (es. Ferrari C., 1974; Pezzi e Corazza 2011). Questi non considerano le relazioni spazio-temporali tra le popolazioni delle specie. Le modalità e i tempi con cui le comunità vegetali riescono ad insediarsi e a permanere in tali ambienti, e il ruolo della diversità micro-ambientale sulla distribuzione delle specie necessitano di altri livelli di indagine, che tengano conto della complessità morfologica dell'habitat e dei suoi effetti sulla distribuzione delle popolazioni.
Per questi scopi, l'analisi della vegetazione deve essere effettuata a livello di micro-scala. Tra gli strumenti disponibili, un ruolo cruciale spetta al fotorilevamento da integrare con osservazioni dirette in campo.
Il fotorilevamento consente la stima oggettiva delle coperture di specie o habitat e la possibilità di ricavare informazioni circa le reciproche posizioni e le relazioni con altri parametri spazialmente definiti. Alcuni tentativi di utilizzare riprese fotografiche a bassa quota sono stati eseguiti in passato per alcune aree umide italiane attraverso l'uso di palloni frenati (Ferrari, 1978), ed in genere attraverso l'uso di elicotteri e velivoli con comandi remoti (Remondino et al; 2011, Montagna et al, 2009). Il costo elevato delle tecnologie, che permettono riprese stabili di superfici fino ad alcune decine di metri quadri con risoluzione al decimetro, è oggi il maggior limite al fotorilevamento dettagliato di habitat e comunità vegetali. Per superare, almeno in parte, questa difficoltà può essere valutato l'uso di tali tecniche su micro-scala attraverso le riprese da terra.
Si propone un metodo di monitoraggio integrato dell'Habitat 6110*, tramite l'utilizzo di rilievi in campo, fotografici e tecnologie di elaborazione di immagine attraverso l'impiego di software GIS.

**Area di studio**
Le aree di campionamento rientrano all'interno della formazione geologica gessoso-solfifera ("Vena del Gesso") del Messiniano, di origine perlopiù evaporitica, che si estende nella fascia collinare del versante padano dell'Appennino settentrionale, da Bologna a Rimini. La "Vena del Gesso" è caratterizzata da affioramenti discontinui che nel complesso ricoprono meno di dieci chilometri quadrati. Da un punto di vista bioclimatico, l'area rientra nella fascia submediterranea con un periodo di aridità legato ai mesi estivi. Gli affioramenti sono esposti in estate ad alte temperature, con massimi di 40°C, mentre in inverno i fenomeni di continuo gelo e disgelo giornaliero unitamente a forte vento e precipitazioni, ostacolano l'instaurarsi della vegetazione boschiva e la formazione di composti umici strutturanti del suolo. La frammentazione dei siti e le loro piccole superfici, con una vegetazione ricca di entità mediterranee in condizioni extrazonali, hanno portato all'istituzione di Parchi regionali e di Siti di Importanza Comunitaria lungo tutta la Vena.
La stazione di campionamento è stata scelta all'interno di un Sito di Importanza Comunitaria (IT4070011 - Parco Regionale "Vena del Gesso Romagnola", Imola) con esposizione Sud-Ovest e una quota di 194 m s.l.m.

**Il metodo**

All'interno dell'Habitat 6110*, è stato individuato un quadrato (*macroplot*) di 1,5 x 1,5 m. suddiviso in 9 *plot* (50x50 cm) divisi a loro volta in 100 *subplot* (5x5 cm; Fig. 1).

Per ogni plot si esegue una fotografia digitale azimutale (*photoplot* Fig. 2 e 4) ad una distanza di 120 cm di altezza con macchina digitale con una lente di 24mm ed una risoluzione del sensore da 10.2 megapixel montata su un treppiede con clinometro. Da misurazioni di campo si è calcolato che 1 pixel equivale a 0,0062 $cm^2$. La ripresa fotografica è stata ripetuta sui medesimi plot, ogni 20 giorni (da marzo a settembre) per valutare le variazioni temporali delle patch delle specie. Le prime analisi, qui presentate, sono state effettuate in due step temporali successivi (aprile-maggio) del macroplot considerato.

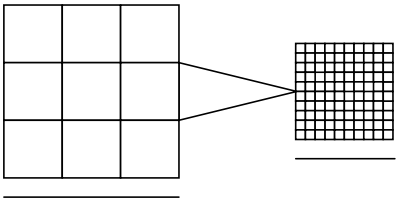



*Figura 1. Macroplot e Plot del disegno di campionamento.*



*Figura 2. Esecuzione delle riprese azimutali del plot.*

La Fig. 3 riassume la metodologia adottata. Per ogni plot sono stati registrati i seguenti dati: pendenza, esposizione locale, e un valore medio della profondità del suolo. A livello di subplot si è rilevata la quota relativa rispetto al piano del plot. Per valutare l'andamento topografico nell'immediato intorno del macroplot sono stati rilevati pendenza e micro-esposizione in 16 punti equidistanziati di 50cm dai margini.

Nei singoli subplot sono state rilevate le specie vascolari e briofitiche. Infine è stato registrato lo stadio fenologico di ogni specie nei vari step temporali secondo il metodo BBCH (Meier 1997).

| **Variabile** | **Descrizione** | **Livello** |
|---|---|---|
| Coordinate | Coordinate geografiche in WGS 84 | Plot |
| Pendenza | Pendenza misurata (gradi)al centro di ogni plot | Plot |
| Profondità media del suolo | Media eseguita su 10 valori presi casualmente all'interno del plot. | Plot |
| Microquote | Valore (cm) dell'altezza relativa del substrato dal plot misurata al centro di ogni subplot considerando il plot parallelo alla pendenza media del suolo | Subplot |
| Briofite * | Copertura (%) | Subplot |
| Specie vascolari * | Specie osservate in un subplot e relativa copertura (%) | Subplot |
| Stadio fenologico * | Stadio fenologico di ogni specie secondo lo standard BBCH | Macroplot |

*Figura 3. Le variabili misurate in campo con relativo livello di scala. * Rilievi eseguiti ogni 20 giorni.*

Le immagini e i dati raccolti in campo sono stati inseriti, rielaborati ed implementati in ambiente GIS utilizzando il software ArcGis 9.3 (www.esri.com). Ogni photoplot è stato corretto da eventuali distorsioni del reticolo e mosaicato con quelli adiacenti per riprodurre il macroplot. Dall'immagine ottenuta (Fig. 4) si è eseguita una digitalizzazione ottenendo due strati tematici relativi alle coperture delle specie vascolari e alle "tipologie di substrato" (da adesso chiamati micrositi: tappeto muscinale, lettiera, suolo nudo, roccia nuda sfaticcio, con clasti >0.5mm, e sfatticio fine,con clasti < 0.5 mm). Questa operazione è stata ripetuta per ogni step temporale.

In ambiente GIS, è stata costruita successivamente una griglia 0,5x0,5 cm della dimensione del macroplot in modo da suddividere ulteriormente i subplot in 100 celle. L'overlay della griglia con le patches dei differenti tematismi (specie e tipologie di substrato) ha consentito di generare valori di frequenza nei differenti subplot. Questo dato è stato usato per ricavare informazioni circa la distribuzione, i pattern spaziali delle patches di specie, la copertura relativa delle varie specie e le loro relazioni con la qualità del substrato. Il confronto delle frequenze nei vari stadi temporali, associato ai dati fenologici, permette inoltre di comprenderne le dinamiche ed eventuali turnover tra specie. La media del numero delle tipologie di substrato riscontrate in ogni subplot è, inoltre, da considerare come un indice di eterogeneità micro-ambientale del plot.

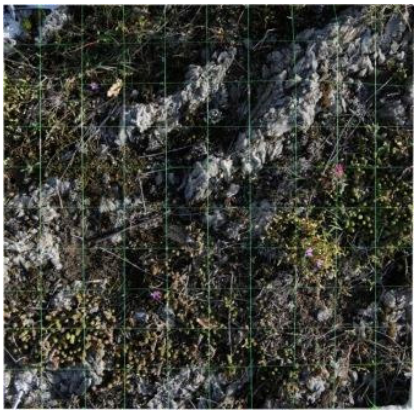


*Figura 4. Esempio di photoplot. Sono visibili i subplot.*

Si ottiene infine un *Modello Digitale del Terreno (DEM)* a partire dai valori delle microquote standardizzate sottraendo ad ogni valore la media delle quote per il plot di appartenenza. La deviazione standard delle quote standardizzate rappresenta l'indice di eterogeneità topografica per ogni plot. Il DEM di ogni plot viene infine generato utilizzando l'algoritmo di interpolazione del Nearest Neighbour.

**Campionamento della vegetazione, analisi dei dati e primi risultati**

Nel macroplot sono state campionate 12 specie tracheofite la cui copertura complessiva non supera il 20% della superficie totale.

A partire dalla ricchezza (numerosità) e copertura delle specie è stata misurata la diversità entro ciascun microsito mediante l'indice di Shannon e Weaver (1949). L'equipartizione (J) delle coperture relative delle varie specie, considerando i macroplot nel complesso, risulta molto sbilanciata a favore delle specie di *Sedum rupestre* che rappresenta quindi la specie dominante di questi ambienti.

Considerando i diversi tipi di substrati (micrositi) si evince una netta superiorità del numero di specie presenti in due dei 6 micrositi considerati: il tappeto muscinale e lo sfaticcio superiore al 0,5 mm, con una presenza preponderante di *Sedum spp.* (Fig. 5).

| | Briofite | Lettiera | Suolo nudo | Roccia nuda | Sfaticcio >0.5mm | Sfaticcio <0.5 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Shannon*** | **0,558** | **0,000** | **0,000** | **0,151** | **0,474** | **0,162** |
| ***Evenness*** | **0,268** | **0,000** | **0,000** | **0,072** | **0,228** | **0,078** |

*Figura 5. Valori di ricchezza e di equipartizione per i diversi micrositi.*

Considerando il tipo casmofitico di molte specie presenti, risulta molto complesso in campo risalire al punto di radicamento iniziale delle varie specie. Una delle prime elaborazioni è stata quindi quella di visualizzare la mappa delle coperture delle specie nei singoli subplot per evidenziare i

possibili punti di origine delle varie patch (Fig. 6). La conversione in raster e la riclassificazione di queste mappe secondo il metodo fitosociologico (Braun-Blaquet, 1964) ha permesso di suddividere le patch delle specie di interesse in una zona di radicazione (classe di copertura 4-5) e di propagazione (classe di copertura 1-3). Questa riclassificazione permette di analizzare spazialmente i parametri scelti dalla pianta per la colonizzazione dell'ambiente attribuendone pesi diversi.

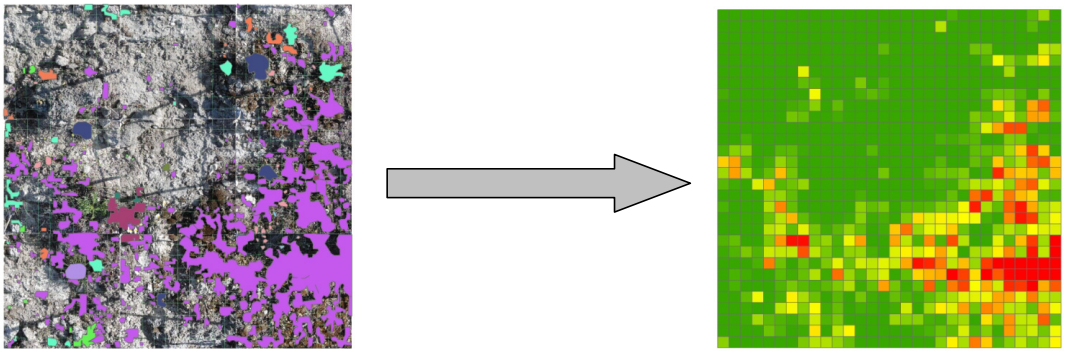
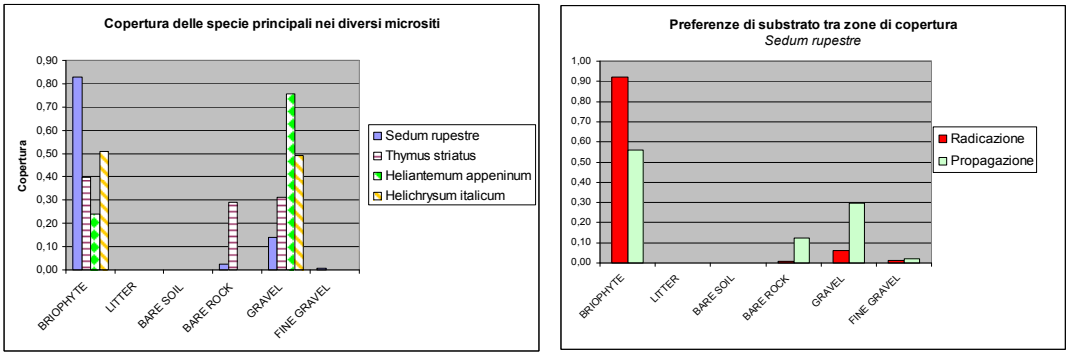


*Figura 6. Creazione della mappa di densità per Sedum rupestre. Le colorazioni rosso e arancione rappresentano i subplot con una copertura dal 50 al 75% della specie mentre nei subplot verde scuro la specie è assente.*

Una prima ipotesi è quella che vede il tappeto muscinale e lo sfaticcio come substrati preferiti nella colonizzazione di questo ambiente da parte perlopiù del genere dominante. Una verifica parziale di questa ipotesi è stata attuata utilizzando le mappe di copertura per le specie con una copertura significativa (>3%) confrontandole con le mappe dei micrositi attraverso l'algoritmo *Zonal statistics* (ArcGIS).
Questa analisi esplorativa mostra come la zona di radicazione ricada prevalentemente od esclusivamente sul tappeto muscinale mentre la zona di propagazione abbia un range più vasto con preferenze sia per il muschio che per lo sfaticcio (Fig 7).
Le stesse analisi sono state eseguite sui layer dei diversi parametri topografici: pendenze, curvatura e microquote senza però riscontrare particolari preferenze fatta eccezione per la mappa delle curvature in cui le zone a densità maggiore di *S. rupestre* mostrano una leggera preferenza per zone più convesse.




a. b.

*Figura 7. Il grafico (a) mostra la copertura delle varie specie nei diversi micrositi. Il grafico (b) considera le due zone individuate nella mappa di densità relazionate ai micrositi.*

L'analisi temporale ha mostrato che lo stesso macroplot, fotografato dopo 20 giorni, mostra un aumento della copertura di quasi tutte le specie dal 10 al 160% fatta eccezione per il *S. rupestre* che ha subito una contrazione del 23%.
Per quanto riguarda i micrositi si è notato un arretramento dei muschi del 33% circa e un avanzamento della copertura di sfaticcio. Nel complesso il 72% di tutto il *S. rupestre* si mantiene su muschio mentre rispetto al primo step un 10% passa su sfaticcio. Questa quota è rappresentata prevalentemente da residui delle zone di propagazione. Anche le altre specie presentano alcune variazioni: in particolare *Thymus striatus* il cui substrato passa da muscho a sfaticcio (Fig 8)

| | Briofite | | Lettiera | | Suolo nudo | | Roccia nuda | | Sfaticcio > 0.5 mm | | Sfaticcio < 0.5mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Step I | Step II | Step I | Step II | Step I | Step II | Step I | Step II | Step I | Step II | Step I | Step II |
| *Sedum rupestre* | **0,83** | **0,72** | **0,00** | **0,03** | **0,00** | **0,00** | **0,03** | **0,01** | **0,14** | **0,22** | **0,01** | **0,02** |
| *Thymus striatus* | **0,40** | **0,17** | **0,00** | **0,00** | **0,00** | **0,00** | **0,29** | **0,05** | **0,31** | **0,78** | **0,00** | **0,00** |
| *Heliantemum appeninum* | **0,24** | **0,20** | **0,00** | **0,00** | **0,00** | **0,00** | **0,00** | **0,00** | **0,76** | **0,80** | **0,00** | **0,00** |
| *Helichrysum italicum* | **0,51** | **0,43** | **0,00** | **0,00** | **0,00** | **0,00** | **0,00** | **0,01** | **0,49** | **0,55** | **0,00** | **0,00** |

*Figura 8. Confronto con le coperture delle varie specie ripartite per micrositi nei due step temporali (aprile e maggio).*

Le prime analisi esplorative mostrano, in sintesi, un macroplot dominato da una sola specie, *S. rupestre*, accompagnato da specie con coperture inferiori al 5%. La principale relazione riscontrata è quella con il tappeto muscinale che sembra svolgere un ruolo fondamentale nella colonizzazione di questa porzione di ambiente. Le relazioni tra la flora vascolare e quella briofitica sono già note in molti ambienti, ma i reciproci ruoli tra i due attori non sono gli stessi nei vari casi. Talvolta sembra esserci una facilitazione dovuta alla ritenzione di sostanze nutritive e umidità, mentre in altri casi sono noti fenomeni allelopatci, soprattutto nei confronti dei semi delle cormofite.
Nel caso degli affioramenti gessosi non sono pervenuti lavori che testimonino questa relazione in ambienti xerici, sarà quindi interessante approfondire questo aspetto che pone anche la relazione con gli elementi topografici, che qui sembrano non avere grande rilevanza, su un piano e una scala diversa.

**Considerazioni sul metodo**
L'impiego delle tecniche di analisi di immagine ed elaborazione di strati tematici, tipiche della Landscape Ecology su ampia scala, calibrate sulle dimensioni delle specie vegetali oggetto di studio, permettono un approccio standardizzato e quantitativo anche di habitat di esigue dimensioni.
Uno dei vantaggi più consistenti del metodo integrato allo studio delle comunità è la possibilità di elaborare modelli di sintesi contenenti il maggior numero di fonti di variazione possibile e modelli previsionali di espansione delle specie che rappresenterebbero strumenti efficaci nei programmi di monitoraggio e di conservazione di habitat minacciati.
I risultati presentati hanno valore dimostrativo e non ambiscono ad una generalizzazione delle evidenze fin qui riscontrate né a livello di specie né tanto meno di habitat. Il lavoro continua con l'analisi di altri macroplot nelle medesime aree per poter affrontare con strumenti statistici e geostatistici un insieme di dati significativo.

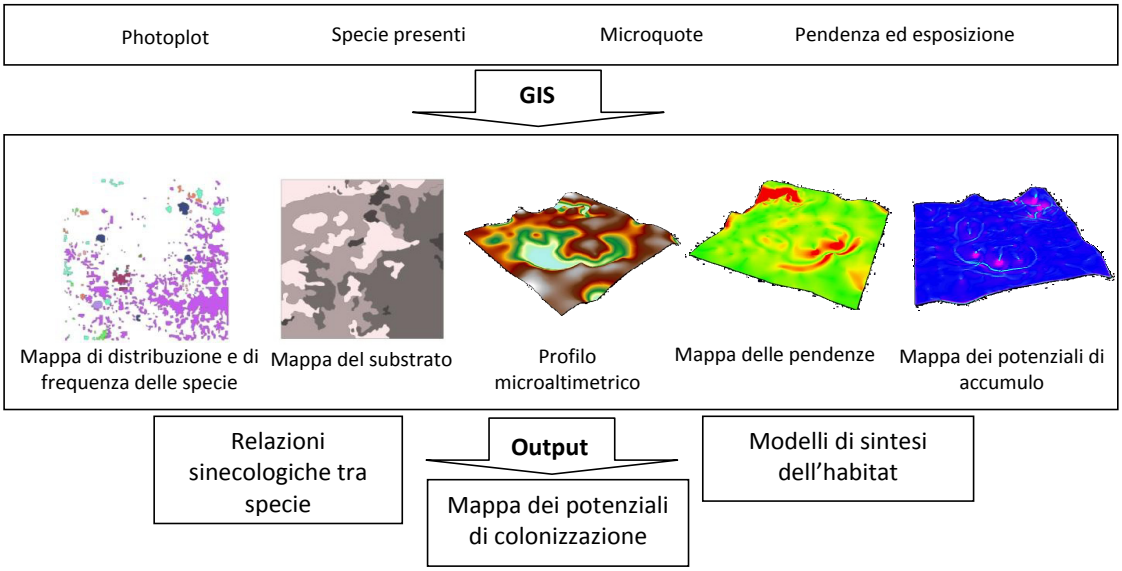



*Figura 9. Sintesi della metodologia proposta: i dati rilevati in campo vengono elaborati e implementati in ambiente GIS utilizzando le tecniche della Landscape Ecology su ampia scala con la produzione di strumenti di previsione applicabili nella conservazione dell'Habitat 6110*.*

**Riferimenti Bibliografici**

BRAUN-BLANQUET J., 1964, Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3rd ed., Springer, Berlin.

ESCUDERO A., IRIONDO J. M., OLANO J. M., RUBIO A., SOMOLINOS R C., 2000, Factors affecting establishment of a gypsophyte: the case of *Lepidium subulatum* (Brassicaceae). *American Journal of Botany* 87(6): 861–871.

FERRARI C., 1974, La vegetazione delle rupi gessose di Miserazzano e della Croara (Bologna). *Not Fitosoc*. 8: 65-74.

FERRARI C., MANDRIOLI P., RINALDI A., 1978, Integrazioni tra il rilevamento fotoaereo a bassa quota e dil rilevamento fitosociologico per la cartografia vegetazionale di un biotope palustre. Not. Fitosoc. 13: 1-11.

FERRARI C., PEZZI G., CORAZZA M., 2011, PROGETTO Life 08 NAT/IT/000369 "Gypsum": Monitoraggio di alcuni habitat di interesse comunitario di superficie associati agli affioramenti gessosi di alcuni Siti Natura 2000 dell'Emilia Romagna. Relazione tecnica, pp 1-51.

GRIME J. P. 1979, Plant strategies and vegetation processes. *New York: John Wiley and Sons ltd. Chichester.*

GUERRERO-CAMPOA J.́, ALBERTOB F., HODGSONC J., GARCÍA-RUIZA J. M., MONTSERRAT-MARTÍ G., 1999, Plant community patterns in a gypsum area of NE Spain. I. Interactions with topographic factors and soil erosion. *Journal of Arid Environments* Volume 41(4): 401–410.

MEIER U., 1997, BBCH- Monograph Growth stages of plants. *Blackwell*, Berlin und Wien: 622 pp.

MONTAGNA M., RIGON P.,BRESCIANI M., FILA G.L., 2009, Monitoraggio dei canneti di Sirmione tramite drone MD4-200. XIII Conferenza Nazionale ASITA, 1 – 4 dicembre 2009, Bari, Italia.

MOORE I.D., GRAYSON R.B., LADSON A.R. 1991, Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorpological, and biological applications. *Hydrol Process* 5:3–30.

PALACIO S., ESCUDERO A., MONTSERRAT-MARTÍ G., MAESTRO M., MILLA R. ALBERT M. J., 2006, Plants Living on Gypsum: Beyond the Specialist Model. *Annals of Botany* 99: 333–343.

PALMER N.W., WHITE P.S., 1994a - Scale dependence and the species-area relationship. *The American Naturalist.* 144: 717-740.
RICKLEFS R.E. 1977, Environmental heterogeneity and plant species diversity: a hypothesis. *The American Naturalist*, 111, 376–381.
REMONDINO F., BARAZZETTI L.,. NEX F., SCAIONI M., SARAZZI D., 2011. UAV photogrammetry for mapping and 3D modelling – Current status and future prospective – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 28 : 1 - C22.
RUBIO A., ESCUDERA A., 2000, Small-scale spatial soil-plant relationship in semi-arid gypsum environments. *Plant and Soil* 220: 139–150.
SHANNON C., WEAVER W., 1949, The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana, Illinois.
TILMAN D. 1982, Resource competition and community structure. *Princeston University Press*.

# Controllo laser scanning del rifacimento della pavimentazione di una piazza

Domenico Visintini (*), Anna Spangher (**)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università degli Studi di Udine,
Via delle Scienze 206, 33100 UDINE, Tel. 0432 558719, e-mail: domenico.visintini@uniud.it
(**) Unità Operativa Ufficio Tecnico del Traffico, Comune di Udine,
Via Lionello 1, 33100 UDINE, Tel. 0432 271424, e-mail: anna.spangher@comune.udine.it

**Riassunto**
Questo articolo descrive l'uso del laser scanning terrestre (TLS) per il controllo del rifacimento della pavimentazione di piazza Matteotti di Udine, un'area di quasi 2.000 mq, ricoperta da circa 12.000 lastre in pietra, metà delle quali restaurate nei primi mesi del 2012. La pavimentazione è stata rilevata prima (aprile 2010) e dopo (aprile 2012) tale rifacimento con il TLS Riegl Z390i integrato con camera Nikon D200. Fra le varie elaborazioni eseguite, sono risultate fondamentali quelle di registrazione, su target e con metodo ICP, e quelle di costruzione dei rispettivi DSM. Per confrontare infine i due rilievi, si è eseguita la registrazione del DSM 2012 sul DSM 2010.
Il rilevamento TLS *ex ante* aveva confermato l'improrogabilità di un intervento di restauro, localizzando e quantificando cedimenti (anche di qualche centimetro) e pericolose lacune. Grazie al rilievo TLS *ex post* si è potuta verificare la congruenza del restauro con quanto progettato ed il significativo miglioramento della regolarità altimetrica della superficie della nuova pavimentazione.

***Abstract***
*The paper describes the use of terrestrial laser scanning (TLS) to control the resurfacing of Piazza Matteotti of Udine, an area of almost 2,000 square meters, covered by about 12,000 stone slabs, half of which were restored in early 2012. The floor has been surveyed before (April 2010) and after (April 2012) this remake, with a Riegl Z390i TLS integrated with a Nikon D200 camera. Among the various processing performed, fundamentals are the scans registration, on target and with ICP method, and the construction of the respective DSM. Finally, to compare the two surveys, DSM 2012 has been registered onto DSM 2010. Ex ante TLS survey confirmed the need of the restoration, locating and quantifying failure (even few centimeters) and hazardous gaps. Thanks to the ex post TLS survey, it was possible to check the consistency of the restoration with the design and the significant improvement in the regularity elevation of the new floor surface.*

## 1. Introduzione

Piazza Matteotti ha la forma di un trapezio scaleno di circa 3.400 mq (vedi Figura 1 a sinistra), con le due basi, poste approssimativamente nella direzione est-ovest, di dimensioni rispettivamente 75 m (a sud) e 60 m (a nord), un altezza di 50 m (ad est) ed un lato obliquo di 65 m (ad ovest). Dal punto di vista storico e artistico, essa riveste un'importanza fondamentale per Udine, visto che ne è uno dei siti più antichi e uno dei fulcri intorno ai quali si è sviluppata la città (Della Porta, 1928): il fatto che essa sia nota agli udinesi con ben altri tre nomi (piazza Mercato Nuovo, piazza delle Erbe e piazza San Giacomo) sta a dimostrare la sua grande dinamicità durante i secoli.
Nel 1223, durante il patriarcato di Bertoldo di Andechs, la città ottenne il permesso di costituire un mercato con cadenze regolari, che cominciò a tenersi in un'area sotto il colle del Castello, oggi nota come "Mercato Vecchio". Più tardi esso fu trasferito dove oggi si trova Piazza Matteotti e fu detto

"Mercato Nuovo". Nel corso dei secoli i mercanti iniziarono ad edificare baracche e ripari che poi vennero mutati in edifici in muratura, dando così alla piazza l'attuale conformazione. Oggi lungo i suoi tre lati corrono file di edifici porticati in stile veneziano. Sulla piazza si affacciano la Chiesa di San Giacomo (1398) e la Cappella delle Anime (1744), mentre al centro è collocata un'antica fontana (1543) e, verso la chiesa, la colonna con la statua della Madonna con Bambino (1487).
Proprio nel 1487 la parte centrale della piazza venne sopraelevata rispetto al piano stradale di due gradini, dando così luogo al "plateatico", termine di origine feudale che corrisponde alla tassa dovuta all'utilizzo di un'area pubblica, con il quale si intende pure l'area stessa. Anche il plateatico ha forma assimilabile ad un trapezio isoscele di circa 2.000 mq di area, con basi 55 m e 47 m, altezza 38 m e lato obliquo 42 m. Esso fu lastricato con circa 12.000 piastre, quasi tutte in pietra piasentina con fugatura in sabbia fine di fiume, disposte a correre, con inclinazione (non del tutto regolare) obliqua di circa 45 gradi rispetto alle basi del trapezio. Tali lastre hanno dimensioni leggermente diverse, in media 41x41 cm, uno spessore ancor più variabile e sono lavorate a piano di sega. Il letto di posa venne realizzato con materiale terroso di risulta ed uno strato finale in sabbia.
Nel 1690 la piazza era già interamente circondata dagli edifici e non si hanno notizie di modifiche successive. Dall'analisi della mappa del catasto austriaco del 1843 (Figura 1 a sinistra) e da alcune fotografie d'epoca (Figura 1 a destra), si può desumere che la piazza abbia mantenuto fino ad oggi la stessa conformazione architettonica, acquisendo e conservando così il ruolo di "salotto di Udine".

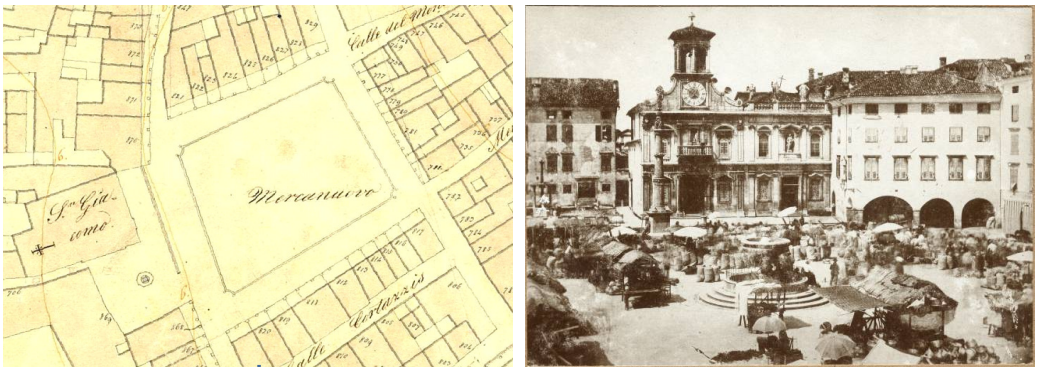



*Figura 1. Pianta del catasto austriaco (a sinistra) e fotografia degli inizi del '900 (a destra).*

Una delle peculiarità proprie della piazza è la marcatura, in gran parte ancora oggi esistente, di una serie di numeri e di simboli su alcune lastre, la cui funzione era la definizione dei posteggi e degli spazi assegnati ai mercanti con un'estrazione a sorte, in modo da evitare litigi e disaccordi.
Negli anni '70-'80 del secolo scorso, a causa delle condizioni di avanzato degrado dovuto al tempo, all'uso, al gelo e al transito di mezzi pesanti (carri), si rese necessario un riatto del plateatico lastricato. Tale intervento di manutenzione, effettuato nei primi anni '80, è consistito in:

- rimozione dei gradini perimetrali (sbrecciati, rotti e slittati dalla posizione originale), minima sostituzione con pezzi nuovi e rimessa in opera su zoccolo in calcestruzzo nella stessa posizione;
- rimozione dell'intero lastricato e sua rimessa in opera su letto di sabbia e cemento, previa la sostituzione delle lastre rotte e non più recuperabili con lastre della medesima tipologia, sebbene di spessore molto più ridotto rispetto alle originali.

