# COLLABORAZIONE TRA AGEA E REGIONE EMILIA-ROMAGNA PER LA REALIZZAZIONE DI ORTOFOTO MULTIFUNZIONE SU TUTTO IL TERRITORIO NEL 2008

Rossella BONORA (*), Riccardo DIOFEBI (**), Roberto GAVARUZZI (***), Giulio MONALDI (****)

(*) Regione Emilia-Romagna - rbonora@regione.emilia-romagna.it
(**) AGEA - r.diofebi@agea.gov.it
(***) Regione Emilia-Romagna - rgavaruzzi@regione.emilia-romagna.it
(****) AGEA SIN - g.monaldi@agea.gov.it

**Riassunto**

AGEA da molti anni, per le verifiche da telerilevamento previste dalle norme comunitarie nell'erogazione dei contributi agli agricoltori, fa realizzare ortofoto 1:10.000 ogni anno su un terzo del territorio italiano e ne concede gratuitamente il "*ri-uso*" alla PA.

Anche la Regione Emilia-Romagna nel periodo 2001-2006 ha ottenuto, per sé e per i propri Enti Locali, il "*ri-uso*" delle ortofoto AGEA; però nelle applicazioni della comunità PA Emilia-Romagna la frequenza triennale non è sempre sufficiente rispetto alla sommatoria delle esigenze puntuali locali; ad esempio è stato stimato che nell'intervallo 2001-2006 l'insieme della comunità PA Emilia-Romagna ha acquisito utenze onerose per ulteriori ortofoto per un'area corrispondente circa al 40% dell'intero territorio regionale.

Nel 2007 la Regione ha anche stimato che la disponibilità delle ortofoto generali ogni anno su tutto il territorio, oltre a rispondere alle esigenze 95% delle applicazioni locali tradizionali di carattere urbanistico, consente anche innovazioni applicative con importanti economie in altre attività della comunità PA Emilia-Romagna inerenti vari tipi di verifica e controllo territoriale. Quindi nel 2008 ha proposto ad AGEA di estendere le acquisizioni ortofoto 1:10.000 su tutta l'Emilia-Romagna in cambio di un concorso finanziario corrispondente ai costi dell'estensione.

AGEA ha accolto la proposta ed è stata stipulata una Convenzione; ora l'acquisizione delle foto aeree per la realizzazione delle ortofoto in Emilia-Romagna è stata completata ed è in corso la loro elaborazione per la produzione delle corrispondenti ortofoto 1:10.000; in questo primo paper ASITA 2008 viene illustrata la Convenzione che ne formalizza la collaborazione, in un secondo paper ASITA 2008 ne vengono per illustrate le caratteristiche tecniche.

**Abstract**

AGEA from many years, for the verifications from Remote Sensing previewed from the communitarian norms in the distribution of the contributions to the agriculturists, ago to realize ortofoto 1:10.000 every year on a third party of the Italian territory and grants some free of charge "*other-uses*" to the PA.

Also the Emilia-Romagna Region in period 2001-2006 has obtained, for himself and for the own Local Agencies, "*other-uses*" of ortophotos the AGEA; but in the applications of community PA Emilia-Romagna the triennial frequency is not always sufficient regarding the summary one of local the punctual requirements; as an example it has been estimated that in interval 2001-2006 with of community PA Emilia-Romagna it paid users for ulterior ortophotos for a corresponding area approximately to 40% of the entire regional territory.

In the 2007 Region also it has estimated that the availability of the ortophotos generates them every year on all the territory, beyond answering to requirements 95% of the traditional local applications urbanites' character, concurs also applicative innovations with important economies in other asset of inherent community PA several Emilia-Romagna types of verification and territorial control. Therefore in 2008 the financial Emilia-Romagna has proposed to AGEA in exchange for to extend the acquisitions ortophotos 1:10.000 on all a competition correspondent to the costs of the extension.

AGEA has received the proposal and has been stipulated one Convention; hour the acquisition of the aerial photos for the realization of the ortophotomap in Emilia-Romagna has been completed and is in course their elaboration for the production of correspondents ortophotomap 1.10.000; in this first one ASITA 2008 paper we are going to describe the Convention about this collaboration, in a second ASITA 2008 paper we are going to describe technical characteristic about the new ortophotomap.

## 1. Scenario

AGEA da molti anni, oltre alle acquisizioni straordinarie di telerilevamento in aree con incendi e altre criticità, di routine fa realizzare, ogni anno su un terzo del territorio italiano, ortofoto 1:10.000 per consentire le verifiche da telerilevamento previste dalle norme comunitarie per l'erogazione dei contributi agli agricoltori. In Emilia Romagna, nel periodo 2001-2006, AGEA ha autorizzato la Regione ad utilizzare gratuitamente ed a mettere a disposizione degli Enti Locali le suddette ortofoto anche per attività diverse da quelle agricole. In questo contesto, il loro uso più frequente è stato nell'aggiornamento topografico preliminare alla redazione di nuovi strumenti di pianificazione urbanistica; purtroppo in molti casi è stato necessario investire ulteriori risorse per acquisire l'uso di altre ortofoto perché la frequenza media triennale dei dati AGEA non è idonea alla sincronizzazione con tutte le attività di pianificazione comunale; poi nelle applicazioni gestionali regionali e provinciali è un valore importante non avere vincoli territoriali nella scelta del campione annuale da controllare con tecniche di telerilevamento ad alta risoluzione.

## 2. Premesse analitiche dell'accordo

a) Il D.lgs n. 82/2005 (Codice dell'Amministrazione Digitale) sancisce il principio del "riuso" dei dati generati da ciascuna pubblica amministrazione e delle fruibilità degli stessi, mediante opportune convenzioni, da parte delle altre pubbliche amministrazioni interessate.

b) L'AGEA è responsabile, ai sensi del D.lgs n. 99/2004, del coordinamento e della gestione del Sistema Informativo Agricolo Nazionale – SIAN, nel cui ambito è compreso il sistema informativo territoriale (GIS), comprendente tra l'altro la copertura aerofotogrammetirca dell'intero territorio nazionale, ad uso agricolo ed i tematismi catastali e colturali associati al territorio stesso.

c) L'AGEA ogni anno programma la realizzazione di ortofoto digitali ad alta risoluzione mediamente per il 33% del territorio nazionale.

d) L'AGEA può stipulare accordi di collaborazione con amministrazioni, enti, associazioni ed altre persone giuridiche, pubbliche o private, ed ha interesse a scambiarsi dati ed informazioni per l'espletamento dei propri compiti istituzionali.

e) L'AGEA ha avuto assegnati con il ruolo di ente gestore, ai sensi dalla legge 268/03, i beni ed i prodotti del sistema Telaer – progetto sviluppato a fronte di un investimento pubblico dall'industria nazionale - che è costituito da un sistema di telerilevamento aereo avanzato per la gestione integrata del territorio.

f) La Regione, nel Programma operativo 2008 del Piano telematico dell'Emilia-Romagna 2007-2009", approvato con propria delibera n. 601 del 28 aprile 2008, prevede anche la realizzazione del Progetto "Anagrafe del territorio", finalizzato a disporre di una

infrastruttura geografica che associ/incroci la cartografia catastale, il Data Base Topografico e le Ortofoto Multifunzione su scala regionale e sia disponibile e fruibile per Regione ed Enti Locali al fine di supportare le attività di pianificazione, gestione, controllo e promozione del territorio in ambito fiscale, urbanistico, ambientale e turistico-culturale.

g) La Regione sta per completare l'impianto del Data Base Topografico quale modalità innovativa per la gestione ad oggetti del contenuto informativo topografico della Carta Tecnica Regionale (CTR).

h) La Regione intende, al fine di esercitare la propria funzione di Ente produttore e certificatore della cartografia in Emilia-Romagna, curare l'aggiornamento del Data Base Topografico adottando due modalità complementari: modalità di aggiornamento ordinario/amministrativo tramite riuso di processi amministrativi in cooperazione con i soggetti istituzionali competenti in materia di autorizzazione alla realizzazione di progetti di trasformazione dei dati topografici (es. Comuni per edificato, Province per viabilità; Consorzi di bonifica per canali); modalità di aggiornamento straordinario tramite ortofoto per "verificare e certificare" il dato inserito nel Data Base Topografico con il processo ordinario/amministrativo e per raccogliere ulteriori informazioni topografiche come fenomeni naturali ed abusi (edilizi, ambientali, …) non rilavabili attraverso la riqualificazione geografica digitale ed il riuso dei progetti di trasformazione territoriale.

i) Le moderne modalità tecniche fotogrammetriche di acquisizione consentono l'acquisizione simultanea di immagini digitali a colore e all'infrarosso.

j) Di comune accordo, con il neologismo "prodotti principali dell'Ortofoto Multifunzione", vengono indicati: **a**) i fotogrammi digitali stereoscopici a colori e le relative ortofoto 1:10.000 pixel 50 cm; **b**) i fotogrammi digitali stereoscopici all'infrarosso e le relative ortofoto 1:10.000 pixel 50 cm **c**) il modello altimetrico delle superfici (DSM) derivato da autocorrelazione delle immagini stereoscopiche dei fotogrammi a colori in formato planimetrico grid 2x2 m ed accuratezza altimetrica ± 3 m.

k) La disponibilità di Ortofoto Multifunzione con frequenza annuale su tutto il territorio dell'Emilia-Romagna consentirà alla Regione sia una grande flessibilità nella programmazione della realizzazione della modalità aggiornamento straordinario del Data Base Topografico, sia di mettere a disposizione degli Enti Locali una infrastruttura geografica che ogni anno associ/incroci alle Ortofoto Multifunzione, la cartografia catastale e il Data Base Topografico su scala regionale.

l) E' obiettivo della Regione rendere disponibile e fruibile tale infrastruttura geografica per l'insieme dei propri settori applicativi e per gli ed Enti Locali al fine di supportare le attività di pianificazione, gestione, controllo e promozione del territorio in ambito fiscale, urbanistico, ambientale e turistico-culturale nelle diverse filiere d'intervento.

m) Le caratteristiche principali della collaborazione sono state presentate, quale importante esempio di collaborazione integrativa tra AGEA ed una Regione, nella seduta del 27 maggio 2008. del Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni di cui all'art. 59, comma 2, del decreto legislativo 7 marzo 2005, n. 82.

## 3. Contenuti dell'accordo

a) Azioni di competenza dell'AGEA:
   - approvvigionamento dei fotogrammi digitali stereoscopici a colori, all'infrarosso e delle relative ortofoto 1:10.000 pixel 50 cm per i propri usi istituzionali 2008 relativi all'ambito dei territori provinciali di Parma, Bologna, Ferrara e Ravenna;
   - approvvigionamento, in quanto richiesto dalla Regione, dei fotogrammi digitali stereoscopici a colori, all'infrarosso e delle relative ortofoto 1:10.000 pixel 50 cm per

esclusivo beneficio di Regione ed Enti Locali nell'ambito dei territori provinciali di Piacenza, Reggio Emilia, Modena, Forlì-Cesena e Rimini;

- approvvigionamento sulle aree più densamente urbanizzate, in quanto richiesto dalla Regione, del modello altimetrico delle superfici (DSM) derivato da autocorrelazione delle immagini stereoscopiche dei fotogrammi a colori in formato planimetrico grid 2x2 m ed accuratezza altimetrica ± 3 m per esclusivo beneficio di Regione ed Enti Locali;

b) Azioni di competenza della Regione Emilia-Romagna:
   - messa a disposizione della Carta Tecnica Regionale (CTR) 1:5.000;
   - messa a disposizione del DTM derivato dalla CTR nella versione formato grid 5x5 m;
   - messa a disposizione delle monografie regionali dei vertici GPS 7 km di raffittimento della rete geodetica nazionale IGM95;
   - messa a disposizione di apposite previsioni meteorologiche elaborate dal Servizio Idro Meteorologico di ARPA Emilia-Romagna.

## 4. Proprietà dei dati

L'AGEA si è riservata la proprietà delle Ortofoto Multifunzione 2008 nell'ambito dei territori provinciali di Parma – Bologna – Ferrara – Ravenna, mentre la Regione, se ne è riservata la proprietà nell'ambito dei territori di Piacenza – Reggio Emilia – Modena – Forlì-Cesena – Rimini.

Entrambe, con le modalità di cui al "Codice dell'Amministrazione Digitale" del D.Lgs n. 82/2005, in modo reciproco hanno concesso all'altro Ente il "riuso" di quanto di loro proprietà relativamente alle Ortofoto Multifunzione 2008.

Inoltre l'AGEA ha concesso, per il tramite della Regione, il "riuso" della propria parte delle Ortofoto Multifunzione 2008 anche agli Enti Locali in Emilia-Romagna; tale "riuso" ne comprende anche la pubblicazione metrico zenitale e/o prospettica sui siti web istituzionali di Regione ed Enti Locali.

## 5. Modalità operative, finanziamenti, coordinamento e verifiche tecniche

L'AGEA sta provvedendo a svolgere le attività di propria competenza mediante fornitura delle suddette Ortofoto Multifunzione, prodotte ed elaborate secondo le Specifiche tecniche nel rispetto del programma operativo 2008.

La Regione fornirà ad AGEA un finanziamento per la copertura delle spese sostenute per la parte dei prodotti realizzati da AGEA a esclusivo beneficio della Regione ed Enti Locali in Emilia-Romagna; è facoltà della Regione chiedere agli Enti Locali quote di partecipazione fino al suo 50%.

Il coordinamento tecnico dei lavori è stato affidato ad un Comitato paritetico misto, costituito da due membri per AGEA ed altrettanti per Regione.

Le verifiche tecniche verranno fatte con controlli a campione sul 5% dei dati e riguarderanno:

a) l'esistenza e completezza dei file attesi, relativamente alla completa copertura territoriale della consegna;
b) rispondenza formale della sintassi dei file alle specifiche tecniche;
c) rispondenza sostanziale ai requisiti di merito previsti con particolare riguardo alla nitidezza delle immagini ed alla presenza di nuvole in una percentuale non superiore al 2% sull'intera area di acquisizione e non superiore al 5% su singole ortofoto 1:10.000 (ovvero nel campo cartografico corrispondente al formato dei fogli CTR10).

## 6. Conclusioni/scommesse

La prima scommessa
è realizzare e pubblicare l'Ortofoto Multifunzione nel 2008:

- l'attività operativa ha già concluso con successo le acquisizioni aeree mentre la realizzazione delle ortofoto procede secondo i tempi programmati. Quindi siamo molto contenti di quanto fatto finora e fiduciosi di vincere la prima scommessa.

La seconda scommessa
è ripetere l'Ortofoto Multifunzione nel 2009:

- il fattore di criticità è costituito dalle risorse necessarie per finanziare le attività integrative e potrà essere superato solo se il prodotto sarà utilizzato anche dagli Enti Locali per supporto di attività di cui sono titolari; in tal caso potranno essere disponibili a cofinanziarle. Quindi in ottobre faremo molte riunioni con gli Enti Locali per presentare l'edizione 2008 e, ambiziosamente, abbiamo fiducia di vincere anche la seconda scommessa.

## 7. Figure e foto

fig. **7.a** – *Schema delle strisciate e analisi dei fotogrammi*

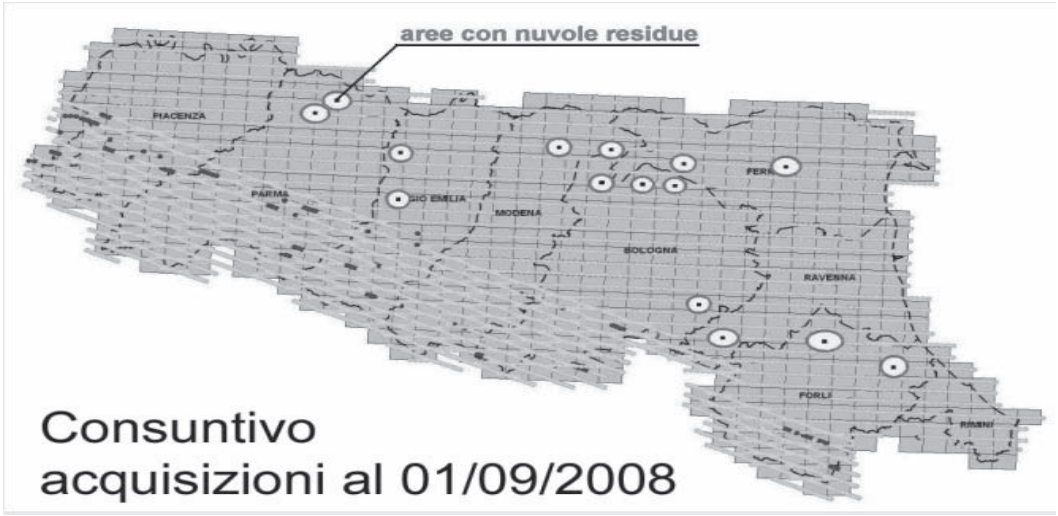



fig. **7.b** – *Schema di programmazione delle attività*

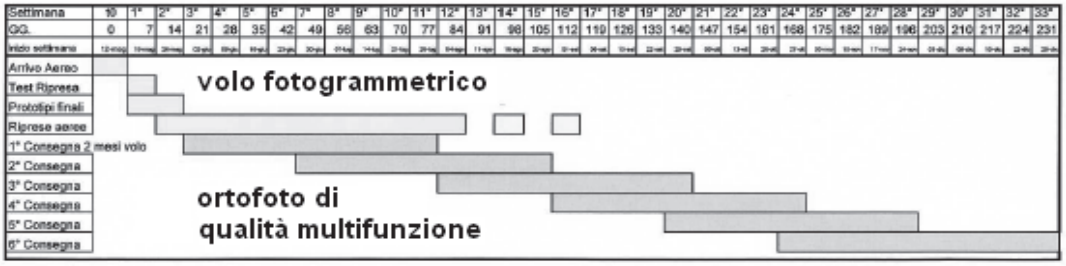


foto **7.c** – maggio 2008 al Forum PA
*Presentazione preliminare dell'accordo –sx: Giulio Monaldi e Roberto Gavaruzzi*

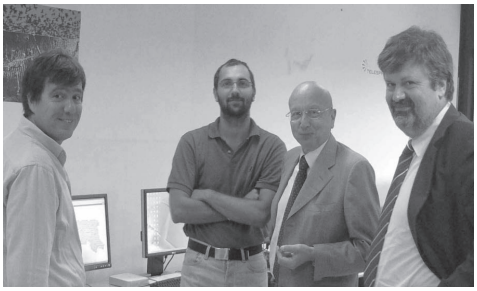


foto **7.d** – 01/09/2008 presso Telaer
*1° consuntivo - da sx: Giulio Monaldi, Ciro Cirillo, Marco Arciero e Fabio Volpe*

foto **7.e** – 01/09/2008 presso Telaer
*campione di dati: spiaggia di Rimini*

foto **7.f** – 01/09/2008 presso Telaer
*campione di dati: delfinario di Rimini*

foto **7.g** – 01/09/2008 presso Telaer
*campione di dati: stadio di Rimini*

foto **7.h** – 01/09/2008 presso Telaer
*campione di dati: porto turistico di Rimini*

foto **7.i** – 01/09/2008 presso Telaer
*campione di dati: aeroporto di Rimini*

foto **7.l** – 01/09/2008 presso Telaer
*campione di dati: rotonde a Rimini*

# SIGMA TER – DA PROGETTO A SISTEMA

Rossella BONORA (*), Lucia PASETTI (**)

(*) Regione Emilia-Romagna, Responsabile Servizio Sviluppo amministrazione digitale e sistemi informativi geografici, tel. 051/284483, fax 051/284216, e-mail: rbonora@regione.emilia-romagna.it
(**) Regione Liguria, Responsabile Settore sistemi informativi e telematici, tel. 010/5485749, fax 010/5488400, e-mail: lucia.pasetti@regione.liguria.it

**Riassunto**
L'obiettivo primario del progetto SIGMA TER è la costruzione di un'infrastruttura tecnologica che permetta l'interscambio dei dati catastali fra enti locali e Agenzia del Territorio, ne consenta l'integrazione con altre banche dati locali per l'erogazione di servizi a cittadini professionisti e imprese.
Gli applicativi sviluppati, attraverso una gestione condivisa delle banche dati territoriali in sede locale e regionale, offrono ai cittadini, alle imprese e ai professionisti un supporto semplice e veloce per il disbrigo delle pratiche fiscali e la diffusione di informazioni territoriali e fiscali.
L'architettura tecnico-organizzativa definita nell'ambito del progetto consente non solo l'interscambio e l'integrazione dei dati catastali e territoriali, ma rappresenta anche un modello di vera e propria cooperazione (non solo in termini tecnologici) fra Pubbliche Amministrazioni.
In questo documento viene descritto lo stato dell'arte di SIGMA TER, dopo la conclusione del progetto sviluppato nell'ambito del Piano d'azione di e-government nazionale, avvenuta il 31 dicembre 2006.

**Abstract**
SIGMA TER is a project to create an infrastructure for exchanging and integrating regional cadastral information. This infrastructure is designed to enable the development of new services for private citizens, businesses and local authorities to support the use of property registers and the management of property taxation. The purpose of the project is to improve planning, administrative and management capabilities in matter of property, property taxation and territorial planning and management. The project in also improving the quality of services to private citizens and businesses who need to match cadastral information with other set of information handled by regional and local authorities. The combined use of different spatial data in the management of the territory has an impact on widening the access to public information, enabling a better targeting of policies and services, reducing the costs of data collection and management and freeing resources for a wider service catalogue
This paper describes what is SIGMA TER now, after the conclusion of the official project developed under the e-government national plan, and ended in 2006.

## Il contesto e gli obiettivi del Progetto SIGMA TER

Il progetto SIGMA TER, approvato dal Dipartimento per l'Innovazione e le Tecnologie nell'ambito dell'attuazione del Piano d'azione di e-government nazionale, parte nel 2003 in un contesto evolutivo caratterizzato dal Piano di Decentramento del Catasto ai Comuni - in esecuzione della Legge n. 59 del 1997, così come definito dal D. Lgs. n. 112 del 31/3/1998 - e con l'obiettivo di facilitare il processo di decentramento catastale e migliorare sia la capacità di pianificazione e gestione amministrativa e fiscale del territorio sia la qualità dei servizi per cittadini, professionisti ed imprese.

Le Regioni e le Amministrazioni Locali, nell'ambito dei propri compiti (concessioni edilizie, tributi, toponomastica, anagrafe, agricoltura, ecc.) utilizzano il dato catastale e, al contempo, sono in grado di individuare e correggere gli errori presenti nelle informazioni catastali. SIGMA TER costituisce il canale informatico stabile che consente alle Amministrazioni Locali di ottenere i dati catastali aggiornati, migliorarne la qualità ed integrarli con le informazioni di natura territoriale e fiscale di propria competenza per erogare servizi a cittadini, imprese e professionisti.

La creazione dell'infrastruttura tecnologica per l'interscambio continuo di informazioni catastali e territoriali fra l'Agenzia del Territorio, le Regioni e gli Enti Locali e la realizzazione di servizi innovativi rivolti alla Pubblica Amministrazione, i cittadini e le imprese costituiscono i traguardi raggiunti dal progetto SIGMA TER.

**I partner e l'organizzazione**

Il progetto SIGMA TER ha coinvolto dal 2003 numerosi enti impegnati nella realizzazione delle applicazioni.
Oltre alla Regione Emilia-Romagna (coordinatore), hanno partecipato attivamente:

- l'Agenzia del Territorio;
- le Regioni, Abruzzo, Liguria, Toscana, Valle d'Aosta;
- le Province di Bologna, Genova, Parma, Piacenza, Pisa;
- le Comunità Montane Alta Val Polcevera e della Garfagnana;
- i Comuni di Bologna, Cesena, Collesalvetti, Faenza, Ferrara, Genova, La Spezia, Livorno, Lugo, Modena, Reggio Emilia, Rimini.

Gli enti candidati al riuso delle soluzioni e delle esperienze sviluppate nel progetto hanno portato, già in fase di realizzazione del progetto, ad oltre 150 il numero dei partner coinvolti per poi, come vedremo, aumentare di diversi ordini di grandezza negli anni successivi alla chiusura del progetto.

**Il budget ed il finanziamento del DIT**

Il progetto ha avuto un budget (rispettato!) di 20.5 Milioni di Euro ed è stato cofinanziato dal Dipartimento per l'Innovazione e le Tecnologie per un importo di 3,8 Milioni di Euro nell'ambito del Piano d'Azione di E-Government.

**Progetto informatico completato**

SIGMA TER, avviato nella sua fase operativa a maggio 2003, con una durata prevista inizialmente di due anni (successivamente ripianificata a tre anni e con chiusura effettiva del progetto al 31 dicembre 2006 con il superamento dell'assessment finale previsto da CNIPA). Dopo la fase di pianificazione generale, sono state avviate le attività di analisi e progettazione delle svariate applicazioni software che compongono sia l'architettura centrale e locale che porta le informazioni dell'Agenzia del Territorio e degli Enti locali verso il Database Territoriale Integrato e verso i servizi finali, sia il "Modulo Plus" con il quale, dagli Enti locali, le informazioni inesatte oppure incomplete vengono proposte all'Agenzia del Territorio per la correzione (è un vero e proprio percorso di "ritorno informativo strutturato" dal cittadino all'ente locale all'Agenzia).

Lo sviluppo dei Centri Servizi Regionali, veri elementi nodali del progetto, dal punto di vista infrastrutturale, ma soprattutto organizzativo è proceduto più lentamente, a causa delle evoluzioni normative che hanno portato a completare il quadro di riferimento per la fornitura e la fruizione delle banche dati catastali soltanto a fine 2007.

Si è messo a punto un modello di avvio del Sistema SIGMA TER in Regioni/enti che desiderano utilizzare o il "Nucleo condiviso" completo o alcuni componenti di esso.
Formazione, promozione e soprattutto organizzazione (volta al livello di servizio ed alla sostenibilità economica) faranno poi sì che gli impatti in termini di benefici e ricadute positive per gli Enti locali coinvolti ed per i loro cittadini, possano realizzarsi a partire dall'avvio dei centri servizi regionali.

Il progetto così completato si è in questi ultimi due anni, come vedremo al punto successivo, evoluto a "Sistema SIGMA TER" per la chiara volontà da parte non solo degli enti partner storici di SIGMA TER, ma anche di nuovi attori, di aggregarsi per riutilizzare, mantenere e far evolvere il sistema

**Il Partenariato interregionale per la gestione del "Sistema SIGMA TER"**

Dopo la conclusione formale del progetto, si è aperta la fase di gestione del Sistema SIGMA TER, inteso come insieme delle applicazioni software che sono state installate presso i 5 centri servizi regionali e come modello organizzativo e tecnologico di rapporti fra le diverse componenti della Pubblica Amministrazione coinvolti.

Le cinque Regioni che hanno dato vita al progetto SIGMA TER hanno deciso di impegnarsi reciprocamente per assicurare una gestione economica ed efficace degli interventi di conduzione ed evoluzione, anche a sostegno del decentramento delle funzioni catastali e del sistema di servizi realizzato tramite il progetto stesso.

Si è pertanto ritenuto opportuno, al fine di mantenere nel tempo le reciproche collaborazioni e ruoli assunti nell'ambito delle convenzioni per la realizzazione del sistema stesso nell'ambito della I Fase del Piano nazionale di e-Government, dare vita ad un Partenariato permanente che eserciti le azioni condivise e coordinate di conduzione ed evoluzione del sistema SIGMA TER.

E' stato quindi firmato l'Accordo interregionale per la gestione del Sistema SIGMA TER ed è stata avviata la gestione del cosiddetto "Nucleo Condiviso" cioè di tutte le componenti del sistema che vengono mantenute ed evolute unitariamente.

L'Accordo è aperto all'ingresso di altre Regioni ed è anzi auspicabile che ciò avvenga ai fini del riuso, dell'upgrade e della manutenzione delle applicazioni realizzate.

Il meccanismo di ampliamento della membership è già entrato in funzione, segnale assolutamente positivo circa la bontà del percorso intrapreso. La Regione Piemonte e la Regione Siciliana hanno aderito formalmente al Partenariato SIGMA TER e i loro rappresentanti partecipano fattivamente al Gruppo Guida, mentre sono in corso contatti molto avanzati per l'adesione delle Regioni Calabria, Campania, Puglia e Sardegna

E' utile ricordare che il riuso delle componenti SIGMA TER, nell'ambito del progetto "PR5SIT" gestito dal CNIPA ed esteso alle otto regioni del Sud è stato formalmente definito già da un paio di anni ed è in qualche caso già operativo (es. Regione Sardegna).

E' pertanto auspicabile che tutte le Regioni del "PR5SIT" aderiscano rapidamente al Partenariato, diventando membri effettivi del "consorzio", condividendo i medesimi impegni degli attuali componenti.

In particolare tutti i partner si impegnano a garantire:

- collaborazione istituzionale per il corretto funzionamento del sistema e della rete di servizi implementati dal progetto SIGMA TER anche operando congiuntamente le eventuali azioni verso l'Agenzia del Territorio, altri enti e soggetti diversi necessarie a tale obiettivo;
- cooperazione nella pianificazione e nell'operatività per l'identificazione e l'attuazione delle modalità organizzative e gestionali idonee al corretto funzionamento del sistema e della rete di

servizi implementati dal progetto SIGMA TER sia di carattere generale che nell'ambito del singolo Centro Servizi regionale;
- conduzione ed evoluzione, anche a sostegno del decentramento delle funzioni catastali**,** del nucleo condiviso delle componenti del sistema SIGMA TER con lo scopo di identificare, concordare e cofinanziare le conseguenti azioni gestionali e di implementazione.

Il consorzio delle Regioni aderenti al partenariato è organizzato in modo da permettere un costante coordinamento delle attività inerenti la gestione del Sistema SIGMA TER.

Il Gruppo Guida, composto dai referenti delle amministrazioni regionali, rappresenta la "cabina di regia" del Partenariato. Al suo interno è discusso e approvato il piano delle attività, l'allocazione delle risorse, le modalità di gestione, e tutto quanto possa risultare utile ai fini della proficua definizione delle strategie e gestione delle attività. Sulla base di quanto stabilito in sede di redazione dell'Accordo di cooperazione interregionale, il coordinamento del Gruppo Guida è stato affidato per i primi tre anni alla Regione Emilia-Romagna.

Il Gruppo Tecnico, composto dai referenti tecnici delle amministrazioni regionali, rappresenta la "componente infrastrutturale e tecnica" del Partenariato. Al suo interno è discusso e predisposto il piano delle attività, la valutazione economica di massima del piano stesso e le priorità delle voci del piano. Sulla base di quanto stabilito in sede di redazione dell'Accordo di cooperazione interregionale, il coordinamento del Comitato tecnico è stato affidato per i primi tre anni alla Regione Liguria, in quanto Regione capofila degli interventi interregionali di manutenzione e conduzione continuativa del nucleo condiviso.

La "gestione operativa" del Partenariato è affidata alla Segreteria Tecnico-Organizzativa che supporta le due Regioni che svolgono il ruolo di "Coordinamento del Gruppo Guida" e di "Capofila degli interventi interregionali di manutenzione e conduzione continuativa del nucleo condiviso" e che comprende il Project Manager Organizzativo, il Project Manager Tecnico e il Gestore Tecnico del Repository, del Sito e del "bug tracking".

Sono stati infine istituiti 5 Gruppi di Lavoro specifici, tra i quali si evidenzia il cosiddetto "Tavolo Cartografico", formato dai responsabili ed esperti del settore cartografico di ogni Regione partecipante e che si rapporta con gli omologhi responsabili ed esperti dell'Agenzia del Territorio e di Sogei. Il Tavolo Cartografico si occupa degli aspetti necessari a mettere a regime la disponibilità effettiva della cartografia catastale nelle Regioni del Partenariato, delle attività di miglioramento e bonifica della suddetta cartografia e della sua integrazione con il Data Base Topografico all'interno del DBTI.

**Situazione sull'esercizio del Sistema SIGMA TER presso il centro servizi regionale**

**Regione Emilia Romagna**

Il, sistema SIGMA TER è integrato nei servizi esposti agli Enti Locali dal portale della Regione Emilia-Romagna (ERMES). Dalla fase di sperimentazione, svolta in collaborazione con l'Agenzia del Territorio e con la comunità degli enti sviluppatori della regione, si è passati alla fase di gestione del sistema. All'interno degli accordi della nuova nata Community Network della Regione Emilia-Romagna si prevede che ai servizi catastali accederanno la totalità dei comuni della regione (341) entro la fine del 2008.

Nel Centro Servizi SIGMA TER della Regione Emilia-Romagna sono presenti i dati del Catasto Edilizio Urbano e del Catasto Terreni aggiornati a giugno 2008 con copertura completa sia per i dati

"censuari" che per i dati "geometrici"; questi ultimi sono già presenti nella loro totalità nel formato vettoriale e inquadrati nel sistema di riferimento nazionale Gauss Boaga Ovest.
La sperimentazione condotta in collaborazione con l'Agenzia del Territorio sul collaudo dei flussi incrementali delle geometrie del catasto Terreni ha fornito esito positivo ed è, in questo momento, in via di automazione.

**Regione Liguria**
Durante la fase realizzativa Regione Liguria si è proposta come soggetto "integratore" delle varie componenti tecnologiche che venivano man mano rilasciate dalle altre Regioni e dagli altri Enti locali realizzatori. Questo compito ha portato a costituire il repository di progetto presso Datasiel (società regionale di informatica).

Aderendo convintamene al Partenariato, Regione Liguria ha assunto il ruolo (su indicazione degli altri partner) di referente tecnico e di gestore del "Nucleo condiviso". Attualmente le patch, le nuove release e gli upgrade del "Nucleo condiviso" vengono gestiti da Regione Liguria, che provvede al rilascio delle versioni verificate ed integrate a tutti i centri servizi già operativi o che saranno nel futuro avviati.

Il sistema SIGMA TER è integrato nei servizi esposti agli Enti Locali dal portale istituzionale della Regione Liguria. A conclusione delle fasi sperimentali, svolte in collaborazione con l'Agenzia del Territorio e con alcuni enti sviluppatori della regione, si è passati alla operatività gestionale del sistema. Ad oggi sono stati caricati sul DBTI regionale i dati censuari di tutti i 235 comuni liguri ed i dati cartografici di tutti i comuni delle province di Genova, La Spezia e Imperia. Si prevede che ai il completamento e la messa a disposizione dei dati a tutti i comuni liguri entro la fine del 2008.
I dati censuari presenti nel DBTI sono relativi al Catasto Edilizio Urbano ed al Catasto Terreni e sono aggiornati a luglio 2008; i dati "geometrici" sono presenti nel formato vettoriale e inquadrati nel sistema di riferimento nazionale Gauss Boaga e sono anch'essi aggiornati a luglio 2008.

**Regione Toscana**
Il sistema Sigma TER è integrato nei servizi esposti agli Enti Locali dal portale geografico della Regione Toscana (www.geografia.toscana.it).

Dalla fase di sperimentazione, svolta in collaborazione con l'Agenzia del Territorio e con la comunità degli enti sviluppatori della regione, si è passati alla fase di gestione del sistema a partire dal secondo semestre 2007.
Nel Centro Servizi SIGMA TER della Regione Toscana sono presenti i dati del Catasto Edilizio Urbano e del Catasto Terreni aggiornati a giugno 2008 con copertura completa sia per i dati "censuari" che per i dati "geometrici" per tutti i 287 comuni della regione.

**Regione Autonoma Valle d'Aosta**
Il sistema SIGMA TER è stato adattato ed integrato per la sua fruizione sul portale integrato delle amministrazioni territoriali valdostane, denominato PARTOUT - Servizi in rete Valle d'Aosta e derivante dall'accordo di programma sull'innovazione stipulato nel 2004 tra Regione, Comune di Aosta, Azienda sanitaria locale, Consiglio permanente degli enti locali, Camera valdostana delle imprese e delle professioni, Università della Valle d'Aosta, .
Alla fase di sperimentazione e messa a punto del sistema, svolta in collaborazione con alcuni enti locali, si è passati all'esercizio del centro servizi, al quale attualmente accedono i comuni e le comunità montane valdostani che hanno richiesto al momento specifica autorizzazione, ad oggi il 35% dei comuni ed il 40% delle comunità montane, con una proiezione complessiva vicina al 100% entro la fine del 2008.

Nel DBTI del centro servizi sono presenti i dati provenienti dall'Agenzia del Territorio riguardanti la totalità dei 74 comuni valdostani. Tali dati, grazie agli scarichi incrementali effettuati, risultano aggiornati al mese di giugno 2008.
Per quanto concerne la cartografia, i flussi ricevuti si limitano ai soli aggiornamenti effettuati dall'Agenzia del Territorio di Aosta tramite Wegis negli ultimi anni e sono pertanto, al momento, parziali.
La base cartografica disponibile è ancora rappresentata essenzialmente dalla cartografia raster ed una valutazione dei risultati ottenibili sui dati cartografici sarà possibile soltanto quando l' Agenzia del Territorio renderà disponibili le mappe vettoriali, peraltro attualmente in corso di validazione per almeno 4 delle 8 comunità montane presenti sul territorio valdostano.

**Regione Abruzzo**
La Regione Abruzzo ha previsto l'integrazione del Centro Servizi SIGMA TER all'interno dell'infrastruttura regionale per l'e-government ed attualmente è in fase di avvio operativo del centro servizi regionale per l'erogazione dei servizi previsti.
Parallelamente il sistema attuale consente di erogare i nuovi servizi appositamente sviluppati per conto della Protezione Civile e del Demanio Idrico della Regione, per i quali è stata avviato l'interscambio dei dati previsti, per le regioni, dal Decreto del Direttore dell'**Agenzia del Territorio** del 13 novembre 2007 (la Regione Abruzzo ha sottoscritto con l'AdT un apposito accordo). Inoltre la Regione Abruzzo in accordo con l'ANCI regionale ha predisposto il Progetto regionale di Riuso che prevede che i servizi sviluppati nell'ambito del progetto SIGMA TER siano la base comune del progetto per tutti i CST/ALI previsti nella Regione Abruzzo e l'ANCI regionale; i Comuni interessati dal progetto di Riuso sono 250 su 305. Attualmente sono state avviate le procedure di interscambio per i comuni di Chieti e Cupello, hanno già effettuato l'opzione di utilizzare il Centro Servizi della Regione Abruzzo quale intermediario Strutturale ai sensi della Circolare del Direttore dell'AdT 7/2006.

**Regione Piemonte**
Dopo una prima fase di sperimentazione dei servizi su 60 comuni, nel primo semestre del 2008 l'uso dei servizi di consultazione dei Censuari Fabbricati e Terreni è stato esteso a tutti gli 850 comuni aderenti.
Nel secondo semestre saranno attivati i servizi di consultazione della Cartografia Catastale e delle Planimetrie delle Unità Immobiliari.

Nel Centro Servizi SIGMA TER della Regione Piemonte sono presenti i dati del Catasto Edilizio Urbano e del Catasto Terreni aggiornati a con frequenza mensile e con copertura completa dei dati "censuari" per tutti i 1206 comuni della regione; i dati cartografici saranno acquisiti nel secondo semestre 2008 nel formato vettoriale e inquadrati inizialmente nel sistema di riferimento CASSINI-SOLDNER.

# TECNICHE LIDAR ED AEROFOTOGRAMMETRICHE PER LA STIMA DI PARAMETRI GEOMETRICI DI EDIFICI IN AREE URBANIZZATE SOGGETTE A RISCHIO SISMICO

F. BORFECCHIA (*), A.B. DELLA ROCCA (*), M. POLLINO (*), A. LUGARI (*), L. DE CECCO (*), S. MARTINI (*), S. MONACCIARI (*), C. PASCALE (**)

(*) ENEA - Dipartimento ACS - Unità Osservazione della Terra e Sistemi Informativi Territoriali
C.R. Casaccia, Via Anguillarese 301 - 00123 Roma
Tel.: 06.3048.6042 - Fax: 06.3048.6038 - e-mail: borfecchia@casaccia.enea.it
(**) Consorzio T.R.E – Tecnologie innovative per il recupero edilizio
Via D. Giustino 3/a - 80125 Napoli
Tel.: 081.7256215- Fax.: 081.7256306 - e-mail: carmine.pascale@consorziotre.it

**Riassunto**

Le attività di ricerca qui descritte riguardano lo sviluppo di metodologie e strumenti innovativi basati su dati aerospaziali, per l'analisi ed il monitoraggio dell'ambiente urbano, con particolare riferimento agli edifici ed alla loro vulnerabilità a sollecitazioni dinamiche di tipo sismico. In questo ambito, è importante mettere a punto efficaci strumenti per analisi estensive, tempestive e ripetitive del tessuto urbano esistente in modo da ricavarne i parametri più significativi che, uniti a quelli dei suoli, permettano di stimare la vulnerabilità degli edifici e forniscano un supporto nella pianificazione di interventi di prevenzione e/o di minimizzazione dei danni. Le metodologie sviluppate si fondano sull'uso di dati aerospaziali per la caratterizzazione di aree urbanizzate scelte nel comune di Avellino sulla base della loro rappresentatività per quanto riguarda il rischio sismico. Si è fatto uso di rilievi da piattaforma aerea (aereo ed elicottero) di tipo aerofotogrammetrico e LIDAR. Grazie a queste innovative tecniche LIDAR, utilizzate in modo integrato e complementare con quelle di stereo restituzione digitale, è stata ottenuta una stima estensiva dei parametri geometrici e delle caratteristiche di ogni edificio nelle aree d'interesse, nonché l'andamento del suolo. Tali risultati, integrati con rilevamenti campionari in *situ* e con altri dati aerospaziali, sono stati utilizzati per una zonizzazione mirata delle aree d'interesse, in cui sono riportati, per ogni singolo edificio appartenente all'area di indagine, tutti i parametri d'interesse.

**Abstract**

*This paper describes the methodologies implemented to support the 3-D characterisation of selected urban areas of Avellino (Southern Italy), using different data remotely acquired by means of aero spatial platforms. The activities have been based on integration of digital aerofotogrammetry and laser ranging (LIDAR) techniques. 3-D reconstruction (containing buildings geometrical parameters) of test areas has been used in order to support a better estimation of seismic vulnerability at urban level. In this framework, data acquired by LIDAR sensor have allowed to obtain both the ground DEM and the buildings heights over entire administrative area of municipality of Avellino. Then, LIDAR data have been integrated with those derived from digital aerophotogrammetric techniques on areas previously selected. The integrated use of various information, coming from different techniques, has allowed to produce, for each building within the test areas, useful information about vulnerability.*

**Introduzione**

La stima della vulnerabilità del costruito esistente è un problema di particolare evidenza per il territorio italiano, sul quale la percentuale di abitazioni in edifici progettati e realizzati in assenza di prescrizioni sismiche adeguate supera di larga misura il 50%. La vulnerabilità dei singoli edifici è stata sintetizzata in un indice $I_v$ definito tramite l'analisi statistica dei danni sull'edificato inventariati a seguito dei vari eventi sismici avvenuti (Giovinazzi, Lagomarsino, 2001). Tale indice si basa in primis sulla tipologia delle costruzioni, divise in macro-gruppi, tra i quali quelli maggiormente rappresentativi sono costituiti dal cemento armato e dalla muratura. Per la situazione in esame, nell'ambito degli edifici in muratura risultano più importanti quelli realizzati in mattoni pieni e quelli in muratura non armata con solai in c.a., mentre per le realizzazioni completamente in c.a. è necessario distinguere quelle costruite con specifiche antisismiche dopo il 2000 dalle altre. L'indice $I_v$ risulta maggiore per le strutture più deboli e suscettibili di essere maggiormente danneggiate ed ha un intervallo che può andare da -50 a 60. Oltre che alla tipologie edilizie, $I_v$ è legato anche ad altri parametri degli edifici, soprattutto a quelli geometrici che ne determinano le modalità di risposta all'onda sismica.

| | Epoca Costruzione | $I_V$ | Manutenzione | N° Piani 1-2 | 3-4-5 | 6+ | Agglomerato |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Muratura | Dal 1946 al 1971 | 30 | 6 | | 5 | 10 | 6 |
| | Dopo il 1971 | 20 | | | 5 | 10 | 6 |
| Cemento Armato | Prima della classificazione sismica (<2000) | 20 | | -6 | | 6 | 6 |
| | Dopo la classificazione sismica (>2000) | 0 | | -6 | | 6 | |

*Tabella 1 – Indici di vulnerabilità e modificatori per le tipologie presenti nella zona d'interesse*

Nella Tabella 1 sono riportate, per le due tipologie prevalenti nella zona d'interesse, gli indici di vulnerabilità medi ($I_v$) per epoca di costruzione ed i relativi modificatori, dipendenti dal livello di manutenzione, dall'altezza (espressa in numero di piani) e dall'appartenenza o meno ad agglomerati. Oltre a questi parametri, altri modificatori proposti riguardano la simmetria in elevazione ed in pianta della struttura e le caratteristiche dei suoli sottostanti.

In definitiva, eseguire un'analisi di vulnerabilità significa valutare la consistenza del costruito diffuso in una data area, sia in termini quantitativi che qualitativi, ed in particolare stimare la sua propensione ad essere danneggiato dal sisma. Da questo punto di vista è importante mettere a punto strumenti efficaci che permettano analisi estensive del tessuto urbano esistente, sviluppatosi spesso senza i dovuti controlli, in modo da ricavarne i parametri più significativi per la stima del rischio e della vulnerabilità degli edifici. Ciò può rappresentare un valido supporto nella pianificazione d'interventi mirati alla minimizzazione dei danni od alla loro prevenzione in occasione di eventi sismici, i quali spesso hanno un impatto rilevante in termini di danni materiali e perdita di vite umane. Oltre alle informazioni relative alla tipologia ed allo stato della costruzione, risulta importante avere anche informazioni su altezza superficie e forma degli edifici presenti nel tessuto urbano di interesse, da cui derivare i parametri modificatori geometrici sulla Tabella 1.

Tenendo conto che nel nostro Paese esistono numerose zone fortemente esposte a rischi legati a sollecitazioni dinamiche di origine sismica e di dissesto idrogeologico, e per far sì che le conoscenze acquisite nel corso della presente ricerca trovino la massima applicazione nella pratica costruttiva nazionale, sono state previste attività di dimostrazione e applicazione su due aree del comune di Avellino, scelte sulla base della loro rappresentatività, per quanto riguarda il rischio sismico (Figura 1).

**Tecnologie e dati utilizzati**

Le attività qui descritte hanno principalmente riguardato lo sviluppo di metodi di elaborazione di riprese aeree stereoscopiche digitali e LIDAR (Borfecchia et al., 2007), al fine di ottenere, con un elevato livello di automatismo, i parametri geometrici tridimensionali degli edifici presenti nelle aree urbane di test individuate nel Comune di Avellino. In particolare, nell'ambito di un accordo quadro stipulato con l'Amministrazione Comunale di Avellino, sono state acquisite varie cartografie comunali e coperture aerofotogrammetriche relative alle aree di test. Le cartografie vettoriali ottenute sono a scala 1:2000 ed 1:5000 e si riferiscono a 3 diversi anni: 1997, 2003 e 2005. La copertura aerofotogrammetrica utilizzata risale alla fine del 1997, acquisita con volo ad un'altezza media di 1700 m, a scala fotografica 1:7500 e con camera RC10.

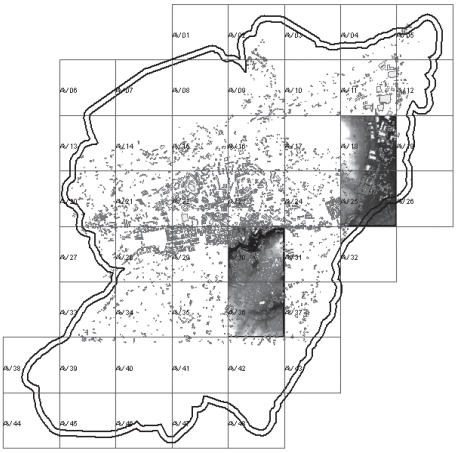


*Figura 1 – Confini del Comune di Avellino con distribuzione dell'edificato e quadro d'unione dei rilievi LIDAR. Per le aree di test è visualizzato in toni di grigio il DSM.*

Nell'autunno del 2007, invece, è stato effettuato appositamente un rilievo su tutto il territorio comunale tramite LIDAR *Optech ALTM 3100*, installato su elicottero e caratterizzato da una copertura omogenea di almeno 4 punti per metro quadrato.

Sebbene l'utilizzo di tecniche di fotogrammetria digitale abbia raggiunto ormai una notevole accuratezza unitamente ad un livello di automatismo ed economicità significativi, sulle aree urbane sono anche emersi i limiti di tale approccio: la presenza di ombre, di occlusioni, di oggetti in movimento (automobili) e di strutture ripetute (tetti, strisce pedonali), portano inevitabilmente a diminuire l'accuratezza del risultato finale, senza contare l'impossibilità di utilizzare coperture più recenti del 1997, poiché non disponibili presso il Comune di Avellino.

La tecnologia LIDAR, invece, non è influenzata da ombre né da strutture ripetute e si limita eventualmente a rilevare oggetti in movimento senza venire influenzata dalla loro velocità e direzione. Per contro, risulta anch'essa influenzata in una certa misura da occlusioni e presenta un costo di acquisizione sensibilmente superiore al rilievo aerofotogrammetrico.

**Metodologie sviluppate per la ricostruzione 3D della struttura urbana**

A partire da aerofotogrammi stereo sono stati stimati in maniera automatica i parametri geometrici degli edifici appartenenti alle aree test, utilizzando algoritmi di stereo-correlazione e *software* specifici, che con un'ottimizzazione mirata, consentono di ottenere risultati adeguati anche in ambienti complessi come quello urbano. Quest'ambito risulta problematico per la presenza delle strutture civili che, causando occlusioni, impediscono la correlazione. Inoltre, il tessuto urbano è normalmente caratterizzato da una certa varietà: ad esempio, una zona più antica (caratterizzata da edifici di piccole dimensioni densamente distribuiti) può trovarsi adiacente ad una costituita da edifici più moderni (meno densamente distribuiti, caratterizzati da forti elevazioni e riuniti in grandi isolati).

Queste problematiche sono state affrontate e risolte in modo soddisfacente solo tramite l'elaborazione di specifiche "strategie", elaborando appositamente un insieme di parametri e di algoritmi per la stereo-correlazione automatica, e finalizzandoli alla produzione del modello digitale 3D delle elevazioni (*Digital Elevation Model*, DEM) in particolare degli edifici presenti negli specifici ambienti urbani in cui sono collocate le aree di test scelte per il progetto (Pollino et al., 2005). Nella fattispecie, l'interesse prevalente era nei confronti dell'altezza degli edifici rispetto al suolo, per cui sono stati prodotti due differenti modelli 3D: uno relativo al suolo ed uno relativo agli edifici, in modo da poter successivamente stimare, per differenza, il parametro richiesto.

Come detto in precedenza, è stato effettuato un rilievo LIDAR su tutto il territorio comunale. I dati, aventi una risoluzione minima di 4 punti al $m^2$ ed una gestione d'impulsi di ritorno sino a 4, sono stati pre-elaborati per la ripulitura e l'inquadramento cartografico con il raggruppamento in 48 tavole (Figura 1), che ricoprono l'intero territorio comunale e corrispondendono ad altrettanti *file* in formato LAS, contenenti i dati sotto forma di nuvole di punti associati alla relativa intensità (Crosilla et al., 2007).

Tramite opportune tecniche di filtraggio, dai dati LIDAR sono stati ottenuti un modello digitale del suolo nudo (DTM) ed un modello digitale complessivo delle elevazioni (DSM), comparabili direttamente con i DEM ottenuti dai predetti metodi aero-fotogrammetrici. Grazie alla possibilità di escludere la vegetazione, tramite la gestione degli impulsi di ritorno multipli, ed alla maggiore quantità di punti direttamente misurati e non interpolati, la descrizione 3D ottenuta dai dati LIDAR risulta maggiormente dettagliata rispetto a quella ottenuta dall'approccio aerofotogrammetrico, specialmente in corrispondenza delle zone densamente urbanizzate. Sfruttando queste caratteristiche del dato LIDAR sono state successivamente effettuate elaborazioni per l'estrazione diretta e con alto livello di automazione dei seguenti Layer:

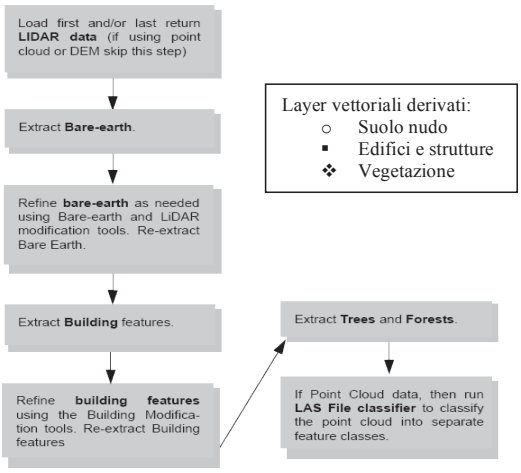



*Figura 2 – Schema di elaborazione dei dati LIDAR per l'estrazione semiautomatica dei layer degli edifici, dell'andamento del suolo e della distribuzione della vegetazione.*

1. Modello digitale complessivo della superficie: DSM (Digital Surface Model, raster)
2. Modello digitale del suolo nudo (DTM o DEM suolo, raster)
3. Vettoriale degli edifici con relativi attributi di:
    a. altezza (min., max , med) dal suolo;
    b. tipologia copertura (piana, semplice o complessa)
    c. altri parametri geometrici (lunghezza, larghezza, orientamento,..)
4. Vettoriale della vegetazione (centroide della chioma degli alberi e limiti vettoriali boschivi).

In Figura 2 è riportato lo schema di elaborazione utilizzato a partire dai dati LIDAR pre-elaborati in formato di nuvola di punti quotati. Come per le metodologie aerofotogrammetriche, tali elaborazioni dei dati LIDAR hanno richiesto la messa a punto di opportune strategie di estrazione ottimizzate sulle specifiche aree di test, con la scelta di un adeguato set di parametri correlati alle caratteristiche 3D degli oggetti (edifici, alberi, suolo nudo,…) da ricavare dai dati preprocessati.

**Analisi dei risultati**

Prima di procedere all'integrazione tra i risultati delle elaborazioni aerofotogrammetriche e di quelle LIDAR, è stato operato un confronto tra gli stessi. In particolare, per ciascun edificio delle aree di test, sulla base della relativa poligonale cartografica, sono stati estratti i valori statistici dell'altezza contenuta nel DEM aero-fotogrammetrico e nel DSM LIDAR. In tal modo, per ogni edificio si è ottenuto un set di parametri statistici di altezza dal suolo stimata con le due differenti tecniche. In aggiunta, ad ogni poligonale di edificio sono state associati - tramite funzioni GIS - gli stessi parametri statistici derivati dal DSM ma utilizzando la cartografia vettoriale ottenuta automaticamente per segmentazione degli stessi dati LIDAR, in modo da poter procedere ad una sua valutazione comparata.

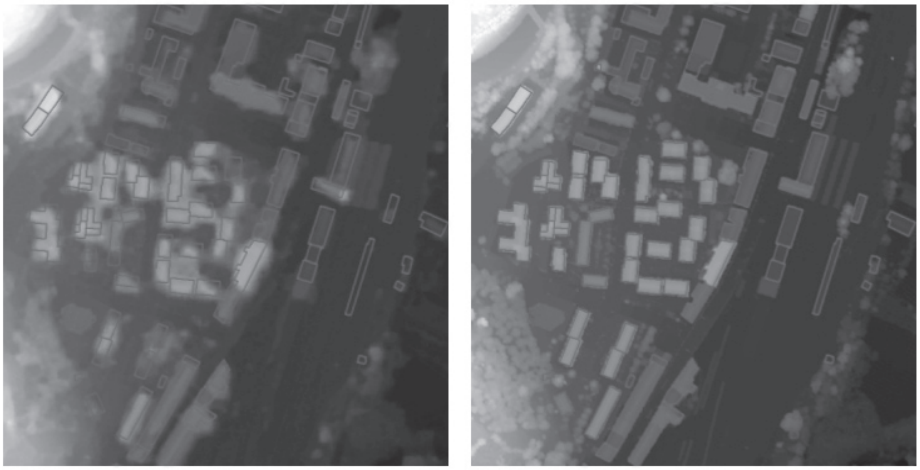


*Figura 3 – Cartografia di riferimento in sovrapposizione al DEM aerofotogrammetrico (sinistra) ed al DSM LIDAR (destra)*

In Figura 3, a titolo di esempio, nella parte sinistra è riportata la cartografia di riferimento (scala 1:2000) in sovrapposizione al DEM ottenuto dalle tecniche aerofotogrammetriche e nella parte sinistra al DSM ottenuto dalla nuvola di punti LIDAR. Nella Figura 4, invece, sono mostrati gli strati vettoriali di edifici, vegetazione ed alberi estratti automaticamente dal DSM LIDAR, ai quali è stata sovrapposta, come termine di paragone, la cartografia di riferimento in scala 1:2000. Come si può osservare, il vettoriale degli edifici ottenuto dal LIDAR risulta - con buona approssimazione - non solo simile alla cartografia di riferimento ma anche più aggiornato, comprendendo le nuove edificazioni intervenute.

Su queste basi, per un numero significativo di edifici nelle aree d'interesse, sono state messe a confronto le altezze stimate automaticamente con le corrispondenti misure effettuate manualmente per mezzo della fotointerpretazione stereoscopica manuale (FOT). Per la stima automatica sono state utilizzate sia le altezze ricavate da metodologie aerofotogrammetriche ottimizzate (DEMM) che dalle tecniche LIDAR (DSMM). Anche se la correlazione per le misurazione aerofotogrammetriche appare comunque significativa ($R^2$=0,531), si osserva come il valore più alto si riscontri per le stime ottenute dai dati LIDAR ($R^2$=0,730), che presentano anche un errore medio minore (RMSE=3,23). I risultati sono riportati in Figura 5.

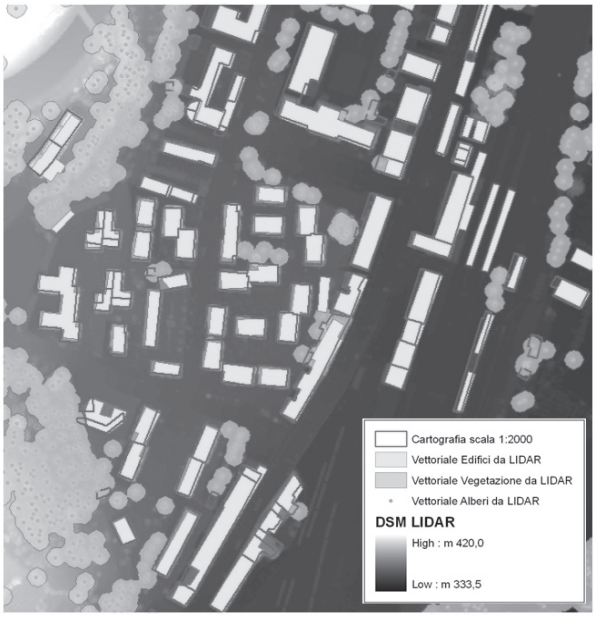



*Figura 4 – Strati vettoriali (edifici, vegetazione, alberi) estratti automaticamente da LIDAR*

Nella Figura 6, invece, è riportato il confronto tra le altezze stimate da dati LIDAR, quelle contenute nel vettoriale degli edifici ottenuto automaticamente dagli stessi dati LIDAR e le misure manuali FOT. Prendendo per ogni singolo edificio rispettivamente i valori medi (DSMAM) e massimi (DSMAMA), si osservano significativi livelli di correlazione.

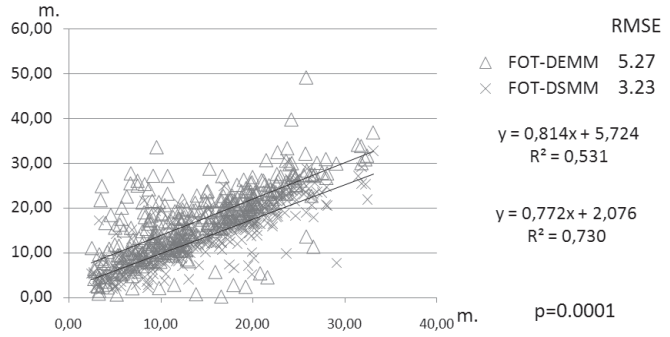



*Figura. 5 – Confronto tra altezze degli edifici stimate automaticamente da DEM (DEMM) e DSM (DSMM) mediante la cartografia vettoriale di riferimento e le misure manuali da fotointerpretazione stereoscopica.*

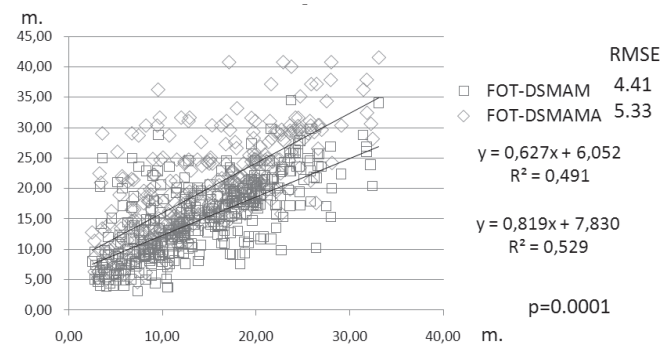



*Figura. 6 – Confronto tra altezze stimate manualmente e da dati LIDAR*

In definitiva, i risultati delle elaborazioni dei dati LIDAR, integrati con i risultati delle elaborazioni aerofotogrammetriche, hanno consentito migliorare la qualità e l'accuratezza sia del DEM finale del suolo che delle altimetrie in corrispondenza degli edifici. I dati LIDAR, inoltre, sono stati utilizzati anche per la caratterizzazione delle coperture e per l'individuazione della distribuzione della vegetazione nelle aree d'interesse.

**Bibliografia**

Borfecchia F., Della Rocca A.B, De Cecco L., Martini S., Pollino M., Pascale C., Coren F. (2007), "Applicazione di tecniche di rilevo LIDAR ed aerofotogrammetriche a supporto della stima della vulnerabilità sismica nelle aree urbanizzate", *ATTI 11ª Conferenza Nazionale ASITA*

Crosilla F., Visintini D., Prearo G., Fico B. (2007), "Esperienze di filtraggio, classificazione segmentazione e modellazione di dati spaziali da rilievo laser aereo", *Bollettino SIFET,* 1/05: 13-51

Pollino M., Della Rocca A.B., Pierazzi M. (2005), "Aerofotogrammetria, DEM e realtà virtuale: ricostruzione fotorealistica tridimensionale di edifici in aree urbane", *Cartographica - Il notiziario dei dati geografici, Ed. MondoGIS*, n° 11: 7-10

Giovinazzi S., Lagomarsino S. (2001), "Una metodologia per l'analisi di vulnerabilità sismica del costruito", Atti X Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Potenza-Matera

# TECNICHE LIDAR PER IL CONTROLLO DI SIMMETRIA DELLA CARENA DI UNA NAVE

Leandro BORNAZ (**), Fabio DAGO (**), Andrea LINGUA (*),
Mario NATTERO (***), Francesco NEX (*)

(*) Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie, 10129 Torino (TO), tel. 011/0907657, fax 011/0907699, (andrea.lingua, francesco.nex)@polito.it
(**) SIR s.r.l. Soluzioni Innovative per il Rilevamento, Corso Castelfidardo, 30/A, 10129 Torino, Tel. (+39) 011.564.5123, (leandro.bornaz, fabio.dago)@sir.to.it
(***) Studio Ingegneria Navale Nattero, Via Al Molo Giano, 16128 Genova, Tel. 010/2475184, info@aliso.it

**Riassunto**
Il controllo della carena rappresenta un aspetto fondamentale nella costruzione di una nave. Gli strumenti laser scanner terrestre attualmente in commercio permettono di rispondere adeguatamente alle esigenze di cantiere sia in termini di velocità di esecuzione del dato sia in termini di precisione. D'altronde anche gli strumenti di elaborazione messi a punto in questi anni consentono di trattare rapidamente i dati e di fornire le informazioni necessarie ai controlli durante la costruzione.
In questo articolo viene appunto proposta una procedura di rilievo su una nave in fase di costruzione allo scopo di valutarne la simmetria del bulbo di prua. In particolare sono state analizzate, anche in questo campo, le potenzialità degli strumenti e degli algoritmi messi a punto in questi anni, comunemente utilizzati per rilievi in campo architettonico ed ambientale.

**Abstract**
The quality control of the ship hull during its construction is fundamental. On trade Terrestrial Laser Scanners allow to acquire data with fast scans reaching good accuracy. On the other hand, available software tools process data giving the requested information to ship builders.
In this paper, a new ship surveying procedure is shown. The aim of this work is the symmetry evaluation of the bulbous bow. In particular, the performances of the algorithms thought up for environmental and architectural surveys are analysed.

## Introduzione

Le tecniche LIDAR terrestri furono originariamente ideate per applicazioni di tipo industriale. Negli ultimi anni, tuttavia, hanno conosciuto una diffusione maggiore in campo ambientale, architettonico ed archeologico. Tale tecnica viene sovente preferita alle altre topografiche tradizionali in quanto permette di acquisire molte informazioni riducendo al massimo i tempi di acquisizione.
Nell'ambito delle costruzioni navali il rilievo degli scafi è tradizionalmente eseguito mediante l'uso di stazioni totali e distanziometri senza prisma. Lo scopo di questi rilievi è essenzialmente quello di controllare in fase di costruzione la congruenza di quanto realizzato con il progetto, oppure di fornire le informazioni in fase di restauro per la progettazione di nuove contro-carene ed il calcolo dei volumi dello scafo, laddove manchino elaborati attendibili. Con questi rilievi si ottengono dati poco densi, da cui si ha un'informazione solo parziale delle irregolarità dello scafo, peraltro condizionati da tempi di acquisizione abbastanza lunghi.
In questo contesto le tecniche LIDAR possono essere pertanto applicate per ottenere un dato più denso e con tempi di acquisizione molto inferiori. Il problema come sempre quando si usano questi dati è disporre di strumenti software che ne permettano la corretta interpretazione in termini rigorosi e l'efficace estrazione dei parametri di analisi utili al costruttore dello scafo. In letteratura sono

presentati numerosi lavori di rilievo in campo industriale (Pfeifer ed al., 2004) fra cui alcuni esempi di rilievi navali (Biskup ed al., 2007; Arias ed al., 2007). In questi lavori lo scopo del rilievo è quello di realizzare un modello tridimensionale dello scafo utile nel calcolo dei volumi di carena e nella progettazione delle contro-carene. Questo genere di informazione, tuttavia, risulta di difficile gestione qualora lo scopo del rilievo sia il controllo in fase di costruzione, in particolare la verifica della simmetria dello scafo. Per questo motivo, il rilievo laser scanner è stato ricondotto ad informazioni per così dire più semplici quali le sezioni longitudinali, trasversali ed orizzontali. Da queste, infatti, risultano immediatamente verificabili la congruenza delle linee d'acqua con il progetto e la loro simmetria. Per far questo sono state implementate nei software Sir-IO, già in uso, nuove funzioni di elaborazione che saranno presentate nel seguito.

**Acquisizione dei dati**

Il rilievo durante la costruzione ha essenzialmente la funzione di verificare la corrispondenza di quanto è stato già realizzato con il progetto della nave. Per questo motivo le condizioni in cui si eseguono i lavori sono sovente disagevoli e l'ambiente in cui si opera non è certo "preparato" per l'esecuzione del rilievo; anche i tempi a disposizione per l'acquisizione devono essere i più ridotti possibili per non intralciare le operazioni di cantiere.

Nello specifico, la superficie della nave era nascosta dai ponteggi del cantiere, come è possibile vedere nelle immagini riportate di seguito. Per ottenere una nuvola di punti completa della zona da analizzare è stato quindi necessario eseguire 10 scansioni attorno alla zona da rilevare, a distanze e a quote differenti. Visto l'elevato numero di scansioni è stato inoltre necessario collocare 29 marker, in vicinanza dello scafo e sulle pareti del capannone di carenaggio, posti ad altezze differenti in modo da garantire "robustezza" all'allineamento fra le scansioni.

*Figura 1 – Condizioni operative in cui è stato eseguito il rilievo*

L'esecuzione del rilievo è stata realizzata con il laser scanner *Zoller-Frohlich Imager 5003* il quale ha permesso di acquisire il dato con le precisioni richieste ed in tempi molto ridotti. Quest'ultimo aspetto ha permesso di superare le difficili condizioni di lavoro intralciando il meno possibile i lavori di cantiere e permettendo di ottenere un dato il più possibile completo con pochi minuti per ogni scansione. L'intero rilievo laser scanner è stato completato in poco più di 2 ore al termine delle quali sono stati acquisiti quasi 60 milioni di punti.

Per unire ed integrare correttamente l'insieme delle acquisizioni laser effettuate i marker posizionati sono stati misurati mediante una rete topografica formata da 4 stazioni e 29 vertici, come è mostrato in figura 2. Le misure sono state condotte con la *Smart Station* (*Leica Geosystem*), eseguendo misure ridondanti su ciascun vertice (regola di Bessel su più strati).

| Type | Velocità acquisizione | Precisione | Campo di vista |
|---|---|---|---|
| *Zoller-Frohlich Imager 5003* | Media: 125,000 px /sec. | Distanza: ≤ 3mm | Verticale: 310° |
| | Max: 625000 px /sec. | Divergenza raggio: 0.22 mrad | Orizzontale: 360° |

*Tabella 1 – Caratteristiche tecniche dello strumento utilizzato*

**Elaborazione dei dati**

*Rete di inquadramento topografica*

La rete di inquadramento topografica è stata realizzata con lo scopo di determinare la posizione dei punti presegnalizzati (marker). Le rete topografica di riferimento è stata compensata con procedimento ai minimi quadrati con software topografico Star*Net, ottenendo precisioni millimetriche nelle tre dimensioni su tutti i marker della rete.

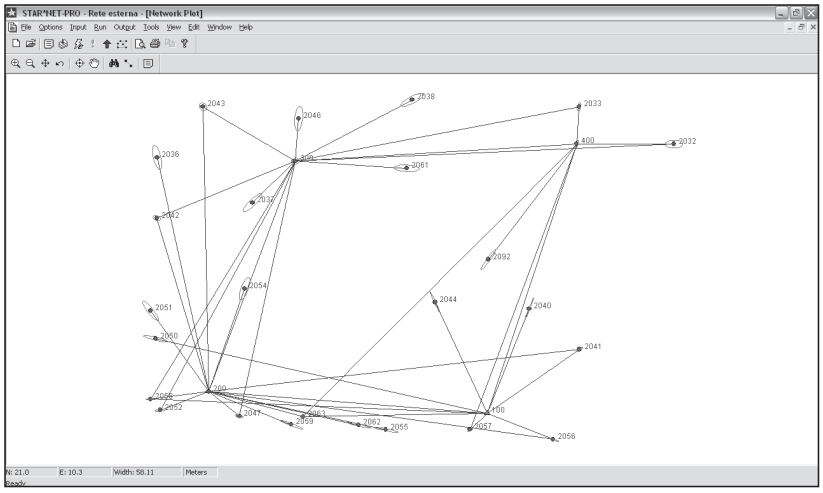



*Figura 2 – Rete topografica di inquadramento*

*Dati laser scanner*

L'elaborazione dei dati acquisiti mediante laser scanner consiste nell'insieme delle operazioni dalle quali si ricavano prodotti finali utili per l'estrazione delle informazioni di interesse (modello 3D a colori, immagine solida, ortofoto di precisione, ecc.).

In questo caso sono state eseguite le seguenti operazioni secondo la ormai nota pratica di trattazione:

- Ricerca di punti presegnalizzati all'interno della scansione laser (marker);
- Filtratura della nuvola di punti (mediante filtro mediana) per l'eliminazione degli errori di acquisizione (outliers e gross errors) e del rumore presenti;
- Eliminazione dei punti non contestualmente legati all'oggetto (ad es. punti di sfondo o di primo piano o nel caso specifico della nave i ponteggi presenti in cantiere);
- Allineamento automatico di modelli tridimensionali adiacenti mediante triangolazione laser;
- Georeferenziazione delle nuvole di punti in un sistema di riferimento esterno noto a priori (nel caso specifico si è provveduto a determinare un SdR con asse delle ordinate all'incirca parallelo all'asse della nave);

I dati acquisiti sono stati elaborati, secondo le fasi elencate in precedenza con Sir-IO (vedi figura 3), il software di elaborazione e gestione dati geomatici sviluppato da Sir Soluzioni Innovative per il

Rilevamento s.r.l. in collaborazione con il Gruppo di Ricerca avanzata in geomatica del DITAG - Politecnico di Torino.

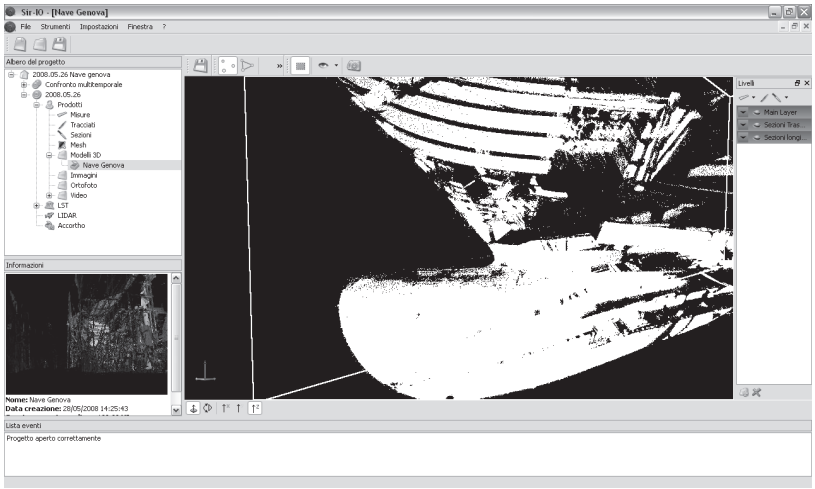



*Figura 3 – La nuvola di punti della nave durante le fasi di elaborazione con Sir-IO*

Il risultato ottenuto è una nuvola di punti complessa e completa dell'oggetto. Come si nota in figura 3, nonostante l'elevato numero di scansioni eseguite, rimangono sul modello alcune zone prive di dato. In particolare, la zona del bulbo in cui sono state concentrate le scansioni risulta essere la più completa. Dall'analisi di questa area saranno ottenute le informazioni per la valutazione degli assi di simmetria.

*Analisi della carena*

Per valutare i caratteri costruttivi principali del bulbo di prua della nave è stato innanzitutto determinato il piano di simmetria dello scafo; non disponendo del rilievo dell'intera imbarcazione si è definito tale piano solo in corrispondenza della zona prodiera della nave.

Assumendo che l'imbarcazione fosse disposta verticalmente sono state dapprima selezionate ad intervalli regolari strisce di punti orizzontali del modello mediante una apposita funzione di Sir-IO. Per ogni striscia è stata determinata l'equazione dell'asse di simmetria mediante un processo iterativo ai minimi quadrati. Così facendo è stato possibile condurre un'analisi puntuale della simmetria per ogni sezione che ha permesso:

- la valutazione della simmetria attraverso il test di simmetria (*Skewness test*);
- la generazione di grafici della distribuzione delle asimmetrie, come mostrato in figura 4.

In generale le differenze fra un lato e l'altro del bulbo (**Δ**) sono state al di sotto delle tolleranze di progetto; in tabella 2 sono riportati i valori medi ricavati nelle sezioni.

Dal confronto delle equazioni degli assi di simmetria delle diverse sezioni sono state inoltre verificate le rotazioni dell'asse al variare della quota. Tali rotazioni sono state al massimo intorno al decimo di grado e i parametri degli assi sono stati statisticamente costanti superando il test *t-Student* ($\alpha$=0,01). Il piano di simmetria del bulbo è stato quindi determinato mediante la stima pesata degli assi ottenuti alle diverse quote.

| Coef. di Skewness medio | Δ medio [m] | S.q.m. delle Δ [m] |
|---|---|---|
| 0.0057 | 0.001 | 0.014 |

*Tabella 2 – Risultati medi simmetria del bulbo di prua*

Una volta stimato questo piano è stato possibile definire le sezioni longitudinali (parallele al piano di simmetria) e verticali (perpendicolari al piano di simmetria). Anche in questo caso ogni sezione è stata inizialmente definita come una striscia di punti giacenti nell'intorno del piano di sezione (vedi figura 5a).

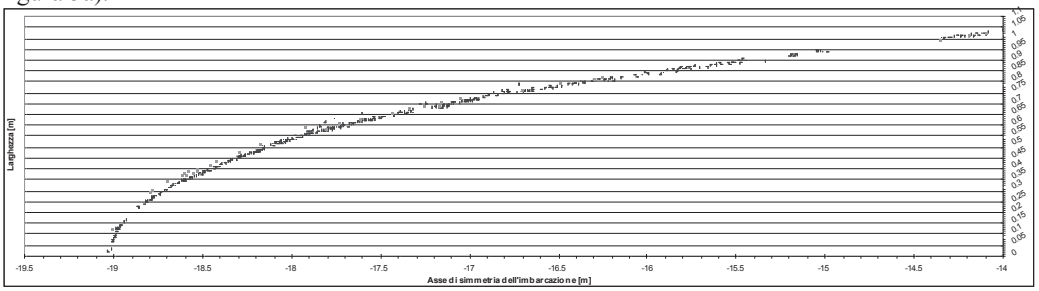



*Figura 4 – Esempio di analisi puntuale di simmetria del bulbo dell'imbarcazione (quota 2.2 m)*

Questi insiemi di punti, tuttavia, risultano poco maneggevoli e non forniscono informazioni facilmente confrontabili con il piano di costruzione della nave. A tale scopo è stato implementato sul software Sir-IO un algoritmo di scheletrizzazione (*skeletonization)* capace di generare automaticamente le linee di carena a partire da strisce di punti (vedi figura 6). Tali linee sono state registrate nel database del progetto e successivamente esportate in formato CAD (figura 5b).

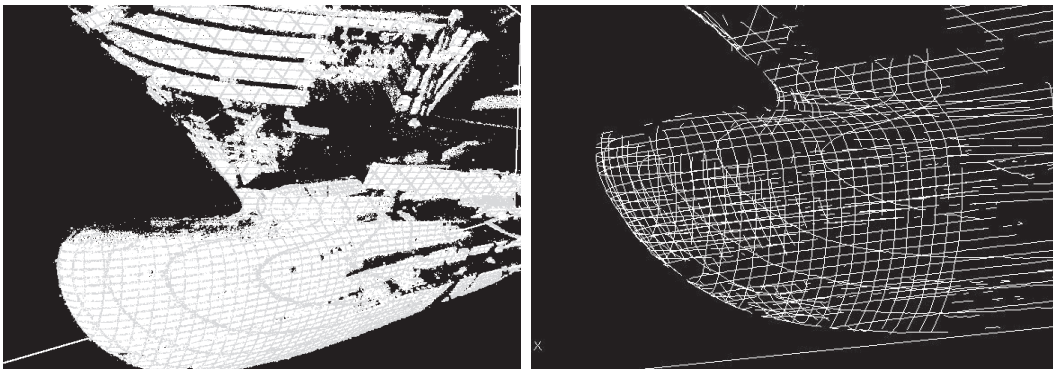


*Figura 5 – Estrazione con Sir-IO delle sezioni (5a) ed esportazione delle polilinee in CAD (5b)*

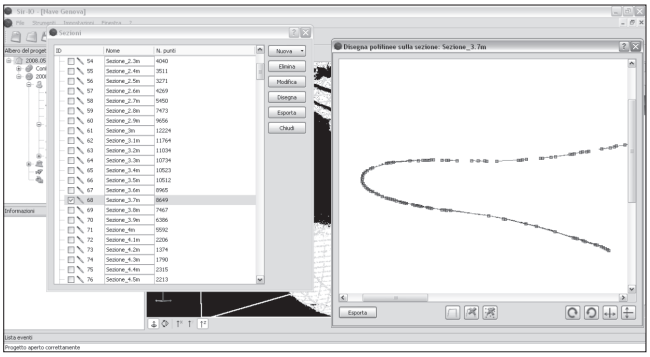


*Figura 6 – Estrazione delle sezioni e profili della carena della nave in Sir-IO*

Le sezioni sono state associate a *layer* differenti nel sistema di riferimento della sezione (2D) e al sistema di riferimento topografico di inquadramento (3D) (vedi figura 6). E' stato possibile in questo modo confrontare in modo semplice gli elaborati di progetto con l'oggetto costruito.

**Conclusioni e sviluppi futuri**

I risultati ottenuti possono considerarsi incoraggianti in quanto hanno dimostrato come gli strumenti laser scanner attualmente in commercio permettano di ottenere le informazioni richieste in tempi compatibili con le esigenze del cantiere. Rispetto alle stazioni totali, attualmente in uso nel settore cantieristico, i laser scanner consentono con un solo rilievo di ottenere un modello completo dello scafo con precisioni dello stesso ordine di grandezza, utilizzabile anche successivamente per ulteriori misure. Tuttavia, i tempi di elaborazione dei dati LIDAR sono ancora superiori rispetto a quelli delle tecniche tradizionali anche se sicuramente migliorabili attraverso una maggiore automazione, come è stato dimostrato in questo contributo.

Il rilievo descritto ha infatti permesso di implementare nuove funzioni utili nelle analisi e nei controlli durante la realizzazione di uno scafo (assi e piani di simmetria, sezioni, ecc.) rendendole maggiormente rapide ed automatiche. Tale lavoro ha comportato un attento lavoro di adattamento e miglioramento degli strumenti già messi a punto in ambito ambientale (Bornaz ed al., 2002) e civile (Chiabrando ed al., 2008), al fine di fornire un risultato finale utile ad applicazioni di questo genere.

Nel futuro saranno eseguiti altri test su imbarcazioni per verificare il funzionamento degli strumenti messi a punto e per valutare con maggior accuratezza le precisioni raggiunte da questi rilievi utilizzando superfici test.

**Bibliografia**

Chiabrando F., Nex F., Piatti D., Rinaudo F., 2008. "Integrated Digital Technologies To Support Restoration Sites: A New Approach Towards A Standard Procedure",*Conference of Virtual Systems and Multimedia dedicated to Cultural Heritage*, Lymassol, Cyprus, 20-26 Ottobre 2008

Biskup K., Arias P., Lorenzo H., Armesto J. (2007), "Application of terrestrial laser scanner for shipbuilding", *ISPRS Workshop on Laser Scanning and SilviLaser 2007*, Espoo, 12-14 Settembre, Finland, pp.56-61

Pfeifer, N., Lichti, D., 2004. "Terrestrial Laser scanning: Developments, Applications and Challenges", *GIM International*, December 2004.

Arias p., Armesto J., Lorenzo H., Ordonez C. (2007). "Terrestrial Laser technology in sporting Craft 3D Modeling. *Proceedings book of the International Symposium CompIMAGE 2006: Computational Modeling of Objects Represented in Images: Fundamentals, Method and Applications*. ISBN 978-0-415-43349-5 Vol.1,pp.63-69. 2007. Taylor & Francis Group. London, United Kingdom.

Bornaz L., Lingua A., Rinaudo F. (2002). "Engineering and environmental applications of laser scanner techniques", *III Symposium "Photogrammetry Computer Vision"* XXXIV part 3b. 9-13 Settembre 2002, Graz, Austria.

**Ringraziamenti**

Gli autori desiderano ringraziare l'Ing. Paolo Girardi della *deltaG* e l'azienda *Zoller-Frohlich* per la fornitura dello strumento utilizzato nel rilievo della nave.

# RIEGL LPM-321 UNO STRUMENTO LASER SCANNER A LUNGA PORTATA PER I RILIEVI AMBIENTALI

Leandro BORNAZ (*), Davide MARENCHINO (*),
Francesco NEX (*), Fulvio RINAUDO (*)

(*) DITAG – Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie, Politecnico di Torino
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino. – (leandro.bornaz, davide.marenchino, francesco.nex,
fulvio.rinaudo)@polito.it

**RIASSUNTO**
Le tecniche di acquisizione Laser sono sempre più utilizzate in applicazioni ambientali a grande scala. L'elevata automazione e la rapidità delle operazioni di misura permettono di utilizzare questa tecnica per operazioni di monitoraggio ambientale, in particolare di frane e ghiacciai. D'altra parte la portata dello strumento è un parametro vincolante per l'esecuzione dei rilievi in termini economici, di durata (necessità di eseguire più posizioni di scansione) e di accessibilità in condizioni di sicurezza. A tal proposito le case produttrici stanno realizzando strumenti in grado di eseguire misure automatiche di distanza (tempo di volo) fino a 6000 m.
In questo articolo sono presentati i primi test applicativi eseguiti dal gruppo di ricerca del DITAG (Politecnico di Torino) su uno strumento di questo genere, con l'intento di valutarne le potenzialità ed i limiti nel rilevamento ambientale.

***ABSTRACT***
*LIDAR techniques have been widely used also in environmental applications. The automation of these instruments and their quickness in the points cloud generation have permitted their use in the landslide and glacier monitoring. However, the maximum measurement range of laser scanners in this application field changes the cost of the survey, its duration and its safety conditions. For this reason, instrument producers have developed new laser scanners able to measure long distances (up to 6000 m).*
*In this paper first tests of the Research Group of the DITAG (Polytechnic of Torino) on a long range laser profile measuring system (Riegl LPM-321) are presented, in order to evaluate the potentiality of these instruments in the environmental survey.*

## INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi 10 anni lo sviluppo delle tecniche di acquisizione laser ha subito un'incessante crescita. I continui miglioramenti in termini di velocità di acquisizione e di accuratezza, oltre che l'integrazione con le tecniche della fotogrammetria digitale, hanno permesso l'uso dei laser scanner in molteplici campi applicativi. In ambito terrestre sono stati saldamente testati sistemi laser per il rilievo industriale (Pfeifer ed al., 2004) ed archeologico (Girardi ed al., 2007), mentre i sistemi LIDAR aviotrasportati sono comunemente utilizzati per i rilievi ambientali.

Ponendo l'attenzione sul rilievo ambientale a grande scala, si può affermare che finora le tecniche LIDAR aeree non sono state in grado di soddisfare le esigenze richieste da operazioni di monitoraggio locale di ghiacciai o di versanti in frana. Del resto data la complessità, le forti pendenze, l'instabilità ed il continuo mutamento dei versanti, qualsiasi altra applicazione aerea (fotogrammetria, remote sensing, SAR) non è stata in grado finora di fornire un rilievo completo dei fronti da monitorare (Bauer ed al., 2003). La necessità di modelli digitali del terreno (DEM) che

rappresentino in modo preciso e completo zone soggette a monitoraggio, quali seracchi o nicchie di distacco roccioso, ha quindi spinto le tecniche di acquisizione laser scanner terrestre ad un rapido sviluppo. Numerose ricerche e test applicativi sono stati svolti in questo campo (Ewert, Maas ed al., 2008; Abellan, Vilaplana ed al., 2006), in particolare con l'uso di sistemi laser scanner *long range* (lunga portata), in grado di misurare distanze superiori a 1000 m. A differenza dei laser terrestri classici, questi sistemi riducono il vincolo di portata massima dello strumento, permettendo di incrementare la produttività del rilievo in termini economici, di durata (necessità di eseguire più posizioni di scansione) e di accessibilità in condizioni di sicurezza.