Tutti gli interventi attuati, preventivamente decisi con la Soprintendenza, avevano l'obiettivo di sostituire il minor numero di pietre possibile: si è così provveduto all'incollaggio e alla chiodatura di un gran numero di lastre, cercando quindi di preservare il materiale originale.
Negli anni successivi la piazza ha continuato ad essere usata come sede del mercato settimanale e di varie manifestazioni fieristiche della città. Al tradizionale mercato giornaliero della verdura, della frutta e dei fiori, si aggiunse nei primi anni '90 anche il mercato del pesce. Tale scelta è risultata deleteria per la pavimentazione, sollecitata in continuazione dal peso dei trasporti, sempre più

consistenti, dalla presenza del ghiaccio e dell'acqua utilizzati dal mercato del pesce e dall'utilizzo indiscriminato di ponteggi e coperture provvisorie con elevati carichi puntuali. A inizio 2011, a causa delle numerose rotture di lastre, alla rimozione di alcune porzioni e alla presenza di cedimenti generalizzati del piano di posa, si è reso necessario delimitare alcune porzioni del plateatico e interdirle al passaggio dei pedoni. Dopo di che, è stato redatto un progetto di recupero, concordato con la locale Soprintendenza, per un improrogabile ripristino della pavimentazione della piazza.

**2. Rilevamento TLS ex ante dello stato di fatto (aprile 2010)**

Il primo rilevamento laser scanning della piazza è stato eseguito nel mese di aprile del 2010 ed è stato realizzato con il laser scanner terrestre (TLS) Riegl Z390i integrato con camera metrica Nikon D200 di proprietà del CIRMONT di Amaro (UD, www.cirmont.it), strumento pure utilizzato per il secondo rilevamento del 2012. In realtà le scansioni in oggetto sono state svolte principalmente per la modellazione delle interessanti facciate degli edifici prospicienti: pur tuttavia, questi dati hanno permesso di descrivere lo "stato di fatto della pavimentazione" prima del rifacimento (situazione *ex ante*). Sono state acquisite due scansioni panoramiche, una dal quadrante sud-ovest (in giallo in Figura 3 a sinistra) ed una da quello nord-est (in verde in Figura 3 a sinistra) per un totale di circa 6,7 milioni di punti; le loro caratteristiche principali sono riassunte in Tabella 2.

| scansione | Tipo | passo angolare | punti totali | punti piazza | punti pavimentazione | immagini |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Matteotti SO | verticale panoramica | 0,10° x 0,10° | 3,3 M | 2,0 M | 1,9 M | 12 |
| Matteotti NE | verticale panoramica | 0,10° x 0,10° | 3,4 M | 1,9 M | 1,8 M | 12 |
| TOTALE | | | 6,7 M | 3,9 M | 3,7 M | 24 |

*Tabella 2. Caratteristiche del rilevamento TLS del 2010 (ex ante il restauro).*

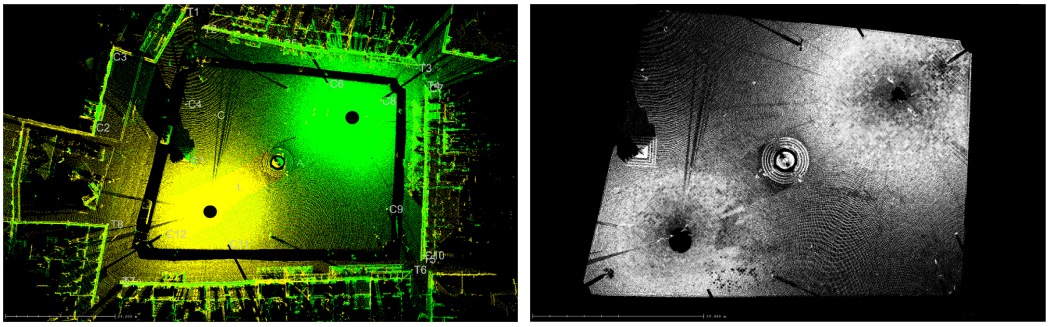


*Figura 3. Le due scansioni TLS del 2010 (a sinistra) ed il solo plateatico per intensità (a destra).*

Per la registrazione delle due scansioni sono stati sfruttati 21 punti, tra target riflettenti cilindrici (∅ 5 cm) e punti naturali, indicati in Figura 3 a sinistra: ricordando che l'oggetto del rilevamento erano gli edifici, la disposizione dei target non appariva certamente ottimale, visto che erano posti piuttosto in basso, in zone accessibili quali il lastricato stesso, la fontana, la base della colonna e l'esterno dei porticati. Sono stati scelti allora anche dei punti naturali, posti il più in alto possibile sulle facciate, negli spigoli delle grondaie e sui lampioni della piazza: il residuo medio della registrazione è risultato pari a 1,6 cm. Tale valore appare di per sé soddisfacente per creare i prospetti (verticali) delle facciate, non lo è invece per la modellazione della superficie "orizzontale" del plateatico (Figura 3 a destra) per il quale è richiesta una grande accuratezza altimetrica.
Il problema di fondo è dato dal fatto che le scansioni verticali sono ottimali per rilevare superfici verticali (le pareti) ma non per quelle orizzontali (la pavimentazione) essendo assai scorciate per la maggior parte di queste. Con lo strumento utilizzato, il raggio del punto più vicino al TLS ha una lunghezza di 2,77 m ed un angolo di incidenza di 40° sulla pavimentazione, mentre un raggio che colpisce la pavimentazione a (soli) 25 m di distanza, ha un angolo di incidenza di appena 4°.

In assoluto, il problema si risolve acquisendo molte scansioni e/o ruotando lo strumento verso il basso e/o posizionandolo "in alto", operazione quest'ultima sempre assai difficile. Qui invece, si sono mantenute le scansioni a disposizione e si è seguita la strategia di elaborazioni sotto riportata, eseguite con il software RiSCAN PRO© (Riegl, 2009), salvo quando diversamente specificato.

1. Utilizzo dei soli punti della pavimentazione

Mediante selezione manuale, dalle due scansioni "Matteotti SO" e "Matteotti NE" (vedi Tabella 2) sono stati considerati rispettivamente 2,0 e 1,9 milioni di punti della sola piazza. Da questi, sono stati poi eliminati i punti, ben 200.000 circa, relativi alle persone che passeggiavano in piazza.

2. Ricampionamento "*octree"* delle due nuvole di punti

Come conseguenza agli angoli di incidenza molto bassi, le scansioni verticali avevano densità di scansione orizzontale assai variabile, passando da un massimo di 30.000 punti/mq per le aree più vicine al TLS, a "soli" 50 punti/mq sempre alla distanza di 25 m dal TLS. Per omogeneizzare tali densità è stato eseguito un filtraggio mediante metodo *"octree"*, algoritmo ben noto che restituisce il baricentro di tutti quelli compresi in un cubetto di dimensioni scelte. Trattandosi qui di una superficie "orizzontale", si sono invece considerati dei parallelepipedi verticali di 10x10x100 cm, in modo da filtrare il rumore di misura, come già fatto in una situazione analoga, la scansione molto rumorosa di una trave di legno non verniciata, descritta in Crosilla et al. (2011).

3. Creazione del DSM delle due nuvole di punti ricampionate

Sono stati sperimentati due metodi di triangolazione 3D, TIN (*Plane triangulation*) e a griglia (*2,5D raster*), tenendo come riferimento il piano orizzontale 2D, con vari parametri di costruzione dei triangoli: massima lunghezza dei lati, massima pendenza, angolo minimo dei triangoli (per il TIN), passo della griglia e metodo di interpolazione (per la griglia). I risultati migliori si sono ottenuti con il metodo a griglia con un passo di 20 cm e posizionamento planimetrico con "*true average*". Successivamente si proceduto alla chiusura dei "buchi" che si presentavano nelle parti lontane dal TLS mediante triangolazione piana, ammettendo triangoli con lati di lunghezza superiore. Costruiti così separatamente i due DSM, il loro confronto è un indice della bontà della registrazione su punti omologhi. La Figura 4 a sinistra riporta la differenza "DSM NE – DSM SO", in direzione verticale, in scala di colori: il bianco significa che manca il DSM SO, il verde che la distanza è entro ±1 cm: si nota che nella parte ovest, il DSM NE si trova circa 2 cm sopra al DSM SO (colore giallo-verde).



*Figura 4. Differenza fra i DSM delle due scansioni prima (a sinistra) e dopo (a destra) la registrazione con metodo ICP: le aree colorate in verde hanno una differenza entro ±1 cm.*

4. Registrazione mediante metodo ICP

I risultati sopra descritti confermano la necessità di raffinare la registrazione mediante il ben noto metodo *"Iterative Closest Point"* ICP (Besl e McKay, 1992) che, minimizzando la distanza fra i DSM corrispondenti alle scansioni da registrare, procede a così a roto-traslare le stesse e quindi a migliorare la registrazione. Tale algoritmo non è disponibile nella versione base di RiSCAN PRO, ma è implementato, ad esempio, nel comando *Align* di MeshLab© (Visual Computing Lab - ISTI - CNR, 2011), software *open source* con svariate funzioni per l'elaborazione di *mesh*. Nel nostro caso

specifico, i due DSM sono stati importati in MeshLab e, tenendo fermo il DSM SO, il DSM NE è stato roto-traslato mediante metodo ICP. La nuova differenza "DSM NE – DSM SO" è ora riportata in Figura 4 a destra: è palese il miglioramento della sovrapposizione fra i due. I parametri di roto-traslazione della scansione "Matteotti NE" ottenuti mediante punti omologhi sono stati sostituiti con quelli così calcolati mediante ICP: in definitiva, dove era conveniente, è stato possibile utilizzare i punti TLS così come originariamente acquisiti, mentre nelle zone equidistanti dalle due stazioni di scansione, grazie al criterio imposto, l'integrazione fra le stesse è la migliore possibile.

5. Fusione dei due DSM in un'unica superficie

Tornando a considerare l'intero plateatico, dopo la registrazione ICP, le due scansioni/superfici sono molto più vicine fra loro ma non coincidono. Sempre all'interno di MeshLab, prima sono state fuse assieme con il comando *Flatten Visible Layers* e poi, per creare un unico DSM (Figura 5), è stato utilizzato il comando *Surface Reconstruction - VCG*, con opportuni parametri di modellazione.

6. Texturing del DSM con le immagini fotogrammetriche

Sul DSM così ottenuto sono state proiettate le immagini fotogrammetriche acquisite con la camera integrata con la produzione della pianta-ortofoto del lastricato: la sua qualità radiometrica purtroppo non è ottimale per le zone scorciate (quadranti nord-est e sud-ovest) rispetto alle prese/scansioni.

Eseguite le precedenti elaborazioni, si ha la rappresentazione dello stato di fatto del plateatico prima del restauro. Osservando la Figura 5 a sinistra, dove il DSM è colorato per quota da 108,93 m (blu) a 109,20 (rosso), si nota come nella parte sud-ovest vi fosse un'area con bassa pendenza, zona spesso luogo di ristagni d'acqua. Analizzando tale area in dettaglio, riportata in Figura 5 a destra con colori ora ristretti in un intervallo in quota di 7 cm, da 108,99 m (blu) a 109,06 m (rosso), si nota un'efficace rappresentazione della grande irregolarità altimetrica del lastricato che qui presentava cedimenti anche di qualche centimetro e pericolose lacune nelle lastre.

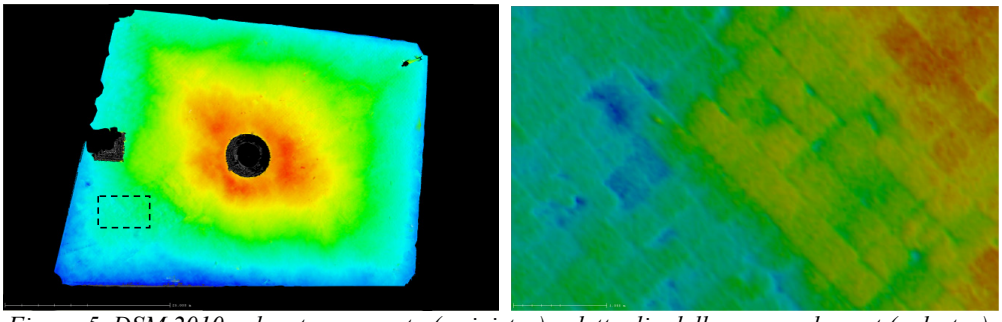


*Figura 5. DSM 2010 colorato per quota (a sinistra) e dettaglio della zona sud-ovest (a destra).*

**3. L'intervento di rifacimento della pavimentazione (ottobre 2011 - aprile 2012)**

Stante lo stato di elevato degrado, l'iter di progettazione per il recupero della piazza è stato portato a termine in tempi molto ristretti e in stretta collaborazione tra l'Amministrazione Comunale di Udine e la locale Soprintendenza per i Beni Architettonici e Culturali. L'intervento ha riguardato 6.060 (!) lastre della parte sud della piazza, la più ammalorata: nella pianta di Figura 6 a sinistra, ottenuta anche sulla base del rilevamento TLS appena descritto, sono indicate le lastre spezzate in 2-3 frammenti (in verde), quelle spezzate in 4-6 frammenti (in giallo), quelle da rimuovere e da ricollocare (in arancio), quelle da sostituire (in viola) ed i gradini da restaurare (in azzurro).

I lavori sono iniziati a metà ottobre 2011 e hanno avuto termine ad aprile 2012, prima di Pasqua, quando la piazza è stata inaugurata. Il lavoro è stato realizzato da due ditte distinte, una deputata alla rimozione delle lastre, alla sistemazione del sottofondo, alla posa delle lastre e alla successiva fugatura, mentre la seconda si è occupata del vero e proprio lavoro di restauro delle lastre rovinate. La parte soggetto ad intervento è stata divisa in 22 settori di lunghezza variabile e di larghezza pari a 5 lastre (vedi Figura 6 a destra), procedendo alla loro rimozione in fasi distinte. Ciò si è reso necessario per il vincolo di mantenere la posizione e l'orientamento delle lastre e l'andamento non

esattamente rettilineo delle linee di fugatura. Una volta rimosse, le lastre di ogni settore sono state numerate sequenzialmente e posate sul settore successivo, secondo l'ordine di rimozione.

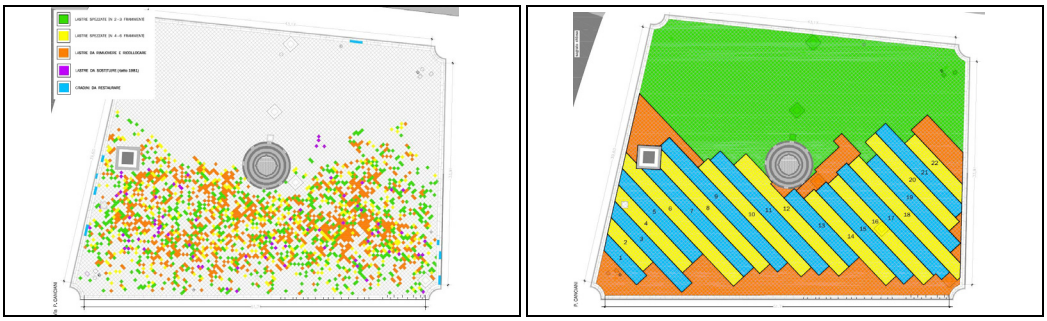


*Figura 6. Lastre oggetto di restauro (a sinistra) e organizzione del lavoro (a sinistra).*

Le lastre irrecuperabili, ovvero quelle frantumate in un eccessivo numero di pezzi o quelle risalenti al recupero degli anni '80, sono state eliminate (percentuale inferiore al 5%). Le lastre recuperabili sono state prelevate dalla ditta di restauro che ha provveduto ad incollarle tramite resine epossidiche o a tassellarle con i residui delle lastre eliminate e poi a stuccarle con materiale ottenuto dalla frantumazione delle lastre eliminate. Le lastre eliminate sono state sostituite con nuove lastre in pietra piasentina di 41x41 cm, tagliate a piano di sega e sottoposte a fiammatura (per renderle più uniformi rispetto alle antiche) e di spessore uniforme pari a 8-10 cm, assai elevato, per resistere nel caso di eventuali carichi puntuali. Infine, le lastre integre sono state accantonate.
Particolare attenzione è stata prestata alle lastre numerate e con eventuali simboli, restaurando e preservando anche lastre che si trovavano ridotte in condizioni di fatto irrecuperabili. Le marcature degli stalli sono state prodotte con piastrelline in nero marquinia 6x6 cm e spessore 1 cm.
Se la planimetria del lastricato non doveva essere mantenuta pressoché inalterata, l'andamento altimetrico doveva invece soddisfare la corretta pendenza (livelletta) per lo smaltimento delle acque meteoriche: come visto al paragrafo 4, gran parte delle lastre dovevano essere rimesse in posa ad una quota più alta. Il nuovo piano di posa è stato realizzato con un letto di sabbia di fiume mista a cemento, seguendo il tracciamento nei settori grazie a dei picchetti e ad accorgimenti di cantiere.
Infine si è provveduto alla rimozione e al restauro dei soli gradini che risultavano rovinati.
A conclusione dei lavori si è proceduto alla pulizia dell'intero plateatico tramite l'utilizzo di un processo di saponificazione che ha eliminato gli aloni e le macchie e alla successiva idropulitura.

**4. Rilevamento TLS ex post dopo il rifacimento (aprile 2012)**
Il secondo rilevamento TLS della piazza è stato eseguito un paio di settimane dopo l'inaugurazione del plateatico restaurato: anche in questo caso sono state eseguite due scansioni (vedi Tabella 7), acquisite però dagli altri due quadranti della piazza ("Matteotti NO" azzurra e "Matteotti SE" fucsia in Figura 8 a sinistra). Lo strumento è stato ruotato di 30° verso il basso in direzione della fontana (centro della piazza), visto che stavolta le facciate degli edifici non erano di interesse. Sono state comunque eseguite anche due scansioni verticali a minor densità (0,10°), per fissare la direzione verticale grazie ai valori memorizzati dal sensore di inclinazione del TLS, come si vedrà in seguito.

| scansione | tipo | passo angolare | punti totali | punti piazza | punti pavimentazione | immagini |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Matteotti NO | inclinata 30° panoramica | 0,06° x 0,06° | 7,0 M | 3,5 M | 2,9 M | 12 |
| Matteotti SE | inclinata 30° panoramica | 0,06° x 0,06° | 6,9 M | 3,4 M | 2,8 M | 12 |
| TOTALE | | | 13,9 M | 6,9 M | 5,7 M | 24 |

*Tabella 7. Caratteristiche del rilevamento TLS del 2012 (ex post il restauro).*

Potendo disporre di 40 target cilindrici, anche di diametro 10 cm e ideali per essere posti a grande distanza dal TLS, la registrazione sugli stessi ha fornito un residuo medio di 1,0 cm, valore migliore rispetto a quello del 2010 e più significativo essendo i target posti tutti sulla piazza. Sono state

eseguite le elaborazioni 1, 2, 3, 5 e 6 descritte al paragrafo 2, ma non il raffinamento della registrazione (4) via ICP in quanto la differenza fra i due DSM era in gran parte compresa entro ±1 cm. Va detto che in questo caso, vista la maggior risoluzione di scansione (passo angolare ridotto a 0,06°), la densità orizzontale a 25 m era pari a 110 punti/mq, valore più che accettabile. In Figura 8 a destra è rappresentato il DSM ottenuto, con colori secondo la quota: ricordando il DSM del 2010 (Figura 5 a sinistra), si può qui notare la miglior omogeneità delle variazioni di quota (pendenza).

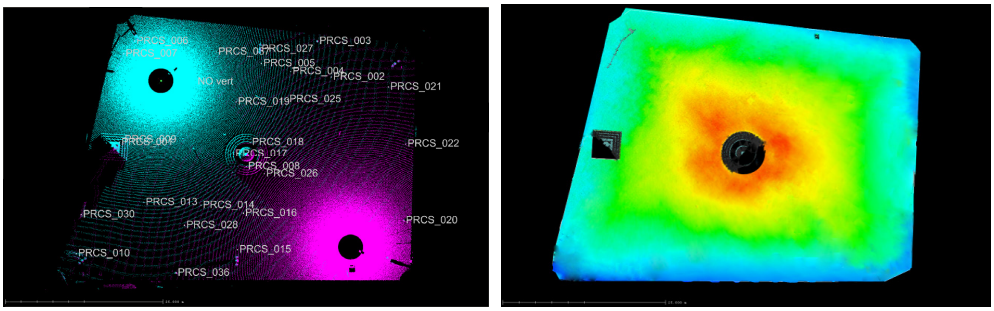



*Figura 8. Le due scansioni TLS del 2012 (a sinistra) ed il DSM colorato per quota (a destra).*

**5. Confronto fra il DSM 2010 e il DSM 2012**

Il confronto fra i DSM *ex ante* ed *ex post* il restauro presuppone che gli stessi si trovino nello stesso sistema di riferimento (PRoject Coordinate System, PRCS), situazione non vera in quanto l'origine del PRCS del rilevamento del 2010 era la scansione "Matteotti SE", mentre quella del rilevamento 2012 era la scansione "Matteotti NO", in entrambi i casi rese matematicamente verticali con il comando "*Calculate via inclination sensors*" a partire dai dati dell'inclinometro.

Di fatto, si è trattato di eseguire ancora una registrazione, stavolta non fra scansioni, bensì fra rilevamenti TLS. A tal fine, si è proceduto ad una roto-traslazione manuale del DSM 2012 sul DSM 2010 sulla base di 10 punti fissi nelle due epoche, quali la sommità della fontana, alcuni spigoli della base della colonna, dei lampioni e di elementi di arredo urbano. È stato ottenuto un residuo medio pari a 1,8 cm, valore soddisfacente tenendo conto che si è operato su punti naturali.

Il successivo raffinamento mediante metodo ICP ha portato a risultati peggiori: il motivo sta nel fatto che, nel rifacimento, la parte sud della piazza è stata rialzata e quindi il criterio di minimizzare ai minimi quadrati la distanza fra i DSM determina una errata roto-traslazione del DSM 2012.

L'analisi della differenza ottenuta fra i DSM *ex ante* ed *ex post* (Figura 9) fornisce contributi significativi soltanto se tale differenza è stata correttamente calcolata: nel nostro caso, i due rilevamenti avrebbero dovuto essere georeferenziati su caposaldi opportunamente materializzati e misurati per via topografica. Così facendo, la differenza fra i due modelli digitali avrebbe fornito un miglior controllo delle variazioni intervenute; pur tuttavia, anche questa comparazione "senza appoggio topografico" ha portato a delle valutazioni interessanti, riportate al paragrafo successivo.

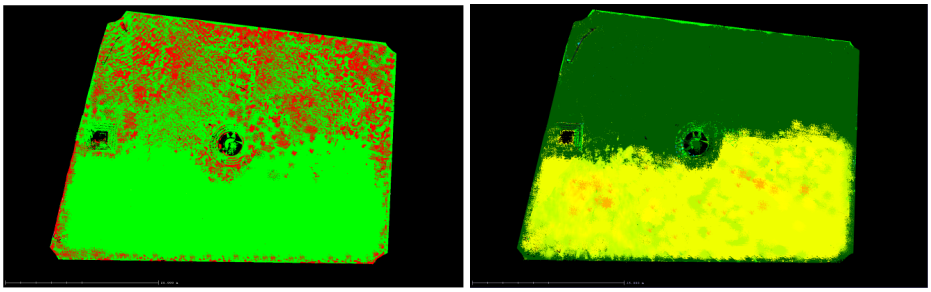


*Figura 9. "DSM 2012 vs DSM 2010": DSM 2012 in verde e DSM 2010 in rosso (a sinistra); la differenza rappresentata per colori: nelle aree verdi essa è compresa entro ±1 cm (a destra).*

**6. Controllo del rifacimento della pavimentazione**

La Figura 9 a sinistra conferma l'innalzamento della quota di gran parte della zona sud, che nella Figura 9 a destra è quantificabile pari a quasi 10 cm nelle aree che erano particolarmente basse.
Come esempio di maggior dettaglio, la Figura 10 riporta due aree contigue di pavimentazione, a sinistra nella situazione del 2010 e a destra in quella del 2012; i due DSM sono così rappresentati:

- a sinistra, a colori in base alla variazione di quota, pari a 10 cm in tali aree, quindi da 0 cm (blu) a +10 cm (rosso): si nota subito come qui le lastre nel 2012 si trovino 7 cm circa più in alto;
- a destra, a toni di grigio in base all'intensità riflessa, quindi in funzione del materiale colpito, ma equalizzata sul *range* locale: si nota che le intensità sono ovviamente diverse nei due rilevamenti.

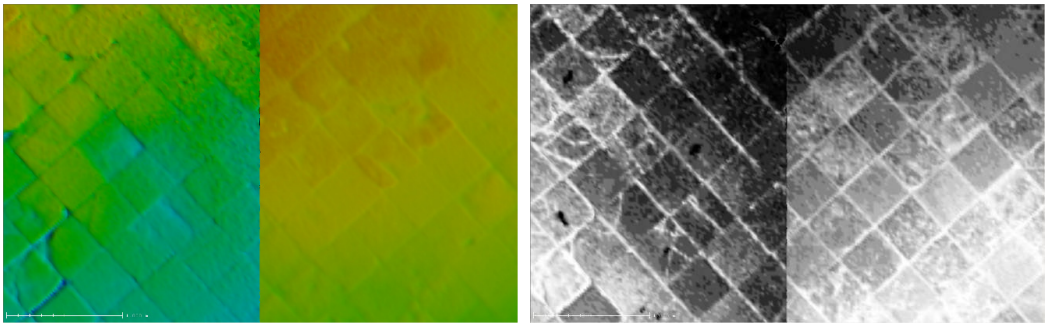


*Figura 10. Aree contigue nel 2010 e nel 2012, per quota (a sinistra) e per intensità (a destra).*

Sulla base di tutto quanto visto finora, il controllo del rifacimento porta alle seguenti conclusioni:

- l'intervento di rifacimento, grazie al consolidamento del sottofondo e alla stesa di nuovo materiale, ha permesso la correzione degli avvallamenti dell'area sud-ovest della piazza, ove maggiormente si era verificato il fenomeno di accumulo di acqua e di lastre lesionate, l'innalzamento medio del piano di calpestio risulta pari a 8 cm (Figura 9 a destra);
- il plateatico più regolare è maggiormente fruibile all'utenza e permette il corretto defluire delle acque e il conseguente mantenimento del sottofondo, che non viene più trasportato e rimosso;
- l'andamento planimetrico delle fughe è stato mantenuto nel suo particolare andamento ondulatorio e questa verifica particolare è stata possibile solo grazie alla sovrapposizione del DSM 2012 sul DSM 2012, texturizzato con le immagini o semplicemente rappresentato per intensità come in Figura 10 a destra, dove è sorprendente la continuità planimetrica riscontrata.

**7. Conclusioni**

Attraverso questo articolo si sono studiate le problematiche e le potenzialità del controllo del rifacimento di una pavimentazione di una piazza mediante rilevamenti laser scanning *ex ante* ed *ex post* l'intervento. Grande attenzione deve essere posta nelle scansioni, vista la giacitura orizzontale della superficie, nella loro registrazione delle scansioni e nel corretto allineamento/confronto fra i rilevamenti. Nonostante nel presente lavoro non si siano utilizzano caposaldi fissi, il confronto fra i modelli conferma la modifica altimetrica e l'invarianza planimetrica del rifacimento in esame.

**Bibliografia**

Besl P.J., McKay N.D. (1992), "A method for registration of 3-D shapes", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14: 239-256.
Crosilla F., Gubana A., Visintini D. (2011), "Misura delle deformazioni di elementi strutturali lignei con laser scanner terrestri distanziometrici". *Geomatica: le radici del futuro. Tributo a Sergio Dequal e a Riccardo Galetto*, Edizioni SIFET, Mestre, 219-228.
Della Porta G.B., (1928), *Toponomastica storica della città e del comune di Udine*, Borsetti, Udine.
Riegl (2009), "Operating&Processing Software RiSCAN PRO for Riegl 3D Laser Scanners - v1.5.0sp1".
Visual Computing Lab - ISTI - CNR (2011), "MeshLab - v1.3.1.", http://meshlab.sf.net.

# Rilievo della vegetazione sommersa della laguna di Venezia utilizzando dati LDCM/OLI simulati con dati EO-1/ALI

Angelo Zandonella

AdTec, via Usodimare 46, 00154 Roma, angelo.zandonella@adtec-sys.com

**Riassunto**
OLI è un sensore multispettrale della nuova serie di satelliti Landsat ed ha una miglior sensitività radiometrica e rapporto segnale rumore dell'ETM+. Date le caratteristiche dello strumento, lo scopo del lavoro è di valutare la possibilità del rilievo della vegetazione sommersa della laguna Veneta, condizionata, in particolare, dalla torbidità dell'acqua e mescolanza di più specie. La metodologia usata si basa sul riconoscimento, dei pixel contenenti classi di vegetazione e relative mescolanze, dall'analisi dei profili spettrali, e successiva stima delle "abbondanze" con un modello di stima dei pixel misti. I dati usati sono OLI simulati con dati ALI.

**Abstract**
*OLI is a multispectral instrument of the new Landsat satellite series and has a higher radiometric sensitivity and signal to noise ratio than ETM+ sensor. For these performances, the aim of this work is to assess the automatic identification of the Venice lagoon submerged vegetation, conditioned by water turbidity and mixture of more species. Methodology used is based on pixel recognition containing vegetation classes and mixtures, by means of spectral profile analysis, and "abundance" estimation by a mixture model. OLI simulated data with ALI data are used.*

## Introduzione

OLI (*Operational Land Imager*) è uno degli strumenti che sarà montato a bordo dei satelliti LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*) del nuovo programma Landsat. OLI è un sensore multispettrale che opera con modalità *push-broom*. Le tecnologie usate in OLI, che derivano da ALI (*Advanced Land Imager*) della missione EO-1 (*Earth Observing-1*), il nuovo disegno dello strumento, la sensitività radiometrica e rapporto segnale rumore superiore a quelli dell'ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), dovrebbero migliorare la raccolta di informazioni della superficie terrestre rispetto ai vecchi sensori della serie Landsat.
Date le caratteristiche di questo nuovo strumento, lo scopo di questo lavoro consiste nel valutare la possibilità di rilievo della vegetazione sommersa della laguna di Venezia utilizzando dati OLI simulati con dati ALI.
Le tecniche di mappatura della vegetazione sommersa della laguna Veneta, correntemente in uso, si basano ancora su rilievi *in situ* da natante ed interpretazione di foto aeree.
Anche le tecniche di telerilevamento, sia da aereo che da satellite con sensori multispettrali ed iperspettrali, sono stati utilizzati a questo scopo e da lunga data.
L'alto livello di torbidità dell'acqua, presente in alcuni bacini lagunari, la variabilità dello strato d'acqua sovrastante la vegetazione sommersa, continuamente modificato dalle condizioni di flusso e deflusso mareale, influenzano la radianza emergente della vegetazione sommersa: le differenze fra firme di specie vegetate diverse sono deboli e rilevabili solo con sensori iperspettrali (Salviato et al., 2005). Altri fattori che influenzano la radianza emergente sono: le caratteristiche granulomatriche del substrato, lo stadio di crescita, lo stato di salute e la densità dei talli o delle piante. A questi si aggiungono gli effetti atmosferici, quelli speculari della superficie dell'acqua e la mescolanza fra

più specie. La mescolanza, rilevabile anche in pixel di pochi metri di risoluzione, ed il grado di copertura entro un pixel di medie dimensioni (come quelli dell'ETM+ ed OLI) generano firme composte e, quindi, pone il problema dei pixel misti (Alberotanza et a., 2006).

**Materiali e metodi**

***Dati utilizzati***

L'immagine EO-1 ALI utilizzata è stata acquisita il 7 giugno 2001 alle ore 9:45 sulla laguna Veneta. Per la simulazione sono state selezionate le bande ALI, corrispondenti alle bande OLI, del visibile (da 0,433 a 0,690 μm) per le caratteristiche di penetrazione ottica in acqua, dell'IR vicino (da 0,845 a 0,890 μm) per la discriminazione fra acqua torbida e pulita a livello superficiale, dell'IR medio riflesso (da 2,080 a 2,350 μm) per il mascheramento del corpo idrico (Tabella 1).
La risoluzione spaziale di queste bande è, per entrambi gli strumenti, la stessa di 30 m. x 30 m.

*Tabella 1. Confronto fra bande EO-1/ALI e bande LDCM/OLI.*

| **EO-1/ALI** | | **LDCM/OLI** | | Denominazione |
|---|---|---|---|---|
| Banda # | Lunghezza d'onda (μm) | Banda # | Lunghezza d'onda (μm) | Banda |
| *ALI 1* | *0,480 – 0,690* | | | *Pancromatico* |
| ALI 2 | **0,433 – 0,453** | OLI 1 | **0,433 – 0,453** | Blu/Aerosol |
| ALI 3 | **0,450 – 0,515** | OLI 2 | **0,450 – 0,515** | Blu |
| ALI 4 | **0,525 – 0,605** | OLI 3 | **0,525 – 0,600** | Verde |
| ALI 5 | **0,630 – 0,690** | OLI 4 | **0,630 – 0,680** | Rosso |
| ALI 6 | 0,775 – 0,805 | | | IR Vicino |
| ALI 7 | **0,845 – 0,890** | OLI 5 | **0,845 – 0,885** | IR Vicino |
| ALI 8 | 1,200 – 1,300 | | | IR Medio Riflesso |
| ALI 9 | 1,550 – 1,750 | OLI 6 | 1,560 – 1,660 | IR Medio Riflesso |
| ALI 10 | **2,080 – 2,350** | OLI 7 | **2,100 - 2,300** | IR Medio Riflesso |
| | | *OLI 8* | *0,500 – 0,680* | *Pancromatico* |
| | | OLI 9 | 1,360 – 13,90 | IR Medio Rifl./Cirri |

I dati di verità (specie vegetate e percentuale di copertura) sono stati rilevati, da natante, l'8 giugno 2001 per le macroalghe bentiche, mentre per le fanerogame marine sono stati usati quelli rilevati durante la campagna di maggio-settembre del 2002 (Rismondo et. al., 2003).

***Condizioni ambientali***

Al momento dell'acquisizione era presente un velo atmosferico abbastanza denso. Nei bacini lagunari Settentrionale e Centrale era presente un alto livello di torbidità, dovuta ai sedimenti rimessi in sospensione dallo stress superficiale del vento, tale da non permettere il riconoscimento della vegetazione sommersa in alcune zone della laguna. La marea era in fase crescente con un livello medio mareale, rilevato dal mareografo di Punta della Salute, di 45 cm. Lo spessore d'acqua stimato, sovrastante la vegetazione sommersa a diverse profondità, era mediamente di 80-90 cm.

***Correzioni atmosferiche***

Sono state effettuate utilizzando il modulo FLAASH di ENVI™.
FLAASH è un modulo software di correzioni atmosferiche basato su MODTRAN4. Dalle proprietà atmosferiche (albedo e altitudine superficiale, colonna del vapor acqueo, profondità ottica di nuvole e aerosol, temperatura atmosferica e superficiale) viene ricavata fisicamente la riflettanza apparente della superficie terrestre.
FLAASH opera nell'intervallo spettrale fra 0,35 – 2,50 micron di lunghezza d'onda.
Il modello di derivazione delle proprietà atmosferiche e della superficie terrestre utilizza MODTRAN4, inoltre, tiene conto degli effetti del *mixing* delle radianze fra pixel vicini, dovuti allo *scattering* atmosferico. Una descrizione dettagliata del modello è riportata in FLAASH, 2005.

Le immagini a colori quasi naturali dell'area di studio prima e dopo le correzioni atmosferiche sono riportate nelle Figure 1a. e 1b.



*a.* *b.*

*Figura 1. Immagine a colori quasi naturali prima (a.) e dopo (b.) le correzioni atmosferiche.*

***Torbidità e strato d'acqua sovrastante la vegetazione***

Entrambi i fenomeni hanno come effetti una attenuazione del segnale. Un aumento della torbidità comporta anche uno spostamento delle riflettanze verso livelli più brillanti, mentre un aumento dello strato d'acqua uno spostamento delle riflettanze verso valori più scuri.

Questi fenomeni non modificano i profili (o andamenti) delle curve di riflettanza: i massimi, i minimi, i flessi rimangono invarianti (Figure 2 e 3). Tale invarianza, nell'intervallo spettrale del visibile, trova conferma anche dalle 700 misure di riflettanza delle fanerogame marine rilevate *in situ* nella laguna di Venezia durante la campagna del 2002 (Salviato et al., 2005).

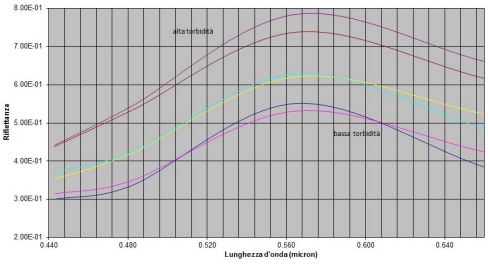



*Figura 2. Macroalghe bentiche. Campione di spettri rilevati in varie condizioni di torbidità dell'acqua e stesso strato d'acqua sovrastante la vegetazione.*

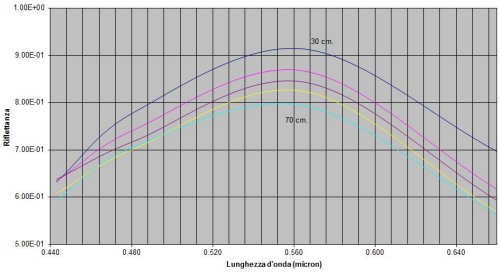



*Figura 3. Fanerogame marine. Campione di spettri rilevati in condizioni di trasparenza dell'acqua e diverso strato d'acqua sovrastante la vegetazione.*

L'alto livello di torbidità, presente soprattutto nei bacini Settentrionale e Centrale, può essere desunto dalla stima della CSS (Concentrazione dei Sedimenti in Sospensione). L'immagine di stima della CSS, ottenuta come somma delle riflettanze delle bande del verde (da 0,525 a 0,605 μm) e dell'IR vicino (da 0,845 a 0,890 μm), è riportata nella Figura 4.

Per le condizioni di torbidità dell'acqua non è stato possibile applicare metodi di compensazione degli effetti dello strato d'acqua sulle riflettanze della vegetazione sommersa per tutta la laguna. Questi metodi richiedono la conoscenza delle caratteristiche di attenuazione della colonna d'acqua. Il metodo di Lyzenga, 1981, ad esempio, richiede che il coefficiente di attenuazione diffuso sia spazialmente costante. Questo si ha in condizioni di trasparenza dell'acqua o di livelli minimi e costanti di torbidità, condizioni valide solo per alcune zone della laguna.

***Estrazione degli spettri puri dalle immagini***

Per ciascuna specie di macroalghe bentiche (*Ulva rigida, Gracilaria confervoides, Chaetomorpha aerea*, *Enteromorpha*) e di fanerogame marine (*Zostera marina, Zostera noltii, Cymodocea nodosa*) sono stati estratti gli spettri puri da aree di campionamento con il 100% di copertura ed in condizioni di trasparenza dell'acqua. Le aree sono state identificate sulla base dei rilievi da natante. Gli spettri dei fondali privi di vegetazione sono stati estratti da aree di campionamento identificate dall'analisi delle immagini e dei rilievi accennati, sempre in condizioni di trasparenza dell'acqua. Gli spettri puri sono stati quindi composti ottenendo uno "spettro medio" delle macroalghe, delle fanerogame e dei fondali privi di vegetazione (Figura 5). Le differenze fra spettri medi delle macroalghe e delle fanerogame può essere dovuto alle diverse fasi di sviluppo vegetativo al momento dell'acquisizione dell'immagine.

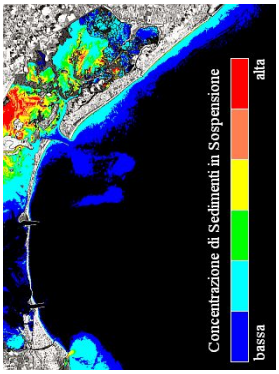



*Figura 4. Immagine di stima della CSS.*

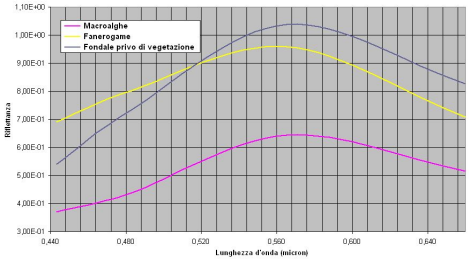



*Figura 5. Spettri medi.*

***Confronto fra profili spettrali di oggetti al suolo***

Il metodo proposto si basa sulla distanza di Hamming fra differenze prime di curve di riflettanza. Per ciascun pixel, inteso come vettore dei valori di riflettanza di bande spettrali, viene associato un vettore di costanti (intere e positive) definite in relazione all'andamento di tali valori in successivi intervalli spettrali. Ciò si ottiene effettuando le differenze prime fra tali valori. Il vettore di costanti così definito viene comparato con l'analogo vettore di un pixel di riferimento. Formalmente siano:

N — Il numero di bande spettrali.

$[w_k]$ — Il vettore di N-1 costanti associato ad un dato pixel le cui componenti vengono ottenute dalle differenze prime fra i valori di riflettanza delle bande $b_{i+1}$ e $b_i$ per i = {1,…,N } e k ={1,…,N-1} nel modo seguente:

$$w_k = \begin{cases} 3 & \text{se } b_{i+1} - b_i > 0 \quad \text{andamento (nell'intervallo) crescente} \\ 2 & \text{se } b_{i+1} - b_i = 0 \quad \text{andamento costante} \\ 1 & \text{se } b_{i+1} - b_i < 0 \quad \text{andamento decrescente} \end{cases}$$

$[w_k^{rif}]$ — Il vettore di costanti, definite in modo analogo, ottenuto dalle differenze prime fra le riflettanze delle bande $b_{i+1}$ e $b_i$ di un pixel di riferimento.

$\otimes$ — L'operatore logico **XOR**.

Allora il profilo della curva di riflettanza del pixel è simile a quello del pixel di riferimento se:

$$\sum_{k=1}^{N-1} \left( w_k \otimes w_k^{rif} \right) = 0 \qquad [1]$$

***Analisi della similitudine spettrale fra pixel e pixel di riferimento***

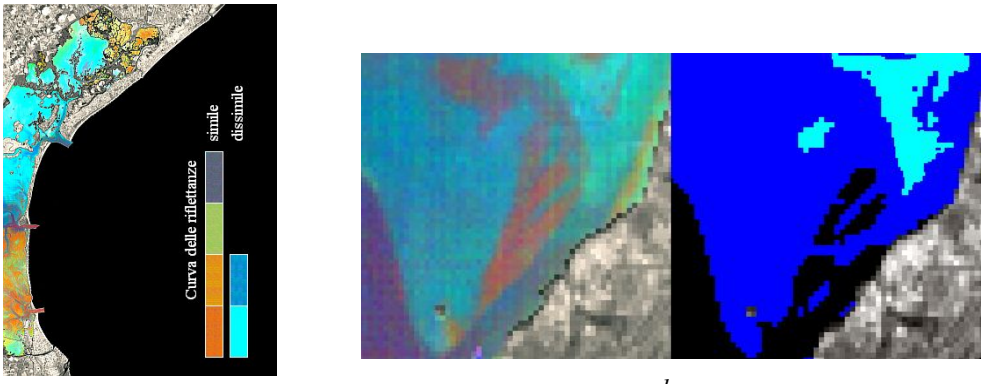
Il metodo proposto è stato applicato a ciascun pixel del corpo idrico della laguna.

Solo i pixel con profilo spettrale simile a quello delle macroalghe, fanerogame e composizione di macroalghe, fanerogame, fondali privi di vegetazione presi a due a due, e presi a tre a tre sono usati per la stima delle "abbondanze" (frazioni di superficie del pixel dovute ai diversi contributi) mediante un modello di stima dei pixel misti.

Ogni pixel viene comparato con sei diversi pixel di riferimento, ottenuti dagli spettri medi delle macroalghe e fanerogame presi distintamente e dagli spettri medi composti delle macroalghe, fanerogame e fondali privi di vegetazione presi a due a due e presi a tre a tre.

Se vi è similitudine spettrale fra il pixel e almeno uno dei pixel di riferimento allora il pixel viene selezionato per la stima delle "abbondanze".

Nella Figura 6a. è riportata l'immagine delle differenze prime e similitudine spettrale. Nella Figura 6b. viene evidenziato un particolare della vegetazione sommersa a diversi livelli di CSS.




*a.* *b.*

*Figura 6. Immagine delle differenze prime e similitudine spettrale (a.) - Particolare (b.)*

***Modello di stima dei pixel misti***

I modelli di pixel misti proposti in letteratura sono, come è noto, di tipo lineare o non lineare.

I modelli lineari sono utilizzati da lungo tempo ed hanno permesso di ottenere anche risultati utili. L'ipotesi assunta in questi modelli è che ciascuna componente di materiale entro un dato pixel sia abbastanza grande da non creare riflessioni multiple della radiazione solare fra le componenti (Singer, McCord, 1979). Le riflettanze del pixel sono quindi assunte come combinazioni lineari di spettri puri di un insieme finito di componenti. Il modello viene rappresentato come un sistema di equazioni lineari vincolate. Per poter utilizzare questi modelli è richiesta l'ortogonalità spettrale delle componenti.

I modelli non lineari tengono conto delle riflessioni multiple fra le componenti di materiale: la radiazione solare incidente su una piccola superficie di una componente interagisce con più componenti prima di essere rilevata dal sensore. Questi tipi di modelli sono quindi un'alternativa per superare i limiti di quelli lineari. Molti sono i modelli non lineari proposti in letteratura. Vanno da quelli basati sulla riflettanza bidirezionale (Hapke, 1981) ai bilineari proposti in lavori più recenti (Halimi et al., 2011). Da un punto di vista formale questi modelli vengono rappresentati come dei sistemi di equazioni non lineari vincolate.

La scelta del modello non è semplice. Si può, infatti, incorrere in una errata specificazione del modello e/o in una errata specificazione della forma funzionale, con conseguenze sull'accuratezza dei risultati ottenibili. Precisamente:

- se vengono omesse delle variabili importanti (interazioni di vario ordine fra spettri puri dell'insieme di componenti) la stima del pixel misto è distorta;

- se vengono aggiunte variabili superflue (interazioni inesistenti fra spettri puri) la varianza del pixel misto stimato aumenta.

Per le difficoltà di conoscere le interazioni fra spettri puri il criterio, utilizzato in questa applicazione, consiste nella:

- definizione di una serie di modelli che tengano conto delle interazioni di primo, secondo e terzo ordine fra gli spettri puri delle componenti di materiale entro il pixel e quindi nella
- scelta del modello il cui coefficiente di variazione fra valori osservati (valori di riflettanza del pixel) e quelli stimati risulti minimo.

La forma funzionale scelta è quella di tipo polinomiale. Quelle proposte in letteratura sono polinomiali, sigmoidali e combinazioni fra polinomiali e sigmoidali. Formalmente, siano:

| | |
|---|---|
| **N** | Numero di bande spettrali. |
| $\mathbf{y} = [y_i]$ | Vettore dei valori di riflettanza del pixel (valori osservati), per i = {1,…,N }. |
| $y_r^{mix} = [y_{ri}^{mix}]$ | Vettore dello spettro del pixel misto stimato con il modello non lineare misto 'r'. |
| $\mathbf{s_m}$, $\mathbf{s_f}$, $\mathbf{s_b}$ | Vettori degli spettri puri (endmember) delle macroalghe (**m**), delle fanerogame (**f**) e dei fondali privi di vegetazione (**b**). |
| $\mathbf{a_m}$, $\mathbf{a_f}$, $\mathbf{a_b}$ | Fattori che contribuiscono agli effetti di mescolanza di primo ordine (riflessione singola della radiazione solare) fra spettri delle macroalghe (**m**), delle fanerogame (**f**) e dei fondali (**b**). |
| $\mathbf{b_{mf}}$, $\mathbf{b_{mb}}$, $\mathbf{b_{fb}}$ | Fattori che contribuiscono agli effetti di mescolanza di secondo ordine (riflessioni multiple della radiazione solare) fra spettri delle macroalghe e fanerogame (**mf**), macroalghe e fondale (**mb**), fanerogame e fondali (**fb**). |
| $\mathbf{c_{mfb}}$ | Fattore che contribuisce agli effetti di mescolanza di terzo ordine fra spettri delle macroalghe, fanerogame e fondali (**mfb**). |
| $\boldsymbol{\varphi_m}$, $\boldsymbol{\varphi_f}$, $\boldsymbol{\varphi_b}$, $\boldsymbol{\varphi_{mf}}$, $\boldsymbol{\varphi_{mb}}$, $\boldsymbol{\varphi_{fb}}$, $\boldsymbol{\varphi_{mfb}}$ | Frazioni della superficie del pixel (abbondanze) dovute ai diversi contributi. La somma delle frazioni è uguale ad 1. |

I modelli di stima del mescolanza entro un dato pixel presi in esame sono i seguenti:

$$y_1^{mix} = a_m s_m + a_b s_b + b_{mb} s_m s_b \qquad [2]$$
per $\mathbf{a_m, a_b, b_{mb}} \geq 0$

$$y_2^{mix} = a_m s_m + a_f s_f + b_{mf} s_m s_f \qquad [3]$$
per $\mathbf{a_m, a_f, b_{mf}} \geq 0$

$$y_3^{mix} = a_f s_f + a_b s_b + b_{fb} s_f s_b \qquad [4]$$
per $\mathbf{a_f, a_b, b_{fb}} \geq 0$

$$y_4^{mix} = a_m s_m + a_f s_f + a_b s_b + b_{mf} s_m s_f + b_{mb} s_m s_b \qquad [5]$$
per $\mathbf{a_m, a_f, a_b, b_{mf}, b_{mb}} \geq 0$

$$y_5^{mix} = a_m s_m + a_f s_f + a_b s_b + b_{mf} s_m s_f + b_{fb} s_f s_b \qquad [6]$$
per $\mathbf{a_m, a_f, a_b, b_{mf}, b_{fb}} \geq 0$

$$y_6^{mix} = a_m s_m + a_f s_f + a_b s_b + b_{mb} s_m s_b + b_{fb} s_f s_b \qquad [7]$$
per $\mathbf{a_m, a_f, a_b, b_{mb}, b_{fb}} \geq 0$

$$y_7^{mix} = a_m s_m + a_f s_f + a_b s_b + b_{mf} s_m s_f + b_{mb} s_m s_b + b_{fb} s_f s_b \qquad [8]$$
per $\mathbf{a_m, a_f, a_b, b_{mf}, b_{mb}, b_{fb}} \geq 0$

$$y_8^{mix} = a_m s_m + a_f s_f + a_b s_b + b_{mf} s_m s_f + b_{mb} s_m s_b + b_{fb} s_f s_b + c_{mfb} s_m s_f s_b \qquad [9]$$
per $\mathbf{a_m, a_f, a_b, b_{mf}, b_{mb}, b_{fb}, c_{mfb}} \geq 0$

La soluzione di ciascuno di questi sistemi di equazioni viene trovata con l'applicazione di un algoritmo di approssimazione al problema dei minimi quadrati non lineari vincolati.

Fra questi r-modelli viene scelto, per ciascun pixel, quello il cui coefficiente di variazione fra valori osservati e valori stimati sia minimo:

$$\min_{r} \frac{1}{(\sum_{i=1}^{N} y_{ri}^{mix})/N} \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (y_i - y_{ri}^{mix})^2 / N} \qquad \text{per} \quad r = \{1,\ldots,8\} \qquad [10]$$

Il modello viene "accettato" se il coefficiente di variazione risulta inferiore al valore convenzionale di 0,1. Nell'ipotesi contraria il pixel non viene classificato in quanto vi sono dubbi sulla significatività dell'accostamento e quindi sulla stima ed assegnazione delle abbondanze alle classi.
Nell'ipotesi in cui venga "accettato" il modello r = 8 [ 9 ] le frazioni di superficie del pixel, dovute ai diversi contributi, vengono così calcolate:

$$\mathbf{a_m + a_f + a_b + b_{mf} + b_{mb} + b_{fb} + c_{mfb} = M} \qquad [11]$$

$$\mathbf{\varphi_m = a_m/M, \quad \varphi_f = a_f/M, \quad \varphi_b = a_b/M, \quad \varphi_{mf} = b_{mf}/M,} \qquad [12]$$
$$\mathbf{\varphi_{mb} = b_{mb}/M, \quad \varphi_{fb} = b_{fb}/M, \quad \varphi_{mfb} = c_{mfb}/M}$$

**Risultati**

Le mappe di stima delle frazioni di macroalghe bentiche e fanerogame marine nel pixel sono riportate nelle Figure 7 e 8. La mappa di stima della distribuzione delle macroalghe, fanerogame e relative mescolanze nella Figura 9.

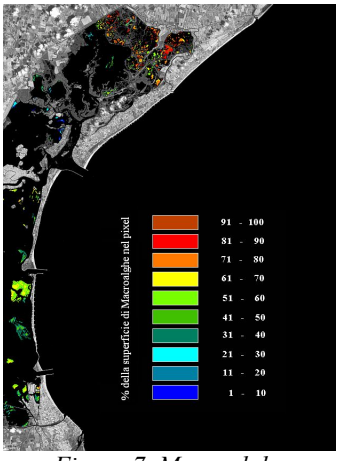



*Figura 7. Macroalghe bentiche.*

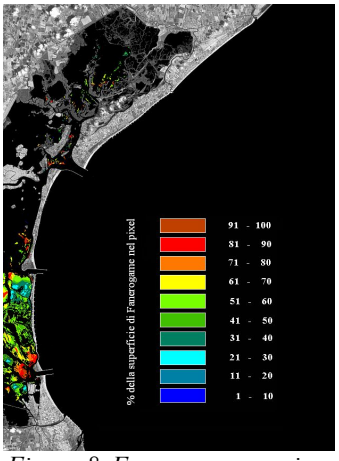



*Figura 8. Fanerogame marine.*

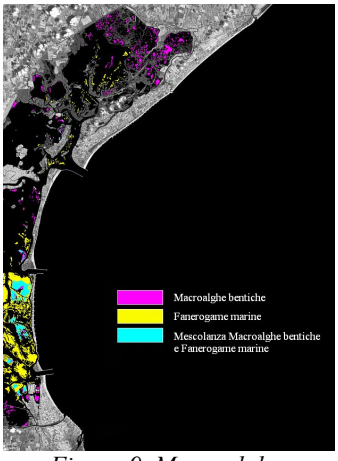



*Figura 9. Macroalghe, fanerogame e mescolanze*

Un'idea sull'accuratezza dei risultati ottenuti si può avere da un confronto fra particolari delle mappe di stima delle frazioni di macroalghe nel pixel dell'immagine acquisita il 7 giugno 2001 e le mappe dei rilievi da natante effettuati l'8 giugno 2001. Nelle Figure 10 e 11 sono riportati dei particolari nella zona di Chioggia. Nella Figura 12 è riportato, invece, un particolare di tali mappe, nella zona dell'aeroporto di Tessera. L'alto livello di torbidità dell'acqua, osservabile dall'immagine della CSS, non ha permesso il riconoscimento di tutta la massa algale rilevata da natante. Le frazioni di macroalghe nel pixel corrispondono ai rilievi. Vi sono delle differenze nella forma della massa algale, presumibilmente attribuibili alle difficoltà di una restituzione planimetricamente corretta dai soli rilievi natante, ovvero senza l'ausilio di foto aeree.

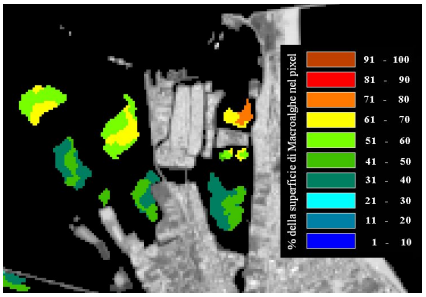



*Figura 10. Frazioni di macroalghe nel pixel.*

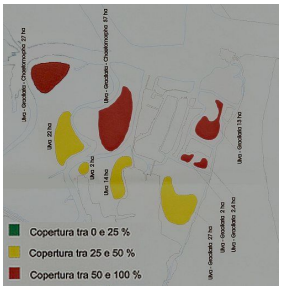



*Figura 11. Macroalghe. Rilievi da natante.*

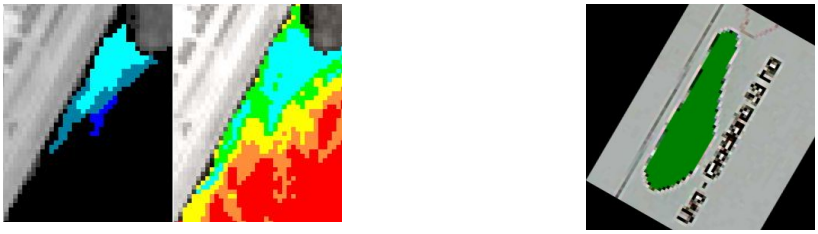


*Figura 12. Frazioni di macroalghe nel pixel, stime della CSS e rilievi da natante.*

**Conclusioni**

La metodologia usata si basa sull'invarianza, nelle lunghezze d'onda del visibile, dei massimi, dei minimi e dei flessi dei profili delle curve di riflettanza della vegetazione sommersa agli effetti di una moderata torbidità e spessore d'acqua sovrastante. I pixel contenenti frazioni di vegetazione sommersa vengono identificati associando, a ciascun pixel, un vettore di costanti definite in relazione all'andamento delle riflettanze in successivi intervalli spettrali e mediante un particolare uso della distanza di Hamming. Ai pixel, così identificati, viene applicato un metodo di stima delle "abbondanze" disegnato per tener conto degli effetti delle riflessioni multiple fra spettri puri ed una corretta stima ed assegnazione delle "abbondanze" alle classi.

Il software del confronto fra profili spettrali è stato sviluppato in IDL (*Iterative Data Language*) mentre quello di stima dei pixel misti in ambiente MATLAB™, su un sistema *cloud computing*.

**Riferimenti bibliografici**

Alberotanza L., Cavalli R., Pignatti S., Zandonella A. (2006), "Classification of submersed aquatic vegetation of the Venice lagoon using MIVIS airborne data", *Annals of Geophysics,* 1:271-276.

FLAASH (2005), "ENVI™ FLAASH Module User's Guide", http://geol.hu/data/online_help/The_ENVI_FLAASH_Model.html

Halimi A., Altmann Y., Dobigeon N., Tourneret J-Y (2011), "Nonlinear unmixing of hyperspectral images using a generalized bilinear model", *IEEE Trans. On Geosc. and R. S.,* 11:4153-4162.

Hapke B.W. (1981), "Bidirectional reflectance spectroscopy. I. Theory," *Journal of Geophysical Research*, vol. 86, 3039–3054.

Lyzenga D.R. (1981), "Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data", *Int. Journal of Remote Sensing*, vol. 2, 1:71-82.

Rismondo A., Curiel D., Scarton F., Mion D., Caniglia G. (2003), "A new seagrass map of the Venice lagoon", *Proc. of the Sixth Int. Conf on the Mediterranean Coastal Env.*, vol. 2, 843-852.

Salviato S., Barbaro J., Braga F., Alberotanza L. (2005), "Analisi spettrale delle fanerogame marine in laguna di Venezia", *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 33/34:91-107.

Singer, R. B., McCord T.B. (1979), "Mars: Large-scale mixing of bright and dark surface materials and implications for analysis of spectral reflectance", *Proc. Lunar Sci. Conf.* 10:1835-1848.

# L'informazione geografica nella Rilevazione dei Numeri Civici

Antonietta Zullo, Marina Bertollini
Istat, Viale Oceano Pacifico 171, Roma, 06-46734388,
zullo@istat.it, bertollini@istat.it)

**Riassunto**
Il largo impiego delle informazioni geografiche nella Rilevazione dei Numeri Civici per la creazione degli archivi degli indirizzi e degli edifici, arricchisce la base di dati di riferimenti territoriali rendendola utilizzabile per diversi fini applicativi.
Tanto più l'unità territoriale di riferimento a cui si associano i dati georeferiti è minima tanto più l'analisi può essere condotta ad un livello di micro-aree con un livello di precisione migliore. L'archivio nazionale dei numeri civici geocodificati alle sezioni di censimento rappresenta, in questo senso, la disponibilità a livello di dettaglio minimo di informazioni georeferite.

**Abstract**
The wide use of Geographic Information Systems in the "House and Street Numbers Survey" (Rilevazione dei Numeri Civici – RNC), to develope the Italian database of addresses and buildings, enhances with geographical references the list of all addresses and locations where people live and work, so that it can be used for several purposes.
In fact the database allows different analysis from the regional level to the enumeration area level improving more and more their precision.
Developing and updating this database at a national level (Archivio Nazionale degli Stradari e dei numeri Civici - ANSC) could create a widespread and shared mean to enhance the interoperability between different central and local administrative databases and their use for statistical purposes to land management.
Among some case studies are cited: Integration of administrative databases; Soil consumption and human pressure; RNC/ANSC databases in the Post Enumeration Survey of Coverage Assessment of the 15th Population and Housing Census and of the 6th Agriculture Census.

## 1 La Rilevazione dei Numeri Civici: archivi di indirizzi, edifici e famiglie geocodificati alle sezioni di censimento

La Rilevazione dei Numeri Civici (RNC), condotta tra il 2010 ed il 2011, ha avuto tra i suoi obiettivi il controllo della corrispondenza tra i civici dell'archivio comunale e quelli realmente presenti sul territorio, la raccolta delle informazioni necessarie alla costituzione di una lista ausiliaria da utilizzare durante le operazioni del 15° Censimento generale della Popolazione e delle Abitazioni per controllare e recuperare, in maniera mirata, l'eventuale sottocopertura anagrafica. A tal fine è stato creato un archivio nazionale di indirizzi geocodificati alle sezioni di censimento ai quali sono stati associati, tramite verifica diretta sul campo, i dati rilevati per tutti gli edifici (ivi compresi quelli non presenti sulla cartografia catastale) dei Comuni capoluogo di provincia o con un'ampiezza demografica superiore ai 20.000 abitanti, localizzati in sezioni definite di "Centro abitato". Pertanto per ogni edificio censito, e collegato ad un determinato indirizzo, è stato possibile determinare il numero di interni ad uso abitativo e confrontarlo con il numero di famiglie registrate in anagrafe. L'informazione geografica associata all'indirizzo viene trasferita in tal modo alla unità di rilevazione "famiglia" che viene così geolocalizzata.




*Figura 1. Geolocalizzazione delle famiglie.*

Per tutti gli altri Comuni l'aggiornamento degli stradari ed i numeri civici geocodificati alle sezioni di censimento è avvenuto con il progetto ANSC (Archivio Nazionale degli Stradari e dei numeri Civici), svolto in collaborazione con l'Agenzia del Territorio e verificato sul campo nel corso del censimento.
È attualmente in corso la fase di analisi e controllo di qualità dei dati rilevati realizzata attraverso la verifica del dato geografico anche per consentire la definizione della auspicata "rilevazione continua" dei dati.