Nel seguente lavoro sono presentati i primi test applicativi svolti dal gruppo di ricerca del DITAG con il laser LPM-321, messo in commercio dall'azienda austriaca *Riegl* e in grado di misurare distanze fino a 6000 m. Lo strumento è stato utilizzato in diverse aree test in Val d'Aosta al fine di valutarne le potenzialità in applicazioni ambientali a grande scala. In particolare l'elaborazione dei dati acquisiti ha permesso di realizzare un modello digitale del terreno (DEM) di una parte del ghiacciaio della Brenva (Courmayeur) e di un versante in frana nei pressi dell'abitato di La Saxe (Courmayeur).

## LPM-321

Il profilometro laser LPM-321, commercializzato dall'azienda produttrice austriaca *Riegl*, è tuttora l'unico strumento LIDAR in grado di misurare distanze in automatico fino a 6000 m (Figura 1-2). La modalità di misura è a "tempo di volo". Per ogni misura il distanziometro invia centinaia di impulsi laser (Classe 1M). I raggi riflessi sono analizzati da un apposito microprocessore (*DSP: Digital Signal Processor*), in grado di fornire un unico valore di distanza. Il numero di impulsi Laser inviato è funzione del *rate* di misura, che varia tra 10 e 1000 Hz. Grazie al *DSP*, in grado di registrare gli echi multipli di ritorno, il distanziometro è in grado di fornire tre differenti tipologie di misura (*"first pulse", "last pulse", "strongest pulse"*). La portata massima di misura è funzione del *rate*, della riflettività del materiale e dalle condizioni atmosferiche. In particolare le superfici esposte al sole riducono l'intensità del raggio riflesso con conseguente riduzione del massimo *range* di acquisizione.

Il distanziometro è montato su un'unità motorizzata simile all'alidada di un teodolite, dotata di un cannocchiale. Il passo minimo di scansione angolare è di 0.02 gon. Lo strumento può essere integrato con una camera digitale opportunamente calibrata ed orientata rispetto al sistema di riferimento strumentale. In questo modo è possibile effettuare scatti automatici al fine di colorare le nuvole acquisite.

L'interfaccia dello strumento è garantita dal software *"Riprofile"* di proprietà Riegl, che permette inoltre il trattamento dei dati acquisiti.

## RILIEVI SU AREE TEST

Al fine di valutare le potenzialità del laser scanner LPM-321 è stata condotta una campagna di rilievi su tre aree test in Valle d'Aosta (Figura 3). Le prove sono state eseguite in ambienti completamente differenti. La prima prova è stata eseguita in notturna presso la frazione Palud di Sarre, dalla quale si domina l'intero abitato di Aosta. Un secondo rilievo è stato eseguito in località La Saxe (Courmayeur) ed ha avuto come oggetto un versante in frana. L'ultima campagna di acquisizione è stata invece svolta ai piedi del ghiacciao della Brenva, nel massiccio del monte Bianco (Courmayeur). In particolare questo ultimo rilievo è stato condotto in collaborazione con l'ente "Fondazione Montagna Sicura" (Aosta), con il quale il dipartimento DITAG del Politecnico di Torino ha instaurato un rapporto di cooperazione per il rilievo e il monitoraggio di diversi ghiacciai valdostani (il ghiacciaio del Timorion in Valgrisange ed il ghiacciaio del Pré de Bard in Val Ferret).

| RIEGL LPM-321 Caratteristiche tecniche | | | |
|---|---|---|---|
| **Massima distanza/*rate*** | **1000 Hz** | **100 Hz** | **10 Hz** |
| **Target naturali (ρ>0.8)** | **>1500 m** | **>2500 m** | **6000 m** |
| **Target naturali (ρ>0.1)** | **>500 m** | **>850 m** | **>1500 m** |
| **Accuratezza (distanza)** | **25 mm** | | |
| **Accuratezza (angolare)** | **0.01 gon** | | |
| **Divergenza raggio Laser** | **0.8 mrad** | | |
| **Lunghezza d'onda Laser** | **Infrarosso vicino** | | |
| ***Rate* di misura** | **10:1000 punti/s** | | |
| **Peso** | **16 kg** | | |

***Figura 1 – Caratteristiche tecniche Laser LPM-321***

***Figura 2 – Laser LPM-321***

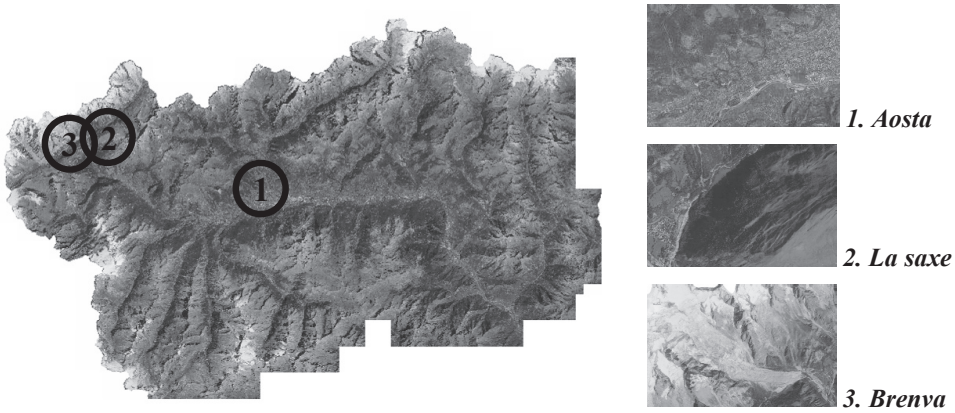



***Figura 3 – Carta della Valle d'Aosta con indicazione delle aree test***

Per il ghiacciaio della Brenva le operazioni di rilievo sono state pianificate al fine di produrre un modello digitale del terreno (DEM). La necessità di ottenere un prodotto georiferito da utilizzare in successive analisi temporali, ha richiesto la materializzazione di una rete di inquadramento per l'orientamento delle scansioni, costituita da marker riflettenti, ben visibili e di posizione facilmente determinabile per sensori a tempo di volo.

Parallelamente alle acquisizioni laser sono quindi stati svolti dei rilievi GPS con una coppia di ricevitori Leica 1200 doppia frequenza al fine di ottenere 2 punti noti nel sistema WGS84, e dei rilievi topografici con la stazione totale Leica SmartStation per permettere l'inquadramento dei marker utilizzati nel sistema di riferimento finale.

Per quanto riguarda il rilievo di Aosta, non sono state eseguite operazioni di georeferenziazione delle nuvole di punti, ma delle semplici analisi sulle prestazioni dello strumento.

**Acquisizioni Laser**

La prova notturna eseguita in frazione Palud nel comune di Sarre è consistita in una scansione dell'intero abitato di Aosta (Figura 4).

L'acquisizione è avvenuta con un *rate* di 10 Hz, passo di scansione di 0.063 deg e registrazione dell'ultimo impulso (Figura 5). Lavorando di notte, il Laser ha acquisito ad una distanza massima di 5998 m, valore del tutto conforme alle specifiche dichiarate dalla Riegl. La misura di 175000 punti è avvenuta in circa 8 ore. Ciò dimostra che lo strumento è grado di raggiungere portate molto elevate a discapito della velocità di acquisizione.

Sul versante in frana di La Saxe è stata eseguita un'unica scansione dal versante opposto a quello in esame (distanza media di 2 km) con *rate* di acquisizione di 100 Hz, passo di scansione di 0.072 deg e registrazione dell'ultimo impulso (Figura 6-7).

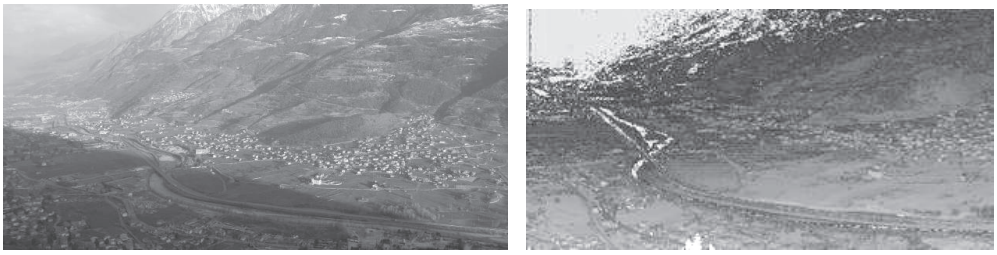


***Figure 4-5 – L'abitato di Aosta dalla e scansione con LPM-321***

Lo scopo dell'acquisizione era la creazione di un DEM del versante. Per questo durante la scansione è stato registrato l'ultimo impulso ed in fase di elaborazione è stato adottato un algoritmo di filtratura sviluppato dagli stessi autori (presentato al Convegno Nazionale ASITA 2006) per la rimozione della vegetazione sul versante.

***Figure 6-7 – Acquisizione Laser e operazioni topografiche sul versante di La Saxe***

Tuttavia, il ridotto passo di scansione, che a 2 km di distanza si traduce in un punto ogni 2.5 m, e la massiccia presenza di vegetazione a copertura del versante hanno inizialmente inficiato sulla qualità del DEM. In questo caso sarebbe comunque necessario utilizzare la massima definizione possibile dello strumento (passo di scansione minimo), sacrificando la rapidità di esecuzione, ed effettuare più riprese da punti di vista differenti per migliorare la completezza del modello del versante.

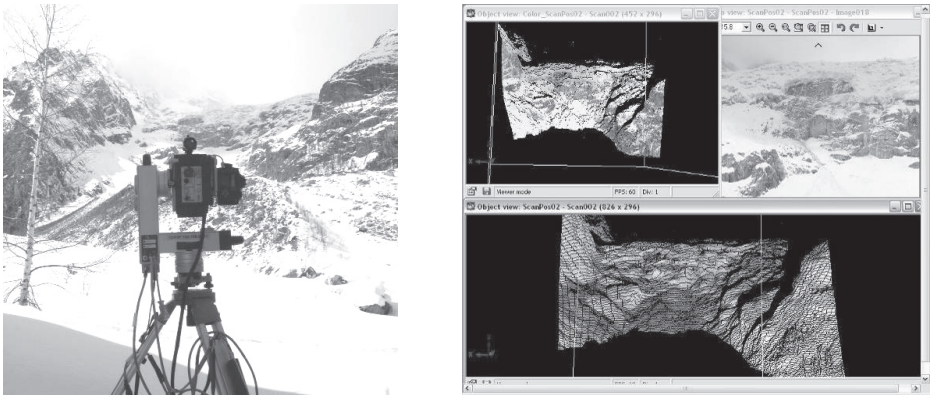


*Figure 8-9 –Scansione sul ghiacciaio della Brenva e visualizzazione dei dati acquisiti*

Una situazione diversa è stata affrontata per l'acquisizione della lingua valliva del ghiacciaio della Brenva dove sono state sfruttate appieno le potenzialità del laser scanner. Il fronte di interesse, che si sviluppa per più di 600 m in quota, è difficilmente accessibile e l'utilizzo di un laser scanner di media portata richiederebbe un elevato numero di posizioni di scansione su terreno poco sicuro. Con LPM-321 sono state eseguite due scansioni ad una distanza media dal fronte di 2500 m, lungo una pista che risale il versante opposto del ghiacciaio e accessibile con motoslitta. Le scansioni (rate 10Hz, passo = 0.072 deg) hanno permesso di misurare punti su ghiaccio alla massima distanza di 3200 m (Figura 8), permettendo l'acquisizione completa del fronte di interesse.

## TRATTAMENTO DEI DATI

### GPS/Topografia

La rete di vertici materializzata è stata misurata con un rilievo GPS con posizionamento relativo e approccio alle doppie differenze di fase. Uno dei vertici della rete è stato posizionato relativamente alle stazioni permanenti GPS della rete delle Regione Piemonte (Torino, Lago Agnel, Biella). Tale vertice è stato impiegato successivamente per il posizionamento relativo degli altri vertici della rete. Il processamento delle *baselines* ha condotto alla soluzione delle stesse con fissaggio dell'ambiguità di fase e determinazione dei coefficienti della matrice di varianza covarianza per ognuna delle baseline. La rete di inquadramento topografica è stata realizzata con lo scopo di determinare la posizione dei punti presegnalizzati *(marker)*. I vertici GPS sono stati utilizzati per l'orientamento della rete topografica. La rete è stata compensata con procedimento ai minimi quadrati con software topografico Starnet, utilizzando come capisaldi i vertici della rete GPS.

### Laser Scanner

Con elaborazione dei dati laser scanner, si intende l'insieme delle operazioni che consente di ottenere, a partire da una o più nuvole di punti acquisite, un prodotto finale che possa essere utile ad un utente per l'estrazione di informazioni di interesse (modello 3D a colori, immagine solida, ortofoto di precisione, ecc.).
Le operazioni tipiche del trattamento dei dati laser sono la ricerca di punti presegnalizzati all'interno della scansione laser (marker o entità geometriche di vario tipo, ad esempio sfere di dimensione nota), la filtratura della nuvola di punti per l'eliminazione degli errori di acquisizione (outliers e gross errors) e del rumore presenti, l'eliminazione dei punti non contestualmente legati all'oggetto (ad es. punti di sfondo o di primo piano), l'allineamento automatico di modelli tridimensionali adiacenti e la georeferenziazione delle nuvole di punti in un sistema di riferimento esterno noto a priori.
Il risultato che si ottiene dall'insieme delle operazioni elencate è una nuvola di punti complessa e completa dell'oggetto che rappresenta il corretto punto di partenza per la creazione di qualsiasi prodotto rivolto all'utilizzatore finale dei dati.

Uno dei problemi principali che è necessario risolvere nei rilievi laser scanner a scansione multi temporali degli apparati glaciali è la scelta del sistema di riferimento corretto. Ad esempio laser scanner elitrasportati e terrestri acquisiscono i dati secondo sistemi di riferimento differenti che non sono direttamente compatibili tra loro se non attraverso complesse procedure di conversione dei dati. Altra problematica da affrontare è il sistema di riferimento utilizzato dai glaciologi per le analisi territoriali, che generalmente è di tipo cartografico e che rende quindi necessario considerare la differenza tra distanze reali, misurate con i sensori laser, e le distanze cartografiche. Tale problema aumenta al crescere della quota alla quale si trova l'apparato glaciale e della sua estensione e quindi con sensori laser con elevate portate non può essere trascurato.
Per quanto descritto, solo un dato acquisito ed elaborato correttamente permette di effettuare analisi morfologiche multi temporali tridimensionali degli apparati glaciali anche derivanti da metodologie di rilevamento differenti e permette agli specialisti di effettuare analisi dimensionali e bilanci di massa con elevata precisione anche di superfici molto estese.
Per affrontare in modo corretto e rigoroso l'insieme delle operazioni di elaborazione elencate è stato utilizzato nelle fasi di elaborazione dei dati il software Sir-IO, software di elaborazione rigorosa e di gestione dei dati geomatici sviluppato da SIR, Soluzioni Innovative per il Rilevamento s.r.l. in collaborazione con il Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie.
Sir-IO permette di effettuare in modo rigoroso il trattamento dei dati laser scanner e, grazie alla calcolatrice geodetica rigorosa di cui è dotato, permette di gestire il modello digitale secondo il sistema topografico locale o secondo qualsiasi altro sistema di riferimento. In particolare nel caso in esame i dati sono il ghiacciaio è stato espressi in coordinate UTM ED50 e quota ortometrica.

## CONCLUSIONI

Il Laser Scanner RIEGL LPM-321 ha dimostrato di essere all'altezza delle caratteristiche tecniche dichiarate dalla casa produttrice riuscendo ad acquisire senza particolari problematiche aree ed oggetti con portate fino a 6000 m. Con l'ingresso nel campo della geomatica di questi nuovi strumenti si rende però necessario affrontare una serie di problematiche finora in parte trascurate, problematiche che è necessario affrontare quando la teoria della geodesia lo richiede. Affinché le tecniche di acquisizione laser possano fornire risultati correttamente fruibili è necessario infatti elaborare correttamente i dati acquisiti con idonee procedure di allineamento e georeferenziazione delle scansioni. Tali operazioni non possono semplicemente essere effettuate utilizzando alcuni punti in coordinate cartografiche, ma devono considerare i più generici problemi geodetici relativi alla scelta ed al passaggio tra sistemi di riferimento e quelli legati alla curvatura terrestre.

## BIBLIOGRAFIA

Ewert H., Dietrich R., Maas H-G., Schwalbe E., 2008, "Glacier velocity determination from multi temporal terrestrail long range laser scanner point clouds" *Proceedings of the XXI ISPRS congress*,

Beijing, China

Girardi S., Cavulli F., Voltolini F., Rizzi A., Remondino F., Pedrotti A., Gonzo L., 2007,

"Laser scanner e Fotogrammetria digitale per la modellazione e l'analisi di siti archeologici: il caso studio del Riparo Gaban", *XI ASITA Conference, October 2007*, Torino, Italy

Abellan A., Martinez J., Vilaplana J.M., 2006, "Application of long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rockfall study at Vall de Nùria (Eastern Pyrenees, Spain)", *Journal of Engineering Geology*, 88(2006) 136-148

Pfeifer, N., Lichti, D., 2004, "Terrestrial Laser scanning: Developments, Applications and Challenges", *GIM International*, December 2004

Bauer, A., Kaufmann, V., Paar, G., 2003, "Terrestrial Laser scanning for rock glacier monitoring", *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*, Zurich, Switzerland

# CARTOGRAFIA TEMATICA PER LA RAPPRESENTAZIONE DEI MOVIMENTI DI POPOLAZIONE AL CONFINE NORDORIENTALE D'ITALIA ALLA VIGILIA DELLA SECONDA GUERRA MONDIALE

Giuseppe BORRUSO, Andrea PORCEDDU

Dipartimento di Scienze Geografiche e Storiche, Sezione di Geografia Economica e Politica del Territorio,
Università degli Studi di Trieste, Piazzale Europa, 1 34127 - Trieste,
Tel. +39 040 558 7008, fax. +39 040 558 7009, e-mail. giuseppe.borruso@econ.units.it / andrea.porceddu@econ.units.it

**Riassunto**[1]
Nel presente lavoro vengono illustrati i risultati derivanti dalle ricerche condotte nell'ambito di programmi internazionali Interreg IIa Italia – Slovenia 2000 – 2006 legati ai movimenti di popolazione al confine nordorientale d'Italia alla vigilia della Seconda guerra mondiale, con particolare riferimento all'utilizzo di Sistemi Informativi Geografici a supporto alla ricerca storica e geografica e alla rappresentazione cartografica. In tale area, caratterizzata da un elevato livello di commistione etnica e linguistica, lo studio e la rappresentazione di queste caratteristiche costituisce argomento di dibattito e di ricerca. Si è proceduto quindi ad affiancare alla ricerca storiografica e geografica l'utilizzo di strumenti moderni quali i GIS, che hanno consentito di aiutare nella costruzione di banche dati omogenee a partire dai dati censuari dal 1880 al 1936 e al loro legame a elementi territoriali quali suddivisioni comunali (aree) e località (punti). In tal senso è stato possibile realizzare una serie di carte tematiche relative alla componente etnica dell'area nel corso degli anni, nonché carte di sintesi volte a evidenziare le evoluzioni di tali caratteristiche nel tempo. Inoltre, le banche dati geografiche così ottenute si rendono disponibili per ulteriori studi futuri sia diacronici, sia volti a estendere il contesto territoriale dell'analisi.

**Abstract**
In this paper some of the results obtained from researches carried out in international Interreg IIa Italy - Slovenia 2000 – 2006 projects focused on population mobility at the North Eastern Italian border at the eve of the Second World War are presented, with particular reference to the use of GIS to support historic and geographical research, as well as cartographic visualization. Such area has been characterized by a high level of ethnic and linguistic mix and the study and visualization of such characters are the objects of wide debate and research. We therefore coupled storiographic and geographical research with GIS, which allowed building homogenous databases from census data from 1880 to 1936, coupled with spatial units as administrative boundaries (areas) and settlements (points). In such sense it was possible to realize a set of thematic maps of ethnic mix in the area during the years as well as synthesis maps highlighting the evolution of such characters. The geographical database obtained is therefore ready to be used for further researches, both diachronic ones and considering other spatial extents related to the area under examination here.

[1] Pur nell'unità del testo, ai soli fini concorsuali, sono da ascrivere al dott. Giuseppe Borruso i paragrafi: "Introduzione", "La carta della distribuzione dei gruppi linguistici", e le "Conclusioni"; mentre al dott. Andrea Porceddu vanno attribuiti i paragrafi: "I dati" e "L'impostazione della cartografia". Il "Riassunto" ("Abstract") e la cura dei "Riferimenti bibliografici" risultano frutto del comune lavoro dei due autori.
Le analisi e le elaborazioni cartografiche sono state realizzate grazie al software Intergraph GeoMedia Professional 6.0, nell'ambito del programma Registered Research Laboratory (RRL) tra Intergraph e il Dipartimento di Scienze Geografiche e Storiche dell'Università degli Studi di Trieste.

**Introduzione**[2]

Il lavoro si è focalizzato sulla rappresentazione cartografica dei fenomeni legati alla geografia della popolazione nelle Province dell'Istria, del Carnaro e di Zara nell'estensione territoriale alla vigilia della Seconda guerra mondiale, soprattutto in termini di analisi e successiva visualizzazione delle diverse componenti linguistiche nel corso del tempo. Tale tematica è legata al monitoraggio delle variazioni della popolazione secondo la componente etnica tra la fine del XIX secolo e la vigilia della Seconda guerra mondiale, finalizzata alla quantificazione del fenomeno demografico ed etnico e alla sua rappresentazione.

Ci si è concentrati in particolare su due diversi livelli da un punto di vista metodologico. Da una parte il lavoro ha richiesto l'analisi approfondita delle fonti censuarie realizzate in diversi momenti della storia dell'area in esame, considerando dunque quanto raccolto dalle diverse amministrazioni statali e cercando di rendere omogenei i dati per un confronto diacronico. Si sono quindi omogeneizzati i dati sulla base di unità amministrative uniformi, quali quelle del 1936, quali basi di riferimento. D'altra parte si è posta la necessità di inserire i dati così esaminati ed elaborati all'interno di una banca dati geografica, realizzata attraverso programmi GIS, per consentire sia la confrontabilità dei dati sia la realizzazione di cartografie tematiche apposite. La componente geografica realizzata è costituita da due principali strati informativi vettoriali, rappresentati rispettivamente dai confini amministrativi (elementi poligonali) dei Comuni delle Province considerate (Istria, Carnaro e Zara), quali riportati dal Censimento del 1936, e dalle posizioni sulla carta delle località principali (elementi puntuali) che danno il nome ai diversi Comuni. Nell'ambito del presente lavoro si è provveduto a realizzare diverse cartografie tematiche relative alla composizione etnica della popolazione nel territorio di riferimento, elaborando i dati dai censimenti ufficiali disponibili e attribuendoli a una comune base cartografica di riferimento.

Si è provveduto successivamente a realizzare una vera e propria 'nuova' cartografia tematica sul tema linguistico, costruita a partire dalle banche dati ottenute dall'esame dei diversi censimenti ufficiali, ottenendo una carta finale quale 'mosaico' di diverse modalità di rappresentazione cartografica dei dati attribuiti agli elementi geografici.

**I dati**

Il punto di partenza del lavoro svolto richiedeva la raccolta dei dati sulla base dei censimenti ufficiali disponibili e la loro successiva attribuzione a una base cartografica comune di riferimento, al fine di poter realizzare cartografie tematiche riguardanti la composizione etnica della popolazione nell'area. La cartografia tematica finale ha rappresentato, infatti, l'ultima parte del processo, più articolato, di raccolta dei dati relativi alle province dell'Istria, del Carnaro e di Zara, a partire dai censimenti austriaci del periodo 1880-1910 e da quelli italiani del 1921 e del 1936, e di loro successiva omogeneizzazione sulla base di unità amministrative uniformi, quali quelle del 1936. I dati del censimento del 1921 sono stati inoltre sottoposti a una procedura di 'correzione' seguendo la metodologia adottata proposta da Schiffrer (1946a) per la determinazione della 'reale' distribuzione etnica nel territorio considerato.

La necessità di organizzare e correggere i dati dai censimenti per comprendere la distribuzione etnica della popolazione nel corso del periodo tra la fine del XIX e la prima metà del XX secolo nasce dal fatto che la regione istro-quarnerina è stata storicamente un'area caratterizzata dal plurilinguismo legato all'incontro tra i diversi mondi latino, germanico e slavo, e dalla conseguente commistione sociale e culturale, con la definizione della popolazione come 'mista' già da von Czörnig (1885). In tale contesto, concetti come etnia e nazionalità trovavano una difficile identificazione netta (Mileta Mattiuz, 2005), e su questo tuttavia si sono giocati i vari tentativi da parte delle diverse autorità statali succedutesi, austro-ungarica prima e italiana poi, di etichettare la

[2] Per una più approfondita disamina di quanto realizzato nell'ambito del progetto, si rimanda a: AA. VV.; Borruso; Donato; Porceddu (2007).

popolazione da un punto di vista etnico, senza troppa attenzione alla coincidenza o meno di tale concetto con quello di nazionalità. Il confronto dei dati si scontra con il criterio dell'utilizzo della lingua d'uso, che apparentemente avvantaggia il confronto tra i censimenti svolti nel periodo 1880 – 1936, in termini di variazioni della composizione etnica della popolazione, ma che in molti casi presta il fianco a interpretazioni arbitrarie e manipolazioni legate al contesto politico e amministrativo del momento censuario. In particolare le rilevazioni del 1910 e del 1921 sono espressione di queste manipolazioni: se da un lato, infatti, l'amministrazione austro-ungarica tendeva a sovrastimare la componente slavofona nel 1910 per contrastare gli impeti irredentisti e nazionalisti italiani, dall'altro la successiva amministrazione italiana nel 1921 tendeva ad accentuare il processo di italianizzazione delle terre istro-quarnerine (Krasna e Matossi, 1998). Il confronto è complicato dall'insorgere di variazioni intervenute nella suddivisione territoriale delle unità amministrative nel periodo compreso tra i censimenti del 1910 e del 1936 ('migrazione' di alcune frazioni da un comune all'altro; nuove unità amministrative comunali sono state costituite a partire da frazioni precedentemente appartenenti a comuni diversi).

La scelta dell'area di studio si è basata sui territori della Venezia Giulia maggiormente analizzati nella letteratura consultata, le Province dell'Istria e del Carnaro, cui, sono stati aggiunti i dati relativi alla Provincia di Zara. Per l'analisi dei dati, sono state consultate differenti fonti bibliografiche, tra cui le opere di Schiffrer (1946b), Perselli (1993), Krasna e Mattossi (1998) e Mileta Mattiuz (2006), utilizzando i dati sulla lingua d'uso a livello di frazione, relativi ai censimenti del periodo che va dal 1880 al censimento riservato del 1939 (rielaborato da quello del 1936). Si è provveduto ad analizzare i dati delle singole frazioni dal 1880 in poi e ad aggregarli successivamente in base ai confini comunali del 1936, permettendo un confronto dei dati complessivi di ciascun Comune per il periodo che va dal 1880 al 1936 e di comprendere l'evoluzione demografica del territorio considerato.

**L'impostazione della cartografia**

Si sono realizzate pertanto banche dati geografiche dell'area considerata a partire dalla raccolta e dall'organizzazione dei dati dai diversi censimenti: in particolare gli elementi geografici ottenuti si traducono in due principali strati informativi vettoriali, rappresentati rispettivamente dai confini amministrativi (elementi poligonali) dei Comuni delle Province considerate (Istria, Carnaro e Zara), quali riportati dal Censimento del 1936, e dalle posizioni sulla carta delle località principali (elementi puntuali) che danno il nome ai diversi Comuni, questi ultimi disegnati per mezzo della digitalizzazione partendo dalle carte delle suddivisioni amministrative al Censimento del 1936. Parallelamente, da una carta topografica dell'Istria alla scala 1:150.000 si sono rilevate le coordinate delle località principali sotto forma di punti. Questi dati, comuni e località, sono stati organizzati sotto forma di *layers* vettoriali e georeferenziati secondo il datum WGS84 associato alla proiezione UTM 33. La scelta di procedere fin dall'inizio al corretto posizionamento geografico 'odierno' dei Comuni dell'Istria al 1936 è originata dalla necessità di ottenere uno strato informativo corretto dal punto di vista geometrico, rendendo possibile per ogni Comune considerato calcolarne elementi quali superficie e perimetro, utili per derivare la densità abitativa o altri indicatori territoriali; inoltre ciò renderà possibile utilizzare la banca dati geografica ottenuta in questa sede per futuri lavori di analisi e di confronto. I dati raccolti nei diversi censimenti sono stati associati alla cartografia, tramite operazioni di *join* tra la componente attributo e quella puramente cartografica, rendendo confrontabili le fonti statistiche e la loro rappresentazione cartografica in maniera diacronica. I dati relativi ai censimenti ufficiali dal 1880 al 1921, assieme a quelli del 1939, sono stati trasformati in carte tematiche per la rappresentazione della popolazione sulla base della componente etnica nel periodo di riferimento. Non è stato possibile intervenire, cartograficamente e analiticamente, alla georeferenziazione e al tracciamento delle variazioni intervenute a livello di singola frazione comunale, non essendo tale livello di dettaglio disponibile per tutti i censimenti considerati, anche se tale elaborazione avrebbe consentito di visualizzare le variazioni etniche all'interno dei singoli comuni.

**La carta della distribuzione dei gruppi linguistici**

Il lavoro ha visto la realizzazione di una carta di sintesi dei risultati, basata su di una combinazione di diverse tipologie di visualizzazione cartografica tematica, con il duplice intento di massimizzazione del contenuto informativo coniugata alla necessità di non comprometterne la leggibilità, a partire da quanto contenuto nelle banche dati GIS realizzate. La carta evidenzia la consistenza dei diversi gruppi linguistici al 1936 assieme alla variazione della composizione percentuale della popolazione nei diversi comuni, confrontando i dati stimati del 1921 con quelli del 1936, e altresì visualizzando la variazione per ogni gruppo linguistico tra il 1921 e il 1936.

La carta presenta quindi una varietà di simboli ed elementi cartografici. Si è realizzato infatti un *Cartogramma a torta della popolazione residente al 1936 per gruppo linguistico (Italiani, Sloveni, Croati, Altri)*, in cui, per mezzo di aree circolari, viene rappresentata sia la popolazione complessiva sia le diverse percentuali occupate dai diversi gruppi linguistici, con le aree circolari posizionate in corrispondenza della località principale e colori diversi assegnati ai gruppi linguistici (tonalità di giallo ocra per la componente italiana, verde chiaro per quella slovena e verde scuro per quella croata, rosso per gli 'altri'), il diametro dei diagrammi direttamente proporzionale al totale della popolazione e i settori a rappresentare la percentuale del gruppo linguistico rappresentato.

Ulteriori contributi informativi riguardano le linee etniche, ovvero le *Linee di suddivisione linguistica al 50% al 1936 (linee piene) e al 1921 (linee tratteggiate).* Tali linee sono relative ai principali gruppi linguistici presenti sul territorio, tracciate a partire dalla percentuale della popolazione per ogni gruppo linguistico, interpolando il valore percentuale per ogni comune per ogni gruppo linguistico, ottenendo delle ideali 'superfici', i cui picchi rappresentano i valori percentuali più elevati, e gli avvallamenti i valori più bassi. Da queste superfici si sono ottenute le linee di separazione del 50%, tracciate per il 1936 e per il 1921 (stimato – linee tratteggiate).

Si sono volute rappresentare le variazioni intercorse nei diversi gruppi linguistici tra i due istanti censuari (1921 stimato e 1936) considerando anche i valori assoluti della popolazione, rappresentando la *variazione dei gruppi linguistici 1921 stimato – 1936.* Ciò avviene grazie a simboli '+' e '-', colorati diversamente a seconda del gruppo linguistico rappresentato: ogni simbolo '+' esprime una variazione positiva fino al 25 % di ogni gruppo linguistico, (es. "++" gialli = aumento fino al 50% di popolazione presente italiana; "++++" verde chiaro = aumento del 100% o superiore di quella slovena), mentre ogni simbolo '-' indica una variazione negativa fino al 25% di ogni gruppo linguistico (es. "-"giallo = fino al 25% di diminuzione del gruppo linguistico italiano). L'assenza di colore indica la mancata variazione di quel gruppo tra 1921 e 1936.

La carta finale costituisce un 'mosaico' di diverse modalità di rappresentazione cartografica di dati geografici. Viene minimizzato l'effetto visivo dato da forma ed estensione delle unità amministrative utilizzate, sullo sfondo, mentre è evidenziato il reale peso dei valori del fenomeno.

**Conclusioni**

Nella ricerca qui sintetizzata si è cercato di produrre forme di rappresentazione cartografica diverse, frutto dell'esame di quelle realizzate dagli studiosi del passato e dallo studio dei metodi cartografici oggi più avanzati, nonché del tentativo di limitare il più possibile gli elementi di soggettività nella rappresentazione: i limiti della rappresentazione si riscontrano essenzialmente nell'aggregazione dei dati a livello comunale (1936), che porta a diluire il dettaglio delle frazioni non urbane di ogni comune all'interno del dato comunale aggregato, 'perdendo' la variabilità etnica al di fuori dei centri urbani. In sintesi si è cercato di coniugare i metodi consolidati dell'indagine geografica e storiografica sui fenomeni di popolazione con le nuove metodologie di visualizzazione cartografica e di informazione geografica (AA. VV.; Borruso; Donato; Porceddu, 2007).

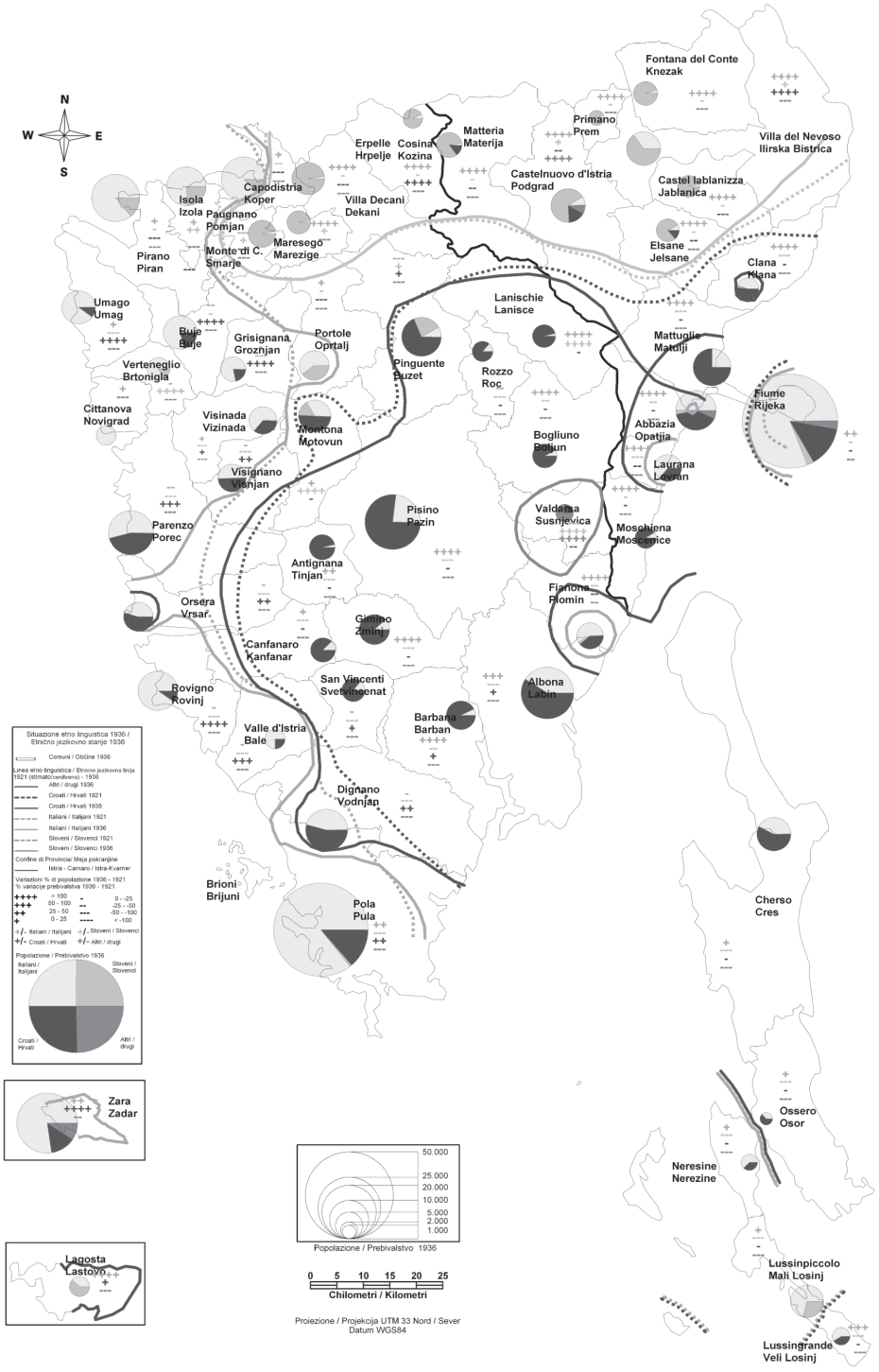



*Figura 1 – distribuzione dei gruppi linguistici nell'area istro-quarnerina 1921 e 1936*

**Riferimenti bibliografici**

AA. VV. (1910), *Natiolitäten – und Sprachen-Karte von Steiermark, Karnten, Krain und Kustenland*, Vienna.

AA.VV. (1945), *Etnograficeskaja karta Julijskoj krainy, venecianskoj Slovenii i provincia Zadar*, Lubiana.

AA. VV. (1996), *Il confine mobile: atlante storico dell'Alto Adriatico, 1866-1992: Austria, Croazia, Italia, Slovenia*, Istituto Regionale per la Storia del Movimento di Liberazione del Friuli Venezia Giulia, Edizioni della Laguna, II ed., Monfalcone.

AA. VV. (1997), *Friuli e Venezia Giulia. Storia del '900*, Istituto Regionale per la Storia del Movimento di Liberazione nel Friuli Venezia Giulia, LEG, Gorizia.

AA. VV. (2001), *I dati. 1945 – 1991*, in AA.VV, "La Comunità Nazionale Italiana nei censimenti jugoslavi. 1945 – 1991", Centro di Ricerche Storiche di Rovigno, Trieste-Rovigno, ETNIA VIII, pp. 135-326.

AA. VV. (2007), *Dopoguerra di confine / povojni čas ob meji*, Atti del Convegno Internazionale, Trieste – Koper, 14 – 16 Maggio 2007.

Borruso G. (2007), *Metodologia per la costruzione di una carta etnografica – Metodologija za izdelavo etnografske karte*, Università degli Studi di Trieste – Dipartimento di Scienze Geografiche e Storiche, Trieste.

Creutzberg N. (1953), *Zum Problem der thematischen Karten in Atlaswerken*, Kartographisce Nachrichten, 3, n. 3/4.

Cuccoli L. e Torresani S. (1985), *Introduzione alla cartografia e alle rappresentazioni grafiche*, CLUEB, Bologna.

(von) Czörnig C. (1885), *Die Ethnologischen Verhältnisse des Österreichischen Küstenlandes*, Trieste.

(von) Czörnig K. F. (1855), *Ethnographische Karte der Österreichischen Monarchie*, Vienna.

Donato C. (a cura di, 2007), "La presenza italiana nelle 'terre dell'esodo', Università degli Studi di Trieste – Dipartimento di Scienze Geografiche e Storiche, Trieste.

Favretto A. (2006), *Strumenti per l'analisi geografica. GIS e telerilevamento*, Patron Editore, Bologna.

Krasna F. e Mattossi A. (1998), *Il "Censimento riservato" del 1939 sulla popolazione alloglotta della Venezia Giulia*, in "Quaderni del centro studi 'E. Vanoni' di Trieste", 3-4, La Mongolfiera, Trieste.

Lodovisi A. e Torresani S. (1996), *Storia della cartografia*, Patron Editore, Bologna.

Mileta Mattiuz O. (2006), *Popolazioni dell'Istria, Fiume, Zara e Dalmazia (1850-2002). Ipotesi di quantificazione demografica*, Associazione Amici e Discendenti degli Esuli Giuliani Istriani Fiumani e Dalmati – A.D.ES., Coll. Ricerche e Studi Storici, Trieste.

Perselli G. (1993), *I Censimenti della popolazione dell'Istria, con Fiume e Trieste, e di alcune città della Dalmazia tra il 1850 e il 1936*, Centro di Ricerche Storiche di Rovigno, ETNIA IV, Trieste-Rovigno.

Porceddu A. (2007), *Aggregazione dei dati per la costruzione di carte tematiche delle etnie*, in Borruso G., *Metodologia per la costruzione di una carta etnografica – Metodologija za izdelavo etnografske karte*, Università degli Studi di Trieste – Dipartimento di Scienze Geografiche e Storiche, Trieste., pp. 20-27.

Robinson A. H., Morrison J. L., Muehrcke P. C., Kimmerling A. J. e Guptill S. C. (1995), *Elements of Cartography – 6 edizione,* John Wiley & Sons, Canada.

Roglić J. (1946), *Le recensement de 1910, ses methodes et son application dans la Marche Julienne*, Institut Adriatique, Sušak.

Schiffrer C. (1946a), *Il confine orientale d'Italia*, Italiana Arti Grafiche, Roma.

Schiffrer C. (1946b), *La Venezia Giulia. Saggio di una carta dei limiti nazionali italo-jugoslavi*, Colombo, Roma.

# TECNICHE GEOMATICHE INTEGRATE PER IL MONITORAGGIO DELLE MURA CICLOPICHE DI AMELIA

Raffaella BRIGANTE (*), Donatella DOMINACI (**), Guido FASTELLINI (*), Fabio RADICIONI (*), Aurelio STOPPINI (*)

(*) Università degli Studi di Perugia, DICA, Via G.Duranti 93 - 06125 Perugia
tel. 075/5853765 - fax 075/5853756 - e-mail topos@unipg.it
(**) Università degli Studi dell'Aquila, DAU, P. le E. Pontieri 2 - 67040 Monteluco di Roio, L'Aquila
tel. 0862/434135 - e-mail dominici@dau.ing.univaq.it

**Riassunto**

L'antica città umbra di Amelia (TR) conserva pressoché intatta la sua monumentale cinta muraria, che per lunghi tratti è stata realizzata da civiltà italiche (Umbri e Pelasgi) nei secoli tra il VI e il IV a.C.. La particolare tipologia di costruzione, definita "ciclopica", è caratterizzata da blocchi litici di notevoli dimensioni (a volte superiori ai 2 metri), tagliati con grande precisione in forma di poligoni irregolari e assemblati a secco. Questo tipo di manufatto, di cui esistono solo altri rari esempi in Italia, riveste un eccezionale interesse archeologico, storico e architettonico.

In tempi recenti le mura sono state interessate da dissesti, culminati in un episodio di crollo. La Regione Umbria ha provveduto all'esecuzione di opere di restauro e consolidamento ed ha posto le mura sotto controllo. In quest'ambito, all'Università di Perugia (DICA) è stata affidata la progettazione ed esecuzione di un sistema di monitoraggio basato su tecniche geomatiche (GNSS, stazioni totali robotizzate, laser scanning e fotogrammetria digitale terrestre). Il sistema è stato progettato per utilizzare le diverse tecniche e sensori in sinergia, traendo beneficio dai peculiari vantaggi di ciascuna di esse. Particolare cura è stata dedicata alle materializzazioni, realizzate con grande attenzione al contesto monumentale e ambientale.

Nel presente lavoro vengono presentati il progetto del sistema di monitoraggio, le prestazioni attese dalle sue diverse componenti, le fasi di concreta realizzazione dell'intervento, le metodologie di analisi ed i risultati delle prime osservazioni eseguite.

***Abstract***

*The ancient Umbrian town of Amelia (near Terni, in central Italy) keeps almost intact its monumental curtain of walls, including long stretches built by Italic civilizations (Umbrians and Pelasgians) between VI and IV century BC. The particular construction of such walls, referred to as "cyclopic", is characterized by large (some are > 2 m) limestone blocks cut in polygonal shape, assembled with no cement. This kind of manufact, with only seldom other examples existing in Italy, has an exceptional historical and architectonic interest.*

*Recently, the Amelia walls have been interested by structural problems culminating in a local collapse. Consequently, a series of restoration actions have been undertaken by the Regional Council of Umbria, and the walls have been put under control. In this frame, the Perugia University (DICA) has been assigned the design and set up of an integrated monitoring system based on geomatic techniques (GNSS, robotic total stations, digital photogrammetry, laser scanning). The system has been designed to employ such different techniques and sensors in synergy, taking advantage by the different features of each one. A particular care has been applied on the monumentations, which have been realized with great attention to the architectonic and environmental context.*

*This work presents the design of the monitoring system, the performance expected from its different components, the setting up phase, the data analysis methods and the first results.*

**1. Cenni storici**

La fondazione della città di *Ameria* viene fatta risalire da fonti classiche (Plinio il V., Catone) al XII secolo a.C.. Fu abitata da popolazioni italiche (Pelagi, Umbri) e divenne municipio romano attorno al 340 a.C.. La cinta muraria della città, nella parte sud, è caratterizzata dalla monumentale costruzione ciclopica poligonale databile al IV secolo a.C., con blocchi di dimensioni notevolissime (anche alcuni metri). Un tratto di mura megalitiche più a nord, in prossimità della Porta della Valle, viene fatto risalire a un'epoca anteriore (VI sec. a.C.). Alcuni tratti delle mura presentano rifacimenti e sopraelevazioni di epoca romana e medievale.

*Figura 1 – Mura ciclopiche presso la Porta Romana (sin); Mura megalitiche presso la Porta della Valle (ds)*

Nel 2006, un tratto delle mura ciclopiche nella zona sud-ovest della città è stato interessato da un crollo a seguito del quale la Regione Umbria ha provveduto a realizzare opere di restauro e consolidamento, tuttora in corso di esecuzione. Il DICA dell'Università di Perugia è stato incaricato di progettare e realizzare il sistema di controllo di seguito descritto.

**2. Il sistema di monitoraggio integrato**

Nell'ambito della cinta muraria, sono state individuate quattro aree caratterizzate da un particolare stato di rischio (zone A, B, C, e D in fig. 2), da sottoporre a monitoraggio.

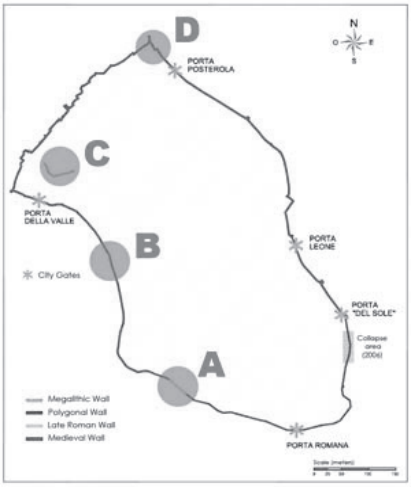



*Figura 2 – Planimetria delle mura e ubicazione delle quattro aree da controllare*

Il sistema progettato è basato su quattro diverse tecnologie della Geomatica:

- **GNSS** per realizzare una rete di inquadramento di tutte le aree interessate;
- **Reti tridimensionali locali** misurate con stazioni totali robotiche di alta precisione, per il monitoraggio topografico per punti di ciascuna delle quattro aree da controllare;
- **Laser scanner terrestre** per il rilievo (quasi) continuo tridimensionale della superficie e delle deformazioni dei tratti di parete da controllare;
- **Fotogrammetria digitale terrestre** per il rilievo tridimensionale continuo delle mura, sia a fini metrici che di documentazione dello stato di fatto.

Nel seguito vengono forniti maggiori dettagli sull'impiego di ciascuna delle tecniche sopra citate e sulle modalità in cui le stesse si integrano in un sistema di monitoraggio unico.

## 3. La rete GNSS

Una rete GNSS di inquadramento connette le quattro aree sotto controllo allo scopo di georeferenziarle in un unico e stabile datum, evidenziando nel contempo eventuali movimenti relativi tra i diversi versanti. La rete GNSS di Amelia è collegata mediante numerose baselines alla rete regionale di stazioni permanenti dell'Umbria, il che rende possibile inquadrarla nei datum globali; l'inquadramento è stato per ora eseguito in ETRS89.
La rete GNSS include due vertici per ciascuna delle quattro reti tridimensionali locali (per la descrizione delle reti e delle relative materializzazioni a centramento forzato si veda il successivo punto 4), per un totale di 8 vertici. Le baselines di collegamento previste dal progetto sono 16, ottenendo così un "indice di ridondanza" (Dominici ed al., 1995) pari a:

$$R = \frac{16}{8-1} = 2.3 \qquad [1]$$

L'accuratezza attesa è inferiore al mezzo centimetro. La misura delle basi viene effettuata in modo statico, con sessioni di durata minima 1 ora ad un intervallo di campionamento di 5 secondi, impiegando quattro ricevitori geodetici Topcon GPS/GLONASS a doppia frequenza. Le quattro antenne utilizzate sono tutte di identico modello, per ridurre l'effetto di eventuali errori di calibrazione.

## 4. Le reti tridimensionali locali

In ciascuna delle aree prescelte (con esclusione per ora della zona D per problemi di accesso) sono state realizzate reti tridimensionali di controllo da misurare periodicamente con stazioni totali motorizzate di precisione (Leica TCA 2003). La figura 3 mostra, a titolo di esempio, lo schema di progetto di una delle reti, comprendente tre punti di stazione materializzati su pilastrini posti di fronte alle mura e quattro serie di prismi fissati alla parete lungo quattro sezioni verticali.

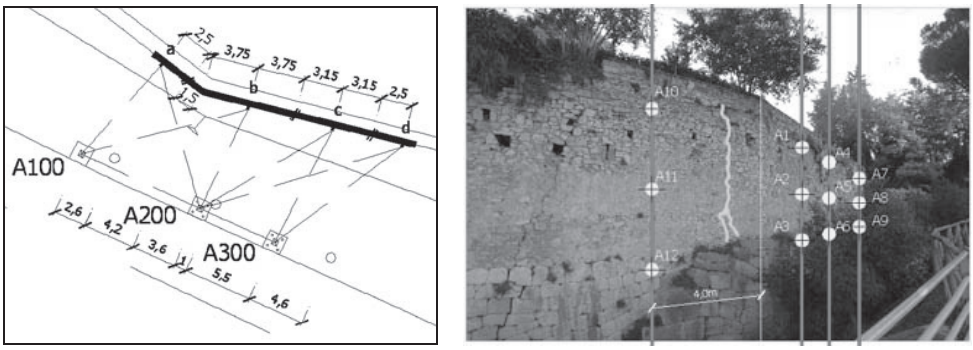



*Figura 3 – Schema planimetrico rete 3D zona "A" (sin); Schema della disposizione dei prismi (ds); Quote in metri*

Gli angoli orizzontali e verticali vengono misurati con quattro reiterazioni eseguite in automatico dalla stazione totale motorizzata. L'accuratezza attesa sulle posizioni 3D dei prismi è di 1-2 mm.
La valutazione della stabilità delle stazioni e della significatività o meno degli eventuali spostamenti rilevati nel tempo verrà eseguita con test di congruenza (Caspary, 1987; Dominici et al., 1996)

*Materializzazioni*
I pilastrini di stazione (parte dei quali sono stati utilizzati anche per la rete GNSS) sono realizzati in pietrame locale con anima in calcestruzzo armato. La sezione è quadrata con dimensioni di 45 x 45 cm. La fondazione è realizzata con plinto di 150 x 150 cm poggiante su 4 micropali di circa 8 metri di lunghezza, o gettato direttamente su strati di roccia compatta in alcune zone.
Sulla sommità di ogni pilastrino è stato realizzato un sistema di centramento forzato con piastra di acciaio inox con foro centrale calibrato nel quale trova riscontro una sferetta fissata alla base degli strumenti. Le basi utilizzate sono del tipo ad altezza costante (una vite fissa e due regolabili); uno spinotto eccentrico (con corrispondente foro praticato nella piastra) impedisce rotazioni dello strumento durante la misura e fa sì che l'orientamento della basetta sia sempre lo stesso.
I prismi (miniprismi Leica GMP101) sono fissati alla parete mediante appositi adattatori in acciaio inox ancorati con resina o malta. Le piccole dimensioni ne minimizzano l'impatto visivo.

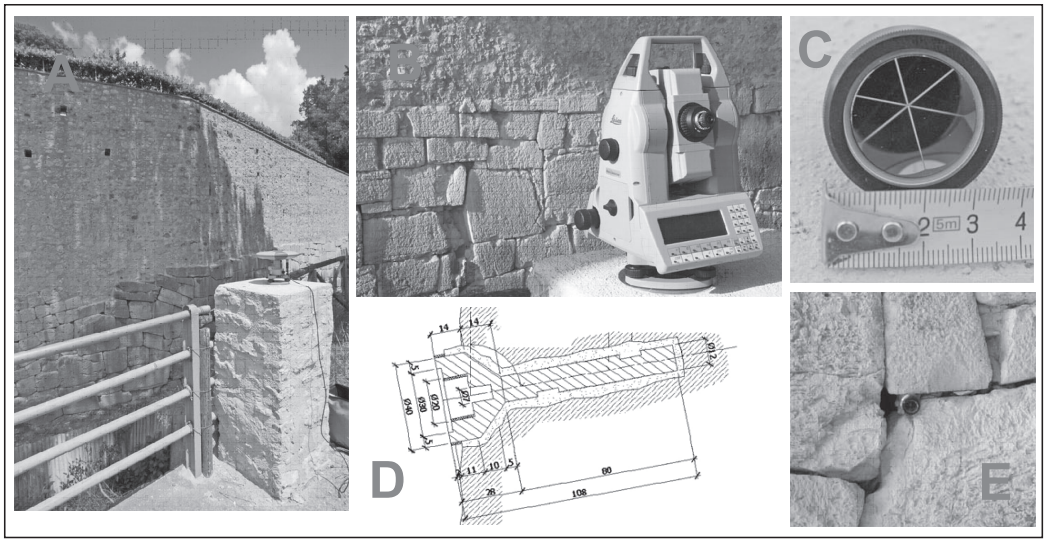



*Figura 4 – Particolari delle materializzazioni: Pilastrino di stazione e GNSS (A); Stazione totale TCA 2003 su pilastrino (B); Miniprisma GMP101 (C); Adattatore per miniprisma (D, quote in mm); Prisma montato (E)*

**5. Scansione laser terrestre**
Le scansioni vengono effettuate facendo stazione negli stessi pilastrini utilizzati per le reti 3D e per il GNSS, la cui ubicazione è stata scelta in funzione di un'ottimale visibilità dei tratti di parete interessati. I prismi disposti sulla parete fungono da marker la cui posizione viene determinata mediante le reti 3D. Il rilievo a scansione laser viene così ad essere georeferenziato nello stesso sistema delle reti 3D.
Un primo rilievo è stato eseguito con uno strumento di tipo "EDM-imaging" (Topcon IS, fig. 5). Si tratta in pratica di una stazione totale robotizzata, con EDM laser senza riflettore, che esegue una scansione tridimensionale della superficie dell'oggetto con una velocità di 20 punti al secondo e accuratezza di circa 5 mm, permettendo di ottenere nuvole di punti del tutto analoghe a quelle

ricavabili da un laser scanner, sia pure con una rapidità di acquisizione inferiore. L'acquisizione metrica dei punti è coordinata con la presa di immagini digitali effettuata da una camera digitale coassiale allo strumento.
Successive riprese verranno eseguite con strumentazione laser scanning terrestre di tipo convenzionale, che permette di ottenere nuvole di punti a densità più elevata in tempi minori; i risultati delle scansioni laser verranno confrontati con quelli ottenuti con la tecnologia EDM-imaging.

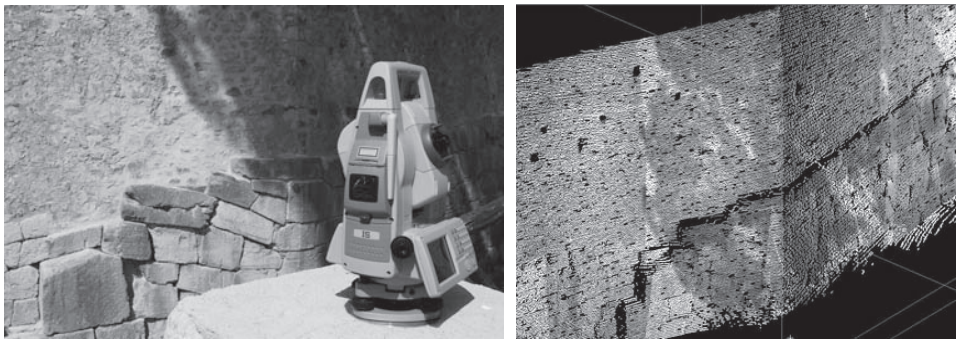


*Figura 5 – Rilievo a scansione EDM con stazione totale Topcon Imaging IS*

**6. Fotogrammetria digitale terrestre**
Le zone oggetto del monitoraggio vengono rilevate anche con fotogrammetria digitale terrestre. Le prese sono state eseguite con le seguenti fotocamere:

- Una camera grandangolare semimetrica Fuji GSW 690 III a pellicola (formato del negativo 56.0 x 82.6 mm; 8 fotogrammi su una pellicola 120; ottica fissa di focale 65 mm) calibrata e dotata sul piano focale di un reseau in vetro ottico fotoinciso (realizzato dalla OMI di Roma) recante 35 marche a croce. Gli angoli di campo per i lati maggiore e minore del fotogramma sono rispettivamente di 66° e 46° circa. I negativi vengono scanditi con uno scanner Nikon 9000 ED.
- Una camera digitale Nikon D200 (ottiche intercambiabili) con obiettivo di focale 14 mm, calibrata presso il Laboratorio di Topografia e Fotogrammetria del DICA. Dimensioni sensore 23.6 x 15.8 mm. Angoli di campo con ottica 14 mm: 80° e 56° (lato maggiore e minore).

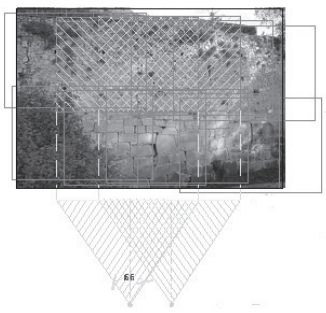


*Figura 6 – Schema delle prese fotogrammetriche con camera GSW 690 nella zona "A"*

La figura 6 mostra, a titolo di esempio, lo schema di progetto delle strisciate per una delle zone da monitorare, riferito alla camera GSW 690. Il ricoprimento longitudinale è del 70%, quello trasversale del 25%. La scala media dei fotogrammi risulta circa 1:200. Con una scansione a 1200 dpi si ottiene una dimensione del pixel sul fotogramma di 21 micron, corrispondenti a 4 mm circa sulla parete. L'accuratezza attesa è al di sotto dei 5 mm, analoga quindi a quella ottenuta dalle scansioni laser.

I punti di appoggio sulla parete sono costituiti in parte dagli stessi prismi delle reti 3D, integrati da altri punti della parete non segnalizzati (spigoli di elementi litici) rilevati con stazione totale dai pilastrini delle reti. Lo stesso DSM dei manufatti acquisito con il laser scanner può integrarsi vantaggiosamente con i dati fotogrammetrici permettendo di migliorare l'esito della restituzione.
La triangolazione aerea e la restituzione vengono eseguiti con la workstation fotogrammetrica digitale del Laboratorio di Topografia e Fotogrammetria del DICA, dotata di un sistema di visione stereoscopica a occhiali passivi, con il software SOCET SET 5.4 della BAe Systems.

**7. L'integrazione tra le diverse tecniche utilizzate**

Le tecniche sopra descritte si integrano in un sistema di monitoraggio completo; esistono infatti molteplici aspetti di sinergia tra i quali si possono citare i seguenti:

- La rete GNSS permette di georeferenziare tutti i rilievi locali in un unico datum (ETRS89) coerente con la cartografia esistente, ed è in grado di rilevare eventuali spostamenti relativi tra le aree in oggetto;
- Le reti 3D costituiscono la tecnica di maggior accuratezza e sensibilità, in grado di rilevare sui punti segnalizzati (prismi) spostamenti di entità piccolissima (1-2 mm), fungendo quindi da sistema di allarme per evidenziare e prevenire eventuali dissesti; la frequenza dei rilievi prevista inizialmente è di tre mesi, da incrementare se necessario in base all'esito delle prime campagne. Grazie a questa tecnica "spia" potrà essere anche decisa e variata nel tempo la periodicità delle campagne delle altre tecniche di monitoraggio.
- La scansione laser permette di estendere il rilievo di controllo a tutta la superficie del manufatto, superando il limite della tecnica di cui sopra che opera su punti singoli;
- La fotogrammetria digitale, oltre a fornire un rilevamento metrico confrontabile con quello della scansione laser, realizza una documentazione accurata dello stato di fatto, con particolare riferimento alle lesioni degli elementi litici; interagisce inoltre con la tecnica laser scanner potendo utilizzare, con opportuni software, il DSM ottenuto da questa.
- Le materializzazioni eseguite per le reti 3D vengono utilizzate anche per la rete GNSS, per le scansioni laser e per la determinazione dei punti di appoggio fotogrammetrici.

Si può quindi concludere che le quattro tecnologie geomatiche impiegate nel presente lavoro si integrano sinergicamente in un sistema di monitoraggio unico e completo, che somma i vantaggi e le peculiarità di ciascuna di esse.

**8. Bibliografia**

Caspary W. F. (1987). *Concepts of network and deformation analysis*. Monograph 11, University of New South Wales, Australia.

Dominici D., Radicioni F., Stoppini A., Unguendoli M. (1995). *Testing on the redundancy effect in GPS networks: some examples*. Proc. of the 1st International Symposium on Deformations in Turkey, Istanbul, September 1994.

Dominici D., Radicioni F., Selli S. (1996). *Statistical Analysis of GPS monitoring Network*. Proc. of IAG Regional Symposium on deformations and Crustal movement investigations using Geodetic Techniques, Székesfehérvàr, Hungary, August - September 1996.

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

Dominici D., Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A. (2008): *An integrated monitoring system for the monumental walls of Amelia.* Proc. of "Measuring the Changes", 13th FIG International Symposium on Deformation Measurements and Analysis - 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Lisbon, May 2008.

# ANALISI DELLE PRESTAZIONI DI SISTEMI DI POSIZIONAMENTO E ORIENTAMENTO PER VEICOLI STRADALI

Raffaella BRIGANTE (*), Guido fastellini (*), Fabio RADICIONI (*),
Armando SCHIAVONI (**), Aurelio STOPPINI (*)

(*) Università degli Studi di Perugia - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Via Duranti, 93, 06125 Perugia, topos@unipg.it
(**) ITALECO S.p.A., via Ostiense 131/L, 00154 Roma - tel. 06454095234, a.schiavoni@italeco.it

**Riassunto**
Il D.M. 1/6/2001 impone agli enti proprietari e/o gestori di strade di dotarsi di un Catasto delle strade da mantenere aggiornato nel tempo. In tale ambito, il Laboratorio di Topografia del DICA ha approfondito l'aspetto topografico della descrizione del tracciato stradale attraverso l'allestimento di un van, che è stato dotato di quattro ricevitori GNSS doppia frequenza abilitati al campionamento delle osservazioni satellitari con frequenza a 5 Hz, e di un sistema Applanix PosLV, costituito di: piattaforma inerziale IMU Pos LV 420, due antenne GPS doppia frequenza e un odometro. Le soluzioni ottenute dai ricevitori GNSS sul veicolo in cinematico post-processato sono state sottoposte a procedure semi-automatiche per filtrare gli outlier e le epoche con valori elevati di RMS e PDOP. Alle soluzioni di un tracciato è stato anche applicato un filtro Kalman *loosely coupled*. Questi risultati sono stati comparati con quelli forniti dall'elaborazione *tightly coupled* in post-elaborazione del sistema PosLV. Tali test sono stati eseguiti su uno stesso tracciato per due volte per verificare la ripetibilità delle soluzioni ottenute, e successivamente su un percorso più lungo dotato di numerosi ostacoli alla visibilità satellitare. Infine è stata analizzata con un'apposita prova la deriva del sistema inerziale privato della correzione GNSS.

**Abstract**
An Italian law issued the first of June 2001 commands the public agencies owning or managing roads to create a Road Cadastre and to keep it up to date. In that frame, at the DICA Laboratory of Surveying has been deepened the topic of the geometrical description of a road track by means of a van, that has been equipped with four GNSS double frequency receivers set at a sampling frequency of 5 Hz, and an Applanix system including an inertial platform IMU Pos LV420, two GPS antennas and an odometer. The positions obtained from the GNSS receivers mounted on the van, in kinematic post-processing mode, have been submitted to semi-automatic filtering procedures in order to remove the outliers and the epochs with worse values of RMS and PDOP. For one route, a loosely coupled Kalman filter has also been applied. The results have been compared with those obtained by the tightly coupled post-processing solution of the PosLV system. Such tests have been performed twice on the same route, to estimate the solutions repeatability, an later on a longer route characterized by a number of obstacles to satellite visibility. Finally, a specific test has been effected to estimate the drift of the inertial system when working without GNSS correction.

## 1. Descrizione del lavoro

La sperimentazione è stata effettuata su tre diversi percorsi, tutti localizzati nella zona di Perugia, dei quali il primo è stato ripetuto due volte (tracciati 1 e 2 riportati in Figura 1), per avere maggiori soluzioni da valutare e verificarne la ripetibilità. Il secondo (tracciato 3 riportato in Figura 2) presenta

una lunghezza totale di circa trenta km; per esso è stato scelto un tratto di strada che presenta notevoli ostacoli artificiali (gallerie nella prima parte) e naturali (alberature lungo la seconda parte) alla visibilità satellitare. Parte del percorso è rappresentato da una strada extraurbana principale (raccordo E45-A1), perciò è stato eseguito il rilievo mantenendo velocità sostenute senza costituire intralcio al traffico presente. Un quarto test relativo alla deriva del sistema è descritto nel § 2.2.
Su un van è stato collocato un telaio rigido realizzato in profilati di acciaio e alluminio (Figura 3), appositamente realizzato per ospitare più sistemi per il posizionamento. Ai quattro vertici di un rombo sono state montate altrettante antenne Topcon *Legant*, tutte collocate alla stessa altezza per mezzo di appositi distanziatori. Il veicolo è stato inoltre dotato di un sistema di navigazione inerziale PosLV420 della Applanix Corporation, costituito da: due ricevitori GPS doppia frequenza collegati ad altrettante antenne (*Zephyr* Trimble) collocate agli estremi anteriore e posteriore del telaio, un'unità di misura inerziale (IMU) posta al centro del telaio, uno strumento per la misura di distanze (DMI) applicato sulla ruota posteriore sinistra del veicolo e un computer di sistema POS (PCS), che compie un pre-trattamento dei dati acquisiti dai sensori. Le foto di questi strumenti e delle loro collocazioni sono riportate in Figura 3. Le sei antenne sono state poste in modo da risultare allineate lungo le due direzioni principali la cui intersezione coincide con l'origine degli assi della IMU.

*Figura 1 - Tracciati 1 e 2 (in primo piano le soluzioni in rosso ottenute dai ricevitori GNSS, in secondo piano le soluzioni IMU in ciano, sempre presenti, ma visibili solo nei casi di assenza delle soluzioni GNSS)*

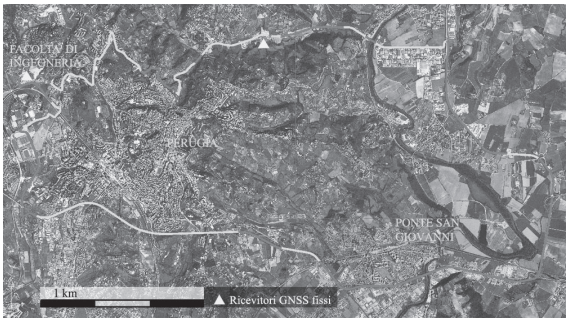



*Figura 2 - Tracciato 3 (in primo piano le soluzioni in rosso ottenute dai ricevitori GNSS, in secondo piano le soluzioni IMU in ciano, sempre presenti, ma visibili solo nei casi di assenza delle soluzioni GNSS)*

Il confronto è stato eseguito tra i risultati ottenuti dal sistema di navigazione inerziale PosLV420 (elaborazione eseguita attraverso il software di post-elaborazione POSPac Land 5.0 impiegando i dati GPS con campionamento 1 Hz della stazione permanente UNPG) e le soluzioni ottenute dal

*merging* dei dati acquisiti dalle quattro antenne GNSS. Un ulteriore controllo planimetrico è rappresentato dalla superimposizione all'ortofoto realizzata dalla Regione Umbria nel 2005, dei tracciati ottenuti con i due metodi.
Il veicolo è stato quindi dotato di quattro ricevitori Legacy-E_GGD (Topcon) collegati alle corrispondenti antenne Legant e abilitati all'acquisizione in doppia frequenza dei segnali GPS e GLONASS con campionamento a 5 Hz. Proprio per questa ragione non sono state impiegate stazioni permanenti come basi fisse, ma sono stati collocati due ricevitori GPS/GLONASS (Topcon *HiPer Pro*), abilitati al campionamento a 5 Hz, di cui uno nell'area della Facoltà d'Ingegneria e l'altro in una posizione tale da fornire un contributo utile sia nei primi due tracciati (brevi) che nel terzo (lungo). In particolare, l'impiego del secondo ricevitore ha permesso di ottenere la doppia soluzione per ogni epoca processata, fornendo così maggiore ridondanza al rilievo, ed è stato importante nel tracciato lungo, in quanto nei punti diametralmente opposti alla stazione fissa, la lunghezza delle baselines era piuttosto elevata per un rilievo cinematico. Le due stazioni fisse sono state innanzitutto georeferenziate attraverso un calcolo di compensazione insieme alle osservazioni delle stazioni permanenti: UNPG e UPG2 (deviazioni standard inferiori ai 4 mm in planimetria e 5 mm in altimetria).

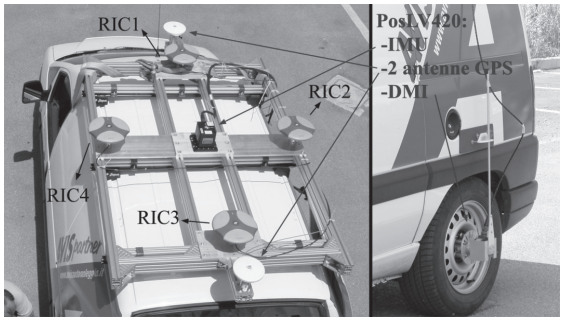



*Figura 3 - Strumenti installati sul veicolo*

A questo punto, per ciascun tracciato, sono state elaborate le osservazioni di ognuno dei quattro ricevitori installati sul van rispetto a entrambe le stazioni fisse. In questo modo sono state ottenute otto soluzioni (4 ricevitori x 2 basi fisse) per ogni epoca. Mediante procedure semi-automatiche, implementate in un foglio di calcolo, sono state escluse le soluzioni senza fissaggio delle ambiguità intere iniziali e tutte le soluzioni che presentavano deviazione standard superiore a 10 cm in planimetria e 20 cm in altimetria. Le soluzioni, estratte dai filtri applicati, erano corrispondenti agli estremi del rombo definito dal telaio, perciò sono state riportate all'origine del *body-frame* mediante l'utilizzo dei gli angoli *Pitch*, *Roll* e *Heading* forniti dalla IMU, infatti, essendo note e costanti le distanze tra IMU e ricevitori, è possibile ottenere da una matrice di rotazione i valori in direzione N, E ed h da sottrarre a quelli forniti dai ricevitori GPS per riportare le misure all'origine del body-frame per ogni epoca. Dopo tale operazione, per effettuare un ulteriore controllo relativo all'affidabilità dei valori, si sono implementate formule su un foglio di calcolo che fornissero istante per istante le distanze relative tra le soluzioni ottenute. Avendo a disposizione otto soluzioni per ogni istante, è stato necessario definire 28 formule diverse. A questo punto, sempre con procedure semi-automatiche, sono state escluse le distanze troppo elevate (80 cm rispetto a quelle rese dal sistema inerziale, infatti per effetto della deriva della IMU, in assenza di segnale GPS è verosimile arrivare ad avere tali scostamenti). Dopodichè per i valori accettabili ottenuti ad ogni epoca è stata calcolata una media pesata sommando i prodotti delle coordinate disponibili per il proprio peso (inverso del quadrato della deviazione standard), ed il risultato ovviamente diviso per la somma dei pesi. Il confronto delle soluzioni finali GNSS opportunamente trattate con tali metodi, con quelle del sistema inerziale, ha dimostrato un'ottima corrispondenza e affinità dei valori ottenuti, in quanto i metodi applicati consentono di raggiungere notevoli accuratezze nel rilievo cinematico, grazie alla

ridondanza dei dati. Come si può notare dal grafico di Figura 4, che riporta il confronto relativo al tracciato 1, le differenze sono raccolte in pochi centimetri sia in planimetria che in altimetria, mentre nelle condizioni di scarsa visibilità non si hanno soluzioni oppure si degrada notevolmente l'accuratezza. Nelle Figure 1, 2 e 4 sono ben evidenti i tratti in cui sono presenti solo le soluzioni del sistema inerziale rappresentate in ciano a dimostrazione dell'importanza di questo strumento nel rilievo cinematico.

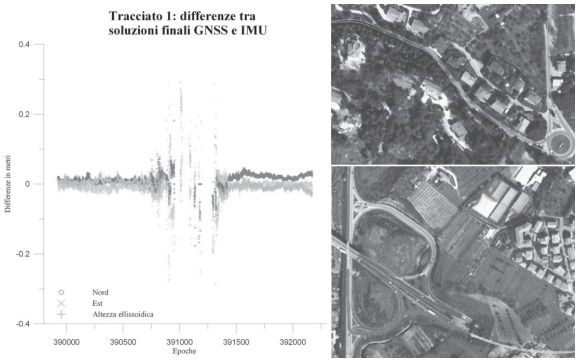



*Figura 4 - Differenze tra soluzioni finali GNSS e IMU nel tracciato 1 e a destra esempi di assenza di soluzioni GNSS (in rosso) a causa di ostacoli alla visibilità satellitare*

## 2. Esempio di applicazione del Filtro di Kalman.

Alle soluzioni relative al tracciato 2 è stato applicato un semplice filtro di Kalman *loosely coupled*, considerando le otto soluzioni dei ricevitori GNSS e i valori inerenti la velocità del veicolo in direzione N, E ed h forniti dalla INS. Il problema risulta da una parte semplificato, perché si fa solo riferimento ai valori di velocità e relative deviazioni standard fornite dalla INS, dall'altra più complesso rispetto allo standard, perché si prendono in esame le otto soluzioni GNSS. Inoltre, avendo a disposizione per questa elaborazione solo i valori forniti dalla INS con una frequenza di 5 Hz, nei tratti in cui non sono disponibili informazioni da parte dei ricevitori si notano maggiori fenomeni di deriva ed errori con ordini di grandezza inaccettabili, ma vengono comunque mantenute tutte le soluzioni per evidenziare il comportamento del filtro. Si sottolinea la necessità di introdurre un'ulteriore approssimazione, ovverosia quella di considerare le misure nelle tre direzioni scorrelate, a causa dell'assenza di queste informazioni in output dell'elaborazione cinematica. Dal punto di vista analitico, il fenomeno fisico in esame può essere modellato, per ogni direzione dello spazio, considerando la posizione del veicolo all'istante $t_1$ e, tenendo conto della sua velocità (fornita dalla IMU), si stima (fase di *predizione*) la posizione all'istante successivo ($t_2=t_1+dt$ con $dt$=0,2 secondi):

$$x(t_2) = x(t_1) + u \cdot [t_2 - t_1] \qquad [1]$$

Queste coordinate sarebbero però note con certi valori della deviazione standard dipendenti dai valori assunti per le velocità ($\sigma_x^2(t_2) = \sigma_x^2(t_1) + \sigma_u^2[t_2 - t_1]$, dove $\sigma_u^2$ è la varianza relativa alla velocità fornita dalla IMU), perciò occorre che il valore stimato venga messo in relazione con la coordinata e la relativa deviazione standard fornita dal rilievo GNSS all'istante $t_2$. A questo punto, per quanto riguarda la fase di *correzione*, si è scritta una formula che consentisse, ricevitore per ricevitore, la possibilità di bypassare la correzione da parte del ricevitore stesso se questo all'istante considerato non era stato in grado di fornire una soluzione *fixed*, oppure, nel caso contrario, di calcolare la coordinata ottimale a seguito della nuova misura GNSS effettuata:

$$x(t_2) = \mathrm{x}(t_1) + K(t_2) \cdot [z_2 - x(t_1)] \qquad [2]$$

dove con $z_2$ si è indicata la misura della coordinata $x$ effettuata dal ricevitore considerato, mentre con $K$ si è indicata la matrice di guadagno o di Kalman, uguale in questo caso a:

$$K(t_2) = \sigma_{z1}^2 / (\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2) \qquad [3]$$

la relativa deviazione standard è data da $\sigma_x^2(t_2) = \sigma_x^2(t_1) - K(t_2) \cdot \sigma_x^2(t_1)$. Per ogni istante si considerano così tutte le misure disponibili, ottenendo ogni volta un valore finale per l'istante considerato, che serve poi come base per la predizione all'istante successivo, da effettuarsi secondo i valori di velocità rilevati dalla IMU. A questo punto si è deciso di effettuare anche una operazione di *smoothing* dei dati a disposizione. In sostanza, analogamente alla operazione di *predizione*, ma in questo caso a partire dal punto finale ottenuto con *predizioni* e *correzioni* ora descritte, si tratta di 'lisciare' la posizione ottenuta per i vari istanti muovendosi a ritroso nel tempo. Anche con la fase di *smoothing* non sono stati risolti i problemi evidenziati, ma in alcuni casi si sono ottenute sostanziali riduzioni degli scostamenti, soprattutto nei tratti di assenza di segnale satellitare; tale vantaggio si nota chiaramente nella parte finale dei tratti 2 e 3 in cui il processo a ritroso dello smoothing permette di migliorare le soluzioni del grafico a destra di Figura 5. Ovviamente il confronto delle soluzioni ottenute da questo approccio Kalman con le corrispondenti *Tightly Coupled* della IMU è improponibile, perché come detto in precedenza, si sono considerati anche i tratti senza soluzioni GNSS. Tale analisi permette di dimostrare l'importante contributo del Filtro di Kalman, soprattutto quando si applica lo smoothing *all'indietro*.

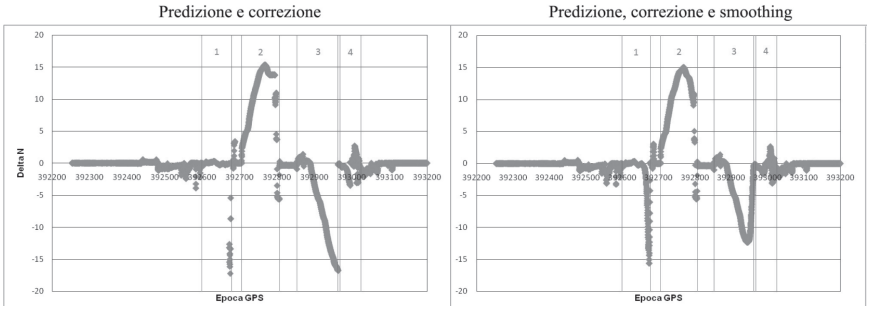



*Figura 5 - Es. applicazione Filtro di Kalman al tracciato 2: differenze tra soluzioni GNSS con le corrispondenti IMU (le 4 zone evidenziate, soprattutto la 2°, presentano notevoli ostruzioni alla visibilità satellitare)*

## 3. Test sulla deriva del sistema inerziale.

La deriva di un sistema inerziale rappresenta un fattore fondamentale per garantire le performance di questo strumento, perciò è stato eseguito un test specifico per studiare questo aspetto. In fase di esecuzione del tracciato 4 sono state schermate con pellicola di alluminio (Figura 6) le antenne GPS del sistema inerziale, per valutarne la deriva nel tempo in assenza di correzione satellitare. Dall'epoca di oscuramento delle antenne (396922 secondi della settimana GPS), si è eseguito uno statico di circa 6 minuti, poi sono stati compiuti 15 giri del parcheggio in un tempo di circa 14 minuti, dopo circa un minuto dall'arresto (398200 secondi, Figura 6 schema in alto a sinistra) sono state scoperte nuovamente le antenne della IMU e lo statico è proseguito per altri 7 minuti (il tracciato ottenuto si sovrappone, Figura 6, alle vetture in sosta, ciò è dovuto alla diversa organizzazione della viabilità del parcheggio tra il periodo di acquisizione delle immagini utilizzate nell'ortofoto e di esecuzione del rilievo cinematico). Tramite l'elaborazione delle osservazioni GNSS acquisite dalle quattro antenne Legant e l'applicazione dei filtri citati in precedenza è stato ricostruito il tracciato seguito dal veicolo ed è stato paragonato con quello ottenuto dalla IMU, che operava senza l'ausilio delle misure satellitari, quindi in progressiva deriva. In Figura 6, per ragioni di sintesi, è riportato solo il valore della distanza relativa, in funzione dell'epoca GPS, tra la

soluzione GNSS e la posizione fornita dalla IMU: si può notare chiaramente la deriva della soluzione, ma i valori ottenuti (48 cm dopo 17 minuti) sono migliori di quelli dichiarati nelle specifiche tecniche (27 cm dopo 2 minuti); sicuramente lo statico finale di circa 7 minuti con le antenne, associate alla IMU, nuovamente scoperte, ha permesso di migliorare le soluzioni finali attraverso l'operazione di smoothing all'indietro eseguita dal software di gestione della IMU.

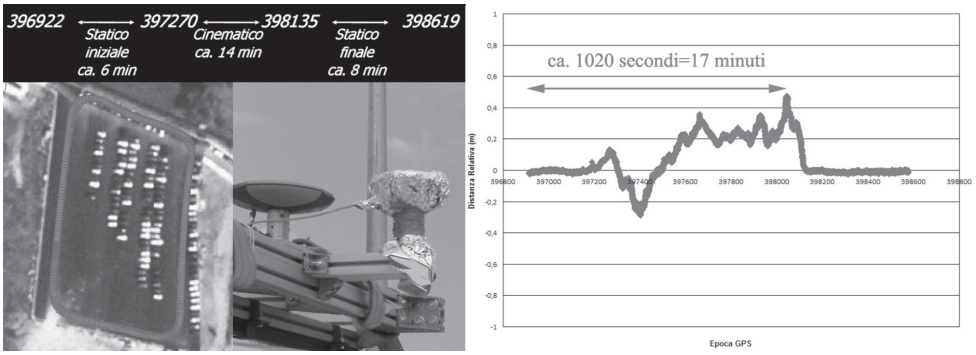



*Figura 6 - Tracciato 4*

## 4. Conclusioni

Da qualche anno il Laboratorio di Topografia esegue test relativi al posizionamento cinematico, cercando a ogni fase successiva della ricerca di introdurre nuovi sistemi e/o migliorare le procedure per lo sviluppo di un Mobile Mapping Vehicle. Nelle prime esperienze si è impiegata esclusivamente la tecnica satellitare, successivamente è stato utilizzato anche un sistema integrato GPS/IMU, sviluppato però per applicazioni marine e aeree. Questa esperienza ha permesso di approfondire innanzitutto lo studio di tecniche legate al rilievo cinematico solo di tipo satellitare, tale analisi risulta interessante in quanto esistono ancora molti sistemi impiegati nell'ambito del Mobile Mapping e del Catasto Strade che utilizzano solo ricevitori GNSS senza l'ausilio di altri sensori. In particolare si è cercato di fornire ridondanza al rilievo cinematico attraverso l'installazione di quattro antenne sul veicolo, che hanno permesso di ottenere, con le due basi installate lungo il percorso, otto soluzioni che sono state poi opportunamente filtrate. L'applicazione di un Filtro di Kalman semplificato si è dimostrata capace di migliorare notevolmente l'accuratezza delle soluzioni. La fase successiva della ricerca si è basata sull'impiego di un sistema di posizionamento molto diffuso nell'ambito del Mobile Mapping, il PosLV420, con caratteristiche prestazionali molto buone che sono state confermate nell'analisi eseguita nell'ultimo tracciato, in cui si è valutata la deriva dell'INS, risultata migliore rispetto alle specifiche tecniche dichiarate dalla casa costruttrice. L'importanza dell'ausilio di un sistema inerziale al posizionamento satellitare è stata dimostrata in tutti i tracciati, specialmente nel percorso lungo, in cui è stato possibile rilevare una serie ravvicinata di quattro gallerie a velocità relativamente elevate grazie al denso campionamento della IMU (100 Hz).

**Riferimenti bibliografici**

El-Sheimy N. (1996). *The development of VISAT - A mobile survey system for GIS applications*. Ph.D. Thesis, University of Calgary, Dept. of Geomatics Engineering.

El-Sheimy N. (2005). "An overview of mobile mapping systems". In: *Acts from From Pharaohs to Geoinformatics*.

Salychev O. (2006). *Applied Inertial Navigation: Problems and Solution*. BMSTU, Moscow.

Radicioni F., Fastellini G, Schiavoni A, Stoppini A. (2007). "Comparison of kinematic parameters of a moving vehicle by GNSS measurements and Inertial/GPS navigation system*", Proceedings of the 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology*. 28-31 Maggio 2007 Padua Italy.

# UTILIZZO DEI DATI DA SATELLITE PER LA DELIMITAZIONE DELLE AREE PERCORSE DA INCENDIO NEI PARCHI NAZIONALI NEL PERIODO 2001-2005

Pietro Alessandro BRIVIO (*), Bruno PETRUCCI (**), Paolo ZAFFARONI (*), Daniela STROPPIANA (*), Mirco BOSCHETTI (*)

(*) CNR-IREA, via Bassini 15, Milano, tel. 02-23699289, fax 02-236999300, e-mail: brivio.pa@irea.cnr.it
(**) Ministero dell'Ambiente, Direzione Protezione Natura, via capitan Bavastro 174, Roma, petrucci.bruno@minambiente.it

**Riassunto**
In questo progetto sono state acquisite ed analizzate circa cinquecento immagini da satellite (Terra-ASTER e SPOT) per la creazione di una base dati cartografica degli incendi nei Parchi Nazionali d'Italia nel periodo 2001-2005. I metodi di analisi utilizzati comprendono la fotointerpretazione, un approccio semi-automatico di soglia multiple di trasformate spettrali (NBR e BAI) e la classificazione di massima verosimiglianza. Nel periodo esaminato, il totale delle aree percorse dal fuoco rilevate da satellite (APFS) nei Parchi Nazionali è di circa 5.000 ha con una dimensione media di 7,7 ha. I parchi più colpiti sono risultati Cilento e Pollino, che da soli contano quasi la metà delle aree bruciate cartografate. La validazione è stata condotta sia con tecniche statistiche classiche, sia confrontando le mappe APFS con i rilievi a terra resi disponibili dal CFS. Tale analisi ha provato la validità dei rilievi da satellite, ma soprattutto ha messo in evidenza l'opportunità di integrare i due approcci, fortemente complementari, per un monitoraggio efficiente degli incendi boschivi.

**Abstract**
In this project around five hundred satellite images (Terra-ASTER and SPOT) were acquired and processed in order to build a geographic data base of burned areas within the Italian National Parks for the period 2001-2005. The methodologies adopted for processing include visual interpretation, multiple threshold of spectral transforms (NBR and BAI) and the maximum likelihood classification technique. In this five year period the overall burned area amounts more than 5000 ha, with a fire average size of 7,7 ha, and the most affected Parks were Cilento and Pollino, responsible for almost half of total burned surface. Validation has been carried out with appropriate statistical techniques. A comparison with ground surveys made available by CFS showed the reliability of the satellite-derived maps and confirmed the importance of the integration of space and ground-based techniques for an efficient forest fires monitoring.