### 1.1 L'informazione geografica a supporto dei controlli di qualità dei dati rilevati

I controlli di qualità dei dati rilevati sono condotti con l'ausilio degli strumenti informativi geografici. Questi strumenti hanno determinato un valore aggiunto per l'analisi di completezza e congruenza logica sui dati territoriali e sulle unità censuarie ad essi collegati, consentendo la verifica di condizioni che diversamente sarebbero state di non semplice lettura.
Per ciascuna sezione di censimento è stato confrontato, per le unità di rilevazione "edifici", il dato territoriale "reale", documentato dalle ortofoto, con quello rilevato dai Comuni. Così è stato possibile individuare alcuni casi anomali relativi a schede convalidate dai Comuni che, non tenendo conto dei potenziali errori segnalati dal sistema, hanno fatto sì che fossero presenti sezioni di censimento classificate come località "Centro Abitato" contenenti indirizzi, ma prive di edifici collegati.

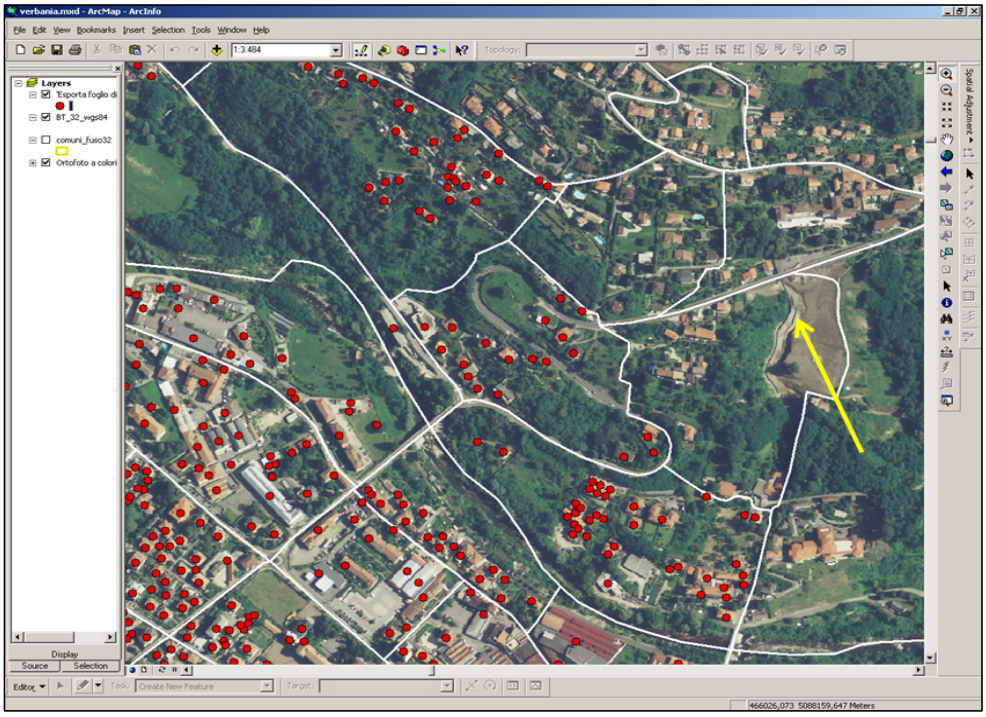



*Figura 2. Errore di compilazione incompleta evidenziato dal confronto con ortofoto.*

Oppure il caso di edifici censiti in una determinata sezione, ma geograficamente ricadenti in un'altra. Questo genere di verifiche si effettua in ambiente GIS confrontando i dati geografici relativi agli edifici con le foto aeree dei territori coinvolti e con i limiti delle basi territoriali ufficiali tramite relazioni spaziali.

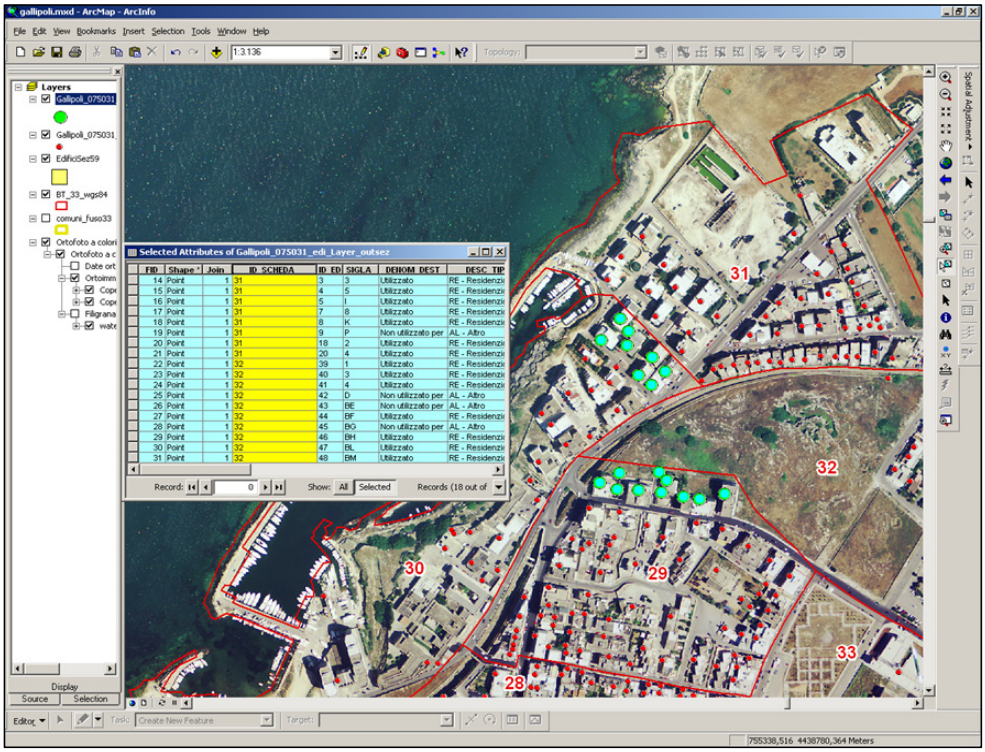



*Figura 3. Errore di compilazione evidenziato tramite relazione spaziale tra dato rilevato e basi territoriali Istat.*

Si sono altresì affrontate analisi di congruenza logica più articolate, quali quelle presentate nel caso dei "Complessi di edifici non abitativi"1. In questo caso l'errore più frequente è stato quello di collegare un indirizzo di tipo "Complesso" ad un solo edificio (brevemente: complesso monoedificio), non considerando che l'attributo di "Complesso" fosse da collegare soltanto ad un insieme di più edifici non residenziali. L'errore di compilazione ha portato a situazioni per le quali è stato necessario ricorrere all'interpretazione dell'informazione geografica per dichiarare se il complesso fosse realmente esistente o meno.

## 2 Utilizzo degli archivi di numeri civici ed edifici geocodificati

La prospettiva di rendere tali archivi sempre aggiornati, attraverso meccanismi e procedure da definire con gli enti locali, titolari dell'informazione, e in genere con la Pubblica Amministrazione, e fruibili via web in maniera controllata e selettiva, in base a dei profili di accesso, consentirebbe di poter progettare e ridefinire, in maniera più efficiente e con una certa rapidità di intervento, una serie di politiche, azioni, procedure periodiche o continue che le amministrazioni pubbliche e locali effettuano nella loro abituale operatività.

Molteplici sono le applicazioni dell'utilizzo di informazioni geografiche di un tale livello di dettaglio nell'analisi territoriale:

1 Questi sono definiti come un insieme di costruzioni, edifici ed infrastrutture, normalmente ubicati in un'area limitata, finalizzati in modo esclusivo o principale all'attività di un unico consorzio, ente, impresa o convivenza, quali università, ospedali, complessi sportivi, commerciali, ecc.

- Analisi dei fenomeni sociali, economici e demografici riferiti al contesto nel quale hanno luogo, anche ai fini di fornire alle amministrazioni locali strumenti quantitativi a supporto delle decisioni.
- Analisi dei fenomeni ambientali ai fini della corretta valutazione, dimensionamento e messa in atto di azioni di prevenzione e di pianificazione per un uso sostenibile del territorio.
- Analisi territoriali di carattere urbanistico, per una migliore pianificazione degli interventi atti a migliorare la vivibilità, la disponibilità di servizi pubblici, la sicurezza, i trasporti etc, delle aree urbane.
- Geomarketing
- Integrazione aggiornata di banche dati quali anagrafi comunali, catasto, anagrafe postale, ufficio del registro, motorizzazioni etc, con un aumento generale di efficienza, grazie alla riduzione dell'impegno richiesto nella verifica e confronto delle basi di dati necessari in determinate fasi dei procedimenti amministrativi ed alla riduzione dei costi dovuti alle ridondanze e ai possibili errori derivanti dall'uso locale, non standardizzato e non normalizzato delle informazioni.

### 2.1 Casi applicativi : Dati provvisori RNC fonte per il Comune di Firenze

Un esempio dell'utilizzo dei dati rilevati nella RNC è testimoniato, nell'ultimo convegno dell'USCI (Unione Statistica dei Comuni Italiani), dal contributo del Comune di Firenze 2 il quale ha utilizzato i dati provvisori della rilevazione RNC in un'analisi quantitativa dei fenomeni demografici, economici e sociali nella propria dimensione geografica e territoriale. Partendo dall'integrazione di questa banca dati con le altre (anagrafe comunale immobili, database georeferenziato delle aperture senza numero civico, catasto immobiliare e intestatari catastali, anagrafe della popolazione residente, archivio statistico delle imprese attive (ASIA), cartografia del territorio etc…) e attraverso elaborazioni spaziali, per ogni fabbricato è stata individuata l'esatta numerazione civica esterna (apertura) e da qui l'avvio dell'analisi che, attraverso indicatori diversi, ha consentito la valutazione quantitativa della distribuzione degli edifici sul territorio in base alle loro tipologie e/o caratteristiche strutturali.

2 " Fonte La costruzione di un archivio delle persone in occasione della rilevazione della numerazione civica nel Comune di Firenze
Area Convegno 2011 del sito web dell'USCI

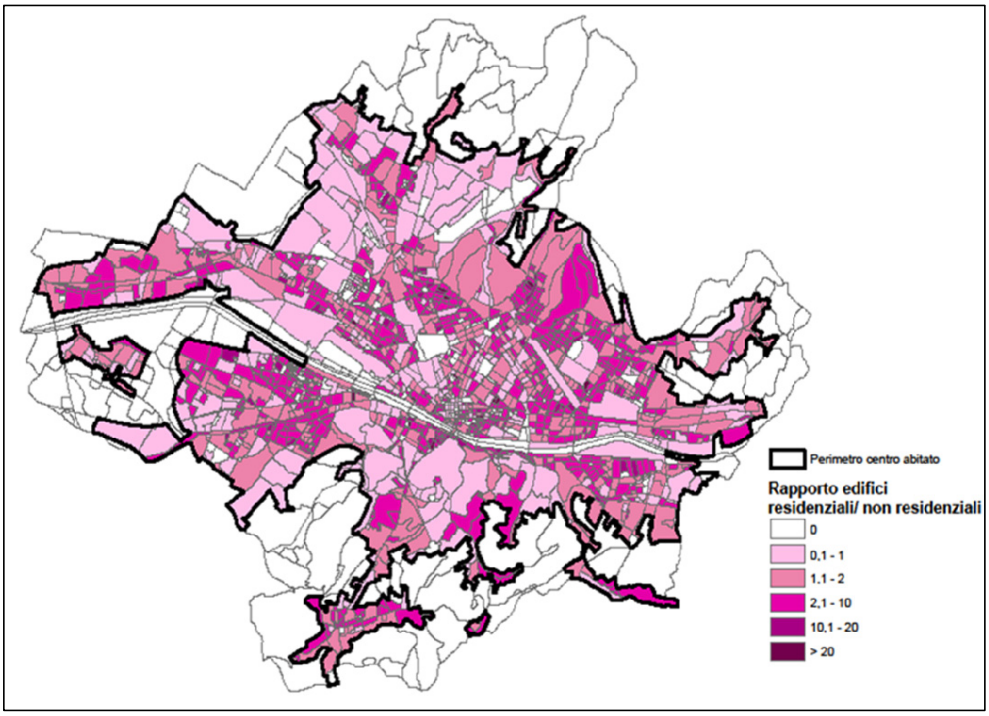



*Figura 4. Rapporto edifici residenziali/non residenziali per sezione di censimento (fonte: USCI).*

### 2.2 Casi applicativi : Ambiente : il consumo di suolo e la pressione antropica

Il consumo di suolo dovuto allo sviluppo dell'edificato, così come la pressione antropica determinata dall'aumento della densità abitativa possono essere letti come elementi critici di impatto sul territorio. L'ISTAT, secondo quanto annunciato a gennaio dal Presidente, si propone di effettuare con cadenza annuale una rilevazione del consumo di suolo in Italia, utilizzando la cartografia ed i sistemi di informazione territoriale già disponibili quali gli archivi della RNC.
Una ulteriore proposta dell'utilizzo dei dati rilevati nella RNC/ANSC è stata avanzata, nel convegno "I Forum dell'Informazione Pubblica", dall'Istat. Lo studio propone un Piano di gestione del rischio alluvioni o di altri fenomemi ambientali, in cui "è possibile utilizzare il dato statistico per misurare e monitorare i fenomeni ambientali, mettendo in atto l'integrazione e l'armonizzazione di basi dati e sistemi informativi di riferimento ambientale, settoriale e territoriale ed un coordinamento nazionale e internazionale per la raccolta dei dati omogenei e comparabili".

### 2.3 Casi applicativi : RNC/ANSC per le Indagini di Qualità

L'indagine di Qualità del 15° Censimento della Popolazione e delle Abitazioni (PES) utilizza gli archivi RNC/ANSC. Le unità di secondo stadio, le sezioni di censimento, sono estratte dalla banca dati delle sezioni dei comuni campione, stratificate secondo una stima della popolazione residente, basata sull'analisi delle variazioni territoriali delle sezioni di censimento, e la popolazione al 2001.
La banca dati degli indirizzi presenti in ogni sezione campione, è resa disponibile nel portale di accesso alla rilevazione, per consentire ai Comuni ed ai rilevatori la visualizzazione delle informazioni utili. A partire dalla banca dati degli indirizzi si produrranno, per ogni sezione di censimento del campione, gli itinerari di sezione (CP5). Per ogni sezione del campione, si produrrà una mappa che visualizza il dettaglio della sezione di censimento e una mappa di inquadramento della sezione all'interno dei limiti comunali.

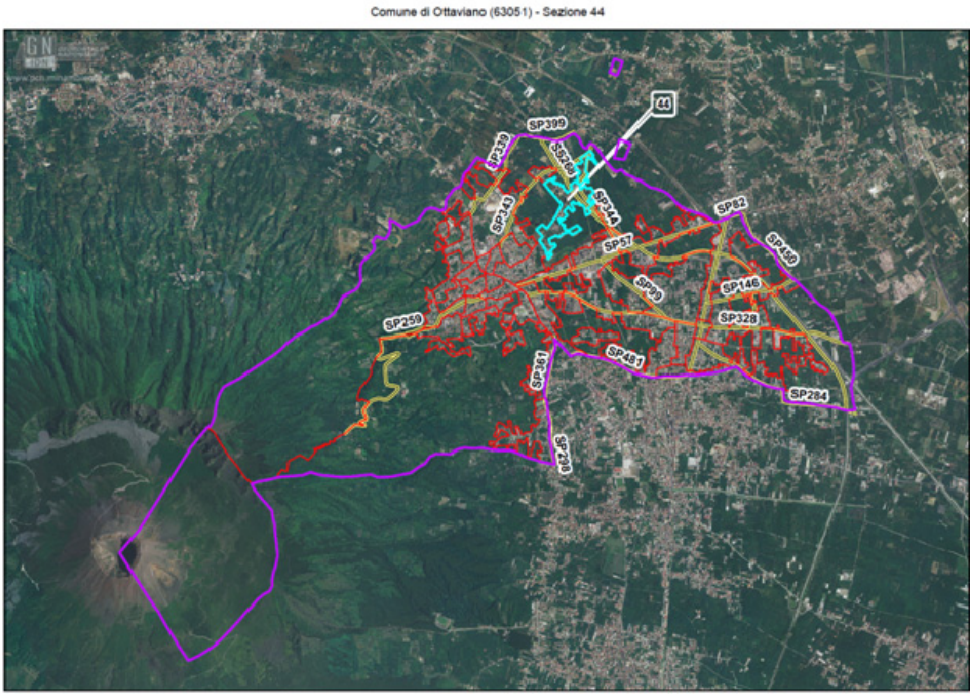



*Figura 5. Mappa di inquadramento della sezione campione all'interno dei limiti comunali.*

Le mappe e gli itinerari di sezione costituiscono un ausilio al percorso che il rilevatore dovrà fare nella conduzione dell'indagine sul campo. Le mappe saranno pubblicate e rese disponibili sul portale web. La banca dati degli edifici residenziali per sezione di censimento, viene utilizzata per la stima del numero di edifici residenziali per sezioni di censimento e servirà in fase di monitoraggio per verificare l'avanzamento delle attività di rilevazione.

L'indagine di Qualità del 6° Censimento Generale dell'Agricoltura ha utilizzato gli archivi RNC/ANSC per l'elaborazione della cartografia dei fogli di mappa campione pubblicati sul portale di gestione della rilevazione SGR_COP. A supporto del rilevatore nell'indagine sul campo, come ausilio nella individuazione geografica del foglio di mappa e della singola particella sul territorio comunale, sono state realizzate due mappe: una mappa cartografica del foglio di mappa campione, in cui sono disegnati i confini perimetrali del foglio, le strade, i corsi d'acqua e le particelle appartenenti al foglio ed una mappa cartografica del limite comunale sovrapposta alla relativa ortofoto, con l' con l'inquadramento territoriale a scala comunale del foglio di mappa selezionato.

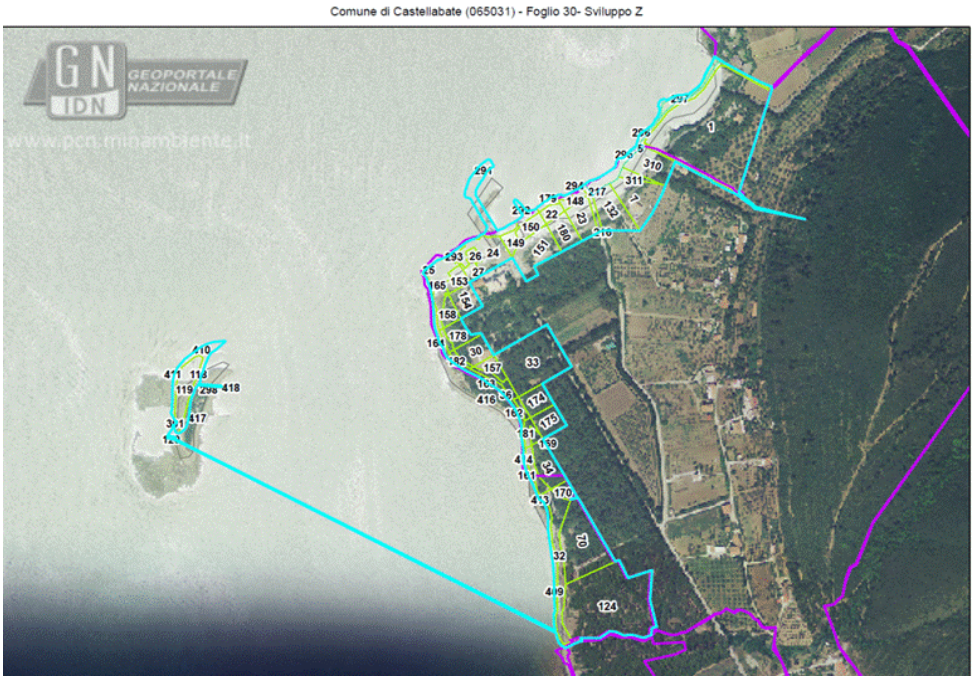



*Figura 6. Mappa di inquadramento delle particelle catastali(aree verdi) all'interno del foglio di mappa.*

# Confronto, su territorio campano, tra modello geoidico EGM2008 e modello di ondulazione da grigliati

M. Pepe, G. Prezioso, R. Santamaria

Università degli Studi di Napoli "Parthenope", Dipartimento di Scienze Applicate
Centro Direzionale Isola C4, 80143 Napoli, Tel. 081 5476690
massimiliano.pepe@uniparthenope.it, pina.prezioso@uniparthenope.it, raffaele.santamaria@uniparthenope.it

**Riassunto**
L'accuratezza e la disponibilità del modello globale di ondulazione EGM2008, suggerisce un'analisi dei dati per un suo impiego nel campo geodetico quale alternativa agli attuali modelli locali. In questo lavoro, tale indagine è stata effettuata al fine di stimare, in territorio campano, le differenze tra EGM2008 e ITALGEO 2005. Nel dettaglio, partendo dai grigliati I.G.M., è stato sviluppato un algoritmo, in ambiente Matlab®, che ha consentito la realizzazione di un modello di ondulazione su vasta area. Confrontando i valori del modello di ondulazione generato dai grigliati con quelli EGM2008 è stato possibile stimare le differenze tra i due modelli. Dai risultati di tale analisi si è desunto che in Campania il modello globale EGM2008, opportunamente traslato verticalmente, può fornire un valido supporto altimetrico in numerose applicazioni.

**Abstract**
The accuracy and availability of the global geoidic model EGM2008, suggests an analysis of data for its use in geodetic as an alternative to existing local models.
In this work, the research was conducted to estimate the differences between EGM2008 and ITALGEO2005, in Campania region. In particular an algorithm in Matlab® was developed in order to read and implement on a wide area, the grids containing the undulations geoidic provided by I.G.M. and to make a comparison with the EGM2008 model.

## Introduzione

I sistemi GNSS forniscono quote ellissoidiche rispetto all'ellissoide WGS84, mentre nel sistema geodetico si adotta la quota ortometrica, ossia quella calcolata rispetto al livello medio del mare, individuato per l'Italia continentale dal mareografo di Genova e per le isole da quello di Catania e Cagliari. Per convertire le quote ellissoidiche in ortometriche, come è noto, occorre conoscere il valore dell'ondulazione geoidica. A tal fine, nel corso degli anni, sono stati calcolati numerosi modelli di geoide sia globali che locali.
Un esempio di modello globale è l'EGM2008 (Pavlis et al., 2008) calcolato da dati provenienti dal satellite GRACE (Mayeret et al., 2007), dati topografici (Saleh et al., 2002; Pavlis et al., 2007) e da osservazioni gravimetriche a terra (Pavlis et al., 2007 e 2008).
In letteratura, la validità locale di tale modello è stata ampiamente testata comparando i valori del modello relativi al territorio di una nazione con altre tipologie di misure (GPS, livellazione, ecc.), come nel caso della Turchia (Kotsakis et al., 2008), della Svezia (Ågrenm, 2008) o dell'area mediterranea (Barzaghi et al., 2009).
Un qualsiasi modello globale può essere, inoltre, adattato localmente (Fiani et al., 2003) avendo a disposizione un numero sufficiente di punti di cui siano note le quote in entrambi i sistemi altimetrici.

I modelli locali, validi per aree di ampiezza limitata, raggiungono un'accuratezza maggiore di quelli globali. In Italia, attualmente, viene utilizzato il modello ITALGEO2005 distribuito sotto forma di grigliati I.G.M. e gestito da relativo software interpolatore che consente singole elaborazioni per aree non superiori ad un foglio al 50.000 (Barbarella et al., 2005).
In questo lavoro, poiché il modello globale EGM2008 è liberamente disponibile si sono volute stimare le differenze, su territorio campano, rispetto a quello locale ITALGEO2005 per verificare la possibilità di impiegarlo come alternativa all'attuale geoide nazionale.
A tal fine, sono state implementate delle routine in Matlab® con cui è stato possibile generare un grigliato unico per tutta la Campania e da esso un modello di ondulazione relativo all'intera regione. I valori di ondulazione di tale modello sono stati confrontati con quelli estrapolati dal modello EGM2008 non adattato. Infine, calcolato il valore medio delle differenze tra i due modelli, il modello EGM2008 è stato traslato verticalmente ottenendo un modello di ondulazione regionale impiegabile, gratuitamente, in varie applicazioni.

**Modelli di geoide: EGM2008 e ITALGEO2005**
Un modello di geoide è una descrizione numerica approssimata del geoide ottenuta, ad esempio, mediante sviluppi in serie di opportune funzioni (armoniche sferiche) arrestati ad un grado più o meno elevato.
Per la determinazione di tali modelli possono essere utilizzate osservazioni di diverse tipologie tra cui le misure gravimetriche, il confronto tra posizionamenti GNSS e livellazione, misure di deviazione della verticale, studio delle orbite dei satelliti.
Di interesse per questo studio è l'attuale modello globale di geoide EGM2008, rilasciato pubblicamente dall'*U.S. National Geospatial - Intelligence Agency (NGA) EGM Development Team*.
Il modello EGM2008 è disponibile on line, gratuitamente, all'indirizzo dell'NGA (Figura 1):

http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_gis.html

sotto forma di 32 file *raster* ESRI GRID ognuno dei quali contiene, con passo di 2,5', i valori di ondulazione del geoide relativi ad un'area di 45° x 45°.

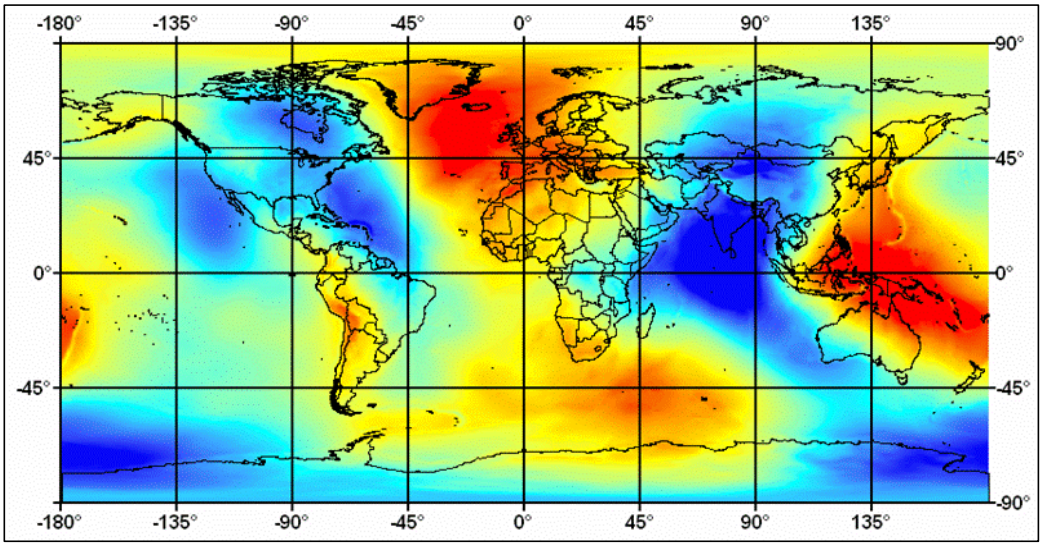



*Figura 1. Modello geoidico EGM2008.*

Tutti i modelli globali, compreso l'EGM2008, non tengono conto delle variazioni locali pertanto, per meglio approssimare la superficie del geoide vengono calcolati, per aree limitate (ad es. per una nazione), i modelli locali.
In Italia, il Politecnico di Milano, in collaborazione con l'Istituto Geografico Militare di Firenze, calcola il modello ITALGEO valido per l'intero territorio nazionale e zone immediatamente confinanti.
Tale modello deriva da misure gravimetriche integrate da osservazioni GPS/LEV (eseguite per il collegamento della rete geodetica IGM95 alla rete di livellazione nazionale), misure di deviazione della verticale (astronomiche) e tiene conto della conformazione topografica del terreno (DTM).
Nel corso degli anni, per i miglioramenti sia dei dati utilizzati che dei metodi di stima, ITALGEO è stato rilasciato in versioni successive sempre più accurate la più recente delle quali è ITALGEO2005. Tale modello fornisce, con passo di 2', valori di ondulazione per un'area compresa tra (Figura 2):

$$35° < \varphi < 48° \qquad 5° < \lambda < 20°$$

ITALGEO2005 è stato stimato con la classica tecnica *remove-solve-restore* mentre le componenti residue del geoide sono state calcolate usando l'approccio *Fast Collocation*. A tale modello di geoide viene attribuito un'accuratezza assoluta dell'ordine di 4 cm nella parte continentale e di circa 5 cm in Sicilia e Sardegna (Barzaghi, 2009).

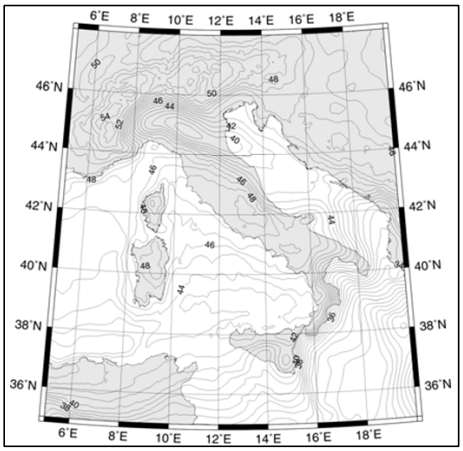



*Figura 2. ITALGEO05 (equidistanza = 1 m*).

**Algoritmo per l'estensione su area vasta**
ITALGEO2005 è implementato nei grigliati **.gk* che sono dei file di testo suddivisi in due parti (Tabella 3), la prima contenente le informazioni per il passaggio fra i vari *datum* (riga 3 – 264), la seconda comprendente le indicazioni per il calcolo delle ondulazioni (riga 265 – 408) (Barbarella et al., 2005).
In tali file i valori delle ondulazioni, riferite a coordinate geografiche, sono organizzati in modo da formare una griglia 14x10, con passo costante di 2'. I grigliati, così come sono realizzati, non coprono vaste aree pertanto, l'algoritmo implementato legge, *in primis*, tutti i grigliati forniti in input e da essi genera un unico grigliato coprente l'intero territorio campano e che conserva la stessa struttura dei file **.gk*.
Nella costruzione di questo modello di ondulazioni su area vasta vi è una sovrapposizione di nodi; infatti, come mostrato in Figura 4, considerando quattro grigliati relativi a quattro fogli al 50.000 adiacenti si osserva, per ciascuno di essi, una duplicazione di 4 righe e 4 colonne.

| *Record* | *Parametri caratteristici del record* |
|---|---|
| 265-266 | Commento ondulazioni geoidiche |
| 267-406 | Valori delle ondulazioni |
| 407 | Latitudine di riferimento per le ondulazioni |
| 408 | Longitudine di riferimento per le ondulazioni |
| 409-410 | Commento |

*Tabella 3. Struttura dei record contenti i valori altimetrici nei file gk.*

Pertanto, al fine di snellire le dimensioni del file contenente il grigliato unico, e quindi rendere le operazioni più fluide e rapide, si è proceduto ad un *editing* dei dati, ovvero all'eliminazione dei nodi delle righe e delle colonne che si sovrapponevano.