## Introduzione

Gli incendi, ed in particolare gli incendi boschivi, sono un fenomeno di disturbo dell'ecosistema. La maggior parte di essi sono causati in modo diretto o indiretto dall'uomo e solo una piccola parte è dovuta a cause naturali (Levine, 2000). I paesi del Mediterraneo sono molto soggetti a questo fenomeno che si manifesta in modo più intenso durante i mesi estivi quando le condizioni meteorologiche sono particolarmente favorevoli per la loro diffusione.
Ogni anno in Italia gli incendi provocano enormi danni al patrimonio forestale; nel 2007, anno particolarmente negativo, si sono registrati 10.614 incendi che hanno percorso una superficie di

225.563 ha, di cui 115.242 boscati (CFS, 2008). I danni maggiori per l'ecosistema si hanno quando il fuoco colpisce aree di elevata valenza naturalistica quali le aree protette.
La legge quadro sugli incendi boschivi (L. 21 novembre 2000, n. 353) prevede per le aree protette statali una pianificazione antincendi boschivi (AIB) a cura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) su proposta degli Enti gestori, per la quale il rilievo cartografico delle aree percorse dal fuoco riveste un ruolo fondamentale.
Le esperienze internazionali maturate nel campo del monitoraggio degli incendi da satellite sono ormai numerose ed includono sia applicazioni sperimentali sia applicazioni di routine all'interno di sistemi operativi per la gestione e controllo del territorio. Esse riguardano sia l'individuazione degli incendi nella loro fase attiva ("*active fires*") sia lo studio degli effetti del passaggio del fuoco, in particolare la delimitazione delle aree bruciate. Per la prima si usano sensori operanti nelle bande dell'infrarosso (IR) medio (MIR) e termico (TIR), privilegiando satelliti con un'alta risoluzione temporale per poter osservare un fenomeno dinamico come il passaggio del fuoco (Flasse, Ceccato, 1996; Brivio, Grégoire, 1997). Per la delimitazione delle aree bruciate vengono usate le bande spettrali del visibile, infrarosso vicino (NIR) e ad onde corte (SWIR) con sensori a media (Tansey et al., 2004; Roy et al., 2005) e ad alta risoluzione spaziale (Mitri, Gitas, 2004, Smith et al., 2007).
Questo studio, realizzato nel quadro di un progetto promosso dalla Direzione Protezione Natura (DPN) del Ministero dell'Ambiente, ha portato alla creazione di una base dati cartografica degli incendi nei Parchi Nazionali Italiani nel quinquennio 2001-2005, utilizzando immagini Terra-ASTER e SPOT, che grazie alle loro caratteristiche spettrali e di risoluzione spaziale (15-20 metri) consentono il rilievo di superfici bruciate anche dell'ordine dell'ettaro.

**Dati e Metodi**
In questo studio si sono considerati 21 Parchi Nazionali. Il regime stagionale degli incendi varia in funzione della latitudine. Nei Parchi del Nord Italia (Gran Paradiso, Val Grande, Stelvio, Dolomiti Bellunesi, Cinque Terre, Appennino Tosco-Emiliano, Foreste Casentinesi) si registra una maggiore frequenza di incendi in inverno-primavera, mentre i Parchi del Centro-Sud (Arcipelago Toscano, Asinara, Arcipelago La Maddalena, Monti Sibillini, Gran Sasso, Majella, Abruzzo Lazio e Molise, Gargano, Circeo, Vesuvio, Cilento, Pollino, Sila, Aspromonte) sono colpiti soprattutto durante l'estate. In base ai dati del Ministero dell'Ambiente (Petrucci, 2007), i parchi Pollino, Cilento, Gargano e Aspromonte presentano le maggiori superfici percorse dal fuoco.
I dati da satellite utilizzati sono le immagini ASTER e SPOT. Le immagini ASTER sono state acquisite attraverso il servizio EOS Data Gateway della NASA grazie al supporto del Dept. of Geography, University of Maryland (USA) nell'ambito del progetto "*Refinement & Maintenance of the MODIS fire product suite*". In particolare, è stato scelto il prodotto "AST07- ASTER On-Demand L2 Surface Reflectance", che fornisce la riflettanza al suolo dei sensori VNIR (bande 1-3) e SWIR (bande 4-9) corrette per l'effetto atmosferico (Tab. 1).

*Tabella 1 - Caratteristiche delle immagini ASTER e SPOT utilizzate nel progetto.*

| ASTER | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| spettro | verde | rosso | NIR | SWIR | SWIR | SWIR | SWIR | SWIR | SWIR |
| intervallo spettrale[nm] | 520<br>600 | 630<br>690 | 780<br>860 | 1600<br>1700 | 2145<br>2185 | 2185<br>2225 | 2235<br>2285 | 2295<br>2365 | 2360<br>2430 |
| ris. geom. [m] | 15 | 15 | 15 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| SPOT-2, 4, 5 | B1 | B2 | B3 | B4 | | | | | |
| spettro | verde | rosso | NIR | SWIR | | | | | |
| intervallo spettrale[nm] | 490<br>610 | 610<br>680 | 780<br>890 | 1580<br>1750 | | | | | |
| ris. geom. (*) [m] | 20 [2,4]<br>10 [5] | 20 [2,4]<br>10 [5] | 20 [2,4]<br>10 [5] | ==<br>20 [4,5] | | | | | |

**(*): gli apici per la risoluzione geometrica indicano rispettivamente i satelliti SPOT-2, 4 e 5.**

Ogni immagine copre un'area di 60x60 km in proiezione UTM-WGS84. Per sfruttare al meglio la risoluzione geometrica delle prime 3 bande, le bande SWIR sono state ricampionate a 15 metri (Fig. 1). Un numero limitato di immagini SPOT sono state acquisite sui Parchi Aspromonte, Cilento, Gargano e Pollino per integrare i dati ASTER del 2005, grazie al programma *OASIS* (*Optimising Access to Spot Infrastructure for Science*).

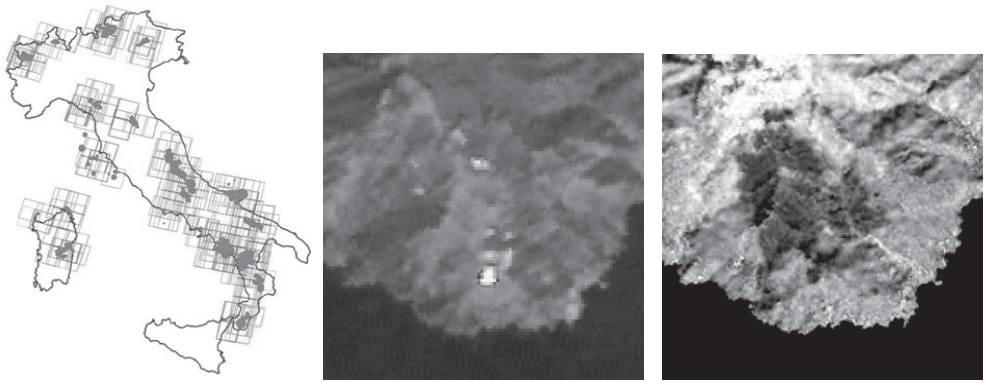


*Figura 1 – Data base delle immagini ASTER e SPOT sui Parchi Nazionali. A lato esempio di immagine ASTER della costa campana in cui sono visibili fronti di incendio (5 sett. 2004, RGB: 842) e superfici percorse dal fuoco nella stessa area un mese dopo (30 sett. 2004, RGB: 321).*

I tre metodi di elaborazione utilizzati in questo lavoro, sono stati sperimentati in una fase preliminare su un'area campione della Sardegna (Zaffaroni et al., 2007). Per ogni scena è stato scelto uno dei metodi in funzione delle caratteristiche specifiche dell'immagine da analizzare:
- *fotointerpretazione* eseguita su diverse combinazioni in falso colore delle bande spettrali: 832 e 321 per *ASTER* e 432 e 321 per *SPOT*. Questo metodo è stato utilizzato per scene con un numero di aree bruciate limitato, tale da non giustificare elaborazioni più complesse di tutta l'immagine.
- *approccio a soglie multiple* degli indici spettrali Normalized Burned Ratio (NBR) e Burned Area Index (BAI). Applicato solo alle immagini ASTER con molte aree bruciate e scarsa presenza di ombre. L'indice NBR (Key, Benson, 2002) è sensibile al danno provocato dal passaggio del fuoco sulla vegetazione e decresce dopo l'incendio, mentre il BAI (Chuvieco et al, 2002) rileva la deposizione dei resti della combustione e aumenta dopo l'incendio. Essi sono stato calcolati utilizzando le bande ASTER 2, 3 e 8 in base alle seguenti formule:

$$NBR = (\rho NIR - \rho SWIR)/(\rho NIR + \rho SWIR) \qquad [1]$$

$$BAI = 1/((0.1 - \rho RED)^2 + (0.06 - \rho NIR)^2 \qquad [2]$$

Alle trasformate viene applicata una soglia con valori calibrati immagine per immagine per identificare le aree bruciate e poi, secondo un approccio conservativo (si preferisce ridurre "i falsi allarmi"), solo i pixel rilevati da entrambi gli indici sono classificati come "bruciato" e il resto come "non bruciato". Alla mappa binaria viene applicato un filtro di maggioranza 3x3.
- *massima verosimiglianza*: applicata alle immagini con molte aree bruciate in cui la classe 'bruciato' presenta un'elevata confusione spettrale con altre classi, (tipicamente ombre e alcuni suoli), non risolvibile dal metodo semi-automatico. I pixel di *training* sono selezionati per 7 classi (bruciato, vegetazione, suolo nudo, urbanizzato, nuvole, ombra e acqua) con circa 150 pixel per classe. Per le immagini ASTER si sono usate le bande 8,4,3,2 e gli indici NBR e BAI, mentre per le SPOT sono state impiegate tutte le bande.
Mediante un processo di trasformazione in vettori delle mappe della classe "bruciato" si ricavano i perimetri delle aree percorse dal fuoco rilevate da satellite (APFS).

**Risultati**

I perimetri delle APFS ottenuti dall'analisi eseguita sulle immagini disponibili nei 21 Parchi Nazionali considerati sono stati organizzati in un GIS compatibile con le pratiche in uso presso la DPN del Ministero dell'Ambiente. Nella Figura 2 viene presentato un esempio delle APFS relative al Parco Nazionale del Cilento, uno dei più interessati dal fenomeno degli incendi boschivi.

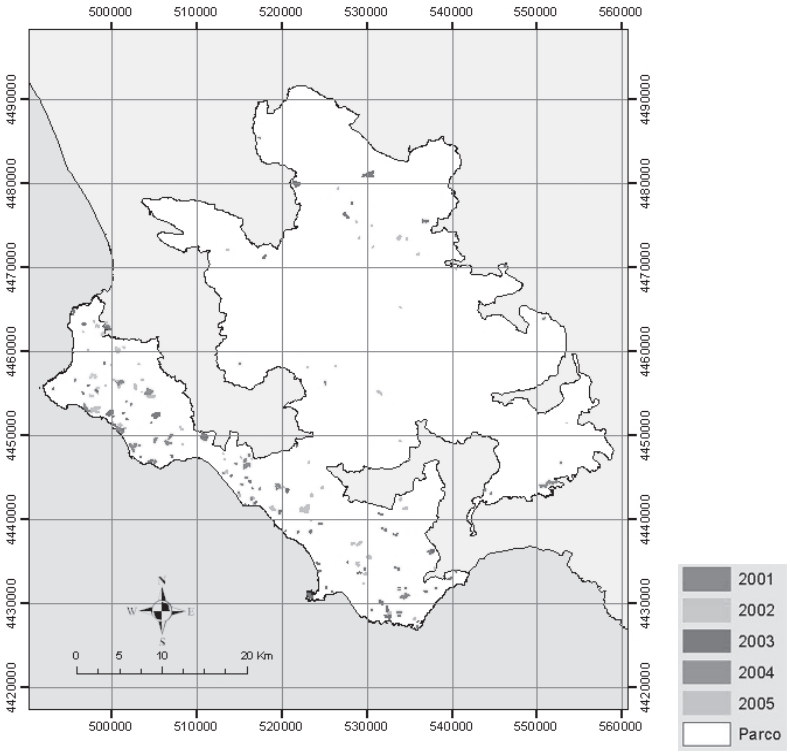



*Figura 2: APFS -Aree Percorse dal Fuoco rilevate da Satellite per il Parco Nazionale del Cilento.*

Nella Tabella 2 viene riportata una sintesi per anno delle APFS sia come numero di poligoni che come superfici. Le APFS così rilevate corrispondono a una superficie di 5038 ha per 652 eventi, con una dimensione media di 7.7 ettari per incendio. L'anno peggiore è stato il 2004 con 1441 ha, seguito dal 2001 (1182 ha) e dal 2003 (1172 ha). Il Parco in cui si è rilevata la maggiore superficie bruciata è il Cilento con 1159 ha, seguito dal Pollino con 1150 ha, dall'Aspromonte con 785 ha e dal Gargano con 717 ha.

*Tabella 2– APFS nei Parchi Nazionali nel periodo 2001-2005.*

| Anno | n. Immagini | n. Poligoni | Superficie (ha) | sup media (ha) |
|---|---|---|---|---|
| 2001 | 65 | 140 | 1179 | 8,42 |
| 2002 | 92 | 49 | 228 | 4,65 |
| 2003 | 140 | 177 | 1172 | 6,62 |
| 2004 | 90 | 157 | 1441 | 9,18 |
| 2005 | 74 | 129 | 1018 | 7,89 |
| **Totale** | **461** | **652** | **5038** | **7,73** |

La valutazione dei risultati è stata condotta con diversi tipi di analisi.
Le mappe APFS ottenute dal metodo semi-automatico degli indici NBR e BAI sono state valutate mediante le matrici di confusione (Congalton, 1991) ricavate dal confronto con dati di riferimento ottenuti dalla fotointerpretazione di venti immagini ASTER relative a Parchi diversi e anni diversi. Come era da attendersi dal carattere conservativo dell'approccio adottato, si è riscontrata in media una sottostima del 50%, mentre le aree riconosciute come bruciate corrispondono a verità con un buon livello di sicurezza (85%).
Grazie ad una collaborazione fra CFS, DPN-MATTM e IREA-CNR, una analisi di dettaglio è stata realizzata per il Parco Nazionale del Pollino mettendo a confronto i perimetri APFS e quelli del CFS per il 2004, anno di sperimentazione dei rilievi GPS. Questo confronto ha messo in evidenza la validità dei perimetri degli incendi ricavati da immagini satellitari. Una delle cause di discrepanza tra i due dati è dovuta ad imprecisioni o della georeferenziazione delle immagini da satellite o nel caso di rilievi CFS eseguiti in modo tradizionale senza ausilio di GPS.
In generale, i risultati da satellite permettono di localizzare le aree percorse da incendio e di delimitarne il perimetro con una buona accuratezza. I principali elementi che la influenzano sono l'intensità dell'incendio, tipo e stato della copertura vegetale coinvolta e il tempo trascorso tra la data dell'incendio e la data di acquisizione dell'immagine da satellite. Quest'ultimo, che dipende dalla frequenza di acquisizione e dalle condizioni atmosferiche al momento del passaggio del satellite sull'area (es. presenza di copertura nuvolosa) è l'elemento più critico per un monitoraggio efficace.

**Conclusioni**
Le immagini satellitari ASTER e SPOT acquisite hanno permesso di delimitare le aree percorse dal fuoco nei Parchi Nazionali italiani per il periodo 2001-2005 verificando e consolidando una metodologia che fosse idonea a livello nazionale.
Le superfici individuate sono pari a circa 5000 ha in corrispondenza di 650 eventi, con una dimensione media di 7.7 ha per incendio, confermando che i Parchi più colpiti sono quelli del Meridione.
L'analisi dei risultati ed i confronti eseguiti nella fase di valutazione hanno evidenziato una capacità delle immagini satellitari di individuare eventi non rilevati a terra. Se si escludono i Parchi del Gargano e Pollino (2004 e 2005) e Cilento (2005), i perimetri APFS sono l'unica fonte di informazione cartografica per i Parchi Nazionali per il periodo considerato da questo studio, non essendo più possibile ricavarla da altri dati.
D'altra parte i rilievi a terra forniscono importanti informazioni per validare e integrare le mappe APFS e rimangono un elemento fondamentale nel monitoraggio e nelle attività di prevenzione e lotta attiva contro gli incendi.
In ultima sintesi, i risultati del progetto supportano la tesi di una validità oggettiva dei perimetri rilevati da satellite, nonché l'importanza di integrare e confrontare questi perimetri con i poligoni da rilievo GPS post incendio.

**Ringraziamenti**
Si desidera ringraziare il CFS, in particolare Daniela Piccoli, e i membri del Comitato Scientifico di supervisione del Progetto: Jean-Marie Grégoire (JRC, Ispra), Luigi Boschetti (Univ. of Maryland, USA), Danilo Mollicone (Max Planck, Jena) e Sandro Federici (JRC, Ispra).

**Bibliografia**
Brivio P.A., Grégoire J.M. (1997), "Gli incendi nella fascia tropicale del globo: aspetti metodologici nell'analisi di dati da satellite", *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 11:17-26.
Brivio P.A., Zaffaroni P., Stroppiana D., Boschetti M. (2007), "Un sistema integrato per il monitoraggio e la mappatura delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite", *Rapporto Finale.* Ministero dell'Ambiente - DPN, pp. 82.

Chuvieco E., Martin M.P., Palacios A. (2002) "Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination", *Int. Journal of Remote Sensing*, 23: 5103-5110.
Congalton R.G. (1991) "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data", *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
CFS - Corpo Forestale dello Stato (2008), *Dossier Incendi Boschivi 2007*.
Flasse S., Ceccato P. (1996), "A contextual algorithm for AVHRR fire detection", *International Journal of Remote Sensing*, 17 (2): 419-424.
Key C.H., Benson N.C. (2002), "Measuring and remote sensing of burn severity", *Wildland Fires Workshop*, 31 Oct -03 Nov 2000, Los Alamos, (USGS Open File Report 02-11) p. 55.
Mitri G., Gitas (2004), "A semi-automated object-oriented model for burned area mapping in the Mediterranean region using Landsat-TM imagery", *Int. Journal of Wildland Fires*, 13: 367-376.
Petrucci B. (2007), "Azioni del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nel settore degli incendi boschivi", *L'Italia Forestale e Montana*, 62 (1): 27-38.
Roy D., Jin Y., Lewis P.E., Justice C.O. (2005), "Prototyping a global algorithm for systematic fire affected area mapping using MODIS time series data", *Remote Sensing of Environment*, 97: 137-162.
Smith A.M.S., Drake N.A., Wooster M.J., Hudak A.T., Holden Z.A. Gibbons C.J. (2007), "Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: comparison of methods and application to MODIS", *Int. Journal of Remote Sensing*, 28 (12): 2753 – 2775.
Tansey K., Grégoire J.M., Binaghi E., Boschetti L., Brivio P.A., Ershov D., Flasse S., Fraser R., Graetz D., Maggi M., Peduzzi P., Pereira J.M., Silva J., Sousa A., Stroppiana D. (2004), "A global inventory of burned areas at 1km resolution for the year 2000 derived from SPOT Vegetation data", *Climatic Change*, 67 (2): 345 – 377.
Zaffaroni P., Stroppiana D., Brivio P.A., Boschetti M. (2007), "Utilizzo di immagini ASTER per la delimitazione di aree percorse da incendio", *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 39: 93 – 101.

# MAPPATURA E VISUALIZZAZIONE DI DATI GEOGRAFICI ETEROGENEI IN UN WEB MAP SERVER: UN ESEMPIO APPLICATIVO NEL PROGETTO IDE-UNIVERS

Francesco BUCCI, Paola CARRARA

CNR-IREA sede di Milano, via Bassini 15, 20133 Milano, tel. 02 23699 295, e_mail: carrara,p@irea.cnr.it

**Riassunto**

Nell'ambito delle infrastrutture di dati spaziali, la Direttiva Europea INSPIRE definisce linee guida e standard di riferimento per la costruzione di sistemi interoperabili, volti a fornire la possibilità di pubblicare, ricercare ed utilizzare in modo distribuito dati geografici prodotti da molteplici attori pubblici e privati.

Una parte significativa dei risultati del lavoro di università e centri di ricerca è costituita da dati eterogenei di diverso formato (testuale, tabellare, grafico, ecc.) che, pur essendo riferiti a zone precise di territorio, non sono rappresentati attraverso mappe. La loro visualizzazione viene tipicamente affrontata mediante l'utilizzo di database spaziali.

L'articolo seguente descrive una soluzione ulteriore, basata sull'uso del diffuso formato *shapefile*: per una data tipologia di documento (ad es. una serie di articoli inerenti una data disciplina e associati a un determinato territorio), viene definita una struttura costituita da entità vettoriali, caratterizzate da coordinate spaziali e da una serie di attributi tabellari descrittivi. Ciascuna entità della struttura corrisponde ad un documento della collezione; le coordinate spaziali associate ad un'entità consentono la localizzazione del documento corrispondente su una mappa. Struttura ed entità sono memorizzate in uno *shapefile*.

È possibile definire più strutture, corrispondenti alle diverse tipologie di documento da rappresentare. Il formato *shapefile* consente di esporre in modo immediato le strutture definite come *layer* in servizi di visualizzazione di tipo *web-map service (WMS)* secondo gli standard dell'*Open Geospatial Consortium (OGC)*. Il meccanismo di *query* geografiche semplici messo a disposizione dal servizio WMS consente di visualizzare gli attributi descrittivi di un'entità mediante una selezione grafica da una mappa.

La soluzione proposta presenta come vantaggi la rapidità e semplicità di realizzazione: non richiede la creazione e la manutenzione di un database spaziale dedicato.

Si descrive un'applicazione nell'ambito del progetto europeo IDE-Univers (www.ideunivers.eu).

**Abstract**

In the framework of Spatial Data Infrastructures (SDI), European Directive INSPIRE defines guidelines and reference standards to create interoperable systems, aimed at publishing, searching and re-using geodata distributed by many public and private bodies.

A great amount of results obtained by universities and research centres is formed by heterogeneous data in various formats (texts, tables, graphs, etc.) that, though referred to precise geographic areas, are not represented through maps. Their visualisation is generally obtained by means of spatial databases.

The following paper describes a further solution, based on the commonly spread format *shapefile*: a structure of vector entities (ex. points) is defined for a given typology of document (by ex. a set of paper on a given subject and associated to some geographic areas). Each entity, characterised by spatial co-ordinates and a set of descriptive table attributes, corresponds to a document, that is related to a map through its geographic co-ordinates. Each structure and its entities are stored in a *shapefile*.

It is possible to define more structures, corresponding to the different document typologies. *Shapefile* allows to easily publish the structures as *layers* in visualisation services like *Web-Map Services (WMS)* compliant with the standards of *Open Geospatial Consortium (OGC)*. Simple geographic query mechanisms of WMS allow to visualise descriptive attributes of an entity by a graphic selection on a map. The advantages of the proposed solution are its feasibility and simplicity: it does not require the creation and maintenance of a spatial database.
An application is described in the European project IDE-Univers (www.ideunivers.eu).

**Introduzione e obiettivi del lavoro**
La Direttiva INSPIRE (Direttiva 2007/2/EC del Parlamento europeo e del Consiglio d'Europa, 14 marzo 2007, in vigore dal 15 maggio 2007) stabilisce regole generali per la realizzazione di un'infrastruttura di dati spaziali (SDI), volta a supportare le politiche ambientali e le attività con impatto ambientale. L'infrastruttura a livello europeo è basata sulle infrastrutture create e mantenute dagli stati membri. Vengono indicati come elementi costitutivi di una SDI, metadati, collezioni di dati spaziali e servizi basati su di essi, servizi di rete e tecnologie, accordi su condivisione, accesso ed utilizzo di dati e servizi, meccanismi di coordinamento e controllo, processi e procedure.
Per dato spaziale si intende qualunque tipo di dato che faccia riferimento diretto o indiretto ad una specifica locazione o area geografica; tra le categorie di dati spaziali identificate dalla Direttiva INSPIRE vi sono modelli digitali di elevazione, coperture del suolo, ortofoto, caratteristiche geologiche, ecc.
Per servizi basati su dati spaziali si intendono tutte le operazioni eseguibili mediante un'applicazione informatica sui dati spaziali o sui metadati ad essi riferiti. Gli stati membri devono mettere in opera una rete di servizi: tra di essi, i servizi di visualizzazione (*view services*) devono permettere la visualizzazione di *dataset* geografici "visibili", unita alla possibilità di effettuare su di essi operazioni di *zoom*, *pan*, sovrapposizioni con altri *dataset*, e di visualizzare parti significative dei loro metadati.
La totalità delle categorie di dati spaziali elencate nella Direttiva è composta da dati "visibili": tali dati per loro natura possono essere visualizzati su di una mappa. Una buona parte dei risultati del lavoro di università e centri di ricerca è tuttavia costituita da dati i quali, pur essendo riferiti a zone precise di territorio, non sono direttamente visualizzabili su di una mappa. Questi dati possono essere espressi in formati diversi (testuale, tabellare, grafico, ecc.): si pensi ad esempio ad articoli scientifici riferiti a ricerche sull'evoluzione della vegetazione in un determinato territorio, o a tabelle e grafici sulla distribuzione di un dato agente inquinante. Questi tipi di dati eterogenei possono dare un apporto significativo all'informazione geografica, e questo lavoro suggerisce una soluzione applicativa per la visualizzazione in un *view service* di una collezione di documenti testuali. Essa fa uso del formato *shapefile*, e viene confrontata con una soluzione tipica del problema, basata sull'uso di database spaziali.
Dopo una descrizione del contesto applicativo e dell'organizzazione logica dei dati, vengono confrontate le peculiarità delle due soluzioni.

**Contesto applicativo e organizzazione logica dei dati**
L'attività di studio e sviluppo della soluzione presentata è stata svolta nell'ambito del progetto europeo IDE-Univers (www.ideunivers.eu) (Poggioli *et al*., 2007; Barea *et al*., 2008) volto alla creazione di un'infrastruttura di dati spaziali per università e centri di ricerca nel l'area mediterranea. In particolare, il progetto ha messo a disposizione diverse collezioni di articoli scientifici relativi a un ben determinato territorio, tra cui una collezione di *abstract* di articoli inerenti ricerche su zone precise del nord Italia; quest'ultime ricerche si riferiscono allo studio dell'evoluzione di paleoambienti e sono state effettuate da ricercatori di un unico istituto.

La soluzione prevede la creazione di un *layer* tematico denominato *"palaeoenvironments",* composto da entità vettoriali (*feature*): ciascuna entità rappresenta un documento della collezione di *abstract* ed è georeferenziata con le coordinate di un punto significativo dell'area di riferimento della ricerca oggetto del documento. Il *layer* paleoambienti apparirà quindi come un'insieme di

icone corrispondenti alle entità di cui è composto, e sarà visualizzabile sullo sfondo di una mappa georeferenziata del nord Italia (figura 1).

*Figura 1: il layer 'palaeoenvironments'*

Gli attributi significativi per le entità sono rappresentati in Tabella 1.

| Nome attributo | Tipo | Descrizione |
|---|---|---|
| OBJECTID | Integer | Codice identificativo dell'entità |
| Title | String | Titolo del documento corrispondente all'entità |
| Keyword | String | Parole chiave del documento |
| Area | String | Area o località di riferimento |
| Provincia | String | Provincia di riferimento |
| latitude | Real | Latitudine geografica di un punto significativo dell'area |
| longitude | Real | Longitudine geografica di un punto significativo dell'area |
| Doc_url | String | Link al documento |
| Note | String | Eventuali note descrittive |

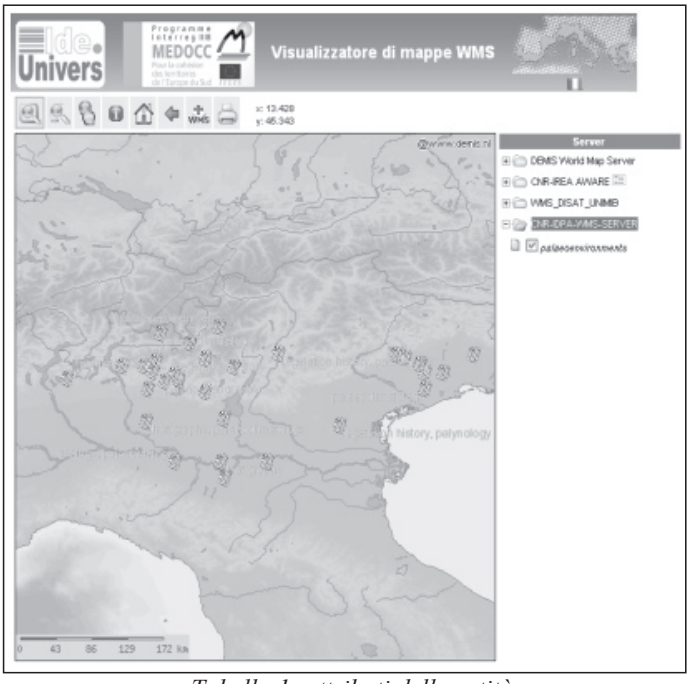



*Tabella 1: attributi delle entità*

Come si può osservare, per la georeferenziazione delle entità è stata utilizzata una coppia di attributi latitudine-longitudine; le coordinate sono espresse in gradi decimali in accordo al sistema di riferimento WGS84, con datum WGS84.

**Implementazione basata su shapefile**

Per l'implementazione del modello descritto si è scelto di utilizzare il formato proprietario *shapefile* che è stato definito dalla società ESRI, per la memorizzazione di informazioni geometriche non topologiche ed attributi di un *dataset*. La geometria di ogni *feature* viene memorizzata come una forma (*shape*) composta da una serie di coordinate vettoriali; un singolo *shapefile* può contenere un solo tipo di *feature*: punti, linee o poligoni; in esso possono coesistere *feature* che si sovrappongono, oppure non contigue. Gli attributi associati alle *feature* vengono memorizzati nel

formato proprietario dBASE (".dbf"); una particolarità di questo formato è l'assenza di valori di tipo *"null"*, per cui valori non definiti per gli attributi vengono memorizzati come "0".
Uno *shapefile* è costituito dai seguenti file:

- file principale (con estensione *".shp"*): una lista di *record*, ciascuno dei quali descrive una forma con una lista di vertici.
- File indice (*".shx"*): lista di *record* che fanno riferimento ai *record* del file principale, con lo scopo di incrementare le prestazioni in lettura e scrittura delle *feature*.
- Tabella dBASE (*".dbf"*), contenente gli attributi delle *feature*, con un *record* per *feature*, memorizzati nello stesso ordine del file principale.

Ulteriori file, opzionali, possono contenere indici spaziali, indici spaziali delle *feature* in sola lettura, indici sugli attributi dei campi della tabella, informazioni sul sistema di riferimento, il metadato dello *shapefile* in formato XML, un indice della tabella, nella forma <nome_shapefile>.<nome_colonna>.

Presentiamo un esempio di tupla di attributi (secondo la Tabella 1) dello *shapefile* realizzato:

OBJECTID = 84
Title = Stratigraphic evidence for a major climate change during MIS22: the Pianengo core (Po plain, Northern Italy)
Keyword = stratigraphy, palaeoclimatology
Area = Pianengo core, Po plain, northern Italy
Provincia = Cremona
latitude = 45.40000000000
longitude = 9.69000000000
Doc_url = http://87.241.56.117/ide-univers/docs/documento66.pdf
Notes = (null)

L'uso del formato *shapefile* è apparso come una soluzione semplice e immediata nel contesto applicativo dello sviluppo del progetto IDE-Univers che è realizzato da università e centri di ricerca: infatti, questo formato rappresenta uno *standard de facto* e diversi sistemi GIS anche gratuiti mettono a disposizione strumenti per la realizzazione e l'*editing* di *shapefile*. È ad esempio possibile aggiungere entità ad uno *shapefile* posizionandole direttamente con il *mouse* su di una mappa: in tal caso il sistema aggiunge in modo automatico identificativo e coordinate alla *feature* aggiunta. Gli strumenti integrati nei GIS permettono inoltre di realizzare con relativa facilità *shapefile* partendo dal risultato di operazioni di selezione di *feature* vettoriali da un *layer* preesistente, o mediante esportazione da tabelle di database: queste caratteristiche sono state sfruttate nello sviluppo del geoportale del Progetto IDE-Univers per produrre ulteriori *layer* tematici.
La creazione di un *layer* vettoriale basato su *shapefile* ha richiesto in sintesi i seguenti passi:

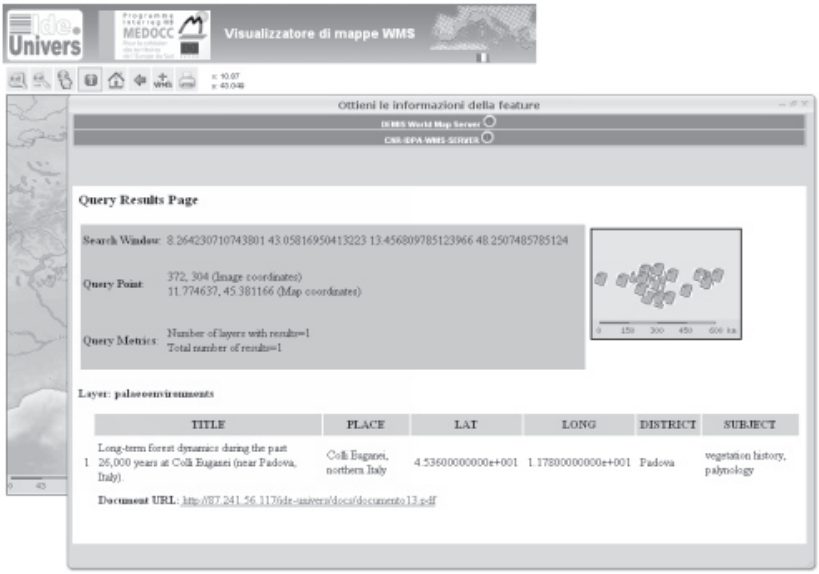
- Installazione di un sistema GIS con funzionalità di creazione ed *editing* di *shapefile*.
- Creazione della tabella degli attributi ed inserimento dei relativi valori per ciascuna *feature*.
- Configurazione del *layer* nell'ambiente di implementazione del WMS (che nel nostro caso è UMN Mapserver).

I *layer* vettoriali così realizzati possono essere interrogati mediante *query* spaziali semplici: selezionando con il *mouse* una o più *feature* sulla mappa, è possibile visualizzarne gli attributi con il relativo valore. Nel geoportale realizzato la funzionalità di *query* è stata ottenuta mediante la realizzazione di pagine-modello (*template* in formato *html*) attraverso le quali si stabiliscono gli attributi da visualizzare come risultato di una *query*.

*Figura 1: Risultato della query su una feature*

L'utilizzo dell'ambiente UMN Mapserver, conforme alle specifiche OGC-WMS indicate dalle direttive di implementazione di INSPIRE, ha garantito risultati positivi dal punto di vista dell'interoperabilità della soluzione realizzata: i *layer* del geoportale sono visualizzabili ed interrogabili sia da altri geoportali che da sistemi GIS conformi alle medesime specifiche.
Si riporta in figura 2 il risultato della *query* su una *feature* del *layer* "paleoenvironments", effettuata mediante una richiesta di tipo WMS *GetFeatureInfo* da un geoportale diverso da quello in cui risiedono i dati rappresentati nel *layer*.

**Soluzione basata su dbms e confronto tra le due soluzioni**
Una soluzione tipica per la visualizzazione di *feature* vettoriali in un geoservizio è costituita dall'uso di gestori di database relazionali (*dbms, database management system*) con estensione per il trattamento di dati spaziali: per confrontare le soluzioni è stato creato un *layer* vettoriale simile al *layer* "palaeoenvironments", con *feature* memorizzate in un dbms.
Il processo di creazione di tale *layer* ha richiesto i seguenti passi:




- Installazione del dbms (nell'esempio costruito è stato utilizzato MySql.)
- Creazione di un database
- Creazione della tabella degli attributi corrispondente al *layer* ed inserimento dei relativi valori per ciascuna *feature*.
- Configurazione del *layer* in ambiente UMN MapServer.

Il layer vettoriale basato su *shapefile* e quello basato su dbms presentano le medesime funzionalità di visualizzazione ed interrogazione.

Lo sforzo necessario per la creazione e la popolazione delle tabelle degli attributi e per la configurazione dei *layer* in Mapserver è comparabile per le due soluzioni.
Risulta tuttavia più semplice l'installazione di un sistema GIS leggero rispetto all'installazione e configurazione di un motore dbms.
Dal punto di vista della portabilità, uno *shapefile*, costituito da un insieme di file, può essere trasferito facilmente da un sistema ad un altro ed essere utilizzato senza bisogno di ulteriori trasformazioni. Una tabella di database ha invece significato solo all'interno del proprio database di definizione; gli strumenti di importazione ed esportazione di *feature* di database spaziali, disponibili in alcuni sistemi, richiedono una conoscenza ed una curva di apprendimento maggiori.
L'utilizzo di un database e del linguaggio SQL offre d'altra parte maggiore efficienza nelle operazioni di inserimento ed aggiornamento delle *feature*; questa caratteristica può essere significativa nello sviluppo e nel mantenimento di geoportali complessi.

**Riferimenti bibliografici**

The European Parliament and the Council of the European Union (2007), "Directive 2007/2/EC", Official Journal of the European Union, 25th April 2007.
Open Geospatial Consortium (2006), "OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification", http://www.opengeospatial.org/standards/wms.
D. Poggioli, S. Rossi, P. Carrara, R. Bertozzi, M. Montaguti, M. Barea, J. Guimet, M. Redondo, M.N. Vaitis, " IDE-Univers: una infrastruttura di dati spaziali tematica per Università e Centri di Ricerca", 11a Conf. Naz. ASITA, Torino, 6-9 novembre 2007
M. Barea, M. Brovelli, F. Bucci, P. Carrara, J. Guimet, N. Koukourouvli, V. Pascual, M. Redondo, D. Simos, M.N. Vaitis, A trans-national SDI for academic geo-information: Lessons learned in the IDE-Univers project, INSPIRE Conference 2008, Maribor (Slovenia), June 23-25, 2008, pp. 54-56.

# SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE DELLA CARTA DEL RISCHIO. SCHEDATURA DI CHIESE DELL'ABRUZZO E MOLISE E CALCOLO DELLA LORO VULNERABILITÀ

Carlo CACACE (*), Donatella FIORANI (**)

(*) Restauratore Conservatore Direttore dell'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro Piazza San Francesco di Paola 9, 00183 Roma
(**) Docente Ordinario dell'Università Degli Studi dell'Aquila Facoltà d'Ingegneria corso di Restauro Architettonico Monteluco di Roio, 76100 L'Aquila

**Introduzione**

Una recente esperienza di schedatura della Carta del Rischio su edifici storici abruzzesi e molisani ha consentito di verificare il funzionamento e l'utilità del sistema, stabilendo un circuito virtuoso fra conoscenza e gestione dei dati per la tutela, in piena coerenza con il concetto di 'restauro preventivo' elaborato da Cesare Brandi e con l'idea di 'conservazione programmata' dei beni culturali sviluppata a partire da Giovanni Urbani.
A recent experience with the 'Risk Map' on some historical buildings in Abruzzo e Molise permitted to verify functioning and utility of the system, fixing a good connection between knowledge and data managing for the safeguard of ancient architectures; this is fully coherent with the concept of 'Preventive Restoration' of Cesare Brandì and the idea of 'Programmed Maintenance' of the heritage developed since Giovanni Urbani.

Il Sistema Informativo Territoriale (SIT) della carta del rischio (CDR) del patrimonio culturale italiano, realizzato dall'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (ISCR) del Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC), si propone di fornire ai responsabili della tutela del patrimonio uno strumento tecnologico di supporto alle attività scientifiche ed amministrative. Il SIT permette di acquisire dati, analizzarli e studiare metodologie per gestire informazioni riferite al territorio e, in particolar modo, alla vulnerabilità dei beni culturali; quest'ultima viene analizzata nella sua evoluzione temporale e messa in rapporto con specifiche patologie (Urbani, 1975). La banca dati del SIT ad oggi è composta da 97146 beni di valore storico-artistico (figura 1), distinti in beni di natura architettonica e archeologica. Le conoscenze e le attività dell'ISCR nello specifico settore della conservazione hanno permesso di definire le variabili utili a descrivere lo stato di conservazione dei beni e di realizzare una scheda normalizzata per la raccolta dei dati. Obiettivo della scheda è stabilire la vulnerabilità dei beni architettonici per la resistenza statico-strutturale degli elementi portanti, per l'integrità delle superfici e per le generali condizioni di sicurezza nei confronti di azioni antropiche dannose (Coppi, 1997). Il modello della scheda è articolato in sezioni; la prima è dedicata alle informazioni anagrafico-identificative e all'individuazione della tipologia architettonica originaria dell'edificio. La parte anagrafica della scheda è stata predisposta in modo compatibile con le norme di catalogazione dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD) del MiBAC. Una sezione è dedicata al repertorio cronologico di tutte le notizie pertinenti alla fabbrica, con particolare attenzione agli interventi che hanno comportato modifiche all'iniziale tipologia strutturale e funzionale e con la segnalazione di eventuali preesistenze. Nella scheda è obbligatorio indicare l'epoca d'origine della fase preminente della fabbrica. Ampio spazio viene comunque riservato alle informazioni di tipo storico ed è ugualmente possibile registrare

osservazioni di natura architettonica, figurativa, strutturale, tecnica, patrimoniale, legislativa e così via; l'insieme di questi dati dovrebbe consentire una sintesi efficace delle principali vicende storiche attraversate dall'edificio, anche in relazione al contesto ambientale in cui questo sorge. Si possono quindi specificare i tipi di interventi attuati su di esso (ampliamenti, nuove costruzioni, demolizioni, restauri, rifacimenti ecc.) o gli eventi traumatici intercorsi (terremoti, inondazioni, incendi ecc.), nonché precisare le eventuali componenti particolari dell'edificio a cui si riferisce l'informazione.

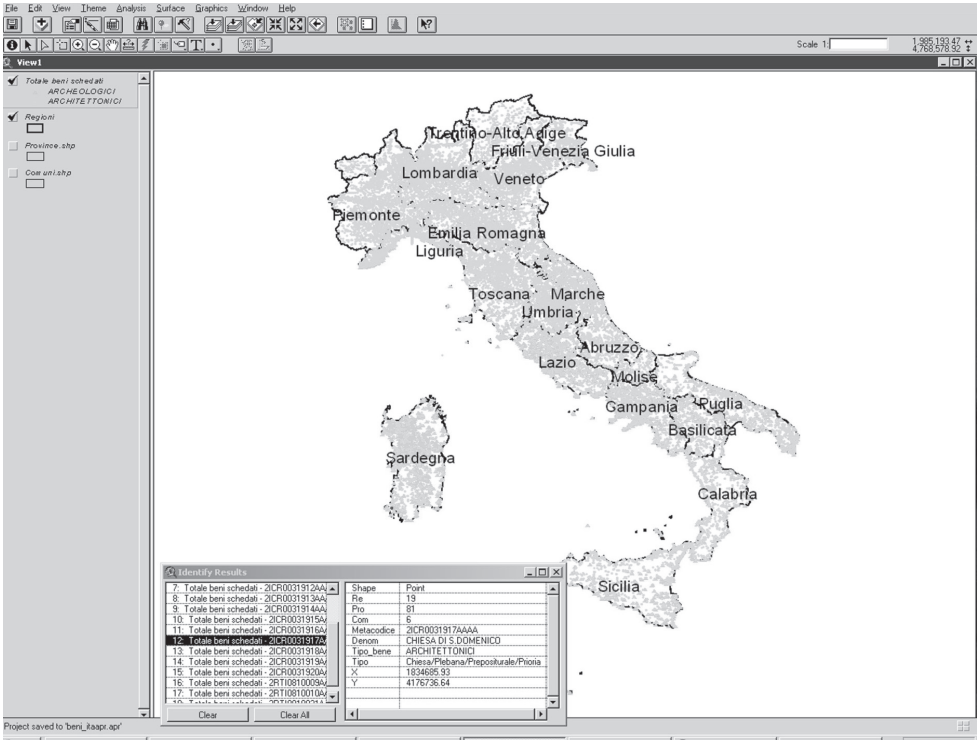



*Figura 1 distribuzione dei beni architettonici, archeologici sul territorio.*

La seconda sezione della scheda è dedicata allo stato di conservazione della fabbrica e riporta le informazioni di natura quantitativa e qualitativa relative ad ogni singolo elemento costitutivo che risulti danneggiato. Il monumento viene quindi analizzato nelle sue componenti costruttive e decorative (fondazioni, strutture in elevato, orizzontamenti, coperture, collegamenti verticali, pavimenti interni ed esterni, rivestimenti, apparato decorativo interno, rivestimenti e decorazioni esterne, infissi interni ed esterni) e in relazione alla gestione (smaltimento acque piovane, impianto idrico, impianto elettrico, impianto di riscaldamento). Viene così stimata l'intensità di sei tipologie di 'macrodanni' (danno generico strutturale, disgregazione materiali, umidità, attacchi biologici, alterazioni strati superficiali, parti mancanti) riscontrabili per ogni componente. L'identificazione delle tipologie di degrado superficiale fa riferimento alle convenzioni CNR-ICR, NORMAL 1/88 (Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico, Roma 1990). Per ogni tipologia di danno registrata viene descritta l'intensità attraverso la definizione della gravità (1-danni lievi e medi, 2-gravi e gravissimi), dell'estensione (20 – 100%) e dell'urgenza (1- fenomeno visibilmente rilevabile e diffuso, ma non in progressione e quindi attribuibile ad una causa non in atto, 2- degrado in progressione per incuria o abbandono, 3- degrado avanzato ed in rapida progressione per incuria e assenza di protezione tale da richiedere interventi immediati pena la perdita irreparabile).
Fino ad oggi, la schedatura conservativa ha interessato un campione complessivo di circa 5000 beni ed è rappresentativa di diverse tipologie architettoniche in contesti territoriali differenti collocati nelle

regioni Piemonte, Emilia Romagna, Veneto, Umbria, Marche, Lazio, Campania, Sicilia, Abruzzo e Molise. La sperimentazione è stata condotta per fasi successive, su un campione sempre più allargato di beni, e ha permesso di testare e di verificare le variabili più significative utili alla determinazione del valore di vulnerabilità individuale. Il risultato della sperimentazione ha individuato un insieme di 200 variabili per le quali sono stati calibrati i pesi specifici necessari al procedimento di calcolo, di tipo statistico-deterministico. Dal momento che la definizione dei pesi viene effettuata analizzando sempre l'intero campione, è possibile utilizzare lo stesso procedimento di calcolo indipendentemente dalla localizzazione dei beni e da chi effettua la schedatura e, con l'incremento dei beni schedati, si può procedere ad una migliore calibratura dei pesi, agevolando un conseguente affinamento della scala di vulnerabilità. L'indice di vulnerabilità è accompagnato anche da un indicatore di attendibilità, che rappresenta l'affidabilità del valore di vulnerabilità trovato e si basa su regole di congruità e omogeneità dei valori schedati attraverso gli incroci di opportuni campi selezionati.

| Com | Bene | Glob | Strutt | Sup |
|---|---|---|---|---|
| L'Aquila | CHIESA DI S,PIETRO DI COPPITO | -1,45 | -0,68 | -1,52 |
| L'Aquila | CHIESA SAN SILVESTRO | -1,31 | -0,97 | -1,15 |
| San Benedetto in Perillis | TORRE DELLA CHIESA DI SAN BENEDETTO | -1,30 | -0,86 | -1,75 |
| San Benedetto in Perillis | CHIESA ABBAZIA DI SAN BENEDETTO IN PERILLIS | -1,28 | -1,30 | -1,30 |
| L'Aquila | CHIESA DI SAN GIUSTINO A PAGANICA | -1,26 | -1,23 | -1,45 |
| L'Aquila | SAN SISTO | -1,26 | -1,23 | -1,08 |
| Ocre | SANTA MARIA DEI RACCOMANDATI | -1,25 | -0,47 | -1,20 |
| L'Aquila | S,PAOLO DI BARETE | -1,20 | -1,70 | -1,30 |
| L'Aquila | CHIESA SANTA GIUSTA | -1,05 | -0,32 | -0,99 |
| Massa d'Albe | CHIESA SAN PIETRO AD ALBA FUCENS | -1,04 | -0,82 | -1,11 |
| Isola del Gran Sasso d'Italia | CHIESA SAN GIOVANNI AL MAVONE | -0,99 | -0,10 | -1,32 |
| Barisciano | CHIESA DI S, MARIA IN VALLEVERDE | -0,96 | -0,41 | -1,12 |
| Barisciano | CAMPANILE SANTUARIO MADONNA DI VALVERDE | -0,93 | -1,23 | -1,48 |
| Tornimparte | CHIESA SAN PANFILO | -0,92 | -0,50 | -1,02 |
| Navelli | CHIESA DELLA MADONNA DELLE GRAZIE | -0,73 | -0,87 | -0,18 |
| L'Aquila | CHIESA SAN FRANCESCO IN CIANFARANO | -0,68 | -0,23 | -1,19 |
| L'Aquila | CHIESA SAN SILVESTRO | -0,64 | -0,92 | -0,58 |
| L'Aquila | SANTA MARIA DEL PONTE | -0,61 | 0,41 | -0,86 |
| L'Aquila | CHIESA DI S,MARGHERITA | -0,59 | 0,33 | -0,61 |
| L'Aquila | CHIESA DI SAN VITO ALLA RIVERA | -0,54 | -1,47 | -0,43 |
| L'Aquila | SANTA MARIA A FORFONA | -0,52 | 1,11 | -1,10 |
| Barisciano | CONVENTO DI S, MARIA IN VALLEVERDE | -0,51 | 0,06 | -1,15 |
| L'Aquila | CHIESA SANTA GIUSTA | -0,45 | 0,19 | -0,72 |
| Fagnano Alto | CHIESA SAN GIOVANNI EVANGELISTA | -0,39 | 0,82 | -0,80 |
| L'Aquila | CHIESA DI S,DOMENICO | -0,18 | -1,23 | 0,28 |
| Sulmona | CHIESA DI S,PIETRO | -0,16 | -0,29 | 0,03 |
| Sulmona | SANTA CATERINA D'ALESSANDRIA | -0,16 | -1,23 | 0,44 |
| Navelli | CHIESA S,ANTONIO | -0,16 | -0,11 | -0,47 |
| Atri | CHIESA SS, TRINITA | -0,01 | -0,63 | 0,50 |
| Santo Stefano di Sessanio | SANTUARIO DELLA MADONNA DELLE GRAZIE | 0,24 | -0,27 | 0,70 |
| Montefino | S, MICHELE | 0,30 | 0,09 | -0,77 |
| Montorio al Vomano | FRATI CAPPUCCINI | 0,48 | -0,12 | 0,68 |
| L'Aquila | SANTA MARIA DELLE GRAZIE | 0,52 | 2,37 | -0,25 |
| L'Aquila | CHIESA DELLA MADONNA DEL MULINO | 0,69 | 1,92 | 0,16 |
| L'Aquila | ABITAZIONE | 0,84 | -1,47 | 0,33 |
| Venafro | CATTEDRALE SANTA MARIA ASSUNTA | 0,86 | 1,24 | 0,88 |
| Rocca San Giovanni | MULINO AD ACQUA | 0,91 | 0,28 | 1,42 |
| L'Aquila | EX CHIESA DI SAN GIUSEPPE DEI CAPPUCCINI | 1,10 | 0,47 | 1,09 |
| San Demetrio ne' Vestini | CHIESA SAN DEMETRIO | 1,11 | 2,45 | 0,66 |
| Campli | CHIESA DI SAN BERNARDINO | 1,36 | 1,10 | 0,88 |
| L'Aquila | RAMERIA | 1,71 | 0,79 | 0,37 |
| Montereale | CHIESA DI SANTA MARIA DELLA PIETA' | 2,01 | 1,87 | -0,26 |
| L'Aquila | MULINI E SVECCIATOIO | 2,11 | 2,28 | 0,89 |
| Rocca Santa Maria | CHIESA DI S, FLAVIANO | 2,29 | 5,28 | 0,97 |
| Ocre | SAN PANFILO | 2,32 | 2,60 | 1,06 |
| Scoppito | CHIESA DI S, ANDREA | 3,53 | 7,66 | 1,88 |
| Torricella Sicura | SAN NICOLA DI BARI | 5,23 | 4,59 | 3,23 |

*Tabella 2 Carta del rischio – elenco delle chiese e loro indice di vulnerabilità*

L'attività svolta dal Corso di Restauro architettonico dell'Università dell'Aquila con l'ISCR è consistita nell'impiego del sistema GIS WEB della CDR e delle schede per il rilevamento dello stato di conservazione per organizzare il materiale raccolto necessario alla progettazione del restauro di edifici storici esistenti nella regione; tale attività ha permesso d'implementare la banca dati con nuove anagrafiche e nuove schede di vulnerabilità e, attraverso l'uso degli appositi algoritmi di calcolo della vulnerabilità presenti nel GIS CDR, di ottenere gli indici di vulnerabilità strutturale, superficiale e globale delle 50 fabbriche georiferite sul territorio aquilano e molisano.
La scala di riferimento per il calcolo della vulnerabilità architettonica definisce per i valori negativi un buon stato di conservazione, medio per i valori intorno allo zero e cattivo per valori sopra lo zero. Nella tabella 2 sono elencate le fabbriche analizzate in ordine crescente di vulnerabilità globale, che definisce lo stato di conservazione in riferimento alla gestione e uso.
La figura 3 illustra la distribuzione territoriale delle chiese schedate, colorate a seconda del loro indice di vulnerabilità (Alto, Medio, Basso).

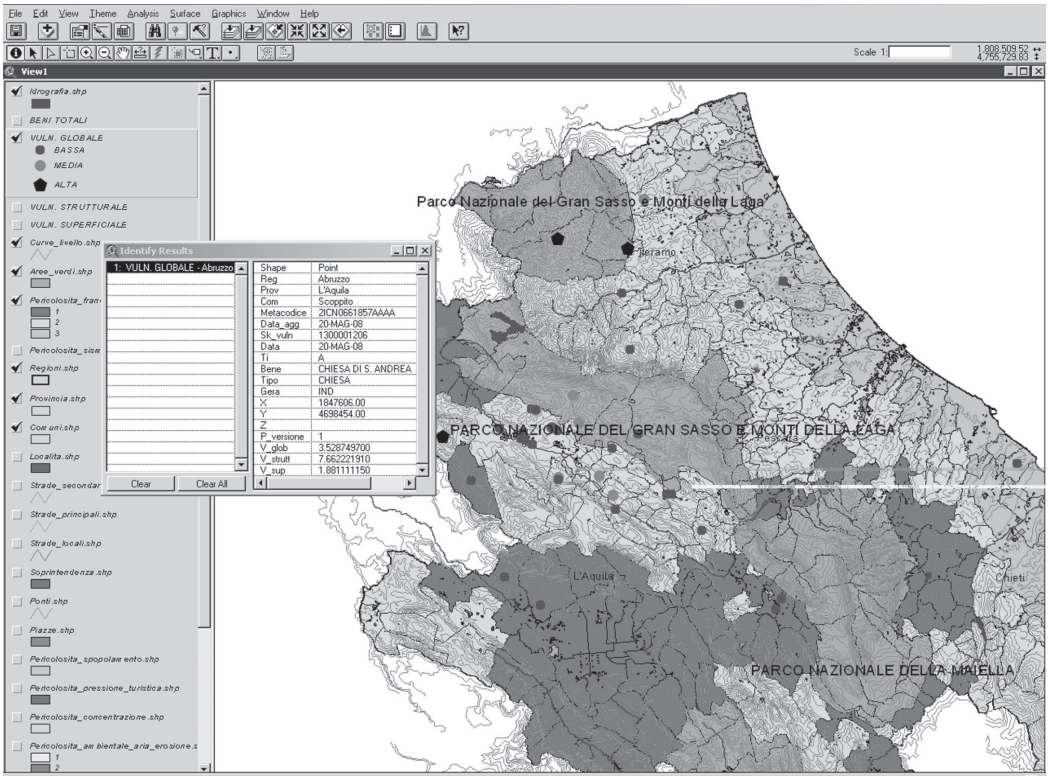


*Figura 3 – Distribuzione territoriale delle chiese e rappresentazione della loro vulnerabilità*

Nella finestra d'interrogazione della figura 3 viene illustrata l'anagrafica relativa alla chiesa di S. Bernardino, con l'indicazione dei relativi indici di vulnerabilità. Sempre in figura 3 viene evidenziata la regione Abruzzo, con i parchi nazionali trattati con colore rosso (il più scuro nella resa in B/N), le curve di livello e così via.
Il sistema WEB GIS CDR (Accardo, Cacace, 2001) consente d'interrogare il sistema e di 'scaricare' la scheda: in figura 4 si presenta la scheda relativa al complesso di San Bernardino con alcune immagini fotografiche e in figura 5 la fabbrica appare inserita nel proprio contesto territoriale, consentendo una sintetica visualizzazione della pericolosità del territorio, necessaria alla definizione del primo livello di rischio individuale che lega la pericolosità del territorio alla vulnerabilità del bene.

In base ai dati disponibili, al loro aggiornamento e alle caratteristiche qualitative di precisione (risoluzione, distribuzione spaziale, campionamento temporale, estensione della copertura territoriale) è quindi possibile conoscere, attraverso le procedure di calcolo, il livello di pericolosità territoriale, l'indice di vulnerabilità del singolo bene e l'intensità di rischio. Tali dati possono essere rappresentati in modo coerente e omogeneo per tutto il territorio italiano o per l'area territoriale considerata.

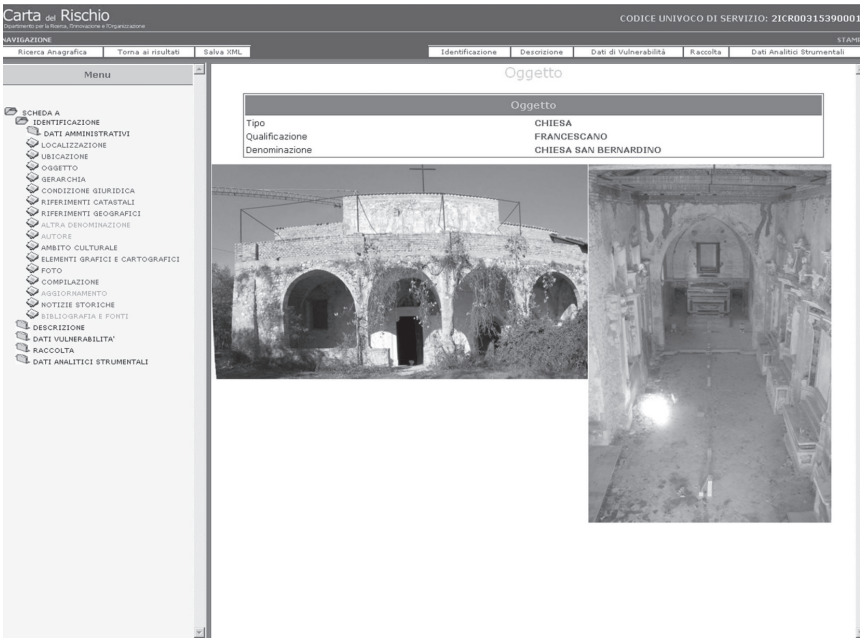



*Figura 4 – Carta del rischio – Chiesa di S. Bernardino – scheda di vulnerabilità e foto*

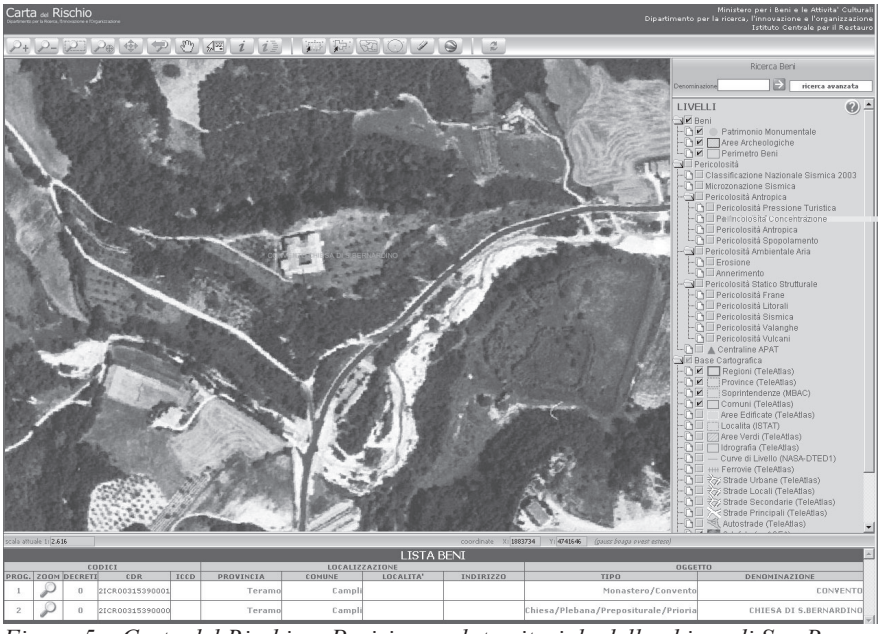



*Figura 5 – Carta del Rischio – Posizione sul territoriale della chiesa di San Bernardino*

La collaborazione con L'Università dell'Aquila ha permesso inoltre di verificare le prospettive d'impiego e fruizione delle informazioni presenti in banca dati sviluppata in ambiente WEB, chiarendone il ruolo ausiliario e integrativo rispetto al tradizionale processo di elaborazione dello studio dell'opera e della definizione progettuale del restauro. Tale sistema, infatti, lungi dal volersi sostituire alla fase di conoscenza diretta e analitica, alla valutazione sintetica e critica dell'opera o, addirittura, alla stessa progettazione, consente innanzitutto un'archiviazione standardizzata e – quindi – confrontabile dei dati, il facile reperimento e, eventualmente, l'integrazione delle informazioni, la valutazione comparativa delle condizioni delle opere fra loro e nel corso del tempo. Esso, quindi, permette di tesaurizzare in maniera semplice ed economica almeno una parte dell'ampio patrimonio di materiale e di documentazione che viene di anno in anno accumulato, sinora senza significativi riscontri, dall'esperienza didattica universitaria e che presenterebbe in sé un ampio potenziale informativo anche per gli enti che operano per la tutela sul territorio.
Grazie a questa attività, svolta con molta passione e interesse da parte degli studenti del corso (A.A. 2007-08) e seguita in particolare dai 'tutor' architetti e ingegneri Carla Bartolomucci, Lorenzo Cantalini e Simona Rosa, la regione Abruzzo ha ottenuto un significativo patrimonio omogeneo di schede, ulteriormente implementabile negli anni a venire, in quello che può considerarsi un valido esempio di sinergia sviluppato fra istituzioni diverse rispettivamente addette alla tutela e alla formazione nel campo dei beni culturali.

Urbani G. (1975), Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria, progetto esecutivo, ICR-Tecneco, Roma: pp 319, all.1: pp 251, all.2: tav 15.
Coppi R. (1997), Metodologia per la costruzione di modelli di rischio del patrimonio culturale, in La Carta del Rischio del Patrimonio Culturale (a cura di G. Castelli), ICR - Bonifica, Roma 1997.
Accardo G., Cacace C. (2001), Realizzazione dei Poli Regionali e gestione dei processi software. In Carta del Rischio del Patrimonio Culturale, atti del seminario italo - spagnolo, Roma, 26.09.2001: pp 30 – 33.

# MONITORAGGIO STRUTTURALE INTEGRATO IN AMBIENTE URBANO

Stefano CALCATERRA, Claudio CESI, Marola CORSETTI, Amedeo LUCIDI, Domenico MATARAZZO, Daniela Maria Antonia NICEFORO, Claudio PULSINELLI, Luca Maria PUZZILLI, Francesco VULLO

ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Via Curtatone, 3, Tel. (+39) 0650071, claudio.cesi@apat.it

**Riassunto**

Il Programma Urbanistico di Sostituzione Edilizia attualmente in corso nel quartiere di Giustiniano Imperatore in Roma rappresenta uno tra i primi e più ampi esempi di demolizione e ricostruzione di una parte di città in Europa. Il Servizio Geofisica di ISPRA (ex APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici), nell'ambito della collaborazione con il Comune di Roma e l'Università Roma Tre –Dipartimento di Scienze Geologiche, ha progettato e realizzato una rete di monitoraggio delle deformazioni plano-altimetriche delle opere di contenimento degli scavi e degli edifici circostanti, nonché delle deformazioni del suolo nelle aree limitrofe al cantiere. L'architettura del sistema di monitoraggio si sta dimostrando adeguata all'obiettivo prefissato del controllo degli spostamenti plano-altimetrici, sebbene questi risultino inferiori a quelli attesi e non dissimili da quelli indotti dalla subsidenza in atto, caratterizzata da velocità superiori ai 10 mm/anno. L'utilizzo integrato di sistemi di controllo a differente grado di precisione ha fornito risultati incoraggianti per l'implementazione di reti di monitoraggio in corso d'opera, in aree affette da analoghe problematiche geologiche in contesti fortemente urbanizzati.

**Abstract**

The Urbanistic Plan for Urban Replacement in the Giustiniano Imperatore district in Rome, still under way, represents one of the first and widest example of demolition and reconstruction of an urban area in Europe. The Geophysical Service of ISPRA (ex APAT - Italian Environment Protection and Technical Services Agency) in partnership with Roma Tre University and Municipality of Rome, has designed the monitoring network to take under control structures (bulkhead, buildings) and terrain deformations in the surrounding areas of construction-site during works. The network architecture allows to monitoring terrain and structures deformations, even though the real deformations are lower than expected and very close to those induced on buildings by natural subsidence, characterized by velocity even much higher than 10 mm/year. The monitoring network devotes a great deal of attention to the links between systems with different degree of approximation, providing encouraging results in order to design monitoring network in highly urbanized areas affected by similar geological hazard.

## Introduzione

Il quartiere di Giustiniano Imperatore dal 2004 è interessato da un Programma Urbanistico di Sostituzione Edilizia e di riqualificazione urbana considerato uno dei primi e più ampi esempi di demolizione e ricostruzione di una parte di città in Europa. L'area è nota storicamente per le condizioni di precaria stabilità di molti edifici ("i palazzi storti") realizzati nel corso degli anni 50' e 60' su terreni di fondazione con caratteristiche molto scadenti. I cedimenti del terreno provocarono sin dall'inizio seri problemi per la edificazione e ancora oggi, non essendo completamente esauriti, inducono la rotazione rigida dei corpi di fabbrica che risultano affetti da evidenti fuori-piombo delle murature perimetrali (alcune decine di cm). A partire dal 2001 nel1'area sono stati demoliti alcuni

edifici pericolanti con la conseguente insorgenza di una emergenza abitativa cui fare fronte, oltre alla necessità di riqualificazione dell'intero quartiere. L'Amministrazione Comunale di Roma attraverso il Dipartimento VI -U.O. 11 "Interventi di Qualità", successivamente alle opere di demolizione degli edifici pericolanti e alla progettazione del 1° comparto di sostituzione edilizia, ha incaricato il Dipartimento di Scienze Geologiche di Roma Tre e il Servizio Geofisica dell'ISPRA di progettare e rendere operativa una rete di monitoraggio integrata, mirata alla valutazione di eventuali modifiche indotte sul sistema suolo e sul tessuto urbano dalla realizzazione delle opere in progetto, con particolare riferimento alla salvaguardia delle strutture presenti sul territorio. La rete di monitoraggio, progettata congiuntamente dai due Enti, è stata concepita in modo da garantire la sinergia tra le rispettive competenze al fine di giungere al rapido confronto dei parametri ottenuti dai vari sistemi di misura di cui si compone la rete, il cui impianto risponde all'esigenza di durata almeno biennale, con possibilità di adeguamento della frequenza delle misure agli scenari che si vengono a determinare di volta in volta nel corso del progetto edilizio. Per tale motivo lo sforzo è stato prioritariamente indirizzato all'automazione dei sistemi, ricercando le soluzioni per letture strumentali in automatico ed in telemisura, con controllo remoto dei sistemi e possibilità di analisi in tempo quasi reale dei dati rilevati. Il monitoraggio si colloca nell'alveo di una filosofia che si è andata sempre più consolidando nell'ultimo decennio, sostenuta anche da normative nazionali tendenti a recepire direttive europee, che individua nel monitoraggio uno strumento basilare per assicurare sia la fase propria delle indagini conoscitive per lo studio e l'accertamento dei fenomeni, sia quella di sorveglianza e allarme, per finire con il monitoraggio quale strumento di verifica dell'effettivo conseguimento degli obiettivi di salvaguardia e/o risanamento.

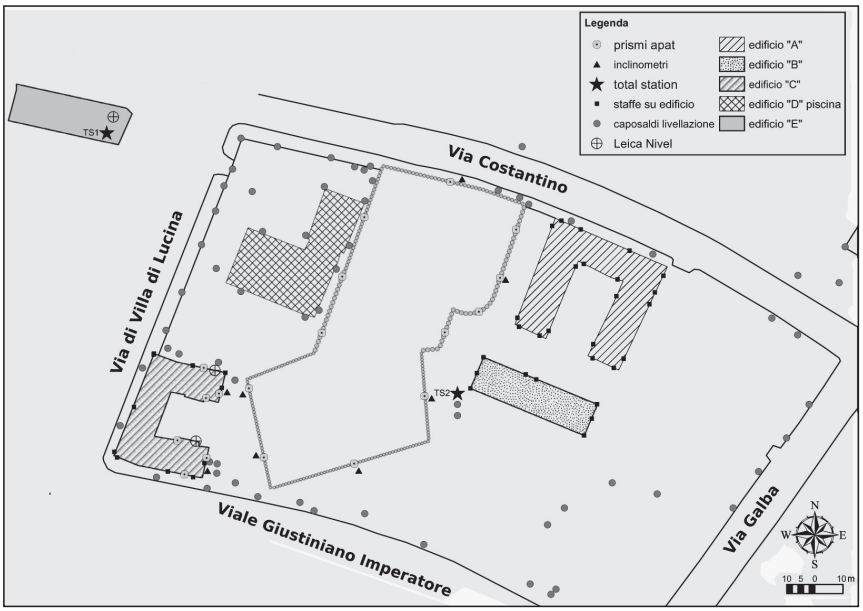
**Inquadramento geoambientale**

L'area in esame corrisponde indicativamente al settore centrale della valle del Fosso di Grotta Perfetta. L'antica "Marrana" occupava fino agli inizi del secolo XIX quello che oggi corrisponde grossolanamente al settore compreso tra la Cristoforo Colombo ad Ovest ed il Tevere -Valco San Paolo, con un decorso coincidente pressappoco con quello di Viale Giustiniano Imperatore. Oggi il corso d'acqua è incanalato a partire dal Piazzale del Caravaggio in un collettore primario che, correndo sotto il Viale di Giustiniano Imperatore, ricalca sostanzialmente l'andamento dell'antico alveo tributario fino al fiume Tevere. A cavallo degli anni '40 e '50 tutta la zona di Viale Giustiniano conosce un periodo di intensissima urbanizzazione non programmata, che ne modifica sostanzialmente l'assetto idrogeomorfologico: la depressione valliva occupata dai sedimenti alluvionali viene rapidamente e definitivamente colmata da alluvioni e soprattutto da riporti, inclusi materiali provenienti da demolizioni (Campolunghi et al., 2007), con progressivi apporti di materiale che arrivano fino a 5-6 metri di spessore. L'urbanizzazione conosce fin dall'inizio problemi di staticità dei fabbricati, sia per la inadeguatezza delle tecniche costruttive e fondali, quali pali flottanti o fondazioni dirette, sia per l'elevata deformabilità dei terreni alluvionali. Gli studi più recenti hanno messo in relazione il fenomeno di subsidenza dei terreni olocenici con il loro basso indice di plasticità, con la sensitività medio-elevata e con elevati valori di indice dei vuoti (e=2.4) che li caratterizza, evidenziando inoltre la grande influenza della componente organica nel loro comportamento geomeccanico (Funiciello et al., 2004; Campolunghi et al., 2007).

**Il monitoraggio del "sistema urbano"**

Il Sistema di monitoraggio di competenza di ISPRA è stato progettato ed è attualmente gestito dal Servizio Geofisica sulla base delle conoscenze sviluppate nel corso di precedenti esperienze (Bonci et al., 2003). Il sistema, realizzato in un'area urbana soggetta a fenomeni di dissesto in atto, si pone quale obiettivo la rilevazione dei movimenti plano-altimetrici indotti dalle attività in progresso sulle strutture di contenimento degli scavi per la realizzazione delle fondazioni e dei piani interrati dei nuovi edifici, sul suolo circostante l'area d'intervento nonché sugli edifici limitrofi all'area di cantiere. Il monitoraggio si è costantemente adeguato all'avanzamento dei lavori di costruzione, le cui fasi realizzative, una volta conseguite, hanno modificato la situazione logistica limitando parzialmente o impedendo totalmente l'operatività di alcuni segmenti del monitoraggio stesso. Il Sistema di monitoraggio plano-altimetrico risulta organizzato in tre segmenti:

Rete di livellazione di alta precisione: segmento finalizzato alla rilevazione dei movimenti verticali del suolo e degli edifici nell'area immediatamente circostante quella d'intervento. La livellazione viene eseguita con autolivello Leica wild Na3000 e stadie in nastro INVAR con codice a barre. I capisaldi sono stati collocati, in modo opportuno, sulle porzioni basali delle pareti dei fabbricati ed in pozzetti a terra: nella prima fase si è proceduto alla loro materializzazione predisponendo un cir-




| Sensori | n. |
|---|---|
| Capisaldi livellazione | 74 |
| Inclinometri | 8 |
| Assestimetri | 7 |
| Piezometri | 9 |
| Total Station | 2 |
| Prismi | 18 |
| Nivel | 3 |

*Figura 1 - planimetria dell'area coperta dalla rete di monitoraggio*

cuito di livellazione con inizio e fine sul caposaldo di riferimento installato su un edificio ubicato in area stabile, corrispondente ad un settore occupato da depositi vulcanici pleistocenici. Sugli edifici i CS sono stati installati a 3,5 m da terra per ragioni di sicurezza; per analoghi motivi nell'area della piscina comunale i CS sono stati inseriti nei pozzetti di raccolta delle acque piovane, in corrispondenza del cordolo di fondazione della struttura ed in appositi pozzetti in cls 30x30 cm, con coperchio carrabile o pedonabile. I movimenti verticali del suolo vengono inoltre rilevati eseguendo misure in corrispondenza dei pozzetti in cui l'Università Roma Tre ha installato piezometri e assestimetri. Le misure vengono eseguite con cadenza adeguata di volta in volta all'evoluzione dei lavori e degli eventi. L'impianto della rete di livellazione, composto di circa 65 CS è rappresentato in fig.1.

Rete di monitoraggio con Stazioni Totali Robotizzate: sono state impiegate due stazioni totali automatizzate (Leica TCA 1800 e 2003) con riconoscimento automatico del *target*. L'accuratezza attesa nelle misure di distanza è di 1 mm, per gli angoli è dell'ordine di 0,15 ÷ 0,3 mgon. La *Total Station* TS1 è installata sulla terrazza del fabbricato E (fig. 1) ed effettua misure in continuo grazie al software GeoMoS di Leica, installato sul computer ubicato nello stesso stabile e deputato alla gestione delle operazioni di misura, con acquisizione e trasmissione in remoto dei dati al Centro Raccolta ed Elaborazione Dati (CRED) del Servizio Geofisica. La stazione controlla i prismi riflettori collocati sulle strutture a fronte, monitorando nel tempo sia il comportamento della trave di coronamento della paratia di pali, sia i movimenti del fabbricato C prospiciente l'area del cantiere. La seconda Stazione Totale, TS2, esegue invece misure periodiche da un pilastro in c.a. realizzato

all'interno del cantiere sulle strutture non visibili dalla stazione TS1. La stabilità del punto di stazione nel cantiere viene verificata tramite un prisma installato sul pilastro in c.a. e letto dalla TS1. L'ubicazione delle due Total Station coniuga le esigenze di configurazione geometrica della rete con le difficoltà logistiche derivanti dall'intensa urbanizzazione e con quelle derivanti dalle condizioni geoambientali. In particolare la TS1 (fig. 2) è posta su un edificio situato ai margini del riempimento del paleoalveo del fosso di Grotta Perfetta e configurata in modo da effettuare, preliminarmente ad ogni sessione di misura, il controllo su una rete di punti, situati su edifici in posizione geologicamente stabile o supposta tale, posizionati secondo una geometria regolare di contorno alla zona oggetto di studio riassumibile in un semicerchio. Solo dopo aver accertato la collimabilità dei suddetti punti di controllo, la stazione effettua la normale sessione di lettura con passo di campionamento adeguato di volta in volta alle necessità del monitoraggio, fino ad una frequenza massima di un ciclo ogni ora.

*Figura 2 – Ubicazione TS1*

Rete di sensori inclinometrici per il controllo degli edifici.

Questo segmento è stato posto in essere in risposta alla specifica esigenza di determinare con estrema precisione le deformazioni di elementi strutturali di alcuni edifici dell'area, in un range di valori non risolvibili dagli altri sensori della rete. I sensori inclinometrici di precisione impiegati sono del tipo Leica Nivel 220i, biassiali, con elevata risoluzione strumentale (0.001 mrad; 0,6 cc) e accuratezza massima pari +/- 0.0047 mrad. Essi sono installati sul fabbricato "C" in corrispondenza di elementi strutturali portanti, alloggiati in una apposita custodia (fig.3). Uno dei sensori è stato installato inoltre sull'edificio in cui è presente la TS1, con l'obiettivo di controllare con elevata precisione i movimenti del fabbricato. Anche questi sensori sono stati inseriti nella rete di monitoraggio in telemisura, grazie alla possibilità di gestirli tramite il software GeoMoS, utilizzando radio-modem. I dati di inclinazione in milliradianti sono trasmessi via cavo seriale al PC o via radio-modem ogni 15 minuti insieme alla temperatura rilevata dal sensore e sono quindi inseriti in uno stesso database con quelli della Stazione TS1. Anche il controllo di questi sensori, così come per la stazione TS1, avviene da remoto dagli uffici del CRED.

*Figura 3 –Sensore Leica Nivel*

Al fine anche di verificare la rispondenza alle ipotesi progettuali del comportamento in profondità della paratia in corso d'opera durante le lavorazioni, sono state effettuate misure periodiche con cadenza quindicinale lungo 8 verticali inclinometriche ubicate come in fig.1. I tubi inclinometrici risultano attestati al substrato stabile, qui costituito dalle argille plioceniche rinvenibili al di sotto della sequenza alluvionale. Per le misure è stata utilizzata una sonda biassiale R.S.T. Instruments a lettura digitale con tecnologia "wireless", con una risoluzione delle misure di 0,005 mm per ogni passo di letture (500 mm) ed un campo di misura nominale di 38° (tarato a ±30°) con ripetibilità di ±0.003°.

**Considerazioni conclusive**

Il monitoraggio durante le fasi di avanzamento del cantiere ha fornito l'occasione per verificare le potenzialità di un sistema di monitoraggio plano-altimetrico nell'ambito di un importante intervento urbanistico in un area densamente urbanizzata, caratterizzata da un contesto geoambientale

complesso. Il sistema è stato quindi progettato per rilevare in maniera adeguata le deformazioni sulle opere di sostegno degli scavi e sul suolo circostante, ma anche le eventuali deformazioni degli edifici limitrofi, che in alcuni casi erano già interessati da fenomeni di deformazione.
L'entità delle deformazioni attese era di alcuni centimetri per le paratie, mentre per i fabbricati era necessario rilevare movimenti millimetrici. A tale scopo si è scelto di utilizzare, laddove possibile, strumentazione automatica installata in sito in grado di monitorare con elevata precisione ed in continuo i movimenti delle strutture, mentre le deformazioni del suolo sono state rilevate con campagne di misura periodiche. Inoltre si è prestata particolare attenzione nell'installazione delle strumentazioni e nella monumentazione dei punti di controllo al fine di ridurre il più possibile gli errori di misura (Erol et al. 2005). I dati finora acquisiti confermano la capacità e l'adeguatezza del sistema di monitoraggio messo in opera fin dalle prime fasi realizzative del delicato intervento urbanistico di sostituzione edilizia di registrare le deformazioni prodotte sulle opere di sostegno con elevata precisione, in particolare durante le fasi di scavo nei lati controllati in continuo. I cedimenti del terreno nell'area circostante il cantiere registrati sui capisaldi della rete di livellazione, hanno consentito di rilevare l'entità dei cedimenti naturali ancora in atto nell'area, con deformazioni progressivamente maggiori in direzione centripeta rispetto all'asse della paleo-valle (Viale Giustiniano Imperatore), come appare evidente dal grafico di figura 4, dove sono riportati i valori di abbassamento del suolo lungo il perimetro del cantiere.

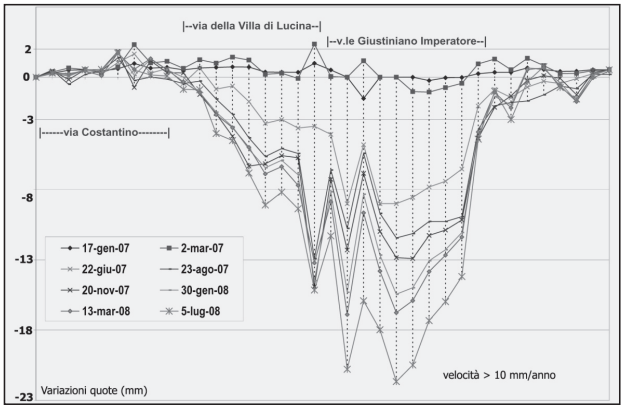



*Fig.4 – deformazioni al suolo lungo il circuito di livellazione*

Le misurazioni periodiche lungo le verticali inclinometriche in adiacenza ai lati della paratia hanno invece permesso di descrivere dettagliatamente le deformazioni della paratia. Il loro confronto con i movimenti registrati in continuo su prismi riflettori installati sulla trave di coronamento ha consentito di determinare gli spostamenti reali della testa della paratia. Infatti gli spostamenti rilevati sui prismi hanno mostrato solitamente un ottimo accordo con quelli derivati dalle letture inclinometriche integrate dal basso, con scostamenti di qualche unità percentuale (fig. 5). In altri casi i valori di deformazione registrati dalla Stazione Totale in continuo mostrano una evidente non stabilità del piede dell'inclinometro, fornendo nel contempo una posizione certa della testa dell'inclinometro e consentendo quindi l'integrazione delle misure dall'alto.

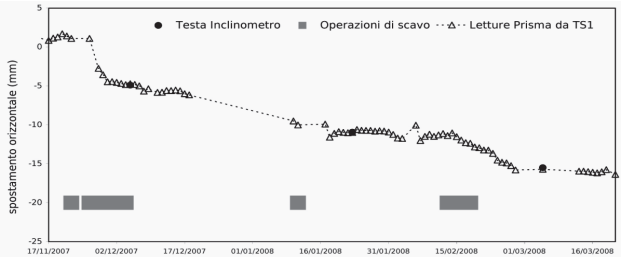



*Fig.5 – monitoraggio della deformazione di testa della paratia*

Il monitoraggio dell'edificio prossimo al cantiere è stato attuato utilizzando contemporaneamente più tecniche di misura: vi sono stati installati sensori inclinometrici biassiali ad elevata precisione in acquisizione continua e prismi riflettori controllati in continuo dalla TS1, mentre il controllo dei suoi movimenti verticali è stato effettuato con misure di livellazione di alta precisione. L'uso

combinato delle due tecniche di misura in continuo si sta rivelando fondamentale per seguire le deformazioni dell'edificio sia in occasione delle operazioni di scavo, sia negli altri periodi. I primi dati rilevati, infatti, indicano un buon accordo tra le misure (fig.6) ed evidenziano la presenza di deformazioni riconducibili al fenomeno di subsidenza tuttora in atto nell'area, in particolare in corrispondenza dell'asse della paleovalle, ma non permettono di evidenziare un'influenza delle attività di cantiere sul fabbricato. I movimenti verticali, rilevati con accuratezza dalle misure di livellazione di alta precisione mostrano il quindi il coinvolgimento dell'edificato nei processi di subsidenza geologica in atto, seppure in misura molto inferiore, con una maggiore velocità dei cedimenti sul lato di V.le Giustiniano Imperatore.

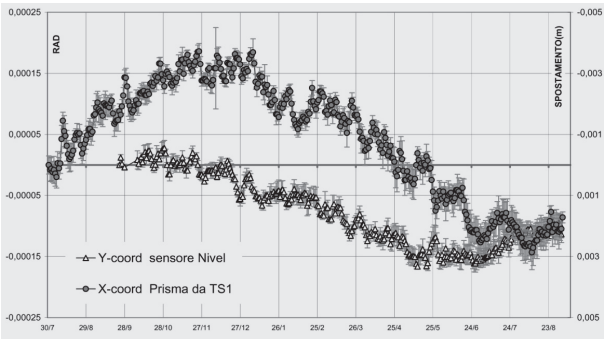



*Fig.6 – esempio di confronto tra i dati di differenti sensori*

La notevole complessità dei fenomeni di interazione tra i terreni soggetti a subsidenza e le strutture monitorate viene evidenziata, in alcuni casi, dalla loro non perfetta congruenza, l'analisi dei dati dovrà quindi essere approfondita al termine del monitoraggio per ottenere maggiori informazioni dalle serie storiche dei sensori in acquisizione continua e dalla loro correlazione.

**Bibliografia**

Bonci L., Calcaterra S., Cesi C., Gambino P., Gullà G. & Niceforo D. (2003), "Rischi geologici in aree urbane: due esempi di monitoraggio in emergenza con stazione totale". *Atti 7° Conferenza Nazionale ASITA*, *ottobre 2003, Verona*, 28-31

Campolunghi M.P., Capelli G., Funiciello R., Lanzini M. (2007), "Geotechnical studies for foundation settlement in holocenic alluvial deposits in the city of Rome (Italy)", *Engineering Geology,* 89: 9-35

Erol B., Erol S., Celik R.N. (2005) – "Monitoring and analysing structural movements with precise inclination sensors", *Geodetic deformation monitoring: from geophysical to engineering roles – IAG Symposium, Jaén, Spain March 17-19, 2005*, 116-124

Funiciello R., Testa O., Campolunghi M.P., Lanzini M. and Cecili A. (2004), "La struttura Geologica dell'area Romana e il Tevere", *Atti del Convegno "Ecosistema Roma", 14/16 Aprile 2004*, Accademia Nazionale dei Lincei

Simeoni L. (2006), "Effects of the instruments bias on the reliability of manual inclinometer measures", *Proc. of the XIII Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, 'Active Geotechnical Design in Infrastructure Development'*, *Ljubljana, May 29-31, 2006*

# RETI DI MONITORAGGIO INTEGRATO GPS-GEOTECNICO DELLE FRANE DI LAGO (CS) E COSTA LA GAVETA (PZ)

Stefano CALCATERRA, Claudio CESI, Piera GAMBINO

ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Via Curtatone, 3 Tel. (+39) 0650074370

**Riassunto**
I siti di Lago, nella provincia di Cosenza, e Costa La Gaveta a Potenza, sono oggetto di monitoraggio integrato permanente geodetico e geotecnico da parte del Servizio Geologico d'Italia in collaborazione con il CNR-IRPI di Cosenza, nel primo caso, e l'Università degli Studi Basilicata nel secondo.
Si tratta in ambo i casi di fenomenologie di frana che interessano versanti relativamente estesi, in parte urbanizzati e caratterizzati dalla presenza di infrastrutture viarie e/o ferroviarie e condizioni litologiche e idrogeologiche tutt'altro che concorrenti a determinare una stabilizzazione globale o locale. Di qui l'importanza di procedere alla completa realizzazione della rete di monitoraggio integrata permanente GPS e geotecnica. Tali reti si articolano in punti di misura periodici e permanenti sui corpi di frana e in punti esterni al dissesto tali da costituire i riferimenti per la misura degli spostamenti.
Nella presente nota sono presentati l'impianto delle reti di monitoraggio GPS-geotecnici in telemisura e i primi dati relativi alle misurazioni delle reti, completamente operative dal 2007, nel contesto del quadro conoscitivo acquisito in precedenza.

**Abstract**
Continuous integrated GPS-geotechnical networks has been installed in two different sites, Lago (CS) and Costa La Gaveta (PZ) by the Geological Survey of Italy in partnerships with the CNR-IRPI of Cosenza and the Basilicata University. Both cases represents landslide phenomena on wide urban slopes crossed by roads infrastructures e/o railway; lithological and hydrogeological complex conditions don't favour the slope stabilization.
The GPS monitoring is based on periodic benchmarks, permanent control stations inside the landslide area, and reference stations external to the instability. The study of environmental vulnerability and the related Civil Protection issues are the principal goals of the realization of a permanent GPS and geotechnical integrated networks.
In this paper we present the architecture of two networks, realized on the base of previously studies conducted as well as the first data filed since the July 2007 in remote control.

**Premessa**
A seguito dell'evento Sarno (maggio 1998), il quadro legislativo nazionale e regionale in materia di protezione dal rischio idrogeologico ha conosciuto una forte accelerazione. La Legge n.267/98, nel delineare le principali azioni da intraprendere a difesa del territorio, individuava nel potenziamento delle reti di monitoraggio idro-meteo-pluviometrico uno degli strumenti per conseguire le azioni di previsione e prevenzione. In questo ambito il Servizio Geologico d'Italia-Servizio Geofisica (confluito prima in APAT e attualmente in ISPRA) ha realizzato due reti di monitoraggio GPS-geotecnico rispettivamente in territorio calabro, nel comune di Lago (CS), e in Basilicata, alla periferia est di Potenza. La realizzazione è frutto di una collaborazione tra il Servizio Geofisica e il Dipartimento della Protezione Civile da un lato e le istituzioni a livello regionale con compiti delegati alla pianificazione e gestione del Territorio dall'altro (Regione Basilicata e Autorità di bacino regionale della Calabria). Il progetto si è avvalso anche del supporto scientifico dell'Università degli Studi della Basilicata e del CNR-IRPI di Cosenza.

L'esperienza maturata negli anni dal Servizio Geofisica nel monitoraggio geodetico su versanti in frana ha guidato la progettazione delle due reti GPS per il controllo degli spostamenti superficiali. In ciascuna frana è stata prevista sia l'installazione di stazioni GPS in acquisizione continua sia la monumentazione di capisaldi GPS per un controllo periodico; sono inoltre collocati sensori geotecnici in punti considerati significativi ed acquisiti i dati registrati da stazioni meteo.

**Descrizione delle reti geodetiche**

Le reti di monitoraggio GPS sui fenomeni di frana contemplano, per ciascun sito, l'installazione di almeno sei stazioni GPS in acquisizione continua e 10 vertici GPS a misura periodica, materializzati con capisaldi a centramento forzato, che permettano di completare il quadro conoscitivo della cinematica dell'area in studio. L'architettura delle reti prevede stazioni di riferimento (*Master*) ubicate su edifici situati in aree stabili e stazioni di controllo installate all'interno del corpo di frana. Le stazioni *Maste*r, dotate di antenna *choke ring* e ricevitori in grado di ricevere anche il segnale Glonass*,* sono inquadrate nel sistema ITRF2000 e la loro posizione è periodicamente controllata rispetto alle stazioni permanenti della rete EUREF. Le stazioni di controllo permanenti, dotate di strumentazione di tipo geodetico a doppia frequenza, sono state invece realizzate in prossimità delle verticali geotecniche con pilastrini in cemento armato oppure su edificio. Pannelli fotovoltaici collegati a una batteria tampone garantiscono a tutte le stazioni di controllo l'alimentazione autonoma. Tutte le procedure di gestione remota dei ricevitori, trasferimento dei *raw data*, controllo di qualità dei dati, creazione dei file in formato RINEX e archiviazione sono eseguite in automatico dal software di gestione, Spider di Leica, presente sia presso il Centro di Raccolta Elaborazione e Controllo (CRED) nella sede del Servizio Geofisica, sia presso il Centro Locale di Controllo ubicato nei locali del Comune di Lago. Tale software, infine, esegue automaticamente il processamento dei dati, determinando le soluzioni giornaliere di ciascun punto di controllo rispetto alla stazione *Master*, considerata fissa, e gli spostamenti relativi.
Tutte le stazioni registrano in continuo con un intervallo di campionamento di 30" e un angolo di cut-off di 15°.

La rete di Potenza

Il versante di Costa la Gaveta, situato in sinistra orografica del fiume Basento, alcuni chilometri a valle della città di Potenza, è interessato da due estesi corpi di frana principali e da vari corpi secondari. Si tratta di frane di tipo complesso ad evoluzione retrogressiva con origine per erosione al piede da parte del corso d'acqua più specificatamente scorrimenti rototraslativi che evolvono in colate di terra. I terreni coinvolti appartengono prevalentemente alla formazione delle Argille Varicolori (Cretaceo superiore-Oligocene inferiore) e gli spessori interessati dal movimento sono notevoli. Le informazioni raccolte dall'Università della Basilicata indicano, infatti, superfici di scorrimento a varie profondità, sino a 35 m dal piano campagna. Lungo gran parte di questo versante le deformazioni hanno causato negli anni notevoli danni a numerose abitazioni e coinvolto anche due importanti vie di comunicazione: la strada statale n. 407 "Basentana" e la linea ferroviaria FS Potenza-Metaponto in prossimità della galleria "Calabrese".
La rete di monitoraggio GPS è costituita da una stazione Master e 5 stazioni installate lungo il versante: 3 di esse all'interno del corpo di frana più orientale e 2 nel secondo, ubicate prevalentemente in modo da controllare i movimenti in prossimità delle due importanti vie di comunicazione (Figura 1). In aggiunta alle stazioni permanenti sono stati monumentati 10 vertici a centramento forzato, misurati annualmente con sessioni statiche della durata di alcune ore, con l'obiettivo di fornire informazioni su altre porzioni del versante, in particolare il settore compreso tra le due frane principali di cui non si conosce la cinematica, ma anche controllare gli spostamenti rilevati in corrispondenza delle verticali inclinometriche.
La rete GPS è affiancata, come previsto nel progetto, da una rete di monitoraggio dei parametri geotecnici, realizzata con il cofinanziamento della Regione Basilicata, progettata e gestita dall'Università degli Studi della Basilicata, Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia

Applicata all'Ingegneria. Questo segmento è costituito da 11 verticali inclinometriche, alcune attrezzate con sonde fisse, e piezometri (piezometri di casagrande e celle piezometriche).

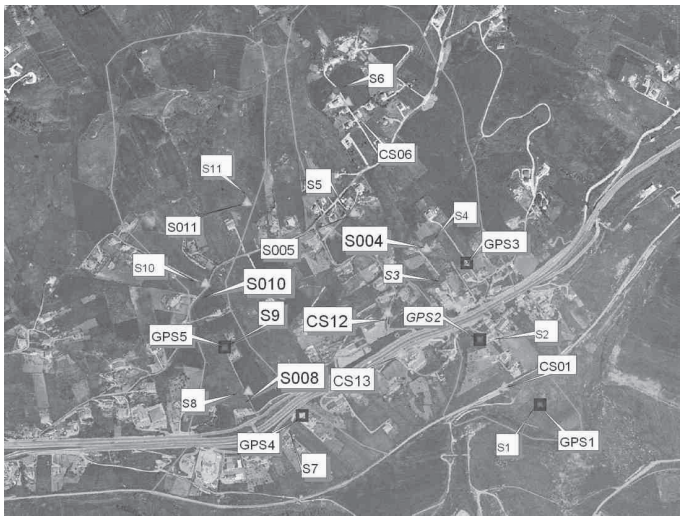



*Figura 1 – Rete di Costa La Gaveta: Sn verticali geotecniche; GPSn-stazioni GPS permanenti; CSn-punti GPS a controllo periodico; S0n-punti GPS a controllo periodico in corrispondenza di verticali inclinometriche*

La rete di Lago

La Frana di Lago si estende lungo un versante prospiciente l'abitato di Lago e coinvolge le frazioni di Greci e Piscopie. Questo versante, coinvolto nell'area a nord di Piscopie dalla storica frana Pizzotto, è monitorato dal 1996 dal Servizio Geofisica, con campagne di misura GPS periodiche. Una rete di monitoraggio profondo, progettata e gestita dal CNR-IRPI di Cosenza, costituita da 6 verticali inclinometriche e 7 piezometri (piezometri di Casagrande e celle piezometriche) completa il quadro di indagini. Tale versante, interessato da rocce metamorfiche di basso grado, intensamente fratturate, è affetto da numerose instabilità sia superficiali sia profonde e già in passato interessato da importanti movimenti di massa (Sorriso Valvo et al., 1999). Il movimento di massa principale è riconducibile a una deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV), tipo Sackung, che coinvolge gran parte del versante in prossimità della già citata frana Pizzotto, cui si sovrappongono diffuse fenomenologie più superficiali. I movimenti registrati dalle misure GPS su più di 20 vertici GPS a monitoraggio periodico (Gullà et al., 2007), unitamente a quelli profondi hanno evidenziano negli anni un complesso quadro di deformazione permettendo di discretizzare settori a differente cinematismo e di ubicare le stazioni GPS permanenti in siti considerati rappresentativi di aree a comportamento omogeneo. La rete periodica costituita oggi nel suo complesso da 4 punti di riferimento esterni all'area in frana e 18 punti di controllo, misurati tutti in modalità statica con sessioni di almeno 3 ore con 3 ripetizioni, hanno permesso di distinguere un cinematismo differenziato per le aree di Piscopie e Greci. In particolare, per il settore di Piscopie si distingue una porzione sud-occidentale in cui sono stati registrati spostamenti superiori a 6 mm/y e una porzione nord-orientale dove i movimenti non sono significativi. Diversamente per l'abitato di Greci dove la porzione settentrionale dell'abitato caratterizzata da spostamenti evidentemente maggiori, con velocità di spostamento pari a 5-10 cm/anno e direzione di movimento verso ESE. Nella zona geograficamente intermedia di Acquafredda si osservano movimenti verso E, con velocità di spostamento variabili tra 0,5 e 2,5 cm/anno. Le conoscenze geologiche e morfologiche dell'area, i risultati ottenuti negli anni riguardo al cinematismo in atto e non ultimi le problematiche legate al

*Figura 2 – Rete di Lago: monumentazione di una stazione GPS in continuo*

livello di urbanizzazione hanno guidato la scelta dei siti ad accogliere la monumentazione di stazioni GPS fisse (Figura 2).
La rete permanente di Lago è oggi costituita nel suo complesso da 6 stazioni di misura di cui una di riferimento, ubicata negli uffici comunali di Lago (stazione *Master*), e le altre

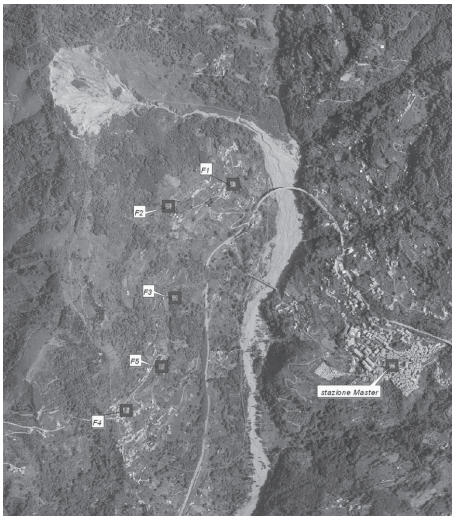



*Figura 3 – Rete di Lago: ubicazione delle stazioni GPS in continuo*

di controllo all'interno della porzione di territorio occupata dalla DGPV (Figura 3). Le stazioni F1 e F2 nell'abitato di Piscopie, la stazione F3 nell'area denominata di Acquafredda, F4 e F5 nell'abitato di Greci sono tutte monumentate con un pilastro in cemento armato. L'alloggiamento della strumentazione è stato predisposto in un pozzetto prefabbricato interrato con apertura a piano campagna. La stazione *Master*, alimentata dalla rete, è alloggiata all'interno dell'edificio comunale, dove si trova il Centro Locale di Controllo costituito da un computer del tipo industriale, il modem GSM e i radio modem in numero pari a quello delle stazioni di controllo, mentre la comunicazione con il CRED di Roma avviene tramite linea ADSL. Ciascuna stazione di controllo è strutturata in maniera tale da poter comunicare con la stazione *Master* con una duplice modalità ovvero radio modem e modem GSM, permettendo di gestire la modalità di acquisizione in tempo reale e al contempo di controllare e comunicare dal CRED di Roma con le singole postazioni. Nel periodo di prova, durante il quale il sistema è stato testato, tutte le stazioni sono state impostate con un'acquisizione in modalità di streaming continuo di un secondo. I dati così trasmessi al Centro Locale di Lago sono automaticamente elaborati con sessioni di durata variabile in funzione dell'area controllata e dei movimenti attesi nei vari periodi dell'anno (da 30 min a 24 ore) e i movimenti sono rappresentati su grafici da un apposito modulo. Contemporaneamente i grafici e i dati sono trasferiti al CRED di Roma. La necessità di gestire contemporaneamente più modalità di acquisizione nasce dalle caratteristiche stesse del cinematismo della frana di Lago, quindi l'esigenza di poter controllare in tempo reale o più propriamente quasi reale i punti caratterizzati da velocità medie dell'ordine di vari cm/y, ubicati in aree urbanizzate o interessate dalla presenza di infrastrutture.
I risultati disponibili mostrano per il settore di Piscopie un buon accordo nel modulo dello spostamento e nella direzione rispetto a quanto fornito dai risultati delle misure periodiche per i punti prossimi alle stazioni permanenti e acquisiti per un intervallo temporale di 10 anni. Ovvero, è stata evidenziata una porzione prossima alla frana Pizzotto dove i movimenti non sono significativi (F1) e una sud-occidentale in cui sono stati registrati spostamenti dell'ordine di qualche cm/y (F2) verso ESE. I dati profondi forniti dagli inclinometri posizionati indicano per Piscopie una superficie di rottura che raggiunge i 30m di profondità con una ulteriore fascia di deformazione intorno ai

35m. Spostamenti più consistenti si osservano nell'abitato di Greci, dove la velocità media è pari a 4 cm/y verso SE, ma con velocità praticamente nulla fino a gennaio del 2008. Anche per il settore di Greci i dati inclinometrici disponibili forniscono indicazione sulla presenza di una superficie di rottura alla profondità di circa 25 m con azimut a 120°.

**Discussione dei primi risultati**

Le stazioni di misura permanenti della rete di Lago hanno cominciato ad acquisire con una configurazione definitiva a partire da luglio 2007. Durante questo primo anno di misure, il sistema è stato tarato ottimizzando le modalità di acquisizione e di trasmissione del dato via radio dalle stazioni al Centro locale. Simulazioni matematiche svolte nell'ambito della progettazione di altre reti GPS permanenti hanno messo in evidenza che, per basi aventi lunghezza inferiore a 3 km, la precisione media dei vertici si mantiene a valori dell'ordine di 1÷2 centimetri anche per sessioni brevi della durata di 30min (Figura. 4) (Bonci et al., 2004). Sulla base di questi risultati, inizialmente, le modalità di acquisizione sono state impostate per tutte le stazioni in continuo con *streaming* dei dati ogni secondo e sessioni a 30 min. Questo ha fornito un quadro dettagliato dell'andamento dei movimenti, confermando le conoscenze desunte dall'ampio numero di risultati offerti da 10 anni di campagne di misura. Successivamente, a partire da marzo 2008, solo le stazioni con spostamento non superiore a 1÷2 cm/y sono state impostate con passo di campionamento a 30s e sessioni a 24 ore (punti F1, F2 e F4) mentre le altre, che presentano spostamenti superiori alle precedenti ma comunque di entità contenuta, hanno continuato ad acquisire con sessioni di 30min. Se da un lato l'elaborazione con sessioni brevi permette di seguire l'evoluzione del processo in condizioni di emergenza e acquisire i parametri necessari per la definizione di un modello cinematico dall'altro, in condizioni non di allarme, sessioni di 24 ore forniscono con buona precisione il trend generale. Quindi la sperimentazione del primo periodo fornisce indicazioni utili sulle modalità di configurazione idonee al controllo dei movimenti in condizioni di emergenza qualora ce ne fosse la necessità.

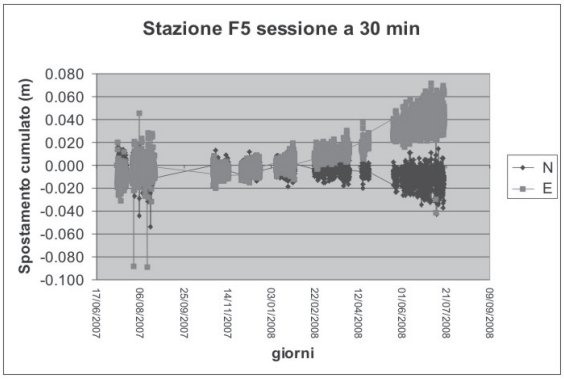



*Figura 4 – Rete di Lago: spostamenti cumulati delle componenti N e E per la stazione F5*

Per quanto riguarda la Rete di Potenza le misure sono iniziate nel 2005 sulle verticali geotecniche, mentre le prime misure GPS sui vertici occupati periodicamente sono state eseguite nel luglio 2006, contemporaneamente all'installazione delle sonde inclinometriche fisse in due verticali, una in ciascuna frana. La Rete GPS infine è stata completata nel 2007 con l'avvio delle misure in continuo. Malgrado il periodo ancora breve di monitoraggio in continuo, i primi dati permettono già di valutare i movimenti dei due corpi di frana nei vari settori e mostrano un buon accordo tra i sistemi di misura. Le misure inclinometriche individuano bene le superfici di scorrimento, in alcuni fori fino a circa 35 metri di profondità, e le direzioni di spostamento, mentre le sonde fisse consentono di seguire con dettaglio le deformazioni profonde.

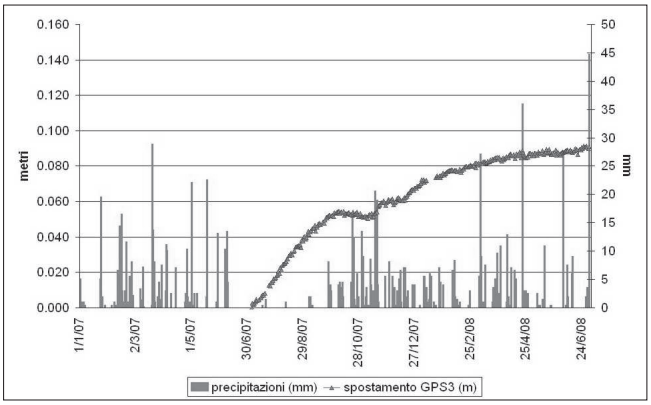



*Figura 5 – Rete di Potenza: spostamenti planimetrici cumulati della stazione GPS5 e precipitazioni giornaliere*

Le misure sui vertici della rete GPS a misura periodica sono eseguite occupando ogni punto tre volte con sessioni di alcune ore ed i dati sono elaborati utilizzando il software Bernese. I valori degli sqm delle coordinate, compensate utilizzando NetGPS (Crespi, 1996) sono inferiori a 2 mm in planimetria e pari circa un centimetro in quota. L'analisi delle serie temporali delle stazioni in acquisizione continua, anche se ancora limitate al primo anno, ha consentito di distinguere chiaramente, e con precisione millimetrica, i periodi in cui le velocità di spostamento sono maggiori e la loro correlazione con le precipitazioni (Figura 5). Il primo periodo di funzionamento delle due reti ha fornito utili informazioni riguardo alle modalità di progettazione di reti di controllo in tempo quasi reale, in particolare per quanto riguarda la monumentazione e la trasmissione dei dati. Inoltre è stato verificato che, nel caso di sistemi di controllo in continuo su versanti in frana caratterizzati da movimenti di alcuni centimetri l'anno, l'utilizzo di software in grado di semplificare le operazioni di gestione, trasferimento e processamento automatico dei dati permette di controllare, con buona precisione ed in tempo quasi reale, i movimenti di un versante per rispondere ad esigenze di protezione civile.

**Ringraziamenti** Si ringraziano per il supporto tecnico alla realizzazione e alla gestione delle reti periodiche: D.ssa V. Eulilli, Sig. D. Matarazzo, Ing. K. Merli, P.I. C. Pulsinelli, Sig. C. Reali, P.M. F. Vullo. Si ringraziano, inoltre, il Dott. M. Sorriso Valvo e l'Ing. G. Gullà, del CNR IRPI di Cosenza, e la Prof. C. Di Maio, dell'Università della Basilicata, per il contributo fornito nella realizzazione e gestione delle stazioni permanenti e per la disponibilità dei dati del monitoraggio geotecnico.

**Bibliografia**

Bonci L., Calcaterra S., Cametti A., Crespi M., De Vendictis L., Gambino P., Luzietti L., Merli K. (2004), "Definizione di un protocollo operativo per il monitoraggio degli spostamenti superficiali", *Boll. Soc It. di Fotogrammetria e Topografia*, 3: 145-155

Crespi M., (1996): "A software package for the adjustment and the analysis of GPS control networks". *In Reports on Surveying and Geodesy. Ed.Unguendoli M., University of Bologna, edizioni Nautilus*: 237-264

Gullà G., Sorriso Valvo M, Bonci L., Cesi C., Calcaterra S., Eulilli V., Gambino P., Niceforo D., Reali C., Vullo F. (2007), "Displacements on a slope affected by deep-seated gravitational slope deformation: Lago, Calabria, Italy", *Geoitalia 2007, Sesto Forum Italiano di Scienze della Terra, Rimini 12-14 settembre 2007, Epitome*, 2

Sorriso-Valvo M., Gullà G., Antronico L., Tansi C., Amelio M. (1999) – "Mass movement, geologic structure and morphologic evolution of the Pizzotto-Greci slope (Calabria, Italy)". *Geomorphology,* 30: 147-163

# RAFFITTIMENTO DELLA RETE IGM95 CON L'USO DI STAZIONI PERMANENTI GNSS: IL CASO DELLA PROVINCIA DI TRAPANI

Michele CALDARERA, Gino DARDANELLI, Benedetto VILLA

Dipartimento di Rappresentazione, Università di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo
tel. 0917028731 - e-mail: mikicalda@libero.it gino.dardanelli@unipa.it, bevilla@unipa.it

**Riassunto**
La sperimentazione descritta in questo lavoro riguarda la prima parte di un progetto di ricerca, tuttora in corso, che vede coinvolti l'Istituto Geografico Militare e il Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo (DIRAP), avente come tema il raffittimento della rete IGM95 in Sicilia con l'impiego delle Reti di Stazioni Permanenti GNNS.
In particolare, sono illustrati i primi risultati di uno studio relativo alla progettazione della rete di raffittimento nella provincia di Trapani e alle prime verifiche sperimentali per valutare il grado di precisione ottenuto con rilievi statici e NTRK effettuati con l'impiego di alcuni punti di coordinate note.

**Abstract**
The experimentation described in this paper concerns the first part of a research work, still in course, which involves IGM and DIRAP of Palermo University, about the thickening of the Sicilian IGM95 network with the use of GNNS Permanent Stations.
Particularly, the first results of a testing related to a network set up in the province of Trapani are shown, evaluating the level of accuracy achieved by the use of static and NTRK surveys carried out on some points of known coordinates.

**Introduzione**
Fra l'Istituto Geografico Militare e il Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo sono state attivate lo scorso anno due Convenzioni finalizzate alla realizzazione di un progetto "per la definizione di modelli di derivazione di cartografia a piccola scala da CTR regionali", la prima, e "per l'omogeneizzazione di reti GPS attraverso l'utilizzo delle stazioni permanenti GNNS", la seconda.
In particolare, quest'ultima prevede la realizzazione di un progetto preliminare di raffittimento dei vertici delle reti istituite sul territorio siciliano fino ad interdistanze di 6 - 7 km.
Dopo la realizzazione del progetto IGM95 (Surace, 1997) sono stati realizzati su tutto il territorio nazionale vari progetti di raffittimento, con l'integrazione di vertici regionali, provinciali, comunali, catastali e altri vertici istituiti da altri enti pubblici e privati (Barbarella et alii, 2001, Bezoari et alii, 2002, Cima et alii, 2007).
In Sicilia, in particolare questi vertici fanno parte di una rete realizzata ex novo dall'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente, nel periodo tra il 2001 e il 2004, con interdistanze non superiori a 10 km (mediamente 1 punto ogni 50 $km^2$); tale rete, appaltata secondo otto distinti lotti, è costituita da 543 vertici e costituisce nel complesso una struttura autonoma, intrinsecamente determinata da un numero sovrabbondante di misure.
Le operazioni di raffittimento, in generale, sono state effettuate secondo le specifiche tecniche predisposte nel luglio del 2001 dal Gruppo di lavoro Reti plano-altimetriche, specifico organo tecnico consultivo del Comitato Tecnico di Coordinamento dell'Intesa Stato, Regioni, Enti Locali sui Sistemi Informativi Geografici (Barbarella et alii, 2001).

C'è da osservare, inoltre, che nella Rete IGM95 della Sicilia sono stati inseriti recentemente ulteriori vertici, soprattutto nelle isole minori (Eolie, Egadi, Pelagie), portando il numero complessivo a 141.

**Progettazione della rete di raffittimento**

Sulla base di queste considerazioni, è stato elaborato un progetto di una unica rete omogenea, costituita da tutti i vertici ubicati all'interno della provincia di Trapani, in maniera da assicurare una totale copertura del territorio. Per l'inquadramento della rete si è pensato di utilizzare la rete di stazioni permanenti istituita dal DIRAP nell'ambito del progetto di ricerca PRIN2005 dal titolo "Reti di Stazioni Permanenti per il rilievo in tempo reale per impieghi di controllo e emergenza" (coordinatore nazionale: Prof. M. Barbarella, responsabile locale: Prof. V. Franco).

Il metodo proposto è innovativo rispetto alle tradizionali tecniche utilizzate per il raffittimento di reti GPS, previste dall'Intesa Stato-Regioni, e sembra particolarmente vantaggioso dal punto di vista operativo.

La rete di stazioni permanenti realizzata dal DIRAP è costituita da otto stazioni *GNSS* ubicate nella Sicilia occidentale, nelle province di Palermo, Agrigento, Caltanissetta e Trapani (Figura 1). La rete è inquadrata nel sistema di riferimento geodetico IGS05 e fornisce, in forma sperimentale, dati per servizi di posizionamento sia in post elaborazione che in tempo reale (Dardanelli et alii, 2008). Tre di queste stazioni (Palermo, Termini Imerese e Campobello di Mazara) sono state inserite nella Rete Dinamica Nazionale istituita dall'IGM per la definizione del nuovo datum geodetico italiano.

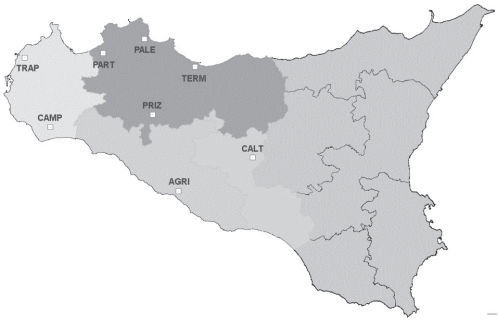



*Figura 1 – Schema della rete di Stazioni permanenti del DIRAP*

La sperimentazione prevedeva le seguenti fasi operative:

- Ricognizione dei vertici disponibili;
- sopralluogo di verifica;
- redazione delle monografie;
- rilievo GPS in modalità statica;
- rilievo GPS in modalità NRTK;
- post processamento dei dati;
- valutazione dei risultati.

In totale sono stati individuati 63 vertici disposti in maniera sufficientemente omogenea su tutto il territorio della provincia di Trapani, di cui 13 appartenenti alla rete IGM95, 41 alle reti della CTR, 5 dell'ANAS e 4 di nuova istituzione (Figura 2). Questi ultimi sono stati inseriti in quelle zone prive della necessaria copertura; la loro materializzazione è stata effettuata con chiodi topografici collocati mediante creazioni di foro, riempimento con cemento liquido a presa rapida e collocazione del chiodo.

Tenendo conto della superficie complessiva della provincia (circa 2500 $km^2$), è risultata una media di un vertice ogni 38 $km^2$.

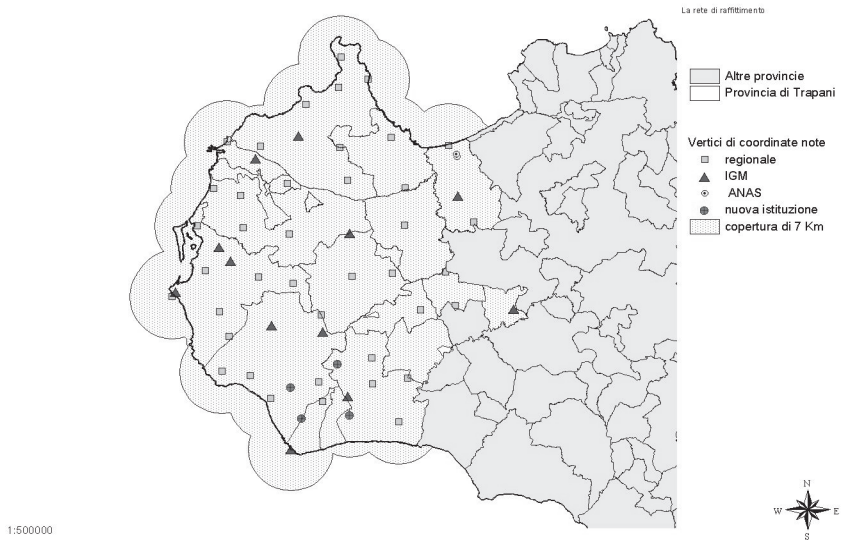



*Figura 2 - Vertici della rete della Provincia di Trapani*

Dei 63 vertici esistenti, lo studio si è incentrato su 16 vertici, ubicati nei territori comunali di Castelvetrano, Campobello di Mazara, Mazara del Vallo e Petrosino (Figura 3).
Sulla base delle monografie acquisite si è studiato un percorso per ottimizzare i tempi di spostamento e verificando preliminarmente la presenza delle seguenti condizioni:

- materializzazione del vertice;
- accessibilità del vertice;
- disponibilità della documentazione fotografica;
- adeguata copertura satellitare (utilizzando un ricevitore palmare);
- copertura del servizio GSM.

Questa ultima condizione è stata verificata effettuando delle chiamate, non limitandosi alla semplice visione dell'indicatore strumentale degli apparecchi.
Per la redazione delle monografie si sono seguite le prescrizioni indicata nelle specifiche dell'Intesa IGM; più precisamente sono stati riportati i seguenti dati:

- nome e numero del vertice;
- schizzo della zona circostante con le misure di distanza fra il vertice ed i particolari limitrofi rilevanti e facilmente individuabili;
- descrizione dell'accesso, del sito e della materializzazione;
- coordinate geografiche nel sistema *WGS84 (ETRF89)* e *ROMA40*;
- coordinate piane *UTM-WGS84* e *GAUSS-BOAGA*;
- spazio per l'inserimento di eventuali coppie di coordinate geografiche e relative coordinate piane;
- quote ellissoidica e ortometrica;
- ortofoto della zona e individuazione del vertice con "frecciatura" indicante la posizione del punto;
- fotografia della materializzazione sullo sfondo di particolari circostanti di facile individuazione;
- eventuale grafico degli ostacoli alla ricezione satellitare;
- eventuali difficoltà riscontrate (accesso, disturbi, intereferenze elettromagnetiche).

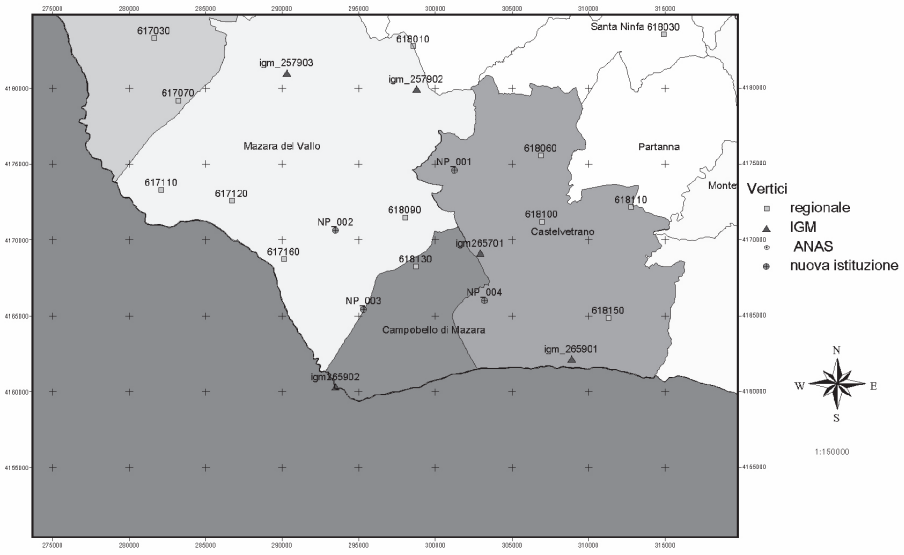



*Figura 3 – Zona oggetto di studio*

Tutte le informazioni monografiche sono state digitalizzate e l'intera monografia è stata memorizzata in file in formato word e pdf, leggibili dai software *Office* e *Acrobat.*

**Operazioni di rilievo e analisi dei risultati**

Il rilievo dei 16 vertici presi in considerazione è stato effettuato in modalità statica con tempi di stazionamento minimo di 60 minuti, senza considerare a priori la qualità della configurazione geometrica dei satelliti. Sono stati utilizzati ricevitori Topcon GB-500, muniti di antenna a doppia frequenza PG-A1, in dotazione presso il DIRAP (Figura 4).

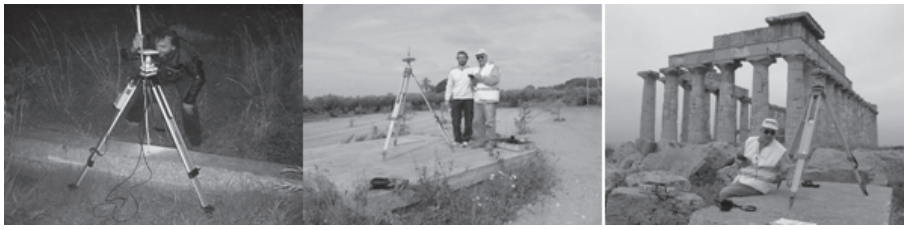


*Figura 4 – Fasi del rilievo statico*

Il rilievo in *NRTK* è stato eseguito in giornate differenti da quelle del rilievo statico, in maniera da potere ottenere risultati indipendenti, impiegando ricevitori GNSS Topcon HiPer Pro a doppia frequenza, equipaggiati con controller FC-100 e FC-200 e cellulari Nokia N70 e Nokia 6630 per l'accesso ad internet. Complessivamente, sono state eseguite 32 sessioni di misura NRTK, cioè due sessioni indipendenti per punto, in modo da garantire una prova in modalità *FKP* e una in modalità *VRS*.Come per altre esperienze condotte con rilievi in modalità *NRTK* (Dardanelli et alii, 2008), si è utilizzato, come riferimento scientifico, il protocollo sperimentale messo a punto

nell'ambito del progetto di ricerca PRIN2004 "*I servizi di posizionamento satellitare per l'e-government*" (coordinatore nazionale: Prof. F. Sansò).
Per l'elaborazione dei dati rilevati con il rilievo statico si è utilizzato il software commerciale *Topcon Pinnacle* versione 2007, dopo avere scaricato i dati dal server del centro di calcolo della rete di stazioni permanenti del DIRAP (ftp:\\147.163.115.62). In particolare, sono stati presi in esame i files orari giornalieri delle stazioni permanenti di Campobello di Mazara e Trapani, considerando le *baseline* dalle due stazioni permanenti più vicine.
La compensazione è stata effettuata a minimi vincoli, attribuendo le coordinate nel sistema *IGS05* delle stazioni permanenti e ricavando da queste le coordinate dei punti della rete test: queste sono state assunte come "vere" e adottate come termine di confronto per le misure effettuate in tempo reale (Barbarella et alii, 2007, Fastellini et alii, 2007).
Si sono determinati quindi gli scarti confrontando le coordinate rilevate in modalità statica rispetto a quelle determinate in modalità NRTK, separatamene per le due modalità VRS e FKP. Nella tabella 1 vengono riepilogati i valori ottenuti nei tre rilievi.

| | VRS | | | FKP | | | Statico | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Est (m) | Nord (m) | Quota (m) | Est (m) | Nord (m) | Quota (m) | Est (m) | Nord (m) | Quota (m) |
| min | -0.079 | -0.020 | -0.042 | -0.072 | -0.002 | -0.197 | 0.002 | 0.001 | 0.004 |
| max | 0.028 | 0.048 | 0.089 | 0.129 | 0.061 | 0.037 | 0.039 | 0.026 | 0.064 |
| media | -0.017 | 0.005 | 0.023 | 0.013 | 0.024 | -0.074 | 0.011 | 0.009 | 0.023 |
| sqm | 0.041 | 0.026 | 0.052 | 0.074 | 0.025 | 0.111 | 0.010 | 0.007 | 0.017 |

*Tabella 1 - Parametri statistici per le modalità VRS, FKP e statico*

Per potere valutare l'accuratezza degli stessi rilievi nelle differenti modalità (VRS, FKP, statico) si sono confrontati i risultati ottenuti al termine dell'elaborazione (Tabella 1) con le prescrizioni della Intesa Stato Regione per la calcolo delle coordinate WGS84 dei vertici delle rete di raffittimento, facendo riferimento ai valori limite nelle determinazioni planimetriche ed altimetriche, pari rispettivamente a 5 cm e 8 cm.
Come si può osservare, operando in modalità statica si ottiene un livello di incertezza, espresso in termini di s.q.m., sensibilmente inferiore rispetto alle prescrizioni dell'Intesa, con valori di ±1.0 cm e ±0.7 cm, rispettivamente per le coordinate Est e Nord, e ±1.7 cm, per la quota; risultati ancora positivi si ottengono con la modalità VRS, con s.q.m. delle differenze tra le coordinate pari a ±4.1 cm e ±2.6 cm, rispettivamente per la Est e la Nord e ±5.2 cm, per la quota; con la modalità FKP invece i valori lungo la coordinata Nord sono ancora buoni (±2.5 cm), mentre la Est (±7.4 cm) e la quota(±11.1 cm) presentano valori leggermente superiori a quelli limite.

**Conclusioni**
I risultati ottenuti con l'elaborazione in post-processamento sono da considerarsi assai positivi, con scarti notevolmente inferiori ai valori delle tolleranze fissate nelle specifiche tecniche dell'Intesa. Incoraggianti sono anche i risultati riscontrati nei rilievi in modalità NRTK, e, in particolare, in quelli effettuati con modalità VRS.
C'è da osservare che il test è stato effettuato utilizzando vertici ubicati geograficamente a sud della provincia di Trapani; sarebbe pertanto opportuno estendere il controllo a punti situati anche in altre aree geografiche, in maniera da poter valutare l'affidabilità del servizio erogato dalla infrastruttura di trasmissione per l'intera area coperta dalla rete.
Va considerato inoltre che i vertici sottoposti a verifica sono in numero assai limitato; per consentire una valutazione complessiva più significativa del servizio di posizionamento, occorrerebbe estendere la sperimentazione ad un numero più rilevante di punti.
Peraltro le ricognizioni effettuate hanno evidenziato sul territorio siciliano la presenza di numerosi vertici utili a tale scopo, appartenenti a differenti tipologie di reti, con caratteristiche di ubicazione

e materializzazione in linea con le specifiche tecniche dell'Intesa. Occorrerebbe però istituire un servizio di ricognizione periodico di tali vertici al fine di monitorarne lo stato di manutenzione.

**Bibliografia**

Dardanelli G., Franco V., Lo Brutto M. (2008), "Sperimentazione di servizi di posizionamento in tempo reale nella rete GNSS dell'Università di Palermo", In: *Atti del Convegno SIFET 2008*, Sorrento, Italia, pag. 71-77

Dardanelli G., Franco V., Lo Brutto M. (2008), "La rete GNSS per il posizionamento in tempo reale dell'Università di Palermo: progetto, realizzazione e primi risultati", in corso di pubblicazione su *Bollettino SIFET (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia)* n. 3 del 2008.

Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A. (2007). **"**Test di accuratezza e ripetibilità di lunga durata su posizionamenti Nrtk e Networkdgps", In: *Atti 11ª Conferenza Nazionale ASITA*, Torino, Italia.

Cima V. et alii, (2007), "Rete geodetica della regione Toscana - raffittimento a 7 km della rete fondamentale IGM95", In: *Atti del Convegno SIFET 2007*, Arezzo, Italia, pag. 250-255

Bezoari G. et alii, (2002), "Il raffittimento della rete IGM95 in territorio Lombardo, In: *Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA,* Perugia, Italia.

Barbarella M., Gavaruzzi R. (2001), "La rete di raffittimento primario di Reggio Emilia", In: *Atti della 5° Conferenza Nazionale ASITA,* Rimini, Italia.

2001. SPECIFICHE TECNICHE RAFFITTIMENTO DELLA RETE FONDAMENTALE IGM95 *Intesa Stato, Regioni, Enti Locali 26/9/96 sui Sistemi Informativi Geografici Gruppo di lavoro Reti plano-altimetriche*

Surace L. (1997), " La nuova rete geodetica nazionale IGM95: risultati e prospettive di utilizzazione", In: *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini – Edizione n. 3/1997*.

# TRASFORMAZIONI PLANIMETRICHE DI COORDINATE IN AMBITO CATASTALE: IL CASO DELLA PROVINCIA DI AREZZO

Fabio CAMICIOTTOLI (*), Luciano SURACE (**)

(*) Provincia di Arezzo, Servizio Difesa del Suolo, Via Arrigo Testa, 2, Arezzo, fcamiciottoli@provincia.arezzo.it
(**) Istituto Idrografico della Marina, Passo dell'Osservatorio, Genova, luciano.surace@libero.it

**Riassunto**

*Scopo del presente lavoro è la valutazione, attraverso un caso di studio locale, dell'entità e della distribuzione geografica degli scarti riscontrabili nella trasformazione di datum tra sistema catastale (Bessel Genova) e Roma40 effettuata con il software CartLab 1.2. Lo studio si è basato sull'acquisizione e sull'analisi dei dati riportati nelle monografie catastali originali dei circa 1400 trigonometrici che materializzano la rete geodetica del sistema catastale in Provincia di Arezzo. I risultati, sulla base del confronto tra le coordinate trasformate con Cartlab 1.2 e i valori riportati nelle monografie, mostrano, oltre alla notevole precisione del software utilizzato per la conversione, una distribuzione non sempre omogenea degli scarti. Infine sono stati analizzati i dati ottenuti con i valori ripresi dalle monografie IGM i cui risultati ci suggeriscono la possibilità di realizzare in futuro un "grigliato" locale di trasformazione per migliorare l'integrazione tra le banche dati geografiche di origine catastale e quelle derivate dalle Carte tecniche regionali.*

**Abstract**

*Purpose of this study is to evaluate the size and the geographical distribution of differences in datum transformation between Italian cadastral system (Bessel Genoa) and Rome1940, using with CartLab 1.2 software. The study is based on acquisition and processing of data sheets of the 1400 triangulation points existing in the Arezzo province. The results, through the comparison between the coordinates calculated by Cartlab with 1.2 and values reported in geodetic data sheets show: i the good accuracy of Cartlab software, the irregular distribution of coordinate gaps and above all suggest the possibility of building a grid of parametres to do more accurate coordinate transformations.*

## Introduzione

Con l'avvento dei sistemi informativi e l'uso sempre più intenso delle banche dati geografiche è nata l'esigenza di correlare ed integrare dati ed informazioni da più fonti sia da un punto di vista diacronico che di caratteristiche. Nell'ottica di integrazioni di banche dati il Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Arezzo, ha intrapreso la realizzazione di un DB geografico dei sistemi arginali dei corsi d'acqua le cui geometrie di tipo poligonale sono estratte dalle cartografie catastali.
La necessità di individuare tali opere idrauliche (arginature) è dettata dall'esigenza di censire le opere e di individuare le fasce di rispetto adiacenti ai tratti di aste fluviali rispetto alle leggi di riferimento in materia[1], che dipendono non solo dalle sponde dei corsi d'acqua ma anche dalle arginature presenti. Un primo motivo che ha indotto il Servizio provinciale a recuperare gli elementi geometrici dalle banche dati catastali è legato principalmente al concetto che le Basi Catastali derivano da un dato rilevato a differenza delle Carte Tecniche Regionali che sono di tipo

[1] Le disposizioni ancora in vigore sono R.D. 523 del 25/07/1904 "*Testo Unico sulle Acque Pubbliche*", R.D. 368 del 1904 "*Testo Unico sulle Opere di Bonifica*" e per quanto riguarda la Toscana Decreto del Consiglio Regionale Toscano n° 230 del 1994

interpretato perché ottenute da processi basati su tecniche fotogrammetriche[2]. Secondariamente è stato riscontrato che in molti casi le fonti cartografiche catastali sono le uniche dalle quali è possibile definire ed acquisire le arginature (*longitudinali e trasversali ai corsi d'acqua*) perché con l'avvento dell'agricoltura meccanizzata molte opere idrauliche sono state rimosse anche completamente e quindi attualmente non visibili. La realizzazione di tale processo ha posto l'esigenza di trasformare i dati geometrici del Catasto dal sistema Cassini-Soldner a quello Gauss-Boaga. Attraverso questo lavoro si è voluto effettuare una "taratura del modello" di trasformazione del sistema di riferimento prodotto dal software CartLab 1.2.2[3] al fine di valutarne la qualità ed arrivare a realizzare un modello di trasformazione più efficace.

**Dati**

Il sistema di rappresentazione Cassini-Soldner sta alla base della formazione del NCT[4]. Il sistema si basa su di una proiezione congruente di Cassini-Soldner (di tipo "afilattico" che deforma nella fase di proiezione distanze, angoli e superfici entro ristretti limiti con differenti porzioni di territorio che si sviluppano entro una distanza max di ±70 km per garantire l'ottenimento di deformazioni accettabili. Il sistema Cassini-Soldner è riferito in massima parte all'ellissoide di Bessel orientato a Genova per l'Italia centro-settentrionale e a Castanea delle Furie per l'Italia meridionale. In Italia sono presenti circa 850 origini delle quali 31 sono di "grandi sistemi" che comprendono territori anche di più Province. Il centro di emanazione della Torre del Mangia di Siena rappresenta uno di questi grandi sistemi in quanto è il centro di sviluppo di quasi tutto il territorio toscano. La redazione delle mappe d'impianto del catasto realizzate dopo il 1955, in particolar modo per le Province Lombarde, sono state riferite al sistema di riferimento nazionale con la proiezione conforme di Gauss-Boaga rispetto all'ellissoide internazionale.

La triangolazione catastale fu appoggiata ai vertici trigonometrici di I, II, III ordine della rete di triangolazione nazionale dell'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) derivata dal calcolo della prima compensazione della rete (1908-1919). Tale rete materializzava il Sistema di Riferimento per la produzione della cartografia IGM fino agli anni 40. In realtà nell'Italia meridionale le coordinate dei tali vertici sono riferite ai sistemi geodetici precedenti la compensazione della rete (1908-1919)[5] e questo è confermato dal fatto che nell'Italia meridionale l'ellissoide di Bessel è orientato su Castanea delle Furie.

Il catasto non utilizzò per la definizione del suo sistema i vertici di IV ordine dell'IGM[6] perché ritenuti di precisione non sufficiente per le esigenze del Catasto, tuttavia i vertici dei trigonometrici di IV ordine dell'IGM furono sempre adottati anche come sede di trigonometrici catastali sebbene completamente rideterminati (nelle monografie del Catasto ad eccezione di alcuni sono identificati come Rete e Sottorete).

I dati che stanno alla base delle analisi effettuate nel presente lavoro sono derivanti dalle Monografie dei punti Trigonometrici che materializzano nel territorio provinciale il sistema di riferimento Cassini-Soldner[7] e il sistema di riferimento nazionale Roma40 (Gauss-Boaga). Le monografie sono state recuperate rispettivamente presso l'ufficio provinciale del Catasto di Arezzo e l'Istituto Geografico Militare di Firenze.

[2] I segni convenzionali che descrivono le arginature peggiorano ulteriormente la loro definizione e descrizione.

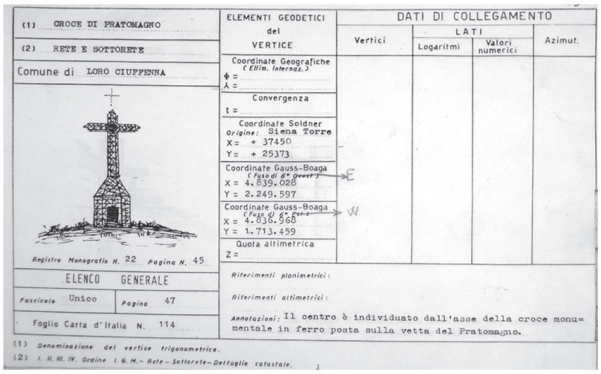
[3] CartLab 1.2.2 è un software gratuito di trasformazione di coordinate fra sistemi geodetici di riferimento attualmente più usati in Italia.

[4] Il Nuovo Catasto Terreni di tipo geometrico particellare ha preso avvio con legge 3682 del 1 marzo 1886 con l'intento di uniformare i 25 catasti che si erano venuti a formare con l'unificazione d'Italia. La formazione NCT fu ultimata nel 1956 con l'inventariazione di tutti i suoli e fabbricati e la pubblicazione di mappe per la rappresentazione cartografica.

[5] Con la compensazione eseguita dall'IGM conclusa nel 1919 con la pubblicazione "Compensazione della geodetica a Sud del parallelo di Roma" si realizzo in Italia il primo unico sistema geodetico nazionale che si basava su l'ellissoide di Bessel orientato sul pilastrino dell'osservatorio dell'Istituto Idrografico della Marina di Genova.

[6] L'I.G.M. ha adottato norme più stringenti che garantissero l'ottenimento di precisioni più elevate per la determinazione dei punti trigonometrici di IV ordine a partire dagli anni 40.

[7] I vertici trigonometrici catastali fino all'avvento delle procedure dettate dalla circolare del Catasto n° 2 del 1988 "*Nuove procedure per il trattamento automatizzato degli aggiornamenti cartografici e disposizioni per la gestione degli atti geometrici di aggiornamento*", le procedure topografiche per l'inserimento dei rilievi di campagna in mappa prevedevano l'inquadramento nel sistema di riferimento Catastale fosse realizzato rispetto a tali trigonometrici.


(1) CROCE DI PRATOMAGNO
(2) RETE E SOTTORETE
Comune di LORO CIUFFENNA
ELENCO GENERALE
Fascicolo Unico Pagina 47
Foglio Carta d'Italia N. 114
ELEMENTI GEODETICI del VERTICE
DATI DI COLLEGAMENTO
Vertici
LATI
Logaritmi
Valori numerici
Azimut.
Coordinate Geografiche
Convergenza
Coordinate Soldner
Origine: Siena Torre
X= + 37450
Y= + 25373
Coordinate Gauss-Boaga
X = 4.839.028
Y = 2.249.597
Coordinate Gauss-Boaga
X = 4.836.968
Y = 1.713.459
Quota altimetrica
Riferimenti planimetrici:
Riferimenti altimetrici:
Annotazioni: Il centro è individuato dall'asse della croce monumentale in ferro posta sulla vetta del Pratomagno.

Comando Regione Militare Tosco-Emiliana - Firenz
Staz.C.C. Loro Ciuffenna
Comune Loro Ciuffenna Prov. Arezzo
Proprietario Padri Cappuccini di Montevarchi
(1963) Croce monumentale sulla cima del monte. Asse della croce materializzato da un centrino cementato nel basamento. Riferimenti: due centrini metallici sullo stesso basamento. Accesso da Trappola per mulattiera.
114132
Coordinate geografiche
43°39'15" -0°48'19"
Coordinate Gauss-Boaga
4 836 968 1 713 459
Quota al PP H= 1590
PP= suolo
PRATOMAGNO
Ord. I N. 114132
TRIG. Nome Ord. F° N°
PRATOMAGNO I 114 132

*Figura 1 – Monografie del trigonometrico Pratomagno del I ordine della rete ROMA 40. A sinistra viene riprodotta la scheda monografica presente al Catasto e a destra quella dell' IGM con le coordinate riferite al sistema di riferimento Nazionale.*

Nelle schede monografiche sono riportati, oltre agli elementi di identificativi attribuiti dai due Enti cartografici, il disegno per l'individuazione del punto e le coordinate del vertice. Nella scheda catastale sono riportate, oltre alle coordinate Cassini-Soldner rispetto al centro di emanazione, le coordinate Gauss-Boaga rispetto ai due fusi (Est e Ovest). Nella monografia dell'IGM invece sono riportate le coordinate geografiche Roma40, le coordinate Gauss-Boaga, la quota e la data di aggiornamento.
Nel territorio provinciale di Arezzo la maggioranza dei comuni è riferita, nel sistema Cassini-Soldner, all'origine Torre del Mangia di Siena, mentre il comune di Monterchi in Valtiberina ha come origine il Monte Pennino[8].

**Metodologia**
Il lavoro si è svolto costruendo due distinti fogli di calcolo attraverso l'ausilio del software OpenOffice dove sono state riportate tutte le informazioni desunte dalle due tipologie di monografie. In entrambi i fogli di calcolo sono state inoltre riportate le coordinate del vertice derivanti dalle elaborazioni e il codice identificativo dell'omologo trigonometrico nell'altro sistema di riferimento al fine di correlare le due banche dati.
Attraverso l'uso di CartLab 1.2.2 sono state convertite tutte le coordinate Cassini-Soldner dei trigonometrici catastali nelle coordinate Gauss-Boaga (Est e Nord) del fuso di appartenenza e con l'utilizzo del software Traspunto[9] si è effettuato, partendo dal risultato prodotto da CartLab, il calcolo delle coordinate Gauss-Boaga nell'altro fuso. I risultati ottenuti sono stati confrontati con le coordinate Gauss-Boaga presenti nelle schede monografiche del Catasto.
Sempre attraverso l'uso di Traspunto, a partire dalle geografiche Roma40 dei trigonometrici IGM, sono state determinate le corrispondenti Gauss-Boaga (rispetto al fuso Est o Ovest) al fine di poter avere le coordinate del vertice in entrambi i fusi per correlarle con quelle presenti nelle monografie del Catasto. Infine, si sono confrontate per i vertici corrispondenti le coordinate Gauss-Boaga calcolate con CartLab e Traspunto a partire dalle coordinate Cassini-Soldner con le Gauss-Boaga presenti nelle monografie IGM.

[8] Questo deriva dal fatto che il Comune di Monterchi al momento dell'esecuzione dei lavori catastali era in Umbria e solo a partire dal Dopoguerra fa parte della provincia toscana di Arezzo.
[9] Traspunto è un programma scaricabile dalla rete che permette di effettuare trasformazioni tra sistemi di riferimento ed è stato realizzato dal Ministero dell'Ambiente. I risultati del programma ai fini del nostro utilizzo sono stati verificati attraverso il confronto del risultato ottenuto (determinazione delle coordinate Gauss-Boaga rispetto ad un fuso a partire dalle coordinate dell'altro) con le coordinate delle schede monografiche IGM dove erano presenti entrambi.

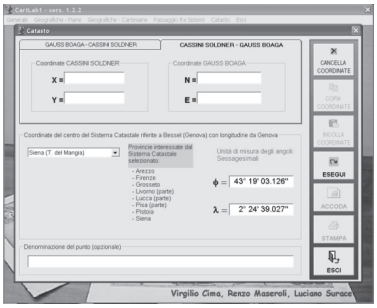


*Fig.2 – Programma CartLab 1.2.2*

L'elemento che ha fatto diventare il software CartLab usato e apprezzato sta nella sua funzionalità di eseguire la trasformazione delle coordinate dal sistema Catastale (Cassini-Soldner) al sistema Roma 40 (Gauss-Boaga) e viceversa. Il programma contiene le impostazioni delle coordinate dei centri di emanazione di molti sistemi di "grande estensione", ma è comunque garantita all'utente la possibilità di inserire manualmente definizioni personalizzate[10]. Il processo di calcolo eseguito dal programma per la trasformazione di coordinate da Cassini-Soldner a Gauss-Boaga viene eseguito attraverso tre fasi distinte (non visibili all'utente). Il primo processo prevede il passaggio da coordinate catastali a coordinate geografiche riferite all'ellissoide di Bessel (nel nostro caso con orientamento a Genova). Nella seconda fase, viene attuato il cambiamento di superficie di riferimento (dall'ellissoide di Bessel all'ellissoide Internazionale) e dell'orientamento da Genova (osservatorio) a Roma (Monte Mario), attraverso un fattore di correzione locale basato su un valore delta medio, calcolato per ciascuna zona tramite alcuni punti di cui sono note le coordinate nei due sistemi (il processo viene effettuato con l'impiego di coordinate geodetiche polari). Infine con il terzo processo si proiettano le coordinate geografiche calcolate precedentemente, ottenendo le coordinate piane relative alla rappresentazione di Gauss-Boaga[11].

Una prima analisi sui 1368 vertici catastali trascritti è stata eseguita al fine di eliminare errori di trascrizione delle coordinate. Tale controllo è stato effettuato analizzando gli scarti tra le coordinate Gauss-Boaga calcolate con CartLab e Traspunto e le coordinate della scheda monografica: infatti, dato che – come verrà descritto nel paragrafo successivo - gli scarti hanno valori piuttosto costanti è stato possibile evidenziare facilmente gli errori grossolani immessi anche durante la fase di pubblicazione delle monografie. In molti casi una delle 4 coordinate Gauss-Boaga (Est e Nord per il fuso Est ed Est e Nord per il fuso Ovest) aveva errori di notevole entità che dipendevano dall'aver trascritto un singolo numero non corretto all'interno della coordinata. Sono stati riscontrati anche picchi costanti tra di loro in tutte e quattro le coordinate che ci hanno fatto pensare che l'errore potesse essere avvenuto nella trascrizione delle coordinate cartesiane Cassini- Soldner.

| | | | Dati scheda Monografica Catastale | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ID_CAT** | **Comune** | **Denominazione** | **Tipo** | **X_cassTM** | **Y_cassTM** | **E_catGBO** | **N_catGBO** | **E_catGBE** | **N_catGBE** |
| A390_67 | AREZZO | PODERE CARBONAIA | DETT.CAT | 16043.20 | 40149.73 | 1728844.44 | 4815980.53 | 2263431.22 | 4816980.05 |

| | | Coordinate Cart_Lab - Traspunto | | | | DIFF_ CartLab-Monografia | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ID_CAT** | **Comune** | **E_clGBO** | **N_clGBO** | **E_clGBE** | **N_clGBE** | **D1_est** | **D1_nord** | **D2_est** | **D2_nord** |
| A390_67 | AREZZO | 1728834.37 | 4815980.15 | **2263421.27** | **4816980.32** | -10.07 | -0.38 | **-9.95** | **0.27** |

*Figura 3 – Tabella riassuntiva degli scarti ottenuti sul trigonometrico Podere Carbonaia – in grassetto i valori ricavati tramite il software Traspunto.*

Attraverso strumenti GIS, sono state visualizzate le coordinate Gauss-Boaga delle monografie (in colore rosso) e quelle derivate dal calcolo con CartLab (di colore blu) e sono state confrontate con le cartografie presenti. E' stato riscontrato che le coordinate derivate dalle cartesiane Cassini-Soldner corrispondono alla materializzazione corretta e questo ci fa supporre che le Gauss-Boaga

[10] Il programma non consente l'elaborazione dei sistemi ricadente nell'Italia meridionale che di norma sono riferiti a l'Ellissoide di Bessel orientato su Castanea delle Furie ad eccezione di Taranto, Lecce e Monte Etna dei quali sono state definite le coordinate del centro di emanazione rispetto a Genova.

[11] Il programma esegue naturalmente anche il processo inverso qualora si debbano determinare le coordinate in Cassini-Soldner a partire da coordinate Gauss-Boaga.

presenti nelle monografie del Catasto sono state calcolate a partire dalle coordinate Cassini-Soldner successivamente alla loro definizione.

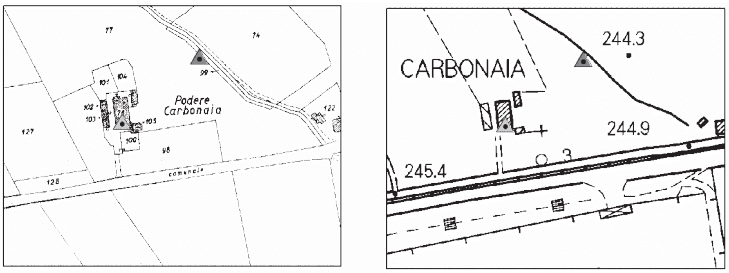



*Figura 4 – Figura riportante le coordinate del trigonometrico Podere Carbonaia calcolate con CartLab1.2.2. a partire dalle coordinate cartesiane Cassini-Soldner riferite all'origine Torre Mangia Siena e le Gauss-Boaga da monografia.*

**Risultati**

Sono stati eseguiti tre distinti tipi di analisi.

1) Nella prima si sono confrontati gli scarti ottenuti tra le coordinate Gauss-Boaga (di circa 1400 vertici) nei due fusi dei vertici trigonometrici catastali calcolate con Cartlab/Traspunto, e quelle riportate in monografia. I dati sono stati aggregati per comuni (calcolando la media degli scarti) per mantenere la suddivisione presente al Catasto e perché, ad una prima analisi visiva, sembrava esserci una tendenza ad avere scarti sostanzialmente omogenei all'interno dei singoli comuni. I risultati evidenziano uno scarto minore nel fuso Ovest con un valore medio inferiore ai 10 cm su tutti i vertici nelle due direzioni (Est e Nord); i valori massimi di scarto sono relativi al fuso Est (0.34 metri nella Est e 0.81 metri nella Nord).

| | Gauss-Boaga (fuso ovest) | | Gauss-Boaga (fuso est) | |
|---|---|---|---|---|
| | *Est* | *Nord* | *Est* | *Nord* |
| Media Globale Trigonometrici | -0.04 | -0.09 | 0.04 | -0.17 |
| Valore Medio Massimo | 0.06 | 0.02 | 0.11 | -0.06 |
| Valore Medio Minimo | -0.12 | -0.18 | -0.09 | -0.35 |

| | Gauss- Boaga (fuso ovest) | | Gauss- Boaga (fuso est) | |
|---|---|---|---|---|
| | *Est* | *Nord* | *Est* | *Nord* |
| Diff. Maggiore | 0.12 | 0.13 | 0.2 | 0.22 |
| Diff. Minore | -0.23 | -0.37 | -0.14 | -0.59 |
| Scarto massimo | 0.35 | 0.5 | 0.34 | 0.81 |

*Figura 5 –Riepilogo degli scarti. Nella tabella di sinistra vengono evidenziati i valori medi delle differenze calcolate su tutti i vertici e i valori massimi e minimi degli scarti medi dei trigonometrici aggregati per comuni. Nella tabella di destra i valori estremi e lo scarto massimo registrati sui trigonometrici analizzati.*

L'analisi geografica sembrerebbe evidenziare una tendenza ad avere scarti simili suddivisi per aree ed in particolar modo in corrispondenza del trigonometrico di I ordine del Pratomagno. Questo potrebbe essere imputato all'introduzione all'interno del programma CartLab del correttivo inserito nel processo di cambio di ellissoide e che deriva dal un delta medio calcolato nella zona tramite alcuni punti di cui si hanno le coordinate nei due sistemi[12].

[12] Il trigonometrico Pratomagno è uno degli otto trigonometrici di primo ordine su cui è stato determinato il correttivo.

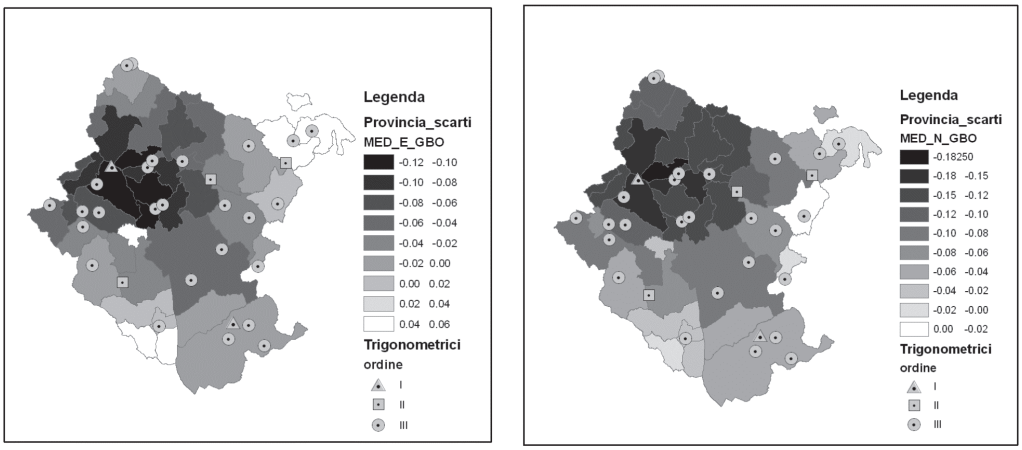



*Fig.6 –Figure riportanti gli andamenti degli scarti in Provincia di Arezzo. Nella figura di sinistra sono rappresentati gli scarti medie comunali sulla coordinata Est della Gauss-Boaga fuso Ovest. Nella figura di destra sono rappresentati gli scarti medie comunali sulla coordinata Nord della Gauss-Boaga fuso Ovest.*

2) La seconda analisi è stata condotta sui trigonometrici catastali afferenti al comune di Monterchi, le cui monografie – dato che il comune venne originariamente riferito all'origine Umbra del Monte Pennino - contengono le coordinate cartesiane Cassini-Soldner sia riferite all'origine Torre del Mangia di Siena che del Monte Pennino. Le differenze sono ottenute confrontando le coordinate calcolate con CartLab e Traspunto delle coppie di coordinate rispetto ai due centri di emanazione.

| *ANALISI* | DIFFERENZE SIENA TORRE – MONTE PENNINO | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Δ1_E-gbo | Δ1_N-gbo | Δ2_E-gbe | Δ2_N-gbe |
| MEDIA | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.04 |
| Deviazione Standard | 0.04290821 | 0.01358648 | 0.04218661 | 0.01585715 |
| Valore Massimo | 0.10 | 0.08 | 0.10 | 0.08 |
| Valore Minimo | -0.03 | 0.03 | -0.03 | 0.02 |
| Scarto | 0.13 | 0.05 | 0.13 | 0.06 |
| N° TRIGONOMETRICI | 27 | 27 | 27 | 27 |
| N° TRIG. ERRATI | 4 | 4 | 4 | 4 |
| N° TRIG. ANALIZZATI | 23 | 23 | 23 | 23 |

*Figura 7 –Tabella riassuntiva degli scarti ottenuti nel Comune di Monterchi dal confronto delle coordinate cartesiane Cassini-Soldner riferite all'origine della Siena Torre del Mangia e del Monte Pennino.*

I risultati dimostrano che le coordinate dei vertici del Comune di Monterchi rispetto alle due origini sono congruenti tra di loro e che l'uso dell'una o dell'altra fornisce risultati pressoché paragonabili e che CartLab produce esiti molto simili tra sistemi catastali aventi una diversa origine. E' interessante notare che gli scarti delle coordinate Est e Nord rispetto ai due fusi del sistema Gauss-Boaga sono costanti; tale scarto potrebbe essere imputabile agli arrotondamenti del software nel processo di calcolo.

3) Infine, la terza analisi è stata condotta per analizzare le discordanze presenti tra le coordinate Gauss-Boaga dei vertici trigonometrici catastali derivanti dalle trasformazioni effettuate con CartLab 1.2.2 con gli omologhi della Rete Nazionale IGM Roma40. Tale analisi è stata condotta non solo per testare la capacità di calcolo del software, ma anche nell'ottica di realizzare dei coefficienti correttivi per migliorare nell'ambito provinciale la trasformazione di coordinate Cassini–Soldner/Gauss-Boaga.

| | CARTLAB-CAT | | CARTLAB-IGM | | CAT-IGM | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *D1_est* | *D1_nord* | *D3_est* | *D3_nord* | *D2_est* | *D2_nord* |
| Media | -0.04 | -0.09 | -0.04 | 0.11 | -0.01 | 0.22 |
| Dev.Standard | 0.0514292 | 0.0483322 | 0.8474295 | 1.0036637 | 0.8706343 | 1.0110578 |
| Massimo | 0.07 | 0.01 | 1.22 | 4.06 | 1.25 | 4.16 |
| | | | | | | |
| Minimo | -0.17 | -0.19 | -4.20 | -1.85 | -4.24 | -1.76 |

*Figura 8 –Tabella degli scarti ottenuti dal confronto delle coordinate dei vertici trigonometrici. Nella prima colonna la differenza tra le coordinate Catastali in Gauss-Boaga calcolate con CartLab e da monografia. Nella seconda tabella la differenza tra le coordinate Gauss-Boaga calcolate con CartLab a partire dai dati Catastali e quelle da monografia IGM. Nella Terza colonna il confronto tra le coordinate Gauss-Boaga estratte dalle monografie Catastali e dall'IGM .*

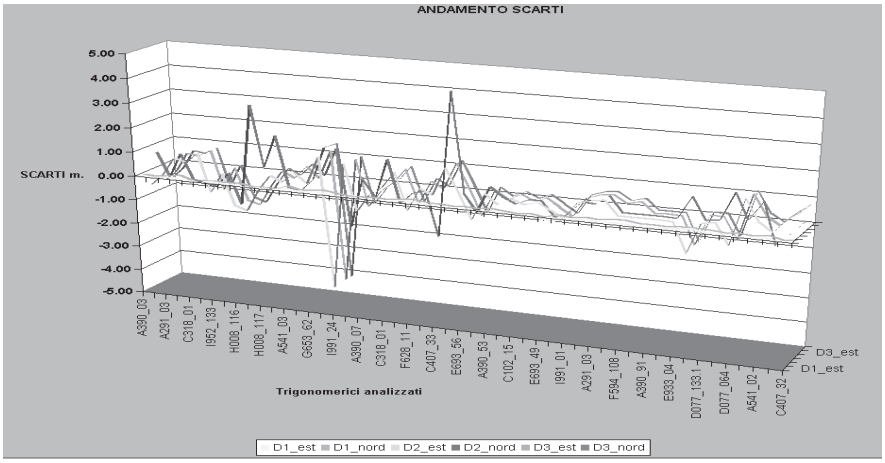



*Figura 9 –Diagramma riassuntivo scarti riferiti alla figura 8.*

**Conclusioni**

Per concludere, ci sembra quindi opportuno sottolineare che il software Cartlab produce buoni risultati e che gli algoritmi presenti permettono di ottenere scarti sub-decimetrici rispetto ai dati presenti nelle monografie del Catasto. Ad ulteriore conferma di quanto detto in precedenza, dato che il programma Cartlab (per la conversione tra sistema catastale e sistema nazionale) implementa le stesse trasformazioni utilizzate a suo tempo per la determinazione della rete geodetica Roma40 attraverso la compensazione della vecchia rete Bessel/Genova Osservatorio, è possibile ipotizzare che le coordinate Gauss-Boaga riportate nelle monografie catastali siano di tipo "provvisorio", cioè precedenti alla compensazione definitiva della nuova rete.

Visti gli scarti disomogenei ottenuti sui trigonometrici dal confronto delle coordinate desunte dalle schede monografiche del Catasto e dell'IGM si è ritenuto opportuno non realizzare un grigliato di scarti prima di un controllo approfondito del comportamento dei singoli vertici.
La possibilità di realizzare un'efficace trasformazione tra le coordinate cartesiane Cassini-Soldner e il Sistema di Riferimento Nazionale Gauss-Boaga, oltre ad essere di estrema utilità per l'integrazione dei dati Catastali con i DB Topografici prodotti dagli Enti Locali, potrebbe diventare un ottimo strumento per recuperare molte cartografie e dati topografici storici. A tal proposito, va ricordato inoltre che le cartografie tecniche di alta scala prodotte con tecniche fotogrammetriche dagli anni '50 agli anni '70 sono inquadrate nel sistema catastale e che le vecchie cartografie dell'IGM prodotte alla fine del 1800 si basano su un sistema coincidente con quello catastale.

La prospettiva futura è quella di valutare la possibilità, partendo dai dati di questo lavoro di realizzare un "grigliato" di trasformazione che derivi da una compensazione in blocco dei trigonometrici in comune tra le due reti anche al fine di evidenziare l'eventuale presenza di trigonometrici materializzati in modo diverso, che producono scarti disomogenei. Infine, è opportuno precisare che le analisi sugli scarti nei singoli trigonometrici dovranno essere comparate anche con i dati derivanti dalle compensazioni del 1908 e del 1940 della rete nazionale.

**Riferimenti bibliografici**

Bigazzi A., Camiciottoli F., Caviglia A., Radicchi L. (2005). *Norme Tecniche Censimento delle opere idrauliche e Piano di Manutenzione straordinario nel territorio della Provincia di Arezzo*, Provincia di Arezzo - Servizio Difesa del Suolo, Arezzo.

Coticchia A., Surace L. (1978), "Risoluzione di problemi geodetici con le minicalcolatrici elettroniche programmabili", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 37.

Costa A. (1983), *Il Catasto italiano procedure di accatastamento aggiornamento, conservazione*, NIS, Roma.

Donatelli D., Maseroli R., Pierozzi M (2002), "La trasformazione tra sistemi di riferimento utilizzati in Italia", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 41.

Fici R., Surace L. (2002), "Dialogo di un venditore di coordinate e di un passeggere", *Bollettino di Sifet*, 2002-1: 49-68.

*GPS. Guida all'uso del GPS per il rilevamento del territorio e l'aggiornamento cartografico* (2005), Rimini, Maggioli.

Surace L. (1998), "La georeferenziazione delle informazioni territoriali", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 57-2: 181-234.

Tani P.D. (1999), *Catasto terreni e cartografia. Trattato di pratica catastale*, Rimini, Maggioli.

# CAMBIAMENTI DI USO DEL SUOLO DAL 1853 AD OGGI NEL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI FERRARA

Elisabetta CAMPIANI (*), Maria Luisa GARBERI (**)

(*) Istituto di Scienze Marine ISMAR – CNR, Via Gobetti 101, 40129 Bologna, tel 0516398872, fax 0516398940, e-mai e.campiani@bo.ismar.cnr.it
(**) Servizio Sviluppo della Amministrazione digitale e Sistemi informativi geografici– Regione Emilia Romagna, Viale Silvani 4/3, 40122 Bologna, tel 051284857; fax 051284216, e-mail mlgarberi@regione.emilia-romagna.it

**Riassunto**
In questo lavoro si presentano i risultati del confronto tra il database dell'uso del suolo storico (1828 -1853) realizzato nel corso del 2007 e le edizioni del 1976 e del 2003 del territorio della provincia di Ferrara.
Il confronto è stato realizzato riportando allo standard di Corine Land Cover la legenda dell'uso del 1976 e riducendo le legende dei tre database in nove categorie sintetiche che esprimono gli ambiti principali di uso del suolo.

**Abstract**
We present a comparison between the historical land use database (1828-1853), carried out during 2007, and the edition from 1976 and 2003 regarding the Province of Ferrara.
The comparison was carried out adopting the Corine Land Cover standard for the legend of 1976 datbase and reducing the 3 database legends to nine synthetic categories which are the expression of the major ambits of land use.

## Premessa
L'edizione storica è stata derivata interpretando al video le cartografie preunitarie (1828 -1853) relative al territorio dell'Emilia-Romagna. L'edizione del 1976, originariamente cartacea, restituita su tavolette IGM, è stata digitalizzata, georiferita e riqualificata, sia geometricamente che nematicamente, di recente. L'edizione del 2003 è stata elaborata su immagini satellitari ad alta definizione ed acquisita direttamente in formato digitale.

## Metodologia
Nell'impostare il lavoro di confronto delle tre edizioni di uso del suolo per il territorio della provincia di Ferrara è stato necessario ricondurre ad uno standard le tre legende. La legenda dell'edizione storica dell'uso del suolo è stata costruita su tre livelli, con uno schema di tipo Corine Land Cover, con un criterio di massima somiglianza possibile a quella dell'edizione del 2003, per rendere confrontabili i due prodotti, mentre la legenda dell'edizione del 1976 è stata modificata in questo senso in seguito.
Inoltre le cartografie di uso del suolo presentano un numero di classi di uso variabili nel numero e nella sostanza. Questo è dovuto sia alle diverse metodologie di acquisizione che, evolvendosi con tecniche sempre più sofisticate, hanno portato ad una lettura del territorio sempre più precisa e dettagliata sia ai mutamenti di governo del territorio nell'arco di centocinquanta anni.
Si è resa, dunque, necessaria per effettuare il confronto l'individuazione di categorie omogenee che rappresentassero in sintesi gruppi di classi di uso presenti nelle varie edizioni. Sono stati effettuati degli accorpamenti ottenendo nove categorie sintetiche per le quali si sono calcolati i valori areali,

assoluti e percentuali, nei vari periodi, e la variazione percentuale tra l'uso storico e quello del 2003 (figura 1).
L'analisi delle dinamiche dell'uso del suolo nel territorio della provincia di Ferrara ha mostrato una variazione del paesaggio molto accentuata, specialmente per alcune categorie (figure 2 e 3).
La differenza della superficie totale della provincia di Ferrara, nella tabella di figura 1, è dovuta alle modificazione che la costa ha subito in 150 anni e alle diverse cartografie utilizzate nella restituzione dell'edizione del 1976 ( tavolette I:G:M. serie vecchia).
La prima grande trasformazione, anche se scontata e meno evidente dal punto di vista cartografico(vedi fig. 3), è quella che riguarda i territori artificializzati che passano da circa 2.500 ettari a 18.400. Le aree interessate dall'espansione dei territori antropizzati, che hanno subito un'impennata notevole anche tra il 1976 e il 2003, sono quelle lungo la costa e intorno ai principali centri urbani.
La seconda impressionante trasformazione riguarda gli ambiti agricoli. Risulta evidente (vedi figure 1, 2 e 3) come il seminativo semplice abbia soppiantato quasi completamente gli altri usi del suolo di tipo agricolo quali prato e seminativo arborato. Infatti alla metà dell'ottocento il paesaggio emiliano-romagnolo di pianura (figura 3 in alto) era caratterizzato massicciamente dalla *piantata padana* (seminativo arborato) che alternava le colture a seminativo a filari di vigna con tutore vivo e ad altre alberature con una grande presenza, quindi, della componente arborea. Questo sistema di governo del territorio ha radici antichissime che risalgono agli etruschi (Sereni, 1961) e si è sviluppato con alterne vicende nella storia agraria della pianura padana, fino a consolidarsi nel XVI° secolo e raggiungere la sua massima diffusione nel XIX° secolo. A partire circa dal 1930, la *piantata padana* inizia il suo declino fino alla quasi completa scomparsa che è già molto evidente nell'uso del suolo degli anni '70. Le cause di questa trasformazione sono molteplici: l'aumento dei seminativi nudi, la diffusione dei mangimi industriali, che non rendono più necessario l'utilizzo delle frasche nell'alimentazione del bestiame, la diffusione di combustibili e di materiali da costruzione alternativi al legno ed infine la meccanizzazione crescente nelle operazioni di lavorazione e raccolto condannano questa forma di governo del territorio.
Si evidenzia così un passaggio radicale da un governo promiscuo del territorio al seminativo nudo, con una diminuzione considerevole della copertura arborea. Oggi infatti nel paesaggio agrario della provincia ferrarese la componente arborea è rappresentata quasi esclusivamente dalle colture specializzate, con filari a spalliera di alberi da frutta, vigneti e da rari filari di altre alberature.
All'interno dell'ambito agricolo due altre categorie notevolmente variate sono i prati e le risaie. I primi passano dal 16 percento del periodo storico al 0.1 percento nel 2003, sostituiti dal seminativo semplice con cause probabilmente simili a quelle della scomparsa del seminativo arborato. Le seconde incrementano drasticamente la superficie andando a occupare i terreni bonificati dalle paludi. Da notare che l'incremento notevole che appare tra il 1976 e il 2003 può essere influenzato anche da criteri di fotointerpretazione diversi nelle due edizioni, cioè da una lettura del territorio, nel 2003, maggiormente rivolta alle "caratteristiche associate" alle risaie più che alla superficie coperta da acqua per la definizione delle stesse.
Nel valutare invece la decrescita della categoria "spiagge e sabbie" bisogna considerare non solo l'erosione costiera ma anche il fatto che, nell'edizione del 2003, ampie porzioni di arenili costieri occupati da infrastrutture di tipo turistico appartengono, a pieno titolo, ai territori artificializzati.
Per quanto riguarda gli ambiti delle acque, nell'effettuare gli accorpamenti per il confronto, si sono raggruppate insieme tutte le voci sia degli ambienti umidi interni e salmastri sia dei sistemi fluviali e dei bacini per semplificare la enorme varietà di voci dell'ultima edizione. Ciò ha reso molto evidente la terza grande trasformazione che interessa questi ambiti che occupavano una parte molto vasta del territorio ferrarese nel periodo storico. Infatti le grandi bonifiche effettuate dall'ottocento fino ai primi anni sessanta del novecento hanno drasticamente ridotto gli specchi d'acqua portando questa categoria dal 38 percento dell'uso storico al 9 percento del 2003 (vedi fig. 3).

| **PROVINCIA DI FERRARA** | Uso del suolo storico | | Uso del suolo 1976 | | Uso del suolo 2003 | | Variazione % 1853-2003 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Categorie sintetiche | Ha | Ha in % | Ha | Ha in % | Ha | Ha in % | |
| Territori artificializzati | 2486.94 | **0.94** | 11704.58 | **4.44** | 18380.17 | **6.98** | **639** |
| Seminativi semplici | 29065.44 | **11.04** | 181353.76 | **68.81** | 177311.53 | **67.34** | **510** |
| Seminativi arborati | 82797.86 | **31.44** | 2489.08 | **0.94** | 56.76 | **0.02** | **-100** |
| Risaie | 724.60 | **0.28** | 7580.50 | **2.88** | 18285.52 | **6.94** | **2424** |
| Colture specializzate | - | - | 36144.35 | **13.71** | 21925.62 | **8.33** | - |
| Prati stabiili | 43818.15 | **16.64** | 2553.48 | **0.97** | 315.30 | **0.12** | **-99** |
| Boschi e cespuglieti | 3,450.27 | **1.31** | 3153.48 | **1.20** | 2675.58 | **1.02** | **-22** |
| Spiagge e sabbie | 1955.01 | **0.74** | 253.37 | **0.10** | 36.59 | **0.01** | **-98** |
| Zone umide e corpi d'acqua | 99051.82 | **37.61** | 18319.69 | **6.95** | 24333.54 | **9.24** | **-75** |
| tot | 263350.09 | 100.00 | 263552.28 | 100.00 | 263320.62 | 100.00 | - |

*Figura 1 – Tabella dei valori assoluti e percentuali delle categorie sintetiche di uso del suolo e variazione percentuale tra l'edizione storica e quella del 2003 nella provincia di Ferrara.*

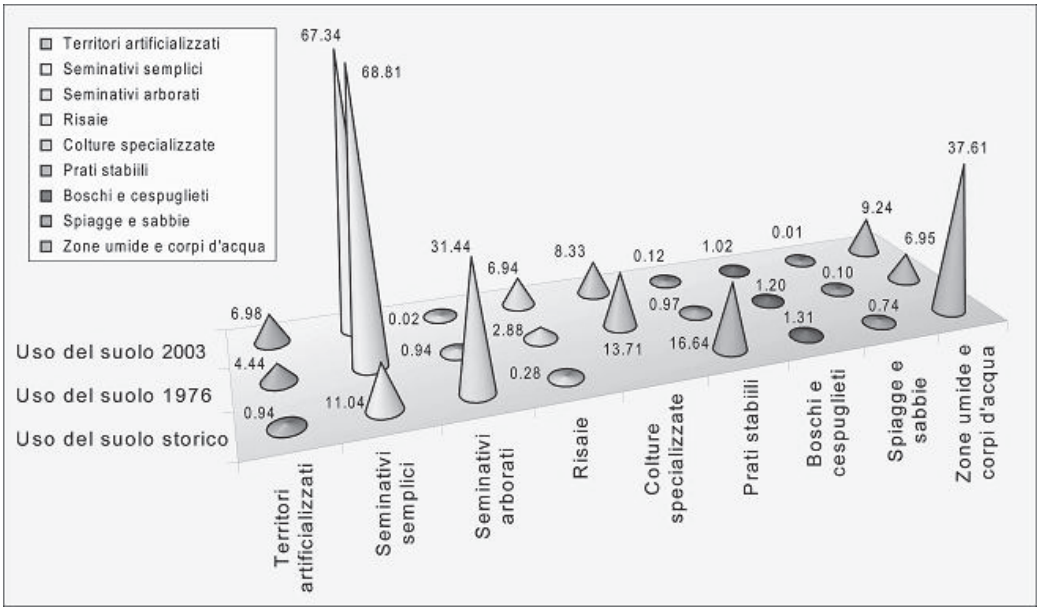



*Figura 2 – Confronto tra categorie sintetiche di uso del suolo nella provincia di Ferrara*

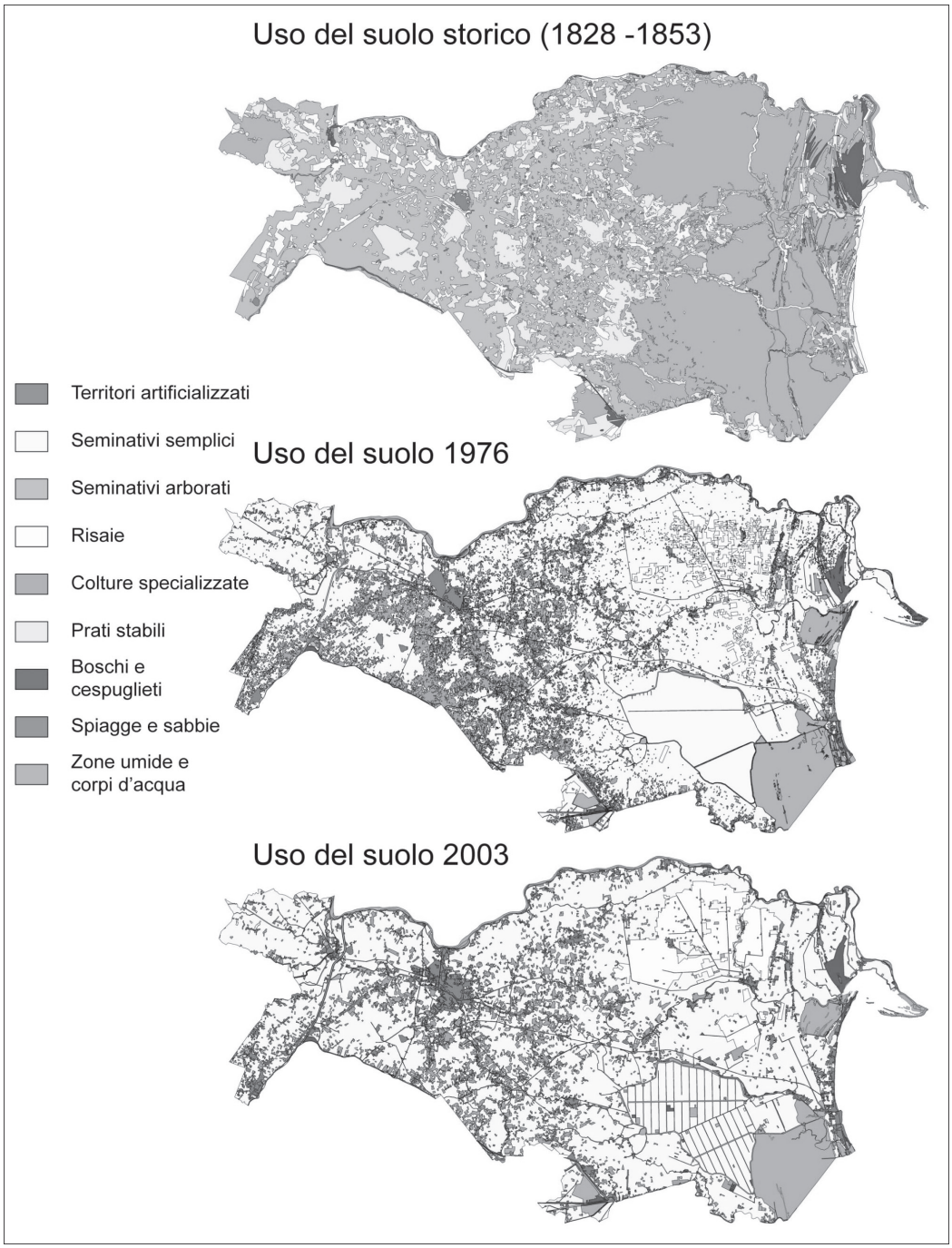



*Figura 3 – Rappresentazione cartografica della tre edizione dell'uso del suolo della provincia di Ferrara*

**Conclusioni**

Le varie edizioni dei database dell'uso del suolo consentono confronti che possono risultare molto utili in analisi socio-economiche di pianificazione territoriale.