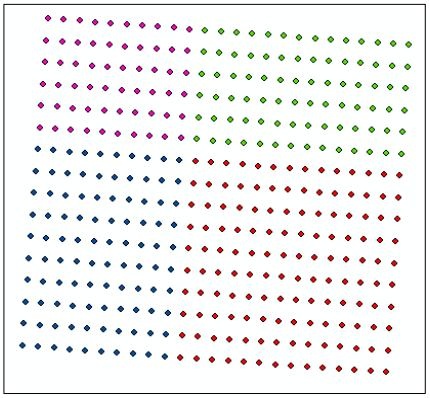


*Figura 4. Distribuzione spaziale di quattro grigliati I.G.M. adiacenti.*

Considerando che in molti casi si opera con coordinate piane del tipo (E, N, h), occorre che il grigliato unico realizzato venga convertito in un grigliato in coordinate piane UTM-WGS84. Come è noto, la trasformazione da coordinate geografiche a coordinate piane si può ottenere con diversi sviluppi in serie delle formule di corrispondenza; in questa nota è stata implementata quella dovuta ad Army (1973):

$$\begin{cases} \text{NORD} = \text{K1} + \text{K2p}^2 + \text{K3p}^4 \\ \text{EST} = \text{K4p} + \text{K5p}^3 \end{cases} \qquad [1]$$

ove i coefficienti K sono dati da:

$$\text{K1} = \text{SK}_0$$

$$\text{K2} = 0.5\,\text{K}_0 \sin^2 1'' \,\text{N} \sin(\varphi)\cos(\varphi)$$

$$\text{K3} = \frac{1}{24}\left[\text{K}_0 \sin^4 1'' \,\text{N} \sin(\varphi)\cos^3(\varphi)\right]\left[5 - \tan^2(\varphi) + 9\,\text{e}'\cos^2(\varphi) + 4\,\text{e}'\cos^4(\varphi)\right]$$

$$\text{K4} = \text{K}_0 \sin 1'' \,\text{N} \cos(\varphi)$$

$$\text{K5} = \frac{1}{6}\left[\text{K}_0 \sin^3 1'' \,\text{N} \cos^3(\varphi)\right]\left[1 - \tan^2(\varphi) + \text{e}'\cos^2(\varphi)\right]$$

Il valore di $S$, presente nel coefficiente $K1$, è dato da:

$$S = A'\varphi - B'\sin(2\varphi) + C'\sin(4\varphi) - D'\sin(6\varphi) + E'\sin(8\varphi)$$

$$A' = A\left[1 - n + \frac{5}{4}\left(n^2 - n^3\right) + \frac{81}{64}\left(n^4 - n^5\right)\right]$$

$$B' = \left(3\tan\left(\frac{\rho}{2}\right)\right)\left[1 - n + \frac{7}{8}\left(n^2 - n^3\right) + \frac{55}{64}\left(n^4 - n^5\right)\right]$$

$$C' = \left(15\tan^2\left(\frac{\rho}{16}\right)\right)\left[1 - n + \frac{3}{4}\left(n^2 - n^3\right)\right]$$

$$D' = \left(35\tan^3\left(\frac{\rho}{48}\right)\right)\left[1 - n + \frac{11}{6}\left(n^2 - n^3\right)\right]$$

$$E' = \left(315\tan^4\left(\frac{\rho}{512}\right)\right)\left[1 - n\right]$$

in cui

| | |
|---|---|
| $\varphi$ | latitudine del punto |
| $\lambda$ | longitudine del punto |
| $\lambda_0$ | longitudine del meridiano centrale |
| $K_0$ | coefficiente di contrazione (0.9996) |
| $e$ | eccentricità |
| n | $(a-b)/(a+b)$ |
| N | gran normale |
| $\rho$ | raggio di curvatura del meridiano |
| p | $\lambda - \lambda_0$ |

La procedura indicata consente la creazione di un grigliato unico, ricoprente una vasta area, in coordinate sia geografiche che piane.

A partire da questo grigliato, si è ricavato un modello tridimensionale delle ondulazioni mediante triangolazione di *Delaunay*, la cui operazione duale è il diagramma di Voronoi che si ottiene dall'unione dei bordi delle celle di Voronoi. In Figura 5 viene mostrato il modello delle ondulazioni derivante dall'applicazione della triangolazione al grigliato I.G.M. 420.

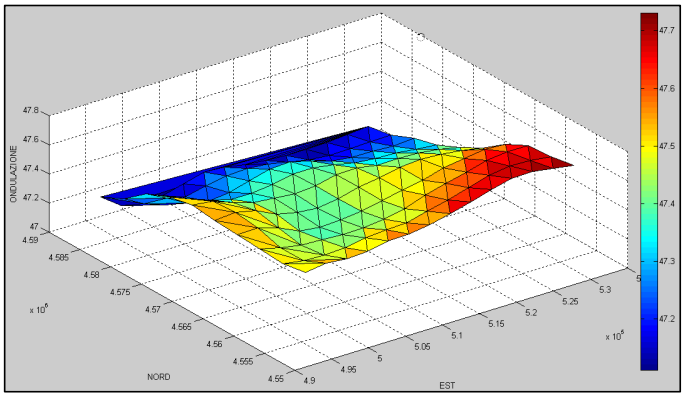



*Figura 5. Triangolazione di Delaunay per il grigliato 420 dell'I.G.M.*

La triangolazione con grigliato unico, ottenuto dall'unione di 41 grigliati, ha permesso di ricavare il modello di ondulazione dell'intera Regione Campania (Figura 6). In tale operazione l'*editing* sui punti dei grigliati, descritto precedentemente, ha reso più celere l'elaborazione dei dati in quanto i punti da trattare si sono ridotti da 5470 (140 x 41) a 3308.

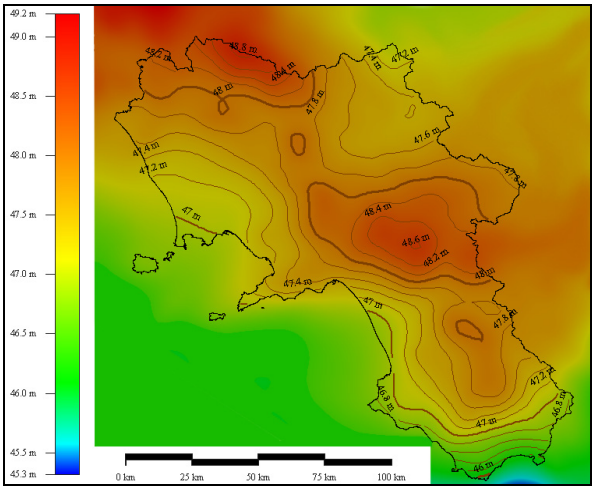



*Figura 6. Ondulazioni geoidiche in Campania.*

Dal modello delle ondulazioni su vasta area, così realizzato, si evince che in Campania le ondulazioni geoidiche oscillano tra i 45.0859 m e i 49.3889m.
Il passo successivo è stato quello di estrarre il valore dell'ondulazione in determinati punti mediante un'interpolazione di tipo bilineare.
Nel dettaglio, considerando un punto di coordinate (x, y) all'interno di una maglia di quattro nodi, ed indicando con $j$ e $k$ gli indici per cui si ha $x_j < x < x_{j+1}$ e $y_k < y < y_{k+1}$, l'interpolazione bilineare sarà del tipo (Figura 7):

$$z(x,y) = (1-t)(1-u)z_{j,k} + t(1-u)z_{j+1,k} + tu\,z_{j+1,k+1} + (1-t)u\,z_{j,k+1} \qquad [2]$$

ove

$$t = \frac{x - x_j}{x_{j+1} - x_j} \qquad u = \frac{y - y_k}{y_{k+1} - y_k}$$

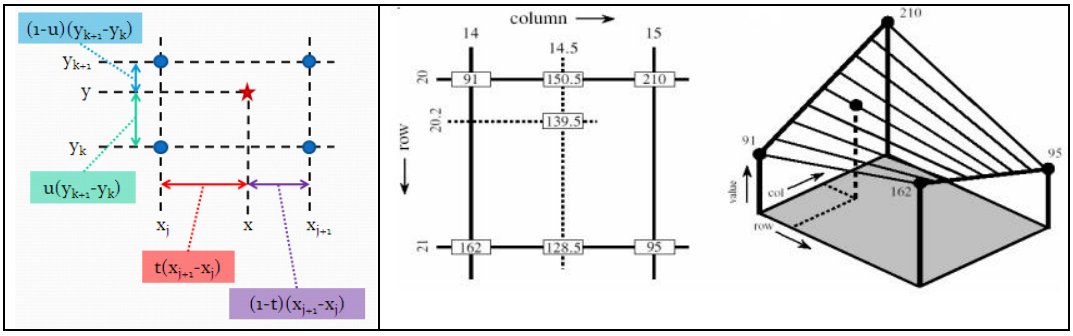



*Figura 7. Interpolazione bilineare.*

**Confronto tra modello su area vasta e EGM2008**
Estrapolando il modello geoidico EGM2008 nell'area corrispondente alla regione Campania (Figura 8) e confrontandone i valori di ondulazione con quelli ottenuti operando su area vasta da grigliati I.G.M., sono state calcolate le differenze di ondulazione geoidica tra i due modelli.

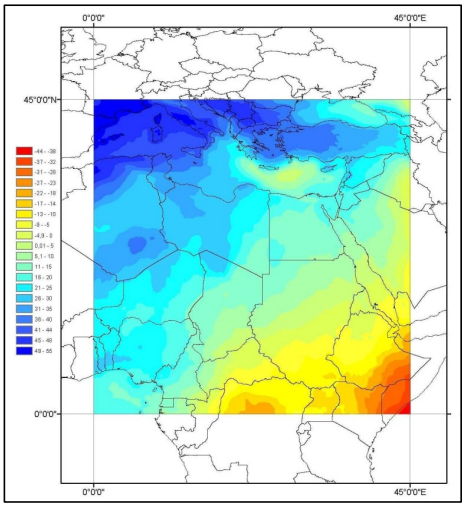



*Figura 8. Porzione di 45° x 45° del modello EGM2008 relativo al territorio campano.*

Una rappresentazione statistica dei valori delle differenze si può ottenere da quei parametri che forniscono informazioni sulla caratteristica della distribuzione di una variabile monodimensionale; questi parametri sono il momento di primo grado, o media, e la deviazione standard. Indicando con la frequenza relativa $f_i$ si ha:

$$\mathrm{m}_1(x) = \sum_{i=1}^{n} x_i f_i \qquad [3]$$

$$v_i = x_i - \mathrm{m}_1(x) \qquad [4]$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2(x)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} v_i^2 f_i} \qquad [5]$$

Nel caso in esame, le differenze di ondulazione hanno mostrato valori di media e deviazione standard pari a:

$$\mathrm{m}_1(x) = -0.217022726\,\mathrm{m}$$

$$\sigma = 0.085145579\,\mathrm{m}$$

con valori minimi e massimi di:

$$\min = -0.76\,\mathrm{m}$$

$$\max = +0.52\,\mathrm{m}$$

L'analisi dei dati statistici induce ad applicare, al modello EGM2008, una traslazione costante pari a $-\mathrm{m}_1(x)$, ottenendo un nuovo modello di geoide locale che presenta, rispetto a quello globale, valori di differenza di ondulazione minima e massima di:

$$\min = -0.16\,\mathrm{m}$$

$$\max = +0.22\,\mathrm{m}$$

In Figura 9 sono rappresentate le isolinee delle differenze di ondulazione tra EGM2008 traslato e il modello implementato su vasta area da grigliati I.G.M..

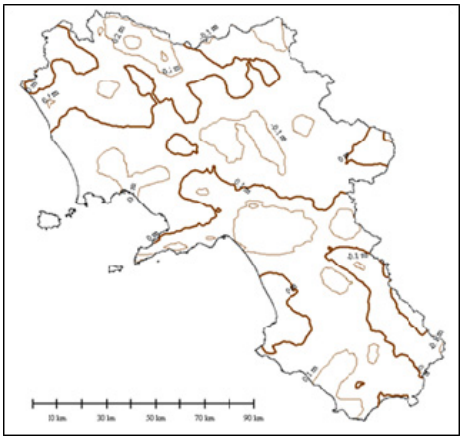


*Figura 9. Isolinee delle differenze di ondulazione tra EGM2008 traslato e modello su area vasta.*

Per verificare la validità del modello EGM2008 traslato, sono state valutate le quote di 163 vertici primari della Regione Campania. Le differenze di quote confermano i valori minimi e massimi evidenziati sopra con un errore medio di 4 cm e deviazione standard di 7 cm.

**Conclusioni**

In questo lavoro si è evidenziato che, per il territorio campano, il modello globale EGM2008, opportunamente traslato, può essere utilizzato per calcoli speditivi e per posizionamenti in *real time*, contenendo gli errori in maniera più efficace rispetto al dato grezzo di partenza e portandoli a valori centimetrici.

**Bibliografia**

Army Department of 1973 (1973), "Universal Transverse Mercator Grid", *U.S. Army Technical Manual TM* 5-241-8, pag.64

Barbarella M., Ronci E. (2005), "Applicativo per l'utilizzo e l'integrazione del dato VERTO su aree vaste", *Bollettino SIFET*, 1/2005, pagg. 161-172

Barzaghi R., Carrion D. (2009), "Testing EGM2008 in the Central Mediterranean area", *External Quality Evaluation Reports of EGM08*, International Association of Geodesy and International Gravity Field Service , Issue 4, pagg.133-143

Fiani M., Prezioso G., Troisi S., Turturici L., Wirz M. (2003), "Una rete GPS per il monitoraggio delle variazioni morfologiche delle coste", *Bollettino SIFET*, 1/2003, pagg. 35-52

Kotsakis C., Katsabalos K., Ampatzidis D., Gianniou M. (2008), "Evalutation of EGM2008 in Greece using GPS and leveling heights", *IAG International Symposium on Gravity, Geoid and Earth Observation*, Greece, June 23-27, 2008

Mayer-Guerr T. (2007), "The latest GRACE gravity field solution computed in Bonn", *Joint int. GSTM and SPP Symposium*, Germany, October 15 -17, 2007

Pavlis N.K., Factor J.K., Holmes S.A. (2007), "Terrain-related gravimetric quantities computed for the next EGM", *1st International Symposium of the International Gravity Field Service (IGFS)*, Turkey, Special Issue 18, pagg.318-323

Pavlis N. K., Holmes S.A., Kenyon S.C., Factor J.K. (2008), "An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008", *General Assembly of the EGU*, Vienna, April 13-18, 2008

Saleh J., Pavlis N.K (2002), "Development and evaluation of the global digital terrain model DTM2002", *3rd Meeting of the International Gravity and Geoid Commision of the International Association of Geodesy*, edited by I. Tziavos, pagg. 207-22

# La qualità dell'informazione volontaria nei sistemi informativi geografici: alcune riflessioni

Laura Criscuolo (*), Paola Carrara (*), Gloria Bordogna (**), Monica Pepe (*)

(*) CNR-IREA, Via Bassini 15, 20133 Milano, Tel. +39 02 236993456, [criscuolo.l, carrara.p, pepe.m]@irea.cnr.it
(**) CNR-IDPA, Via Pasubio 5, 24044 Dalmine (BG), Tel. +39 035 6224262, gloria.bordogna@idpa.cnr.it

**Riassunto**
Questo lavoro vuole offrire una panoramica dei principali approcci adottati in letteratura per la rappresentazione e la gestione della qualità dell'informazione geografica volontaria (VGI). Si propone un paradigma semplificato, mirato a sintetizzare alcuni aspetti mutevoli, tipici della VGI, e ad organizzarli in categorie funzionali. Il modello così creato, arricchito da osservazioni pratiche, viene poi utilizzato per analizzare esempi applicativi concreti e per confrontarli, palesando i criteri adottati per il controllo della qualità e le motivazioni delle scelte.

**Abstract**
This work aims to provide an overview on the main approaches available in literature for representation and quality management on Volunteered Geographic Information (VGI). It proposes a simplified paradigm, aimed both to summarize some variable aspects, typical of the VGI, and to organize them into functional categories. The model thus defined, enriched by practical observations, is then used in actual applications to both compare them and exemplify the criteria used for quality control.

## Introduzione

Gli anni recenti hanno visto crescere l'uso, da parte di organizzazioni pubbliche e private, dell'informazione geografica di origine volontaria, ovvero contributi di varia natura provenienti da utenze esterne non specializzate, che vanno ad arricchire data set geografici e documenti cartografici. Questo tipo di apporto non professionale è solitamente ambito per i benefici che determina in termini di numerosità dei contributi, e per gli effetti positivi di coinvolgimento e di comunicazione al pubblico. Chi intende utilizzare materiale di origine volontaria a fini professionali o scientifici deve tuttavia fronteggiare una serie di problemi, tra cui la difficile gestione della qualità delle informazioni create.
In questo articolo si traccia una panoramica delle problematiche correlate alla qualità nel VGI e delle possibili strategie di gestione, portando come esempio alcune realizzazioni concrete.

## *Volunteered Geographic Information* e *Citizen Science*

Numerosi utilizzatori dell'informazione geografica, grazie ai nuovi strumenti web e alle sempre più diffuse tecnologie mobili, nell'ultimo decennio hanno esteso il loro ruolo da quello di semplici utenti a quello più attivo di produttori di contenuti (Bruns, 2006).
Lo *user generated content* in ambito geografico ha introdotto ciò che Goodchild (2007) identifica con i termini di *Volunteered Geographic Information* (VGI).
All'interno dell'ampio contenitore del VGI, alcuni contributi informativi volontari hanno finalità ludiche o sociali (ad esempio le fotografie pubblicate sui *virtual globes*), a volte utilità pratica (ad es. le recensioni di luoghi e servizi) o scopi di promozione (distribuzione via web di informazioni professionali, localizzazione di esercizi commerciali su mappe, ecc.); altri sono invece diretti ad

arricchire il patrimonio conoscitivo collettivo e a contribuire alla ricerca scientifica (ad esempio segnalazioni di anomalie ambientali, osservazioni biologiche, misurazione di parametri fisici). In questo ultimo caso la VGI assume alcune caratteristiche della *Citizen Science* (Bonney et al., 2009). I progetti che si avvalgono di questa modalità di raccolta di osservazioni, si appoggiano sempre più spesso alla rete capillare di sensori e strumenti mobili interconnessi, in dotazione a un gran numero di privati cittadini, e quindi distribuita sull'intero pianeta, tanto che i cittadini coinvolti nella raccolta di informazioni sono spesso indicati come *Citizens as Sensors* (Goodchild, 2007).
La modalità più frequente in cui avviene l'acquisizione delle informazioni è attraverso dispositivi *location based*, la maggior parte delle volte sensori GPS e apparecchi fotografici, spesso incorporati in *smartphones*. La presenza diffusa di tali strumenti sul territorio è la caratteristica fondamentale che ne determina la potenza: con una rete fitta e distribuita di sensori interconnessi diventa pensabile raccogliere una quantità immensa di informazioni, anche dove gli strumenti tradizionali non riescono ad arrivare. Ciò rende possibile ridurre le zone d'ombra, raccogliere e valorizzare conoscenze strettamente connesse al territorio, migliorare la frequenza di aggiornamento attraverso una presenza più costante sui luoghi indagati.
Il coinvolgimento attivo di *cittadini-sensori* - insieme produttori e fruitori dell'informazione territoriale - in campagne di raccolta dati, apre prospettive entusiasmanti per un ampio numero di soggetti: enti pubblici, organizzazioni benefiche, associazioni civiche, privati, commercianti, agenzie educative ed istituti di ricerca.

**I problemi nel VGI**
Accanto all'entusiasmo che accompagna il proliferare di tali manifestazioni di geografia partecipativa, è nata e cresciuta di pari passo anche la preoccupazione per le conseguenze che la nuova branca può portare alle discipline geografiche consolidate.
Numerosi sono, infatti, i problemi correlati alla creazione e disseminazione di informazioni geografiche di origine volontaria.

Un primo problema riguarda la metadatazione dei dati di provenienza volontaria, cioè la descrizione delle loro caratteristiche ancillari esogene ed endogene. Il grande volume di dati raccolti risulta spesso privo, del tutto o in parte, di quelle informazioni ancillari che permettono di localizzarli con sicurezza nello spazio e nel tempo e di definirne parametri fondamentali per l'utilizzo: sistema di riferimento, procedura di acquisizione, accuratezza della misura, precisione strumentale, data e ora dell'acquisizione, recapiti dell'autore, ecc. La causa di questa mancanza è da ricercare nell'inesperienza degli operatori volontari, che, pur mossi da buone intenzioni, spesso non sono consapevoli del valore di queste informazioni di complemento e le omettono. Altre volte sono gli stessi strumenti con cui avviene l'acquisizione dell'osservazione a non facilitare la compilazione di metadati. Altre volte ancora le informazioni utilizzate per progetti scientifici o di pubblica utilità vengono selezionate all'interno di volumi di dati sì volontari, ma originariamente prodotti per altri scopi, e perciò caratterizzati diversamente (ad es. nella ricostruzione della situazione precedente a un disastro ambientale possono risultare utili fotografie panoramiche, scattate senza intenti scientifici dai cittadini, che acquisiscono rilevanza soltanto in una fase successiva allo scatto). Le attività geografiche amatoriali appaiono in generale come pratiche parallele, che invece di far riferimento a standard scientifici si indirizzano più verso l'intuizione, l'espressività personale, oppure verso applicazioni semplificate delle tecniche geografiche tradizionali, e risultano pertanto interessanti, ma non conformi ai protocolli professionali (Eisnor, 2006).
Un secondo punto critico, conseguenza del precedente, riguarda la difficoltà nell'elaborare le informazioni volontarie. Può accadere infatti di riuscire ad accumulare volumi considerevoli di informazioni, ma di trovare serie difficoltà nel sovrapporre e correlare gli strati informativi. Le operazioni di sovrapposizione, intersezione, combinazione (indicate spesso col termine *mash-up*) sono rese difficoltose dalla variabilità degli attributi dei dati. Diverse precisioni strumentali, diversi sistemi di riferimento utilizzati, diverse scale di riferimento, intervalli temporali non definiti, fanno

sì che l'analisi spaziale divenga difficoltosa e talvolta addirittura avventata. In questo senso la numerosità dei dati volontari non è sempre garanzia di efficacia nella elaborazione e dunque nella produzione di nuova informazione.
Esiste poi una terza grande questione, legata all'attendibilità dei volontari. La validità di un contributo di provenienza volontaria non è infatti solo una caratteristica intrinseca del dato, connessa alla sua conformazione e accuratezza, ma ha anche un aspetto estrinseco, legato al credito che si accorda all'operatore volontario (Bordogna et al., 2012). Accade con ricorrenza che i contribuenti volontari commettano errori non evidenti e che sottomettano informazioni che non sono accertabili se non attraverso un diretto controllo sul campo (è il caso, ad esempio, di una segnalazione di incendio in una certa località). Nel caso più frequente, in cui non è possibile eseguire verifiche dirette, è inevitabile affidarsi alla parola del volontario, e confidare che il suo apporto sia corrispondente a verità. Un elevato grado di incertezza si raggiunge quando i componenti del gruppo di volontari che partecipano all'iniziativa non sono selezionati, o formati preventivamente, o non sono rintracciabili, e quando non sono funzionanti sistemi di filtro o di feedback sulle informazioni in ingresso. In casi estremi alcuni volontari in malafede possono addirittura inserire premeditatamente indicazioni false, allo scopo di aumentare la confusione, screditare il progetto o mistificare l'informazione complessiva a proprio vantaggio.
L'incertezza sull'attendibilità dei contributi crea dunque un danno a tutto il sistema, elevando il livello di dubbio sui dati e compromettendo la fiducia degli utilizzatori.

Altre criticità riguardano invece l'assetto delle organizzazioni - pubbliche e private - che tradizionalmente si occupano di produrre e distribuire informazione geografica a livello professionale. Tali agenzie sono state investite dalla violenta esplosione di queste pratiche geografiche "collaterali" ed hanno dovuto fronteggiare la secca virata dell'interesse del pubblico. Per questi soggetti diventa oggi una sfida imprescindibile riuscire a coniugare prodotti geografici tradizionali, di elevata qualità, con meccanismi e contributi di tipo partecipativo. Ne costituiscono esempi le scelte di aziende produttrici di navigatori satellitari, come Tom Tom o Garmin, o di cartografia digitale, come Compass, che oggi affiancano prodotti cartografici professionali con segnalazioni ed aggiornamenti di provenienza volontaria, soddisfacendo così sia i requisiti di rigore, sia l'interesse degli utenti a partecipare e a mantenere aggiornata la base di dati. Altri esempi in questo campo sono forniti dalle amministrazioni pubbliche che mettono a disposizione dei cittadini le proprie risorse cartografiche per sviluppare applicazioni di pubblica utilità con contributi informativi volontari. Il rischio che invece corrono numerosi altri soggetti, rimasti esclusi dalla nuova tendenza, è quello di perdere seguito, oltre che voluminose quote di mercato, oppure quello di allontanarsi dal ruolo di autorità del settore.

Le prime tre problematiche illustrate sono strettamente legate a ciò che genericamente identifichiamo come *qualità dell'informazione volontaria*. Diversi studi sono stati fatti sui meccanismi con cui i coordinatori delle attività - commerciali o scientifiche - possono intervenire per aumentare la qualità del lavoro volontario, senza tuttavia pervenire a soluzioni uniformi e definitive.
Le domande più delicate a cui si cerca di dare risposta sono sostanzialmente le seguenti:

- In base a quali criteri giudicare la bontà di un contributo informativo?
- Come isolare i contributi difettosi da quelli validi?
- Come evitare che le irregolarità legate ai singoli contributi compromettano il valore dell'intera collezione di dati?

Nei paragrafi seguenti si propongono uno schema con cui rappresentare le informazioni geografiche volontarie in relazione alle loro caratteristiche e alcuni approcci per gestione della loro qualità.

**La qualità nelle informazioni geografiche volontarie**

Per giungere ad argomentare i tipi di approccio al controllo della qualità nei contributi geografici di provenienza volontaria, è utile dotarsi in partenza di un modello, un paradigma sintetico con cui organizzare la grande varietà dell'informazione trattata.

Necessario è innanzitutto circoscrivere i tipi di informazione geografica volontaria con poche macro-categorie. Quelle qui proposte non pretendono di essere esaustive, ma vogliono piuttosto sintetizzare, ed identificare con termini di uso comune, le tipologie dei contributi più ricorrenti.

Le informazioni geografiche più frequentemente fornite dai volontari su web hanno la forma di commenti testuali riferiti a luoghi fisici (eventi, segnalazioni, allarmi), fotografie geo-taggate, marcatori puntuali corrispondenti luoghi di interesse (privato, turistico o commerciale). Con sufficiente ricorrenza si osservano anche oggetti geografici lineari o poligonali (strade ed itinerari), *track* GPS, misurazioni effettuate con sensori diversi dal GPS o con apparecchiature particolari.

Nel presente lavoro raggruppiamo tali tipi di informazione geografica multimediale nelle categorie:

- **immagini**: fotografie, videoriprese e oggetti grafici georiferiti;
- **annotazioni**: segnalazioni prevalentemente testuali georiferite;
- ***features*:** entità spaziali, mono o pluridimensionali, con attributi associati (per esempio *shapefile* o file GML);
- **misure**: osservazioni prevalentemente numeriche.

Si escludono invece volutamente i contributi volontari espressi in termini di *rating*, ovvero le valutazioni da parte del pubblico nei confronti dei contenuti geografici volontari. Tali espressioni hanno certamente valore informativo e sono pure ampiamente diffuse, ma sono più avvicinabili a strumenti di riscontro che ad informazioni geografiche a sé stanti. Ai fini di questa trattazione i contributi in forma di *rating* saranno perciò inclusi nei meccanismi di controllo della qualità, e non nelle categorie di VGI.

Un secondo passo nella costruzione di un modello, è quello di definire in modo schematico le dimensioni della qualità nel VGI. Per farlo ci si riferisce al modello di Borgogna et al. (2012), apportando alcuni adattamenti per adeguarlo agli scopi del presente lavoro.

In accordo col modello citato, si caratterizzano innanzitutto le tre maggiori categorie con cui la qualità viene organizzata:

- la qualità **intrinseca**, dipendente dalle caratteristiche del contenuto informativo;
- la qualità **estrinseca**, intesa come giudizio qualitativo sull'informazione e sull'autore;
- la qualità **pragmatica,** intesa come capacità di soddisfare le necessità di un utente o di un utilizzo (English, 1999)

Costituiscono quindi parametri di qualità intrinseca di una informazione volontaria:

- **accuratezza** dell'osservazione, ovvero conformità al valore reale o atteso;
- **precisione** dell'osservazione, ovvero ripetibilità della misurazione;
- **correttezza** del contributo, ovvero assenza di errori formali;
- **completezza**, cioè assenza di omissioni significative;
- **intelligibilità,** ovvero possibilità del contributo di essere compreso ed esaminato.

Sono invece componenti relazionabili alla qualità estrinseca:

- **veridicità** dell'informazione,
- **attendibilità** dell'autore dell'informazione.

Infine la qualità pragmatica può essere scomposta in:

- **pertinenza** dell'informazione,
- **appropriatezza** per un dato utilizzo.

Possiamo infine descrivere, avvalendoci di nuove ulteriori categorie, il tipo di approccio al controllo della qualità.

Dal punto di vista temporale l'approccio al controllo qualitativo potrà avvenire in via:

- **preventiva**, se ha luogo attraverso procedure precedenti o contestuali all'immissione di informazioni volontarie (ad esempio con schede di input che guidano il volontario, proposte di suggerimenti e normalizzazione di termini);
- **correttiva**, se si verifica successivamente all'immissione di informazioni nel sistema (ad es. con selezione dei contributi, rettifica automatica o manuale di alcune informazioni..).

Dal punto di vista dei soggetti coinvolti, le operazioni di valutazione avvengono ad opera di:

- **team** di amministrazione, quando sono condotte manualmente dai coordinatori del progetto, dallo staff tecnico o da gruppi di esperti incaricati;
- **comunità** dei partecipanti, quando è il gruppo di volontari stesso a valutare ed eventualmente validare le informazioni immesse;
- **automatico**, quando uno o più componenti informatici dell'infrastruttura operano selezione dei contenuti o apportano modifiche automatizzate.

Infine, dal punto di vista dell'azione prodotta, l'informazione ritenuta non idonea potrà subire:

- **segnalazione**, e quindi essere pubblicata con accluso un giudizio o un avvertimento;
- **rimozione**, ovvero essere esclusa dalla pubblicazione e dalle successive elaborazioni.

Lo schema così costruito è rappresentato in figura 1.

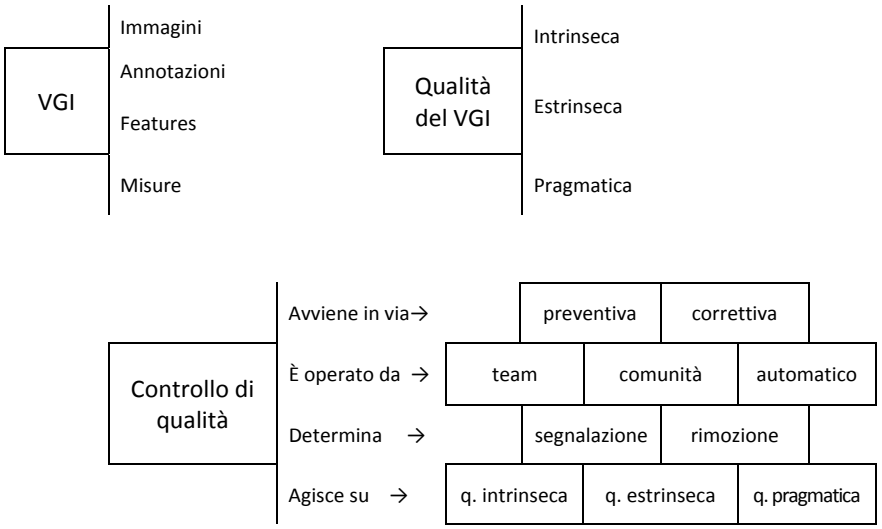



*Figura 1. Modello a categorie utilizzato per la descrizione dei contributi di tipo VGI, delle dimensioni della qualità, e dell'approccio al controllo di qualità.*

Per ogni utilizzo ed ogni contesto deve essere attentamente valutata la strategia migliore, che spesso comprende l'uso di metodi ibridi. Bilanciando le potenzialità e i deficit delle diverse opzioni, si può arrivare ad una gestione adeguata dei problemi di qualità.

Discutiamo adesso brevemente i vantaggi e gli svantaggi collegati a ciascuna opzione.

I meccanismi mirati a facilitare una corretta compilazione dell'informazione geografica a priori, (dizionari controllati, opzioni di scelta multipla, manuali d'uso, corsi preparatori, ecc) facilitano sicuramente l'inserimento di dati volontari in forma omogenea e stilisticamente corretta, non assolvono tuttavia il compito di valutare la qualità estrinseca di una informazione, né l'utilità della stessa all'interno del contesto in cui è stata inserita, entrambe valutazioni da effettuare necessariamente a posteriori. D'altra parte i metodi correttivi agiscono rimuovendo o rimodellando

contributi inappropriati e così causando inevitabilmente la perdita parziale o addirittura totale di informazione.
Le valutazioni di qualità effettuate dai responsabili, o gruppo di esperti, offrono una certa tutela, presupponendo in loro doti di competenza, raziocinio e imparzialità. Eppure, persino scienziati o tecnici non possono sempre godere di una padronanza completa delle variabili qualitative, e il loro giudizio non potrà essere che soggettivo e approssimato. Può capitare a volte che privati cittadini con conoscenze locali, professionisti specializzati in particolari attività, od osservatori diretti dei fenomeni possano dare giudizi di veridicità più circostanziati ed attendibili di quanto siano in grado di fare gli stesso supervisori del progetto. In alcune occasioni è tuttavia rischioso assegnare a contributori volontari compiti di valutazione; essi infatti, per impreparazione, superficialità o malafede, potrebbero creare confusione ed arrecare danni all'intera collezione di dati. Inoltre, i meccanismi di controllo automatici possono rivelarsi estremamente utili nei casi in cui si voglia popolare un database o in cui la mole di dati entranti sia talmente ampia da non poter essere controllata manualmente; esso tuttavia non potrà sostituire il giudizio di qualità dato da un esperto su criteri di rilevanza del contenuto, stile, o attinenza.
I controlli che agiscono come filtri, bloccando le informazioni ritenute inadeguate in base a parametri di qualità pre-impostati, comportano l'esclusione e la perdita di informazioni che, per quanto difettose, potrebbero rivelarsi utili in altri contesti. Altri procedimenti, che prevedono di agire sulle informazioni non conformi mantenendole, ma segnalandone il difetto, destinano una parte della memoria a dati di dubbia rilevanza, al costo di una consultazione più difficoltosa, ma in questo modo non perdono alcuna informazione immessa.

**Esempi**
Scegliamo di applicare lo schema tracciato nel precedente capitolo analizzando tre attività concrete di controllo qualitativo su informazioni geografiche volontarie.

*Wikimapia* è un ampio progetto di cartografia partecipativa che invita chiunque ad arricchire una mappa base con informazioni geografiche volontarie: immagini, annotazioni, entità geografiche. La politica attuata è di tipo democratico: l'intera comunità di utenti, senza alcuna selezione, ha la possibilità di creare, modificare e distruggere i contributi apportati. Alcune precauzioni sono tuttavia state introdotte dai coordinatori del progetto per proteggerne la correttezza e tenere il livello qualitativo il più alto possibile. Questi meccanismi sono sia preventivi (manuale d'uso, dizionari controllati, consulenza on-line, semiprotezione di entità geografiche sensibili, concessione di permessi aggiuntivi ad utenti esperti,..) sia correttivi (segnalazione, rimozione e modifica di contenuti, esclusione di utenti scorretti).

*Hai sentito il terremoto?* È un'applicazione creata dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) per raccogliere informazioni volontarie sulla percezione da parte dei cittadini e sugli effetti locali dei terremoti. Il tipo di dato raccolto ha la forma di annotazione, riferita ad una località sul territorio italiano. Le informazioni sono compilate tramite *web form* (schede composte da *check lists* e menù di scelta, campi obbligatori e facoltativi, spazi per il testo libero) e pubblicate senza operazioni di validazione e modifica. Chiunque può partecipare, ma nessun utente può agire sui contenuti già pubblicati. E' poi compito di esperti verificare a posteriori, con missioni in sito, gli eventi più gravosi segnalati dai volontari.

*eBird* è il più ampio progetto di raccolta di osservazioni volontarie di avifauna a scala mondiale. E' supportato da una vasta comunità di scienziati e amatori, che arricchiscono con le loro osservazioni (annotazioni ed immagini) un database e vanno così ad aggiornare mappe di frequenza, statistiche e grafici. L'intento scientifico del progetto, l'imponente mole di dati, e la pesante infrastruttura che li elabora hanno imposto una politica severa di controllo della qualità. La precisione e la veridicità delle informazioni in questo caso è affidata non solo a meccanismi di controllo a priori, quali manuali e a protocolli web guidati per la compilazione (tassonomie, dizionari controllati, codici,

*check lists,…*), ma anche a procedure correttive a posteriori, che agiscono tramite rilevamento automatico delle imprecisioni e filtraggio. I dati in ingresso vengono visionati da opportuni algoritmi automatici e, se da essi segnalati come anomali sulla base di criteri statistici, vengono sottoposti al controllo di una equipe di esperti, che ne determina la eventuale esclusione.

Usando le categorie precedentemente stabilite possiamo descrivere l'approccio al controllo qualitativo dei tre progetti e visualizzarlo con il modello come in figura 2.

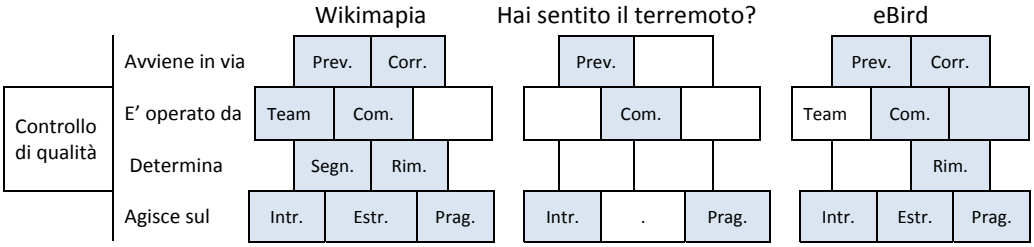



*Figura 2. Rappresentazione dei progetti descritti attraverso il modello suggerito.*

La grafica mette in evidenza come configurazioni completamente diverse del controllo della qualità possano essere scelte ed implementate, sulla base delle esigenze e delle politiche legate alla attività specifica.

**Conclusioni**

I contributi informativi geografici di tipo volontario costituiscono indubbiamente una potenziale sorgente di dati ad alta granularità spazio-temporale. Per poterli sfruttare a scopi progettuali diventa tuttavia necessario affrontare la principale criticità, riguardante la loro qualità, non sempre garantita in termini di professionalità e/o valore scientifico.
Diventa perciò necessario individuare metodi per stimare e trattare adeguatamente la qualità delle informazioni geografiche di origine volontaria, elemento estremamente complesso e variabile.

Questo lavoro propone una rappresentazione dei principali aspetti legati alla qualità, utile per delineare in modo sintetico ma sistematico i vari fattori in gioco e favorirne la gestione.
Gli elementi di questa rappresentazione possono essere utilizzati e combinati variamente per configurare una soluzione globale di gestione della qualità.
Tale rappresentazione è stata impiegata per descrivere e confrontare fra loro alcune soluzioni, adottate in tre progetti esistenti, per la gestione della qualità di VGI.
Ciascuna configurazione analizzata è stata progettata e definita bilanciando i diversi componenti, in funzione dei requisiti specifici delle diverse applicazioni. Ciò costituisce un chiaro esempio di come, nell'ampio panorama del VGI, non esista una soluzione ottimale in senso assoluto, bensì configurazioni efficienti negli specifici casi d'uso. Le scelte sono influenzate dallo scopo perseguito dall'attività, dal tipo di dato atteso in ingresso, dal target di volontari a cui ci si rivolge, dall'infrastruttura a cui ci si appoggia.

In conclusione, le soluzioni possibili non mirano all'eliminazione del problema della qualità, ma piuttosto alla gestione controllata delle variabili in gioco, estremamente dipendenti dal caso specifico.
Inoltre si evidenzia come una corretta rappresentazione sia un valido strumento di supporto sia nella fase di definizione del problema, sia nella conseguente individuazione delle risposte più efficaci.

**Bibliografia**

Bonney R, Cooper CB, Dickinson J, et al. (2009), "Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy", *BioScience*, 59: 977–84.

Bordogna G., Criscuolo L., Carrara P., Pepe M. (2012), "An approach to Assess the Quality of Volunteer Geographic Information for Citizen Science" , sottomesso a *Information Sciences*, 10-2012.

Borruso G. (2010), "La 'nuova cartografia' creata dagli utenti. Problemi, prospettive, scenari" *Bollettino A.I.C. nr. 138 / 2010*.

Bruns A. (2006), "Towards produsage: futures for user-led content production", Proceedings: *Cultural Attitude towards Communication and Technology*, pp. 275-84, F. Sudweeks, H. Hrachovec, and C. Ess (eds). MurdochUniversity, Perth, Australia

English L.P. (1999), Defining Information Quality (capitol 2), in *Improving Data Warehouse and Business Information Quality: Methods for Reducing Costs and Increasing Profits*, John Wiley and Son, 544 pp.

Goodchild M (2007), "Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography", GeoJournal 69(4): 211-221.

" About eBird", http://ebird.org/content/ebird/about, ultima consultazione 15-08-2012.

"About Wikimapia", http://wikimapia.org/docs/About_Wikimapia, ultimo aggiornamento 29-08-2012,ultima consultazione 30-08-2012.

Eisnor D. (2006), "Neogeography", http://www.platial.com, ultima consultazione il 23-04-2008.

"Hai sentito il terremoto?", http://www.haisentitoilterremoto.it, ultima consultazione 28-08-2012.

# Il riconfinamento della pertinenza dell'ex linea ferrata a scartamento ridotto dismessa Palermo-Corleone-San Carlo nell'ambito del progetto di conversione in piste ciclabili e percorsi

Luciano Di Marco

Geometra Libero professionista
Palermo, Via Libertà n. 171, Tel./Fax 091 7829121

**Abstract**
La riconfinazione è un'attività complessa che necessita di conoscenze approfondite in contesti diversi: giuridico, topografico, tecnico, storico e catastale, all'interno dei quali, solo una figura esperta è in grado di compiere in maniera sicura e corretta tutte le azioni e le scelte operative volte a ricercare gli elementi probatori e ad attribuire agli stessi il giusto peso.
Lo scopo del presente lavoro è quello di descrivere la metodologia utilizzata nella ricostruzione dei confini della pertinenza dell'ex linea ferrata a scartamento ridotto dismessa della Provincia di Palermo, nell'ambito del progetto di conversione delle sedi dismesse in piste ciclabili e percorsi ecologici. Si è dunque scelto di trattare come argomento, l'utilizzo di tecniche topografiche integrate (GPS, tecniche topografiche tradizionali, ricerche storico catastali), finalizzate alla georeferenziazione dei dati prelevati dagli elaborati storici, sia per la ricostruzione degli elementi (miliari, testette acquedotti ecc.), che testimoniavano il passaggio della linea ferrata nel territorio. I risultati ottenuti hanno permesso alla Provincia Regionale di Palermo in contraddittorio con il proprietari dei fondi limitrofi, di riappropriarsi della pertinenza ferroviaria ed apporre i termini di confine.

*The riconfinazione is a difficult task that requires in-depth knowledge in different contexts: legal, surveying, technical, historical and land, within which, espert figure is only able to perform safely and correctly in all actions and management decisions designed to search for evidence and to give them the proper weight.*
*The purpose of this paper is to describe the methodology used in the reconstruction of the boundaries of the relevance of the former narrow gauge railroad abandoned the Province of Palermo, within the project of conversion of disused sites in greenway. It was decided to treat as an argument, the use of techniques topographical integrated (GPS, topographic traditional techniques, research historical land), at georeferenced data taken from processed historians, for the reconstruction of the elements (markers, testette aqueducts etc. .), which bore witness to the passage of the railway line in the area. The results obtained allowed the Province of Palermo in its dispute with the neighboring landowners, to regain relevance station and put the terms of the border.*

## Introduzione

L'azione di regolamento dei confini, è regolata giuridicamente dall'art. 950 del c.c., che recita testualmente: <<*Quando un confine fra due fondi è incerto, ciascuno dei proprietari può chiedere che sia stabilito giudizialmente. Ogni mezzo di prova è ammesso. In mancanza*[1] *di altri elementi, il giudice si attiene al confine delineato nelle mappe catastali*>>.

[1] Alla mancanza di elementi di prova è equiparabile la <<loro inidoneità ai fini di una determinazione certa del confine>> (Cass., 16-5-1981, n. 3222; Cass., 19-7-1968, n. 2604 e altre sentenze).

Alcune situazioni, quali le condizioni di possesso della porzione di terreno, la mancanza, l'esistenza, la natura e la vetustà di elementi di demarcazione che materializzano il confine, possono influire, fra l'altro, a determinare l'ammissibilità dell'usucapione, e ad orientare la non sempre facile ma importante distinzione sulla esperibilità, dell'azione di regolamento di confine o dell'azione di rivendicazione art. 948 c.c..
Secondo la dottrina e la giurisprudenza prevalente, un confine può essere considerato incerto, il che rende ammissibile l'azione di regolamento, anche quando esistono contrassegni apparenti di demarcazione ed il possesso del terreno è esercitato da una sola delle parti.
E' importante conoscere le tradizioni locali, anche per saper distinguere, per esempio, un vecchio termine lapideo da una qualsiasi pietra; in passato, in certe zone, veniva attribuito al termine una certa "sacralità".
L'art. 950 c.c. chiarisce molto bene quella che è la gerarchia dei mezzi di prova ammessi per individuare il confine giudizialmente.
Mezzo di prova può essere una materializzazione (recinzione, muro ecc.) presente da oltre un ventennio, può essere la testimonianza può essere un contrassegno storico lapideo sotterrato.
La finalità del lavoro presentato è quella di descrivere la metodologia e le procedure eseguite per recuperare e ripristinare, il confine che delimitava la pertinenza dell'ex linea ferrata a scartamento ridotto dismessa, tratto Palermo-Corleone-San Carlo, nell'ambito del progetto di conversione in piste ciclabili e percorsi ecologici, attuato dalla Provincia Regionale di Palermo.
In particolare. verranno descritte le procedure operative, la strumentazione utilizzata, le fasi per la realizzazione della rete d'inquadramento, della sottorete di dettaglio, le ricerche eseguite presso l'archivio storico delle Ferrovie dello Stato per reperire la documentazione probatoria, le fasi del tracciamento della sede ferroviaria dismessa (molto spesso inglobata nei terreni limitrofi e sotto metri di terra), ed in particolare il tracciamento dei manufatti ferroviari (tombini, ponticelli, acquedotti ecc.), testimonianza inequivocabile del passaggio della linea ferrata; attività quest'ultima, che nella maggior parte dei casi veniva eseguita in contraddittorio con i proprietari dei fondi limitrofi e dei loro tecnici, evitando eventuali ed inutili contenziosi.
Va precisato inoltre, che trattandosi nella maggior parte dei casi di un bene demaniale, non può essere applicato l'usucapione.

**Stato dell'arte della linea ferrata a scartamento ridotto.**
La linea ferrata a scartamento ridotto della Provincia di Palermo, costruita fra il 1890 ed il 1930 dopo un turbolento iter tecnico-amministrativo, attraversa i territori dei comuni di Palermo, Misilmeri, Villafrati, Baucina, Mezzojuso, Corleone, Campofiorito, Bisacquino, Chiusa Sclafani e San Carlo.
Dopo il secondo conflitto mondiale, nella prima metà degli anni cinquanta, si comprese che non era più necessario portare a termine i lavori dei tratti già iniziati, poiché si andava sempre più affermando il trasporto automobilistico che permetteva spostamenti più rapidi.
Ci si è trovati così ad avere oggi, un patrimonio formato da circa 600 Km di tracciati ferroviari a scartamento ridotto dismessi privi di rotaie, con una pendenza media del 2%, condizione ideale per la fruizione in piste ciclopedonali.
Ovviamente gli interventi richiesti per la conversione di una linea ferroviaria, dipendono da svariati fattori legati principalmente allo stato di conservazione delle infrastrutture.
L'intervento più consistente riguarda sicuramente il ripristino delle aree di pertinenza ed il recupero delle opere di sistemazione idraulica (ponticelli, tombini, acquedotti, cunette etc.), quest'ultime di notevole importanza, in quanto il loro recupero consente la stabilità del tratto viario; inoltre recuperare l'intera fascia di pertinenza consentiva ai progettisti di poter modificare il tracciato secondo le esigenze progettuali.

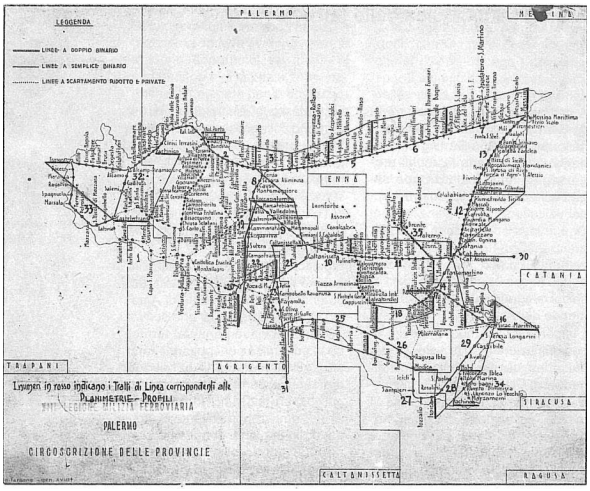



*Figura 1. Planimetria storica della linea ferrata della Sicilia*

La Palermo-Corleone fu aperta all'esercizio il 20 dicembre 1886. La linea, partendo dalla stazione di Palermo S. Erasmo raggiungeva dapprima le borgate di Bandita, Acqua dei Corsari e Portella di Mare, poi iniziava a penetrare nell'entroterra attraversando i paesi di Villabate, Misilmeri, Bolognetta, Mulinazzo e Baucina, quindi Villafrati; continuava poi per Mezzojuso, Godrano, Ficuzza (attraversando il bosco), Bifarera, Scalilli e Donna Beatrice fino a Corleone, completando il suo percorso nella stazione di San Carlo nel territorio di Chiusa Sclafani.
La linea, fu chiusa all'esercizio il 1 luglio 1954; l'impianto rimase in possesso del FFSS che a seguito del terremoto del 1968, decise di cedere le aree ai comuni per poterle utilizzare nell'emergenza.




*Figura 2. Stralcio dell'articolo pubblicato nel Corriere di Sicilia - ottobre 1886*
*Nel riquadro in piccolo: La planimetria generale di progetto.*

La ferrovia a scartamento ridotto Palermo-Corleone-San Carlo ha un tracciato di circa Km 106, lungo il quale, sono state realizzate: 15 stazioni, 40 ponti, 6 viadotti, 32 garitte, 10 fermate, 10 gallerie, 19 case cantoniere, 298 passaggi a livello, 13 sottopassaggi e cavalcavia.

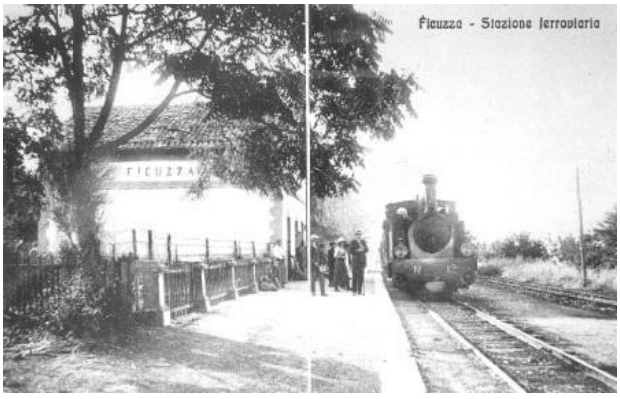



*Figura 3. Stazione di Ficuzza – foto storica.*

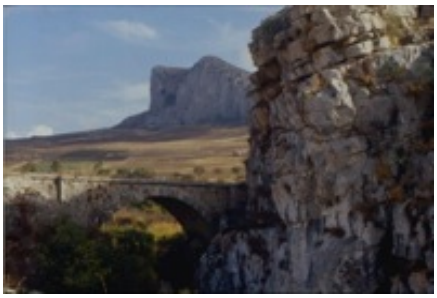


*Figura 4. Ponte Drago – tra Ficuzza e Corleone.*



*Figura 5. Fermata Ridocco – Comune di Campofiorito.*



*Figura 6. Galleria Roccazzo ricavata nella roccia all'interno del bosco della Ficuzza in direzione Godrano.*

Particolare importanza costituivano, i miliari chilometrici e le testette.
Le prime ubicate ai margini della ferrovia avevano inciso su di un lato la progressiva chilometrica del tracciato, le seconde delimitavano il confine di proprietà con i terreni privati.



*Figura 7. Miliare chilometrico con inciso il km 73.*



*Figura 8. Testetta di confine.*

**Metodologia di lavoro**
Le procedure svolte, sono state le seguenti: ricognizione, inquadramento della rete di appoggio (nel caso specifico coincidente con la rete IGM95), materializzazione di una rete secondaria di dettaglio,

individuazione e rilievo di PSR presenti sia nelle cartografie sia documentazione probatoria, elaborazione delle coordinate degli elementi da picchettare, tracciamento dei confini e dei manufatti.

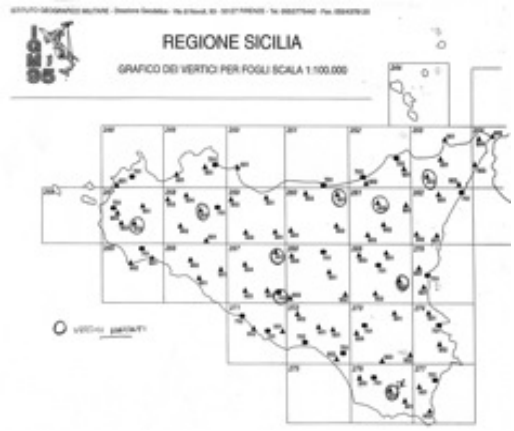



*Figura 9. Rete IGM 95 della Sicilia.*




*Figura 10. Schema della rete utilizzato.*

Il rilievo dei vertici della rete d'inquadramento è stato eseguito con tecniche di posizionamento satellitare differenziale GNSS, in modalità statica con tempi di osservazione di 2 ore.
All'interno della stessa è stata determinata una sottorete di dettaglio (lati di 1-2 km), distribuita in maniera omogenea lungo il tracciato da rilevare e materializzata con dei chiodi topografici, anch'essa in modalità statica, con tempi di osservazione da 30 ai 50 minuti.
La determinazione delle coordinate dei vertici è avvenuta nel piano della rappresentazione di Gauss nel sistema geodetico nazionale ROMA 40 (il lavoro è stato definito nel 2011 prima dell'entrata in vigore del nuovo sistema di riferimento ETRF2000).

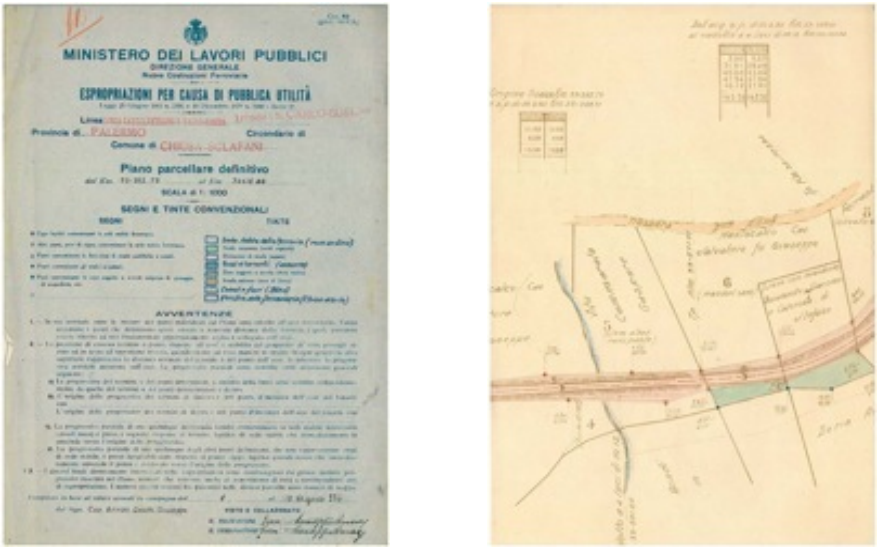



*Figura 11. Elaborati storici di progetto reperiti presso l'archivio delle FFSS.*

Il rilievo di dettaglio è stato definito, integrando ove possibile alle tecniche GNSS la metodologia tradizionale, con l'ausilio di stazione totale, con origine su un caposaldo di coordinate note della rete di dettaglio ed orientamento su un vertice lontano della rete.
I dati metrici presenti nella documentazione probatoria riferiti all'asse della linea ferrata, sono stati trasformati in coordinate e riferite nel sistema ROMA 40, e con esse è stato creato un *data base* topografico, le cui informazioni sono state trasferite nel palmare della strumentazione, per eseguire il tracciamento.

**CONCLUSIONI**

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di implementare una metodologia a supporto dell'amministrazione provinciale, la quale, si è trovata a gestire diversi contenziosi con i proprietari dei fondi limitrofi che negli anni si sono appropriati della pertinenza ferroviaria.
I risultati ottenuti sono stati soddisfacenti,



*Figura 12. Tracciamento e recupero della sede e ripristino dei manufatti.*

Infine, con la stessa tecnica sono stati ricostruiti i confini (attività eseguita in contraddittorio con le parti), che delimitavano la pertinenza ferroviaria, apponendo nei vertici dei nuovi cippi realizzati in c.a. ove non veniva riscontrato nessun termine storico.



*Figura 13. Esempio di materializzazione di vertice di confine.*

Mentre, dove venivano riscontrati sia in superficie che sottoterra i vecchi miliari o le testette originali, sono stati apposti a fianco ad essi i nuovi cippi.




*Figura 14. Esempio di materializzazione di vertice di confine.*

**Ringraziamenti**
Il presente lavoro è stato condotto nell'ambito del progetto di riconversione in piste ciclabili e percorsi ecologici delle sedi delle ferrovie a scartamento ridotto dismesse, della Provincia Regionale di Palermo.
Si coglie l'occasione per ringraziare la Provincia Regionale di Palermo, il coordinatore del progetto Dott. Girolamo Lombardo (AAPIT), il progettista Ing. Maurizio Magro Malosso , il Responsabile Unico del Procedimento ing. Antonino Armato e l'arch. Gaetano Brucoli (per la consulenza fornita nell'ambito del progetto conoscenza infrastrutture ferroviarie), per aver fornito la loro preziosa consulenza.

**Riferimenti bibliografici**
V. GRASSI (2010) – Topografia . Teoria, applicazioni, esercizi – PITAGORA pp. 251-207, 373-435 e 449-527.
A. CINA, (2008) La carta catastale in un sistema globale. Rivista dell'agenzia del territorio vol. 1, pp. 13-26.
V. GRASSI (2005) – Tutorial sulla post elaborazione delle misure GPS – Geomedia pp. 16-21 (2/2005).
A. CINA (2000) – GPS. Principi, modalità, tecniche di posizionamento – CELID pp. 28-57 e 84-113.
L. SURACE, (2004). La georeferenziazione delle informazioni territoriali . Boll. di Geodesia e Scienze affini, vol. III, n. 6.
P.D. TANI (1992) Aspetti tecnici dell'azione di regolamento dei confini - pp. 15-17, 31-33, 45-53.

# La realizzazione della componente italiana dei servizi Pan-Europei Land Cover del GMES/GIO 2011-2013

Valter Sambucini, Nico Bonora, Ines Marinosci, Michele Munafò

ISPRA, Roma

**Riassunto**

I dati sulla copertura, sull'uso del suolo e sulla transizione tra le diverse categorie sono alcune delle informazioni più frequentemente richieste per la formulazione delle strategie di gestione e di pianificazione sostenibile del territorio, per fornire gli elementi informativi a supporto dei processi decisionali a livello comunitario, nazionale e locale e per verificare l'efficacia delle politiche ambientali. In questo contesto, l'iniziativa Corine Land Cover (CLC) è nata a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela. La prima strutturazione del progetto CLC risale al 1990 (CLC90), mentre gli aggiornamenti successivi si riferiscono agli anni 2000 e 2006.

L'iniziativa, cofinanziata dagli Stati membri e dalla Commissione Europea, vede oggi l'adesione di 38 paesi tra i quali l'Italia.

L'aggiornamento al 2006 è stato realizzato nell'ambito del programma GMES Fast Track Service on Land Monitoring. Il programma GMES (Global Monitoring for Environment and Security), infatti, ha come principale obiettivo quello di garantire all'Europa una sostanziale indipendenza nel rilevamento e nella gestione dei dati di osservazione della terra, supportando le necessità delle politiche pubbliche europee attraverso la fornitura di servizi precisi e affidabili sugli aspetti ambientali e di sicurezza. Per l'aggiornamento successivo del CLC, relativo al 2012, in conformità a quanto previsto dal Regolamento (UE) N. 911/2010 relativo all'iniziativa GMES, è stato avviato un piano per la realizzazione dei servizi di Land Monitoring nell'ambito del GIO (GMES Initial Operations) Land Monitoring Implementation Plan 2011–2013.

In particolare, per la componente Pan Europea, il programma prevede l'acquisizione di una copertura satellitare europea al 2012, l'aggiornamento della serie del CORINE Land Cover al 2012 e la produzione di 5 strati ad alta risoluzione relativi all'impermeabilizzazione del suolo, alle foreste, ai prati-pascoli, alle aree umide e ai corpi idrici. Il coordinamento tecnico del progetto è stato affidato all'Agenzia Europea dell'Ambiente (AEA) e la realizzazione della componente italiana è assicurata dall'ISPRA.

# Provincia di Vicenza: armonizzazione dei dati e interoperabilità

M. Cominato

Ufficio S.I.T. della Provincia di Vicenza
in collaborazione con *Planeteck Italia srl*

**Riassunto**
La Provincia di Vicenza ha da tempo reso disponibile sul web il proprio geoportale provinciale con lo scopo di poter pubblicare e condividere il vasto patrimonio di informazioni in suo possesso, rendendole disponibili in qualsiasi momento e ovunque agli Utenti della rete.
Il Geoportale della Provincia di Vicenza offre all'Utente la possibilità di consultare, interrogare e stampare i dati del proprio database cartografico in modo semplice ed immediato, facilitando le operazioni di analisi e di confronto. Il sistema, che ha raccolto un interessante bacino di utenza, è stato recentemente arricchito di nuove funzionalità a supporto degli Utenti generici e dei tecnici.

**Abstract**
The Province of Vicenza has long made available via web the geoportal of the Province with the aim of publishing and sharing the wealth of information, making them available at any time and anywhere to its users.
The Geoportal provides users the ability to browse and query different database mapping using a multi-window display mode. This mode allows you to combine or overlay different views of the same area or to adjoining areas, facilitating easier analysis and comparison.
The system, which has raised many users, has recently been enriched with new features in order to increase its ability to support users from the province and not.