Partendo dal database dell'uso del suolo storico che dà un'immagine del paesaggio della metà dell'ottocento, il confronto con le edizioni moderne del 1976 e del 2003 fornisce un quadro delle profonde trasformazioni che il territorio ha subito nel corso di centocinquant'anni e consente di stimare i cambiamenti e quantificare i fenomeni.

Gli insediamenti urbani che coprivano una superficie di circa 2.500 ha nel periodo storico aumentano nel 2003 di circa sette volte.

La trasformazione del paesaggio agricolo della pianura è radicale e passa da un governo del territorio prevalentemente a seminativo arborato al seminativo nudo, con una diminuzione della presenza arborea considerevole. Oggi nel paesaggio della pianura la componente arborea è rappresentata quasi esclusivamente dalle colture specializzate.

L'ambiente delle acque è notevolmente cambiato in seguito alle grandi bonifiche delle zone ferraresi che nel 1850 erano già in corso e che termineranno negli anni sessanta del ventesimo secolo passando da una superficie di circa 100.000 ettari a meno di 25.000.

Ancora una volta l'uso del suolo si dimostra uno strumento valido non solo per la ricostruzione delle dinamiche passate dei territori, ma per il contributo che può dare alla comprensione delle tendenze in atto e alla pianificazione del futuro.

**Bibliografia**

Campiani E., Corticelli S., Garberi M.L., Gavagni A., Lorenzini F. (2001) "Evoluzione del territorio della Regione Emilia-Romagna: analisi comparativa tra le due edizioni della carta dell'uso del suolo", *Documenti del territorio n.48*, Centro Interregionale di Coordinamento, 28-32.

Corticelli S.,Campiani E., Garberi M.L. (2003) "Le trasformazioni dell'uso del suolo attraverso l'utilizzo della cartografia storica: un esempio in Emilia-Romagna", *Atti della 7ª Conferenza Nazionale ASITA,* Verona, 28-31 ottobre 2003, Volume 1, 837-842.

Garberi M.L., Peciarolo L., Campiani E. (2004), "La dinamica dell'uso del suolo della costa ravennate dal 1851 ad oggi", *Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA*, Roma, 14-17 Dicembre 2004, Vol II, 1161-1165.

Garberi M. L., Campiani E., Vigilante E. (2007), "Il database dell'Uso del suolo "Storico" della Regione Emilia-Romagna derivato dalla cartografia preunitaria (1828 -1853)", *Atti 11° Conferenza Nazionale ASITA*, Torino, 14-17 Dicembre 2007.

Lago L. (2004), "Il contributo della cartografia storica", *Italia – Atlante dei tipi geografici*, IGM, Firenze, 21-27

Landi R. (2004), "Seminativi nudi ed arborati", *Italia – Atlante dei tipi geografici*, IGM, Firenze, 401-402

Rinaldi A. (1995) "Alcune considerazioni sulla storia del paesaggio agrario emiliano', *Studi storici*, 36: 267-282;

Sereni E. (1961) *Storia del paesaggio agrario italiano*, Edizioni Laterza, Bari

# IL GIS *OPEN SOURCE* NELLA FORMAZIONE DEGL'INSEGNANTI DI SCUOLA SECONDARIA

A.R. CALDURA (*) (**), D.B. SPADAVECCHIA (**)[1]

(*) Università degli Studi di Pavia – Dipartimento di Scienze Storiche e Geografiche
(**) Università degli Studi di Pavia – S.I.L.S.I.S.

**Riassunto**
Il presente contributo illustra lo svolgimento di un corso sull'utilizzo dei GIS *open source*. Le lezioni si sono svolte nell'ambito del "Laboratorio di didattica della geografia" della S.I.L.S.I.S. (Scuola Interuniversitaria Lombarda di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario), Sezione di Pavia (Università degli studi di Pavia).

**Abstract**
This work describes the development of a course based upon the use of the GIS open source. The lessons have been carried out in the within of the "Laboratory of Didactics of Geography" of the S.I.L.S.I.S. (Lombardy Inter-University School of Specialization for Secondary School Instruction), Section of Pavia (University of Pavia).

## 1 Introduzione

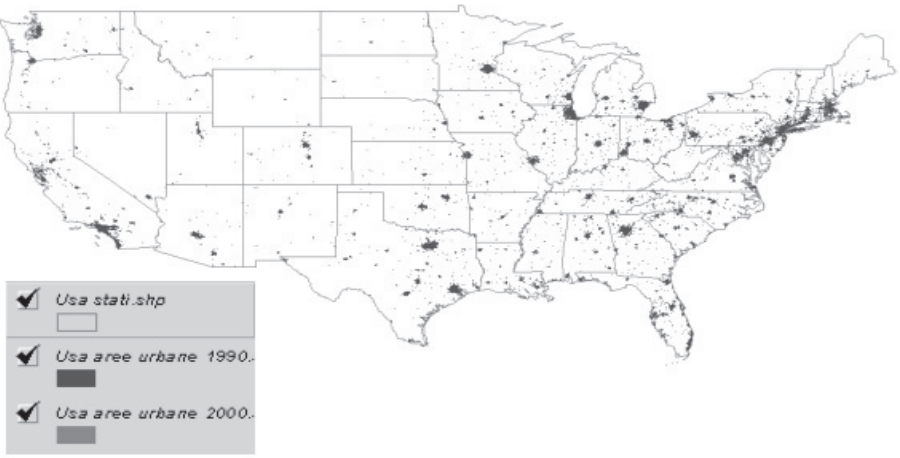
Così come sono, da sempre, evidenti gl'indissolubili legami fra geografia e cartografia, oggi è ancor più chiaro quanto, anche in ambito didattico, la cartografia possa beneficiare delle nuove tecnologie (Borruso, 2007, p. 115). In conseguenza di ciò, è cogente la necessità di preparare i docenti di Scuola Secondaria all'insegnamento di una geografia che comprenda la lettura del territorio attraverso la cartografia tradizionale e i GIS. Il luogo naturale nel quale inserire corsi di questo tipo sono le Scuole di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario; si tratta delle sopprimende S.S.I.S., o S.I.L.S.I.S. nel caso di Pavia, ove l'esperienza qui illustrata ha riguardato le classi di concorso 43/A (Italiano, storia e educazione civica, geografia nella scuola media) e 50/A (Materie letterarie negli istituti d'istruzione secondaria di II grado)[2]. L'obiettivo, si può scomporre nei tre principali passi che ci si riproponeva di far compiere agli specializzandi. 1) Capire cosa siano i GIS (essendo laureati in materie letterarie, i discenti sono in gran parte *tabula rasa*). 2) Capire quali siano le possibili applicazioni dei GIS (non solo in campo didattico). 3) Consolidare la consapevolezza del ruolo della cartografia nello studio del territorio; paradossalmente, questa cognizione si rinsalda proprio con l'ausilio delle nuove tecnologie.
In parallelo al "Laboratorio di didattica della geografia" (nell'ambito del quale gli specializzandi formano le Unità Didattiche da sperimentare durante il tirocinio attivo nelle scuole), è stato, dunque, istituito un corso di "Didattica della geografia" di 15 ore, interamente dedicato all'utilizzo di Arc Explorer (il GIS *open source* messo a disposizione da ESRI).

## 2 Struttura e organizzazione del corso

Dapprima sono state pubblicate sul sito della S.I.L.S.I.S. le procedure di installazione di ArcExplorer- Java Edition for Education version 2.3.2, con indicazioni atte a disporre del *software*

[1] I paragrafi 2, 3, 4, e 6 vanno attribuiti ad Anna Rosa Candura; i paragrafi 1 e 5 vanno attribuiti a Damiano Bruno Spadavecchia.
[2] www.unipv.eu/on-line/Home/Didattica/Post-laurea/S.I.L.S.I.S.html

prima dell'inizio delle lezioni[3]. Il corso è stato suddiviso in tre parti. 1) Introduzione ai Sistemi informativi geografici (GIS). Lo sviluppo dei GIS in contrapposizione alla cartografia tradizionale. In questa sezione (illustrata nei paragrafi 3, 4 e 5), si è presentata una sintesi di storia della cartografia con alcuni esempi utili ad illustrare l'antico problema dei sistemi di riferimento e la nascita delle proiezioni. Lo scopo era consolidare la percezione del legame fra matematica e cartografia, oltre che fra cartografia e geografia. 2) I Sistemi Informativi Geografici. 2a) Definizioni. 2b) Il concetto di dato e informazione. 2c) Componenti e funzionalità di un GIS. In questa parte, anche con l'ausilio di alcuni manuali cartacei[4], sono state presentate le principali caratteristiche dei GIS. 3) ArcExplorer-Java Edition for Education 2.3.2 Procedure applicative. Nell'ultima porzione del corso, si è anzitutto proceduto alla risoluzione di problemi generati, ad alcuni PC, da un sistema operativo che impediva l'installazione del *software*; finalmente, basandosi sul manuale "intro-aejee" fornito da ESRI (www.esri.com/aejee), si è passati alla fase pratica, procedendo allo svolgimento degli esercizi proposti dal manuale stesso. Con ArcExplorer si è inoltre, verificata la possibilità di aprire e utilizzare i *database* resi disponibili dallo US Census Bureau e dallo United States Geological Survey (USGS); si sono, così, potute creare interessanti schede sull'uso del suolo in alcune città degli USA. Ad esempio, i dati dello US Census Bureau hanno consentito di costruire un cartogramma delle aree urbane negli USA.

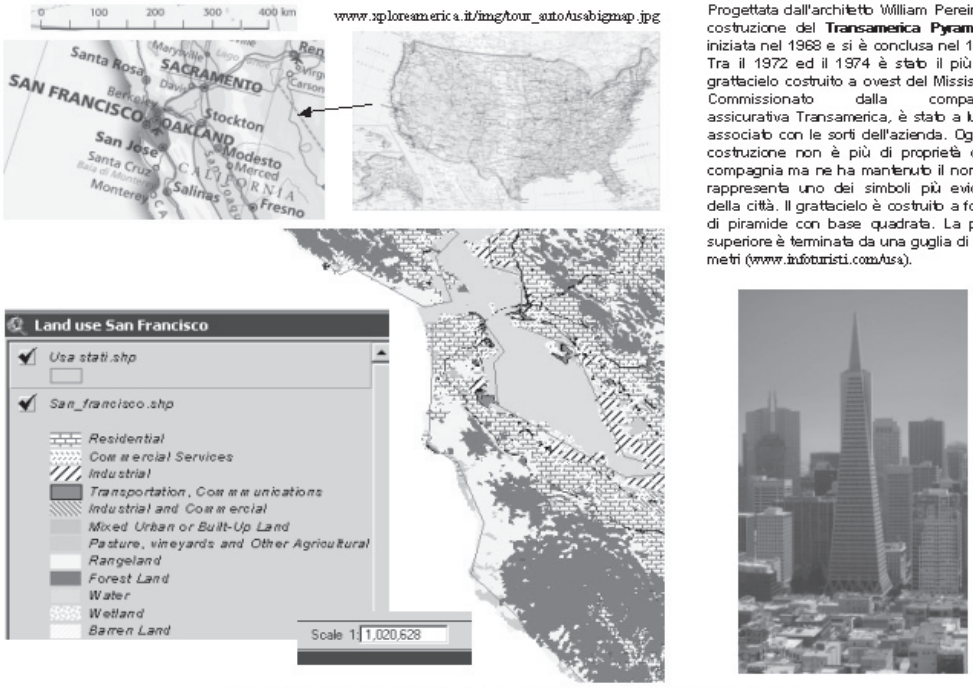



Le aree urbane degli USA (database US Census Bureau, 2006).

Quanto allo USGS, ci si è serviti del LULC: «[…] un *geodatabase* fornito gratuitamente dallo United States Geological Survey (USGS), per descrivere l'uso del suolo negli Stati Uniti ad una scala nominale di 1:250.000 (i *file* risalgono al 2004). […] Nell'ambito del LULC, è possibile scaricare i dati scegliendo prima lo Stato e poi la Contea, tuttavia il taglio cartografico corrispondente alla dicitura "contea" non coincide con i confini amministrativi di quest'ultima bensì con un rettangolo assai più esteso, il che avviene per tutte le contee USA. […] Inoltre vi sono molti *shapefile* riportati più volte per garantire la completa copertura della contea stessa […] Per la classificazione della copertura del suolo, il *geodatabase* LULC utilizza un sistema basato su nove codici di primo livello e da due a sette codici di secondo livello […] a prima vista piuttosto

[3] Il corso si è svolto nell'anno accademico 2007/2008. Le indicazioni fornite agli studenti si riferiscono alla versione disponibile nel febbraio del 2008 (www-silsis.unipv.it/iscr/programmi_dispense_07_08/Dispense_07_08.htm).
[4] Biallo (2005); Castrignanò et alii (2004); Gomarasca (2004).

differente dal CLC 2000 (già noto agli studenti). Nel primo livello, tuttavia, i primi due codici comprendono usi molto simili, il che ha favorito notevolmente la comprensione.» (Candura, 2008, pp. 2-3)[5]. Con il *database* LULC, sono state completate alcune schede che raffrontavano l'uso del suolo con il paesaggio urbano in alcune metropoli USA.




Esempio di scheda sull'uso del suolo a San Francisco
(database United States Geological Survey - USGS).

### 3 L'antico problema dei sistemi di riferimento

La presentazione dei GIS a chi non ne abbia mai inteso parlare, comporta una difficoltà nella scelta dell'approccio e nella selezione degli esempi. Il corso è partito con una sintesi storica, sia per la caratterizzazione umanistica delle classi di concorso 43/A e 50/A, sia per chiarire come la storia dei GIS sia l'ultimo capitolo della storia della cartografia. Si è sottolineato come, fin dagli albori delle prime civiltà, l'Uomo abbia registrato, con i metodi più disparati, fatti e fenomeni che si possono definire dati spaziali. Partendo dall'antichità, alcuni esempi del tipo di rappresentazione cartografica (dalla pianta di un villaggio all'ecumene) e dei supporti utilizzati per la stessa (dalla tavoletta di argilla al papiro) hanno presentato il primo problema: la schematizzazione di un sistema di riferimento. I primi passaggi descritti sono stati 4. 1) Anassimandro di Mileto che, nel VI secolo a.C., compone la prima rappresentazione conosciuta dell'ecumene. 2) Dicearco da Messina che, nel IV secolo a.C., introduce «[…] il sistema di riferimento a due assi coordinati ortogonali, orientati uno secondo la direzione ovest-est […] l'altro secondo la direzione da nord a sud […]» (Cavicchi,

[5]«1) Urban or Built-Up Land: 11 Residential -12 Commercial Services -13 Industrial -14 Transportation, Communications -15 Industrial and Commercial -16 Mixed Urban or Built-Up Land -17 Other Urban or Built-Up Land – 2) Agricultural Land […] – 3) Rangeland […] – 4) Forest Land […] – 5) Water […] – 6) Wetland […] – 7) Barren Land […] – 8) Tundra […] – 9) Perennial Snow and Ice […]» (LULC NY, 2003, p. 14). Paragonato a CLC Italia, «1 Urban or Built-Up» corrisponde a «1. Superfici artificiali» e «2 Agricultural Land» a «2. Superfici Agricole Utilizzate».

1925, vol *Testo*, p. 10). 3) Eratostene che, nel III secolo a.C., perfeziona l'intuizione di Dicearco componendo una rete di meridiani e paralleli in una completa rappresentazione «del mondo allora cognito» (*idem*, p. 1); peraltro, la sua è la prima importante misurazione dell'arco di meridiano terrestre, molto vicina alla misura reale. 4) Marino di Tiro che, nel II secolo a.C., per primo introduce le proiezioni geografiche (Scott, 2003, p. 207). Questi primi calcoli hanno evidenziato la vetustà del problema dei sistemi di riferimento; gli studi sulle proiezioni compiuti nel XVI secolo, l'opera di Mercatore e la sua celebre proiezione, alla luce di questo compendio, hanno assunto ulteriore importanza agli occhi degli specializzandi. Tenendo presente questa base, l'influenza delle grandi esplorazioni e scoperte nell'evoluzione del segno cartografico è, infatti, apparsa più chiara, così come evidenti sono state le cause della grande "accelerazione" che si nota nel XIX secolo nella produzione di cartografia, insostituibile strumento di sintesi della conoscenza del Pianeta. Egualmente manifeste si sono rivelate le ragioni che, col proliferare della quantità, hanno portato al prolificare della varietà (e della qualità) degli oggetti cartografici. Il sempre più netto delinearsi di carte specializzate in temi precisi, oltre ad accrescere i problemi di ingombro fisico degli oggetti, ha aumentato anche le questioni relative alla precisione e delle misure; nella moltiplicazione ad albero dei problemi, che consegue all'evoluzione di qualsivoglia scienza, ciascuno può trovare, a suo piacimento, il punto esatto nel quale individuare, *in nuce*, l'idea primigenia che ha portato alle tecniche contemporanee. Benché sia evidente, quindi, come il legame fra scienze matematiche e cartografia (quindi geografia) fosse già consolidato ai tempi di Dicearco, è anche possibile che la parentela fra carte e *software* GIS a taluni possa apparire più chiara con lo sviluppo della cartografia tematica; la sintesi presentata ha, pertanto, fornito agli specializzandi materiali per scegliere come introdurre agli alunni la ricerca degli antenati dello strumento GIS.

**4 Il secondo progenitore dei GIS: l'invenzione delle proiezioni.**

Come si è accennato, parte del corso è stata occupata dalla descrizione degli studi di Mercatore, per dare conto del rivoluzionario contributo recato alla scienza cartografica dal disegno della linea lossodromica e della celebre proiezione cilindrica isogona. Egualmente, si è dedicato spazio all'apporto di Ortelio, essendo il *Theatrum Orbis Terrarum* un atlante di tipo moderno, cioè costituito da una cospicua banca dati, nonché frutto di un ragionato piano dell'opera. La matematica (con un dovuto cenno a Gemma Frisius), l'abilità nel disegno (nella quale eccelleva Mercatore) e la conoscenza del Pianeta (con particolare riguardo all'epoca delle grandi esplorazioni e scoperte rinascimentali) formano la trama dell'immenso tessuto della storia della cartografia. Unitamente alle proiezioni, la triangolazione ideata da Snellius nel XVII secolo non solo eleva la cartografia al ruolo di scienza moderna, ma fissa indelebilmente il suo ruolo di meta-linguaggio asservito alle più disparate scienze specialistiche. In sostanza, partendo dall'assunto che i progenitori del GIS vadano ricercati in due caratteristiche (legame con la matematica e universalità del linguaggio), giungendo all'epoca di Snellius si può dire di averle comprese in una breve sintesi. Gli algoritmi, com'è noto, divengono sempre più complessi con l'accrescere della necessità di dettaglio del territorio, pertanto la prima importante carta del Cassini costituisce (nel XVII-XVIII secolo) un altro importante elemento nell'albero genealogico del GIS.

**5 Verso il Novecento**

Anche il passaggio dall'Ottocento al Novecento è stato sintetizzato con un criterio atto ad individuare i progenitori del GIS; in questo caso, tuttavia, si è posto l'accento sugli stimoli, per così dire, negativi, vale a dire sui problemi generati dall'aumento esponenziale dei materiali conseguente appunto l'evoluzione delle tecniche e delle conoscenze. «Verso la metà del 1800, la geografia entrò ufficialmente, come scienza sussidiaria ad altre scienze, tra gli insegnamenti universitari in molti Stati europei; furono gli stessi Stati che […] cominciarono ad avvertire la necessità di possedere rappresentazioni cartografiche a grande scala del proprio territorio. La fine del 1800 e gli inizi del 1900 […] diedero modo di caratterizzare la geografia contemporanea come una scienza complessa

intrisa di interconnessioni tra fenomeni fisici, biologici ed umani: […]. Lo studio e la comprensione di questo complesso sistema cominciò a fa nascere la necessità di strumenti informativi […]» (Biallo, 2005, p.14). Prima dell'avvento dei *computer*, tutti i tipi di carte hanno un grande limite poiché la banca dati spaziale è un disegno su carta. Le informazioni sono codificate in simboli (punti, linee o aree) riprodotti usando differenti stili di rappresentazione. Questi stili vengono associati agli attributi tramite legenda e talora una memoria scritta viene associata alla carta. L'elaborato cartografico, la legenda e la memoria costituiscono la banca dati geografica, contenente tutte le informazioni relative ad una regione. Ciò porta alcuni inconvenienti. Anzitutto, la mole di dati deve essere ridotta in volume, o classificata per essere comprensibile, dunque molti dettagli si perdono. La carta deve essere disegnata a mano. Grandi quantità di dati significano grandi aree da ricoprire, il che può voler dire dover dividere la regione di studio in più fogli. Una volta rappresentati i dati sulla carta, non è necessariamente semplice ritrovarli per combinarli con altri dati spaziali. La carta stampata è un documento statico, tuttavia, oggi, il bisogno di aggiornare continuamente i dati spaziali, relativi ai mutamenti dei fenomeni naturali ed antropici, porta a considerare il metodo tradizionale di fare cartografia come assolutamente inadeguato. «Nella seconda metà degli anni 60, Howard Fisher fondò l'Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, dove un nucleo di programmatori ed applicativi […] realizzò un pacchetto software, SYMAP, che permetteva di elaborare dati geografici e di realizzare semplici carte tematiche. […] Negli anni 70 l'Harward Laboratory produsse ODYSSEY, il primo vero software GIS che introduceva il concetto di struttura topologica di dati e di "overlay mapping" (sovrapposizione automatica di strati informativi). Alcune iniziative di fusione commerciale mal riuscite portarono alla disgregazione dello staff ed alla chiusura del Laboratorio negli anni 80, ma le conoscenze accumulate non andarono perse. Infatti, è ad alcuni fra i nomi più prestigiosi fuoriusciti dall'H. L. (J. Dangermond, S. Morehouse, D. Sinton) che si devono i prodotti software commerciali e le aziende che avviarono il mercato dei SIT nel mondo e che sono tuttora sulla breccia. […] Nello stesso periodo in cui nasceva l'H. L., R. Tomlison persuase il Governo Canadese a realizzare il primo vero e proprio SIT denominato C.G.I.S. – Canada Geographic Information System (Tomlinson, 1967). […] Nel 1971 il sistema era definitivamente operativo e conteneva una banca dati di circa 10.000 carte digitali in scala 1:50.000, in più di 100 diversi tematismi. […] molti altri enti governativi americani impostarono sistemi informativi a base geografica […] Il Census Bureau […] il Geological Survey […] Il telerilevamento da satellite ebbe un ruolo importante poiché permise – a costi contenuti – di generare cartografie tecniche e tematiche digitali a scala medio-piccola e soprattutto di mantenerle costantemente aggiornate. Al telerilevamento si deve anche lo sviluppo di sistemi software per l'elaborazione di dati raster, oggi sempre più integrati con i software GIS vettoriali.» (Biallo, 2005. pp. 14-16 *passim*).

**6 Riflessioni conclusive**

La porzione denominata 'Componenti e funzionalità di un GIS' ha occupato una parte inevitabilmente cospicua delle ore, dando inizialmente la sensazione di essere troppo tecnica e teorica. Tale impressione è, ovviamente, svanita nel passaggio dalla seconda alla terza parte del corso, tuttavia rappresenta un aspetto sul quale occorre ancora qualche riflessione (eventualmente intorno alla necessità di anticipare alcuni esempi di utilizzo pratico del *software*). I risultati ottenuti dal corso, tuttavia, consistono in gran parte nel conseguimento degli obiettivi iniziali (capire cosa siano i GIS; capire quali siano le possibili applicazioni dei GIS; comprendere il ruolo della cartografia nello studio del territorio). In aggiunta, si sono dati alcuni casi nei quali gli specializzandi hanno inserito l'argomento GIS nelle proprie Unità Didattiche, senza che ciò fosse obbligatorio. Certuni si sono limitati a fare cenni lievemente forzati, ma vanno considerati un buon risultato; altri si sono cimentati nella creazione (con *Arc Explorer*) di cartografia illustrativa, addirittura specificando, in sede di esame finale, di averlo fatto poiché non si trovavano materiali soddisfacenti né sui testi né su *web*.

**BIBLIOGRAFIA**

Anderson J. R., Hardy E. E., Roach J. T. and Witmer R. E. (1976), *A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data*, U.S. Geological Survey, Professional Paper 964, U.S. G.P.O, (Washington D. C.), Reston (VA).

*Atlante Zanichelli 2008*, Zanichelli, Bologna.

Bellezza G. (1989), *Il Grid System degli Stati Uniti d'America: presupposti storici e conseguenze geografiche*, Semestrale di Studi e ricerche di geografia, Università degli Studi di Roma La Sapienza.

Biallo G. (2005), *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*, MondoGIS, Roma.

Bonomo A. (2007), "Un'importante disciplina trasversale", in *La Cartografia*, V-15, pp. 4-5.

Borruso G. (2007), "Gli stumenti di informazione geografica nella didattica della cartografia", in *Bollettino Associazione Italiana Cartografia*, 129-130-131, pp. 115-130.

Boscaini M. (2007), "I GIS Open Source nella didattica", in *Bollettino Associazione Italiana Cartografia*, 129-130-131, pp. 131-137.

Calandra L. M. (2007), "Il sapere cartografico al cuore del processo di apprendimento e formazione nella scuola primaria e secondaria", in *Bollettino Associazione Italiana Cartografia*, 129-130-131, pp. 191-207.

Caldo C. (1987), *Geografia culturale degli Stati Uniti*, Tirrenia stampatori, Torino.

*Calendario Atlante De Agostini 2008*, Istituto Geografico De Agostini, Novara.

Candura A. R. (2005), "Utilizzo del free GIS nella didattica: possibili applicazioni del CLC", in *Bollettino Associazione Italiana Cartografia*, 123-124-125, pp. 361-370.

Candura A. R. (2007a), "Considerazioni sull'utilizzo dei GIS nella didattica della geografia umana", in *Atti 10a Conferenza Italiana UtentiESRI*, Roma, pp. 1-5.

Candura A. R. (2007b), "La penalizzazione degli studi cartografici: conseguenze sulla conoscenza del Pianeta da parte degli studenti", in *Bollettino Associazione Italiana Cartografia*, 129-130-131, pp. 165-173.

Candura A. R. (2008), "Uso del suolo a Denver: alcuni shapefile ad uso didattico", in *Atti 11a Conferenza Italiana UtentiESRI*, Roma.

Castrignanò A., Consorti V., Fano M., Fondelli M., Lopez R., Malagoli P., Mogorovich P., Rossi M., Rumor M. e Surace L. (2004), *L'evoluzione della Geografia dalla carta geografica al digitale in nove passi descritti dai maggiori esperti del settore*, MondoGIS, Roma.

Cavicchi C. (1925), *Elementi di Cartografia* (fasc. 2° - Cenno storico – 2 voll. *testo – figure*), (rist. anastatica) IGM – Scuola pratica di topografia, Firenze.

Corna Pellegrini G. (1982), "Cartografia e geografia: un rapporto in evoluzione", in *Bollettino Società Geografica Italiana*,10-12, pp. 565-576.

De Blij H. J. e Murphy A. B. (2002), *Geografia umana. Cultura, società, spazio*, II ed. it., Zanichelli, Bologna.

Farnocchia Petri F. e Manzi E. (1991), *L'America anglosassone*, UTET, Torino.

Fraser Hart J. (ed by) (1972), *Regions of the United States*, Harper & Row, Publishers, New York (NY); ed. it. (trad. S. Bueno) (1978) *Geografia degli Stati Uniti*, Franco Angeli, Milano.

Gomarasca M. (2004), *Elementi di geomatica*, AIT, Artestampa, Varese.

Guaran A. (2007), *Geografia in laboratorio*, Forum Editrice Universitaria Udinese, Udine.

Land Use and Land Cover (LULC) Study Group – Subcommittee of the NYS GIS Standards and Data Coordination Work Group (2003), *Land Use and Land Cover Summary Report And Recommendations*, LULC, New York (NY).

Loveland T.R., Merchant J.W., Brown J.F., Ohlen D.O., Reed B.C., Olson P. and Hutchinson J. (1995), *Map Supplement: Seasonal Land-Cover Regions of the United States*, Annals of the Association of American Geographers, Blackwell Publishers, Cambridge (ME), pp. 339-355.

Meinig D.W., "American Wests: Preface to a Geographical Interpretation", in J. Fraser Hart (1972), pp. 23-65.

Miller C. (ed. by) (2003), *The Atlas of United States and Canadian Environmental History*, Routledge, New York (NY).

Mitchell W. B., Guptill S. C., Anderson K. E., Fegeas R. G. and Hallam C. A. (1977), *GIRAS--A Geographic Information and Analysis System for Handling Land Use and Land Cover Data*, U.S. Geological Survey, Professional Paper 1059, U.S. G.P.O, (Washington D. C.), Reston (VA).

National Geographic S. (1990), *Viaggio in USA. America da scoprire*, TCI, Milano.

Rand Mc Nally (2007), *Road Atlas*, Rand Mc Nally & Company, Chicago (IL).

Rooney J.F., Zelinsky D.R., Louder J. et al (1982), *This Remarkable Continent. An Atlas of United States an Canadian Society and Cultures*, The Society for the North American Cultural Survey, Texas A&M University Press, College Station (TX).

Scott V. (ed. by) (2003), *Tooley's Dictionary of Mapmakers* K-P, Early World Press, Riverside (CT).

Tomlinson R.F. (1967), *An introduction to the Geographic Information System of the Canada Land Inventory*, Department of Forestry and Rural Development, Ottawa (Canada).

U.S. Census Bureau (2000), *Census 2000 Urbanized Area and Urban Cluster Information*.

U.S. Census Bureau (2006), *State and Metropolitan Area Data Book*.

Vianello G. (2007), "Strumenti per insegnare il territorio", in *La cartografia*, Firenze, 13, pp. 34-46.

Zandomeneghi M. E. e Zampieri C. (2007), "Cartografia per la didattica e didattica per la cartografia", in *Bollettino Associazione Italiana Cartografia*, 129-130-131, pp. 175-183.

# REPERTORIO NAZIONALE DEI DATI TERRITORIALI: UN PONTE VERSO L'EUROPA

Elettra CAPPADOZZI (*), Gabriele CIASULLO (*),
Daniele GENTILI (*), Antonio ROTUNDO (*)

(*) CNIPA - Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione,
Via Isonzo 21/B 00198 ROMA, tel. 06/85264285, e-mail: cappadozzi@cnipa.it, ciasullo@cnipa.it,
daniele.gentili@cnipa.it, antonio.rotundo@cnipa.it

**Riassunto**
In Italia, come in tutta Europa, si avverte sempre più la necessità di favorire l'interoperabilità nel campo dell'informazione geografica promuovendo l'armonizzazione, l'accesso e il riuso del vasto patrimonio di dati territoriali prodotti e/o gestiti dalla PA, anche in virtù del ruolo strategico che essi rivestono nella gestione e nel governo del territorio. Per rispondere a queste esigenze, l'art. 59 del Codice dell'Amministrazione Digitale ha istituito il "Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni" e, presso il CNIPA, il "Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali". L'articolo illustra le finalità, il funzionamento e lo stato dell'arte del Repertorio, evidenziando la sua rilevanza strategica all'interno dell'infrastruttura italiana per l'informazione territoriale nel contesto della Direttiva INSPIRE.

**Abstract**
In Italy, as in Europe, there is an increasing need to promote interoperability in the field of geographic information developing harmonization, access, sharing and re-use of spatial data produced and/or processed by the public sector bodies, given the strategic role that these data play in the planning and governance of the territory. In order to meet these needs, the Digital Administration Code, at the art. 59, established the "Committee for technical rules on geographic information of Public Administrations" and the "Spatial Data National Catalogue" that is operated by CNIPA. The paper describes the aims, the organizational and technological aspects and the state of play of the Catalogue, highlighting its strategic importance within the Italian Infrastructure for Spatial Information in the context of the INSPIRE Directive.

## Il contesto

Negli ultimi anni la Pubblica Amministrazione italiana ha maturato la consapevolezza della necessità di promuovere politiche per facilitare la collaborazione tra i diversi livelli amministrativi che, attraverso l'utilizzo dell'ICT, potessero consentire l'integrazione e la condivisione delle basi informative delle stesse amministrazioni.
Il CAD - Codice dell'Amministrazione Digitale (D. Lgs. n. 82 del 7 marzo 2005 e s.m.i.) - è il principale strumento normativo per l'introduzione sistematica dell'*e-government* tra le amministrazioni italiane e per rispondere così alle esigenze sopra riportate. Il CAD consolida quindi il contesto di riferimento per realizzare il Sistema Pubblico di Connettività, inteso come "*l'insieme di infrastrutture tecnologiche e di regole tecniche, per lo sviluppo, la condivisione, l'integrazione e la diffusione del patrimonio informativo e dei dati della pubblica amministrazione, necessarie per assicurare l'interoperabilità di base ed evoluta e la cooperazione applicativa dei sistemi informatici e dei flus-*

*si informativi, garantendo la sicurezza, la riservatezza delle informazioni, nonché la salvaguardia e l'autonomia del patrimonio informativo di ciascuna pubblica amministrazione"* (art. 73 CAD).
Nell'ambito più generale dei dati pubblici, è da rilevare come le Amministrazioni, a tutti i livelli di governo (centrale, regionale e locale), nell'ambito dei propri procedimenti, acquisiscono e trattano in modo sistematico molteplici dati di natura geografica, poiché essi sono fondamentali in tutte le attività di pianificazione e gestione del territorio, nella gestione delle infrastrutture e dei trasporti o nella gestione dell'imposizione fiscale collegata agli immobili. I dati territoriali, oltre a consentire lo sviluppo di nuovi servizi, concorrono a formare decisioni utili per lo sviluppo di quasi tutte le attività economiche. Non meno importanti sono gli aspetti di trasparenza e democrazia che derivano dalla possibilità di conoscere gli elementi fondamentali del territorio con il quale, come cittadini, si interagisce.
Negli ultimi anni le amministrazioni hanno notevolmente sviluppato i sistemi per la gestione dei propri dati territoriali, mentre ora l'azione è orientata a rendere tale patrimonio informativo accessibile e disponibile in modo generalizzato. La complessità dei dati territoriali è sicuramente un fattore critico che rallenta tale processo, a partire dai costi elevati che sono richiesti per acquisirli e per realizzare complessi sistemi di fruizione. Inoltre, dati, anche simili, ma trattati da amministrazioni diverse (ad esempio: carte tecniche, piani regolatori, carte di vincolo), spesso sono disomogenei per contenuto, precisione, formati e documentazione; infine i potenziali utenti (comuni cittadini, piccole imprese, professionisti ed anche enti locali di piccole dimensioni) spesso non sanno bene a chi rivolgersi o come interpretare i dati ricevuti.
Rispetto a tali problematiche il CAD , all'art. 59, ha istituito il "Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni" (in seguito indicato come "Comitato") e il "Repertorio nazionale dei dati territoriali" (per brevità in seguito indicato come "Repertorio").
Negli stessi anni in cui in Italia si definisce il quadro normativo, organizzativo e tecnologico sopra accennato, anche in Europa si avverte la necessità di favorire l'interoperabilità nel settore promuovendo l'armonizzazione, l'accesso e il riuso dei dati prodotti e/o gestiti dalle amministrazioni pubbliche. Ai dati territoriali si applicano, infatti, la Direttiva 2007/2/CE – INSPIRE relativa alla costituzione di una infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea e la Direttiva 2003/98/CE sul riuso dei dati pubblici. Infine, nello stesso periodo, a livello internazionale ed europeo, si consolida la standardizzazione dell'informazione geografica (ISO e CEN).
A fronte, quindi, di una situazione in cui prevale la mancanza di armonizzazione, la duplicazione delle informazioni e significative lacune nella disponibilità e nella condivisione dei dati, si evidenzia, in questi anni, un crescente impegno, da parte della PA, nel facilitare l'identificazione, l'accesso e l'utilizzo dei dati disponibili.

**I metadati per l'informazione geografica**
La maggiore consapevolezza dell'importanza dell'informazione geografica, la crescente disponibilità di dati in formato digitale e lo sviluppo dell'ICT, consentono di ampliare l'utilizzo dei dati territoriali ad una platea di utenti sempre più estesa. Ma, come affermato al punto (15) del preambolo della Direttiva INSPIRE, un ostacolo decisivo allo sfruttamento ottimale dei dati disponibili è rappresentato dal tempo e dalle risorse necessarie a ricercare i dati territoriali esistenti ed a decidere se possano essere utilizzati per una finalità particolare. E' stato quindi necessario standardizzare un modello per descrivere le caratteristiche dei dati geografici in modo da consentirne l'utilizzo anche da parte di soggetti diversi da chi li ha originariamente prodotti.
Lo Standard ISO 19115:2003 (*Geographic Information – Metadata*) risponde a queste esigenze e fornisce uno schema concettuale per la descrizione dei dati territoriali attraverso i metadati. I metadati, definiti da ISO come "informazioni sui dati", permettono di descrivere un "set" di dati in modo che un utente possa conoscerne le caratteristiche e valutare se rispondono alle proprie esigenze di utilizzo.
I metadati rappresentano uno dei componenti principali dell'infrastruttura per l'informazione territoriale che la direttiva INSPIRE ha l'obiettivo di realizzare. La Direttiva dispone, infatti, che gli

Stati Membri garantiscano che siano creati ed aggiornati i metadati per i dati territoriali che rientrano nelle categorie tematiche elencate negli allegati. In attuazione della direttiva sono state elaborate delle disposizioni (*Implementing Rules*) che definiscono a livello europeo un insieme di metadati comune, come sottoinsieme dei metadati previsti dal citato standard ISO 19115.

**Finalità del Repertorio**

Come già evidenziato, il CAD dedica un apposito articolo (art. 59) ai dati territoriali, con il quale si stabilisce che, presso il CNIPA, è istituito il "Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali". Lo stesso articolo delinea che la finalità del Repertorio è quella di "*agevolare la pubblicità dei dati di interesse generale, disponibili presso le pubbliche amministrazioni a livello nazionale, regionale e locale*".
Nell'ambito del Comitato è in via di completamento la proposta per lo schema di DPCM previsto dall'art. 59 del CAD per regolamentare il contenuto, il popolamento e il funzionamento del Repertorio. In tale proposta il Repertorio si configura come un catalogo di metadati basato sugli Standard ISO 19115:2003, 19119:2005 e 19139:2007, coerente con la Direttiva INSPIRE ed in particolare con le *Implementing Rules* relative ai metadati. Negli allegati sono definiti l'elenco dei dati di interesse generale, che le amministrazioni sono tenute a documentare, l'insieme dei metadati da compilare con la relativa struttura degli schemi XSD necessari per la compilazione, la trasmissione e la validazione dei metadati da pubblicare sul Repertorio.
Il Repertorio pubblica le informazioni (metadati) prodotte da ciascuna amministrazione titolare di dati territoriali, la quale, secondo la normativa vigente, resta pienamente responsabile in merito alla gestione ed al riuso dei propri dati, compresi vincoli e costi applicati. Può essere utilizzato all'interno della amministrazione pubblica per facilitare la realizzazione di servizi che richiedono l'integrazione di dati di competenza di più amministrazioni e per agevolare la cooperazione nel programmare l'acquisizione di nuovi dati, razionalizzandone i costi. Ma costituisce anche uno strumento utile per la valorizzazione ed il riuso dei dati pubblici in quanto rende ufficialmente noto, a livello nazionale, quali dati territoriali sono disponibili, quale amministrazione li rende disponibili, quali caratteristiche tecniche presentano e quali modalità di accesso sono possibili, compresi eventuali vincoli, restrizioni e costi. Il Repertorio si collega al riuso dei dati pubblici, rappresentando una concreta attuazione di quanto previsto all'art. 9 del Decreto Legislativo 36/2006 – recepimento della Direttiva 2003/98/CE - quale strumento di ricerca dei dati disponibili.

**Il progetto di realizzazione del Repertorio**

Il CNIPA, nelle more del completamento dell'iter normativo delle regole tecniche sul Repertorio, ha avviato la realizzazione di un primo nucleo di funzionalità, condividendo il progetto con le principali Amministrazioni centrali, le Regioni, ANCI, UPI e UNCEM.
Il Repertorio supporta due macro-processi fondamentali:

- la raccolta dei metadati predisposti delle amministrazioni pubbliche abilitate, con la conseguente validazione e pubblicazione nel Repertorio nazionale;
- la consultazione dei metadati dei dati geografici di interesse generale di tutte le amministrazioni pubbliche, accessibile a tutti (amministrazioni, cittadini, professionisti, associazioni ed imprese).

I metadati sono prodotti dalle singole Amministrazioni responsabili dei dati e servizi, che possono effettuare le operazioni di modifica, aggiornamento e cancellazione dei metadati stessi inviando dei file XML conformi agli schemi XSD indicati nel DPCM in via di definizione. La trasmissione dei metadati avviene in modalità di cooperazione applicativa attraverso SPC. Ciò consente la piena autonomia di ciascuna amministrazione nella gestione di propri cataloghi locali. Per le Amministrazioni che non dispongono dell'infrastruttura necessaria per gestire un proprio catalogo o che non sono in grado di operare in modalità di cooperazione applicativa è stato sviluppato un modulo per la gestione dei metadati, che consente, previa autenticazione, di disporre di un'area riservata accessibile dal portale del Repertorio.

Il CNIPA, attraverso un pannello di controllo, provvede alla convalida di tutti i metadati ricevuti per la loro pubblicazione finale nel Repertorio Nazionale. I controlli del CNIPA si limitano ad una verifica di completezza e di coerenza dei file inviati dalle amministrazioni, che restano le uniche responsabili del contenuto pubblicato. Una volta pubblicati nel Repertorio Nazionale i metadati sono disponibili per la consultazione.
Il portale può essere consultato in modalità accessibile con semplici maschere alfanumeriche oppure in modalità estesa, con l'utilizzo anche di un navigatore geografico. La figura seguente illustra il processo di alimentazione e pubblicazione del Repertorio.

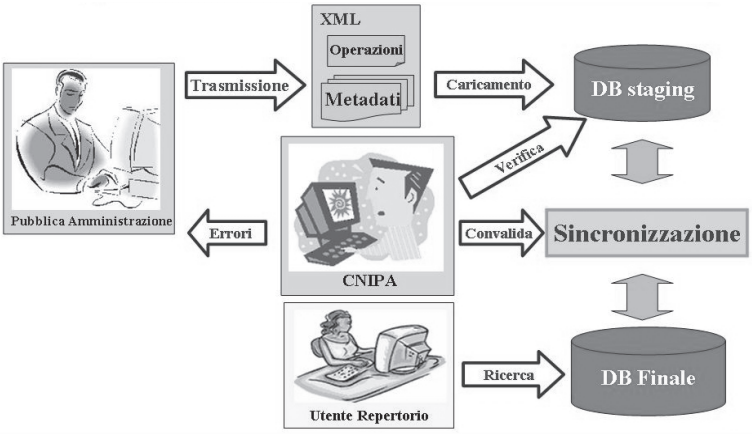



*Figura 1 – Processo di alimentazione e pubblicazione delRepertorio*

**Caratteristiche tecniche**
L'applicazione è strutturata in moduli logico-contettuali realizzati su una architettura multi-livello che prevede due *stack* tecnologici diversi ma interconnessi tra loro mediante il *client* che ne utilizza di volta in volta le varie funzionalità. Il componente *client* è costituito da due moduli interoperabili: uno geografico, basato su Ka-map, che si occupa di gestire l'accesso alla componente GIS del Repertorio ed uno alfanumerico che accede ai metadati alfanumerici veri e propri.
Tutto il sistema del Repertorio è realizzato con tecnologia e prodotti ***open-source***.
La gestione dei dati viene effettuata utilizzando il DBMS relazionale PostgreSQL con l'estensione PostGIS. Sono gestiti due database distinti: uno (DB geografico) in cui sono memorizzati gli oggetti geografici e uno in cui sono memorizzati i metadati (DB metadati). Quest'ultimo, a sua volta, è suddiviso due partizioni: una (db *staging*) in cui sono contenuti i metadati pervenuti dalle amministrazioni in attesa di validazione e l'altra (db finale)in cui sono memorizzati i metadati del Repertorio "pubblicati" e accessibili a tutti. Per gestire la rappresentazione e il mantenimento della complessa struttura dei dati (85 tabelle per ciascun schema nel db metadati) del RDBMS, mediante un sistema di oggetti java, è stata utilizzata la piattaforma *open source* Hibernate.
Il *server* geografico è il componente che si occupa della costruzione delle mappe a partire dai dati di base, in relazione a specifiche *query* geografiche che vengono richieste al *server*. I dati alla base delle mappe restituite possono provenire dal DB Geografico locale, gestito dal CNIPA, oppure mediante accesso WMS o WFS da *server* remoti messi a disposizioni da altre amministrazioni.
L'implementazione di questo livello è basata su MapServer configurato per accettare richieste di accesso WMS e per effettuare richieste sia WMS che WFS.
Le funzioni ad alto livello (*identify*, ricerca toponimi, …) di interrogazione della banca dati geografica sono implementate mediante *script* PHP richiamati dal *client* di navigazione.

Le funzioni di interrogazione e gestioni dei metadati (dati alfanumerici) sono implementate attraverso servizi web richiamati dal *client* di navigazione.

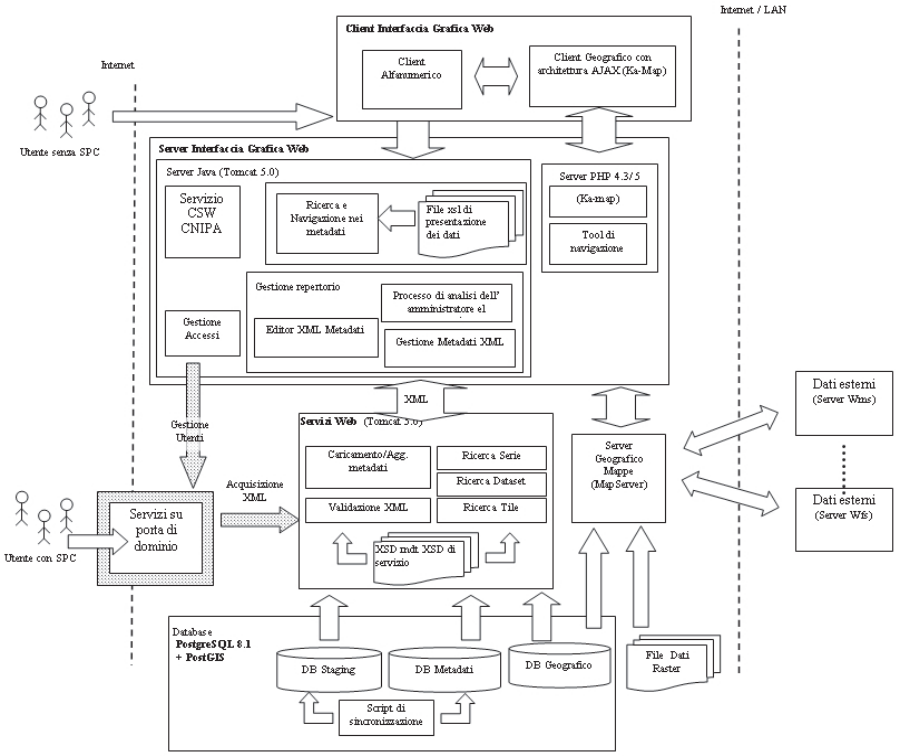



*Figura 2 – Architettura del Repertorio*

**Attività in corso e sviluppi futuri**

Attualmente il nucleo principale del portale è in fase di test ed è accessibile ad un numero ristretto di amministrazioni ed utenti che partecipano alla sperimentazione.

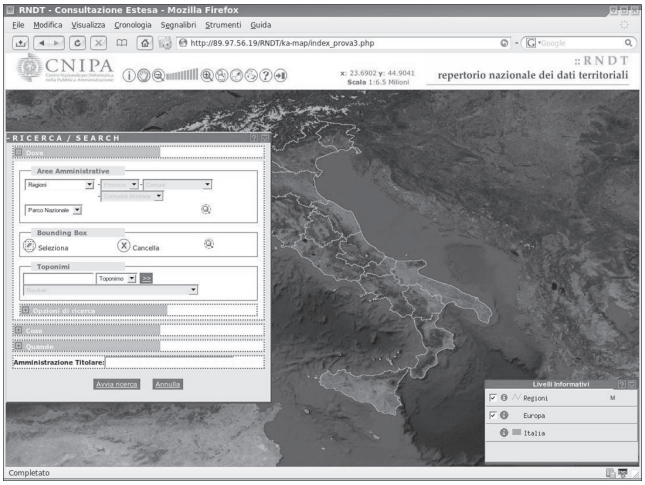



*Figura 3 – Portale del Repertorio*

E' attiva la collaborazione con diverse regioni, tra cui Lombardia, Toscana, Puglia, Umbria, Campania, Sicilia, l'Agenzia del Territorio e l'Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura.
E' previsto lo sviluppo delle funzioni per utilizzare il Repertorio anche per accedere in visualizzazione ai dati delle Amministrazioni, secondo le specifiche di INSPIRE. In relazione a ciò, è in corso l'implementazione dei servizi di catalogo secondo lo Standard OGC (CSW - *Catalog Service Web*) propedeutica alla realizzazione dei servizi di *discovery* previsti dalle *Implementing Rules* relative ai *network services*, attualmente in versione *draft*. A tale riguardo, il CNIPA, in qualità di LMO (*Legal Mandated Organization*), è attivo nel processo di condivisione delle attività europee, nelle diverse fasi di revisione delle specifiche.
Considerate le finalità del Repertorio e la molteplicità delle amministrazioni coinvolte nella produzione di dati geografici, esso può rappresentare una componente importante dell'infrastruttura nazionale dei dati territoriali prevista dalla Direttiva INSPIRE, potendo semplificare sia le prescrizioni per le amministrazioni italiane che gli aspetti organizzativi di chi raccoglie i metadati per la loro pubblicazione sul geo-portale europeo.
I metadati previsti da INSPIRE sono un sottoinsieme rispetto ai metadati che si prevede di pubblicare sul Repertorio. Con la pubblicazione dei metadati nel Repertorio le amministrazioni italiane potrebbero ottemperare contemporaneamente anche agli obblighi derivanti da INSPIRE, purché il Repertorio provveda contestualmente all'inoltro dei metadati al geo-portale europeo.
Dal punto di vista tecnologico il portale del Repertorio potrà offrire a livello nazionale un servizio di *discovery*, in conformità con le regole tecniche di INSPIRE, e potrà assicurare anche un servizio di "*linking*" ai servizi delle singole Amministrazioni.
In questo modo, a regime, il Repertorio potrà veicolare la disponibilità delle informazioni sui dati territoriali e relativi servizi di tutte le Pubbliche Amministrazioni italiane, per favorirne l'accesso e l'utilizzo non solo in un dominio nazionale ma anche come interfaccia per rappresentare un "*accesso agevole ai pertinenti set di dati territoriali ed ai servizi ad essi relativi*" e "*favorire l'integrazione delle infrastrutture nazionali nell'INSPIRE*".

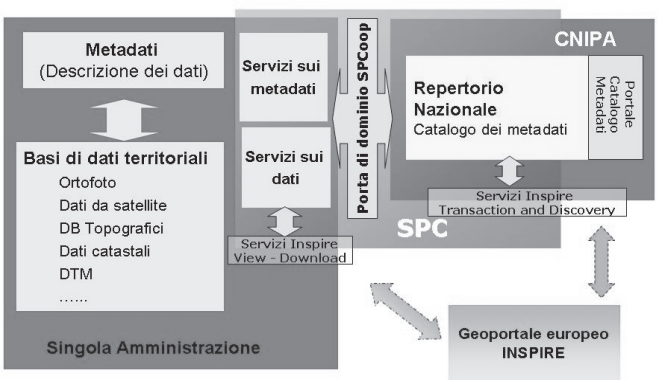



*Figura 4 – Il Repertorio in una ipotesi di infrastruttura nazionale*

**Riferimenti bibliografici**

CNIPA (2006), *Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali - Linee guida per l'applicazione dello Standard ISO 19115:2003*
Decreto Legislativo 7 marzo 2005 n. 82 e s.m.i., *Codice dell'Amministrazione Digitale*
*Direttiva 2007/2/CE* del Parlamento Europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L108 del 25/04/2007
ISO/TC 211 (2003), *Standard 19115 Geographic Information - Metadata*
ISO/TC 211 (2005), *Standard 19119 Geographic Information - Services*

# IMPLEMENTAZIONE DELLE SPECIFICHE NAZIONALI SUI DATABASE TOPOGRAFICI - L'ESPERIENZA NELL'AMBITO DEL PROGETTO PR5SIT -

Elettra CAPPADOZZI (*), Leonardo DONNALOIA (*),
Maria Paola BONOFIGLIO, Fabrizio CADONI

(*) CNIPA - Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione,
Via Isonzo 21/B 00198 ROMA, tel. 06/85264732,
e-mail: cappadozzi@cnipa.it, leonardo.donnaloia@cnipa.it

**Sommario**
Le regioni rappresentano, nel contesto italiano, i soggetti di riferimento per la produzione dei dati topografici, finora connessi alla produzione della cartografia tecnica regionale, sempre più nel prossimo futuro, integrati con la realizzazione e la gestione di Data Base topografici(DB topografici). A partire dalle specifiche inizialmente definite in ambito IntesaGIS[1], ci si trova attualmente in una fase avanzata di implementazione dei Data Base topografici presso gran parte delle regioni.
Il passaggio dal modello concettuale, definito nelle citate specifiche IntesaGIS, alla realizzazione dei DB topografici ha richiesto una serie di attente valutazioni per ottenere dei dati prodotti a livello regionale coerenti con le esigenze di una pluralità di soggetti e di servizi plurilivello (locale, regionale e nazionale). Si riporta l'esperienza del CNIPA maturata nell'ambito del progetto "Servizi Informativi Integrati per la gestione del Territorio" (PR5SIT).

**Abstract**
The Regions are the main bodies involved in the production of topographical data so far related to the Regional Technical Maps, but increasingly integrated with the implementation and management of the topographical databases. Currently, most of the regions are making their topographical databases based on technical specifications defined by IntesaGIS[1]. The transition from the conceptual model defined in IntesaGIS specifications towards the implementation of the topographical databases has required a series of careful evaluations to obtain data, produced at regional level, compliant with the needs of a wide number of bodies and multi-level services (local, regional and national). This paper describes the experience of CNIPA about the project "Integrated Information Services for the management of the Territory" (PR5SIT).

## Il progetto Pr5SIT e l'azione del CNIPA

Il progetto "Estensione dei Servizi Informativi integrati per la gestione del Territorio", compreso nel programma "Larga Banda" finanziato dal CIPE con delibera 17/2003, ha l'obiettivo di incrementare la capacità di governo del territorio e di migliorare il rapporto su tematiche ambientali verso il mondo civile nelle regioni del mezzogiorno, attraverso la realizzazione di una infrastruttura di dati e servizi, che serve per gestire, elaborare e diffondere informazioni georiferite. La competenza sul progetto è stata affidata al CNIPA, che assicura funzioni di indirizzo, coordinamento e supporto[2] mentre la realizzazione materiale è di responsabilità delle regioni Abruzzo, Calabria, Campania, Molise, Puglia, Sardegna e Sicilia mediante interventi inseriti nei rispettivi Accordi di Programma Quadro per la Società dell'Informazione(APQ-SI). Il progetto ha un finanziamento CIPE di circa 32Meuro ed un cofinanziamento regionale di circa 35Meuro.

Il progetto è attuato nelle diverse regioni con modalità differenti che derivano dalla specifica situazione di partenza e dalle priorità di intervento nei diversi territori. L'impostazione del progetto

è, tuttavia, comune a tutte le regioni e prevede la realizzazione di tre moduli. Il primo riguarda l'attivazione di un "centro tematico" e comprende l'eventuale adeguamento delle infrastrutture esistenti, sia hardware che software, necessarie per l'erogazione dei servizi e la gestione delle basi dati territoriali. Il secondo modulo riguarda la costruzione di una Banca Dati Territoriale Integrata (DBTI) coerente per contenuti e standardizzata a livello nazionale, a partire dalle specifiche IntesaGIS. Il terzo modulo costituisce il fine ultimo del progetto, ovvero la realizzazione di servizi basati sul dato territoriale a favore delle Amministrazioni centrali e locali, nonché delle imprese e dei professionisti e non ultimi dei cittadini.

Il CNIPA sin dall'inizio ha svolto un ruolo di indirizzo e coordinamento del progetto fornendo, attraverso il documento "Linee guida e programma generale dell'intervento"[3] il quadro di riferimento per la realizzazione degli interventi delle singole regioni. Nel periodo giugno 2004 - maggio 2005 è stata effettuata una rilevazione dei dati, dei servizi e delle iniziative allora esistenti, sulla cui base è stato definito, in stretta collaborazione con le regioni coinvolte, il suindicato programma generale e, successivamente, è stata curata l'armonizzazione dei moduli di intervento inseriti negli APQ-SI delle singole regioni. I principi ispiratori del progetto si riferiscono essenzialmente alla non duplicazione e all'armonizzazione dei dati in coerenza con la direttiva europea INSPIRE[4]. Nella fase realizzativa il CNIPA ha collaborato sempre più strettamente con le regioni, attraverso un gruppo tecnico dedicato, coadiuvando la stesura dei capitolati di gara, la produzione della documentazione tecnica a supporto delle realizzazioni e curando l'approfondimento di aspetti tecnici di interesse generale.
A compendio delle attività di coordinamento, il CNIPA ha rappresentato l'anello di congiunzione tra le regioni e le amministrazioni e istituzioni centrali, facendosi promotore di tavoli di confronto con l'Istituto Geografico Militare, l'Agenzia del Territorio, l'AGEA, il Ministero dell'Infrastrutture, il dipartimento di Protezione Civile, l'ANAS, il CNR, ecc.

**La realizzazione dei database territoriali integrati delle regioni**
La costruzione dei database territoriali integrati (DBTI) a partire dal modello concettuale definito nelle specifiche IntesaGIS non è stata immediata. In nessuno dei casi esaminati si è proceduto alla realizzazione del DBTI a partire da un primo impianto per via aerofotogrammetrica. E' stato quindi necessario definire un modello logico che tenesse conto del fatto che il dato è ricavato per conversione da forniture destinate alla produzione di una carta tecnica numerica(CTRN), più o meno ricca di particolari, spesso già esistente presso l'ente. La definizione del modello fisico dei singoli DBTI è stata effettuata autonomamente da ciascuna Regione, tenuto conto dei diversi ambienti tecnologici nonché della specificità dei contenuti informativi.
La Regione Puglia è intervenuta con l'aggiornamento della CTRN su tutto il territorio regionale mirando contemporaneamente all'integrazione delle informazioni mancanti per la realizzazione del DB topografico secondo il modello IntesaGIS. Approccio simile è stato seguito dalla Regione Calabria che ha previsto di completare la carta tecnica CTRN sulle porzioni di territorio che non erano ancora coperte da cartografia, realizzando su queste aree anche le classi del DB topografico, prevedendo un aggiornamento delle restanti aree. Analogo orientamento hanno seguito anche le Regioni Abruzzo e Campania.
La Regione Sardegna, che aveva già realizzato un DB topografico regionale con un precedente intervento, ha convogliato la propria iniziativa allo sviluppo del sistema informativo territoriale prevedendo l'estensione dei servizi esistenti alle comunità locali e sviluppandone dei nuovi a favore di enti pubblici, imprese, cittadini.
La Regione Sicilia ha progettato di implementare nel proprio DB topografico solo alcuni strati della CTRN dando però spazio ad un approccio integrato sviluppando ad esempio un sistema unico per la gestione integrata di viabilità, mobilità, trasporti e catasto strade.
La Regione Molise ha previsto la realizzazione del proprio DB topografico a partire da una pluralità di informazioni cartografiche esistenti in Regione, cercando di allinearsi il più possibile alle specifiche IntesaGIS.

**Dal modello concettuale al modello fisico del DB topografico**

Le specifiche IntesaGIS definiscono un modello concettuale del database topografico di interesse generale; a partire da questo riferimento è stato necessario predisporre un documento "Linee guida per la realizzazione dei Data Base Topografici nelle Regioni del progetto Pr5SIT"[5] con una serie di indicazioni sui seguenti argomenti:

- Formato di fornitura: si utilizzano shapefile e tabelle associate (per mezzo di identificativi univoci) in formato DBF;
- Struttura dei campi: viene data un'indicazione dei campi comuni a tutti gli shapefile ed alle tabelle di fornitura; insieme a questi campi di servizio, sono necessari campi che rappresentano gli attributi delle Classi delle specifiche IntesaGIS;
- Geometria associata: per ogni tipo di componente spaziale delle specifiche IntesaGIS è previsto uno o più shapefile che la implementano (esempio poligoni + archi della frontiera);
- **Insieme minimo di Classi richiesto**: è stato compilato un elenco che rappresenta l'insieme minimo di Classi richiesto nelle attività di conversione dalle CTRN alle Classi del DB topografico. Ogni Regione potrà estendere tale insieme sulla base delle proprie esigenze operative;
- Modalità di collassamento: oggetti di Classi con una o due dimensioni inferiori alla soglia di acquisizione devono essere trattati con opportune regole, che possono essere diverse per Classi distinte;
- Strutture complesse: sono indicate le modalità per la realizzazione di strutture che richiedono particolare attenzione, ad esempio:
  - Reticoli, per l'implementazione dei grafi stradale, ferroviario e idrografico. Per il grafo stradale si è deciso di connettere la viabilità principale e la viabilità mista e secondaria, pur mantenendo gli elementi di base distinti e riconoscibili,
  - Aggregati, per l'implementazione delle Classi dello STRATO 10 del 1n1007, AREE DI PERTINENZA,
  - Attributi multi valore e Classi/Componenti Spaziali costituite da composizioni di altre Classi del DBT (ad esempio ESTESA AMMINISTRATIVA);
- Metadati generali: sono indicati i metadati da riportare nel Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali[6], associati alla fornitura di dati per il DB topografico. Questi metadati, in formato XML, sono conformi a quanto riportato nelle linee guida sul repertorio[7];
- Metadati operativi: sono indicate le informazioni da gestire direttamente nel DBT che documentano l'operatività del database stesso, il cui concetto fondamentale è quello di aggiornamento continuo dell'informazione; i metadati operativi hanno proprio lo scopo di documentare questo tipo di informazione: quando è avvenuto l'aggiornamento, da chi è stato effettuato, sulla base di quale fonte di dati, ecc.;
- Verifiche di collaudo: i file di fornitura ed il DB topografico sono sottoposti a collaudo secondo le indicazioni riportate nel documento. Fra le verifiche eseguite si ricorda: la corretta rappresentazione della coordinata Z (chiusura plano-altimetrica dei poligoni), la copertura areale del territorio (oggetti poligonali mutuamente esclusivi senza soluzione di continuità), la completezza, ecc.

Il documento suindicato stabilisce delle linee guida per la realizzazione dei Data Base topografici per tutte le regioni del progetto PR5SIT. A fronte di situazioni di partenza molto eterogenee è stato necessario predisporre delle specifiche tecniche integrative per la produzione delle classi dei DB topografici e per particolareggiarne il modello logico, peculiari per ogni regione, indirizzati a chi deve materialmente strutturare il DB topografici e realizzare le procedure di conversione per il suo popolamento. Tali documenti sono partiti dall'analisi delle informazioni desumibili dalle CTRN e da altri dati disponibili presso le singole regioni. Il gruppo tecnico del CNIPA ha supportato direttamente alcune regioni nella stesura dei suddetti documenti (Puglia[8], Calabria[9]), per altre ha contribuito alla revisione (Abruzzo, Sicilia e Campania). In alcuni casi i documenti in questione sono stati utilizzati come riferimento nelle gare attuative bandite dalle regioni.

In ogni caso le indicazioni riportate nel documento "Linee guida per la realizzazione dei Data Base Topografici nelle Regioni del progetto Pr5SIT" sono state recepite nei modelli logici e fisici delle regioni consentendo di assicurare un adeguato livello di interoperabilità, attraverso opportuni formati di scambio (come ad esempio il GML, allo studio nel GdL 2 - Dati geotopografici, istituito nell'ambito del Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali[10]) e/o servizi standard (WMS, WFS), almeno per gli oggetti inclusi nell'"Insieme minimo di Classi richiesto**".**

L'esperienza maturata nella stesura delle "Linee guida per la realizzazione dei Data Base Topografici nelle Regioni del progetto Pr5SIT" da parte del CNIPA è stata propedeutica e di ausilio alle attività del gruppo di lavoro di InstesaGIS che ha prodotto il documento "Linee Guida per l'Implementazione" [1]. In tale sede è stato anche sviluppato il concetto di "Insieme minimo di Classi richiesto" ripreso nella formulazione di *National Core,* inteso come un sottoinsieme dei contenuti previsti dalle specifiche sui DB topografici, la cui realizzazione è considerata "prioritaria" e sostenibile a livello Nazionale.

**L'integrazione delle basi dati territoriali**

Le singole regioni hanno inoltre sviluppato in modo diverso il contenuto della propria base dati territoriale integrata(DBTI) a partire dal DB topografico ed integrandolo con le informazioni appartenenti ad altre banche dati.

Una delle integrazioni di carattere generale è stata, ad esempio, l'introduzione dello strato catastale, così come è stato definito con l'Agenzia del Territorio e il progetto SIGMATER[11].

Di particolare interesse sono stati gli approfondimenti relativi al grafo stradale ed al reticolo idrografico. Entrambi i temi sono ampiamente trattati nelle specifiche IntesaGIS ma sono anche oggetto di altre norme nazionali ed europee. Insieme alle regioni ed agli enti nazionali coinvolti si è cercato quindi di stabilire dei criteri di coerenza e di corretta integrazione, in modo da ridurre, per quanto possibile, la duplicazione delle informazioni e, di conseguenza, i costi per la loro acquisizione e gestione. Problemi analoghi sono presenti anche su quasi tutti gli altri temi trattati nelle specifiche IntesaGIS, ma per esigenze di brevità non si riportano in questo articolo.

**Grafo stradale** - La Regione Sicilia ha previsto di realizzare un unico grafo stradale, valido per i DB topografici e compatibile con il Catasto delle Strade[12]. La questione è stata approfondita con Anas, Provincia di Bologna e Ministero delle Infrastrutture. Il confronto ha riguardato essenzialmente la classe "Elemento Stradale" del modello IntesaGIS, assimilabile al "Livello 1" dello standard GDF. In conclusione è emerso che è sicuramente possibile, anzi auspicabile, costruire un grafo che permetta l'integrazione delle informazioni necessarie ai diversi scopi. Uno degli elementi salienti dell'analisi svolta è risultato la scelta iniziale da parte di alcune regioni di effettuare un primo popolamento del grafo stradale con l'acquisto di banche dati commerciali per sopperire alla mancanza di informazioni non direttamente derivabili dalla CTRN. Altra questione è stata la scelta di gestire il grafo in segmentazione fisica (in cui l'arco è interrotto ad ogni cambio di attributo) o dinamica (in cui le informazioni, presenti in tabelle separate, si legano all'arco rappresentativo della strada attraverso il valore progressivo, in metri, assunto a partire dal nodo iniziale di ciascun arco fino al nodo finale). Anche considerato che la segmentazione dinamica è prevista anche nelle specifiche d'implementazione del Catasto Strade, al momento la gran parte delle Regioni ha scelto un primo impianto in segmentazione fisica. Tale scelta, effettuata anche in Regione Sicilia, dove l'integrazione dei sistemi è stata voluta da più Dipartimenti regionali e dove si prevede il coinvolgimento degli Enti locali, ha trovato giustificazione nella più semplice e intuitiva interpretazione della segmentazione fisica anche da parte di operatori non esperti.

**Reticolo idrografico-** Altro elemento problematico, previsto nel DB topografico, è la realizzazione di un reticolo idrografico connesso che non è possibile definire attraverso la sola foto interpretazione, ma che richiede un'approfondita conoscenza del sistema acqua/sottosuolo per definire l'andamento dei flussi d'acqua. Le numerose questioni che ne derivano (ad es.: elementi quali le scoline sono da includere nel reticolo? Oppure l'individuazione dei bacini endoreici; o

ancora quali sono gli elementi da considerare artificiali? Ecc.), non sempre trovano soluzioni dalla corretta interpretazione delle specifiche, ma richiedono un approfondimento ad hoc. Si sottolinea che così come avviene per i reticoli stradali anche per il reticolo idrografico esistono più autorità competenti come le ARPA, le autorità di bacino e non sono da escludere i consorzi di bonifica, gli ambiti territoriali ottimali ed in generale tutti quegli enti che hanno autorità in materia di risorse idriche. Anche qui l'esigenza di non duplicare dati, ma di realizzare un reticolo unico ha spinto alcune amministrazioni operanti sullo stesso territorio ad una stretta e proficua collaborazione (come avviene tra Regione Puglia e l'Autorità di Bacino regionale). L'impegno a definire un reticolo condiviso assolve anche alla richiesta di creare i dati richiesti da INSPIRE (allegato 1 – idrografia). L'argomento è stato anche oggetto di confronto all'interno del GdL 7 – Dati Ambientali, istituito nell'ambito del Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle Pubbliche Amministrazioni[10], da cui è emersa, tra le esigenze primarie, quella di definire una semantica comune, tenendo in dovuta considerazione quanto prescritto dalla direttiva quadro in materia di acque[13].

**Conclusioni**

L'attuazione del progetto Pr5SIT consentirà di ottenere diversi risultati relativi alla produzione e gestione dei dati territoriali, tra questi si evidenzia:

- la produzione di database territoriali integrati a livello regionale conformi agli standard nazionali,
- l'interoperabilità semantica dei *database* regionali, come diretta conseguenza del punto precedente.

Proprio l'interoperabilità semantica dei *database* regionali rappresenta una delle principali motivazione del coinvolgimento del CNIPA nel progetto Pr5SIT. Un aspetto chiave dell'esperienza è stata il duplice ruolo del CNIPA che svolge uno specifico compito di indirizzo, coordinamento e supporto rispetto alle diverse regioni del progetto Pr5SIT e contemporaneamente partecipa alle attività nazionali per la definizione delle regole tecniche sui dati territoriali come membro del Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni[10], per il quale svolge anche funzioni di segreteria tecnica con compiti istruttori, di studio e di supporto tecnico scientifico.

Ciò ha consentito una puntuale mappatura tra la "vista" nazionale con le "viste locali" al fine di realizzare dei DBT, per quanto possibile omogenei e conformi alle specifiche nazionali, ma, nello stesso tempo, aderenti agli effettivi bisogni regionali. L'interazione è stata biunivoca, in quanto ha permesso di evidenziare diversi *feedback* verso il livello nazionale, al fine di ottenere delle specifiche attuabili in modo generalizzato con tempi e costi sostenibili.

In conclusione, il progetto Pr5SIT, pur con risultati differenti all'interno delle diverse regioni partecipanti, costituisce un importante esempio di come produrre dei DB topografici secondo gli standard nazionali. A margine di questa breve disamina, è opportuno evidenziare due aspetti che vanno oltre la conclusione del progetto e che, in ogni caso, costituiscono un'importante risorsa per la Pubblica Amministrazione, quali:

- crescita scientifico/professionale dei tecnici che hanno partecipato al progetto (sia a livello regionale, che nel CNIPA stesso, ed anche nelle imprese che partecipano alla realizzazione materiale degli interventi regionali);
- possibilità di riutilizzare la documentazione prodotta.

**Riferimenti**

[1] Specifiche IntesaGIS- specifiche definite nell'ambito della "Intesa sui sistemi informativi geografici in Conferenza – Stato Regioni". In particolare nell'articolo si fa riferimento alle "Specifiche per la realizzazione dei Data Base Topografici di interesse generale", costituite da:

- 1n1007_1-2 v.2006_3-3: Catalogo degli oggetti (Revisione delle specifiche di contenuto 1n1007_1 e 1n1007_2);
- 1n1007_4 v.2006_3-3: Schema in GeoUML delle specifiche di contenuto(Revisione);
- 1n1014 v.2007: Linee guida per l'implementazione;

[2] Responsabilità attribuita con decreto del 2 marzo 2004 del Ministro per l'innovazione e le tecnologie;

[3] "Linee guida e programma generale dell'intervento"- documento iniziale del progetto Pr5SIT;

[4] INSPIRE – Direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 marzo 2007, che istituisce un'Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea;

[5] "Linee guida per la realizzazione dei Data Base Topografici nelle Regioni del progetto Pr5SIT"- Allegato A;

[6] Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali, istituito con l'articolo 59, comma 2, del decreto legislativo 7 marzo 2005, n. 82, recante "Codice dell'amministrazione digitale";

[7] Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali- Linee guida per l'applicazione dello Standard ISO 19115 Geographic Information – Metadata;

[8] "Specifiche tecniche per la produzione delle Classi dei DB Topografici regionali"- documento relativo alla Regione Puglia;

[9] "Indicazioni per le corrispondenze tra CTRN 5K di nuova acquisizione e le Classi del DB Topografico, secondo le specifiche IntesaGIS" - documento relativo Regione Calabria;

[10] Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni, istituito con l'articolo 59, comma 2, del decreto legislativo 7 marzo 2005, n. 82, recante "Codice dell'amministrazione digitale", con il compito di definire le regole tecniche per la realizzazione delle basi dei dati territoriali, la documentazione, la fruibilità e lo scambio dei dati stessi tra le pubbliche amministrazioni centrali e locali in coerenza con le disposizioni del sistema pubblico di connettività. Il Comitato ha attivato diversi gruppi di lavoro, tra cui il citato GdL 2 - Dati geotopografici, che cura l'attività di revisione delle specifiche nazionali su DB topografici, oltre che la definizione del *National Core;*

[11] SIGMATER, progetto interregionale finanziato nella prima fase di attuazione del programma di e_government, informazioni sul sito www.sigmater.it;

[12] Catasto strade, previsto dal decreto legislativo del 30 aprile 1992, "Nuovo Codice della Strada"; il D.M. 1 giugno 2001 del Ministro dei lavori pubblici relativo alle "Modalità di Istituzione ed Aggiornamento del Catasto delle Strade" stabilisce le specifiche tecniche;

[13] Direttiva quadro in materia di acque 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio.

Informazioni sulle attività del Comitato per le regole tecniche e sui gruppi di lavoro correlati, e tutti i documenti sopra indicati, escluso quelli normativi, sono reperibili sul sito del CNIPA alla sezione dedicata ai sistemi informativi territoriali:
www.cnipa.gov.it/site/it-IT/Attivit%c3%a0/Sistemi_Informativi_Territoriali

# UTILIZZAZIONE DELLA RESTITUZIONE TRIDIMENSIONALE STEREOSCOPICA IN AMBIENTE GIS

M. CAPRIOLI, B. FIGORITO, A. SCOGNAMIGLIO, E. TARANTINO

Politecnico di Bari, DVT - Sezione di Geomatica
E-mail: m.caprioli@poliba.it; benedetto1980@libero.it; a.scognamiglio@poliba.it; e.tarantino@poliba.it

**Riassunto**
In questi ultimi anni, la domanda di informazione geografica tridimensionale è rapidamente cresciuta. Per alcuni campi disciplinari gli oggetti 3D risultano di grande ausilio alle analisi territoriali legate a specifiche applicazioni (studi paesaggistici, scenari di pianificazione urbana, telecomunicazioni, etc.). Le applicazioni e i software GIS inseguono questa pressante richiesta con soluzioni sempre più innovative. Produrre informazione geografica tridimensionale, con elevato livello di qualità e a costi contenuti, è la sfida dei prossimi anni.
L'informazione 3D (punti, linee e poligoni) prodotta dall'odierna restituzione fotogrammetrica è scarsamente strutturata. Inoltre, l'assenza di relazioni e di regole tra gli oggetti ne limita l'impiego nei *GeoDataBase*, riversando poi sui fruitori finali l'onere di tale implementazione.
La presente ricerca si propone di valutare le problematiche di integrazione fra prodotti e tecnologie fotogrammetriche ed ambienti GIS. L'obiettivo della sperimentazione è legato alla creazione dello schema del database topografico, estraendo in seguito l'informazione mediante l'utilizzo della visione stereoscopica. L'acquisizione dei dati 3D è stata eseguita in ambiente *ArcMap – ArcInfo 9.2,* utilizzando l'estensione *Stereo Analyst*, al fine di verificare sia l'effettiva capacità di aggiornamento diretto in stereoscopia di strati informativi che la trasformazione dal 2D al 3D degli stessi.

**Abstract**
In the last years the demand of three-dimensional geographic information is quickly raised. For some scientific fields the 3D objects are of great aid to territorial analysis connected to specific applications (landscape studies, urban planning scenarios, telecommunications, etc.). The applications and GIS software follow such pressing demand with ever innovative solutions. Producing three-dimensional geographic information with high level of quality and low costs is the challenge of the next years.
The 3D information (points, lines and polygons) produced by the today's photogrammetric plotting is scarcely structured. Moreover, the lack of relations and rules among objects restricts the use of 3D information in *GeoDataBase,* by lavishing the burden of next implementation on final users.
This research proposes the evaluation of integration among products and photogrammetric technologies and GIS environments. The aim of this experimentation is connected to the creation of topographic database schema, extracting afterwards information by means of the use of stereoscopic vision. The 3D data acquisition was executed in *ArcMap – ArcInfo 9.2* environment using the *Stereo Analyst* extension, in order to verify both the real capacity of direct information layers upgrading in stereoscopic environment and the objects transformation from 2D to 3D.

## Introduzione

Le indicazioni dell'IntesaGIS hanno dato nuovo stimolo ad alcune iniziative di carattere regionale per sostituire le cartografie numeriche tradizionali, in favore della realizzazione di Database

Topografici (DBT). L'impiego dei DBT porterà, nel giro di breve tempo, ad ulteriori richieste di prodotti e di informazioni associate, a cui il settore dell'informazione geografica non può non prestare attenzione.
In questa fase di transizione sono emerse, però, alcune delle criticità delle nuove produzioni, che necessariamente rilanciano esigenze d'ordinamento e d'indicazione a livello nazionale.
Alcuni aspetti riguardanti i DBT non sono ancora ben chiari a livello locale, tanto che si confonde il DBT con gli *shapefiles* di consegna, al pari dei vecchi *DXF* tridimensionali delle cartografie numeriche.
Rispetto alla cartografia numerica, il cui fine è la costruzione dei dati necessari per la produzione automatica della carta, e che quindi si occupa dei "segni" che devono essere rappresentati, il progetto di un DataBase Topografico definisce i contenuti e la loro organizzazione. Tale definizione riproduce "automaticamente" la carta tradizionale (es. i prodotti di cartografia numerica) e permette di aggregare gli elementi costitutivi della cartografia numerica in oggetti presenti sul territorio e riferibili nel complesso delle loro componenti geometriche (es. un edificio, l'area di circolazione stradale di una strada con un suo toponimo, una diga, il territorio di un dato comune, ecc.).
Non tutto il DBT può essere consegnato in fornitura, ma si deve prevedere sia una fase di lavoro comune con la committenza, nella quale il file di consegna viene "caricato", che una fase di lavoro della stazione appaltante per l'integrazione con i dati esistenti. A maggior ragione, non si può distinguere fra fornitura ed aggiornamento se si parla di DBT. Occorrono, quindi, nuove forme contrattuali per gli appalti o addirittura nuove forme di organizzazione dell'informazione geografica (fornitura e gestione) per un determinato territorio.
Il nodo della questione è che i file di consegna dovrebbero a loro volta uscire da un DBT (non da file di restituzione editati), per realizzare una fornitura completa e corretta. Ciò richiederebbe alle ditte produttrici di avere un loro "modello" da cui derivare il DBT. In fase di produzione si dovrebbe allora mirare alla creazione di file di consegna senza errori e/o incongruenze che ne possano pregiudicare l'utilizzo finale (Guzzetti et al., 2005).
L'estrazione di dati geografici è quindi di fondamentale importanza per la creazione e l'aggiornamento di un database topografico (DBT). Dati poco accurati o obsoleti, conducono ovviamente ad informazioni che non riflettono la realtà.
Tra gli approcci tradizionali la restituzione stereoscopica rimane l'unica e affidabile metodologia per ottenere informazioni di ottima qualità.
L'uso delle tecniche di *direct georeferencing* (sensori GPS/INS), consentendo di eliminare il lavoro topografico a terra dal processo fotogrammetrico, con un conseguente risparmio di tempo e di costi, rende la aerofotogrammetria digitale di interesse sia in termini economici che di tempi di produzione. La convenienza dell'uso del *direct georeferencing* in alcuni casi va oltre il fatto economico, come ad esempio nelle situazioni di emergenza ambientali o nel rilevo di zone inospitali (Galetto et al., 2001).
L'odierna restituzione aerofotogrammetrica, però, produce un'informazione 3D (punti, linee e poligoni) scarsamente strutturata. L'assenza di relazioni e di regole tra gli oggetti ne limita l'impiego nei database topografici, riversando poi sui fruitori finali l'onere di tale implementazione.
La situazione tipica che si riscontra nella pratica vede, da un lato, strumenti software di fotointerpretazione e di acquisizione per via aerofotogrammetrica che appartengono alla categoria dei "CAD" specializzati e, dall'altro, la messa a punto della topologia che avviene nella fase successiva all'*editing* con software GIS. Questa caratteristica del processo produttivo comporta un iter di produzione lungo e laborioso con risultati discutibili.
La presente ricerca si propone di valutare le problematiche di integrazione fra prodotti e tecnologie fotogrammetriche ed ambienti GIS. L'obiettivo ricercato consiste nel creare in un primo momento il database topografico (strati, temi, classi), con la sua topologia, e in seguito estrarre tutte le informazioni, utilizzando la visione stereoscopica tridimensionale.
Si tratta quindi di sfruttare meglio i codici della Cartografia Numerica durante la restituzione fotogrammetrica, in cui il modello virtuale tridimensionale è disponibile per l'operatore non solo

per ricavare le coordinate 3D ma anche per inserire nel GDB (*GeoDataBase*) le classi e le regole topologiche delle entità geografiche.

**Obiettivi della sperimentazione**

Nel presente lavoro sono state valutate alcune applicazioni software che, perfettamente integrate in ambiente GIS, consentono di accedere, visualizzare in stereoscopia ed aggiornare database topografici, direttamente in sovrapposizione alle coppie stereoscopiche di immagini aeree e/o satellitari, rivelando errori, omissioni, cambiamenti naturali e antropici, etc.

Tali applicazioni software facilitano anche, in un accurato ambiente di visualizzazione stereoscopica, l'aggiornamento di *features* vettoriali, trasformando in 3D i tradizionali database topografici 2D. L'efficienza del sistema garantisce l'accuratezza spaziale delle *features* sia in fase di restituzione sia in fase di controllo del prodotto cartografico finale.

A tale fine, sono state esaminate le possibilità offerte dagli applicativi software di:

- visualizzare dinamicamente i dati vettoriali in stereoscopia 3D,
- estrarre gli attributi posizionali (pendenza, altezza, etc.) in 3D,
- digitalizzare *features* vettoriali 3D,
- eseguire l'*editing* di dati 3D attraverso l'interazione diretta con il *GeoDataBase,*
- verificare l'effettiva interoperabilità del sistema.

**Dati e strumenti utilizzati**

I dati prescelti per la realizzazione del lavoro consistono in tre immagini acquisite con la *camera digitale DCM* sviluppata dalla *Intergraph Z/I,* da un altezza media di volo di 1987 metri sul livello del mare.

I parametri dell'immagine virtuale, ricostruita dal software di post-processing a partire dai 4 sensori convergenti, sono mostrati nella Tabella 1.

L'area interessata è situata a nord del comune di Bari, nella fascia compresa tra la costa e l'aeroporto cittadino. Il territorio esaminato presenta caratteristiche morfologiche pianeggianti con infrastrutture ed edifici ben distinguibili dal punto di vista altimetrico rispetto al contesto circostante (Figura 1).

| |
|---|
| Distanza focale [mm] |
| 120 |
| Dimensione del sensore [Pixel] |
| 13824 |
| 7680 |
| Dimensione del pixel [μm] |
| 12 |
| Punto principale [mm] |
| X = 0.0 |
| Y = 0.0 |

Tabella 1 - Parametri dell'immagine virtuale

Figura 1 – Area test a Nord di Bari

Tutte le operazioni sono state eseguite mediante la configurazione hardware standard richiesta dal monitor *Planar SD 2020*. Tale tecnologia utilizza due monitor LCD, un monitor in posizione tradizionale e un altro in alto, nel mezzo invece è collocata una lastra di vetro obliqua leggermente riflettente (Figura 2). Sulla lastra si riflette sia l'immagine superiore sia quella inferiore consentendo la visione stereoscopica con i tradizionali occhiali polarizzati.

Figura 2 – Monitor *Planar SD2020*

Le due coppie stereoscopiche sono state predisposte nel *block file,* impiegando il software *Leica Photogrammetry Suite (LPS) 9.2* con uno specifico strumento per l'individuazione dei *tie points* presenti nelle immagini esaminate (Figura 3).

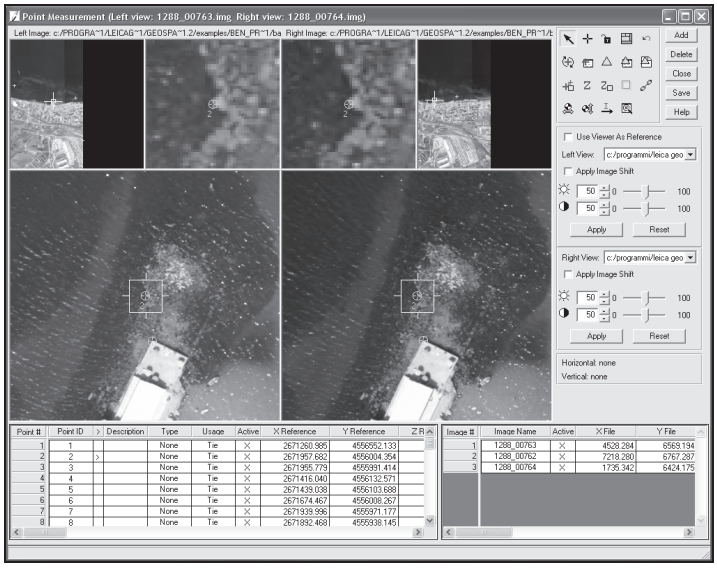



Figura 3 – *Tie point* individuati in ambiente LPS

**Applicazione e Risultati**

La fase di *editing* in ambiente GIS è stata preceduta da un attenta analisi sulla tipologia di entità da esaminare. Il concetto alla base dello studio, facendo anche riferimento alle direttive dell'Intesa-GIS, è quello di avere il minor numero di geometrie indispensabili, andando a definire l'elemento minimo di interesse per quel determinato livello e assegnandogli un carattere di multivalenza.

In questa prima fase della sperimentazione sono stati tralasciati elementi complessi, ritenendo ancora non pienamente utilizzabili oggetti come i *Multipatches* (Caprioli et al., 2007a e 2007b).

Al fine della valutazione della procedura, sono state esaminate soltanto alcune delle numerose classi definite nelle specifiche dell' Intesa-GIS, concentrando l'attenzione sul tema "Edificato" dello strato "Immobili e antropizzazioni", con le relative problematiche delle classi "Edificio"e "Cassone edilizio".

Tra gli attributi geometrici delle classi è stato necessario specificare regole topologiche che definiscano la consistenza spaziale che dovrebbe esistere tra le diverse entità. Ad esempio, tutte le entità della classe "Cassone edilizio", definita come la superficie occupata da edificato senza soluzione di continuità, sono caratterizzate da superfici che non solo non si sovrappongano, ma che non siano neppure adiacenti. È stato inoltre necessario stabilire una regola che ha imposto che l'attributo geometrico di due oggetti della stessa classe o di classi differenti non abbia sovrapposizioni, ma possa presentare parte della frontiera condivisa, abbia cioè eventuali caratteristiche di adiacenza.

È il caso di un edificio definito come parte di un cassone edilizio: edifici parti dello stesso cassone edilizio non si possono sovrapporre, ma possono essere adiacenti.

Tutti i vincoli topologici tra le classi "Edificio"e "Cassone edilizio"sono stati creati e inseriti in un *GeoDataBase* utilizzando il software *ArcCatalog – ArcInfo 9.2*. Terminata questa fase preliminare, le entità delle classi descritte in precedenza sono state restituite direttamente in ambiente GIS. Tali operazioni sono state svolte impiegando l'estensione *Stereo Analyst* in ambiente *ArcMap - ArcInfo 9.2* (Figura 4).

Figura 4 – Visualizzazione in ambiente ArcMap con l'utilizzo dell'estensione *Stereo Analyst*

L'estensione *Stereo Analyst* successivamente ha permesso di trasformare un software GIS con funzioni di *editing* bidimensionali, come *ArcMap,* in software di restituzione fotogrammetrica (Figura 5).

Figura 5 – *Editing* in ambiente *ArcMap* della classe "Edificio"

**Conclusioni**

Lo studio condotto costituisce la premessa per approfondire in futuro le problematiche della restituzione stereoscopica in ambiente GIS.

Gli obiettivi della sperimentazione sono stati tutti raggiunti, rinviando a successive elaborazioni una stima quantitativa dei risultati a causa dell'impossibilità di dare un valore numerico ad aspetti che coinvolgono l'esperienza dell'operatore restitutorista.

Resta da esaminare, peraltro, la restituzione di oggetti complessi e l'utilizzo di specifici applicativi per l'aggiornamento e la correzione di grandi quantità di dati.

Oltre al tema della strutturazione di un database topografico, occorrerà anche perseguire gli aspetti di miglioramento del flusso di aggiornamento del DB con le necessarie procedure di alimentazione.

Le tematiche affrontate in questa sperimentazione coinvolgono inoltre problemi che esulano dalla sfera tecnica, soprattutto per quanto riguarda la collaborazione tra enti e le politiche commerciali delle aziende produttrici di software.

**Ringraziamenti**

Gli autori ringraziano per la preziosa collaborazione la S.I.T. (Sistemi Informativi Territoriali) di Noci (BA), la Planetek Italia, e la Leica Geosystems Italia.

**Bibliografia**

Caprioli M., Figorito B., Scognamiglio A., Tarantino E. (2007a), "L'utilizzo di "Multipatch" per gli oggetti della cartografia tridimensionale", *Bollettino SIFET*, 1, 30-42.

Caprioli M., Figorito B., Scognamiglio A., Tarantino E. (2007b), "Implementing the Features 3D Multipatch for the Management of Territorial Infrastructures", *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, pp. 853-860, ISSN: 1743-3541.

F. Guzzetti, R. Laffi (2005), "I nuovi DB topografici multiscala in regione Lombardia", *Cartographica*, 12, 13-16.

Casella V., Galetto R., Surace L., Ferretti L., Banchini G., Cavalli A. (2001), "Esperienze di fotogrammetria supportate da GPS/INS", *Bollettino SIFET*, 4, 35-49.

http://www.centrointerregionale-gis.it/public/DB_Topografici/1n1014_v_1_4.pdf

# SERVIZI INFORMATIVI INTEGRATI PER LA GESTIONE DEL TERRITORIO (PR5SIT) DELLA REGIONE CALABRIA

Tonino CARACCIOLO (*), Vincenzo MARRA (*), Domenico MODAFFARI (*),
Francesco NAPOLETANO (**), Alfredo PELLICANO (*),
Costantino RUSSO (**), Gaetano SCARNATI (*)

(*) Regione Calabria – Centro Cartografico Regionale – c/o Centro Servizi Avanzati – Area ex-SIR
88046 Lamezia Terme (CZ) – Tel. 0968444300 – Fax 0968444260 – centro.cartografico@regcal.it
(**) Engineering Ingegneria Informatica S.p.A. – Via S. Martino della Battaglia – Roma
Tel 06492011 – framcesco.napolitano@eng.it – costantino.russo@eng.it

**Riassunto**
La Regione Calabria nell'ambito delle attività di sviluppo delle infrastrutture, nazionali ed europee, di dati geografici ha avviato il progetto, *PR5SIT*, che prevede la realizzazione di un Portale e di un Database Territoriale Regionale (DBTR) al fine di costruire un Centro per l'erogazione di servizi cartografici ad Enti, Imprese e Cittadini.
Uno degli obiettivi principali di PR5SIT è la progettazione e la definizione del *modello riusabile* del DBT secondo le direttive Inspire e Intesa/Gis e la sua implementazione su RDBMS, che consente di ottenere centralità del dato, eliminando ridondanze e disallineamenti. La produzione delle informazioni geografiche ed, in particolare del database integrato topografico/catastale, la loro rispondenza a standard condivisi e certificati, l'interscambio dei dati spaziali attraverso interfacce calibrate per i vari profili utente rappresentano il paradigma cui si ispirano le politiche del progetto.
Tra gli altri obiettivi innovativi la scelta, in via preferenziale, della *tecnologia open-source per la definizione delle procedure di validazione dei dati* e della tecnologia con la quale sarà realizzato il Portale per l'erogazione di servizi, il WebGis (uso di standard OGC: WMS, WFS) e la gestione dei Contenuti Informativi.
Sarà disponibile una Services Platform *open source* che consentirà di realizzare e "deliverare" ulteriori servizi in modo semplice ed integrato. Tale piattaforma prevede, tra le altre caratteristiche, un sistema di e-commerce per i prodotti cartografici e di segnalazione strutturata allo scopo di realizzare un *sistema di cooperazione/collaborazione interattivo* tra Regione e Enti, Professionisti, Imprese in ottica di semplificazione del rapporto tra PA e Cittadini.

## Introduzione

La Regione Calabria con il progetto PR5SIT - *Servizi Informativi Integrati per la Gestione del Territorio* - si propone di realizzare un Centro Servizi Cartografico allo scopo di offrire ad una vasta utenza le informazioni geografiche di cui dispone.
L'obiettivo diventa ambizioso se alla base di questo progetto ci sono punti di partenza non omogenei e punti di arrivo ben strutturati e standardizzati. L'obiettivo diventa ancora più ambizioso se la scelta per la realizzazione della piattaforma si basa, prevalentemente, sull'utilizzo di software *open source*.
In altri termini la Regione Calabria:

- ha avviato nel tempo il processo di realizzazione della CTR 5K dell'intero territorio in formato shapefile e che costituirà l'input per la realizzazione del DBT su RDSMS

- ha elaborato lo standard DBCAL derivante dagli standard IntesaGis per la produzione di cartografia
- ha reso disponibili ulteriori basi dati in diversi formati
- ha chiesto in riuso Sigmater per i servizi di tipo catastale

e si pone come obiettivo:

- la realizzazione di un modello riusabile di DBT
- di sviluppare una piattaforma per la costruzione dello stesso
- di utilizzare una piattaforma prevalentemente open source per la realizzazione e fruizione dei servizi del Centro Cartografico Regionale

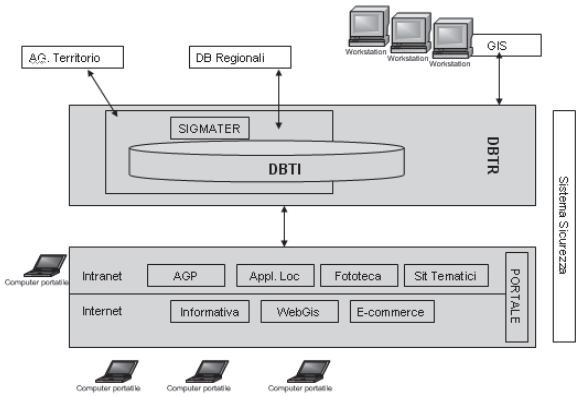
Questo appena delineato è lo scenario e le condizioni al contorno nel quale va inquadrato il progetto PR5SIT Calabria.

**Il progetto**

La realizzazione di un progetto con le condizioni al contorno appena descritte va correttamente interpretato e il termine ***integrazione*** può essere considerato la base per il successo del progetto stesso. Integrazione di diversi metodi, di tecnologie, di dati, di formati ed anche di diverse discipline e conoscenze. In questo caso risulta spesso di primaria importanza la definizione di protocolli e di standard per mettere insieme tutte le fasi e per produrre un lavoro che abbia una solida base scientifica. Guidati dal termine integrazione si illustra nel seguito l'architettura applicativa e tecnologica e le fasi del processo.

**Architettura della soluzione**

La figura seguente schematizza il modello architetturale.




Il primo obiettivo che il progetto si propone è la realizzazione del *Database Territoriale Regionale* (DBTR) su *Relational Database Management System* (RDBMS).

Attualmente (durante la redazione del presente articolo) il progetto è in corso e lo studio e l'analisi iniziale dell'intero sistema ha evidenziato che i servizi erogati dal Portale sia di tipo informativo che applicativo dovranno far riferimento ad un database geografico strutturato secondo regole predefinite, gerarchizzato e coerente geometricamente e topologicamente (di seguito lo chiameremo per brevità geodatabase). E' evidente pertanto la centralità del geodatabase come deliverable strategica principale di progetto.

La scelta di un database relazionale è legata al fatto che un rdbms geografico:

- Standardizza i dati e riduce la ridondanza
- Massimizza l'integrità del database
- Privilegia la definizione logica degli oggetti e delle loro relazioni

- Separa il problema dell'individuazione degli oggetti da quello della loro rappresentazione
- È tendenzialmente indipendente dalla scala di rappresentazione e consente di gestire elementi multi-precisione
- È progettato per consentire elaborazioni e processi di tipo automatico
- Può essere aggiornato continuamente con informazioni provenienti da fonti diverse

La realizzazione delle prime fasi di strutturazione del database prevede la definizione di un modello concettuale e di conseguenza un modello fisico implementabile che riporti le standardizzazioni delle specifiche IntesaGis.
In quest'ultimo dovranno migrare tutti i dati disponibili nei vari formati. Gli oggetti definiti in tale modello hanno proprietà topologiche mentre la CTR disponibile non è strutturata in modo topologico. Ne consegue la necessità di definire procedure di conversione e validazione dei dati stessi.
La procedura di conversione prevede una fase di importazione dei dati a partire dagli shapefile al DBTR effettuando un mapping dei dati dai codici di partenza ai codici definiti nel modello.
La fase successiva prevede l'esecuzione delle procedure per la verifica geometrica e topologica dei dati importati.
Si riportano le regole che gli oggetti delle Classi (*rif. Documento Intesa 1007*) del DBTR devono rispettare. Queste possono essere relative:

- *alla congruenza geometrica*, controllo del rispetto delle geometrie previste per le Classi
  *alla congruenza topologica*, controllo delle regole topologiche di oggetti di una Classe rispetto ad oggetti di altre Classi del DBTI e/o della Classe stessa, anche in dipendenza del valore assunto dagli attributi di tipo alfanumerico
- *al contenuto*, controllo della struttura e dei valori nei campi

Per quanto concerne le regole geometriche si prevedono, per esempio:

- Verifica chiusura dei poligoni – poligoni non degeneri
- Verifica della continuità geometrica ai bordi foglio
- Verifica ed eliminazione di punti ridondanti

Per quanto concerne le regole topologiche si prevedono, per esempio:

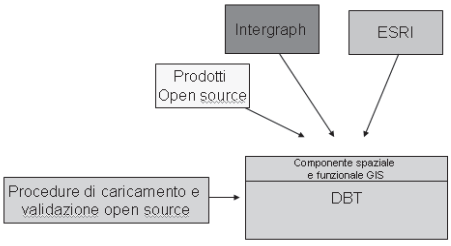
- Verifica della copertura areale
- Verifica del grafo delle reti

Per il contenuto:

- Verifica della tipologia del dato
- Verifica dei codici degli attributi
- Verifica dell'associazione degli attributi

L'obiettivo che si intende perseguire alla fine di queste fasi del progetto in ordine al geodatabase è quello evidenziato in figura:

In altri termini ci si propone di realizzare un prodotto DBTR indipendente e riusabile, creato, strutturato, valorizzato e validato attraverso procedure basate su un framework open source e gestibile sia dai più importanti software GIS quali per esempio: ESRI, Intergraph, Autodesk etc., ma anche da altre piattaforme *open* quali per esempio gvSig, Jgrass etc.

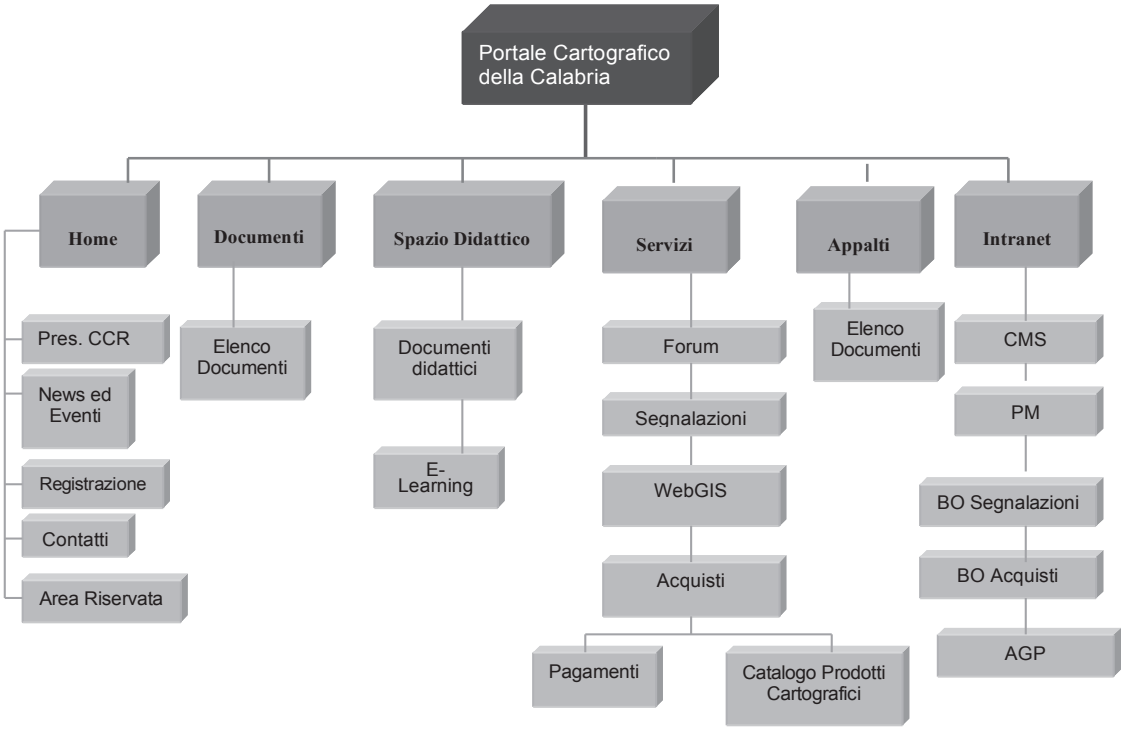



La fase successiva prevede la realizzazione dell'infrastruttura del Portale sul quale saranno realizzati i servizi.

Il portale Cartografico della Calabria è suddiviso nelle seguenti sezioni:

*Home*: E' la pagina di presentazione ai servizi del Portale. La sua principale funzione è quella di orientamento alle diverse sezioni in cui è strutturato il Portale.
*Documenti*: E' la sezione in cui è possibile trovare vari tipi di documenti inerenti alla cartografia della regione, come documenti tecnici, pubblicazioni e testi normativi.
*Spazio Didattico*: E' il servizio di consultazione web per la diffusione dell'informazione geografica e cartografica in Calabria.
*Servizi*: E' la sezione in cui è possibile fruire dei servizi che la Regione renderà disponibili.
*Intranet*: E' l'area nella quale sono presenti i servizi per le PA e di amministrazione accessibili mediante autenticazione e autorizzazione.

La figura seguente offre una schematizzazione del Portale Cartografico della Regione Calabria




L'area Servizi è l'area riservata del portale a partire dalla quale un cittadino/impresa/Ente può ricevere servizi cartografici dalla Regione.

Per brevità soffermiamo la nostra attenzione solo su alcuni servizi:

- Il servizio WebGIS presenta un tool di visualizzazione, un geobrowser progettato per permettere all'utente la navigazione della cartografia e rendergli disponibile l'informazione geografica al fin di valutare l'utilità per i propri scopi e le condizioni secondo cui è possibile ottenerla e usarla. La piattaforma con la quale è realizzato il geobrowser si basa sugli standard OGC: WFS, WMS, WFS-T

- Il servizio acquisti consente all'utente di selezionare un prodotto (elementi CTR 5K, CTR 10K, Ortofoto etc.) e navigare la cartografia per scegliere l'area di interesse, il tutto facilitato da strumenti di ricerca e se il cittadino/impresa è deciso all'acquisto potrà pagare utilizzando la carta di credito. Se l'utente rappresenta un Ente potrà pagare mediante bonifico. Per realizzare tale servizio compresa la sezione di back-office sarà disponibile un potente framework, basato su componenti open-source, che mutua i concetti di e-commerce verso una piattaforma in grado di gestire l'offerta cartografica sotto forma di articoli.
  Tale framework è direttamente connesso al geodatabase, dal quale, attraverso procedure automatiche, estrarrà i prodotti acquistati dall'utente che potranno essere disponibili per il download e/o recapitati direttamente a domicilio
- Il servizio di communityware è realizzato, in prima istanza, attraverso un Forum dedicato e un servizio di segnalazione interattivo mediante il quale l'utente potrà contattare il personale del CCR e comunicare/segnalare eventuali cambiamenti, errori etc. delle carte ufficiali o semplicemente sottoporre domande.
  L'obiettivo è quello di mettere a disposizione la tecnologia per consentire di superare il gap di relazione tra gli organi istituzionali e i cittadini. Tali servizi sono in sostanza moduli dell'infrastruttura abilitante alla partecipazione digitale.

L'area Intranet è la sezione riservata ad utenti abilitati, in particolare dipartimenti interni alla regione o altre PA locali, che potranno utilizzare i seguenti servizi forniti da Sigmater opportunamente integrato in tale architettura:

- Accertamento ICI per UIU
- Accertamento ICI per soggetto
- Accertamento TARSU per UIU
- Accertamento TARSU per soggetto
- Consultazione particella terreni
- Consultazione UIU
- Consultazione soggetto
- Recupero planimetrie
- Estrazione mappa catastale per CDU

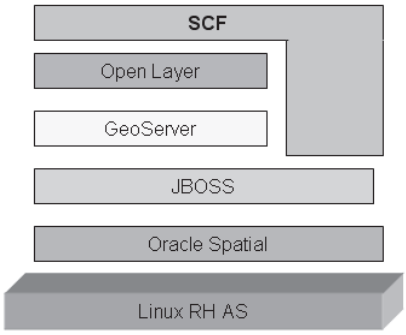
I dati per la fornitura di tali servizi saranno inviati dall'Agenzia del Territorio con aggiornamenti periodici.
L'AdT ha implementato l'architettura tecnica ed i servizi tramite i quali specifiche *tranche* di informazioni catastali vengono aggregate ed esposte per il successivo reperimento ed utilizzo, da parte degli enti fruitori, mediante processi di cooperazione applicativa.
Inoltre saranno disponibili:

- Richiesta CDU
- Gestione dei Piani strutturali
- Gestione delle aree percorse dal fuoco

quali ulteriori servizi applicativi del portale fruibili in modalità Application Service Provider (ASP) dedicate ad altri Enti.

**Architettura tecnologica**

In figura si riporta l'architettura tecnologica della soluzione.
SCF (Service Content Framework) è un potente sistema di integrazione servizi di Engineering Ingegneria Informatica mediante il quale si costruirà il Bus di integrazione basato sul modello SOA e il front end dei servizi stessi. Il sistema rende disponibile in forma nativa un sistema di Content Management per la gestione delle sezioni informative del Portale.
Il layer successivo è costituito dalle librerie OpenLayer ed altre che costiuiscono lo strato client per la realizzazione dei servizi webGis e da Geoserver che ne costituisce il lato server.
L'application server è Jboss e l'RDBMS è Oracle Spatial ma la soluzione potrebbe funzionare anche su rdbms open source quali per esempio PostGis. Il sistema operativo scelto è Linux.




**Conclusioni**

Archiviazione, conservazione, divulgazione dei dati sono le parole chiave del progetto PR5SIT che si inquadra nel PR5SIT nazionale. Una infrastruttura che consente alla Regione Calabria di rendere disponibili, condividere in diverse forme, off-line e on-line, le proprie informazioni, i propri servizi e le proprie competenze in modo semplice ed immediato.
Ma anche *modello riusabile* di database geografico per delineare un percorso sul quale costruire una infrastruttura che offre la necessaria elasticità, flessibilità ed estensibilità a sviluppi futuri e nello stesso tempo consente e consentirà di risparmiare risorse che la Regione stessa potrà reinvestire per realizzare ed offrire sempre nuovi servizi, formazione e supporto.

# CONVIVENZA DELLE POPOLAZIONI CON LA FRANA DI ANCONA: MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DI SUPERFICIE

Stefano CARDELLINI (*), Gian Battista CROSTA (**),
Paolo OSIMANI (*), Luciano SURACE (***)

(*) Comune di Ancona – Servizio Frana, Piazza XXIV Maggio, 60100 Ancona
(**) Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie - Università degli Studi di Milano Bicocca, Piazza della Scienza 4, 20126 Milano
(***) Istituto Idrografico della Marina di Genova, Genova

**Abstract**
The territory constituting the region Marche is characterized by a widespread gravitational phenomenon of different typology and extension. On 13th December 1982 a catastrophic landslide occurred in Ancona and during the event, the whole hill, mostly made of clay, slid down towards the sea giving birth to an important earth moving which damaged the houses and facilities mainly located in Posatora, in Borghetto and in part in Torrette, three districts on the outskirts, lying on the slope involved in the landslide. In order to assure people safety, and the habitability of their houses the municipality decided to install a complex monitoring System made up by topographic and geodetic equipment for an constant control of the surface and deep ground.

**Riassunto**
Il territorio marchigiano è caratterizzato da un'ampia diffusione di fenomeni gravitativi di diversa tipologia ed estensione. Il 13 dicembre del 1982 si verificò ad Ancona un evento franoso di portata catastrofica, dove un'intera collina costituita prevalentemente di argilla, scivolò verso il mare dando origine ad uno sbancamento imponente di materiale che danneggiò le abitazioni e le infrastrutture collocate, in modo particolare, nelle zone di Posatora, di Borghetto e in parte di Torrette, tre quartieri periferici situati proprio sul pendio interessato dallo smottamento.
L'amministrazione comunale al fine di garantire la sicurezza della popolazione, delle loro abitazioni e rilasciare l'abitabilità, decise di installare un sistema di monitoraggio complesso costituito da strumentazione topografica e geodetica per un controllo continuo sia livello superficiale che profondo.

L'Italia, nazione europea che si affaccia nel mar Mediterraneo, è nota come una regione geologica molto complessa, sismicamente attiva, interessata da orogenesi attiva (alpina e appenninica), da vulcanismo (Etna e Vesuvio) e da migliaia di chilometri di coste con le varie problematiche di dinamica marina.

Nella regione Marche, sita al centro della nazione sul mar Adriatico, la città di Ancona il 13 dicembre 1982 fu colpita da un ingente evento franoso in un'area molto vasta pari all'11% della zona urbana. Il versante a mare della collina del "Montagnolo" la sera del 12 inizia a franare lentamente verso il mare e per tutta la notte sino al mattino seguente i movimenti si susseguono ininterrottamente. A monte l'intero quartiere residenziale di "Posatora", due ospedali e l'Università vennero distrutti mentre a valle il quartiere "Borghetto", la ferrovia e la strada furono evacuate e rese inaccessibili.

La mattina seguente si presenta una situazione drammatica: il movimento franoso ha investito una estensione complessiva di circa 220 ettari interessando 3.661 cittadini (1.070 nuclei familiari). I cittadini ricoverati a spese del Comune in alberghi o pensioni hanno toccato la punta massima di 1562 unità. Si osservano danneggiati o distrutti 280 edifici per un totale di 865 abitazioni oltre alle 300 poste ai margini della zona franosa. La frana ha interessato 31 aziende agricole, 101 aziende artigiane, 3 industrie, 42 esercizi commerciali per un totale di oltre 500 persone senza lavoro.

Dagli accertamenti eseguiti risultano irreparabilmente lesionati la Facoltà di Medicina, l'Ospedale Oncologico, l'Ospedale Geriatrico e la casa di riposo per anziani "Tambroni".
Gravemente lesionati la linea ferroviaria, la strada (unico sbocco a nord per la città di Ancona), le strade interne alla frana, le linee di distribuzione dell'acqua, gas e luce.

In una notte un assestamento gravitativo profondo, legato probabilmente alle dislocazioni indotte da un terremoto avvenuto 10 anni prima e innescato da un periodo di intensa precipitazione, attiva, a distanza di alcune decine di minuti dal movimento profondo, una serie di frane, anche dello spessore di poche decine di metri, (frane di colamento o rotazionali) che portano a isolare verso nord l'intera città di Ancona e circa 3.000 persone restano senza tetto.

La zona della frana di Ancona si estende da un'altezza di 170 m s.l.m. sino al livello del mare e presenta un fronte costiero di circa 2 Km. Lo spessore dell'ammasso franato è di circa 100-120 m. I terreni sono ascrivibili ad una successione Plio-Pleistocenica caratterizzata da argille marnose grigio bluastre stratificate del Pliocene inferiore-medio, con intercalazioni siltosi e sabbiose, sopra cui giace in trasgressione, il Pleistocene costituito da argille siltosi marnose grigio-azzurre, stratificate nella parte superiore con livelli arenacei sabbiosi.
La morfologia superficiale è condizionata da una serie di numerosi e complessi movimenti. Le coltri pluvio-colluviali, con spessori di alcune decine di metri, sono franate verso valle come colate di masse argilloso-limose favorite anche a causa dell'impregnazione da parte delle acque piovane.

La Frana risultò essere una complessa DGPV (movimento gravitativo intraformazionale profondo) con superfici di scorrimento sovrapposte di cui la più profonda a -75 m dal p.c. con immersione verso Nord. La giacitura degli strati e le differenze litologiche tra i terreni essenzialmente marnosi del Pliocene e quelli siltosi-sabbiosi del Pleistocene contribuiscono a porre il versante in una grave condizione di pericolosità geologica.

Risulta comunque chiaro anche da dati storici (primi avvisi di frane nel 1700) che questa struttura continuerà a costituire in futuro un fattore di rischio soprattutto per la viabilità (strada e ferrovia) della zona e quindi per i collegamenti dell'area nord della città di Ancona.

All'evento franoso seguirono anni di studi geologici finalizzati a definire un progetto di consolidamento dell'intera area. Dopo tali studi (la Frana di Ancona è tra le più studiate di Europa) si venne alla consapevolezza che il consolidamento risultava inaccettabile sia per le ingenti somme da stanziare che per il forte impatto ambientale che avrebbe cambiato lo stato dei luoghi in modo sostanziale (rilevato a valle di più di 30 m).

Matura così nell'Amministrazione Comunale la convinzione di doversi rapportare al fenomeno franoso con un atteggiamento di possibile "convivenza leggera", ovvero orientato non ad un'eliminazione del rischio, risultato peraltro impossibile anche a fronte di ingenti opere di consolidamento, ma ad una riduzione dello stesso.
In questa ottica sono stati eseguiti stralci funzionali di progetti di consolidamento riguardanti in particolar modo le zone più vicine al centro abitato e dove la superficie di frana e scollamento è più profonda (circa 100 m). Sono inoltre state realizzate opere di drenaggio profondo con pozzi drenanti

collegati assieme in una rete funzionale, paratie di setti in c.a. tirantate e drenaggi superficiali con rimboschimenti e sistemazione del versante. L'amministrazione comunale ha comunque intenzione di estendere le opere di drenaggio sia superficiale che profondo a tutta l'area in frana fino all'abitato di "Torrette".

Oggi la zone è un vastissimo parco urbano vissuto dalla cittadinanza in tutte le stagioni dove la vista del mare e del porto è totale. Per quest'ultimo motivo è chiamato "Parco Belvedere".

La regione Marche, stante l'elevata vulnerabilità dell'area ed il reale pericolo al fine di rilasciare l'agibilità (temporanea e condizionata) delle abitazioni richieste abbandonate durante l'evento franoso ha indirizzato la propria attività imponendo all'Amministrazione Comunale di attivare un sistema di monitoraggio in tempo reale e la contestuale predisposizione di un piano di emergenza per la popolazione interessata.

Il sistema di monitoraggio progettato consiste in un controllo integrato continuo sia a livello superficiale che profondo di tutta l'area. La prima fase del monitoraggio che riguarda il controllo di superficie è ormai attiva da qualche mese e nei prossimi verrà messo in funzione il "secondo stralcio" che prevede il completamento del sistema attraverso la realizzazione del monitoraggio profondo.

**Monitoraggio topografico di superficie**

Il sistema di monitoraggio automatico installato è in grado di individuare ogni movimento superficiale nell'area. Ad ogni ciclo di misura le informazioni vengono inviate in tempo reale al Centro di controllo dove vengono elaborate in automatico. Dall'analisi dei dati si generano una serie di allarmi che vengono gestiti dal Centro di controllo, attivo 24 ore su 24, situato presso il Comune di Ancona dove uno staff di Tecnici specializzati ha il compito di analizzare le informazioni raccolte e valutarne la gravità e, in caso la situazione lo richieda, di dare il via alle operazioni previste dal piano di protezione Civile predisposto.

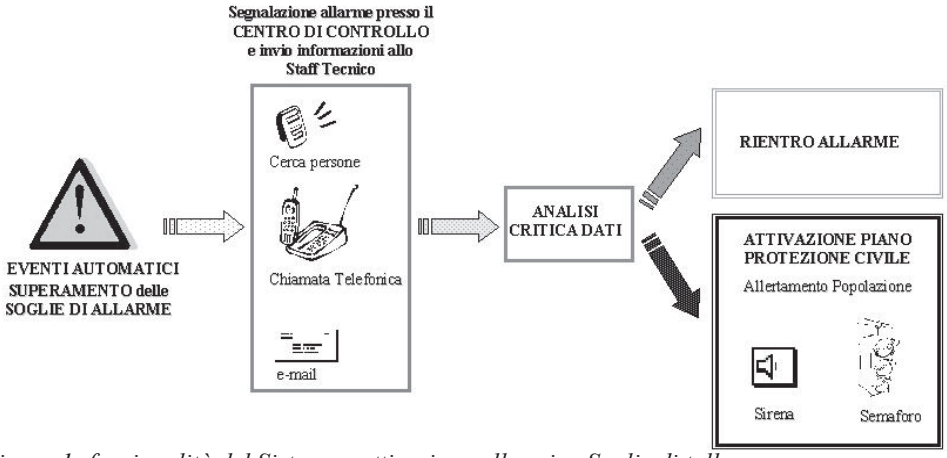



*Figura 1: funzionalità del Sistema - attivazione allarmi e Soglie di tolleranza*

Il sistema di monitoraggio è composto da 7 Stazioni Totali Automatiche Robotizzate per la misura di 230 prismi, 34 sensori GPS geodetici (*Global Position Sistem)* di cui 8 Reference (Doppia Frequenza L1+L2), 26 punti di monitoraggio (Singola Frequenza L1) e 7 sensori clinometrici di altissima precisione per il controllo della stabilità delle postazioni di misura della rete di I e II livello (cabine di rilevamento automatizzate).

L'utilizzo combinato combinazione di queste tre tecnologie di misura consente di monitorare nelle tre coordinate (3D, X, Y, Z) un numero elevato di punti ed iperdeterminarne la posizione a garanzia di un controllo affidabile e efficace. Il sistema consente quindi di monitorare e controllare in automatico e in continuo la stabilità e/o gli eventuali movimenti e cedimenti degli edifici che insistono nell'area in frana.

In caso di particolari esigenze e/o di emergenza il sistema può essere diversamente configurato: i sensori GPS della rete di I e II livello possono infatti operare in modalità Real Time (RTK), mentre le Stazioni Totali Robotizzate effettuare in continuo la lettura dei prismi. Tutte le attività di ri-configurazione operative del sistema e delle modalità di acquisizione degli strumenti in campo sono eseguite da remoto.

A - Sistema GPS:

1. Rete di riferimento principale (I livello) costituita da 3 postazioni esterne all'area soggetta a rischio di frana con n. 3 sensori GPS geodetici a doppia frequenza L1+L2 posizionati su due edifici stabili e su una cabina fondata su palo in c.a.

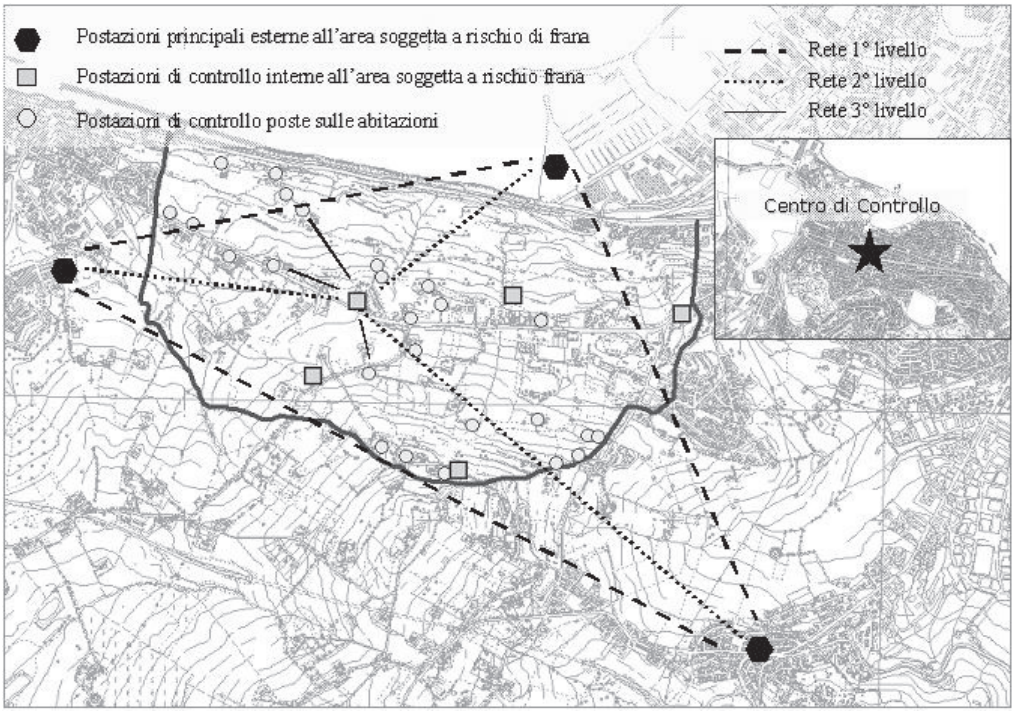



*Figura 2: architettura Sistema di Monitoraggio Topografico di superficie*

2. Rete di riferimento secondaria (II livello), costituita da 5 postazioni interne all'area soggetta a rischio di frana con n. 5 sensori GPS geodetici a doppia frequenza L1+L2 posizionati su un edificio e su 4 cabine fondate su pali in c.a.
   Questi sensori GPS geodetici (n.3+n.5) hanno la prerogativa di realizzare (nel complesso) una rete GPS di alta precisione che deve operare nel sistema di monitoraggio su più livelli di gestione garantendo alla rete di sensori GPS (a singola frequenza L1) posti sugli edifici da monitorare (n. 26) un robusto network di riferimento, offrendo in caso di necessità di poter operare anche in real time RTK.

3. Rete di riferimento terza (III livello) costituita da n. 26 sensori GPS geodetici a singola frequenza L1 posizionati su 26 edifici abitati da monitorare a rischio di instabilità nell'interno della frana oggetto del controllo.

L'utilizzo di sensori GPS a Doppia Frequenza garantisce una migliore qualità delle misure ed una più ampia versatilità del sistema.

**B - Stazioni totali robotizzate**
Sono state installate 7 Stazioni Totali Automatiche Robotizzate di cui tre in zone considerate geologicamente stabili e le restanti su in aree a rischio di frana. Tutte le Stazioni Totali Automatiche sono installate nelle stesse postazioni in cui sono posizionati i sensori GPS geodetici a Doppia frequenza (L1+L2) e costituiscono la Rete di monitoraggio di Livello I e II. La scelta di realizzare alcune Postazioni di misura all'interno della frana è legata alla necessità di monitorare in modo omogeneo ogni porzione di territorio ed ogni edificio ivi presente.

Ogni Stazione Robotica esegue in automatico misure su prismi passivi posizionati sulle abitazioni presenti sia nell'area interessata dal dissesto (Punti di monitoraggio) che al di fuori di essa (Punti di riferimento) per un totale di 230 riflettenti. Ogni 30 minuti viene eseguito un nuovo ciclo di misura. Le letture coniugate in entrambe le posizioni del cannocchiale e multiple su ogni punto consentono un controllo qualitativo sulle misure.
Il controllo degli edifici pubblici o privati presenti in frana è legato alla necessità dell'Amministrazione pubblica di rilasciare l'agibilità, mentre il controllo di alcune strutture di consolidamento, realizzate subito dopo l'evento franoso, è funzione della comprensione della sua efficacia.

**C_Clinometri bi-assiali**
In corrispondenza di ciascuna postazione della Rete di monitoraggio di Livello I e II sono stati inoltre installati dei sensori clinometrici bi-assiali di altissima precisione. Essi rappresentano il "Controllo del Controllore" ovvero sono deputati alla verifica della stabilità statica delle postazioni principali per la misura delle inclinazioni su 2 assi ortogonali X e Y e per la Misura della Temperatura interna

**D_Sistema di Comunicazione**
La trasmissione del dato proveniente dai diversi sensori avviene in due modalità in funzione del livello di importanza dell'informazione trasmessa:

a. Rete di I e II Livello: trasmissione del dato in tempo reale via WiFi Hiperlan. Il sistema è costituito da una dorsale di collegamenti radio punto-punto tra le stazioni di misura robotizzate fino al Centro di controllo. La trasmissione del dato in tempo reale è effettuata attraverso una infrastruttura di ponti radio su frequenze ad uso libero di 5,4 Ghz (Hiperlan) che consente una trasmissione robusta, un ridotto impatto ambientale grazie ai meccanismi di controllo dei disturbi, un controllo dinamico dei canali e della potenza in base alla degradazione del segnale.

b. Rete di III Livello: trasmissione dei dati via GSM con comunicazione "periodica" in modalità "dialing". Scarico dati ogni 6 ore.

E' questo un caso di convivenza attiva con un fenomeno franoso ingente da parte di una Amministrazione Pubblica. Una nuova filosofia che supera dinamicamente i soliti concetti statici della comune ingegneria laddove gli stessi risultino palesemente inattuabili o troppo costosi riducendo al contempo il rischio per le popolazioni abitanti le aree dissestate.

# RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE 3D DI UN SITO ARCHEOLOGICO NELL'AMBITO DEL PROGETTO URBAN A TRIESTE

G. CAROTI (*), R. CEFALO (**), M. DI BARTOLOMEO (**), A. PIEMONTE (*)

(*) Università di Pisa – Dip.to di Ingegneria Civile – Sede di Topografia e Fotogrammetria, via Diotisalvi 1, 56126 Pisa, tel. 050 2217770, fax: 050 2217779, e-mail: g.caroti@ing.unipi.it - a.piemonte@ing.unipi.it
(*) Università degli Studi di Trieste – Dip.to di Ingegneria Civile, P.le Europa 1, 48127 Trieste, tel. 040 5583578, fax: 040 5583580, e-mail: cefalo@dica.units.it - michele.dibartolomeo@mail.it

**Riassunto**
La Soprintendenza per i Beni Ambientali, Architettonici, Archeologici, Artistici e Storici della Regione Friuli Venezia Giulia sta gestendo dal 2000, nell'ambito del Programma di Iniziativa Comunitaria Urban -Progetto Tergeste, diversi scavi, il cui obiettivo generale è quello di acquisire, elaborare ed archiviare i dati relativi al patrimonio storico-archeologico della Città Vecchia di Trieste, al fine di predisporre gli strumenti per la tutela e la valorizzazione di tale patrimonio.
Il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Trieste è già stato coinvolto nel 2000 dalla Soprintendenza per un primo rilievo fotogrammetrico di due colonne romane del I sec. a.C.
Nel 2007, assieme al gruppo di Trieste, è stato coinvolto anche il Laboratorio A.S.T.R.O. della Sede di Topografia e Fotogrammetria del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa, per la realizzazione di un rilievo dell'area, che nel frattempo ha subito ulteriori scavi e rinvenimenti, tramite laser a scansione terrestre.
Nel presente lavoro vengono descritte le diverse fasi del lavoro di rilievo ed analizzate le diverse modalità con cui è possibile dare una rappresentazione al rilievo stesso.
Questa differenziazione dei prodotti tiene conto soprattutto delle diverse esigenze dei soggetti che poi devono operare decisioni ed interventi sul bene rilevato.
Se il formato digitale per la visualizzazione e la navigazione tridimensionale risulta idoneo in alcune applicazioni, per altre risulta insoddisfacente e la classica rappresentazione cartacea in forma di tavole a grande scala resta la rappresentazione di maggior praticità. In questi casi, quindi, il rilievo laser è un mezzo per la realizzazione delle immagini ortorettificate, ma la rappresentazione rimane quella tradizionale.

**Abstract**
The aim of this paper is to report the laser scanner survey of a roman archaeological site located in Trieste, Italy. The excavation of these archaeological finds was realised by "Soprintendenza per I Beni Ambientali, Architettonici, Archeologici, Artistici e Storici" of Friuli Venezia Giulia Region in the framework of the European Community Project called "Urban-Progetto Tergeste".
In 2000 a first photogrammetric survey relative to two roman columns was performed. In 2007 the A.S.T.R.O. Laboratory, Department of Civil Engineering University of Pisa, Italy, was also involved for the laser scanner survey of the area in which further excavations were carried out.
In this paper the various phases of the survey have been described and the different methods used for the representation of the survey itself have been analyzed.
The differentiation in the final products takes into account in particular the different needs of the subjects who have to take decisions and to plan interventions on the surveyed monument.
The digital format is suitable for certain applications for the visualization and the three-dimensional navigation but it is not satisfactory for other ones and the classic paper representation at large scale is the more practical. In these cases the laser scanner survey is a mean for the realization of the orthorectified images but the representation remains the classical one.

## Introduzione

La Soprintendenza per i Beni Ambientali, Architettonici, Archeologici, Artistici e Storici (SBAAAAS) del Friuli Venezia Giulia ha realizzato, nell'ambito del Programma di Iniziativa Comunitaria Urban – Progetto Tergeste, un particolare scavo con rinvenimeti di età romana (I a.C.) in via dei Capitelli a Trieste.
Obiettivo generale del progetto di scavi è quello di acquisire, elaborare ed archiviare i dati relativi al patrimonio storico-archeologico della Città Vecchia di Trieste, al fine di predisporre gli strumenti dinamici per la tutela e la valorizzazione di tale patrimonio nell'ambito della pianificazione urbana (Cefalo, 2005).
In tale ottica il gruppo di topografia del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli studi di Trieste ha realizzato nel 2000 assieme al Prof. Gabriele Fangi, Università di Ancona, il rilievo fotogrammetrico delle prime due colonne rinvenute dallo scavo ed è rimasto in continuo contatto e collaborazione con la Soprintendenza.
Nel 2008, essendo ultimati gli scavi, sono stati progettati e realizzati i rilievi laser scanner dell'area archeologica, in collaborazione con il laboratorio A.S.T.R.O. della Sede di Topografia e Fotogrammetria del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa.

## Inquadramento storico

Questa area (punti 6 e 7 di figura 1) rivestì nella città romana l'importante ruolo di raccordo tra gli impianti portuali e commerciali dell'arco costiero, lungo il quale si allineava anche il teatro, caposaldo nord-orientale del tessuto urbano, ed i quartieri pubblici e residenziali posti sulla sommità del colle. Il ruolo di snodo urbano è confermato dai ritrovamenti di una porzione di piazza lastricata con grande basamento modanato (ascritto al I sec. d.C.) e di una struttura a pilastri con semicolonne decorati da motivi a girali (metà del I sec. d.C.).

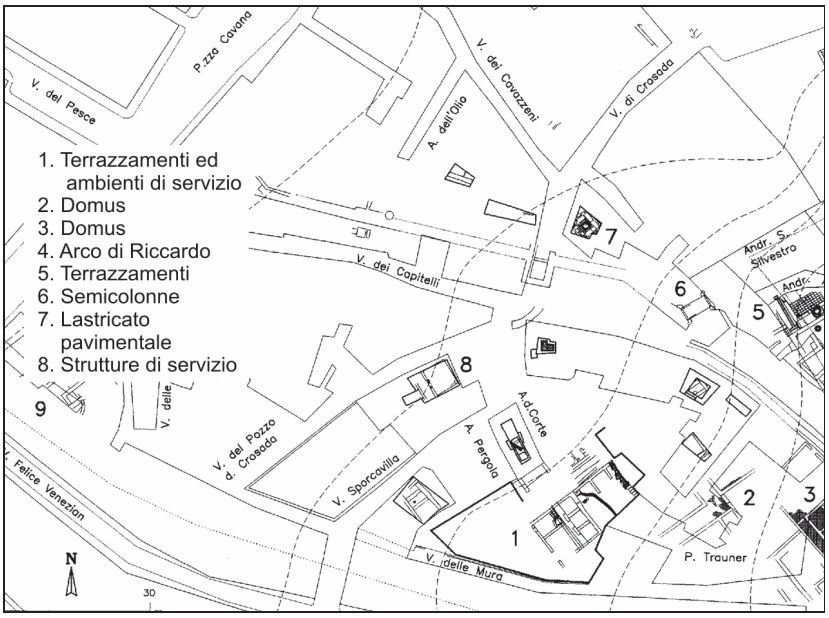



*Figura 1 – Carta archeologica dell'area di Crosada*

**Realizzazione del rilievo**

Il rilievo ha interessato un'area di circa 400m$^2$ di cui solo una parte è caratterizzata da reperti romani già riportati in superficie dagli scavi. La restante parte, composta da muri di contenimento di età successive e terrazzamenti, forma un contesto morfologicamente molto vario su molti livelli e con diversi ordini di quinte (figura 2).

*Figura 2 – Veduta d'insieme dell'area di rilievo*

L'acquisizione dei dati laser è stata estesa a tutta l'area per poter fornire agli archeologi un dettagliato modello digitale del terreno sul quale pianificare gli eventuali successivi lavori di scavo, mentre le operazioni di elaborazione si sono concentrate principalmente sulla struttura a pilastri e colonne (figura 3), già oggetto dei precedenti rilievi fotogrammetrici parziali.

*Figura 3 – Particolare della struttura a pilastri e colonne*

Lo strumento utilizzato per il rilievo, in dotazione al Laboratorio A.S.T.R.O., è il Riegl LMS-Z420i, integrato con una fotocamera Nikon D70, solidale al laser stesso, per l'acquisizione dei fotogrammi per la colorazione della nuvola di punti e la successiva texturizzazione del modello.

Per limitare al massimo le zone d'ombra ed ottenere un buon dettaglio delle aree di maggior interesse sono state eseguite tredici scansioni con il laser posto sia in posizione verticale, sia inclinato con l'opportuno supporto, sia in posizione orizzontale.
Nell'area interessata dal rilievo sono stati distribuiti 14 *target* cilindrici e 13 *target* piani. Tutti i *target* sono stati utilizzati per registrare in un unico sistema di riferimento le scansioni ed in particolare quelli piani sono stati rilevati con metodo topografico classico tramite la stazione totale senza prisma Sokkia SET030R. Inoltre i punti di stazione topografica sono stati rilevati tramite strumentazione satellitare GPS. In tal modo il rilievo laser può essere analizzato sia in un sistema locale che in un sistema di riferimento globale e quindi confrontato spazialmente con altri rilievi archeologici e topografici.
La mole dei dati laser raccolta è notevole e per la fase di elaborazione è stata necessaria una razionalizzazione della banca dati. Infatti, come detto in precedenza, l'area di rilievo non è caratterizzata nel suo complesso da oggetti per i quali è di interesse mantenere un dettaglio elevato e, per molta parte, è sufficiente ricostruire con una maglia di trenta centimetri la morfologia del terreno. Si è suddivisa, quindi, l'area in tre sottoinsiemi: l'area 2 comprendente tutto il rilievo, ripulito semplicemente dagli oggetti esterni all'area recintata, l'area 3 comprendente sia la struttura a colonne sia la strada lastricata ed infine l'area 4, che racchiude solo la parte di maggior interesse (figura 4).

*Figura 4 – Suddivisione delle aree per l'elaborazione*

Creati, quindi, questi sottoinsiemi di dati si è passati alla ripulitura manuale della nuvola di punti dell'area 4 a colori reali, in modo da eliminare alcuni elementi di disturbo, quali impalcature e vegetazione. La nuvola di punti ripulita è stata quindi processata per ottenere il modello triangolato (figura 5 a sinistra). Grazie, infine, ai fotogrammi acquisiti con la fotocamera integrata è stato possibile eseguire la texturizzazione del modello poligonale, ottenendo una rappresentazione tridimensionale del manufatto (figura 5 a destra). Questo tipo di rappresentazione risulta essere notevolmente meno pesante in termini di fruibilità tramite strumenti informatici. Infatti, esportando il modello, ad esempio in formato VRML, può essere navigato ed esaminato anche in rete tramite un qualsiasi browser purchè dotato del necessario, ma gratuito, plugin.
Un modello così realizzato è di sicuro impatto emotivo per chi lo esplora tridimensionalmente e

l'integrazione dello stesso in un motore di navigazione 3D di tipo GIS può permettere di rendere accessibili al "navigante" tutte le informazioni d'archivio dell'oggetto contestualizzate con la loro posizione spaziale.
Dai contatti avuti con la Sovrintendenza, però, si è riscontrata una certa difficoltà ad utilizzare direttamente il modello tridimensionale come prodotto d'archivio e di consultazione da parte dei tecnici e degli archeologi.

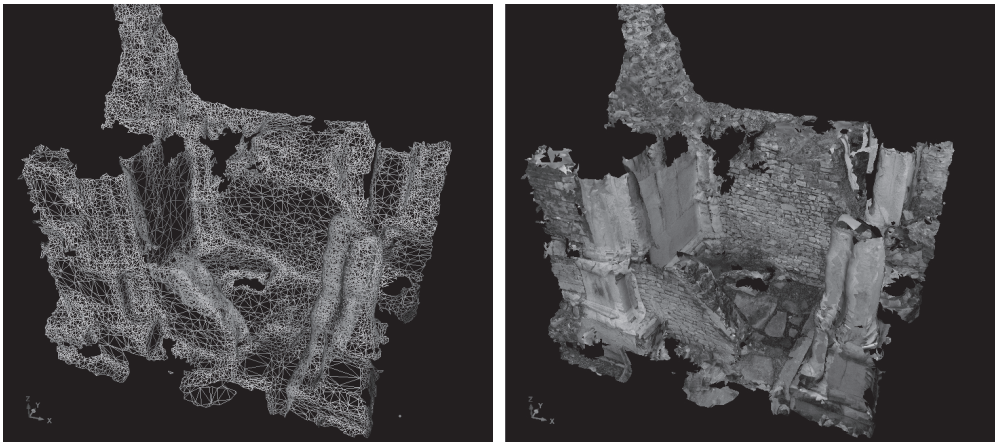


*Figura 5 – Modello triangolato wireframe e con poligoni texturizzati*

I prodotti presenti negli archivi sono piante, prospetti, fotopiani, rappresentazioni classiche in formato cartaceo.
Il rilievo laser è comunque in grado di soddisfare questa esigenza in quanto, creando il modello digitale delle superfici, permette di eseguire l'ortorettifica dei fotogrammi acquisiti e di produrre quindi le ortofoto dell'oggetto (figura 6). Questo tipo di prodotto trova sicuramente un più immediato riscontro nell'interesse dei tecnici per la valutazione e la salvaguardia del patrimonio archeologico.

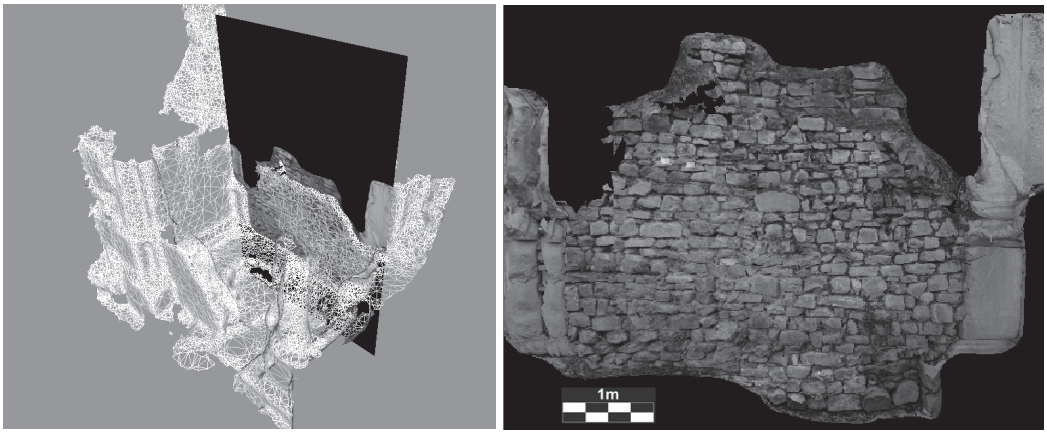



*Figura 6 – Digital Surface Model ed ortofoto del lato sud-est*

## Conclusioni e sviluppi futuri

L'applicazione del laser a scansione ad un bene archeologico sì è rivelata interessante per due aspetti: la produzione di elaborati tradizionali quali ortofoto, piante, prospetti e la produzione di prodotti di "nuova generazione" quali i modelli poligonali tridimensionali. Per quanto riguarda il primo aspetto, il laser scanner costituisce un metodo ormai consolidato per la produzione di *Digital Surface Models* grazie ai quali operare le ortorettifiche dei fotogrammi e trova la sua miglior collocazione nei rilievi di scenari morfologicamente complessi.
Per quanto riguarda il secondo aspetto, è di grande interesse per gli autori continuare gli studi al fine di esportare i modelli tridimensionali in ambienti di tipo GIS in modo da rendere la rappresentazione oltre che "scenicamente" bella, anche ricca dei contenuti d'archivio presenti per il bene rilevato (foto storiche, documenti scritti, mappe, disegni vettoriali, ...). A tal riguardo la ricerca proseguirà con la gestione dei dati rilevati tramite software Visman del CINECA, un frame work basato sulle librerie Open Scene Graph e wx Widgets per la fruizione dei progetti di visualizzazione nell'ambito dei beni culturali.

## Ringraziamenti

Si ringraziano la dott.ssa Franca Maselli Scotti della SBAAAAS del Friuli Venezia Giulia e la Prof.ssa Chiara Morselli per il supporto storico e la messa a disposizione dell'area di scavo.

## Bibliografia

Iansig M. (2005), *La Fotogrammetria per l'Archeologia – Il caso Urban – Tergeste*, Tesi di Laurea in Ingegneria Edile, Università degli Studi di Trieste.
Cefalo R., Iansig M. (2005), *Rilievo fotogrammetrico delle colonne romane dello scavo Urban – Tergeste*, Atti della 9ª Conferenza Nazionale ASITA, pp. 665-670, Catania.
Caroti G., Orlandini S., Piemonte A., (2006). "Rilievi laser scanner e fotogrammetrici del Camposanto Monumentale di Piazza del Duomo, Pisa." Atti 10 Conferenza Nazionale ASITA, 14-17 novembre, Bolzano, pp. 557-562. ISBN/ISSN: 88-900943-0-3.
Caroti G., Piemonte A., (2007). "Laser Scanner and Photogrammetry for the Survey of Monumental Cemetery in Piazza del Duomo, Pisa (Italy)". International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. vol. XXXVI-5/C53, pp. 201-206. ISSN: 1682-1750.
Caroti G., Piemonte A., (2008). "An Integrated Survey for Knowledge and Preservation of a Cultural Heritage: The Albanian Fortified Citadel of Elbasan". XXI International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress, 3-11 July BEIJING, CHINA, pp. 373-378. ISSN: 1682-1777.

# RILIEVO, RAPPRESENTAZIONE E GESTIONE DEL PATRIMONIO STRADALE DEL COMUNE DI PISA

G. CAROTI (*), A. PIEMONTE (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile – Sede di Topografia e Fotogrammetria, via Diotisalvi 1, 56126 Pisa, tel. 050 2217770, fax: 050 2217779, e-mail: g.caroti@ing.unipi.it - a.piemonte@ing.unipi.it

**Riassunto**

Il Comune di Pisa sta creando e gestisce il sistema informativo necessario alla gestione del patrimonio stradale di sua competenza. Nell'ambito di una collaborazione fra il Laboratorio A.S.T.R.O. della Sede di Topografia e Fotogrammetria del Dipartimento di Ingegenria Civile dell'Università di Pisa e gli incaricati del *service* del Comune di Pisa è stato realizzato il rilievo dell'intera rete viaria comunale.
Il Laboratorio A.S.T.R.O. ha realizzato i rilievi tramite il Mobile Mapping System GIGIOne del Centro di Eccellenza per la Ricerca in Telegeomatica dell'Università degli Studi di Trieste. Questo veicolo, nato ed operante per la realizzazione dei rilievi per la costituzione del catasto strade, così come prescritto dal D.M. del 2001, è stato utilizzato con buoni risultati anche nel rilievo su scala urbana.
Nel presente contributo sono evidenziati gli aspetti di diversità fra un rilievo di strade extraurbane, tipico del catasto delle strade provinciali, e quello effettuato in un centro urbano, sia dal punto di vista della fase di acquisizione dati sia dal punto di vista della loro rappresentazione integrata con gli altri livelli informativi del Comune (toponomastica, numeri civici, ...).
Inoltre, viene descritta la fase di realizzazione del grafo stradale di base, sul quale sono state restituite tutte le caratteristiche rilevate, in osservanza degli standard fissati dal Progetto Iter.net della Regione Toscana, che vuole realizzare una rete di cooperazione diffusa su tutto il territorio regionale, capace di gestire (integrazione ed aggiornamento) nel tempo gli strati informativi, attualmente presenti presso la banca dati del Servizio Geografico Regionale.

**Abstract**

The Pisa municipality is working on the geographic information system of its roads. The A.S.T.R.O. Laboratory of Civil Engineering Department of Pisa University has realised the survey by Mobile Mapping System of these roads. The aim of this paper is to highlight the differences between the survey of suburban roads and the survey of urban roads. These differences are discussed both during survey step and during elaboration and visualization step.
Moreover, this paper briefly describes the update of road graph and the standards for this updating procedure given by Iter.net project of Tuscany Region.

## Introduzione

Il D.M. del 2001, che fissa le modalità di istituzione ed aggiornamento del catasto delle strade, non opera distinzione fra i vari livelli di strade, statali, provinciali o comunali, per quanto riguarda le caratteristiche geometriche e descrittive da rilevare. Nella pratica del rilievo risultano però evidenti le differenze nell'operare su strade provinciali esterne ai centri abitati o su strade comunali che si snodano all'interno di contesti urbani. Queste differenze si manifestano sia in fase di rilievo che in fase di elaborazione e restituzione grafica del rilievo stesso. Le strade extraurbane sono solitamente caratterizzate da archi più lunghi, incroci meno frequenti e dalla presenza di molti archi curvilinei.

Inoltre, risulta di particolare importanza per esse il rilievo delle caratteristiche del franco, dei sistemi di ritenuta e della segnaletica orizzontale longitudinale alla strada. Per contro, nei centri urbani le strade sono continuamente interrotte da incroci e gli archi risultano quindi molto più corti e per lo più rettilinei. In numerosi casi, inoltre, le strade da rilevare sono a senso unico o a fondo cieco. Le caratteristiche predominanti da rilevare, di interesse dell'ente gestore, sono la presenza di marciapiedi e di corsie preferenziali, la segnaletica orizzontale trasversale alla strada e la presenza di caditoie o chiusini.
Anche per quanto riguarda la creazione del grafo stradale di riferimento si hanno delle differenze sostanziali. Mentre per le strade extraurbane, di norma con carreggiate più regolari e prive di ostacoli sulla carreggiata stessa, è ragionevole ipotizzare che l'asse strada possa venire individuato a partire dalle traiettorie di andata e ritorno di un veicolo rilevatore, ciò non è più ammissibile nei centri urbani, dove il veicolo rilevatore è obbligato a continue deviazioni dalla corsia di marcia a bordo strada e in molti casi, su una stessa strada, non è possibile avere le traiettorie di andata e ritorno. Inoltre, sono presenti aree a traffico non strutturato, per le quali è difficile scegliere la traiettoria di rilievo. In questi ambiti, quindi, il grafo deve essere derivato dalla Cartografia Tecnica esistente o da nuove immagini aeree.

**Rilievo delle strade del Comune di Pisa**

Nell'ambito di una collaborazione fra il Laboratorio A.S.T.R.O. della Sede di Topografia e Fotogrammetria del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa e gli incaricati del *Global Service* del Comune di Pisa è stato realizzato il rilievo dell'intera rete viaria comunale.
L'obiettivo principale era quello di creare una banca dati e la relativa rappresentazione su sistema informativo (figura 1) della segnaletica verticale e di alcune caratteristiche geometriche e descrittive della sede stradale.

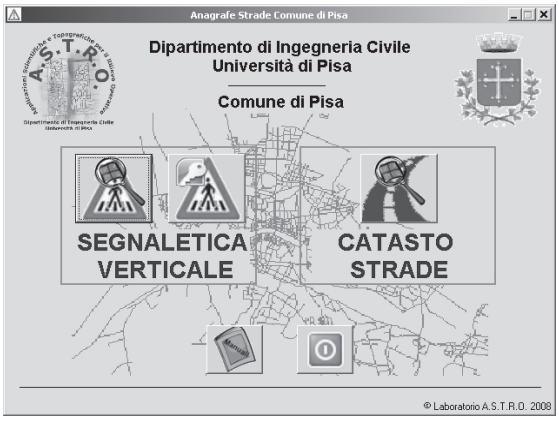



*Figura 1 – Software di gestione degli archivi*

**Rilievo della segnaletica verticale**

Per quanto riguarda la segnaletica verticale non esiste sistema ad alta produttività, che possa rilevare contemporaneamente la posizione e le altre informazioni descrittive quali la tipologia del materiale, la data d'installazione, l'installatore e la classe di rifrangenza. Infatti, se dai fotogrammi scattati da un *mobile mapping system* è possibile determinare la posizione del sostegno ed la tipologia dei cartelli su di esso installati, non sono ricavabili con lo stesso sistema le informazioni a corredo del segnale, che sono riportate sul retro del cartello o che devono essere verificate manualmente, come ad esempio il tipo di materiale, etc..

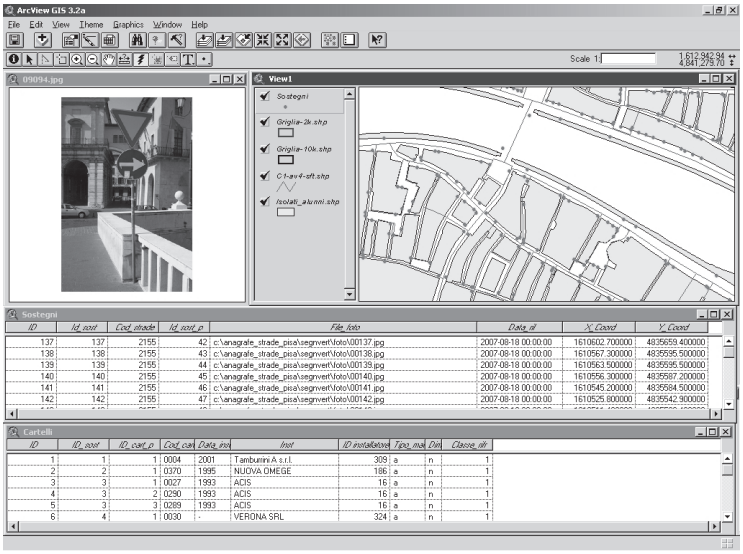



*Figura 2 – Sostegni della segnaletica verticale nel sistema informativo*

Per questi motivi, per popolare il database della segnaletica verticale, è stata organizzata una campagna di rilievo "a piedi". In questo modo, avendo come base la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:2.000, gli operatori hanno evidenziato la posizione della cartellonistica (figura 2) ed hanno potuto raccogliere tutte le informazioni necessarie a descrivere completamente la segnaletica, scattando anche delle foto di dettaglio dell'impianto (figura 3).

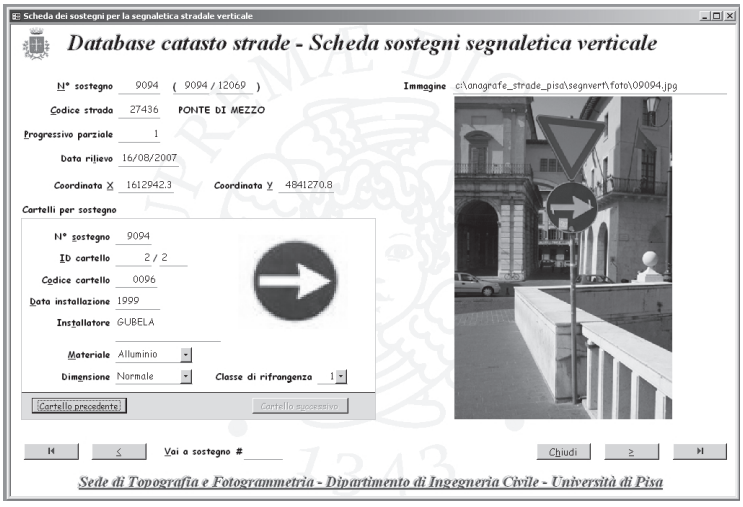



*Figura 3 – Banca dati della segnaletica verticale*

**Rilievo per il catasto strade**

Per il rilievo delle altre caratteristiche della strada (larghezze, marciapiedi, segnaletica orizzontale, corsie preferenziali, ...), il Laboratorio ha utilizzato il *Mobile Mapping System* GIGIOne del Centro di Eccellenza per la Ricerca in Telegeomatica dell'Università degli Studi di Trieste. Questo veicolo, nato ed operante per la realizzazione dei rilievi per la costituzione del catasto strade, così come prescritto dal D.M. del 2001, è stato utilizzato con buoni risultati anche nel rilievo su scala urbana.
Operando nei centri abitati, senza ovviamente poter interrompere la normale circolazione dei veicoli e senza sgomberare le strade dalle auto in sosta o fermata, si evidenziano diverse criticità. Il veicolo rilevatore è costretto a continue deviazioni dalla traiettoria ottimale e spesso l'analisi della strada dai fotogrammi acquisiti dall'MMS è ostacolata dagli altri mezzi presenti sulla stessa. Il rilievo avviene, inoltre, su strade circondate da edifici e l'utilizzo del sistema inerziale è spesso indispensabile per dare continuità al rilievo. Quando però l'indisponibilità di un buon aggiornamento GPS si protrae per periodi relativamente lunghi la precisione nella determinazione della posizione del veicolo e di conseguenza nella determinazione delle posizioni dei punti individuati sui fotogrammi può degradarsi notevolmente. In questi casi, dove comunque non sono stati evidenziati errori grossolani, grazie al sistema Applanix installato sul veicolo MMS utilizzato, il rilievo mantiene validità dal punto di vista qualitativo ma può non rispondere per brevi tratti alle richieste molto restrittive della normativa.
Va sottolineato poi, che il veicolo, dovendo seguire le regole imposte alla circolazione si trova nella condizione di non poter sempre rilevare una strada in blocco unico dall'inizio alla fine, ma di dover spesso percorrere la strada in più tronconi, seguendo magari sensi di percorrenza opposti.
La frammentazione del rilievo comporta notevoli complicazioni in fase di restituzione. Si hanno, infatti, soprattutto in prossimità degli incroci, porzioni di strada rilevate più volte o ricadenti in zone d'ombra. Inoltre, ogni volta che il veicolo compie una curva per immettersi in una via, si ha un tratto di transizione per il quale il veicolo non risulta posto longitudinalmente all'asse strada ma inclinato ed in fase di allineamento: questi tratti, seppur brevi e percorsi lentamente, possono comportare la perdita di alcune informazioni dal punto di vista degli oggetti inquadrati nei fotogrammi.
A questo riguardo è da sottolineare che il veicolo GIGIOne è stato utilizzato in modalità base e quindi con le sole due fotocamere frontali. La presenza di un maggior numero di punti di presa con direzioni diverse potrebbe diminuire questa perdita di informazioni.
In termini generali, comunque, la metodologia di rilievo da veicolo in movimento ha sempre evidenziato problemi per la completa e corretta descrizione delle aree di incrocio, per le quali si ricorrere a sistemi di rilievo aggiuntivi (fotogrammetria o laser da arereo, rilievi manuali, ...) che ne integrino le informazioni.
In ambito urbano si riscontra, inoltre, il problema del rilievo delle piazze, soprattutto quando queste sono aperte alla circolazione ma a traffico non strutturato. Tramite veicolo in movimento è arbitraria la scelta delle traiettorie da seguire e non è univoca la rappresentazione che del rilievo si può fornire in un sistema informativo.
Il Comune di Pisa possedeva un grafo della sua viabilità sul quale risultavano già collegati tutti i database dell'ufficio SIT. Questo grafo, nato dalla digitalizzazione della Carta Tecnica per scopi per lo più di toponomastica ed urbanistici, non si adattava bene alla restituzione automatica dei rilievi realizzati tramite MMS (figura 4).
A partire dalle specifiche di un progetto promosso dalla Regione Toscana si è tentato quindi di aggiornare il grafo in modo da renderlo al contempo accettabile dagli uffici comunali competenti ed utilizzabile per la restituzione dei rilievi realizzati.

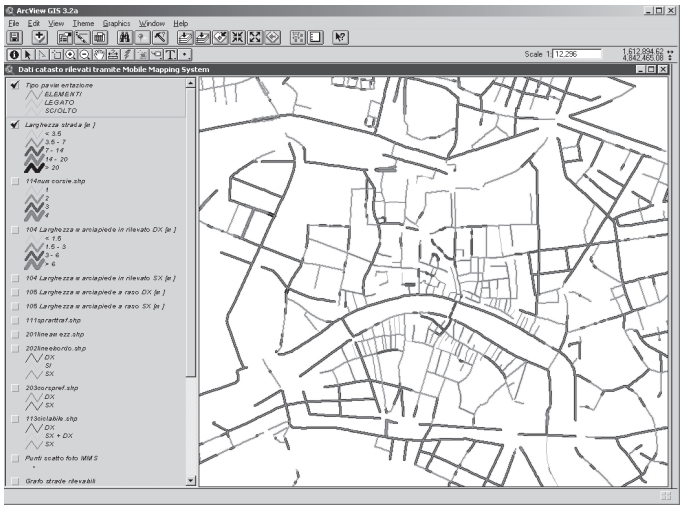



*Figura 4 – Sistema informativo delle caratteristiche geometriche e descrittive delle strade*

**Progetto ITER.NET**

La necessità da parte della Regione Toscana di costituire un Sistema Informativo Geografico per la realizzazione di archivi topografici di base e della viabilità, utili per le funzioni di governo del territorio, ha portato al Progetto ITER.NET (legge regionale D.G.R. 44/2006). Tale Progetto prevede la creazione e l'aggiornamento di archivi a livello regionale, in forma topografica ed informatica omogenea e secondo specifiche tecniche definite, dei dati che sono originati negli uffici toponomastica dei singoli Comuni.
Partendo dai contenuti topografici contenuti nella Cartografia Tecnica Regionale, la Regione Toscana ha già realizzato con procedure automatiche un archivio specifico per la gestione del reticolo stradale formato da diversi "*datapack*": il *datapack* "stradario" completato attraverso la consultazione degli archivi toponomastici comunali ed il "*datapack*" "grafo" contenente le informazioni geometriche, geografiche e utili alla gestione del reticolo stradale inteso come struttura *network* e composta dalle entità "elemento stradale", "giunzione stradale" e "toponimo stradale". Per la loro naturale incompletezza, la Regione richiede da parte dei comuni aderenti al progetto il completamento, la correzione, la gestione e l'aggiornamento nel tempo di tali archivi, garantendo un supporto distribuito per operazioni di programmazione economica, sociale ed ambientale. Alla base dell'elaborazione dei suddetti archivi, si pone la necessità di creare una rete di collaborazione diffusa su tutto il territorio, in grado di garantire una ovvia omogeneità utile al mantenimento della qualità e della natura stessa del complesso di informazioni contenute negli archivi. Il piano di lavoro contenuto nella scheda del Progetto ITER.NET prevede il completamento della banca dati topografica attraverso l'estrazione delle informazioni necessarie dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:2000 e lo sviluppo e realizzazione degli strumenti di gestione e condivisione delle informazioni contenute negli strati informativi della banca dati topografica. Inoltre, il progetto si prefigge di realizzare ed attivare una rete di partnership tra gli enti locali titolari delle informazioni, che concorrano alla gestione delle informazioni contenute nella banca dati regionale.
Seguendo le specifiche di questo progetto si è iniziato un lavoro di studio degli standard ed aggiornamento del grafo stradale utilizzato dal Comune di Pisa.
Nel seguito si riporta un esempio di modifica del grafo relativo a Piazza XX Settembre. Prima della modifica (figura 5 a sinistra), la piazza, che è caratterizzata da traffico non strutturato, è

rappresentata con degli archi che ne percorrevano i contorni. Questi archi però non costituiscono dei reali flussi di traffico e risulta mancante di un nodo caratterizzato come "piazza a traffico non strutturato", richiesto dallo standard ITER.NET. Il grafo modificato, riportato in figura 5 a destra, mantiene i nodi a, b, c, d, e quali possibili accessi alla piazza ma aggiunge un nodo rappresentativo della piazza e gli archi virtuali "di piazza" che significano l'accessibilità alla piazza dalle strade che vi confluiscono. Una rappresentazione di questo tipo, oltre a rispettare gli standard, permette una restituzione più rigorosa dei dati rilevati dal veicolo MMS, attribuendo al nodo ed agli archi virtuali di piazza le caratteristiche della piazza stessa (toponimo, tipologia, pavimentazione, ...).

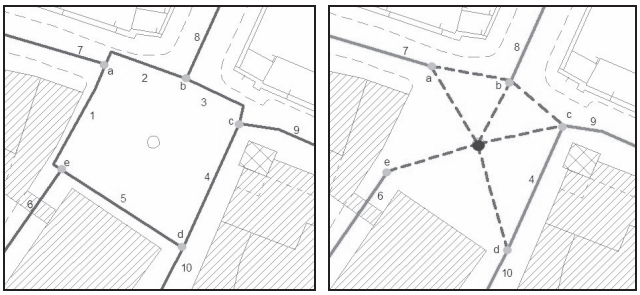



*Figura 5 - Piazza XX Settembre prima e dopo la modifica*

In figura 6 sono invece riportate le modifiche degli incroci di via del Brennero, via Lucchese e Largo San Zeno. Nella vecchia rappresentazione (figura 6 a sinistra) il grafo non teneva conto, soprattutto per la rotonda, degli effettivi flussi veicolari, limitandosi ad una rappresentazione schematica. Nella restituzione automatica dei rilievi del veicolo mobile è invece necessario potersi appoggiare agli archi effettivamente percorsi e gli standar ITER.NET risultano in linea con queste necessità.

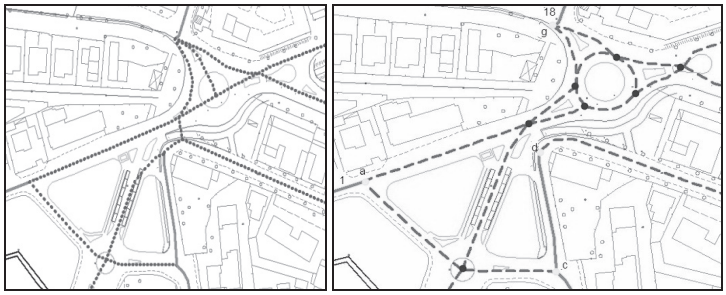



*Figura 6 - Grafo di Via del Brennero, Via Lucchese, Largo San Zeno prima e dopo la modifica*

**Ringraziamenti**

Si ringrazia il Prof. Giorgio Manzoni, che ha messo a disposizione l'MMS "GIGIOne", la Geom. Marina Bonfanti dell'ufficio SIT del Comune di Pisa per la continua collaborazione, il Dr. Andrea Bedini e la Dott.ssa Jessica Micheloni, tecnici del Dipartimento di Ingegneria Civile, per la collaborazione nel rilievo ed il Dott. Dario Simoni per la realizzazione del grafo.

**Bibliografia**

http://www.iternet.fi.eng.it/SigmaPortal2 - Documento di Indirizzo Progettuale ITER.NET

# UN APPROCCIO ALLA GEOREFERENZIAZIONE DI UNA CARTA ANTICA

Daniela CARRION (*), Federica CENARLE (**),
Francesco SOMAINI (***), Giovanna SONA (****)

(*) Politecnico di Milano, DIIAR – sezione Rilevamento
(**) Università degli studi di Milano - Dipartimento di scienze della storia e della documentazione storica
(***) Università degli Studi del Salento - Dipartimento dei Beni delle Arti e della Storia
(****) Politecnico di Milano, Sede di Como, DIIAR

**Riassunto**
Nell'ambito di un progetto di ricerca interdisciplinare cofinanziato, realizzato tra medievisti ed esperti di discipline geomatiche, le potenzialità di tipo informatico e geometrico dei Sistemi Informativi Geografici sono messe a servizio degli Storici. Viene considerato il contenuto metrico e descrittivo presente in una carta antica a colori della prima metà del XV secolo, realizzata su pergamena da un autore italiano, disponibile in formato digitale. Essa si presenta ovviamente molto deformata rispetto alle carte attuali: non è stata infatti redatta seguendo i principi geometrici e matematici della cartografia moderna, tuttavia è ricca di informazioni che si prestano ad un proficuo utilizzo, sia da parte degli studiosi del territorio per valutare i mutamenti emersi nel corso del tempo in tema di aspetti antropici o naturali, sia dagli Storici per avere un'immagine cartografica rielaborata di alcuni elementi geografici del passato, come le vie di comunicazione o la gerarchia degli insediamenti. Attraverso l'individuazione di alcune località visibili sia sulla carta antica che su quelle moderne si è stimata una trasformazione che permette di georeferenziare la carta antica rispetto al sistema di rappresentazione attuale. In seguito alla trasformazione è possibile studiare il campo di deformazioni risultante per valutare se si possano individuare dei sistematismi che permettano di dare una valenza geometrica, secondo i criteri moderni, alla cartografia antica.

**Abstract**
In the frame of a research project that sees historians and geomatics scientists working together, the capability of linking a big number of historical data into a database, and of georeferencing them into a GIS is explored. It has been studied the metric and descriptive content of an ancient map of the first half of XV century, drawn by an Italian author on parchment, and available in raster format. The map contains big deformations in comparison with the present maps: it was not drawn following the geometric rules of today's cartography, nevertheless it contains a rich amount of information that can be profitably used by the researchers of the environmental planning, to evaluate natural and human induced changes in the territory, and by the historians that can read on it geographic elements of the past time, as for instance routes or hierarchical relationships among settlements. Through the identification of a number of sites (villages and towns) visible on the ancient map and still present on the up-to-date cartography, an estimate has been computed of the transformation that allows the georeferencing of the ancient map into the current Italian cartographic system. The deformation field that derives is studied, in order to find out systematic behaviours that can lead to a modern geometric understanding of the ancient map.

## Inquadramento storico

La mappa e la rielaborazione geomatica che qui presentiamo, costituiscono una sorta di esperimento, maturato nell'ambito di una collaborazione interdisciplinare tra storici e cartografi

numerici. Non si tratta dunque di esporre i risultati di una ricerca compiuta, ma di avanzare un'ipotesi di lavoro che ci pare tuttavia suscettibile di un certo interesse.
L'idea di base è quella di considerare del materiale cartografico antico e di provare a ricostruire, attraverso calcoli matematici rapportati alla geografia attuale, il livello delle distorsioni operate dal cartografo rispetto alla realtà, al fine di misurare il valore delle sue conoscenze geografiche e di individuare se possibile la logica delle sue scelte. Come supporto materiale per questo primo tentativo è stata scelta una mappa dell'Italia peninsulare (delle misure di 140 x 66 cm) rinvenuta a Londra, presso la British Library, nel fondo Cotton Charter XIII.44. E' una mappa disegnata a mano su pergamena, eseguita presumibilmente da un cartografo italiano della prima metà del XV secolo[1]. Al di là della bellezza e della preziosità artistica del manufatto, vorremmo elencare rapidamente alcuni elementi che ci paiono utili per un inquadramento generale dell'oggetto cartografico preso in esame.
Si tratta innanzitutto di una "carta regionale"[2]. Già praticata sin dalla tarda antichità, la rappresentazione di spazi regionali, soprattutto ad illustrare alcuni testi narrativi, aumentò dagli inizi del XII secolo. Nel *Liber floridus* di Lambert de Saint Omer (1112 circa) si trova ad esempio la prima carta d'Europa, mentre la prima raffigurazione nota della penisola italiana è la carta di Guido da Pisa, di pochi anni più tarda (1118) (alcune considerazioni sulla nascita di queste carte regionali già in Von Den Brincken, 1988). Altre famose carte regionali vennero prodotte nel secolo successivo (si pensi solo alla celeberrima carta dell'Inghilterra di Matthew Paris, disegnata nel 1250 circa); ma il secondo disegno complessivo della Penisola risale solo alla prima metà del Trecento (1330 circa), e si trova inserito da Paolino Minorita all'interno della sua *Satyrica Historia* (Degenhart, Schmitt, 1973; Quaini, 1976).
Siamo ormai nel tardo Medioevo, proprio nel periodo in cui, come già sottolineava Roberto Almagià, la cartografia regionale iniziò ad avere una sempre più vasta diffusione, soprattutto ad opera di artisti provenienti dall'Italia settentrionale (Almagià, 1929).
Tra Tre e Quattrocento le tecniche di rappresentazione andarono però raffinandosi, grazie ad un'acuita sensibilità alla misurazione delle distanze e, non ultimo, all'importante contributo offerto dai portolani nella definizione delle linee di costa: così la nostra mappa di primo Quattrocento presenta una verosimiglianza notevolmente maggiore rispetto al prototipo del Minorita. L'influenza umanistica è abbastanza evidente. Già il frontespizio, in caratteri maggiori laminati d'oro, recita significativamente: *Italie provincie modernus situs*, con un esplicito richiamo alla suddivisione provinciale romana (l'Italia, come noto, venne in realtà formalmente istituita come provincia dell'Impero solo con le riforme amministrative del III secolo d. C., ma sin dall'età augustea l'area peninsulare, senza le isole, era stata unitariamente organizzata come uno specifico spazio politico, suddiviso a sua volta in 11 *regiones*). Inoltre, le didascalie laterali che ricostruiscono l'etimologia dei nomi delle regioni e delle popolazioni della Penisola si riallacciano chiaramente a quella lunga tradizione etnografica, che affondava le sue radici nella classicità. Sono indizi sufficienti, questi, per rivelare la matrice culturale umanistica della mappa in questione (che forse proprio in omaggio alla tradizione non comprende per l'appunto le isole).
Umanistica è del resto anche l'impostazione generale. Per gli umanisti, infatti, l'Italia sussisteva come una specifica unità storico-culturale, che manteneva la sua unità di fondo, al di là delle trasformazioni e delle divisioni politiche intervenute nel corso del tempo. Questo spiega anche la scelta, da parte dell'autore della nostra carta, per una ricostruzione cartografica che rinunciasse programmaticamente a dar conto di linee politiche relative ai confini interni della Penisola (in quell'epoca peraltro ancora decisamente mutevoli, soprattutto nel Centro-Nord).

[1] La carta è adespota e non riporta in realtà alcuna data. Non vi sono pertanto riferimenti specifici che permettano di identificarne l'autore, né vi sono elementi informativi che consentano di datarla con esattezza, o anche solo di stabilire con buona approssimazione dei termini cronologi *a quo* e *ad quem*. L'attribuzione alla prima metà del secolo XV può essere compiuta solo sulla base di criteri di interpretazione generale, e per esempio sulla considerazione di alcuni elementi estrinseci, come la grafia della scrittura. I bibliotecari della British Library sono giunti ad analoga attribuzione (cfr. British Library, Integrated Catalogue, http://catalogue.bl.uk:80).
[2] Per una definizione, ed un'introduzione teorica, ai concetti di «geografia regionale» e dunque di cartografia regionale, intese come una geografia ed una cartografia dedicate a singoli territori (e non, evidentemente, allo studio della superficie della terra nel suo insieme) si può rimandare a R. MAINARDI, 1994, in particolare alle pp. 21-59.