**Introduzione**
Il ruolo chiave che le informazioni geografiche e territoriali hanno assunto nel corso degli ultimi anni nel facilitare il monitoraggio e la pianificazione coordinata delle politiche centrali e locali, ha fatto in modo che le Infrastrutture di Dati Territoriali, considerate come la soluzione per diffondere e condividere i dati geospaziali, divenissero di uso sempre più corrente presso gli Enti preposti al governo del territorio.
Nel rispetto di quanto previsto dalla direttiva INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community), che prevede che le autorità pubbliche condividano e rendano pubblici dati ed informazioni in proprio possesso con Utenti di altre amministrazioni pubbliche, con ditte, fino al semplice cittadino; l'Amministrazione Provinciale di Vicenza ha già da tempo reso disponibile on line il proprio sistema informativo territoriale (http://geoportale.provincia.vicenza.it).
Il Geoportale della Provincia di Vicenza è stato creato con il duplice obiettivo di creare un punto di raccolta e divulgazione dei dati territoriali per il supporto decisionale nella pianificazione degli interventi e di agevolare il rapido accesso alle informazioni ad Utenti pubblici e privati, con modalità interattive che garantiscano l'unicità dei dati, la loro documentazione e la massima interoperabilità.
Il sistema fornisce la possibilità di consultare e interrogare differenti database cartografici utilizzando una modalità di visualizzazione a finestre multiple, che consente di affiancare viste differenti, di uno stesso territorio o di aree contigue, facilitando le operazioni di analisi e di

confronto. La sua semplicità d'uso ed intuibilità permettono anche agli Utenti meno esperti di consultare le mappe preimpostate raggiungendo immediatamente le informazioni di proprio interesse anche all'interno di archivi di grandi dimensioni.

**Il Geoportale della Provincia di Vicenza**

Il nuovo Geoportale provinciale è basato sull'evoluzione dei servizi web conformi agli standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC), consultabili da client web in modo automatico. Grazie a questa tecnologia il sistema offre funzionalità di ricerca e visualizzazione dei dati, rappresentando per gli Utenti un singolo punto di accesso alle risorse informative geografiche.

Il sistema è strutturato per consentire due modalità di visualizzazione: la vista singola, che offre all'Utente la possibilità di consultare il dato con una visualizzazione più ampia e con tutte le funzionalità per interagire con esso; le viste affiancate che permettono all'Utente di visualizzare i dati in due finestre adiacenti, in modo da poter consultare contemporaneamente due tematismi differenti ciascuno in una finestra cartografica;

Inoltre viene concessa all'Utente la possibilità di organizzare i layer (raster e vettoriali) secondo le proprie preferenze gestendone l'ordine, la trasparenza o semplicemente la visualizzazione; E' presente inoltre una sezione di amministrazione attraverso la quale gli operatori dell'Ufficio SIT della Provincia possono abilitare la condivisione di banche dati vettoriali e raster e gestire i differenti livelli di accesso degli Utenti ai dati e/o alle funzionalità del sistema.

**La nuova interfaccia operativa e grafica**

La nuova vestizione grafica rappresenta un passaggio importante per offrire una maggiore flessibilità e rapidità nella gestione e nella fruizione dei contenuti cartografici del Geoportale della Provincia di Vicenza.

In particolare nella sezione di consultazione delle mappe è stata inclusa una vista ad albero degli strati informativi organizzati per aree tematiche. La presenza contemporanea della "struttura ad albero" e della "finestra" cartografica permette una maggiore capacità di navigazione tra le informazioni disponibili nel geoportale. All'Utente viene offerta la possibilità di visualizzare o nascondere i layers pubblicati (vettoriali e/o raster), variare l'ordine di sovrapposizione sulla mappa ed in stampa, variare la trasparenza e, per gli Utenti abilitati, modificare la vestizione grafica delle informazioni.

**Ricerca nel catalogo delle mappe**

Nella sezione catalogo è possibile eseguire delle ricerche attraverso parole chiave tra le mappe di interesse e consultarle. Per ogni mappa, è possibile: visualizzare i dati selezionati, ottenere l'indirizzo WMS relativo e visualizzare una piccola descrizione.

**Sezione di consultazione sulle mappe**

La sezione di repertorio mappe e navigazione cartografica è strutturata ad albero con l'elenco dei tematismi di riferimento. Espandendo ogni nodo del tematismo è possibile accedere ai vari strati cartografici che lo compongono.

**Funzionalità aggiuntive**

Nella nuova versione del Geoportale sono state inserite le seguenti funzionalità:

<u>Modulo GeoHarp (Geographic Harmonizing Platform)</u>

È stato implementato un modulo di armonizzazione dei dati e delle caratteristiche semantiche che consente l'integrazione e l'armonizzazione di dati geografici on-line, attraverso procedure di conversione al volo (on-the-fly), di archivi cartografici remoti gestiti con sistemi di riferimento e proiezione differenti.

La combinazione delle scelte effettuate per tecnologia e SRS, racchiude gran parte dei Sistemi Informativi Territoriali attualmente esistenti in Italia e pertanto utilizzando il modulo di riproiezione come piattaforma di interoperabilità, si è in grado di integrare gran parte dell'esistente patrimonio cartografico, senza alcuna necessità di migrazione del dato o della tecnologia.

Modulo delle segnalazioni

Al fine di rendere il Geoportale strumento d'interazione tra gli Utenti e la Provincia di Vicenza è stato implementato un modulo per la gestione delle segnalazioni che possono interessare uno o più servizi che rientrano nelle competenze dell'Amministrazione Provinciale (difesa del suolo, cave e miniere, protezione civile, turismo, ecc.).

Attraverso questa funzionalità l'Utente registrato può, localizzando un punto sulla mappa, trasmettere agli uffici dell'Amministrazione le informazioni, i file (documenti, foto, video, suoni) e quant'altro ritenga sia utile per illustrare quanto segnalato.

Il sistema, ricevuta la segnalazione, provvederà, secondo regole impostate dagli amministratori, ad inoltrare la segnalazione uffici competenti e invierà una mail di conferma all'Utente.

La procedura prevede che l'Utente sia informato dello stato di avanzamento della segnalazione inoltrata e del suo esito finale (pubblicazione sul geoportale o archiviazione).

Altre funzionalità

E' stata introdotta la possibilità di generare anteprime di stampa secondo alcuni parametri di riferimento: l'Utente può scegliere formato (A3/A4, ecc), l'orientamento del foglio e la scala di stampa. Ogni variazione dei parametri produce un refresh della mappa al fine di rendere immediatamente visibile l'output che sarà generato nel formato PDF.

Durante la navigazione cartografica l'Utente può modificare la vestizione grafica del livello cartografico d'interesse, attraverso un apposito tool integrato nell'interfaccia Utente. La vestizione è solo temporanea, ma potrà all'occorrenza essere salvata in formato SLD[1], nel sistema a disposizione dell'Utente. Ogni Utente avrà quindi la visibilità dei suoi tematismi e potrà facilmente passare da un tematismo ad un altro.

E' stato infine aggiunto il modulo di visualizzazione dei layer vettoriali in Google Earth: in fase di consultazione è possibile visualizzare la cartografia e gli elementi geolocalizzati del portale Geografico nell'applicazione Google Earth. Ogni Utente che accede al Portale, può attraverso l'icona di Google Earth, consultare la stessa informazione cartografica in visualizzazione 3D.

**Integrazione banche dati cartografiche (SIT) e naturalistiche (progetti LIFE)**

Con il progetto "Life+ Colli Berici Natura 2000" si realizzeranno una serie di interventi importanti per la conservazione delle specie e degli habitat dei Colli Berici in modo tale che possano divenire un riferimento europeo per situazioni di questo genere.

A tal fine sono stati raccolte ed organizzate informazioni degli habitat ed informazioni settoriali (botanici, idrobiologici, forestali e naturalistici) per integrare la banca dati cartografica provinciale. Nel SIT sono inoltre state inserite le localizzazioni dei siti di intervento, l'indicazione della sentieristica e delle aree sottoposte a divieto della pratica del motocross o dell'arrampicata secondo i regolamenti previsti.

[1] Il formato SLD è uno standard OGC che permette di definire le tematizzazioni relative alle cartografie in modo semplice e veloce.

Il progetto "Life+ SOR.BA." si sviluppa all'interno del parco naturalistico "Bosco delle Sorgenti" istituito dalla Provincia di Vicenza nel 2008 ai sensi della L.R. 40/1984. La Provincia stessa ha ottenuto l'assegnazione della sovvenzione da parte della Commissione Europea (09NAT/IT/000213) per la riqualificazione delle sorgenti di uno dei più importanti fiumi di risorgiva a livello europeo, il fiume Bacchiglione, con la riconversione ad habitat naturalistici di un sito fino a poco tempo fa utilizzato come piscicoltura.
Il progetto "Life+ AQUOR", iniziato nel settembre 2011 con un programma di lavoro di tre anni, è stato concepito come azione dimostrativa atta a favorire l'inversione dell'attuale trend di sovra sfruttamento delle risorse idriche sotterranee e a incrementare il tasso di ricarica idrogeologica degli acquiferi, con lo scopo di riequilibrare le falde dell'Alta Pianura Vicentina e di garantirne l'uso sostenibile da parte delle generazioni attuali e future.
L'integrazione tra la banca dati del Sistema Informativo Territoriale con le banche dati naturalistiche derivanti dai progetti LIFE è un utile strumento di supporto alle attività della Provincia inerenti sia le Valutazioni di Incidenza Ambientale.

**Conclusioni**

La Provincia di Vicenza, ha da sempre perseguito l'obiettivo della interoperabilità e della standardizzazione dei propri servizi geografici ed in tale ottica il Geoportale si configura come lo strumento principale per distribuire le informazioni e le applicazioni in maniera facile e veloce a un vasto numero di potenziali Utenti.
I dati territoriali e ambientali di tipo pubblico vengono messi a disposizione grazie ai servizi WMS, contribuendo, di fatto, all'interoperabilità degli strati informativi disponibili.

# Il sistema informativo SISBON. Un esempio di gestione integrata della banca dati dei siti interessati da procedimento di bonifica in Toscana

Marco Bazzani, Camillo Berti, Cinzia Licciardello,
Stefano Menichetti, Barbara Sandri

ARPAT, Settore Sistema Informatico Regionale dell'Ambiente della Toscana (SIRA)
Firenze, Via N. Porpora 22, Tel. 055 320.61
m.bazzani@arpat.toscana.it, c.berti@arpat.toscana.it, c.licciardello@arpat.toscana.it,
s.menichetti@arpat.toscana.it, b.sandri@arpat.toscana.it

**Riassunto**

*La Regione Toscana ha informatizzato la gestione dei dati relativi ai siti interessati da procedimento di bonifica, tramite la realizzazione di un apposito sistema informativo, che si articola in una banca dati e in un applicativo web di inserimento e consultazione dei dati integrato con front-end geografico.*

*L'applicativo SISBON (Sistema Informativo Siti interessati da procedimento di BONifica), realizzato dal Settore SIRA (Sistema Informativo Regionale dell'Ambiente della Toscana) di ARPA Toscana, è finalizzato alla gestione della "Banca dati dei siti interessati da procedimento di bonifica" che viene condivisa su scala regionale con tutte le amministrazioni coinvolte e che è organizzata nell'ambito del Sistema Informativo Regionale dell'Ambiente.*

**Abstract**

*Contaminated sites management in Tuscany can be done now via the SISBON Information System. The system includes a database with both administrative and geographic informations, plus specific front ends for both data types developed in mixed proprietary and open source technologies. The SISBON Information System has been developed by SIRA, the Environmental Information System of Tuscany, in order to share all sites' data with all subjects – both public and private - involved in contaminated sites management.*

## Il progetto di informatizzazione della Banca dati dei siti interessati da procedimento di bonifica

La Regione Toscana ha informatizzato la gestione dei dati relativi ai siti interessati da procedimento di bonifica, affidando all'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) l'attuazione del "Progetto Anagrafe" con l'obiettivo di realizzare un apposito sistema informativo, che si articola in una banca dati e in un applicativo web, condiviso ed accessibile da tutte le amministrazioni coinvolte nei procedimenti di bonifica (strumento previsto nell'ambito della normativa di settore per fini conoscitivi e di gestione del territorio).

Il progetto è stato articolato su due ambiti tra loro complementari:

- contribuire alla produzione di un atto regionale che - tenendo conto di tutte le variazioni normative nazionali e regionali intercorse durante l'ultimo decennio in materia di banca dati e anagrafe dei siti contaminati sul piano tecnico ed amministrativo - definisse i contenuti informativi, le competenze di ARPAT e quelle delle Province, nonché i flussi informativi nelle diverse fasi del procedimento tra queste istituzioni e i soggetti obbligati (il responsabile della contaminazione e/o il proprietario non responsabile che abbia attivato o intenda attivare il

procedimento), ovvero i consulenti tecnici che agiscono per conto di questi ultimi (società di consulenza ambientale, professionisti). In tal senso, l'atto regionale (Delibera della Giunta regionale della Toscana, n. 301 del 15/03/2010, "Linee guida e indirizzi operativi in materia di bonifica di siti inquinati") ha rappresentato la condizione necessaria ed indispensabile per mantenere aggiornato il sistema e, in sintesi, per ottimizzare il processo complessivo;
- realizzazione, popolamento iniziale ed attivazione di supporto informatico *on line*, destinato a superare il solo scopo di reportistica per diventare strumento di conoscenza, comunicazione, scambio e aggiornamento permanente delle informazioni di tutti i soggetti coinvolti.

L'applicativo SISBON (Sistema Informativo Siti interessati da procedimento di BONifica (http://sira.arpat.toscana.it/sira/sisbon.html), organizzato e realizzato nell'ambito del Sistema Informativo Regionale Ambientale (SIRA) da ARPAT, è quindi lo strumento frutto del "Progetto Anagrafe" finalizzato alla gestione della "Banca dati dei siti interessati da procedimento di bonifica" definita dalla DGRT 301/2010 e all'attuazione delle procedure previste nella sezione dedicata all'utilizzo di apposita Modulistica.

**La struttura della Banca dati**

L'idea base dello svolgimento del "Progetto Anagrafe" è stata la necessità di ragionare non solo in termini di "Anagrafe dei siti contaminati", ma in modo più esteso in termini di "Banca dati", comprensiva di tutti i siti interessati da procedimento di bonifica (a partire dal momento della notifica iniziale di potenziale contaminazione), e di individuare – di conseguenza - al suo interno appositi spazi opportunamente strutturati in cui collocare i siti in funzione del regime normativo e della fase in cui si trova l'iter del procedimento nel corso del suo svolgimento.
Prima di procedere alla vera e propria progettazione della struttura del database è stato quindi affrontato il problema interpretativo relativo al momento in cui un sito "entra in Anagrafe" ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e ai sensi della normativa antecedente al D.Lgs. 152/2006: un sito deve essere inserito in Anagrafe al momento in cui viene riconosciuto contaminato ai sensi della normativa vigente ovvero al momento del riconoscimento dello stato di contaminazione. In tal senso la Banca dati realizzata comprende sia i siti "in anagrafe" (ricadenti nella definizione di contaminati), sia i siti "non in anagrafe" (potenzialmente contaminati).
L'altra importante suddivisione riguarda lo stato di svolgimento dei procedimenti: si distinguono infatti iter attivi e iter chiusi, cioè per i quali esiste un provvedimento che attesti la non necessità di intervento ovvero - per i siti precedentemente riconosciuti come contaminati - il completamento delle attività di bonifica o di messa in sicurezza. In questo modo sono state individuate le quattro macrocategorie evidenziate nella figura seguente.

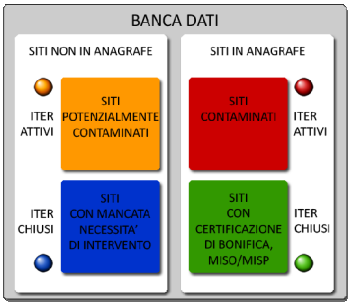



*Figura 1. Le sezioni della Banca Dati individuate in base allo stato del procedimento.*

Un sito si sposta da una macrocategoria all'altra della banca dati in funzione della variazione dello "stato dell'iter" che è determinato dell'evolversi dell'istruttoria tecnica e amministrativa in termini di "regime normativo", "fase", "sottofase".

**I contenuti della Banca dati**

Nel rispetto delle Linee guida APAT "Criteri per la predisposizione dell'Anagrafe dei Siti da Bonificare, ex DM Ambiente 471/1999" e in attuazione di quanto previsto dal "Piano regionale dei siti da bonificare" (DGRT 384/1999, punto 4.7 della parte relativa alla bonifica delle aree inquinate), i contenuti informativi relativi ai siti interessati da procedimenti di bonifica rispondono a quanto previsto dagli standard nazionali per le sezioni anagrafica, amministrativa, tecnica, finanziaria e sono organizzati in funzione delle modalità degli aggiornamenti effettuati sia dalle amministrazioni coinvolte, sia da parte dei soggetti obbligati tramite la compilazione on-line della modulistica prevista dalla DGRT 301/2010.

In termini di contenuti, vale la pena di ricordare due delle principali innovazioni introdotte nella gestione dei procedimenti di bonifica in Toscana:

- la predisposizione di un *front-end* geografico che permette la consultazione e l'aggiornamento via web delle informazioni di localizzazione puntuale del sito (fase di notifica) e di perimetrazione (fasi successive), attraverso strumenti flessibili e di facile utilizzo. La gestione semplificata delle informazioni geografiche è di estrema rilevanza in termini di supporto agli strumenti di gestione del territorio sia per i vincoli ricadenti sulle aree interessate da procedimento di bonifica, sia per la predisposizione di eventuali piani di monitoraggio, ad esempio sulle aree con procedimenti chiusi a seguito dello svolgimento dell'analisi di rischio;
- la costituzione di una banca dati dei risultati analitici derivanti dalle diverse fasi del procedimento, prodotti sia dal soggetto obbligato che da ARPAT; tale gestione delle informazioni analitiche è di estrema rilevanza sia nell'ambito delle attività di controllo e validazione dei dati raccolti dai privati sia nell'ambito della conoscenza ambientale.

**L'applicativo SISBON**

L'applicativo SISBON è accessibile tramite un normale browser di rete ed è organizzato in:

- sezioni pubbliche (tra cui quella per la notifica di una potenziale contaminazione);
- sezioni con accesso riservato per i soggetti obbligati e per le pubbliche amministrazioni.

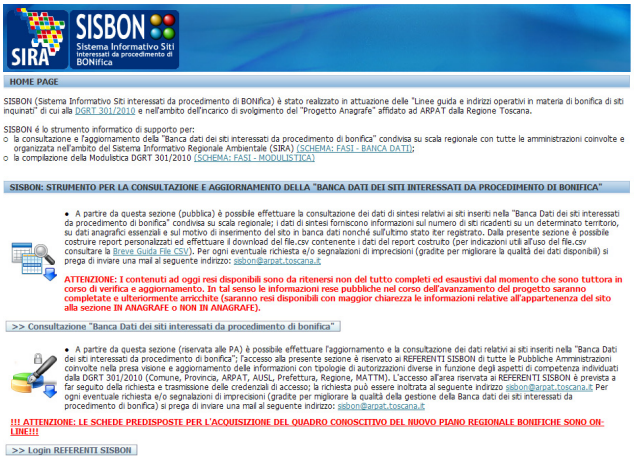



*Figura 2. Pagina di accesso all'applicativo SISBON (sezione pubblica e privata).*

Uno dei punti di forza del sistema informativo dei siti interessati da procedimenti di bonifica consiste proprio nella condivisione di un'unica banca dati non solo tra le diverse pubbliche amministrazioni coinvolte, ma anche con i privati (soggetti obbligati), sia direttamente, sia attraverso le società di consulenza, dove ogni soggetto in base al proprio profilo può visualizzare e/o modificare i dati di propria competenza nel corso dello svolgimento del procedimento.

L'utilizzo di SISBON sta consentendo di uniformare le procedure e di raccogliere informazioni standardizzate in modo tale da conseguire una più efficace acquisizione, gestione e organizzazione e un migliore controllo dei flussi informativi, così come previsto dalla DGRT 301/2010. In ogni caso l'informatizzazione dei flussi ha fin da subito evidenziato quale sia la maggior accuratezza richiesta sia ai soggetti obbligati, sia alle amministrazioni coinvolte nei procedimenti, oltre a costituire efficace strumento per la gestione di un tema di rilievo per la pianificazione del territorio e la salute dei cittadini.

**Le tecnologie utilizzate**

L'applicativo SISBON è stato sviluppato con tecnologia Oracle APEX (distribuito gratuitamente con il sistema RDBMS Oracle), cioè un ambiente per la creazione rapida di applicativi e servizi web basati su informazioni archiviate e gestite tramite database Oracle.

L'utilizzo dell'applicativo è soggetto ad autenticazione, tranne alcune pagine che sono ad accesso pubblico (ad esempio la notifica di una potenziale contaminazione). L'interfaccia utente è organizzata in sezioni a seconda della tipologia di utenza:

- sezione pubblica destinata alla consultazione libera della banca dati, che consente l'accesso alle informazioni di interesse generale (individuazione e localizzazione dei siti e informazioni generali sullo stato del procedimento);
- sezione riservata ai soggetti istituzionali (ARPA, Province, Comuni, Aziende Sanitarie Locali, Prefetture, Regione, Ministero dell'Ambiente), finalizzata – oltre che alla consultazione delle informazioni di dettaglio presenti nella banca dati – all'aggiornamento dei dati di competenza e alla validazione delle informazioni inserite dai soggetti obbligati;
- sezione riservata ai privati (soggetti obbligati o consulenti), tramite la quale viene compilata la modulistica prevista dalla DGRT 301/2011.

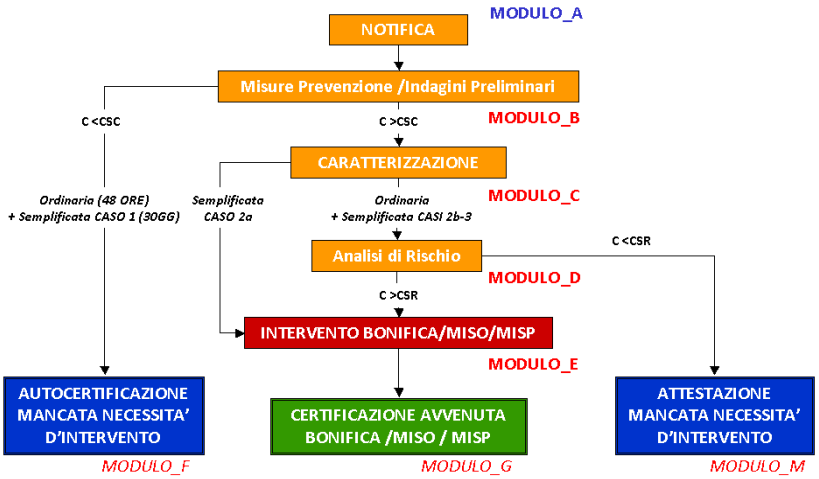



*Figura 3. Moduli e workflow applicativo.*

Tale sezione è articolata per moduli, uno per ogni fase dell'iter del procedimento di bonifica:

- modulo A: notifica di potenziale contaminazione (contenente le informazioni anagrafiche sul sito – inclusa la localizzazione puntuale - e le generalità dei soggetti obbligati ai fini della registrazione in banca dati);
- modulo B: trasmissione dei dati relativi alle indagini preliminari svolte e alle eventuali misure di prevenzione attuate (informazioni tecniche, inclusa la perimetrazione, le matrici ambientali);

- modulo C: trasmissione dei dati relativi agli esiti della caratterizzazione (contenente, oltre a informazioni tecniche, anche le informazioni catastali);
- modulo D: trasmissione dei dati relativi agli esiti dell'analisi di rischio elaborata;
- modulo E: trasmissione dei dati relativi agli esiti degli interventi di bonifica, messa in sicurezza operativa o permanente ultimati.

Oltre all'archiviazione dei dati relativi a ciascun modulo, nelle sezioni per la consultazione sintetica vengono presentati i dati derivanti dall'ultimo modulo inserito.

Le informazioni geografiche sono archiviate all'interno del database sia nella forma di coppia di coordinate, che individuano il centroide del sito soggetto a procedimento di bonifica (localizzazione di massima), sia nella forma di perimetrazione poligonale in formato WKT (georeferenziazione di dettaglio), presente in due distinte versioni:

- perimetrazione amministrativa, ovvero la perimetrazione, costituita dalla sommatoria di tutte le particelle catastali interessate dal procedimento;
- perimetrazione tecnica, definita sulla base delle indagini e degli interventi sul sito: individua solo l'area effettivamente interessata dalla contaminazione (potenziale o accertata). La perimetrazione tecnica può risultare di dimensioni inferiori alla perimetrazione amministrativa, dal momento che la perimetrazione oggetto d'indagine può essere soggetta a modifiche nel corso del procedimento e non ricomprende necessariamente l'area complessiva della/e particella/e interessata/e.

La localizzazione di massima viene definita in fase di notifica, mentre le perimetrazioni amministrativa e tecnica vengono definite nel corso delle fasi successive del procedimento.
Nella banca dati sono state caricate in fase di avvio del sistema tutte le geometrie acquisite dalle amministrazioni provinciali e da ARPAT nell'ambito dell'attività istituzionale e realizzate tramite digitalizzazione a video (con riferimento alla cartografia tecnica e alle ortofoto in scala 1:10.000) sulla base della documentazione cartacea o delle informazioni catastali fornite dai soggetti obbligati. Nel caso in cui non sia definito alcun tipo di perimetrazione (sia per la difficoltà di reperirne la documentazione sia qualora lo svolgimento del procedimento non abbia previsto o sia in attesa della compilazione on-line della modulistica) l'applicativo associa automaticamente al sito una perimetrazione predefinita, costituita da un rombo centrato sul punto indicato come localizzazione approssimata del sito.
Per agevolare l'inserimento delle informazioni di georeferenziazione è stato predisposto un modulo geografico che integra la libreria OpenLayers, disponibile con licenza *open source*, con le pagine APEX della modulistica, che consente all'utente di visualizzare una mappa centrata al momento della notifica sul centroide del Comune in cui si ricade il sito e nel seguito sul centroide della localizzazione.
Nel modulo A vengono presentati all'utente i pulsanti per l'inserimento/spostamento/cancellazione di un punto sulla mappa, mentre nei moduli B-C-D-E vengono presentati i pulsanti per l'inserimento/spostamento/cancellazione di un poligono. Nel caso dell'inserimento di un poligono è possibile modificare le singole posizioni dei vertici tramite selezione e trascinamento, come pure la cancellazione. Su tutte le tipologie di informazioni relative alla georeferenziazione (di massima e di dettaglio) viene effettuata la verifica di inclusione all'interno del *bounding box* del Comune di appartenenza, dichiarato nel modulo A.

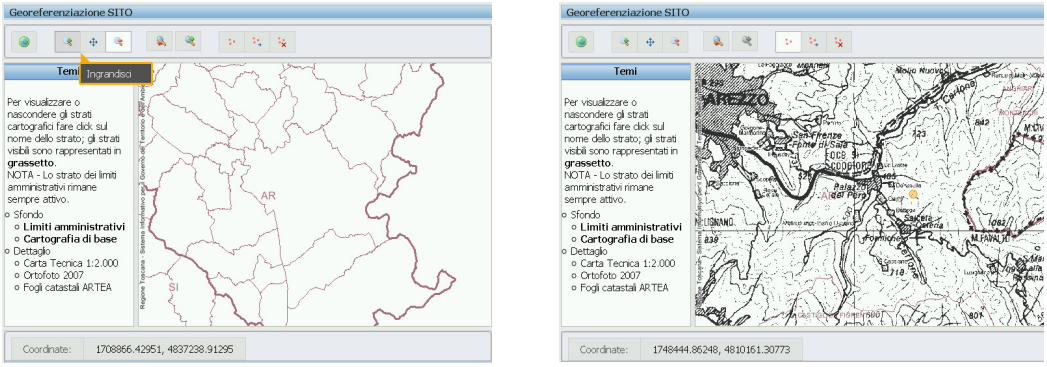



*Figura 4. Front-end geografico per la geolocalizzazione del sito.*

Per una migliore precisione di georeferenziazione è stato deciso di utilizzare come base cartografica la Cartografia Tecnica Regionale (CTR) della Toscana alle scale 1:10.000 e 1:2.000. Oltre alla CTR, sulla mappa è possibile visualizzare sia le ortofotocarte realizzate nell'anno 2007, ai fini di una migliore interpretazione del territorio circostante al sito, sia gli strati dei fogli e delle particelle catastali; tutti gli strati cartografici sono forniti dal Settore "Sistema informativo territoriale e ambientale" della Regione Toscana in formato WMS (*Web Map Service*) tramite il servizio Geoscopio.

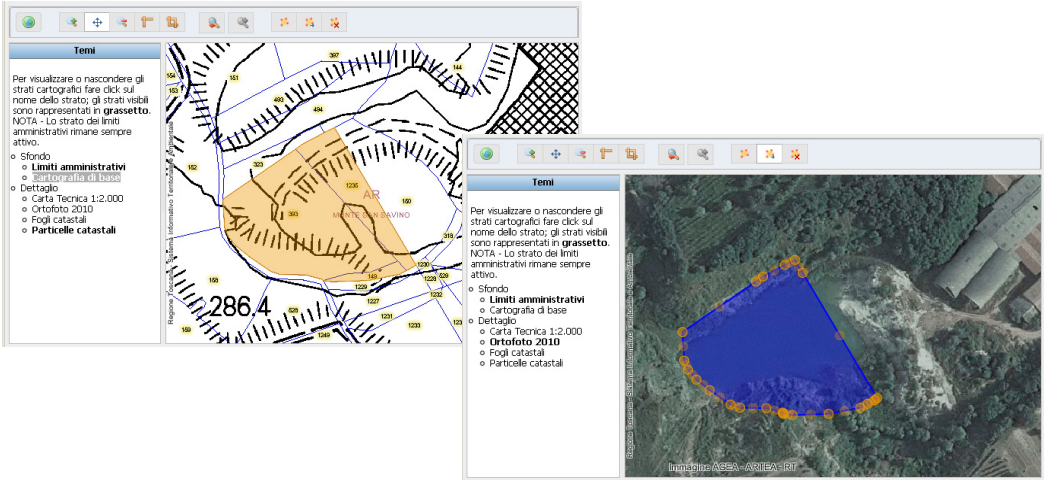



*Figura 5. Le basi cartografiche utilizzate per le operazioni di georeferenziazione di dettaglio.*

E' stata infine realizzata una mappa di riepilogo, dalla quale tutte le amministrazioni pubbliche coinvolte nei procedimenti possono visualizzare le informazioni di georeferenziazione di massima (localizzazioni puntuali) e di dettaglio (perimetrazioni); dal momento che la mappa di riepilogo costituisce uno strumento di reportistica e consultazione rapida dei dati, ne è stata realizzata una versione aggiuntiva utilizzando come strato di base le foto satellitari fornite dal servizio Google (API versione 3), data la maggiore dimestichezza dell'utente finale con questo tipo di informazione geografica. Per maggiore semplicità di utilizzo, nella pagina della mappa è stato integrato il servizio libero di ricerca geografica Nominatim, basato su dati liberi OpenStreetMap e fornito da Mapquest.

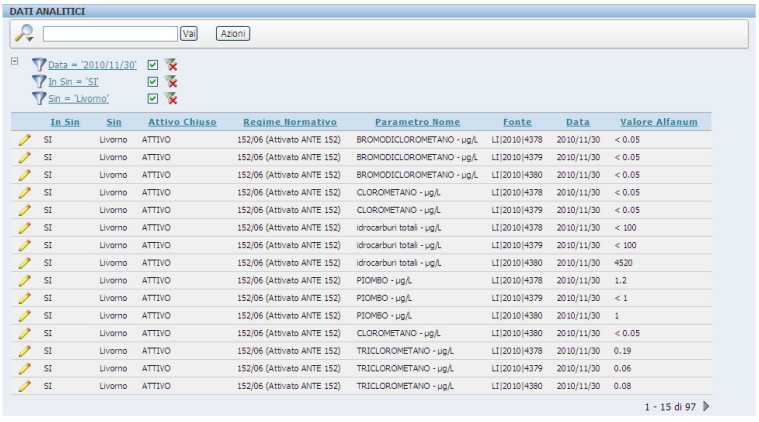



*Figura 6. La mappa complessiva dei siti soggetti a procedimento di bonifica.*

Le informazioni di georeferenziazione sono rese disponibili alla mappa tramite *web services* realizzati in APEX; gli strati, associati e caratterizzati da veste grafica corrispondente allo stato dell'iter del procedimento di bonifica (siti in anagrafe/non in anagrafe, iter attivi/iter chiusi), vengono acquisiti dai *web services* nei formati vettoriale JSON e WKT e aggiornati dinamicamente in base all'estensione visualizzata per ridurre al minimo il tempo di caricamento/aggiornamento della pagina. Sia per motivi di leggibilità della mappa che di prestazioni di caricamento della pagina le perimetrazioni vengono mostrate a partire dalla scala 1:2.000. Le informazioni di localizzazione puntuale vengono invece presentate a partire dalla scala regionale; in questo caso, per garantire il corretto funzionamento dell'applicativo con browser che gestiscono un numero limitato di geometrie, le informazioni vengono precedentemente raggruppate in *cluster* spaziali sulla base dello stato dell'iter associato al singolo sito.

**Il report dei dati analitici**

Tra le finalità dell'applicativo SISBON è compresa la costituzione di una banca dati dei risultati analitici derivanti dalle diverse fasi del procedimento, prodotti sia dal soggetto obbligato che da ARPAT nell'ambito delle attività di controllo e validazione.




| In Sin | Sin | Attivo Chiuso | Regime Normativo | Parametro Nome | Fonte | Data | Valore Alfanum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | BROMODICLOROMETANO - µg/L | LI\|2010\|4378 | 2010/11/30 | < 0.05 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | BROMODICLOROMETANO - µg/L | LI\|2010\|4379 | 2010/11/30 | < 0.05 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | BROMODICLOROMETANO - µg/L | LI\|2010\|4380 | 2010/11/30 | < 0.05 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | CLOROMETANO - µg/L | LI\|2010\|4378 | 2010/11/30 | < 0.05 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | CLOROMETANO - µg/L | LI\|2010\|4379 | 2010/11/30 | < 0.05 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | idrocarburi totali - µg/L | LI\|2010\|4378 | 2010/11/30 | < 100 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | idrocarburi totali - µg/L | LI\|2010\|4379 | 2010/11/30 | < 100 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | idrocarburi totali - µg/L | LI\|2010\|4380 | 2010/11/30 | 4520 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | PIOMBO - µg/L | LI\|2010\|4378 | 2010/11/30 | 1.2 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | PIOMBO - µg/L | LI\|2010\|4379 | 2010/11/30 | < 1 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | PIOMBO - µg/L | LI\|2010\|4380 | 2010/11/30 | 1 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | CLOROMETANO - µg/L | LI\|2010\|4380 | 2010/11/30 | < 0.05 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | TRICLOROMETANO - µg/L | LI\|2010\|4378 | 2010/11/30 | 0.19 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | TRICLOROMETANO - µg/L | LI\|2010\|4379 | 2010/11/30 | 0.06 |
| SI | Livorno | ATTIVO | 152/06 (Attivato ANTE 152) | TRICLOROMETANO - µg/L | LI\|2010\|4380 | 2010/11/30 | 0.08 |

*Figura 7. La pagina di consultazione del report dei dati analitici.*

A tal fine, sono stati predisposti specifici tracciati record di acquisizione dei dati analitici da parte dei soggetti obbligati acquisiti tramite la compilazione della modulistica, che possono essere associati ai dati dei controlli ARPAT, presenti nella banca dati del Laboratorio, attraverso l'utilizzo congiunto di un "codice_campione" stabilito al momento del prelievo.
E' previsto che i dati acquisiti in via automatica dai tracciati record siano inizialmente restituiti ai soggetti obbligati sempre tramite l'applicazione per la consultazione, interrogazione e download, correzione, integrazione e finale conferma dei dati inseriti.
Successivamente è previsto il processo di validazione per il quale ARPAT sta ultimando una apposita "Procedura per il confronto del dato tra laboratori". Supportata dalle banche dati, la procedura utilizza criteri quanto possibile univoci ed oggettivi per il confronto tenendo conto del parametro dell'incertezza analitica ed anche di approcci di tipo statistico sulle popolazioni dei dati, complementari al criterio del confronto e della valutazione dei singoli valori.

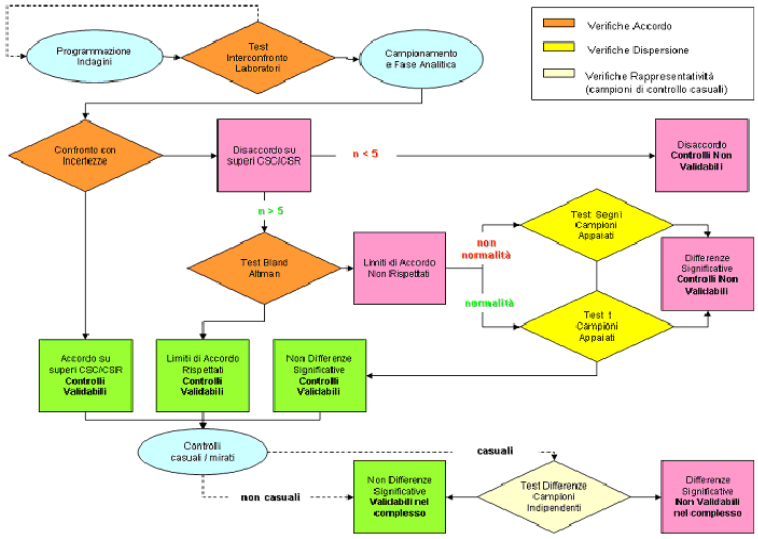



*Figura 8. Schema della procedura di validazione dei dati analitici.*

**Bibliografia**

APAT, *Criteri per la predisposizione dell'Anagrafe dei Siti da Bonificare, ex DM 471/99.*
Corleto T. (2011), "SISBON. Un valido esempio di gestione, trasmissione e controllo dei dati", *ECO. Bonifiche Rifiuti Demolizioni,* 16:12-15.
Fornò S. et al. (2010), *Anagrafe Siti Contaminati – integrazione con SIGMATER*, in *Atti della 14a Conferenza Nazionale ASITA* (Brescia 9-12 novembre 2010), 1013-1017.
Open Gis Consortium (2011), *OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture*, v. 1.2.1.
*Openlayers*, <http://openlayers.org/> (09/2012).
Piazzano P. et al. (2007), *Processi di acquisizione dei dati ambientali per il governo e la tutela del territorio: siti contaminati e aree industriali dismesse*, in *Atti della 11a Conferenza Nazionale ASITA* (Torino 6-9 novembre 2007).
Regione Toscana (1999), *Delibera giunta regionale*, n. 384/1999 ("Piano Regionale di gestione dei rifiuti - Terzo stralcio relativo alla bonifica delle aree inquinate").
Regione Toscana (2011), *Delibera giunta regionale*, n. 301/2010 ("Linee guida e indirizzi operativi in materia di bonifica di siti inquinati").

# Realizzazione di cartografia di dettaglio di area franosa attraverso l'uso di UAV planante Sensefly e software innovativo APS per generare ortofoto, DSM e DTM

Danilo Ballavita (*), Leonardo Tolomei (**), Annalisa Mazzitelli (***)

(*) RPA, Perugia, frazione Fontana, Strada del Colle 1/A, 075 518631
(**) Menci Software srl, Loc. Tregozzano 87, 52100 Arezzo, 0575 383960
(***) Libero professionista, Via Annibale Vecchi 66, 06123 Perugia, 0753722556

**Riassunto**
Avere a disposizione dati cartografici/morfologici (DTM) affidabili e immediati è di fondamentale importanza nella risoluzione delle problematiche ambientali che rivestono carattere d'urgenza, come ad esempio quelle relative ad un movimento franoso. Per questo nel comune di Vibo Valentia, si è deciso di ricorrere all'utilizzo di un UAV, nello specifico un drone planante Swinglet CAM di Sensefly e di un software apposito, APS di Menci Software, per la gestione delle immagini provenienti dall'acquisizione a bassa quota. I risultati ottenuti, dagli ortofotomosaici alla cartografia restituita, sono sia dal punto di vista metrico che cartografico, qualitativamente paragonabili alle migliori tecnologie AFG comunemente utilizzate.

**Abstract**
For the resolution of environmental issues with urgent nature it is crucial to have reliable and immediate results. For this reason, for the acquisition of spatial data associated with landslides in place in the municipality of Vibo Valentia, was used a UAV, specifically a drone planing Swinglet CAM of Sensefly and an appropriate software, APS Menci Software, for the management of the images coming from the acquisition at low altitude. The results obtained, ortophotomosaics and cartography, are qualitatively comparable to the technologies commonly used both from the point of view metric that cartographic.

**Introduzione**
L'ingegneria per la risoluzione delle problematiche ambientali che rivestono carattere d'urgenza quale ad esempio quelle di un movimento franoso, richiede la disponibilità di dati conoscitivi che siano affidabili e disponibili nel più breve tempo possibile. L'aspra morfologia del territorio, unita all'urgenza della formazione di coperture orto fotografiche, cartografiche e morfologiche (DTM), di supporto alla progettazione degli interventi di messa in sicurezza e di consolidamento, ha indotto a considerare e utilizzare una metodologia innovativa, che potesse fornire rapidità e affidabilità dei dati territoriali prodotti.
Per questo si è ricorso all'impiego di un drone ad ala fissa, dotato di opportuni sensori afg per la acquisizione dei dati territoriali, associati ai movimenti franosi in atto nel comune di Vibo Valentia che, se pur interessando modeste superfici in zone puntuali e distanti, risultano fortemente impattanti.
L' obiettivo è stato raggiunto mediante l'utilizzo di tecnologie emergenti quali UFLy per la generazione automatica di modelli digitali del terreno ad alta risoluzione e per la generazione di ortofoto, in grado di processare grandi quantità di dati in tempi molto rapidi. Attraverso lo sviluppo di tecnologie software già consolidate in azienda, per Menci è stato possibile realizzare due software per la generazione di informazioni metriche dalle immagini provenienti da droni UAV sia

a rotore sia plananti e restituire un modello tridimensionale esatto dell'area ripresa. Il sistema di processamento dei dati è ad alto grado di automazione e di grande accuratezza metrica nella ricostruzione del profilo geometrico della superficie.
Le tecnologie emergenti per la loro economia di competenze d'uso, praticità e generale vantaggio in termini di risorse umane e finanziarie nella gestione degli stessi si pongono sempre più come supporto alle tecniche tradizionali per attività di rilievo territoriale di superfici non estese.
Il software APS messo a punto ha una grande efficienza operativa nella generazione delle mappe tridimensionali dell'ambiente. Sono state fatte sperimentazioni in ambienti di cave principalmente e frane, e si stanno ampliando le possibili casistiche applicative anche ai cantieri e pianificazione territoriale. Il caso di Vibo Valentia ne è un esempio.

**U-Fly di Menci Software**
Il sistema U-Fly è un prodotto di alto contenuto tecnologico, progettato per l'acquisizione e la produzione di informazioni metriche tridimensionali nell'ambito del rilievo territoriale, ambientale, di siti di interesse storico, archeologico, culturale. La soluzione si compone di una parte hardware ed una software:
L'hardware è costituito da un drone UAV(*Figura 1*) (Unmanned Aerial Vehicles ovvero piccoli aerei senza pilota, controllati elettronicamente a distanza) planante Swinglet CAM di Sensefly, che funge da vettore per sostenere una camera digitale calibrata preposta all'acquisizione di immagini con criterio fotogrammetrico. L'UAV è radiocomandato da PC (*Figura 2*) tramite il software in dotazione (*e.mo.tion*) ed è dotato delle apparecchiature di bordo (GPS, giroscopio, accelerometri, etc.) in grado di renderlo una piattaforma estremamente stabile, maneggevole e dai contenuti costi di esercizio.

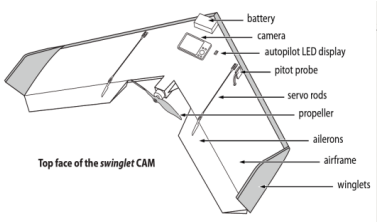



*Figura 1. Drone UAV planante Swinglet CAM di Sensefly.*



*Figura 2. Drone UAV planante Swinglet CAM di Sensefly con PC.*

Il software APS che accompagna il drone UAV è una stazione di elaborazione fotogrammetrica automatizzata di ultima generazione che rappresenta l'innovativa soluzione tecnologica di Menci specializzata per la generazione di ortofoto, DTM, curve di livello e DSM, nonché per la generazione automatica di nuvole di punti a partire da immagini di prossimità realizzate da drone planante con GPS a bordo.
La praticità d'uso dello Swinglet ed il completo automatismo del software, rendono lo strumento Ufly interessante per molteplici situazioni di rilievo aereo a bassa quota, al fine di ottenere elaborati in scala 1:500.

**Caso applicativo**
Il drone UAV planante Swinglet CAM di Sensefly è stato utilizzato per il rilievo fotogrammetrico di cinque aree soggette a movimenti franosi (*Figura 3)* tutte localizzate nel comune di Vibo Valentia denominate:1Vibo Valentia–2 San Pietro di Bivona – 3 Piscopio – 4 Triparni – 5 Ex tracciato Ferrovie Calabro-Lucane.

Il territorio comunale di Vibo Valentia si sviluppa prevalentemente sull'altopiano costituente il prolungamento verso NE "dell'alto strutturale" rappresentato dal Massiccio di Monte Poro. Oltre metà del territorio comunale è costituita dal versante occidentale del rilievo, il quale presenta pendenze molto sostenute nella parte di monte, quindi prosegue verso il mare con pendenze generalmente decrescenti, fino a giungere ad una modesta pianura che giunge con debolissima pendenza al mare. Il denso reticolo fessurativo e/o il degrado prodotto dagli agenti meteorici alle rocce costituenti l'ossatura dei principali rilievi del territorio, rappresentano gli elementi predisponenti per fenomeni di erosione e movimenti franosi di varia tipologia.

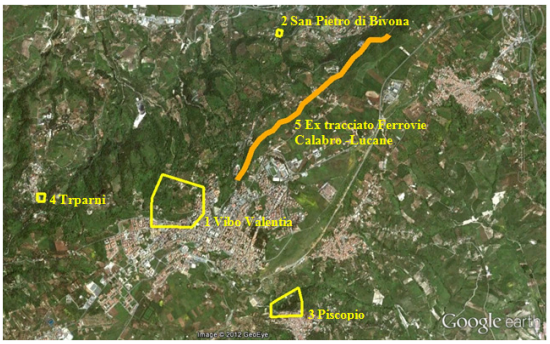



*Figura 3. Localizzazione delle aree in frana nel comune di Vibo Valentia: 1Vibo Valentia–2 San Pitro di Bivona – 3 Piscopio – 4 Triparni – 5 Ex tracciato Ferrovie Calabro-Lucane.*




*Figura 4. Perimetro dell'area di frana Vibo Valentia in rosso i GCP in blu il vertice IGM95.*

L'area di maggior interesse per l'applicazione del drone UAV planante Swinglet CAM è quella riguardante la frana di Vibo Valentia (*Figura 4)* perché il blocco di fotogrammi acquisiti è il più esteso e pertanto più rilevante sia per la realizzazione del volo che per la generazione del modello morfologico.
La frana si trova sul versante a NW dell'abitato di Vibo Capoluogo, che si estende fra Contrada Buffetta (ad est) e Via Gallizzi (ad ovest), copre una superficie di circa 1.43 km quadrati ed è interessata da dislivelli superiori a 250 m tra la parte a valle e quella a monte. l'area è stata suddivisa in due ambiti principali per posizione geografica, tale suddivisione trova riscontro anche negli effetti del dissesto sulle strutture e infrastrutture esistenti: la zona denominata "Affaccio" corrisponde al settore occidentale, quella denominata "Cancello Rosso" al settore orientale.

**Fasi del progetto di ripresa**

Per ciascun'area in esame le fasi del progetto di ripresa con il drone UAV sono state organizzate secondo il seguente schema:
**- in ufficio:** attraverso l'utilizzo di dati territoriali quali è stata studiata con dettaglio la morfologia del territorio, sono state analizzate le variazioni di quote sulla zona in frana e valutati i possibili punti di decollo/atterraggio per l'UAV che risulta il medesimo per tutti i voli sulla stessa area, situato in prossimità della quota più alta, ciò al fine di rispettare le condizioni di risoluzione richiesta.
Con il software in dotazione (*e.mo.tion*) è stato stimato il numero di voli necessari per coprire l'area di interesse, si è proceduto quindi alla pianificazione vera e propria del volo impostando area, risoluzione, sovrapposizione laterale e longitudinale delle immagini.
Considerata la durata massima della batteria alla quota di 200 m, la copertura dell'intera area in frana è stata effettuata pianificando 3 voli (*Figura 5*).



*Figura 5. Esecuzione effettiva dei piani di volo sulla frana di Vibo Valentia.*

**- in situ**: con il software in dotazione (*e.mo.tion*) si trasferisce al drone UAV il piano di volo precedentemente programmato e si effettuano i controlli pre-volo.
Lo swinglet CAM esegue il piano di volo impostato dall'operatore e consente alla camera ad alta risoluzione di acquisire automaticamente le immagini tenendo in considerazione la sovrapposizione, la velocità del vento e la velocità di volo pianificati; i footprint delle immagini acquisite sono visualizzati in tempo reale sul PC dell'operatore costantemente per tutta la durata del volo in modo da avere il controllo visivo della copertura dell'area.
**- in ufficio:** si esamina in modo dettagliato ciascuna immagine acquisita al fine di scartare quelle che presentano vistosi effetti di "mosso"; attraverso il software in dotazione (*PostFlight Suite*) si procede quindi al geotag delle immagini con i relativi dati GPS-IMU.
Mediante il software APS di Menci Software si procede all'elaborazione della immagini acquisite al fine di eseguire l'aereo-triangolazione delle stesse, di generare il DTM, curve di livello, ortofoto-mosaico, DSM e modello 3d a nuvola di punti.

| | |
|---|---|
| Quota di volo: 150 m | Area: 1.43 km2 |
| GSD foto: da 5 a 8 cm | UAV: Swinglet CAM |
| GSD ortofoto: 10 cm | Numero totale di immagini: 932 |
| DTM step: 5 m | Numero totale di voli: 3 |
| DSM step: 40 cm | Tempo effettivo di volo: 81 minuti |
| Step curve di livello: 1 m | Tempo totale di processamento: 10h 40' |

*Tabella 1. Riepilogo delle informazioni di progetto per la frana di Vibo Valentia.*

**Elaborazioni per la frana di Vibo Valentia**
I dati ottenuti dal volo con il drone UAV sull'area in frana sono stati elaborati con il software APS della Menci, mentre il rilievo dei GCP e la restituzione cartografica degli elementi caratteristici è stata effettuata da RPA.
Al fine di garantire migliori precisioni e per eseguire la georeferenziazione in coordinate assolute, è stato condotto da parte dell'RPA un rilievo in modalità differenziale RTK stimando le coordinate di sei punti (rappresentati in rosso in figura4) sufficientemente distribuiti lungo l'area in frana in modo tale che potessero essere ben visibili sull'ortofoto finale.
Per il rilievo sono stati utilizzati ricevitori Zhephyr Geodetic Trimble, il ricevitore base è stato collocato su un vertice IGM95 (φ: 38°39'45,1477" λ:03°38'56,9258" h:461,141) rappresentato in figura4 con triangolo blu.
Tramite il software APS è eseguita prima la fase di Bundle Adjustment legando insieme le foto con un processo automatico ed accurato di estrazione delle features a cui segue la fase di collimazione semi automatica dei GCP.
Al termine del processo di aereo-triangolazione sono visualizzati i centri di presa delle immagini con gli orientamenti calcolati (*Figura 8).* Terminata la fase di bundle è possibile rifinire

l'orientamento esterno mediante l'utilizzo di punti topografici a terra (GCP) che sono collimati in monoscopia con l'ausilio di potenti funzioni automatiche di image matching. (*Figura 9*).



*Figura 8. Orientamento di tutte le immagini effettuato in Bundle Adjustment dal software APS.*

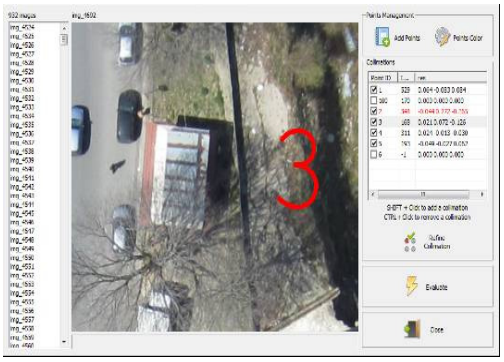


*Figura 9. Collimazione dei GCP e residui sui punti.*

Il processo di orto-mosaicizzazione come anche il processo di estrazione del DSM e modello 3d a nuvola di punti, avviene in completa automazione.
Nel caso specifico è stato realizzato un orto-mosaico in scala 1:1000 (*Figura10*) ed un DSM con risoluzione 40 cm (*Figura 11*).
Generalmente la generazione del modello 3d è realizzata con un passo 5 volte superiore al GSD delle immagini; considerando quindi il caso peggiorativo di 8 cm abbiamo generato un modello con risoluzione 40 cm.
Nelle figure 13 e 14 sono riportate alcune immagini del modello 3d generato, e nelle figure 15 e 16 sono riportate le immagini di due zone in dettaglio.

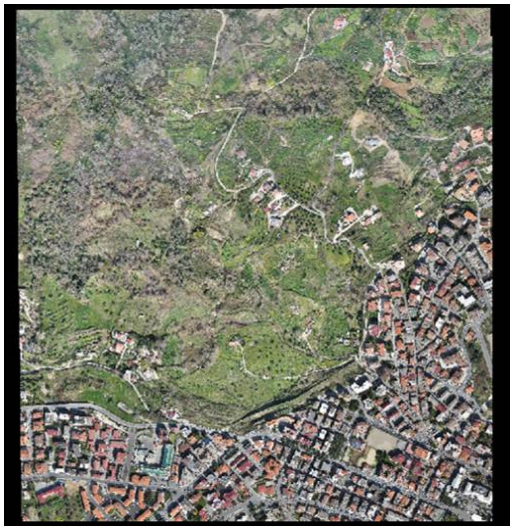


*Figura 10. Ortofoto-mosaico in scala 1:1000; Orthophoto Data: Extension (km$^2$): 1.433, Width (pix): 11424, Height (pix): 12544, Width (m): 1142, Height (m): 1254, GSD (m): 0.1000.*

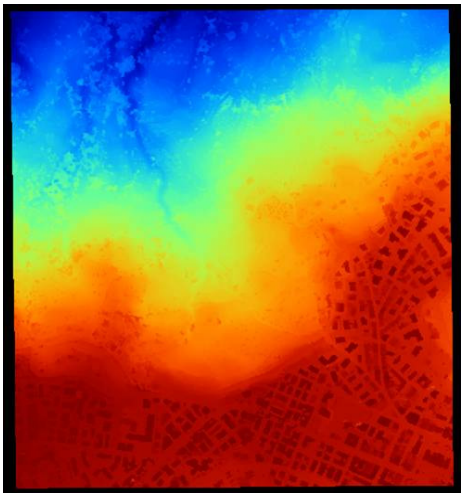


*Figura 11. DSM con risoluzione 40 cm. DSM / PointCloud Generation: Used Images: 931, Extension (km^2): 1.413, Step (m): 0.400, 3D Points: 8834208, PointCloud Time: 03:48:55, DSM Time: 02:24:40, Filtering Time: 00:56:50.*

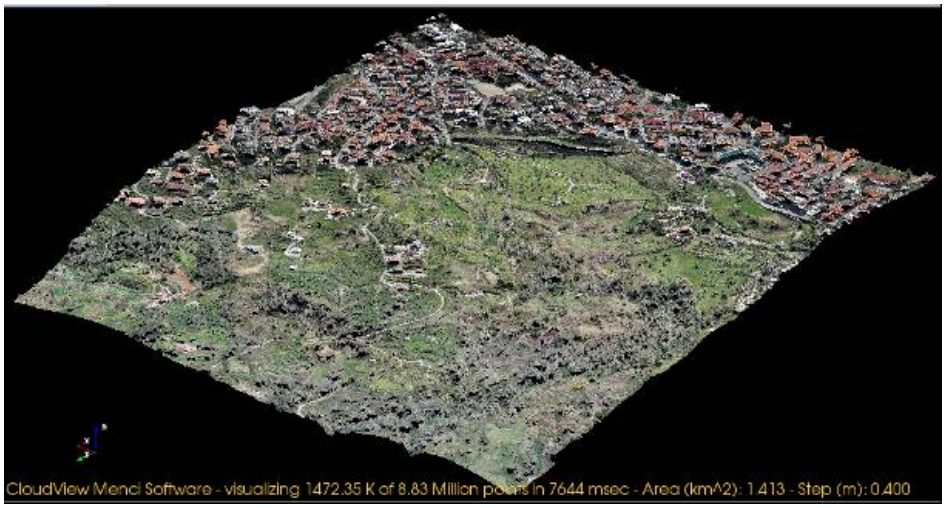



*Figura 13. Modello 3D a nuvola di punti RGB con passo 40 cm - vista1.*

Nello specifico caso di studio è stata curata una rappresentazione stereo della morfologia del territorio utilizzando Z-Map Photo della Menci, software per la produzione e l'elaborazione di dati cartografici; quindi a partire dalle foto orientate dal software APS, sono stati restituiti:
- modelli stereoscopici
- la cartografia di dettaglio (*Figura 17*).

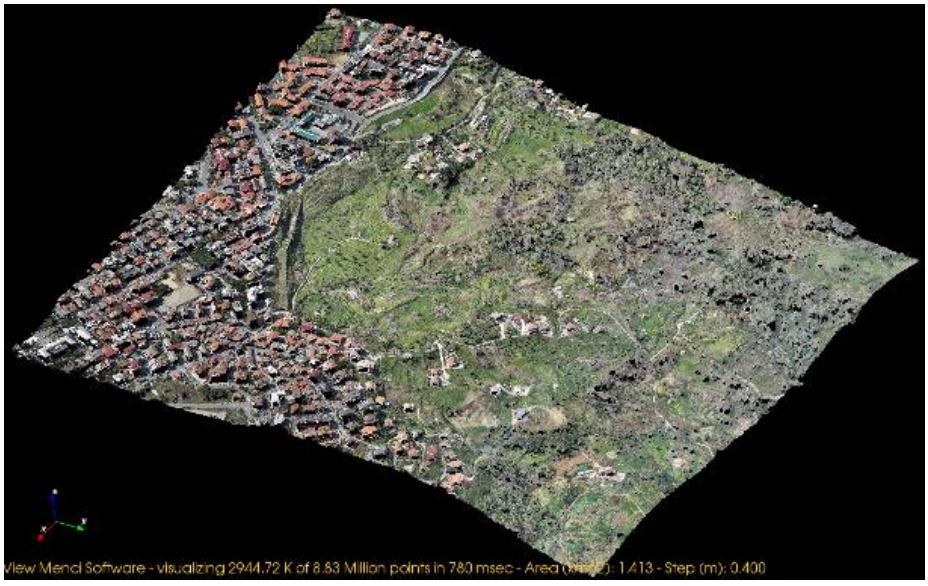



*Figura 14. Modello 3D a nuvola di punti RGB con passo 40 cm –vista 2.*



*Figura 15. Dettaglio modello 3D – zona 1.*



*Figura 16. Dettaglio modello 3D – zona 2.*

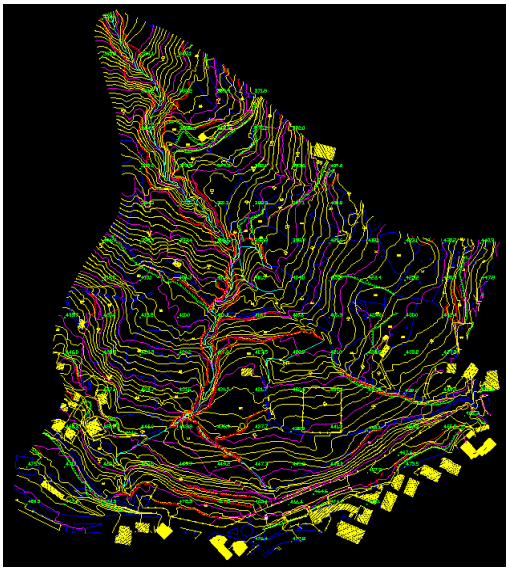


*Figura 17. Cartografia di dettaglio della frana di Vibo Valentia.*

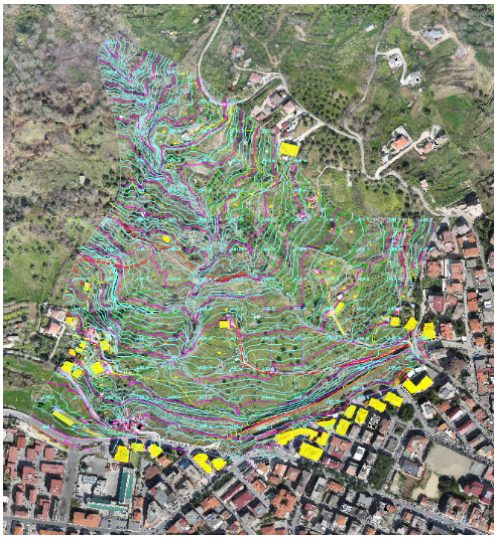


*Figura 17a. Ortofoto e Cartografia di dettaglio della frana di Vibo Valentia.*

**Conclusioni**

Lo studio condotto per le frane presenti nel comune di Vibo Valentia ha dimostrato come l'utilizzo congiunto delle più moderne tecniche di rilievo, quali l'U-Fly, sia in grado di fornire dei risultati dal punto di vista metrico e cartografico, qualitativamente paragonabili alle tecnologie comunemente utilizzate per l'elaborazione di ortofoto e cartografia di dettaglio, con il vantaggio di poter acquisire in maniera molto più veloce tutti i dati necessari per le applicazioni pratiche. I principali campi applicativi per i quali il sistema U-Fly/APS è proposto sono: il rilievo topografico e ambientale, il rilievo al suolo per monitoraggio di fenomeni ambientali evolutivi quali frane e dissesti geologici, il rilievo e monitoraggio di cantieri, di percorsi ferroviari e stradali, rilievo e monitoraggio discariche; controllo di abusi edilizi ed ambientali, simulazione e valutazione dell'impatto ambientale per studi di fattibilità e progettazione, documentazione dello stato dei luoghi.

**Riferimenti Bibliografici**

Menci L. (2004), Zmap: stazione digitale multisensore per una moderna produzione di dati cartografici,*Geomedia Reports* 4, pp. 26-29.