Accanto all'impostazione umanistica, d'altro canto, l'autore della mappa si pose evidentemente il problema di procedere ad una rappresentazione dell'assetto "moderno" della "provincia" d'Italia: la selezione delle località riprodotte e le distinzioni, tentate attraverso segni grafici, del ruolo (economico e politico, laico o ecclesiastico) da esse rivestito nella società del tempo rimandano immediatamente alla quotidianità, a dimostrare come anche in questo caso - come già ebbe a dire Riccardo Fubini a proposito di Flavio Biondo - l'interesse per l'antichità non fosse tanto richiamo ad una tradizione, quanto piuttosto elemento di confronto "reale", e quindi confrontabile con l'esperienza moderna e vissuta (Fubini, 2003). Anche l'uso dei nomi volgari dei laghi, dei fiumi maggiori e delle località – i soli oggetti rappresentati, con un certo tentativo di precisarne la collocazione, all'interno della carta – sembrerebbe riecheggiare (o forse anticipare) proprio lo stesso Biondo, in particolare là dove, ad introduzione della terza delle *Historiarum ab inclinatione Romanorum imperii decades*, l'umanista romagnolo rivendicava «con forza la liceità, come obbligo di chiarezza, di usare termini e denominazioni moderni» (Fubini, 2003).
Infine, non meno interessante è il testo che circonda il disegno della Penisola. Molto rovinato, e in qualche punto per nulla leggibile in riproduzione (occorre leggerlo in originale con la lampada di Wood), esso rivela come l'autore non si limitasse a rifarsi ad una tradizione etimologica di lunghissima durata, ma tendesse – non diversamente da Biondo – ad inserire notazioni riferite alla propria contemporaneità[3]. «Sunt insuper in hac provincia particulares provinciae...»: il nostro autore elenca quindi una serie di provincie di cui, oltre a dare l'etimologia del nome, aggiunge anche notazioni sulla odierna o passata «metropolis» e sulle variazioni subite nel tempo. Anche in questo caso, la tradizione classica è presa come termine di confronto per la situazione contemporanea, a sottolineare mutamenti e permanenze.
Insomma, anche per il fatto di essere presumibilmente databile ad anni in cui venne definendosi in Italia un assetto territoriale meno frantumato per effetto della progressiva affermazione dei cosiddetti "Stati regionali", la lettura geografica proposta da questa mappa risulta interessante, in quanto, pur senza riferimento esplicito alle cangianti divisioni politiche coeve, viene proposto un compattamento provinciale della Penisola intorno ad un ristretto numero di città di rango «hodie» metropolitano. Nel complesso, e in attesa di ulteriori e piú approfondite analisi, questo prodotto cartografico sembra risentire visibilmente della rottura operata dagli umanisti rispetto alle concezioni geografico-etnografiche del passato, e di quella rilettura "moderna" della tradizione che il Biondo iniziava a teorizzare già negli anni Trenta del XV secolo.
Ció premesso, quale può essere l'utilità, per lo storico, dell'esperimento che stiamo tentando? Il calcolo delle distorsioni operate dal cartografo potrebbe essere prezioso strumento per rivelare i punti focali di osservazione dell'artista, per cogliere il grado di precisione nella ricostruzione delle sequenze spaziali, per avanzare ipotesi sull'eventuale utilizzo di una bussola o di altra strumentazione tecnica, e, forse, anche per individuare alcune connessioni di questa carta con possibili fonti letterarie.

**Georeferenziazione della carta**
La carta antica è stata georeferenziata con il software commerciale ArcView®, in questa fase della ricerca si è deciso di concentrarsi su una porzione del Nord Italia. Sono stati individuati sulla carta antica 62 punti corrispondenti a località presenti anche sulla cartografia attuale: tali punti sono stati utilizzati per mettere in corrispondenza le coordinate immagine della scansione corrispondente alla carta antica, con le coordinate geografiche attuali. La posizione dei punti sulle carte, e la conseguente assegnazione di coordinate, è ovviamente affetta da un grado piuttosto elevato di incertezza, essendo le località rappresentate sulla carta antica da disegni di edifici di misura variabile, ed avendo sulle odierne carte estensioni anche di qualche km (per esempio Milano); questa scarsa precisione di posizionamento però è certamente sufficiente per gli scopi di questo

[3] Sembra per il momento da scartare l'ipotesi suggestiva che la mappa in questione potesse costituire in realtà una sorta di rappresentazione cartografica dell'*Italia* biondiana (cfr. BIONDO, 1531). Parzialmente difforme risulta diversa infatti la serie delle località prese in esame nelle due opere.

lavoro. L'intento di questa operazione, come detto precedentemente, è quello di analizzare il campo di deformazioni risultante per trarne informazioni utili per gli studi storici. A tal scopo, è stata applicata una trasformazione affine (a 4 parametri) a tutti i 62 punti e i vettori corrispondenti agli scarti a valle della trasformazione sono riportati in Figura 1.

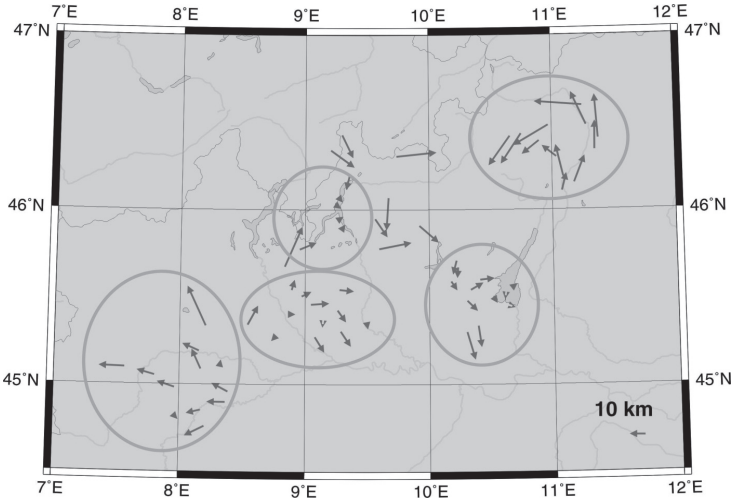



*Figura 1 – Scarti a valle della trasformazione affine*

E' interessante notare, già da questa prima elaborazione, come i vettori non abbiano un andamento di tipo casuale, ma abbiano un comportamento abbastanza omogeneo all'interno di 5 zone facilmente individuabili, indicate in figura. Questi differenti andamenti possono portare a formulare delle ipotesi di carattere storico, come verrà spiegato nel paragrafo seguente.

La trasformazione affine è una trasformazione rigida che non permette di tener conto di anisotropie all'interno del campo di deformazioni della carta, tuttavia permette di mettere in evidenza tali comportamenti. Per minimizzare i residui della trasformazione è possibile applicare trasformazioni di tipo locale, con algoritmi tipo *rubber sheeting*. Questi algoritmi, al contrario di quelli globali, agiscono localmente, applicando parametri diversi a diverse porzioni dell'immagine. Come è noto le trasformazioni locali permettono di ridurre molto o annullare i residui sui punti forniti all'algoritmo, in quanto inseguono gli andamenti locali delle deformazioni. (Balletti, 2006). I criteri per la suddivisione dell'immagine in elementi finiti possono essere vari; il software ArcView®, utilizzato per questo lavoro, utilizza il metodo della triangolazione per l'algoritmo chiamato "adjust".

Per valutare l'accuratezza metrica delle due trasformazioni considerate (globale e locale) i 62 punti doppi a disposizione sono stati suddivisi in due sottoinsiemi: uno di 46 punti utilizzati per la stima della trasformazione (Ground Control Points o GCP) e uno di 16 punti (Check Points o CP), utilizzato per verificarne l'accuratezza. Nella tabella seguente sono riportati e i valori di RMS calcolati sui CP dopo aver applicato alla carta tre diversi tipi di trasformazioni: la trasformazione affine, la trasformazione "adjust" e le spline.

| | RMS Lungo X [m] | RMS Lungo Y [m] | RMS Distanza [m] |
|---|---|---|---|
| Trasf. Affine | 12570 | 11719 | 17185 |
| Algoritmo "Adjust" | 8264 | 8438 | 11811 |
| Spline | 9577 | 8873 | 13056 |

*Tabella 1 – RMS dei residui calcolati sui CP a valle di tre diverse trasformazioni applicate alla carta antica.*

Come si può vedere, e come ci si aspettava, l'accuratezza delle trasformazioni di tipo locale è superiore a quella della trasformazione di tipo globale. Tuttavia si osserva che, verificando tale accuratezza su un set di dati (i CP) diverso da quello usato per la stima, l'ordine di grandezza rimane invariato, ovvero i valori di RMS ottenuti con trasformazioni globali o locali non differiscono significativamente. In ogni caso un'accuratezza intorno alla decina di Km è sorprendente per una carta così antica generata senza alcun criterio di proiezione e a piccola scala. Dalla figura seguente si può inoltre notare come l'andamento generale dei vettori corrispondenti agli scarti sui CP dopo la trasformazione locale "adjust" (in rosso) non sia drasticamente diverso da quello ottenuto con la trasformazione affine globale (in nero).

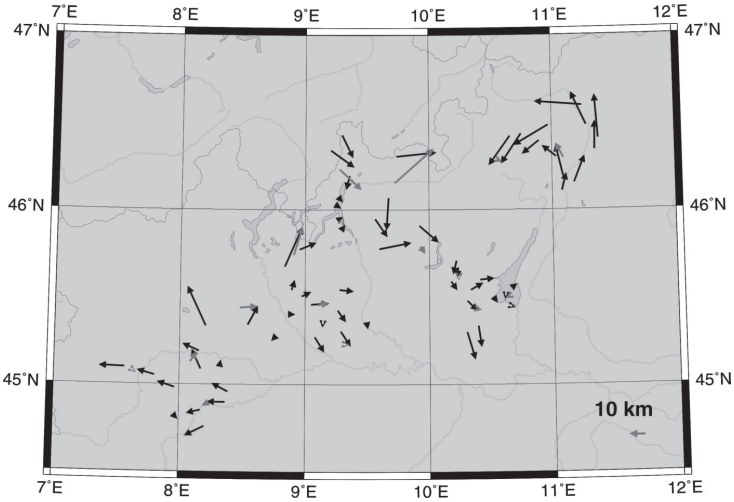



*Figura 2 – Scarti a valle della trasformazione affine (in nero) e scarti residui sui soli CP a valle della trasformazione locale "adjust" (in rosso).*

Certamente le trasformazioni locali, per essere affidabili, richiederebbero l'utilizzo di un numero molto maggiore di punti noti. Le deformazioni subite dalla carta in seguito all'applicazione di algoritmi di questo tipo al confine fra le zone in cui viene suddivisa la carta, trattate come omogenee, possono però essere molto forti (questo, come effetto collaterale, può inoltre rendere difficoltosa la lettura dei toponimi sulla carta trasformata.).
La carta georeferenziata può essere utilizzata per creare un database di carte storiche e valutare l'evoluzione del territorio nel tempo, attraverso la georeferenziazione di località di interesse storico non più presenti nella cartografia attuale. A questo scopo la carta ottenuta con la più semplice trasformazione affine permette di raggiungere una sovrapposizione già accettabile con la cartografia attuale che ne preserva l'interpretabilità.
Si intende procedere nel lavoro valutando la possibilità di applicare algoritmi in grado di individuare i cluster dei residui dopo la trasformazione rigida in modo oggettivo, così da poter applicare un secondo passo di trasformazione di tipo locale, sfruttando metodi di interpolazione statistici come ad esempio la collocazione.

**Analisi storica preliminare del campo di deformazioni**
Si può immaginare come la presenza di aree omogenee all'interno del campo di deformazioni della carta sia il risultato della diversa conoscenza che l'autore probabilmente aveva delle diverse aree rappresentate. Le deformazioni più grandi si presentano nella zona alpina, mentre la precisione è maggiore per l'area della pianura padana centrale e per la zona dei laghi. Questo potrebbe far pensare ad una conoscenza più accurata della zona della Lombardia centro-orientale, cosa che dagli elementi informativi estrinseci non si può desumere con certezza. E' interessante anche valutare

l'andamento dei vettori della zona piemontese (Monferrato-Langhe). Sono tutti di dimensioni significative, ma generalmente orientati in modo piuttosto omogeneo (verso Ovest e Nord-Ovest). Forse si potrebbe pensare ad una conoscenza piuttosto buona della geografia della zona, ma non di tipo diretto: è come se l'autore avesse trasposto sulla sua carta notizie abbastanza precise, ma senza avere una sicura conoscenza dell'area, per la qualcosa potrebbe aver compiuto un errore di calcolo (trascinando eccessivamente verso Ovest le località piemontesi con cui aveva a che fare). Si potrebbe anche ipotizzare che l'autore non avesse a disposizione una bussola, o che la usasse in modo approssimativo (ciò potrebbe forse far propendere per una datazione in qualche modo più risalente rispetto a quella che era stata tendenzialmente ipotizzata, portandoci più verso l'inizio che non verso la metà del XV secolo, cosa che evidentemente renderebbe lo studio di questa mappa ancor più interessante). Se inoltre si ipotizza che le valli siano state percorse a partire da località di pianura, di posizione conosciuta con maggior precisione, si potrebbe forse spiegare il progressivo aumento dei residui verso nord (in Alto Adige) o ovest (in Piemonte) con la difficoltà di determinazione precisa delle distanze, e una loro eventuale sovrastima.

**Conclusioni e sviluppi futuri**

Dal confronto delle deformazioni ricavate dopo l'applicazione di tre diversi algoritmi su un numero non elevato di punti, si ritiene che, nonostante una trasformazione rigida non permetta di sovrapporre in maniera ottimale la carta antica a quella moderna, fornendo scarti superiori rispetto a quelli ottenibili con algoritmi tipo *rubber sheeting*, possa in alcuni casi essere uno strumento utile per ottenere una carta georeferenziata di lettura agevole, non avendo subito deformazioni di rilievo. L'analisi dei residui della trasformazione permette di fare ipotesi sulla genesi della carta, sul suo autore e su metodi e strumenti di rilievo utilizzati.

Il lavoro di ricerca proseguirà in queste direzioni, sperimentando l'applicazione di una trasformazione di tipo locale che segua principi di tipo statistico, come ad esempio la collocazione.

**Bibliografia**

Almagià R. (1929), *Monumenta Italiae cartographica. Riproduzioni di carte generali e regionali d'Italia dal secolo 14. al 17.*, Firenze, Istituto Geografico Militare.

Balletti C. ( 2006), *Digital elaborations for cartographic reconstruction: the territorial transformations of Venice Harbours in historical maps*, e-Perimetron, autumn, 1, 4, 274-286.

Biondo F. (1531), *Italia Illustrata*, in ID., *Blondi Flavii Forliviensis de Roma triumphante libri decem, priscorum scriptorum lectoribus utilissimi, ad totiusque romanae antiquitati cognitionem pernecessarii; Romae illustratae libri III; Italia illustrata; Historiarum ab inclinato Romanorum Imperio decades III; omnia multo quam ante castigatiora*, Basel, Froben, pp. 293-423.

Degenhart B., Schmitt A. (1973), *Marino Sanudo und Paolino Veneto. Zwei Literaten des 14. Jahrhunderts in ihrer Wirkung auf Buchillustrierung und Kartographie in Venedig, Avignon und Neapel*, in «Römisches Jahrbuch für Kunstgeschichte», XIV, pp. 1-135.

Fubini R.(2003), *La geografia storica dell'«Italia illustrata» di Biondo Flavio e le tradizioni dell'etnografia*, in ID., *Storiografia dell'Umanesimo in Italia da Leonardo Bruni ad Annio da Viterbo*, Roma, p. 55.

Mainardi R.(2003), *Geografia regionale*, Roma, Carocci, (1ª ed. 1994).

Quaini M., *L'Italia dei cartografi*, in AA. VV., *Storia d'Italia*, a cura di R.Romano.

Vivanti C.(1976), *Atlante*, vol. VI, a cura di L. GAMBI e G. BOLLATI, Torino, Einaudi.

Von Den Brincken A.D. (1988), *Kartographische Quellen Welt-, See- und Regionalkarten*, Turnhout, Brepols.

# METODI E MODELLI PER IL CONTROLLO DI QUALITÀ DI DATA BASE TOPOGRAFICI MULTISCALA

Daniela CARRION (*), Andrea MAFFEIS (*), Livio PINTO (*)

(*) DIIAR - Politecnico di Milano, P.zza L.da Vinci, 32 – 20133 Milano, tel. 0223996543,
e-mail: [daniela.carrion; andrea.maffeis; livio.pinto]@polimi.it

**Riassunto**

Negli ultimi anni Regione Lombardia ha periodicamente promosso bandi di co-finanziamento destinati ad aggregazioni di Comuni e finalizzati alla produzione di Data Base Topografici. Occorre tener presente che questi lavori sono i primi che vengono prodotti con nuove specifiche tecniche, emesse da Regione Lombardia ma redatte secondo le disposizioni emerse all'interno di IntesaGIS e contenenti numerose componenti innovative rispetto alle usuali normative per la realizzazione di cartografia numerica.

In questo contesto in questo lavoro si presentano le procedure e le soluzioni operative adottate, soprattutto dal punto di vista dell'automatizzazione del processo, al fine della validazione in corso d'opera delle differenti fasi di realizzazione del DBT.

La metodologia di controllo si basa non solo sulle prescrizioni dei Capitolati Speciali d'Appalto e delle Specifiche regionali, ma si ispira anche alle normative internazionali in materia di qualità dei dati georeferenziati (ISO 19113 e ISO 19114).

**Abstract**

In the last few years Regione Lombardia has periodically promoted public announcements, addressed to local administrations or to aggregations of local administrations, to co-finance the production of databases with georeferenced and topologically structured data (Data Base Topografici, DBT).

The authors of this paper are taking care of the quality control of the DBT realization for two large aggregations (the first to achieve the Regione Lombardia funds), covering an area of 133000 ha. In this work are presented the procedures and the solutions achieved, in particular regarding the automation of the test and quality control process. It is important to notice that these are the first works that are produced according to the new technical specifications issued by Regione Lombardia. Besides the international standards about the georeferenced data quality control (ISO 19113 e ISO 19114) are taken into account. The procedures have been developed implementing new software, or designing ArcGIS models (using the Model Builder) or simply defining work flows.

## Il controllo di qualità in corso d'opera: principi e metodi

Ogni lavoro di produzione cartografica è regolamentato dal relativo Capitolato Speciale d'Appalto e da apposite specifiche tecniche. Ormai da diversi anni è maturato il processo evolutivo che ha portato da prodotti del tipo "Cartografia Numerica" verso i cosiddetti "Database Topografici", per cui i capitolati/specifiche contengono norme e indicazioni appositamente scritte per la fase di strutturazione dei DBT. Per quanto riguarda la Regione Lombardia, a partire dal 2004 sono state emesse delle specifiche tecniche e di contenuto[1] che recepiscono il lavoro svolto da IntesaGIS nell'ambito dell'Intesa Stato_Regioni_Enti locali[2] e ne propongono un modello applicativo. La gran

[1] L'ultima versione delle specifiche è stata approvata con dalla Giunta Regionale con la delibera N. VIII-6650 del 20 Febbraio 2008.

[2] Specifiche per la realizzazione di Data Base Topografici di interesse generale.

parte dei lavori di produzione cartografica appaltati in Lombardia recentemente utilizzano tali specifiche, con il chiaro intento di ottenere una base cartografica omogenea e armonizzata. Al fine di garantire la congruenza tra il prodotto consegnato e le richieste di capitolato, solitamente è previsto un collaudo formale, che si configura come un controllo di qualità in corso d'opera. Al termine di ogni fase produttiva per poter procedere con il processo produttivo è richiesto che il relativo controllo di qualità sia positivo.

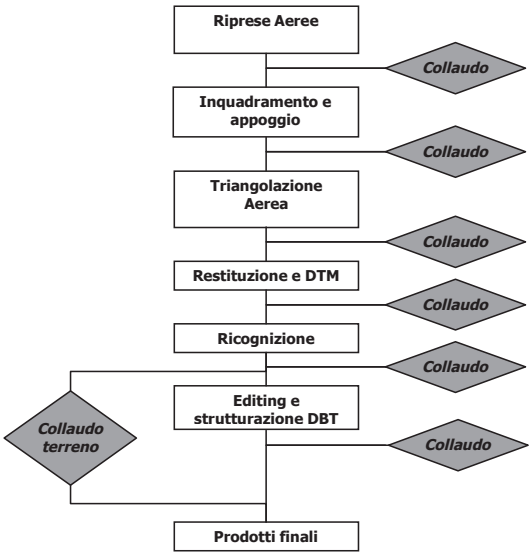



*Figura 1 – Fasi realizzative del DBT e relativi collaudi in corso d'opera.*

Nel rinnovato contesto delle produzioni cartografiche, si rende quindi necessario un ripensamento e una ristrutturazione anche per le procedure di collaudo e di controllo formale.

Per quanto riguarda la fase di strutturazione del DBT si devono mettere a punto strumenti che permettano un controllo che non sia solo a campione, ma sulla totalità dei dati. I controlli dovranno innanzitutto verificare che la struttura e la compilazione dei dati sia aderente al modello logico richiesto, ma anche che non ci siano errori per quanto riguarda la componente geometrica o i vincoli topologici.

Infine occorre ricordare che, nell'ottica di produzioni cartografiche multi-scala (1:1000/1:2000 e 1:5000/1:10000), che interessano aree estese di territorio (ordine di grandezza provinciale), non è pensabile procedere a controlli di qualità basati unicamente su ispezioni visive o su verifiche (semi) manuali a campione, anche per quanto riguarda i collaudi delle fasi precedenti la strutturazione del DBT. Perciò, nel presente lavoro vengono trattati i metodi sperimentati dagli autori nel contesto di collaudi cartografici attualmente in corso di svolgimento. In particolare due sono gli esempi che hanno fatto maturare le proposte contenute nelle metodiche di seguito riportate; il primo, avviato nel 2007, è la realizzazione del DBT alla scala 1:1000 (centri storici) e 1:2000 (intero territorio) di un gruppo di 45 Comuni coordinati dalla Provincia di Milano e dal CAAM (Consorzio Area Alto Milanese), 32 dei quali appartengono alla costituenda Provincia di Monza e Brianza (Carrion et al., 2006): la realizzazione è attualmente in atto e se ne prevede la conclusione entro il gennaio 2009; il secondo, anch'esso avviato nel 2007, riguarda la realizzazione giunta al termine (settembre 2008) del DBT a scala 1:10000 (intero territorio) e 1:2000 (centri abitati) per complessivi 110.000 ha circa di territorio della Provincia di Cremona, progetto coordinato dalla Padania Acque S.p.A. Nei paragrafi seguenti, suddivisi per fase di lavorazione -e quindi di collaudo- vengono presentate le metodiche messe a punto finalizzate al controllo di qualità del DBT.

**Riprese aeree**

Il controllo delle riprese aeree può avvalersi, forse maggiormente che nelle successive fasi, del supporto della tecnologia. Le moderne camere da presa sempre più sono equipaggiate con strumentazione di navigazione IMU/GPS in grado di fornire, unitamente alle singole immagini, anche l'orientamento esterno in modo più o meno approssimato. Inoltre la possibilità di disporre di modelli digitali del terreno (DTM) di tutto il territorio nazionale permette di proiettare i contorni delle immagini direttamente sul terreno verificando la completezza della copertura fotografica e i ricoprimenti di progetto. A tal proposito gli autori hanno realizzato un software denominato *Verifica* e scritto in linguaggio C++, in grado di compiere gli usuali controlli sulle riprese fotogrammetriche

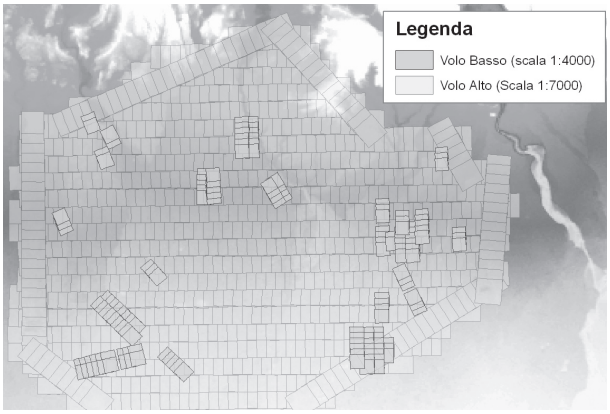



*Figura 2 – Output del software di controllo delle riprese aeree (ripresa Provincia di Milano, 2007).*

(controllo dei ricoprimenti, della scala minima e massima, degli angoli di assetto e della deriva dei fotogrammi) in modo del tutto automatico. Il programma segnala le zone del DTM non ricoperte nonché tutti i parametri i cui valori risultano esterni agli intervalli preimpostati. Vengono prodotti output di tipo sia numerico che grafico, in formato DXF 3D e in formato GML per una importazione in ambiente GIS e per una immediata visualizzazione sul DTM. Per motivi di brevità si rimanda alla bibliografia (Maffeis, Pinto, 2008) l'approfondimento dell'argomento, riportando in figura 2, una immagine di output del controllo della ripresa aerea dell'appalto Provincia di Milano-2007.

**Appoggio e TA**

La determinazione dell'orientamento esterno (OE) delle singole immagini è fase tra le più delicate di tutto il processo fotogrammetrico: da essa infatti dipende la validità geometrica del processo e la corretta individuazione del *datum* adottato per la produzione del DBT. Dal punto di vista realizzativo attualmente ci si avvale quasi esclusivamente di procedure di Triangolazione Aerea di tipo Automatico (TAA): in questo caso il prodotto finale del calcolo di compensazione è la lista dei parametri di OE delle immagini che verranno direttamente imposti nei restitutori fotogrammetrici. I software commerciali forniscono output esaustivi sia per quanto riguarda i risultati (OE) che per i relativi controlli di qualità (sqm dei parametri stimati).

Solo di rado vengono ancora determinate le coordinate dei punti di legame direttamente osservati dall'operatore per consentire l'orientamento assoluto dei singoli modelli.

Per quanto concerne il sistema di riferimento occorre ricordare che le recenti specifiche prescrivono che nel DBT siano da adottare le coordinate UTM-WGS84-ETRS89, congruenti con le coordinate dei punti di appoggio sia terreno che aerei realizzati con GPS. Questi ultimi provengono dal trattamento cinematico del GPS posto a bordo dell'aeromobile, molto spesso associato ad un apparato inerziale per fornire i valori dell'O.E. delle immagini.

L'analisi dei residui di compensazione sui parametri stimati dà un riscontro sulla qualità dei dati e del loro trattamento: infatti residui di tipo sistematico sono indice di presenza di errori nella calibrazione dei sensori (in particolare quelli aviotrasportati) o nel trattamento delle misure. Per mettere in evidenza tali errori è buona norma che alcuni punti di appoggio siano svincolati nel calcolo ed utilizzati come punti di controllo.

L'utilizzo del GPS consente di verificare in modo oggettivo la realizzazione delle misure: è infatti possibile verificare i tempi di stazionamento (data e durata) ed eventualmente ripetere il calcolo della rete con differenti configurazioni di misure e/o software di calcolo. E' da sottolineare che la presenza di reti di Stazioni Permanenti facilita la misura discreta o continua di punti di controllo. In alternativa le reti statiche diffuse sul territorio (rete IGM95 o suoi raffittimenti) consentono il riattacco al *datum*.

**Restituzione e DTM**

Al termine della fase di restituzione è richiesto che venga ripetuta, in maniera totalmente indipendente, la restituzione per alcuni elementi (ritenuti un insieme statisticamente significativo) in modo tale da poterli confrontare con la restituzione da collaudare.

È stata messa a punto dagli autori una procedura, implementata poi con il "Model Builder" in ArcGIS, che permette di ottenere automaticamente il valore dello scostamento tra gli elementi ripetuti ed originali.

Il primo passo è la selezione (sia nella restituzione originale che in quella ripetuta) dei soli layers relativi ad elementi fisici facilmente riconoscibili e determinabili, per esempio edifici e manufatti. Quindi si trasformano tutti i vertici degli elementi selezionati in un tema di tipo puntuale con le coordinate X,Y, Z memorizzate nella tabella degli attributi. Infine si identifica per ogni vertice della restituzione ripetuta l'omologo vertice nella restituzione originale, calcolando lo scostamento nelle tre direzioni. Per l'identificazione degli omologhi, supponendo che gli elementi si trovino ragionevolmente vicino, è sufficiente adottare un criterio di massima vicinanza, imponendo eventualmente una distanza limite entro cui cercare i punti.

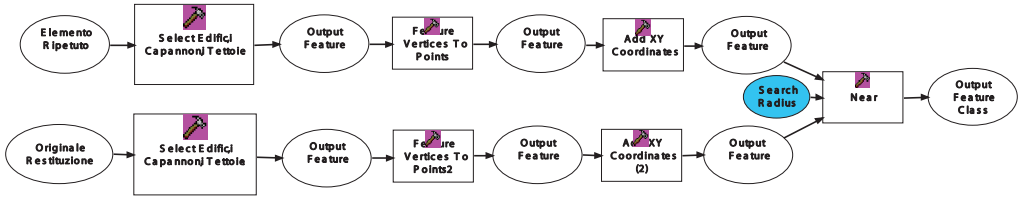



*Figura 3 - Schema del modello implementato per il calcolo dello scostamento tra punti omologhi*

Durante la fase di restituzione vengono acquisiti anche tutti quegli elementi che sono necessari per la generazione del DTM. Ad esempio nelle ultime versioni del capitolato di Regione Lombardia è richiesto che siano forniti solo i punti quotati e *breakline* che insieme a tutti gli elementi "appoggiati" al suolo rappresentano i dati di input per la generazione del DTM, demandata ad operazioni esterne alla produzione del DBT. Tuttavia in molti lavori di produzione cartografica è richiesto dalle specifiche che il DTM sia consegnato quale prodotto dell'appalto (in formato TIN o Grid), al pari del DBT o di altri prodotti quali le ortofoto; in questo caso è opportuno che si prevedano delle apposite procedure di verifica.

Di seguito si presentano delle procedure automatiche sperimentate per il collaudo di un DTM grid di tipo "*Level 3*". Tali procedure sono implementate a monte del collaudo sul terreno.

Si è pensato di verificare la qualità del DTM su un duplice fronte: da un lato confrontando la quota di alcuni elementi restituiti con la corrispondente quota sul DTM, dall'altro verificando il DTM lungo le curve di livello ottenute da una restituzione indipendente (ripetizione di collaudo).

Entrambe le procedure si basano sulle seguenti operazioni:

- Selezione: vengono selezionati (con apposite "query" solo gli elementi di interesse).
- Normalizzazione: Tutti i vertici degli elementi selezionati vengono convertiti in punti e tra gli attributi viene memorizzata la quota.
- Interpolazione: in corrispondenza di ogni elemento del tema si calcola, per interpolazione bilineare, la corrispondente quota sul DTM riportandola nella tabella degli attributi.

Infine per ogni punto si calcola semplicemente lo scostamento tra "quota DTM" e "quota restituzione" registrandone il valore numerico.

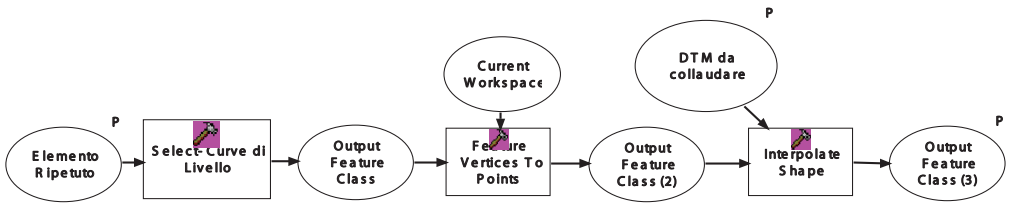



*Figura 4 – Schema semplificato del Modello implementato per il controllo del DTM*

Grazie al "Model Builder" di ArcGIS è stato possibile implementare dei modelli che consentono di automatizzare le procedure descritte.

**Ricognizione**

Così come si dirà per il collaudo finale sul terreno, anche la fase di ricognizione poco si presta all'implementazione di modelli, che pur ampliando il campione controllato, ne automatizzino nel contempo lo svolgimento. E' comunque da considerare che questa fase ha una rilevanza che aumenta con la scala della carta: se quindi per la scala 1:5000 - 1:10000 l'integrazione da realizzare sul terreno è tipicamente informativa (riguardante la toponomastica, l'uso del suolo e i limiti amministrativi), per le scale 1:1000 – 1:2000 spesso si deve integrare la restituzione anche con misure dirette sul terreno (per il rilievo di particolari defilati nella presa, coperti da vegetazione, per la sgrondatura degli edifici, ecc). Per non creare confusione sovrapponendo informazioni differenti, le specifiche richiedono che in tutti i casi i documenti da presentare a collaudo siano due: una minuta di ricognizione per l'integrazione metrica e una per quella informativa, e la validazione di quest'ultima può essere fatta (tramite timbro e firma) dai tecnici comunali, unici veri conoscitori del territorio.

Nei due appalti che sono in fase di collaudo con le specifiche di Regione Lombardia, per il conteggio degli errori sono state validamente utilizzate tabelle nelle quali le inesattezze vengono distinte tra errori di completezza (omissione o immissione) ed errori di accuratezza tematica. Inoltre è tornato molto utile evidenziare sulle minute di restituzione tutte le zone segnalate come "zone di incerta o difficoltosa restituzione e/o identificazione", verificando su di esse i risultati della ricognizione.

L'onere del controllo è maggiore se al DBT vengono integrati in modo georeferenziato anche accessi e numeri civici. In questo caso è possibile verificare con semplici *query* in ambiente GIS la corrispondenza tra edifici e le entità puntuali degli accessi e dei numeri civici, concentrando i controlli dove le corrispondenze sono mancanti o dubbie.

**Editing e strutturazione DBT**

Il controllo di qualità per quanto riguarda il DBT è sostanzialmente incentrato sulla verifica della congruenza logica dei dati prodotti, in pratica si tratta di valutare il grado di aderenza dei dati e delle relazioni tra di essi agli schemi logici definiti a priori. Per questo controllo si introducono alcuni principi che non erano contemplati nei tradizionali metodi di collaudo: innanzitutto è necessario verificare l'intera base dati e quindi non solo un set di oggetti scelti a campione. Quindi, non sono ammesse incongruenze gravi, nemmeno in una percentuale minimale.

Di conseguenza è necessario predisporre procedure a tappeto per accertarsi che i diversi aspetti dei prodotti consegnati (sia quelli puramente geometrici sia quelli di tipo alfanumerico) siano conformi al modello logico previsto.

I controlli di congruenza logica, si possono suddividere nei seguenti parametri:

- Congruenza di formato: con questo controllo si verifica, innanzitutto che il formato fisico di consegna sia quello previsto dalle specifiche/capitolato. Le specifiche di Regione Lombardia prevedono che il formato di consegna sia lo shapefile (per ogni classe un file) e la tipologia

delle geometrie sia di tipo 3D (PointZ, PolylineZ, PolygonZ). Successivamente si verifica che per ogni classe sia presente una tabella alfanumerica associata i cui nomi dei campi ed il *DataType* siano quelli previsti dalle specifiche di contenuto. Sono presenti alcuni campi per cui è prevista l'obbligatorietà della valorizzazione, per cui si identificano eventuali istanze con valori nulli. Infine, è richiesto che le primitive geometriche delle classi poligonali e lineari siano semplici, per cui si verifica che nessuna *Feature* contenuta nel DBT sia del tipo *Multi-part*.

- Congruenza di dominio: per congruenza di dominio si intende che i valori che popolano le istanze del DBT siano tra quelli previsti dalle specifiche/capitolato. Per i valori di tipo numerico si verifica l'appartenenza ad un determinato *range*, mentre per gli altri si verifica l'appartenenza al relativo dominio enumerato.
- Congruenza geometrica: un controllo fondamentale per un DBT è la congruenza geometrica, ovvero che le primitive geometriche di ogni *Feature* non presentino anomalie come ad esempio vertici doppi, auto-intersezioni, orientamento dei poligoni errato, etc.
- Congruenza topologica: come controllo conclusivo si verificano che i vincoli topologici tra le entità siano rispettate: in particolare si verifica la disgiunzione tra oggetti della stessa classe, tra oggetti di classi non sovrapponibili, la completa copertura del territorio da parte delle classi areali previste, la connessione degli elementi che compongono i grafi.

**Collaudo finale sul terreno**

Anche nella realizzazione dei DBT il controllo diretto sul terreno è l'atto con il quale si convalida in modo indipendente la veridicità dell'informazione geometrica e semantica contenuta nel *database*. Questa operazione viene realizzata a campione su una percentuale definita di territorio (generalmente il 5%). La semplicità di utilizzo del GPS (in particolare se impiegato in modalità RTK e se connesso ad una rete GPS di Stazioni Permanenti di servizio quale quella gestita in Regione Lombardia da IREALP) può certamente aiutare ad aumentare il campione di confronto nonché a garantire il controllo 3D di ciascun punto misurato; operando poi col GPS in modalità cinematica (meglio se montato su veicolo) si può controllare diffusamente la quota degli assi stradali.

Per queste operazioni è possibile utilizzare le stesse modalità di controllo già viste nella fase di Restituzione e DTM.

**Conclusioni**

Tenendo conto della specificità di ogni singola produzione cartografica, le soluzioni operative proposte non ambiscono ad essere universalmente valide, piuttosto si configurano come un valido ausilio opportunamente adattabile ad una serie di controlli di qualità. A seconda della tipologia di controlli e dei dati di partenza, si sono individuati degli strumenti idonei per eseguire i controlli: implementazione di appositi software, progettazione di modelli in ArcGIS (con il Model Builder) o più semplicemente la definizione di flussi di operazioni da eseguire.

Con ciò gli autori non ritengono di aver risolto il *gap* esistente tra coloro che realizzano il prodotto cartografico e coloro che per contratto sono deputati al controllo dell'operato di chi realizza, *gap* che a volte sembra incolmabile e a volte inesistente. Certamente però si è cercato di fornire, alla luce delle potenzialità che i software GIS consentono, delle procedure di controllo il più possibile analitiche, complete e per questo condivisibili.

**Bibliografia**

Carrion D., Maffeis A., Migliaccio F., Pinto L., "Aspetti tecnici della progettazione di un Database topografico multirisoluzione", *Atti del Convegno Nazionale SIFET*, Arezzo, 27 – 29 Giugno 2007.
Maffeis A., Pinto L., "A software package to check aerial blocks from GPS/IMU-assisted cameras", *Proceedings of the XXI ISPRS Congress*, Beijing, 2008 July 3-11.
IntesaGIS - Comitato Tecnico di Coordinamento, Specifiche per la realizzazione di Data Base Topografici di interesse generale – 1n1014 Linee guida per l'implementazione.
UNI EN ISO 19113:2005 – Quality Principles
UNI EN ISO 19114:2005 – Quality evaluation
Regione Lombardia, Specifiche Tecniche aerofotogrammetriche per la realizzazione del Data base topografico alle scale 1:1.000 e 1:2.000, Versione 3.0 Dicembre 2007.
Regione Lombardia, Specifiche Tecniche aerofotogrammetriche per la realizzazione del Data base topografico alle scale 1:5.000 e 1:10.000, Versione 3.0 Dicembre 2007.
Regione Lombardia, Specifiche di contenuto e schema fisico di consegna del Data base topografico, Versione 3.0 Dicembre 2007.

**Ringraziamenti**

Questo lavoro è stato finanziato all'interno del programma nazionale di Ricerca "PRIN 2006" dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica, coordinato a livello nazionale e locale dal prof. Fernando Sansò del Politecnico di Milano.
Si ringraziano inoltre, la provincia di Milano e il CAAM, nella persona del Direttore Generale architetto Stefano Bellinzona, nonché la Padania Acque S.p.A., nella persona del responsabile di progetto geometra Carlo Malvezzi, per aver messo a disposizione i dati.

# PROCEDURA DI INFORMATIZZAZIONE DEL DEMANIO E PATRIMONIO DELLA REGIONE DEL VENETO

Avv. Gian Luigi CARRUCCIU, Avv. Enrico SPECCHIO

Regione del Veneto – Direzione Demanio, Patrimonio e Sedi
Via Longhena n. 6 – 30175 Marghera-Venezia (VE)
tel. 041.279.5213 / 4120 – fax. 041.279.5212-5169
mail: demaniopatrimonio.sedi@regione.veneto.it

**ABSTRACT**

La Regione del Veneto sta implementando un software per la gestione del proprio patrimonio immobiliare e mobiliare che consente di costruire un archivio informatico di tutti i dati (amministrativi, giuridici, finanziari, tecnici, dimensionali, ecc.) disponibile sul web.
La base dati unica, denominata Patrimonio WEB888, sarà condivisibile da tutti gli utenti che si trovano in qualsiasi luogo ed hanno a disposizione un collegamento internet e le autorizzazioni d'accesso.
Attualmente la Regione del Veneto sta sviluppando la parte geografica del software attraverso il Progetto GeoBASE. L'intento è di collegare l'archivio alfanumerico dei dati con la corrispettiva rappresentazione geometrica su una piattaforma GIS e di sviluppare la tecnologia RFID per agevolare l'inventariazione e la gestione dei beni mobili.
L'esito del progetto vuole essere la costituzione di una banca dati patrimoniale unica da mettere a disposizione degli Enti Locali: la Regione vuole, infatti, esercitare il suo ruolo di Ente di riferimento per una innovativa ed efficiente gestione della cosa pubblica, ponendo a supporto degli Enti Locali le proprie competenze per una sempre migliore logica di rete e di governo condiviso del territorio

The Veneto's Region is implementing a software for the management of its patrimony – movable and immovable - that will enable them to create a database of archives (administrative, legal, financial, technical, dimensional, etc) which will be available on the web.
The unique database, called "*Patrimonio WEB888*", could be shared by all authorized users who have access to the Internet, where-ever and when-ever.
Currently the Veneto's Region is developing the geographic part of the software with the GeoBASE Plan. The goal is to connect the data alphanumeric archives with the correspondent geometric description on a platform "GIS" and to develop technology RFID in order to facilitate the inventory and the management of the assets.
Local administrations will thus have, at the end of the project, a unique database; therefore enabling the Region to a better more efficient job network within the government shared territory, exercising its role as reference within public administration.

## LO SCENARIO DI RIFERIMENTO

L'Amministrazione Regionale ha inteso avviare, a far data dall'anno 2005, un processo di *business process reingennering* finalizzato alla costruzione di un *software* integrato di gestione del proprio patrimonio immobiliare e mobiliare, tale da consentire, all'esito della sua attivazione, una visione unitaria e coordinata del patrimonio medesimo.

Si trattava, infatti, di dotare la struttura organizzativa funzionalmente competente alla gestione del patrimonio, di uno strumento di *governance degli assets* immobiliari e mobiliari che le permettesse di svolgere un efficace ruolo di cabina di regia delle politiche patrimoniali perseguite dalla Amministrazione e delineate dagli organi politici.
Politiche patrimoniali che devono necessariamente coniugare diverse variabili quali:

- la migliore e più razionale gestione delle sedi istituzionali dell'Ente;
- la efficace gestione del proprio patrimonio indisponibile e dei beni che vengono a costituire il demanio regionale.
- la valorizzazione del proprio patrimonio disponibile
- l'utilizzo di strumenti contrattuali e finanziari innovativi a supporto

Non va dimenticato, poi, che le decisioni strategiche in tal senso e la definizione della vision dell'Ente in materia, sono state influenzate dalle esigenze derivanti, altresì, dai processi di trasferimento di beni immobili e demaniali in corso dallo Stato alle Regioni, in attuazione del cosiddetto federalismo a costituzione invariata, processi spesso frammentari, incoerenti e privi di una logica di sistema. A fronte del definirsi delle nuove politiche patrimoniali, la concreta gestione degli assets sino ad allora effettuata veniva presieduta, dal punto di vista tecnico, tramite l'utilizzo di applicativi configurati dai singoli uffici, deputati alla gestione medesima, per le proprie peculiari esigenze, senza che vi fosse possibilità sistematica di far interagire dati contenuti nei vari archivi.

## IL PRIMO INTERVENTO

L'elemento portante dell'intero processo che s'intendeva, quindi, ottimizzare vedeva come intervento a carattere "*hard*" la costruzione di un archivio informatico unitario, capace di contenere dati uniformi e certificati di tipo patrimoniale, tecnico, amministrativo e contabile.

Tale archivio doveva avere necessariamente caratteristiche d'interoperabilità, addivenendo alla creazione di una base dati unica del patrimonio immobiliare e mobiliare regionale, accessibile in tempo reale, via web, a tutti gli uffici regionali autorizzati ed in grado di interfacciarsi, scambiando dati ed informazioni, con gli applicativi degli altri sistemi contabili e di controllo di gestione utilizzati dalle strutture regionali.

Ad inizio dell'anno 2007 l'Assessorato al Demanio e Patrimonio, nell'ambito delle linee guida della propria azione, contenute nel programma di governo per l'VIII° Legislatura, ed all'interno della Programmazione 2007-2010 del patrimonio regionale, ha inserito quale azione strategica prioritaria, l'adozione di un sistema innovativo per l'inventariazione del patrimonio immobiliare ed una efficace gestione del patrimonio stesso.

Utilizzando le analisi organizzative e i primi studi di fattibilità realizzate dalla Direzione regionali competenti per materia (*Direzione Demanio Patrimonio e Sedi, Direzione Sistema Informativo*), si è dato avvio ad un primo momento importante di verifica delle possibilità applicative della procedura di BPR progettata, tramite l'implementazione del Progetto sperimentale, della durata di un anno, denominato " Patrimonio Web 888", attraverso il quale:

- Sono state analizzate e mappate su ortofoto tutte le sedi istituzionali della Regione Veneto ubicate all'interno della Provincia di Venezia, con la costruzione di specifici profili amministrativi e gestionali per ciascuna di esse ed con l'elaborazione dinamica di schede *report analitiche* e di *schede short* per i dati essenziali degli immobili;
- E' stato possibile gestire l'inserimento e l'analisi dei dati afferenti il conto patrimoniale della Regione Veneto in un'ottica di sempre maggiore specificità degli stessi al fine di consentire un collegamento con il sistema di controllo di gestione dell'Amministrazione e con il sistema di contabilità finanziaria applicato all'interno dell'Ente;

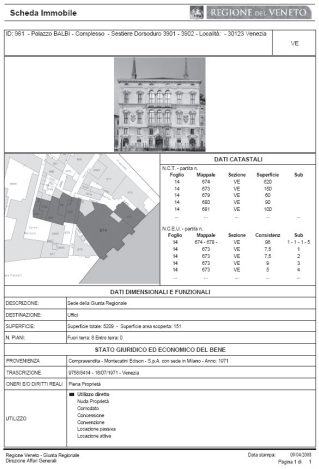



Fig. 1: scheda "short" riassuntiva dei principali dati patrimoniali dell'immobile

- È stato possibile, sempre in tale ottica, procedere, in collaborazione con la Segreteria regionale competente per materia, ad una più analitica ed articolata redazione del conto patrimoniale della Regione Veneto, come verificatosi per l'anno di esercizio 2007;
- È stata avviata la creazione di una banca dati unica del patrimonio mobiliare dell'Amministrazione che consente una prima tracciatura dei beni mobili assegnati a ciascuna struttura regionale;

Passaggio procedurale rilevante e prodromico è stato, infine, la pubblicazione dell'applicativo direttamente in Internet all'indirizzo http://web1.regione.veneto.it, direttamente utilizzabile, quindi, sul territorio dagli utenti, dipendenti regionali, autorizzati.
Si è deciso di progettare un software gestionale facilmente accessibile In internet da qualsiasi PC, secondo una modalità di consultazione e utilizzo che vuole essere, al tempo stesso, la più semplice ed interfacciabile possibile.

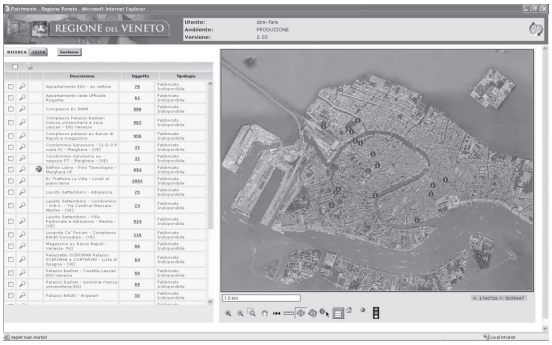



Fig. 2: georeferenziazione degli immobili sull'ortofoto

Il progetto è stato, infine, presentato anche sul territorio regionale in occasione dello svolgimento di importanti rassegne istituzionali.[1]

[1] Rassegna Dire e Fare nel Nord Est 2008 Rovigo 16-18 Aprile 2008

## LO SCENARIO DI SVILUPPO

La sperimentazione operativa delle potenzialità offerte dalla banca dati così costruita ha consentito il raggiungimento degli obbiettivi primari che il Progetto "Patrimonio WEB88" si poneva, evidenziando, nel contempo, la necessità di addivenire alla definizione di un più ampio scenario organizzativo entro cui collocare il prodotto realizzato, derivante dalle seguenti ulteriori necessità e finestre di opportunità che si sono venute a concretizzare durante il periodo di sperimentazione:

1. il completamento del processo di analisi e georeferenziazione su ortofoto di tutte le sedi istituzionali della Regione ubicate nelle varie province del Veneto;
2. il completamento del processo di inserimento ed analisi dei restanti beni immobili patrimoniali di proprietà dell'Amministrazione Regionale o trasferiti alla stessa in gestione, con riferimento altresì alle posizioni amministrative che gli stessi generano ( locazioni, diritti di servitù, vincoli architettonici o culturali…);
3. la compiuta costruzione per ciascuna delle tipologie di beni indicati ai punti 1 e 2 del cosiddetto fascicolo del fabbricato;
4. l'avvio di una procedura di tracciatura dei beni mobili (RFID) che verrà utilizzata in occasione del trasferimento di un gran numero di strutture regionali interessate presso un unico complesso immobiliare (Complesso immobiliare "EX Compartimentale " in Venezia)[2], che richiederà una forte integrazione con le procedure di inventariazione attualmente gestite tramite l'applicativo sopra descritto;
5. la necessità di integrare i dati in proprio possesso con quelli relativi ai beni immobili utilizzati e gestiti, per conto dell'Amministrazione regionale, da Enti strumentali della stessa che hanno manifestato interesse all'utilizzo dell'applicativo, per le parti di propria competenza;
6. la concreta possibilità di poter ottenere, tramite l'integrazione con alcuni temi cartografici già presenti negli archivi informatici regionali ( CTR; mappa catastale, stradario) ma non collegati tra loro, alla costruzione di una base dati anche geografica sulla base della quale sono georeferenziati e pertanto mappati i beni immobili di proprietà o utilizzati dalla Regione.

[2] Trattasi della acquisizione, tramite lo strumento contrattuale innovativo del leasing finanziario, di un complesso immobiliare collocato in posizione strategica all'interno del centro storico di Venezia, completamente ristrutturato e destinato ad ospitare circa 600 postazioni lavoro

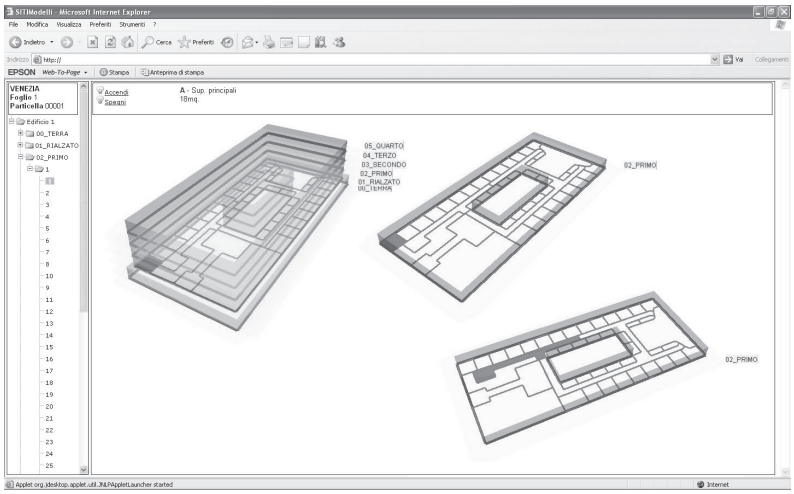



Fig. 3: mini 3D dell'immobile con layout distributivo

Per il raggiungimento delle suddette finalità l'Amministrazione ha ritenuto necessario e strategico addivenire ad una fase ulteriore di sviluppo del *software* integrato di gestione del patrimonio immobiliare e mobiliare regionale, attraverso l'attivazione del progetto denominato "GEOBASE".
Tale progetto, rispetto alla precedente e'dotato di una forte carica progettuale innovativa: con la sua attivazione ed implementazione si avrà, infatti, una gestione del patrimonio regionale non solo basata su quadri statici di sintesi dei dati essenziali dello stesso, ma analizzabile anche attraverso rappresentazioni sul territorio delle stesso, per il tramite dell'utilizzo di dati geografici già presenti presso i Sistemi Informativi Territoriali regionali.
Si avrà, quindi, un vero e proprio frame work applicativo in grado di dialogare con più archivi, gestire graficamente proprietà immobiliari e mobiliari ed utilizzare anche tecnologie di tracciatura, quali RFID, per l'inventario dei beni mobili.
Accanto alla costruzione della architettura tecnica del progetto particolare attenzione è stata data all'investimento, in termini di formazione, delle risorse umane interne che avranno il compito di caricare i dati e validarne i contenuti: in tal senso sono state previste giornate formative dedicate ed interventi di supporto effettuati tramite help desk da parte della struttura regionale competente in materia di ICT.
Ma il progetto vuole guardare anche all'esterno ed al sistema istituzionale in cui l'Amministrazione regionale si colloca.

L'ulteriore traguardo che l'Assessorato al Patrimonio di concerto con la Direzione competente per materia vogliono raggiungere e' quello, infatti, di dotare la Regione Veneto di uno strumento informativo d'avanguardia, performante, in un contesto nuovo anche per la collaborazione che intende portare sugli Enti esterni e basato su una filosofia condivisa di fondo: la gestione e valorizzazione del patrimonio tanto saranno più efficaci quanto, con l'utilizzo di sistemi tecnologici avanzati, si potranno condividere e mantenere informazioni comuni ad un sistema informativo regionale finalmente organico e non frazionato.

Sarà, ad esempio, consentita, la consultazione della cartografia e della base dati geografica regionale, in modo tale da consentire agli Enti locali di poter collaborare alla creazione di un archivio del territorio, nonché la messa in condivisione di una tecnologia informativa fortemente innovativa.

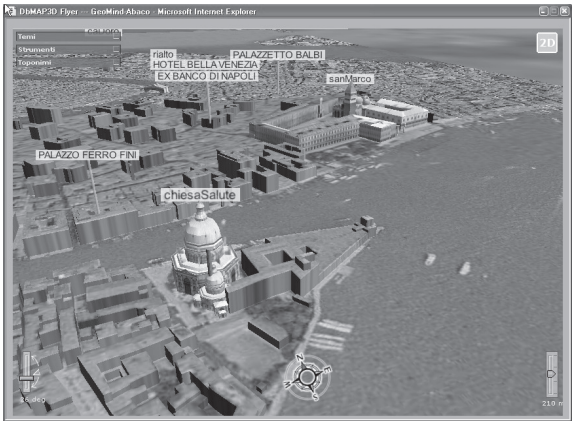



Fig. 4: tridimensionale della città di Venezia con estrusione di Palazzi di proprietà regionale

In altri termini, anche nel settore della utilizzazione e valorizzazione del patrimonio mobiliare ed immobiliare, la Regione vuole esercitare il suo ruolo di Ente di riferimento per una innovativa ed efficiente gestione della cosa pubblica, ponendo a supporto degli Enti Locali le proprie competenze per una sempre migliore logica di rete e di governo condiviso del territorio.
Tale ultima finalità perseguita è di particolare rilevanza in un sistema costituzionale che vede sempre di più emergere quali valori fondanti quello della leale collaborazione tra gli Enti in un ottica di condivisione delle risorse e degli strumenti per una fornitura di servizi finali al cittadino utente sempre più efficiente e rispondenti ai suoi bisogni.

**CONCLUSIONI**

La procedura di informatizzazione che si è ora descritta e la cui entrata a regime è prevista, come da crono programma, per il primo trimestre dell'anno 2010, si colloca nel percorso virtuoso che l'Amministrazione regionale vuole completare quanto alle proprie politiche patrimoniali e risponde ad un assioma ben noto e conosciuto per i decision maker: programmare, pianificare, effettuare scelte strategiche richiede che i decisori abbiano a disposizione un flusso di informazioni costante, continuo ed aggiornato.
Una azione di *business process reeingennering* che tramite la procedura si è conseguentemente svolta ha ricadute, altresì, sulla organizzazione della struttura amministrativa deputata alla concreta gestione del patrimonio regionale, consentendo una sua razionalizzazione e una forte caratterizzazione delle risorse umane, ivi operanti, come unità strutturate per *team* di lavoro e non secondo regole di mero mansionismo e parcellizzazione del lavoro. La banca dati viene, infatti, implementata tramite a condivisione e lo scambio di informazioni, secondo logiche ben lontane dal singolo particolarismo che spesso governa le relazioni tra gli uffici delle Pubbliche Amministrazioni, quasi trattandosi di camere stagne difficilmente comunicanti tra di loro.

# ESPERIENZE SULLA CALIBRAZIONE DELLA CAMERA LEICA ADS40

Vittorio CASELLA, Marica FRANZINI

DIET - Università degli Studi di Pavia, via Ferrata 1, 27100 Pavia, (vittorio.casella, marica.franzini)@unipv.it

**Riassunto**

Il lavoro concerne lo studio di un data-set acquisito nell'agosto del 2004 con una camera Leica ADS40, sul test-site di Pavia, dalla Compagnia Generale Ripresearee (CGR). Il data-set è composto da tre sottoblocchi caratterizzati dalle quote di volo 2000, 4000 e 6000 metri.

Nella nota si studiano alcuni aspetti legati alla calibrazione della camera e all'accuratezza geometrica ottenibile, limitatamente al blocco a 2000 m. L'analisi avviene in tre passi principali: anzitutto viene effettuata l'analisi dell'accuratezza geometrica ottenibile con la calibrazione originaria della camera; in tale fase vengono considerate le misure fotogrammetriche a intersezione multipla, tradizionalmente usate per studi come quello presentato, ma anche quelle a modello singolo, che consentono di analizzare in maggior profondità alcuni fenomeni. In secondo luogo viene effettuata la auto-calibrazione della camera ed i nuovi parametri, così ottenuti, vengono confrontati con quelli originari. Infine la nuova calibrazione viene utilizzata per validare nuovamente il blocco considerato e quantificare l'incremento di accuratezza.

**Abstract**

The paper concerns and ADS40 data-set acquired in August 2004 by the Compagnia Generale Ripreseaeree (CGR) above the Pavia test-site. The dataset is composed of three blocks characterized by the 2000 m , 4000 m and 6000 m flying heights.

Camera calibration and geometric accuracy are concerned in a three-fold way, involving the 2000 m block only. First of all, the original camera calibration is assessed in terms of geometric accuracy; together with the traditionally used multi-ray measurements, the single model ones are also considered, allowing us to perform deeper analysis. Further, camera self-calibration is performed and the newly obtained parameters are compared with the old ones. Finally, the considered block is assessed again, with the new calibration, in order to quantify the accuracy gain.

## 1 Introduzione

L'utilizzo di immagini aeree acquisite da sensori digitali lineari, come la Leica ADS40, è tuttora un argomento di forte interesse scientifico. Temi quali il modello matematico di camera, la calibrazione della camera, la stabilità nel tempo della calibrazione, i modelli di traiettoria e le accuratezze ottenibili, necessitano tuttora approfonditi studi su di un'ampia casistica. La quasi totalità delle letteratura riguardante le camere aeree a linee evidenzia la necessità della auto-calibrazione della camera e ciò indica evidentemente la presenza di variazioni della geometria interna che devono essere stimate per ogni volo. Non vi sono tuttavia studi che quantifichino tali variazioni e ne analizzino gli effetti. Il Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia ha iniziato, negli ultimi anni, un studio volto ad esaminare in dettaglio tali aspetti. In bibliografia si trovano riferimenti ad altri articoli correlati pubblicati dagli autori, talvolta anche in collaborazione con il gruppo dell'ETH di Zurigo.

Nel seguito, vengono descritti il data-set utilizzato (Sezione 2), una sintesi dei risultati pubblicati in precedenti lavori che hanno costituito il punto di partenza della presenta nota (Sezione 3), le analisi effettuate con un approccio a modello singolo (Sezione 4), il confronto effettuato sui parametri di calibrazione delle camera prima e dopo la procedura di auto-calibrazione (Sezione 5), la valutazione delle accuratezze ottenibili utilizzando i nuovi parametri di calibrazione (Sezione 6).

## 2 Il data-set utilizzato

Nell'agosto del 2004 sono stati acquisiti sul test-site di Pavia tre blocchi fotogrammetrici con una camera Leica ADS40 di prima generazione. I blocchi sono caratterizzati dalle quote di 2000, 4000 e 6000 metri, corrispondenti a valori di GSD (*Ground Sample Distance)* di circa 20, 40 e 60 cm.

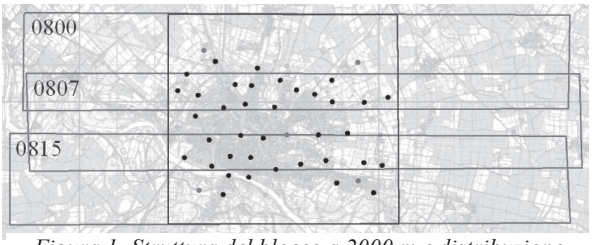



*Figura 1- Struttura del blocco a 2000 m e distribuzione dei punti di controllo*

Nella presente nota, viene preso in considerazione solo il blocco a 2000 m. In Figura 1 è mostrata la struttura del blocco considerato, costituito da tre strisciate Est-Ovest.

Il test-site di Pavia dispone, tra gli altri elementi, di 50 punti di controllo artificiali, aventi lato di 60 cm, appositamente creati per la ricerca su ADS40, la cui disposizione è riportata in figura. I diversi colori indicano l'uso che di tali punti viene fatto nelle elaborazioni: i quattro rossi agli angoli insieme ai verdi costituiscono i 12 GCP usati nella triangolazione aerea; tutti gli altri punti vengono usati unicamente come CKP (*Check Point*) indipendenti. Ancora, il rettangolo blu in Figura 1 rappresenta l'area sulla quale viene calcolata la triangolazione aerea.

I file di calibrazione della camera, che descrivono la geometria interna del dispositivo, e i dati relativi ai *misalignment* fra il corpo della camera e il sensore IMU sono stati forniti da CGR, che a sua volta li ha avuti da Leica Geosystems: la data di calibrazione è 1 marzo 2004.

## 3 Studio dell'accuratezza con un approccio multi-raggio

La presente sezione sintetizza risultati già pubblicati, nei quali il data-set è stato validato adottando il classico approccio ad intersezione multipla, in cui le coordinate oggetto di un CKP sono determinate mediante l'intersezione di tutti i raggi originati da quel punto. Sono stati creati appositi moduli Matlab per effettuare l'intersezione multipla in avanti e analizzare le accuratezze mediante confronto tra le coordinate ottenute per via fotogrammetrica e quelle misurate con GPS.

Vengono presi in considerazione tre scenari: **DG**, nel quale vengono utilizzati direttamente i parametri di orientamento esterno determinati dal sistema GPS-IMU; **BASIC**, nel quale gli orientamenti diretti, congiuntamente alle osservazione sui punti di legame e di appoggio, sono inseriti come osservazioni all'interno della triangolazione aerea; **SELF**, nel quale, durante la triangolazione aerea, vengono ristimati alcuni elementi aggiuntivi: i *misalignment* fra camera e IMU, i parametri relativi alla auto-calibrazione e quelli relativi ad una trasformazione di datum a 7 parametri. Maggiori dettagli possono essere trovati in (Casella et al., 2007a e 2007c).

| Scenario | GCPs/ CKPs | Comp. | Media [m] | STD [m] | RMSE [m] |
|---|---|---|---|---|---|
| DG | 0 / 46 | x | 0.015 | 0.119 | 0.120 |
| | | y | -0.007 | 0.093 | 0.093 |
| | | z | -0.558 | 0.319 | 0.643 |
| BASIC | 12 / 34 | x | 0.043 | 0.212 | 0.217 |
| | | y | -0.011 | 0.215 | 0.215 |
| | | z | -0.258 | 0.114 | 0.282 |
| SELF | 12 / 34 | x | -0.009 | 0.055 | 0.056 |
| | | y | -0.010 | 0.036 | 0.037 |
| | | z | -0.008 | 0.062 | 0.062 |

*Tabella 1- Validazione del blocco a 2000 m in un approccio multi-raggio*

In Tabella 1 è riportata una sintesi dei risultati. Il **DG** presenta forti sistematismi in Z, la cui fonte è spesso stata imputata, durante precedenti discussioni con altri ricercatori ed esperti, ad un errore nella soluzione GPS. Le componenti

planimetriche appaiono invece prive di *bias* anche se, come verrà meglio esposto nel paragrafo successivo, esse nascondano alcuni fenomeni più complessi. Lo scenario **BASIC** mostra RMSE tutti al di sotto del pixel; tale accuratezza si riduce ulteriormente (circa ⅓ di pixel) quando si passa allo scenario **SELF**. Dettagliati commenti possono essere trovati nella letteratura riportata in bibliografia.

## 4 Validazione con un approccio a modello singolo

Nel paragrafo precedente sono state analizzate le accuratezze determinate attraverso un approccio ad intersezione multipla; nella presente sezione saranno invece analizzate le accuratezze attraverso un approccio a modello singolo nel quale ogni CKP viene determinato più volte utilizzando due soli raggi omologhi alla volta. *I risultati riportati riguardano unicamente lo scenario **DG***.
L'analisi è stata condotta utilizzando appositi programmi Matlab capaci di restituire ciascun punto di controllo in ognuno dei modelli in cui esso è visibile; le coordinate ottenute per via fotogrammetrica sono state comparate con quelle rilevate con GPS e gli scarti analizzati. Seguendo l'approccio descritto, l'insieme delle misure effettuate è davvero grande e comprende modelli longitudinali (*along-track*) e modelli trasversali (*across-track*); per questo motivo sono stati creati appositi moduli Matlab che consentono di estrarre dall'insieme complessivo i diversi sottoinsiemi che si intendono analizzare.
Per motivi di spazio, nella nota sono riportate unicamente le analisi relative all'intero blocco; risultati più dettagliati, per singola strisciata o modello, possono essere trovati in (Casella et al., 2008). In Tabella 2 sono riassunte le accuratezze per tutti i modelli presenti (**All**), per i soli modelli longitudinali (**Along**) e per i soli modelli trasversali (**Across**).

| Modelli | N. CKPs | N. Obs. | Comp. | Media [m] | STD [m] | RMSE [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **All** | 46 | 426 | **x** | 0.044 | 0.171 | 0.176 |
| | | | **y** | -0.008 | 0.255 | 0.255 |
| | | | **z** | -0.473 | 0.476 | 0.671 |
| **Along** | 46 | 207 | **x** | 0.024 | 0.166 | 0.168 |
| | | | **y** | 0.002 | 0.354 | 0.354 |
| | | | **z** | -0.865 | 0.162 | 0.880 |
| **Across** | 26 | 219 | **x** | 0.064 | 0.173 | 0.184 |
| | | | **y** | -0.018 | 0.091 | 0.093 |
| | | | **z** | -0.103 | 0.365 | 0.379 |

*Tabella 2- Validazione del blocco a 2000 m in un approccio a modello singolo*

Nel breve spazio disponibile, evidenziamo anzitutto che il forte errore sistematico in Z per la configurazione DG nella Tabella 1 (-0.56 m), non viene confermato dalla Tabella 2, in cui il sottoinsieme Across è pressoché libero da sistematismi in altezza (-0.10 m), mentre il sottoinsieme Along evidenzia un valore molto grande (-0.86 m). Questa osservazione smentisce evidentemente la presenza di un semplice bias uniforme nella soluzione GPS, che invece la Tabella 1 sembrerebbe evidenziare.
Esaminando la sola Tabella 2, i sottoinsiemi Along ed Across, hanno comportamenti diversi non solo per l'altimetria, come già evidenziato, ma anche per la planimetria, e in particolare per la componente Y che viene analizzata nella prossima sezione.

### 4.1 Ulteriore analisi sulla componente Y

Come evidenziato nella precedente Sezione, la componente Y presenta valori elevati della deviazioni standard nei modelli longitudinali, cosa che non si verifica per quelli trasversali. In Figura 2 sono riportate, a titolo di esempio, i residui per la strisciata 807: le linee verdi rappresentano gli scarti planimetrici e le linee blu quelli altimetrici. La presenza di tre linee verdi è dovuta al fatto che le coordinate di ogni CKP, in un approccio a modello singolo, sono determinate

utilizzando tre modelli (*nadir-backward*, *nadir-forward* e *backward-forward*). E' facilmente osservabile come il residuo sulla componente Y aumenti all'aumentare della distanza dall'asse della strisciate e come tali residui abbiamo segno opposto a seconda che ci si trovi nella parte alta o bassa dell'immagine.

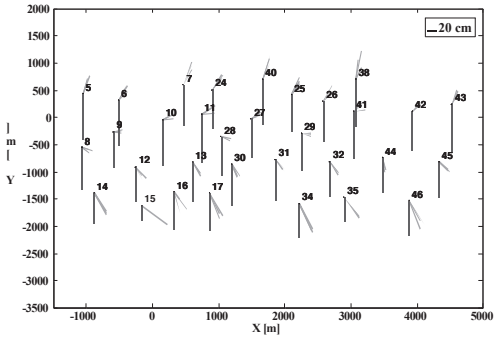



*Figura 2. Residui sui modelli longitudinali della strisciata 807*

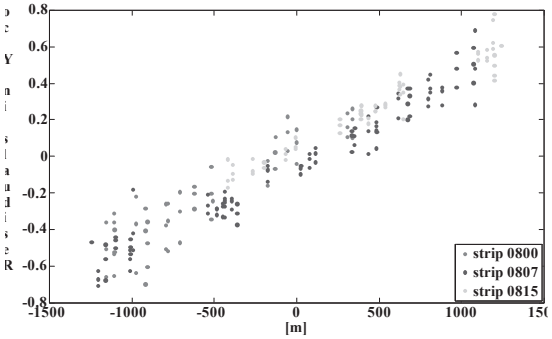



*Figura 3. Residui sulla componente Y in funzione della distanza dall'asse della strisciata*

Il fenomeno può essere efficacemente illustrato anche utilizzando una rappresentazione come quella mostrata in Figura 3. Ogni punto rappresenta una determinazione di un CKP (a colori diversi sono associate strisciate diverse); in ascissa è riportata la distanza del CKP dall'asse della strisciata; in ordinata sono indicati i residui per la componente Y. L'osservazione delle nuvole di punti mostra chiaramente una dipendenza lineare diretta tra il valore del residuo e la distanza dall'asse della strisciata.

## 5 Le nuove calibrazioni della camera

Il modello di camera adottato da Orima è basato sulle cosiddette *lookup-table*, contenenti le coordinate-immagine di ogni elemento dei sensori CCD, necessarie per convertire le coordinate-pixel degli oggetti collimati sulle immagini in coordinate-immagine, che possono essere inserite nelle equazioni di collinearità. Il contenuto delle *lookup-table* è determinato in modo da annullare le distorsioni della camera: le coordinate-immagine ottenute per la via descritta sono virtualmente prive di distorsioni. Si può dire che le *lookup-table* quantificano la geometria interna della camera.
Le coordinate inserite nelle *lookup-table* vengono calcolate con una calibrazione in volo (*in-flight calibration*): si adotta un modello matematico delle varie distorsioni presenti, se ne stimano i parametri e successivamente si valuta il modello nel centro di ogni elemento CCD. Nel caso di Orima, il modello adotatto è quello di Brown (Brown, 1976) a 21 parametri; originariamente definito per le camera analogiche a largo formato, è stato adattato ed implementato anche per le camere a linee.

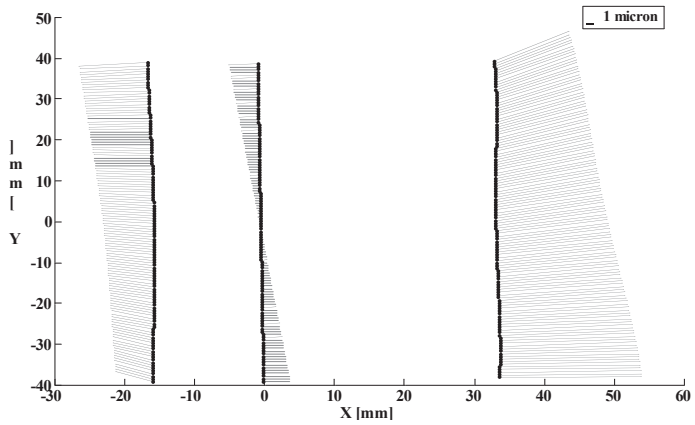



*Figura 4. Confronto tra la nuova calibrazione e quella originaria*

E' possibile che la geometria interna di una camera cambi successivamente alla calibrazione, a causa delle sollecitazioni meccaniche e delle variazioni termiche. Consapevoli di questa possibilità, abbiamo deciso di eseguire una nuova calibrazione della camera, proprio sul blocco acquisito su Pavia, determinando una seconda versione delle *lookup-table*. In Figura 4 è riportato il confronto tra i due set di dati: la posizione assegnata sul piano focale agli elementi CCD nelle tabelle originarie è indicata in nero, mentre le linee rosse mostrano invece il contenuto delle nuove tabelle, in termini di variazioni. La loro entità è significativa e, in alcuni casi, risulta essere superiore ai 21 micron, corrispondenti a circa 3 pixel. Maggiori dettagli, relative alle analisi condotte anche sulle altre quote di volo, possono essere trovati in (Casella et al., 2008).

## 6 Validazione delle accuratezze del blocco utilizzando la nuova calibrazione

Nel presente paragrafo viene nuovamente effettuata la validazione del blocco a 2000 m utilizzando i nuovi file di calibrazione. Per omogeneità con la Sezione 3, e con altre pubblicazioni precedenti, l'analisi viene condotta utilizzando un approccio multi-raggio, relativamente agli scenari DG e BASIC.

| Scenario | GCPs/ CKPs | Comp. | Mean [m] | STD [m] | RMS E [m] |
|---|---|---|---|---|---|
| DG | 0 / 46 | x | 0.015 | 0.121 | 0.122 |
| | | y | 0.004 | 0.079 | 0.080 |
| | | z | 0.057 | 0.125 | 0.138 |
| BASIC | 12 / 34 | x | -0.017 | 0.057 | 0.059 |
| | | y | -0.001 | 0.033 | 0.033 |
| | | z | 0.051 | 0.079 | 0.094 |

*Tabella 3- Validazione del blocco a 2000 m in un multi-raggio, utilizzando i nuovi file di calibrazione*

In Tabella 3 sono mostrate le accuratezze ottenute con i nuovi file di calibrazione; esse possono essere direttamente comparate con quelle riportate in Tabella 1, ottenute utilizzando i file originari. Complessivamente, i nuovi file di calibrazione permettono di ottenere accuratezze molto buone anche utilizzando i parametri di orientamento diretti (scenario DG); in particolare, è evidente come l'errore sistematico in quota scompaia, passando da -56 cm a 6 cm. Lo scenario BASIC mostra anch'esso dei miglioramenti: l'RMSE planimetrico è inferiore al terzo di GSD e coincide sostanzialmente con quello ottenuto nello scenario SELF utilizzando la calibrazione originaria (Tabella 1); l'RMSE altimetrico è inferiore al mezzo GSD ma, ciononostante, maggiore che nel vecchio SELF (nel quale veniva effettuata anche una ristima dei *misalignment* ed un cambio di datum). In conclusione, l'assunzione nei nuovi file della camera determina un significativo incremento delle accuratezze ottenibili.

## 7 Conclusioni

Nella presente nota è stata affrontata un'analisi approfondita della camera Leica ADS40, utilizzando un data-set acquisito sul test-site di Pavia nell'agosto del 2004; in particolare è stato esaminato il blocco a 2000 metri.
Il blocco è stato preliminarmente validato utilizzando i file di calibrazione originari forniti dalla ditta, risalenti al marzo del 2004. La validazione è stata condotta sia seguendo un approccio a multi-raggio che a modello singolo. Il confronto tra questi due approcci ha permesso di individuare alcuni fenomeni altrimenti nascosti, come il diverso comportamento dei modelli longitudinali e trasversali. Successivamente è stata effettuata una nuova calibrazione della camera, i cui file sono stati comparati con quelli originali: il confronto evidenzia come la geometria della camera si sia significativamente modificata tra marzo e agosto 2004. Infine, utilizzando la nuova calibrazione, è stato nuovamente validato il blocco in esame: l'accuratezza risulta notevolmente migliorata anche quando vengono usati i parametri di orientamento diretto (scenario DG).

Si ringrazia la Compagnia Generale Ripreaeree di Parma per aver gentilmente messo a disposizione le immagini utilizzate per lo studio.

## 8 Bibliografia

Brown D.C. (1976). The Bundle Adjustment – Process and Prospects. Invited Paper to the 13th Congress of the ISPRS Comm. III, Helsinki.

Casella V., Franzini M., Kocaman S., Gruen A. (2007a). Triangulation and Self-calibration of the ADS40 Imagery: A Case Study over the Pavia Test Site. In: 8th Conference on "Optical 3D Measurement Techniques", Zurich, Switzerland, 9-12 July, pubblicato su DVD.

Casella V., Franzini M., Padova B. (2007b). Accuracy assessment of ADS40 imagery as a function of flying height and of aerial triangulation strategies. In: 5th MMT Symposium, 29-31 May 2007, Padova, Italy, pubblicato su DVD.

Casella V., Franzini M., Padova B. (2007c). Valutazione dell'accuratezza delle immagini ADS40 in funzione del modello di camera e della quota di volo. In: XI Conferenza ASITA, Torino, Italy, pubblicato su DVD.

Kocaman S., Casella V., Franzini M., Gruen A. (2007a). The triangulation accuracy of ADS40 imagery over the Pavia Testsite. In: The Remote Sensing and Photogrammetry Society Annual Conference, Newcastle upon Tyne, Great Britain, pubblicato su DVD.

Kocaman S., Gruen A., Casella V., Franzini M. (2007b). Accuracy assessment of ADS40 imagery over the Pavia Testsite In: The 28th Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia, pubblicato su DVD.

Casella V., Franzini M. (2008). Analysis of camera systematic errors in an ADS40 dataset. In: EuroCOW Workshop, Castelldefels, Spain, pubblicato su DVD.

Kocaman S., Gruen A., Casella V., Franzini M. (2008). Accuracy Assessment of ADS40 Imagery Over The Pavia Testsite. In: Asian Journal of Geoinformatics, Vol. 8, No. 1.

# LA CAMERA LEICA ADS40 DI SECONDA GENERAZIONE: CARATTERISTICHE TECNICHE E POTENZIALITÀ METRICHE

Vittorio CASELLA, Marica FRANZINI, Barbara PADOVA

DIET - Università degli Studi di Pavia, via Ferrata 1, 27100 Pavia
(vittorio.casella, marica.franzini, barbara.padova)@unipv.it

**Riassunto**

Alla fine del 2006, Leica Geosystem ha annunciato l'uscita della seconda generazione della camera digitale aerea ADS40. La Compagnia Generale Ripreseaeree (CGR) ha deciso di aggiornare entrambi gli esemplari di ADS40 posseduti e la prima camera modificata le è stata consegnata a marzo di quest'anno. Per testare le potenzialità di questa nuova versione, sono stati pianificati ed acquisiti alcuni blocchi a quote differenti, 800, 2000 e 6000 metri, sul test-site di Pavia.
La presente nota riguarda la validazione preliminare della nuova camera; viene anzitutto valutata l'accuratezza geometrica del blocco a 2000 m, prendendo in considerazione vari scenari per la determinazione dell'orientamento esterno: *direct georeferencing* (DG), triangolazione aerea, ristima dei *misalignment* IMU. Viene anche analizzata la qualità radiometrica delle immagini, sia pure in via preliminare.

**Abstract**

In late 2006, Leica Geosystems announced the availability of the second-generation ADS40 camera. Compagnia Generale Ripreseaeree (CGR) decided to upgrade both its ADS40 cameras to the second generation. The first modified one came back from the Leica factory in March 2008 and a previously planned test flight was soon performed over the Pavia test site; new dataset is constituted by three blocks at the flying heights 800, 2000 and 6000 meters.
The paper is an early contribution to the validation of the second-generation ADS40 camera. First of all, it focuses on geometric accuracy of the 2000 m block with different scenarios: direct geo-referencing (DG), aerial triangulation, IMU misalignment re-estimation. The paper also contains some visual checks of the degree of detail of the imagery acquired at 800 m, having a GSD of 8 cm: they are compared with some previously acquired Leica RC30 imagery, having a 7 cm GSD.

## 1 Introduzione

Alla fine del 2006, Leica Geosystem ha annunciato la disponibilità della seconda generazione della camera digitale aerea ADS40, avente nuove e migliorate caratteristiche quali la presenza del tetracroide, invece del tricroide, capace di acquisire quattro bande co-registrate (rosso, verde, blu e infrarosso vicino) ed una migliore sensitività dovuta alla riduzione del livello di rumore. Tali elementi dovrebbero assicurare una miglior risoluzione al suolo ed un incremento della produttività.
La compagnia Generale Ripreseaeree (CGR) ha deciso di aggiornare entrambe le camere che possiede e la prima camera aggiornata le è stata consegnata a marzo di quest'anno. Per testare le potenzialità della nuova versione, sono stati pianificati ed acquisiti alcuni blocchi a quote differenti, 800, 2000 e 6000 metri, sul test-site di Pavia.

La presente nota costituisce una validazione preliminare della nuova camera e le analisi condotte hanno lo scopo di rispondere a quattro quesiti:

1. quanto è accurata la georeferenziazione diretta del nuovo sensore?
2. qual è l'accuratezza ottenibile quando non viene effettuata una auto-calibrazione? In altri termini: occorre effettuare la auto-calibrazione per raggiungere accuratezze di buon livello?
3. è possibile acquisire immagini digitali native con risoluzione al suolo (GSD) inferiore a 10 cm in entrambe le direzioni?
4. è visivamente percepibile il miglioramento apportato alla qualità radiometrica delle immagini?

Nel seguito vengono descritti il data-set utilizzato (Sezione 2), alcune caratteristiche del nuovo sensore ADS40-SH52 (Sezione 3), la valutazione dell'accuratezza geometrica del blocco acquisito a 2000 m (Sezione 4), lo studio della risoluzione geometrica delle immagini acquisite a 800 m (Sezione 5).

## 2 Il data-set utilizzato

Nel marzo 2008 sono stati acquisiti sul test-site di Pavia alcuni blocchi fotogrammetrici alle altezze di 800, 2000 e 6000 metri; i corrispondenti GSD sono rispettivamente di circa 8, 20 e 60 cm.
Il blocco a 2000 m, usato per la stima dell'accuratezza geometrica, è costituito da quattro strisciate Est-Ovest e da una strisciata Nord-Sud, indicate in Figura 1; le strisciate 1031 e 1047 hanno la stessa impronta a terra, ma sono state acquisite con direzioni di volo opposte. Il test-site di Pavia dispone, tra gli altri elementi, di 50 punti di controllo artificiali, aventi lato di 60 cm, creati per la ricerca su ADS40; la disposizione di tali vertici è riportata anch'essa in Figura 1. La triangolazione aerea è stata effettuata sull'area indicata dal rettangolo nero ed è stata presa in considerazione un'unica configurazione costituita da 5 punti di appoggio (punti rossi); tutti gli altri vertici sono stati utilizzati solo nelle fasi di validazione come ICP (*Independent Check Point*).

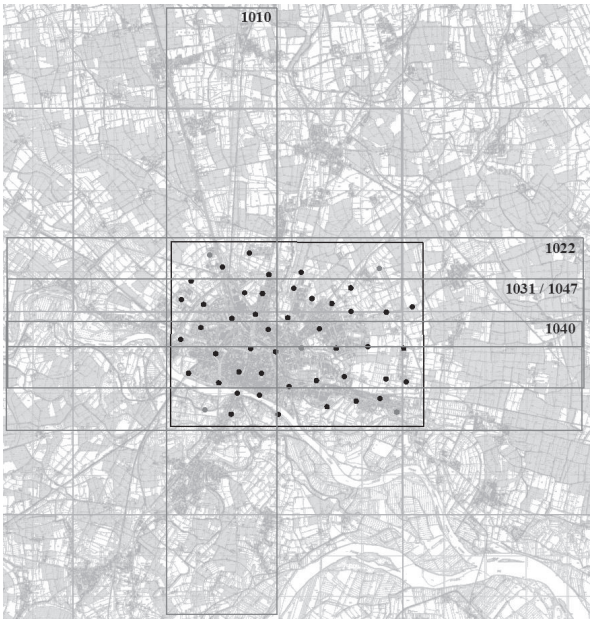



*Figura 1. Struttura del blocco a 2000 m e distribuzione dei punti di appoggio*

Sul test-site di Pavia sono disponibili anche blocchi acquisiti con la camera ADS40 di prima generazione e numerosi blocchi acquisiti con camera analogica Leica RC30; maggiori informazioni possono essere reperite in (Casella et al., 2007) e (Galetto et al., 2004).

## 3 Caratteristiche della camera ADS40 di seconda generazione

Le caratteristiche innovative della ADS40 di seconda generazione sono contenute sostanzialmente nella testa del sensore. La vecchia testa si chiamava SH40 (*Sensor Head* 40) e le nuove sono denominate SH51 e SH52. Nella presente sezione saranno descritte brevemente le principali novità della testa SH52 che equipaggia la camera che ha volato su Pavia.

Una delle novità principali è la presenza di un dispositivo, chiamato tetracroide, che consente la co-registrazione di quattro bande spettrali (rosso, verde, blu ed infrarosso vicino). Inoltre vi è la possibilità di acquisire due immagini a colori stereoscopiche; per la precisione vengono acquisite due quaterne R,G,B e Nir i cui componenti possono essere variamente combinati per avere, due coppie di immagini a colori, come detto, ma anche due coppie di immagini CIR (Color Infra-Red).

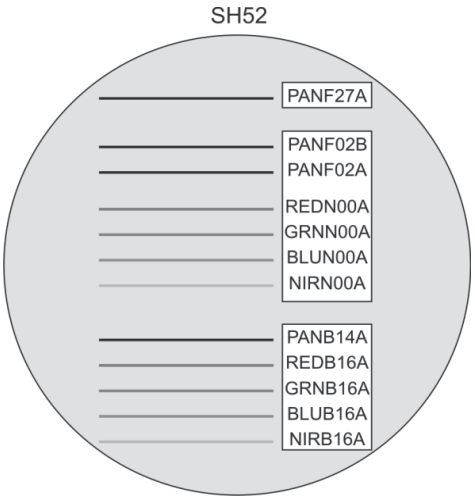



*Figura 2. Struttura del piano focale del sensore*

Il nuovo sensore ha una sensività circa 4 volte maggiore del precedente e ciò permette di operare con tempi di integrazione più brevi. Questa caratteristica dovrebbe consentire di ottenere immagini con un livello di rumore ridotto, una miglior leggibilità nelle zone d'ombra, una risoluzione, in termini di GSD, inferiore a 10 cm (Tempelmann and Hinsken, 2007). Infine, la geometria interna della camera dovrebbe essere più stabile e vicina al modello nominale; nel vecchio sensore SH40 potevano verificarsi distorsioni locali anche superiori ai 20 micron, mentre nel nuovo dovrebbero mantenersi inferiori al micron, consentendo l'adozione di modelli matematici della camera abbastanza semplici. In Figura 2 è mostrata la struttura del sensore e si indicano, per ogni linea CCD, la banda spettrale cui è sensibile e l'angolo di vista utilizzato.

## 4 Valutazione dell'accuratezza geometrica della camera ADS40-SH52

L'elaborazione e l'analisi dei dati sono state condotte utilizzando il pacchetto software di Leica: LPS 9.1, Gpro 3.3 ed Orima 9.1. Esso presenta significative novità rispetto alle versioni precedenti, fra cui: la possibilità di effettuare l'estrazione automatica dei punti di legame direttamente sulle immagini L0, senza la necessità di produrre le L1, e la possibilità di ristimare i *misalignment* IMU sia per l'intero blocco che per ogni singola strisciata.
Nella presente vengono presi in considerazioni quattro differenti configurazioni riguardanti l'orientamento esterno delle immagini:

1. **DG**, nel quale vengono utilizzati direttamente i parametri di orientamento esterno determinati dal sistema GPS/IMU;
2. **AT**, in cui viene calcolata la triangolazione aerea classica;
3. **AT + MIS**, in cui l'insieme delle incognite della triangolazione aerea viene esteso in modo da contenere i *misalignment* del sistema IMU; in altri termini: vengono ristimati gli angoli di orientamento relativo fra il SR camera e quello IMU;
4. **AT + MIS-2**, nel quale, durante la triangolazione aerea, vengono ristimati i *misalignment* del sistema IMU per ogni singola strisciata.

Durante queste prime analisi non è stata presa in considerazione la auto-calibrazione della camera, pertanto le elaborazioni effettuate utilizzano i file di calibrazioni originali forniti da CGR. E' possibile trovare maggiori dettagli circa le procedure utilizzate per la preparazione, l'elaborazione e l'analisi dei dati in (Casella et al., 2008).
Ci si potrebbe chiedere quale senso abbia stimare i misalignment per ogni strisciata, visto che tali angoli descrivono l'orientamento del sistema di riferimento materializzato dal IMU rispetto a quello materializzato dalla camera: è possibile che tale orientamento subisca modifiche nel tempo, ma è impensabile che ciò avvenga fra due strisciate dello stesso volo.

La spiegazione sta nel fatto che vi sono diverse fonti di errore che non vengono modellizzate, quali ad esempio le derive del IMU, e i *drift* GPS, e che incrementano gli errori complessivi. Stimare i tre misalignment per ogni strisciata consente di riassorbire, almeno in parte, tali errori.

| Set | GCPs/ CKPs | Comp. | Media[m] | STD[m] | RMSE[m] |
|---|---|---|---|---|---|
| **DG** | 0 / 40 | **x** | 0.078 | 0.110 | 0.135 |
| | | **y** | -0.022 | 0.130 | 0.131 |
| | | **z** | 0.107 | 0.192 | 0.220 |
| **AT** | 5 / 40 | **x** | 0.049 | 0.040 | 0.064 |
| | | **y** | -0.071 | 0.056 | 0.091 |
| | | **z** | -0.016 | 0.070 | 0.072 |
| **AT+MIS** | 5 / 40 | **x** | 0.040 | 0.035 | 0.053 |
| | | **y** | -0.041 | 0.057 | 0.070 |
| | | **z** | 0.025 | 0.066 | 0.071 |
| **AT+MIS-2** | 5 / 40 | **x** | 0.003 | 0.036 | 0.036 |
| | | **y** | 0.011 | 0.058 | 0.059 |
| | | **z** | 0.024 | 0.057 | 0.062 |

*Tabella 1. Validazione del blocco a 2000 m*

In Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti per i sopraccitati scenari. Nel DG le accuratezze planimetriche (X, Y) sono pari, in termini di RMSE, a circa 0.65 GSD, mentre in altimetria si ha un valore di poco superiore al GSD. Quando viene effettuata una triangolazione aerea senza parametri aggiuntivi (scenario AT) gli RMSE sono, per le tre componenti, al di sotto di 0.5 GSD. La ristima dei *misalignment* IMU per l'intero blocco (scenario AT + MIS) migliora ulteriormente i risultati; la ristima dei *misalignment* IMU per singola strisciata (scenario AT + MIS-2) permette infine di raggiungere le migliori accuratezze con un RMSE compreso tra 0.18 e 0.31 GSD. Si tratta di livelli di accuratezza eccellenti, del tutto comparabili con quelli ottenuti con la SH40, la camera di prima generazione, **con** la auto-calibrazione.
Le medie in generale sono piccole e ciò indica l'assenza di errori sistematici significativi; gli unici dati leggermente anomali sono costituiti dalla componente Z nello scenario DG e dalla componente Y nello scenario AT. Quest'ultimo dato potrebbe essere causato da una lieve inconsistenza degli angoli IMU; quando nella triangolazione aerea viene effettuata anche una ristima dei *misalignment*, il *bias* scompare.

## 5 Risoluzione geometrica del sensore ADS40-SH52

Una delle caratteristiche più interessanti del nuovo sensore SH52 è la capacità di acquisire immagini aventi un GSD minimo di 5 cm (contro i 15 cm del precedente sensore SH40). Essendo ADS40 una camera a linee, la risoluzione al suolo nella direzione trasversale (rispetto alla rotta) può essere incrementata abbassando l'altezza di volo ma, per avere la stessa risoluzione anche in direzione longitudinale, è necessario utilizzare tempi di integrazione molto piccoli e/o volare a velocità ridotte, elemento quest'ultimo che, almeno per i velivoli ad ala fissa, trova un limite invalicabile nelle leggi della fisica.
La massima risoluzione raggiungibile dipende pertanto dalle caratteristiche dell'aereo impiegato; per l'acquisizione del dataset analizzato nella nota, CGR ha utilizzato un Casa 512 che consente di acquisire con un GSD minimo di 8 cm.
A supporto delle analisi sulla risoluzione delle immagini, è stata posizionata sul tetto del DIET una Siemens star, avente diametro di 5.4 metri. Sono in corso analisi basate sulla MTF (Modulation Transfer Function), che saranno presentate in prossime pubblicazioni.

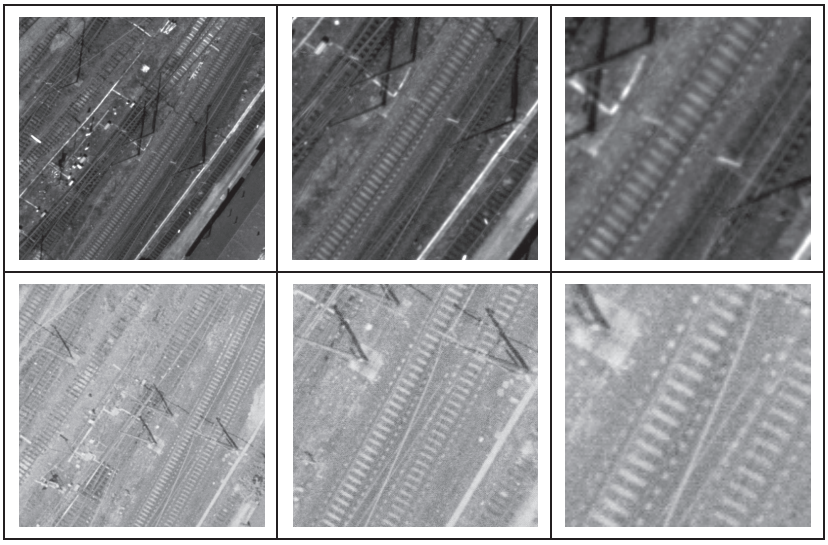


*Figura 3. Confronto tra immagini ADS40, aventi GSD di 8 cm (riga superiore) e RC30, avente GSD di 7 cm (riga inferiore)*

Nella presente nota ci si limita a una comparazione visiva tra immagini prodotte dal nuovo sensore ADS40-SH52, acquisiti a 800 m di altezza e aventi un GSD di 8 cm, e fotogrammi prodotti da una camera analogica Leica RC30, acquisiti a 750 m di quota e aventi un GSD di 7 cm; per il confronto è stata utilizzata una tipica zona test costituita da una linea di binari ferroviari (Figura 3). La riga superiore mostra il dettaglio del terreno prodotto dalla camera digitale a tre diversi fattori di zoom (1X, 2X e 4X); la riga inferiore mostra l'analoga zona acquisita con camera analogica e successivamente digitalizzate con un scanner Zeiss SCAI ad una risoluzione di 14 micron. Il confronto mostra come le immagini digitali native abbiano un grado di dettaglio comparabile se non superiore alle immagini analogiche, pur avendo un GSD maggiore.

## 6 Conclusioni

La nota descrive alcune sperimentazioni preliminari, in termini di accuratezza e risoluzione geometrica, svolte su di un data-set acquisito sul test-site di Pavia con una camera digitale ADS40-SH52 da parte di CGR.

Per la valutazione dell'accuratezza geometrica sono stati presi in considerazione diversi scenari: georeferenziazione diretta, triangolazione aerea con e senza ristima dei *misalignment*. La validazione ha mostrato che l'uso diretto dei parametri di orientamento esterno GPS/IMU porta a valori di RMSE inferiori al GSD in planimetria e di poco superiori in altimetria; quando viene effettuata una semplice triangolazione aerea, senza la ristima di nessun parametro aggiuntivo, le accuratezze scendono a mezzo GSD su tutte le componenti; infine, se anche i *misalignment* vengono ristimati, per l'intero blocco o per ogni singola strisciata, gli RMSE finali si attestano tra 0.18 e 0.36 GSD. Gli ultimi risultati sono comparabili o addirittura migliori di quelli ottenuti con la ADS40 di prima generazione (Casella et al., 2007a, 2007b, 2007c) dopo aver effettuato la auto-calibrazione.

Infine, è stata testata la risoluzione geometrica delle immagini acquisite a 800 m, aventi un GSD di 8 cm, per confronto con alcuni fotogrammi acquisiti da una camera Leica RC30, aventi un GSD di 7 cm.

## 7 Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare i tecnici del Laboratorio di Geomatica, geom. Giuseppe Girone e geom. Paolo Marchese, per avere effettuato alcune delle misure fotogrammetriche utilizzate nel presente lavoro. Si ringrazia inoltre la Compagnia Generale Ripreseaeree di Parma per aver gentilmente messo a disposizione le immagini utilizzate per lo studio.

## 8 Bibliografia

Casella V., Franzini M., Kocaman S., Gruen A. (2007a). Triangulation and Self-calibration of the ADS40 Imagery: A Case Study over the Pavia Test Site. In: Proceedings of the 8th Conference on "Optical 3D Measurement Techniques", Zurich, Switzerland, Vol. I, pp. 223-232.

Casella V., Franzini M., Padova B. (2007b). Accuracy assessment of ADS40 imagery as a function of flying height and of aerial triangulation strategies. In: Proceedings of 5th MMT Symposium, Padova, Italia, pubblicato su CD-ROM.

Casella V., Franzini M., Padova B. (2007c). Valutazione dell'accuratezza delle immagini ADS40 in funzione del modello di camera e della quota di volo. In: Atti dell'11° Conferenza Nazionale ASITA, Torino, Italia, pubblicato su CD-ROM.

Galetto R., Casella V., Franzini M., Spalla A. (2004). An Italian research project on direct photogrammetry. In: Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Istanbul, Turkey, Vol. 35, Part B3, Com. III, pp. 891-896.

Kocaman S., Casella V., Franzini M., Gruen A. (2007a). The triangulation accuracy of ADS40 imagery over the Pavia Testsite. In: Proceedings of Annual Meeting of U.K. Remote Sensing and Photogrammetry Society 2007, Newcastle upon Tyne, U.K., pubblicato su CD-ROM.

Kocaman S., Gruen A., Casella V., Franzini M. (2007b). Accuracy Assessment of ADS40 Imagery over the Pavia Testsite. In: Proceedings of Asian Conference on Remote Sensing 2007, Kuala Lumpur, Malaysia, pubblicato su CD-ROM.

Saks T., Tempelmann U. (2008). ADS40 system with new sensor heads – key to the simplified model for self-calibration and extended user benefits. In: EuroCOW 2008 International Calibration and Orientation Workshop, Castelldefels, Spain, pubblicato su CD-ROM.

Tempelmann U., Hinsken L. (2007). Hardware improvements of the ADS40 sensor heads SH51/52 and how they allow a better camera model for self-calibration. In: Proceedings of the 8th Conference on "Optical 3D Measurement Techniques", Zurich, Switzerland, pp. 187-193.

Wicki S. (2000). Design Principle of The LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. In: The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, Netherlands, Vol. 33, Part B1, pp. 258-265.

# GESTIONE DELLE EMERGENZE DA INCENDI BOSCHIVI: UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI IN AMBIENTE GIS

E.M. CASTROGIOVANNI (*), G. LA LOGGIA (**), F. LO CONTI (**), L.V. NOTO (**), M.T. NOTO (*)

(*) Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque - Osservatorio delle Acque, Palermo (IT)
E-mail: mcastrogiovanni@uirsicilia.it, mtnoto@uirsicilia.it
(**) Dipartimento di Idraulica e Applicazioni Ambientali, Università degli studi di Palermo – Palermo (IT)
E-mail: valerio@idra.unipa.it, glal@idra.unipa.it, francescoloconti@gmail.com

**Sommario**
Il presente studio è finalizzato alla definizione di un insieme di modelli decisionali e di procedure per la gestione a livello pre-operativo e operativo delle risorse antincendio boschivo disponibili nel territorio regionale siciliano. Per raggiungere tali obiettivi è stata messa a punto una struttura concettuale per la definizione di un sistema di supporto alle decisioni in grado di coadiuvare i responsabili della gestione delle emergenze alle diverse scale territoriali. La sintesi dello studio è costituita dall'implementazione di un prototipo relativo ad un modulo decisionale, atto a supportare le decisioni per la dislocazione in tempo reale di uomini e mezzi, con riferimento ad un'area definita del territorio siciliano.

**Abstract**
The goal of the this study is the definition of a set of decisional models and procedures for the management of the forest fire fighting resources available in Sicily, both in the preoperative and operative level. To reach this purpose, a specific conceptual schema was built. In particular, the conceptual structure consists in the design of a Decision Support System supporting the responsible of the forest fire emergency at the different geographic scales. The synthesis of the study is the implementation of a prototypal decisional module addressed to support decisions dealing with real-time dislocation of the resources in a defined limited area.

## Introduzione

Nell'ambito di studi atti a fronteggiare l'insorgenza o lo sviluppo di incendi boschivi, il livello di pianificazione o pre-operativo è caratterizzato da una fase preparatoria durante la quale, dopo aver individuato l'obiettivo da perseguire attraverso opportune tecniche di indagine, viene avviata la progettazione di un apposito Sistema Informativo Territoriale (SIT). Tale SIT viene utilizzato sia come contenitore (*repository*) di dati spaziali che come ambiente di sviluppo per la modellistica relativamente alla determinazione dei livelli di pericolosità e rischio, nonché per la previsione dell'insorgenza e delle modalità di propagazione degli incendi. La pianificazione territoriale in generale, e nel nostro caso in particolare, prevede la conoscenza di numerose informazioni, basate essenzialmente sull'analisi delle caratteristiche fisiografiche e socio-economiche dell'area oggetto di studio, sulla dislocazione dei punti di avvistamento e/o monitoraggio, sulle modalità di intervento in casi calamitosi, sulle risorse disponibili (uomini, mezzi, risorsa idrica, etc.). In questo contesto l'utilizzo della tecnologia *GIS* consente di ottimizzare modalità e tempi nella fase di realizzazione del piano nonché durante la gestione dell'emergenza. Il *GIS* consente, infatti, l'estrapolazione di informazioni rilevanti dal punto di vista decisionale: ciò avviene non solo attraverso la mera

visualizzazione e sovrapposizione di determinati tematismi (es. mappa dei percorsi di fuga, delle torrette di avvistamento), ma anche e soprattutto attraverso i risultati di appositi modelli (es. mappa del rischio incendio, mappa dell'indice di innesco, mappa dell'indice di propagazione).
Per quanto riguarda la base dati geografica, le informazioni spaziali e alfanumeriche possono essere raccolte all'interno di un *geodatabase*, al fine di migliorare notevolmente la gestione dei dati geografici, semplificando la scrittura di applicativi e consentendo all'utente di lavorare con oggetti geografici "intelligenti". Una specifica fase di studio è relativa all'analisi e allo sviluppo della modellistica degli incendi. Le mappe provenienti dall'applicazione dei modelli, sono da suddividere in due categorie: *on-line* e *off-line*. Queste ultime possono essere considerate statiche, nel senso che forniscono un'indicazione circa il parametro rappresentato con riferimento all'istante o al periodo in esame nell'ambito di specifici contesti ambientali. Esempi sono le mappe di propagazione degli incendi simulati in aree ad elevato rischio ed ottenute con diverse condizioni al contorno che, nella fase operativa, vengono utilizzate come input insieme alle informazioni meteorologiche in *real-time*.
Infine, nell'ambito della progettazione del Sistema di Supporto alle Decisioni, al fine di tenere in conto l'interazione tra l'incendio stesso ed il territorio interessato, è necessario disporre di modelli utili per risolvere problemi di ottimizzazione, come quello relativo all'allocazione delle risorse, all'individuazione delle vie di fuga e dei percorsi di avvicinamento al fronte del fuoco ai fini delle operazioni di spegnimento (Mussumeci e Condorelli, 2001).

**Metodologia**
La struttura portante a base del sistema proposto è la piattaforma *GIS*: essa, infatti, oltre a contenere i dati spaziali in input ai modelli, costituisce l'ambiente in cui vengono processati alcuni moduli (i modelli scelti) e vengono visualizzati gli output spaziali; in breve essa costituisce anche l'interfaccia tra i modelli e i dati.
Al fine di giungere alla definizione di un *Geo-DSS*, si è messa a punto una struttura concettuale (fig. 1) dove sono state individuate tre macroaree: area dei dati (*Data*), area dei modelli (*Model*), area di supporto alle decisioni (DSS). L'area dei dati è deputata alla raccolta, all'archiviazione e alla gestione di tutti i dati e le informazioni necessarie al *SIT-DSS*. In esso è possibile distinguere una parte dedicata a ricevere e immagazzinare dati meteorologici da previsione (area *Data-Forecast*), una parte dedicata ai dati meteorologici e satellitari in tempo reale (area *Data-Realtime*), una parte dedicata ai dati climatici storici (area *Data-Clima*) e infine il geodatabase (dati territoriali - area *GeoData*). L'area dei modelli è costituita dalla parte dei modelli finalizzati alla determinazione dell'indice di innesco (*Model-Trigger*) e da quelli finalizzati alla propagazione (*Model-Spread*). L'area di supporto alle decisioni comprende tutte quelle procedure che si appoggiano a dati e modelli e sono finalizzate alla gestione delle emergenze da incendi boschivi in fase previsionale (*DSS-Forecast*), in fase operativa (*DSS-Nowcast*) e in fase di determinazione della pericolosità e del rischio su base stocastica (*DSS-Mapping*).
Per quanto riguarda le linee di utilizzo si distinguono: linea di *mappatura del rischio*, linea di *gestione pre-operativa* dell'emergenza (fasi di pre-allerta e allerta), linea di *gestione operativa*.
La linea di *mappatura del rischio* è la catena procedurale che ha come obiettivo ultimo i prodotti dell'area *DSS-Mapping*; prevede l'utilizzo di dati climatici storici (*Data-Clima*), di dati territoriali (*Geo-Data*) e dei modelli (*Model*) per creare mappe relative alla pericolosità e al rischio incendi boschivi all'interno di un framework statistico (probabilità di accadimento).
La linea di *gestione pre-operativa* ha come obiettivo ultimo i prodotti dell'area *DSS-Forecast.* Questa linea prevede l'utilizzo di alcuni precursori meteorologici (previsioni meteo di vento, temperatura, umidità e precipitazione fornite da modelli ad area limitata *LAM*) insieme ai dati territoriali (*Geo-Data*) all'interno dell'area *Model*. I modelli di tale area saranno in grado di fornire la creazione di scenari di innesco e di propagazione dell'incendio con un tempo di previsione (da 1 a 3 giorni) sufficiente a porre in atto tutte le misure di prevenzione suggerite dal *DSS-Forecast* (allocazione preventiva di uomini e mezzi in aree probabilmente a rischio incendio).

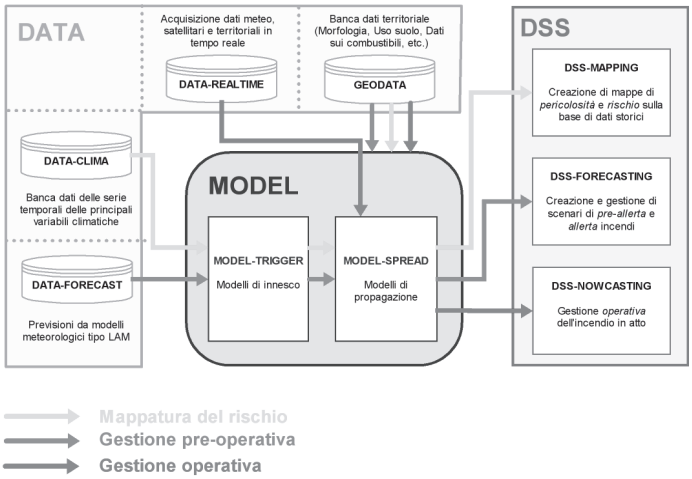



*Figura 1 - La struttura del Geo-DSS*

La linea di *gestione operativa* dell'emergenza incendio ossia la catena procedurale che ha come obiettivo ultimo i prodotti dell'area *DSS-Nowcast*. Essa prevede l'utilizzo di dati provenienti da reti di rilevamento a terra relative a misure di vento, temperatura, umidità e precipitazione attraverso le reti del Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (SIAS) e dell'Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (OA-ARRA). In caso di incendio appena innescato, altre fonti sono costituite dal sistema di avvistamento del Corpo Forestale, da specifiche piattaforme satellitari (*Data-Realtime*) e dai dati territoriali (*Geo-Data*) all'interno del modello di propagazione *Model-Spread*. *Model-Spread*, in particolare, consentirà la creazione di scenari di propagazione dell'incendio in atto fornendo anche i tempi di arrivo dei fronti dell'incendio e permettendo quindi tutte le misure di gestione operativa suggerite dal *DSS-Nowcast* (allocazione di uomini e mezzi in aree che saranno probabilmente percorse dall'incendio e individuazione delle vie di fuga).
Nell'ambito del *Data-Clima*, le criticità del territorio, con riferimento all'individuazione delle zone suscettibili agli incendi boschivi e la delimitazione delle aree in cui il rischio è alto, sono state evidenziate attraverso le analisi svolte incrociando i dati climatici (storici) misurati dalle reti di rilevamento di OA-ARRA e SIAS e le informazioni sulle caratteristiche degli eventi di incendio storici ricavate dal catasto delle aree percorse da incendi. Per il *Data-Forecast* la previsione dei dati meteorologici per l'implementazione in modalità pre-operativa, può essere ottenuta dai modelli di circolazione regionale *SILAM* (*Sicily Limited Area Model*) avente una risoluzione spaziale di 5 Km e temporale di 3 h. Per il *Data-Realtime* il sistema prevede l'ausilio delle succitate reti meteo-climatiche, la localizzazione attraverso sistemi di radiolocalizzazione, l'impiego del sistema delle torrette di avvistamento, e del *NEAR Real-Time*, un sistema di monitoraggio satellitare per la localizzazione degli incendi (Telespazio *Hot Spot*) da dati *MSG-SEVIRI* che consiste nella rilevazione automatica e nel monitoraggio degli incendi anche di piccola estensione (mezzo ettaro) con elevata frequenza temporale (15 min).
Sulla base dei modelli sviluppati in ambito scientifico e di quelli utilizzati dai soggetti preposti alla gestione del territorio, si è strutturata l'area *Model* del *SIT-DSS* in esame in due parti: un primo modello (modello di innesco – *Model-Trigger*) che fornisce indicazioni distribuite nel territorio sulla localizzazione delle aree in cui risulta maggiore la probabilità che l'incendio si inneschi, e un modello di propagazione (*Model-Spread*) che sulla base della localizzazione di un principio d'incendio, delle grandezze meteo-climatiche e delle caratteristiche della copertura del suolo in relazione alle proprietà di combustibilità, fornisce la descrizione spaziale dinamica di un evento.

L'indice di innesco scelto coincide con quello già adottato dal SIAS (Ventura et al., 2001); tale indice viene attualmente utilizzato per la restituzione di mappe di suscettibilità all'innesco, sulla base dei dati meteo-climatici di previsione forniti dal modello *SILAM*. Il metodo si basa sulla derivazione di un indice detto *Indice di Innesco* ed indicato con *II* funzione della temperatura massima dell'aria e della precipitazione giornaliera.
Il modello di propagazione (*Model-Spread*) che è stato selezionato per la stima della dinamica e dello sviluppo dell'incendio è il modello *FARSITE* (Finney, 2004).
L'area DSS è stata sviluppata in forma di prototipo con lo scopo primario di descrivere il flusso informativo, il tipo e la successione dei processi elaborativi nella gestione pre-operativa e operativa dell'emergenza, definendo un insieme di "domande tipiche" e mostrando come il sistema sia in grado di indirizzare l'utilizzatore verso le relative risposte e le conseguenti decisioni.
Nel caso di *DSS-Mapping*, le potenzialità del *DSS* nella gestione delle risorse per l'emergenza e nella pianificazione strategica, sono strettamente in relazione con:

- la caratterizzazione climatica secondo l'analisi statistica dei dati meteorologici storici;
- set di scenari ottenuti da specifiche condizioni meteorologiche del passato;
- scenari descrittivi di alcune ipotetiche situazioni critiche.

Il supporto decisionale risulta quindi dipendere da un set di scenari a priori sviluppati in modalità *off-line*. I principali obiettivi non sono solo suggerimenti per l'allocazione ottimale delle risorse disponibili, ma anche l'analisi delle situazione che potenzialmente possono generare la crisi del sistema di sicurezza.
Per il *DSS-Forecasting*, il sistema di pre-allerta è fondamentalmente orientato al suggerimento di opzioni per l'allocazione di presidi di sicurezza prima dell'emergenza e per l'individuazione dei possibili percorsi di allontanamento per la popolazione coinvolta nell'evacuazione.
In questo contesto i fattori rilevanti sono:

- la classe di rischio scelta nelle aree sulla base della mappa di innesco;
- le posizioni dei punti d'acqua;
- la previsione delle condizioni meteorologiche;
- l'efficienza del trasferimento dei dati.

Operativamente gli input sono il tempo dell'evento atteso e la classe di rischio che vogliamo analizzare.
Per quanto concerne il *DSS-Nowcasting*, lo strato informativo di base è la mappa in cui risulta localizzato l'incendio reale.
In particolare, informazioni sui focolai reali possono essere forniti dalle seguenti fonti:

- avviso da parte dell'operatore su torrette di avvistamento;
- avviso tramite la rete di radiolocalizzazione;
- mappe di focolai rilevati da satellite;
- informazioni derivate dalle misure della rete di rilevamento in real-time.

Al fine di consentire la minimizzazione dei possibili falsi allarmi, le "notizie d'evento" necessitano di essere verificate incrociando le informazioni provenienti dalle diverse fonti.

**Caso applicativo e risultati**

La metodologia messa a punto è stata applicata ad un'area ben definita, il territorio della provincia di Messina. Limitatamente a quest'area e partendo dalle informazioni meteo-climatiche, sono stati costruiti strati informativi relativi a precipitazione, temperatura massima e minima e pioggia efficace, utilizzati per derivare l'indice di innesco secondo la procedura adottata dal SIAS (figura 2).

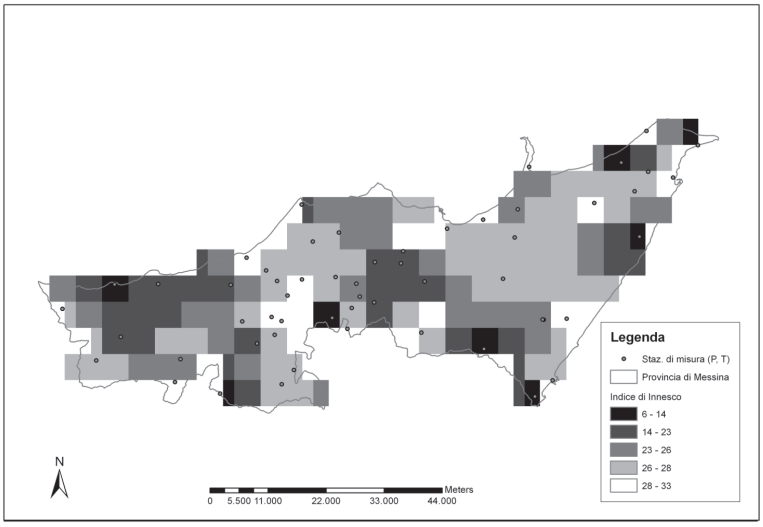



*Figura 2 - Indice di innesco del giorno i-esimo*

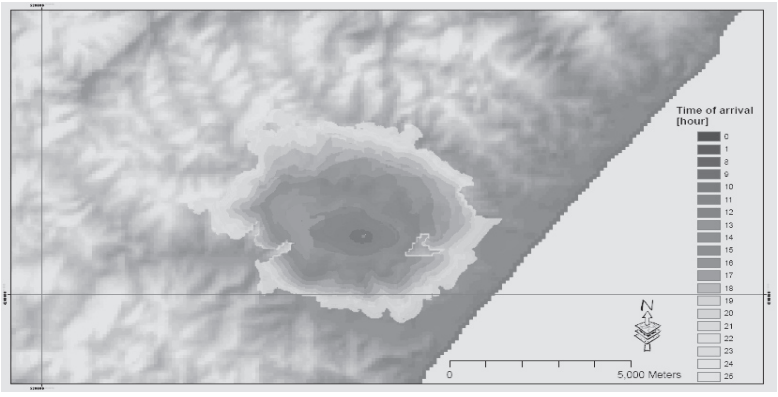



*FIGURA 3 - TEMPO DI ARRIVO DELL'INCENDIO IN FIRESITE*

Utilizzando il software FARSITE, a partire dalla localizzazione dell'innesco in un punto per cui la mappa dell'indice di innesco restituisce valore elevato, è stato sviluppato lo scenario di un incendio, e avviata la simulazione per un periodo di tempo ben definito, dal 10 all'11 agosto 2007. I prodotti ottenuti dal modello sono i temi raster relativi a: tempo di raggiungimento dell'incendio (figura 3), tasso di propagazione, intensità di reazione, lunghezza della fiamma, calore per unità di superficie, intensità di incendio in prossimità del limite; la lettura di tali output consente di sintetizzare l'evoluzione dinamica dell'incendio. Per migliorare l'interpretazione dei dati disponibili ed elaborati, sono stati sviluppati ulteriori opportuni tematismi dedicati al supporto alla decisione, quali:

- la distribuzione dell'incendio nelle diverse tipologie di uso del suolo, con possibile allarme ai centri abitati;
- le strade potenzialmente interessate dall'incendio, le posizioni delle risorse per la lotta antincendio (ottenendo l'informazione su eventuali necessità di ulteriori risorse);
- i percorsi da seguire per lo spegnimento dell'incendio e per il soccorso, valutando i tempi necessari per l'intervento ed il soccorso, la tipologia di risorse da utilizzare, l'eventuale mancanza di percorsi idonei;
- i percorsi da seguire per l'allontanamento dalla zona interessata dall'incendio (figura 4).

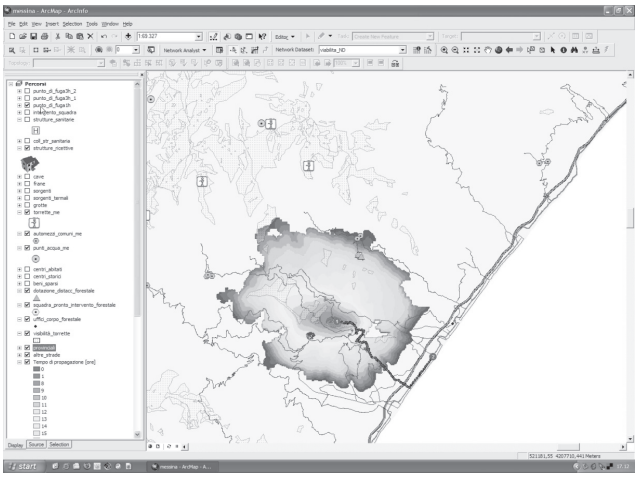


*FIGURA 4 - VIE DI FUGA*

**Conclusioni**

La piattaforma GIS qui utilizzata, oltre a svolgere la funzione di contenitore dei dati spaziali che costituiscono gli input dei modelli, è l'ambiente in cui sono stati inseriti i moduli di elaborazione relativi ai modelli scelti e dove è possibile visualizzare con sintesi analitica gli output spaziali. Lo studio ha così consentito a mettere a punto non una vera e propria applicazione *stand-alone* ma piuttosto un approccio metodologico e procedurale che si compone di diversi metodi e modelli, utile a fornire le basi per lo sviluppo di applicazioni che operativamente siano in grado di supportare il decisore.

**Bibliografia**

Finney M.A. (2004), "Fire Area Simulator-model development and evaluation", *Res. Pap. RMRS-RP-4*, U.S.D.A., Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT

Guariso, G., Corani, G. (2002). "Il contributo dell'informatica ambientale: misure e modelli per la pianificazione delle risorse fisiche", *Il Territorio*, Franco Angeli, Milano, 22: 18-26

Mussumeci G., Condorelli A. (2001), "Gestione dell'emergenza d'incendio - Un GIS per la previsione dell'avanzamento del fronte di fuoco e la determinazione dei percorsi di avvicinamento ai fini delle operazioni spegnimento", *Documenti e Territorio*, Centro interregionale di coordinamento e documentazione per le informazioni territoriali, 48: 22-27.

Ventura F., Marletto V., Zinoni F., (2001). "Un metodo per il calcolo dell'indice meteorologico del rischio di incendio forestale", *Sherwood, Foreste e alberi oggi*, 7(6): 13-16.

# SPERIMENTAZIONE DELLA METODOLOGIA LASER SCANNING DA ELICOTTERO PER LA GESTIONE DEL DEMANIO FLUVIALE IN LOMBARDIA

Nelly CATTANEO (*), Armando CAVAZZINI (**), Francesca DI MARIA (***), Franco GUZZETTI (****), Fabio PIEMONTI (*****)

(*) DIIAR – Politecnico di Milano, Piazza L.Da Vinci, 32 – 20133 Milano – nelly.cattaneo@yahoo.it
(**) Compagnia Generale Ripreseaeree di Parma, Via Cremonese 35 A – 43100 Parma – acavazzini@cgrit.it
(***) DIIAR – Politecnico di Milano, Piazza L.Da Vinci, 32 – 20133 Milano – francesca.dimaria@polimi.it
(****) DIIAR – Politecnico di Milano, Piazza L.Da Vinci, 32 – 20133 Milano – franco.guzzetti@polimi.it
(****) Regione Lombardia, DG Reti e Servizi di Pubblica Utilità e Sviluppo Sostenibile, Via Pola 12/14 20100 Milano – fabio_piemonti@regione.lombardia.it

**Riassunto**

L'impiego della tecnologia laser scanner da aeromobile (LIDAR) si è notevolmente sviluppata in questi ultimi anni, anche se solo recenti e limitati sono gli impieghi sul territorio nazionale. Con tale metodologia oltre ad ottenere un rilievo topografico dell'area rilevata è possibile eseguire studi finalizzati in merito a caratteristiche molto specifiche e particolari del territorio da indagare.

Le presente sperimentazione ha come obiettivo lo studio di una attività di rilievo moderna ed efficace per supportare le indagini per la ricerca e la successiva gestione delle servitù di vario tipo all'interno delle aree demaniali dei fiumi in Regione Lombardia.

Gli obiettivi specifici della ricerca sono stati sostanzialmente due: verificare la fattibilità operativa ed il livello qualitativo del rilievo di aree fluviali, ottenibile con le moderne tecniche laser scanner da elicottero (ritenuto più adatto per la sua maneggevolezza alla realizzazione del cosiddetto "*corridor mapping*"), con supporto di ortofoto digitale; definire quali tipologie di oggetti caratterizzanti le varie servitù fluviali sono riconoscibili dalla nuvola di punti.

Si è ritenuto opportuno eseguire due differenti sperimentazioni a diverse quote di volo; la prima su di un tratto del fiume Seveso caratterizzato da una fitta edificazione, di difficile rilievo topografico, con l'area demaniale praticamente non accessibile da terra; la seconda su una parte del torrente Grandone in un territorio meno urbanizzato, dove quindi la densità di particolari rilevati è stata minore. Va però ricordato che il fine del lavoro non è quello di indagare la forma del terreno per la creazione di un DTM, ma di esplorare la nuvola di punti per rilevare gli elementi presenti nelle macro categorie di oggetti relative ai canoni regionali di pulizia idrica. Risulta quindi importante l'individuazione sia degli oggetti che stanno nell'area demaniale (con il problema dell'interfaccia con le mappe catastali), sia degli oggetti che stanno nella fascia di rispetto fluviale, per una corretta gestione e programmazione della fascia di rispetto stessa.

Il metodo ipotizzato per la gestione delle aree di demanio fluviale si è certamente rivelato adeguato allo scopo. Il prodotto ottenuto è utilizzabile per molte altre applicazioni, di varia natura; può essere reso fruibile per le sole aree che sono interessate dal rilievo dei corsi idrici.

**Abstract**

Though the development in the use Airborne laser scanning technology has been remarkable in these years, its applications on the national territory are not so frequent. This technology allows not only to survey a territory, but also to lead accurate studies on very specific items belonging to the

territory surveyed. The purpose of this work was to start a modern and effective survey to support the research and the management of different kind of servitude on Regione Lombardia fluvial property. The specific aims of this work are mainly two: first to check the operative faisability and the quality of the survey using laserscanner on helicopter (considered more suitable to execute the so-called "corridor mapping" of a river) and digital ortophoto; second to define which categories and typology of objects among the list of servitudes can be recognized in the point cloud.
It has been considered proper to lead two experimentation at different flying height; the first on a portion of Seveso river, which has both sides fully built, hardly surveyable for the unaccessibility of it banks; the second on a portion of Grandone stream, where the density of buildings and servitudes and the density of elements of interest are lower. It must be considered, however, that the aim of this work was not the creation of a DTM, but the exploration of the point cloud itself, in order to point out and locate those elements listed in Regione's classification. It is also important that both the objects on the Regione fluvial property and the objects on the controlled band of the river are pointed out, in order to allow an effective management of these portions of territory.
The method assumed was then confirmed to be the proper one.
The product so obtained can be used for many other purposes and applications, obviously just for those portions of territory interested by rivers.

**Gli obiettivi della sperimentazione**

Il presente lavoro nasce dalla necessità di Regione Lombardia di gestire servitù di vario tipo all'interno delle aree demaniali dei fiumi secondo quanto previsto dal dgr 7/13950 del 1 agosto 2003 (Allegato C). Per l'individuazione sul territorio di tali servitù si è avviata una sperimentazione concordata da Regione Lombardia e DIIAR del Politecnico di Milano ed eseguita dalla CGR di Parma. Gli obiettivi specifici della presente ricerca sono sostanzialmente due:

1. verificare la fattibilità operativa ed il livello di rilievo ottenibile con il laser scanner con supporto di ortofoto digitale, nelle aree fluviali e nelle loro immediate vicinanze; in particolare arrivare a definire la quota di volo, la densità e la distribuzione ottimale della semina dei punti rilevati a terra e la risoluzione dell'ortofoto.
2. definire quali tipologie di oggetti caratterizzanti le varie servitù fluviali sono riconoscibili dall'insieme di nuvola di punti e di ortofoto digitale, a partire dalle macrocategorie di oggetti sottoposti ai canoni regionali di pulizia idraulica, cioè: attraversamenti aerei, attraversamenti in sub-alveo, tombinature, transito di sommità arginale, rampe di collegamento agli argini dei corsi d'acqua, sfalcio erbe e taglio piante, scarichi acque, ulteriori casi di occupazione di aree demaniali.

Si segnala che l'interazione con le altre basi di informazioni e in particolare con la base catastale non è trattato nel presente lavoro in quanto costituisce argomento a se stante.

**Definizione degli ambiti territoriali della sperimentazione: casi studio**

Si è valutato opportuno eseguire due differenti sperimentazioni.
La prima su un tratto del fiume Seveso, caratterizzato da una elevata edificazione e densità di scarichi, tombinature e servitù tecnologiche, che sono poi quelle la cui rilevabilità è maggiormente da verificare; di difficile rilievo topografico, con l'area demaniale praticamente non accessibile se non in corrispondenza dei ponti stradali. La seconda invece, condotta su un tratto del torrente Grandone, ha voluto indagare il livello di produttività del metodo proposto in territori meno urbanizzati, dove quindi la densità di particolari dovrebbe essere minore e di conseguenza, dovrebbe essere più basso il costo di interpretazione della nuvola di punti.
L'area interessata dal progetto è larga circa 150 metri con almeno 50 metri di copertura per ogni lato rispetto all'asse del fiume/torrente, in modo da poter fare valutazioni più generali rispetto alla verifica delle servitù in area demaniale, relative alla fascia di rispetto.
Tuttavia la fascia effettivamente rilevata, per entrambi i casi, è lunga circa 5 km per 300 metri di larghezza media.

**Progetto ed esecuzione del rilievo**

In fase di progetto del rilievo laser scanner si è immediatamente valutato opportuno impiegare l'elicottero e non l'aereo. In effetti la forma tortuosa dei corsi d'acqua, anche in territori relativamente pianeggianti, rende molto più adatto l'elicottero che, per via della sua maneggevolezza e guidabilità permette traiettorie molto più corrispondenti all'andamento dell'elemento idrico investigato. Il velivolo è stato dotato delle seguenti apparecchiature opportunamente calibrate: laserscanner, sistema GPS con ricevitore a terra distanza max 15 Km, sistema inerziale e fotocamera digitale (camera metrica) integrata ad alta risoluzione. Sulla base di una serie di fattori si è poi deciso che il pixel a terra dell'ortofoto digitale dovesse essere tra i 10 e i 5 cm di lato; la camera digitale avrebbe quindi dovuto permettere l'ottenimento di tale risultato sulla base della quota di volo prevista.

Per poter meglio valutare la quota di volo ottimale, si è deciso di eseguire la prova sia con volo a 200 m di altezza relativa che a 400 metri di altezza relativa.

Il volo è stata eseguito nella prima decade di aprile 2007, in condizioni quindi ottimali per quanto riguarda lo stato della vegetazione. La presenza di molta vegetazione non pregiudica comunque la riuscita del lavoro; certamente con scarsa vegetazione a pari condizioni geometriche di volo è più alto il numero di punti rilevati sul terreno e risulta inferiore il numero di punti corrispondenti a elementi della vegetazione.

Il volo è stato pianificato e realizzato per l'ottenimento di almeno 7 punti per metro quadrato. In *Figura 1* è riportata la copertura del lavoro per quanto riguarda l'area del Seveso. La nuvola di punti e le ortofoto sono suddivise in parti tali da avere una dimensione facilmente gestibile. Per l'esito del rilievo da 200 metri di quota relativa si tratta di 95 parti di dimensioni pari a 150 x 150 metri; per quello da 400 metri di quota relativa si tratta di 57 parti di dimensioni pari a 250 x 250 metri.

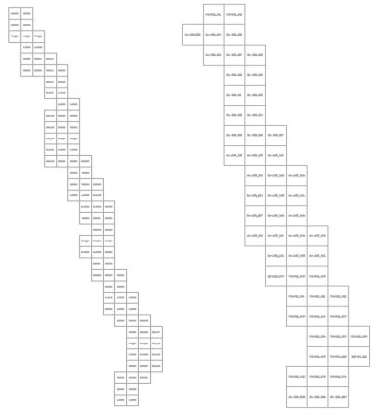


*Figura 1 - Lo schema di ricoprimento dell'area del Seveso da 200 e da 400 metri di volo*

I file relativi alle nuvole di punti, aventi estensione .LAS, hanno nel primo caso dimensione minima pari a 96 kbyte e dimensione massima pari a 44481 kbyte; in totale i 5 km circa di fiume rilevato generano una occupazione di memoria di 893 Mbyte, con un valore di circa 180 Mbyte/km. I file corrispondenti nel caso del volo da 400 metri occupano al minimo 171 kbyte ed al massimo 15955 kbyte; in totale i 5 km generano una occupazione di memoria di 462 Mbyte, con un valore medio di circa 90 Mbyte/km. Raddoppiando la quota di volo quindi si dimezza l'occupazione di memoria per km rilevato.

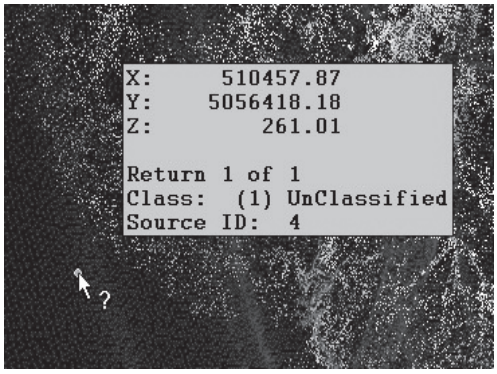
**Esplorazione della nuvola di punti**

Per ogni fiume/torrente è stato predisposto un quadro d'insieme con la suddivisione del rilievo in parti in modo da gestire in maniera più semplice la continuità territoriale del risultato.

Ogni punto di interesse della nuvola restituita è stato interrogato con apposito software. Sono leggibili le coordinate X, Y e Z in UTM-WGS84 e quota ortometrica (la quota è ellissoidica prima di eseguire le necessarie trasformazioni), il tipo di eco che lo ha generato e la potenza del segnale ricevuto (*Figura 2*). Appositamente non sono state eseguite classificazioni o puliture del dato.

Per l'indagine è stato utilizzato il programma Lasedit di gestione delle nuvole di punti che è stato consegnato da CGR stessa ed il programma di visualizzazione delle ortofoto digitali in formato ECW. Per introdurre all'utilizzo delle nuvole di punti si è riportato in *Figura 3* la visione nadirale di

uno dei file. Sono evidenti tutti i punti rilevati, colorati in modo automatico in funzione della quota e del tipo di risposta (numero di eco). Si nota abbastanza chiaramente la variazione di densità di punti rilevati a terra in funzione delle metodologie di azione dello scanner, in questo caso a tracciato circolare. La stessa nuvola di punti, osservata di lato, genera la *Figura 4*: in viola si vedono le parti più basse che in questo caso corrispondono proprio con il greto del fiume Seveso. E' evidente la capacità di "forare" la vegetazione del laser scanner e quindi di arrivare a fornire informazioni al suolo anche quando dall'ortofoto non è recuperabile alcunché.
E' anche immediato individuare la posizione (e quindi la larghezza e la profondità) del Seveso; l'unico elemento che non dà risposta è l'acqua e quindi sul greto del fiume danno risposta esclusivamente i ciottoli che emergono dall'acqua. Inoltre il software consente sia l'esplorazione per sezioni del territorio da indagare che la sua visione in 3D. Si può notare, nel caso analizzato in *Figura 5* come sia possibile ricercare nella nuvola la posizione di due scarichi sull'alveo del fiume, la cui collocazione non è comprensibile dall'ortofoto.



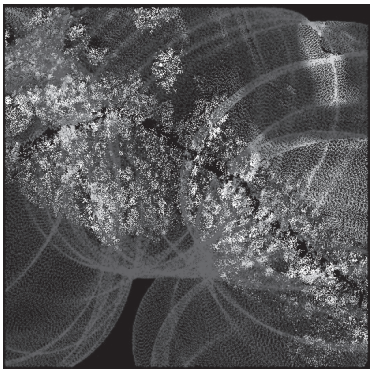



*Figura 2 e 3 – Interrogazione di un punto rilevato e visione nadirale della nuvola di punti.*

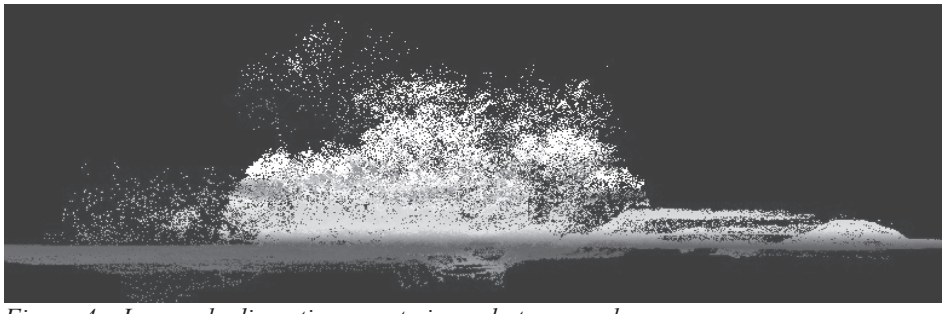


*Figura 4 – La nuvola di punti osservata in modo trasversale.*

Nella *Figura 6* si nota chiaramente come gli scarichi siano ben visibili anche nella nuvola di punti e che la colorazione li pone ad una quota simile a quella della copertura verde.
Nel modello 3D della *Figura 7* si conferma che gli scarichi sono alla quota della copertura e quindi sono esclusivamente dedicati allo smaltimento delle acque piovane. E' di conseguenza definibile un metodo di lavoro per l'esplorazione della nuvola di punti tridimensionale: si tratta di lavorare ad un alto dettaglio contemporaneamente sulla nuvola di punti e sull'ortofoto, con una attenzione a definire particolari viste 3D che possano aiutare nella interpretazione del contenuto della nuvola di punti stessa. Anche grazie alla visualizzazione per sezioni (vedi *Figura 8*) non è difficile andare ad interpretare e misurare tutto ciò che è stato rilevato.

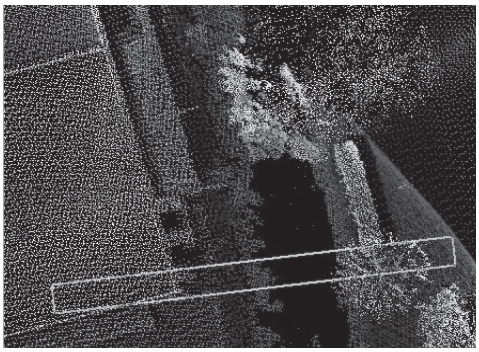
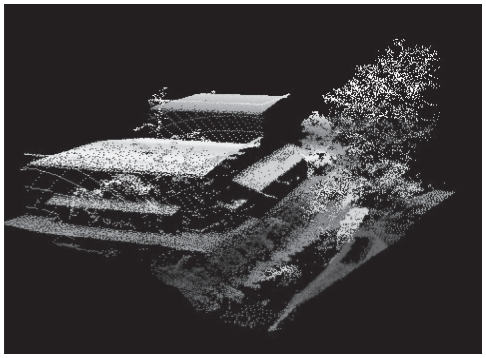


*Figura 5 e 6 – I due scarichi sono ben visibili sia nel ortofoto* che *nella nuvola di punti*



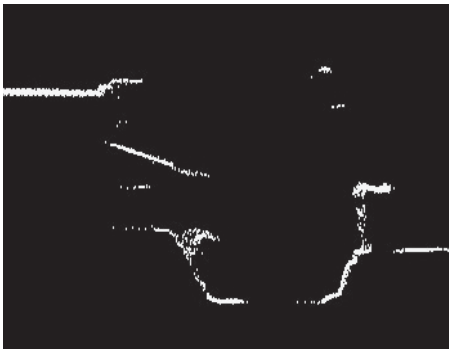


*Figura 7 e 8 – I due scarichi sono ben visibili sia nel ortofoto* che *nella nuvola di punti*

Un'altra importante valutazione da eseguire è relativa alla scelta della quota relativa di volo: 200 o 400 metri? Le differenze sono significative? La *Figura 9* serve ad analizzare tale aspetto. Nella figura sono messi a confronto immagini differenti dello stesso particolare realizzate da 200 metri (a sinistra) e da 400 metri (a destra) di altezza relativa. Si è cercato di esaltare il livello di zoom. Si nota quindi che nella foto di sinistra, la dimensione dei pixel al suolo permette di definite in modo inequivocabile la sponda del camioncino mentre nella foto di destra tale particolare appare meno definito anche se ancora ben leggibile. Si parla di un particolare che corrisponde a qualche centimetro di larghezza e questo da l'idea di quale livello di dettaglio può essere ricercato sulle ortofoto. Ovviamente è migliore quanto rilevabile da 200 m ma anche la lettura da 400 m di quota relativa è valida.

*Figura 9 – Esasperazione del confronto fra ortofoto digitale eseguita da 200 e da 400 metri di quota relativa.*

E'comunque necessario arrivare ad un livello di dettaglio nell'ortofoto sufficientemente elevato per distinguere, ad esempio, le linee elettriche, i pali e tutti gli oggetti di piccole dimensioni classificati nel dgr 7/13950 del 2003. Non va dimenticato poi che questi oggetti, oltre ad essere visibili, devono essere rilevabili, cioè è fondamentale definirne la posizione geografica nel sistema di riferimento usato per la gestione del demanio fluviale. Per altre classi, ad esempio la categoria degli attraversamenti in sub-alveo, la definizione degli oggetti è probabilmente impossibile, se non tramite una attenta analisi di altre emergenze poste nelle vicinanze. Ad esempio un sottopasso pedonale di larghezza pari a 3 m deve avere nelle vicinanze i due imbocchi; è quindi possibile individuarlo anche se è quasi certamente impossibile definirne la posizione con una precisione comparabile con l'accuratezza delle mappe catastali se non ricorrendo ad un puntuale e costoso rilievo sul terreno con metodologia topografica classica.

**Conclusioni**

Il metodo ipotizzato per la gestione delle aree di demanio fluviale certamente è adeguato allo scopo. E' possibile rilevare e successivamente gestire in aggiornamento, buona parte degli oggetti che costituiscono il "demanio fluviale", avviando una attività con notevoli conseguenze economiche positive per la realtà locale lombarda. Il prodotto che in tal modo si ottiene è utilizzabile per molte altre applicazioni, di varia natura; ovviamente può essere reso fruibile per le sole aree che sono interessate dal rilievo dei corsi idrici.

E' utile distinguere in due distinti momenti le fasi relative all'acquisizione del dato dal laserscan e all'analisi della nuvola dei punti con due livelli di approccio differenti.

E' certamente da eseguire la fase di creazione della nuvola di punti attraverso ripresa con laserscanner seguendo le indicazioni tecniche emergenti dalla presente sperimentazione, va invece affrontato con estrema attenzione la fase di ricerca degli oggetti, di vario tipo, presenti nella nuvola di punti e osservabili nell'ortofoto perché l'ampia casistica non ne permette la riduzione ad una procedura standard. A tal proposito durante la sperimentazione si è approfondito questo aspetto assieme ai tecnici di CGR per capire quali dei canoni richiesti dal demanio possono essere rilevati e con che livello di certezza: per ogni canone si è specificato se il dato è rilevabile e con quale livello di probabilità (sempre, qualche volta, raramente, mai). Si tratta ovviamente di una schematizzazione in quanto potrebbero capitare anche dei casi in cui oggetti che è prevedibile non siano visibili, per particolari condizioni locali risultino invece rilevabili.

Il lavoro potrebbe essere ben supportato da un Gis di gestione per la restituzione dalla nuvola di punti in modo da predisporre una banca dati geografica in linea con le finalità di Regione Lombardia, con tools di interazione fra ortofoto digitale, nuvole di punti laser scanner e banca dati catastale.

**Riferimenti bibliografici**

Regione Lombardia (2003), "Dgr 7/13950 del 1 Agosto 2003 (Allegato C)", *Burl 28 Agosto.*

Grassi M, Lamberti L, Milli M, Nobili A, Rossi M, Surace L. (2007), "Confronto tra rilevamenti batimetrici con laser aviotrasportato multifascio: metodi e risultati", *Atti XI Conferenza Nazionale ASITA*, Torino.

Hilldale R, Bountry J, Piety L. (2008), "Using bathymetric and bare earth LIDAR in Riparian corridors: Applications and challenges", *International Lidar Mapping Forum,* Denver.

**Siti internet**

www.regione.lombardia.it
www.cgrit.it
www.intesagis.it

# LA GESTIONE DELLA BANCA DATI DELLE AREE VERDI DEL COMUNE DI MILANO ATTRAVERSO L'AGGIORNAMENTO CONTINUO DEI DATI

Nelly CATTANEO (*), Francesca DI MARIA (**), Franco GUZZETTI (***),
Anna PRIVITERA (****), Paolo VISKANIC (*****)

(*) DIIAR – Politecnico di Milano, Piazza L.Da Vinci, 32 – 20133 Milano – nelly.cattaneo@yahoo.it
(**) DIIAR – Politecnico di Milano, Piazza L.Da Vinci, 32 – 20133 Milano – francesca.dimaria@polimi.it
(***) DIIAR – Politecnico di Milano, Piazza L.Da Vinci, 32 – 20133 Milano – franco.guzzetti@polimi.it
(****) DIIAR – Politecnico di Milano, Piazza L.Da Vinci, 32 – 20133 Milano – anna.privitera@fastwebnet.it
(*****) R3-GIS srl, via Johann Kravogl, 2 – 39012 Merano (BZ) - paolo.viskanic@r3-gis.com

**Riassunto**
Dal 2004 è attivo a Milano presso il Settore Tecnico Arredo Urbano e Verde il GIS tematico per la gestione delle aree verdi. Milano conta 2340 ettari di aree verdi, corrispondenti al 13% del territorio comunale. Di questi, circa 1700 ettari divisi in 2700 località diverse sono gestiti da ditte esterne in global service per il Comune di Milano.

Il GIS assume un ruolo strategico come strumento di conoscenza e di monitoraggio dell'evoluzione dei fenomeni nel tempo solo attraverso il suo aggiornamento continuo, che deve avvenire laddove vengono eseguite e gestite le modifiche sul territorio. Ognuno dei circa 500.000 oggetti che compongono le aree verdi di Milano, viene gestito nella banca dati con tutte le informazioni associate.

Il sistema informativo territoriale (SIT) messo in piedi dal gruppo di lavoro composto dal DIIAR (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento) del Politecnico di Milano e da R3 GIS è basato su una banca dati PostGIS. Fondamentale è il fatto che gli applicativi agiscono su un'unica banca dati. Gli utenti, abilitati in base alle competenze da una gestione utenti centralizzata, agiscono tramite interfaccia web differenziata per la gestione di alberi, giochi, la programmazione delle lavorazioni e l'aggiornamento degli altri elementi. Le soluzioni adottate, tutte basate su software libero, si sono dimostrate affidabili e performanti, anche in presenza di un'elevata quantità di dati e di decine d'utenti che accedono contemporaneamente alla banca dati attraverso i vari applicativi.

Nella presentazione verrà posto l'accento sulle complesse procedure di aggiornamento realizzate, che automaticamente salvano una versione storica dei dati, e quindi permettono anche una valutazione temporale delle modifiche nella aree verdi di Milano.

**Abstract**
The "Settore Tecnico Arredo Urbano e Verde" of the City of Milano has developed since 2004 an integrated Geographic Information System (GIS) to manage green areas. Milano has a total of 2340 hectares of green areas, totalling approx. 13% of the urban area, of which 1700 hectares are divided in 2700 different localities, which are managed by external contractors in global service for the City of Milano.

The GIS is an important strategic tool to manage the information on the current situation and to monitor changes of the green areas. However this goal can only be achieved if there is a continuous update of all information, and if this update is carried out by the same people who change the characteristics of the green areas through their daily maintenance work. Each of the 500.000 features, which are part of the green areas of Milano, is managed with all associated information.

The GIS which has been developed by a working group of the DIIAR (Dept. of Environmental, Hydraulic, Infrastructures and Surveying Engineering) of the Politecnico of Milano and the company R3 GIS is based on a PostGIS geodatabase. All applications access one central database. The different user groups access personalized Web interfaces for the management of Trees, Playgrounds, for programming maintenance work and for updating all other objects, based on the user rights defined in a central access rights manager. The system developed, completely based on open source software, has proven to be very reliable and performing, despite the dozens of different concurrent users and the high amount of data managed.

In the presentation special emphasis will be put on the complex update procedures which have been defined and developed, including topological and semantical checking of the data and versioning of historical information, in order to allow for monitoring of green areas and it's features.

**Introduzione**

Il GIS del Verde attivo presso il Comune di Milano dal 2004 non rappresenta un semplice visualizzatore di processi riferiti al territorio, ma ha raggiunto negli anni un alto livello di gestione e controllo delle dinamiche relative al patrimonio verde, unendo, in un unico sistema, i dati spaziali che fanno riferimento alle informazioni geografiche, gli attributi collegati agli oggetti esistenti sul territorio e le informazioni relative alle ispezioni, ai controlli periodici ed alle lavorazioni.

Pertanto il GIS non ha un fine puramente archivistico documentale ma è connesso a tutte le lavorazioni previste nel capitolato Global Service per la gestione del verde cittadino, con la possibilità di eseguire interrogazioni e rendicontazioni dei dati, collegando le modifiche degli oggetti alla loro localizzazione sul territorio.

A conferma di ciò il capitolato d'appalto 2007/2010 prescrive che "…*una lavorazione sul territorio che modifica il GIS non è ritenuta conclusa fino al suo aggiornamento nel GIS stesso*…".
Per garantire l'aggiornamento e l'integrazione delle informazioni del territorio, sono stati implementati degli applicativi basati su software open source di facile impiego per il censimento delle alberature, per la gestione dei giochi e delle manutenzioni programmate e per un'amministrazione complessiva delle aree verdi.

Al centro del sistema vi è una banca dati spaziale, nella quale vengono gestite tutte le informazioni legate alle aree verdi, e alla quale accedono tutti i vari moduli applicativi, garantendo in questo modo la coerenza delle informazioni. I vari applicativi sono basati su tecnologia WebGIS, e sono quindi fruibili attraverso un normale browser internet. Le funzionalità di consultazione, ricerca, immissione e modifica dati, import ed export, stampa, disegno delle superfici, linee e punti, vengono garantite attraverso un semplice browser internet di ultima generazione come Mozilla Firefox o Internet Explorer.

La gestione utenti permette di definire quali funzioni sono disponibili per ciascun gruppo di utenti, e di assegnare ai singoli utenti il gruppo più appropriato. In questo modo l'accesso ai servizi può essere definito in maniera capillare.

**Gli applicativi WebGIS**

*Figura 1 – GIS del verde: schermata d'accesso agli applicativi WebGIS*

Considerando che l'aggiornamento deve avvenire laddove vengono eseguite e gestite le modifiche, è fondamentale creare strumenti che possano essere usati da personale non esperto di GIS. Pertanto un aspetto fondamentale comune a tutti gli applicativi, è la semplicità d'utilizzo, che permette anche ad utenti inesperti di accedere in maniera immediata ai dati, di visualizzare, interrogare o modificare le informazioni, secondo i diritti d'accesso stabiliti nella "gestione utenti" e con procedure guidate.

La "gestione utenti" permette, infatti, di definire quali funzioni sono disponibili per ciascun gruppo di utenti. Inoltre, il numero di utenti non è limitato e quindi l'affidatario può estendere l'utilizzo anche fuori dell'amministrazione, permettendo a tutti gli operatori che interagiscono con il verde, di consultare ed eventualmente aggiornare la banca dati ed il GIS in qualsiasi momento per gli aspetti di loro competenza.
La semplice consultazione dei dati di interesse, ovvero la possibilità di indagare la banca dati in maniera mirata, da parte dei diversi uffici comunali abilitati, può risultare funzionale alla pianificazione di progetti od interventi che interessano le varie località, all'interno di una visione unitaria e organica delle informazioni a disposizione.

Un altro aspetto comune agli applicativi di seguito descritti è la storicizzazione di ogni oggetto appartenente alla banca dati, per permettere successive indagini statistiche: ogni volta che un oggetto finisce di esistere, ad esempio quando un albero viene abbattuto, si attribuisce una data di fine; l'albero non viene più visualizzato nel GIS ma rimane nella banca dati con tutte le informazioni collegate (foto, ispezioni, controlli VTA, documenti, lavorazioni). Lo stesso accade per altri oggetti delle aree verdi quali prati, vialetti, cestini, panchine, ecc. In questo modo in qualsiasi momento è possibile risalire alla situazione di un'area verde ad una determinata data ed avere immediatamente una statistica delle modifiche effettuate tra intervalli di tempo stabiliti.

L'aggiornamento e l'integrazione dei dati avviene secondo due modalità:
1. in modo diretto tramite gli applicativi si inseriscono, modificano o cancellano le informazioni relative agli oggetti delle aree verdi, quali, ad esempio, i VTA (Visual Tree Assessment o Valutazione visiva degli alberi) delle piante e le lavorazioni;
2. è possibile scaricare i dati di ciascuna area ed elaborarli con applicativi GIS standard, e successivamente ricaricarli nella banca dati. Durante la fase di importazione l'applicativo stesso verifica la consistenza del dato, le caratteristiche topologiche, e storicizza eventuali elementi modificati. In questo modo viene garantita anche in fase di aggiornamento l'integrità del dato.

Gli applicativi realizzati per la piattaforma GIS del Verde del Comune di Milano sono i seguenti:

1. **R3 GREEN,** per la gestione delle località; ogni località viene definita in base alla localizzazione, alla tipologia, alla codifica d'area, alla data di presa in carico e a una serie di attributi aggiuntivi. R3 GREEN permette di associare foto e documenti, di stampare una scheda comprensiva dell'inventario di tutti gli elementi areali, lineari e puntuali che la compongono, di esportare i dati geometrici e tabulari di ciascuna area in vari formati (Shapefile, DXF, Excel) e di fare analisi statistiche rispetto alle modifiche avvenute in un intervallo tra due date.

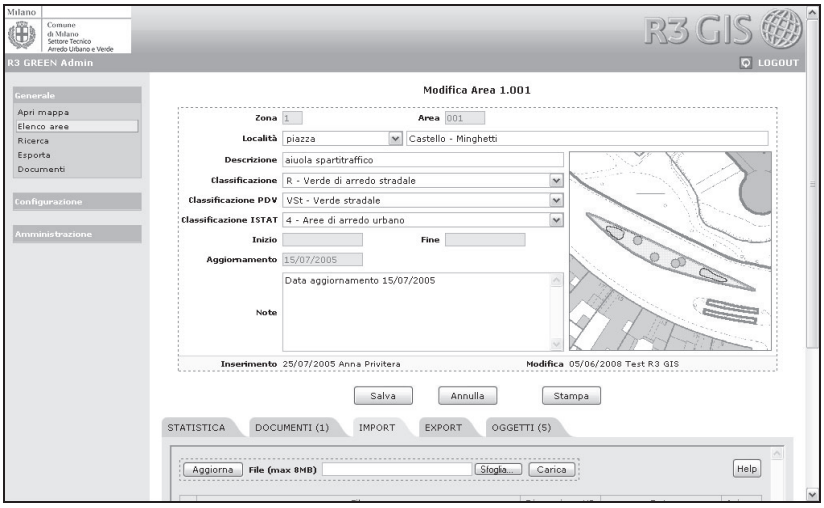



*Figura 2 – Applicativo R3 GREEN: esempio di scheda località in modalità modifica dei dati*

2. **R3 WORKS**, per l'inserimento e la gestione delle lavorazioni programmate previste da capitolato, collegate agli elementi del verde a cui si riferiscono.

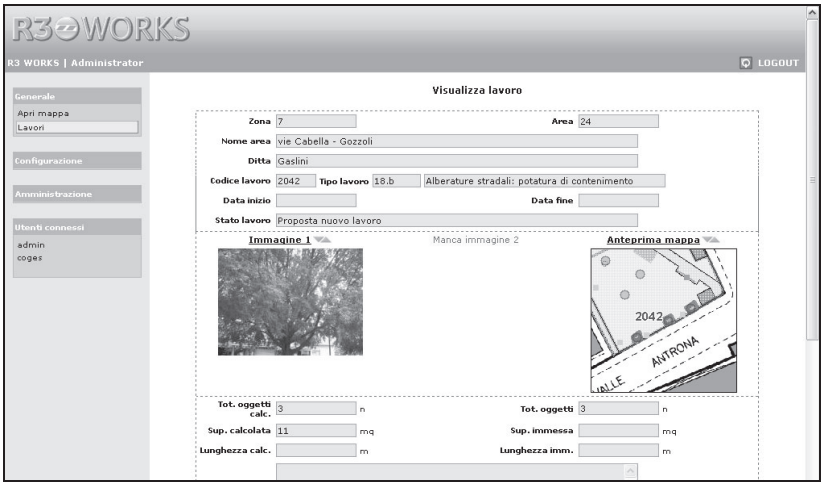



*Figura 3 – Applicativo R3 WORKS: esempio di una scheda di lavorazione programmata*

3. **R3 TREES,** per la gestione del catasto alberi e dei VTA. R3 TREES permette di gestire il censimento dettagliato di alberi e cespugli, la catalogazione e programmazione dei dati di manutenzione (potatura, irrorazione, concimazione, ecc.) e tutte le caratteristiche dei controlli visivi e strumentali delle piante. Per ciascun albero viene compilata una scheda che contiene tutte le informazioni relative ala pianta: specie, dimensioni, posizione geografica, foto, data di impianto, ecc. La scheda VTA, i lavori eseguiti o programmati su una pianta ed eventuali documenti relativi all'albero, possono essere aggiunti, permettendo così di avere un andamento storico dei VTA e dei lavori per ciascuna pianta.

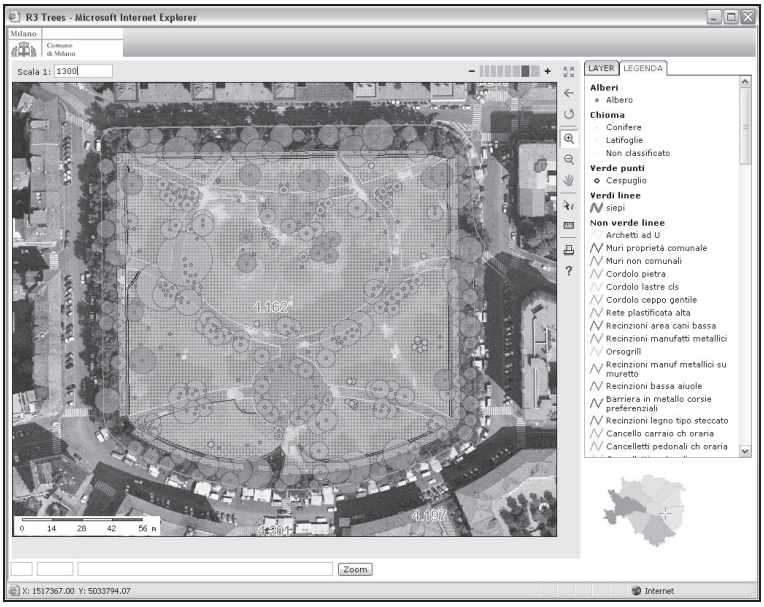



*Figura 4 – Applicativo R3 TREES: esempio di visualizzazione in mappa delle alberature*

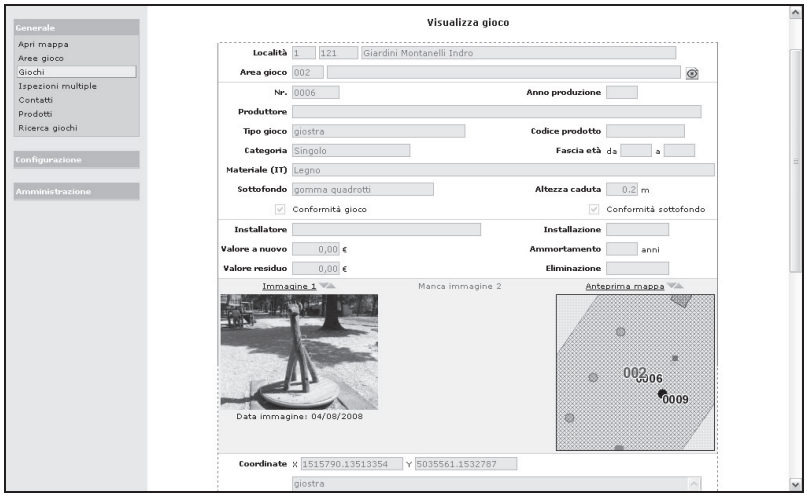



*Figura 5 – Applicativo R3 PLAY: esempi di scheda gioco*

4. **R3 PLAY**, per censire le aree gioco e i giochi presenti nelle aree verdi. R3 PLAY permette di visualizzare su un'interfaccia geografica le informazioni della banca dati e allo stesso tempo di consultare le schede relative all'area gioco ed ai giochi singoli o complessi presenti. Attraverso la gestione delle informazioni, consente un monitoraggio dello stato dei giochi con apposite funzioni di ispezioni di conformità, per la sicurezza degli utenti delle aree gioco.

**Conclusioni**

Gli applicativi realizzati costituiscono uno strumento fondamentale per l'organizzazione delle informazioni, nell'ambito dei processi decisionali della gestione del verde pubblico del Comune di Milano, perché collegano gli interventi di manutenzione del verde al suo aggiornamento, evitando così il rischio di avere a disposizione una banca dati perfetta ma inutilizzata e non in linea con la situazione reale del territorio milanese.

L'utilizzo di tali applicativi di facile impiego permette, inoltre, una valutazione temporale delle modifiche del territorio, con evidenti vantaggi sull'ottimizzazione delle risorse a disposizione e non necessita dell'installazione per ogni postazione di lavoro, poiché i software sono disponibili su un server online e vengono consultati tramite un semplice browser internet.

L'amministrazione comunale ha così a disposizione strumenti semplici ed efficienti per garantire un aggiornamento continuo dei dati ed una condivisione delle informazioni da parte di tutti gli utenti del sistema informativo.

**Riferimenti bibliografici**

Fasan T. (1991), "Il censimento del verde urbano: metodologia ed esempi applicativi", *Acer* , 5

Intesa Stato Regioni, Enti Locali (2004), *Specifiche di contenuto per la realizzazione dei Data Base Topografici (documento 1007_1)*

Regione Lombardia, Direzione Territorio e Urbanistica (2004), *Specifiche di contenuto per la creazione dei DB topografici* , Milano

Rossi C. (1992), "Esperienze di gestione del verde pubblico: il caso di Milano", *Acer*, 1

Di Maria F, Guzzetti F, Privitera A, Viskanic P. (2005), "Alberi e professionisti: catasto ed informatizzazione – due esempi di gestione informatizzata del verde con strumenti Web – Gis" - Convegno Internazionale ALBERI&DINTORNI – Riccione 19/21 Ottobre.

Di Maria F, Guzzetti F, Privitera A, Viskanic P. (2005), "Progetto verde Milano: il censimento e la gestione del verde con strumenti Web-Gis" - 9° Conferenza Nazionale ASITA – Catania 15/18 Novembre.

Cattaneo N, Di Maria F, Guzzetti F, Privitera A. (2007) "Specifiche tecniche per il rilievo topografico delle aree verdi nell'ambito del Gis tematico del Comune di Milano" – 11° Conferenza Nazionale ASITA – Torino 6/9 Novembre

**siti internet**

www.comune.milano.it
www.regione.lombardia.it
www.intesagis.it
www.r3-gis.com

# IDENTIFICAZIONE DI SITI PER IL MONITORAGGIO DEI SUOLI IN LOMBARDIA: METODOLOGIA E PRIMI RISULTATI

Noemi Emanuela CAZZANIGA (*), Livio PINTO (*), Alberto ROCCA (**),
Stefano BRENNA (**), Marco SCIACCALUGA (**)

(*) DIIAR - Politecnico di Milano – p.zza L. da Vinci 32 –Milano – mail: [noemi.cazzaniga, livio.pinto]@polimi.it
(**)ERSAF – via Copernico 38 – Milano – mail: [alberto.rocca, stefano.brenna, marco.sciaccaluga]@ersaf.lombardia.it

**Riassunto**
SOILQUALIMON (Sistema di monitoraggio dei suoli di Lombardia) è un progetto di ricerca avviato dall'Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste (ERSAF) su incarico della Regione Lombardia con il compito di allestire sull'intero territorio lombardo un sistema permanente di monitoraggio della qualità dei suoli. Il sistema ha per oggetto una serie di indicatori agro-ambientali in grado di descrivere da un lato le caratteristiche dei suoli, significative per la definizione di strategie politiche efficaci e dall'altro di rappresentare i principali temi legati alla multifunzionalità dell'agricoltura. I risultati finali saranno implementati in una infrastruttura spaziale dei dati, realizzata in accordo ai criteri INSPIRE, per aggiornare e rendere accessibile l'informazione territoriale raccolta.
Il monitoraggio, consistente nello studio delle proprietà del suolo e nel prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi fisico-chimiche, viene effettuato in prossimità dei nodi di una rete a maglia quadrata di 18 km di lato. È risultato quindi necessario stabilire una metodologia di lavoro in grado di identificare in maniera rapida i vertici sul territorio anche da parte di personale non specializzato nel posizionamento. In collaborazione con il Politecnico di Milano (DIIAR-Sez. Rilevamento) è stato sviluppato lo standard di lavoro per l'identificazione delle aree di monitoraggio, tramite GPS e strumentazione topografica classica a basso costo, tenendo conto di ambiti geografici differenti per accessibilità, visibilità del cielo e copertura GSM. Vengono esposti i principali risultati finora ottenuti nei diversi ambiti: pianura e montagna, con scarsa o piena visibilità dei satelliti.

## Il progetto SOILQUALIMON

Il suolo e lo spazio rurale sono risorse vitali sottoposte a crescenti pressioni, che ne compromettono la disponibilità, la funzionalità e la redditività e che si traducono in forme di degrado, spesso correlate tra loro, riconducibili al rischio di erosione, alla diminuzione di materia organica, alla contaminazione, alla impermeabilizzazione diffusa, alla compattazione, alla perdita di biodiversità, alla salinizzazione e, in relazione agli effetti del cambiamento climatico, alla desertificazione. Per questo si riscontra oggi, a livello internazionale e nell'ambito dell'Unione Europea, la necessità di una "strategia per la protezione del suolo" basata su principi di prevenzione, precauzione e anticipazione, ricorrendo a sistemi di monitoraggio dei suoli e alla individuazione di indicatori completi e comparabili [10].
In tale contesto ERSAF su incarico della Regione Lombardia ha avviato nel luglio 2006 il progetto di ricerca triennale SOILQUALIMON: Sistema di monitoraggio dei suoli di Lombardia. La finalità è l'allestimento di un sistema permanente per il monitoraggio dei suoli dell'intero territorio lombardo, che concili esigenze di rigore e rappresentatività tecnico-scientifica e di ottimizzazione delle risorse finanziarie ed organizzative, tenendo conto della necessità di inserimento funzionale nelle reti nazionale ed europea di monitoraggio del suolo e della biodiversità. Funzione principale è quella di indagare i suoli dal punto di vista chimico, fisico e biologico per ottenere una dettagliata valutazione

dello stato attuale della loro "qualità", e di controllare nel tempo i cambiamenti dei principali parametri attraverso la ripetizione delle campagne di monitoraggio a periodi prefissati di tempo.
Un aspetto importante nella fase di elaborazione sarà l'identificazione di una serie di indicatori agro-ambientali in grado di descrivere da un lato le caratteristiche dei suoli significative per la definizione di strategie politiche efficaci (quali il controllo dell'erosione, il mantenimento ed incremento della sostanza organica, la tutela della biodiversità del suolo...) e dall'altro di rappresentare i principali temi legati alla multifunzionalità dell'agricoltura (ambiente, paesaggio, sicurezza idrogeologica...). I risultati finali saranno implementati in una infrastruttura spaziale dei dati (SDI), realizzata in accordo ai criteri INSPIRE, per aggiornare e rendere accessibile l'informazione territoriale e la meta-informazione sul suolo e lo spazio rurale.

**La rete di monitoraggio**
Il sistema di monitoraggio è basato sullo schema della rete del progetto LUCAS (Land Use Cover Area Frame Statistical Survey) [4], lanciato nel 2001 da EUROSTAT (Statistical Office of the European Communities), in collaborazione con la Direzione Generale per l'Agricoltura della Commissione Europea, con lo scopo di monitorare la copertura e l'uso del suolo su scala europea. Tale rete si basa su una griglia quadrata di 18 km di lato e prevede il rilevamento dei dati nell'intorno di ciascun nodo della rete, denominato Primary Sampling Unit (PSU), più precisamente in corrispondenza di 10 punti secondari, denominati Secondary Sampling Unit (SSU). L'adozione di una rete di dimensione 18×18 km, risoluzione spaziale di dettaglio su scala europea, risponde alla esigenza di ottenere informazioni circostanziate compatibilmente con i costi necessari alla raccolta di tali dati.

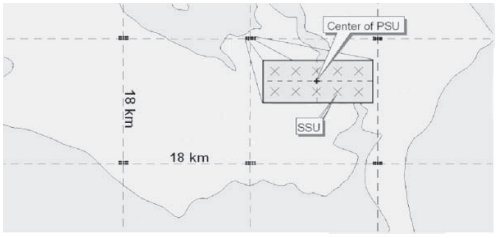



*Figura 1 – Rete LUCAS: schema di definizione di PSU e SSU*

Nella rete LUCAS italiana i punti SSU sono distanti tra loro 250 m e sono disposti simmetricamente rispetto al punto PSU, cinque per parte, su due linee orizzontali distanziate di 500 m (fig. 1). Tra questi 10 punti viene individuato, con opportuni criteri di selezione, il sito di monitoraggio del progetto SOILQUALIMON.
I nodi della rete che ricadono in Lombardia sono 72 (fig. 2); di questi 12 sono ubicati in aree non idonee al campionamento (zone urbanizzate, aree idriche, affioramenti rocciosi...). Utilizzando una griglia a maglia ridotta sono stati individuati tre nuovi siti, di cui due in sostituzione di siti non idonei e uno a copertura del territorio a Est di Mantova rimasto scoperto nella rete originariamente predisposta. Complessivamente i siti interessati dall'attività di monitoraggio sono 45 di cui 38 nella Pianura Padana.
L'area di rilevamento coincide - in pianura - con l'unità di paesaggio aziendale (o la particella catastale), dove ricade il punto SSU prescelto, mentre in altre condizioni - come in montagna o in zone forestali - è pari ad una superficie di 4 ha (40.000 $m^2$) centrata sul punto SSU in esame.
Il monitoraggio consiste nello studio delle proprietà del suolo attraverso l'esecuzione di un profilo pedologico e nel prelievo mediante trivella manuale nello strato superficiale di suolo (da 0 a 30 cm) di campioni di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio. Il profilo pedologico, ovvero una sezione verticale tridimensionale abbastanza grande da permettere di osservare le caratteristiche del suolo e le loro variazioni sia orizzontali che verticali, viene realizzato nel punto SSU individuato.

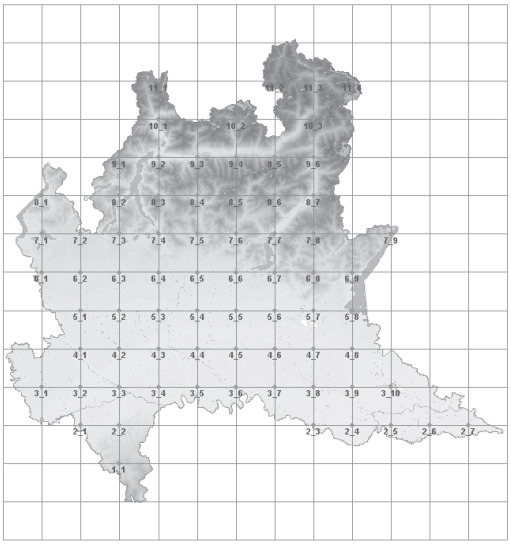


*Figura 2 – Rete SOILQUALIMON: nodi PSU*

Il campionamento di suolo viene effettuato in tre celle di una griglia di 20×20 m sovrapposta all'area di rilevamento. Le celle di monitoraggio sono disposte lungo due assi ortogonali, una nell'incrocio di questi, le altre due a distanza di 40 e 80 m dalla prima (fig. 3). Tale schema, che ha lo scopo di fornire una rappresentatività spaziale dell'area di rilevamento, viene adottato in particolar modo nei siti dislocati negli appezzamenti agricoli di pianura. In ogni cella il prelievo di campioni di suolo viene effettuato in 9 punti distanti tra loro 4 m e disposti a partire dal centro cella lungo gli assi Nord-Sud ed Est-Ovest (fig. 4).

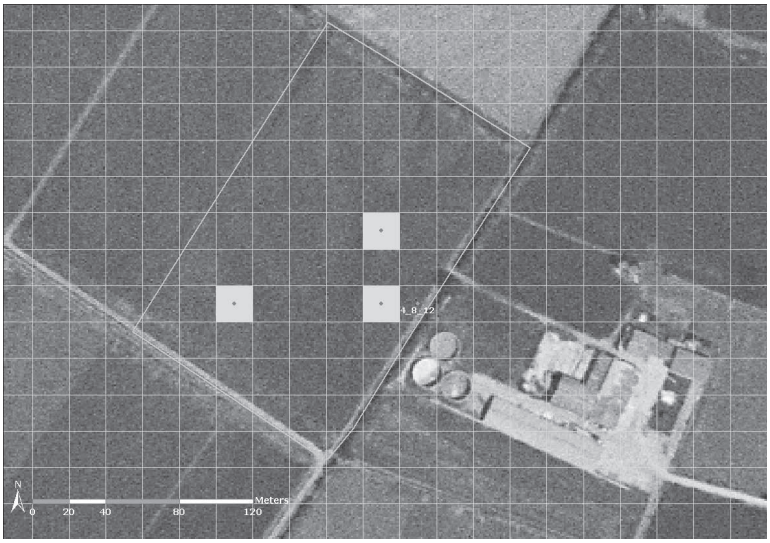



*Figura 3 – Esempio di celle di monitoraggio*

Laddove invece si riscontrano condizioni sfavorevoli all'applicazione del protocollo previsto (come per esempio in ambiti forestali), il campionamento viene effettuato su una sola cella di 20×20 m, basandosi sulla metodologia sviluppata dai ricercatori francesi dell'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) [5]. Il prelievo di suolo viene in questa circostanza effettuato in 25 punti distanti tra loro 4 m, simmetricamente distribuiti all'interno della cella.

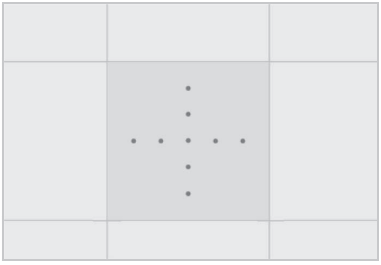


*Figura 4 – Disposizione standard dei punti di prelievo dei campioni di suolo rispetto al vertice di una cella di campionamento*

**Metodologia di individuazione dei siti sul campo**

Per valutare correttamente la variazione dei parametri di qualità del suolo e dei valori degli indicatori, si prevede di effettuare il campionamento del terreno sullo stesso punto a intervalli di tempo dell'ordine di pochi anni. Per questo motivo una tappa importante nella messa in opera del sito di monitoraggio è il procedimento di georeferenziazione. Come descritto precedentemente, ogni cella di monitoraggio viene identificata in campo da un solo punto, coincidente con il centro della stessa cella e avente coordinate note all'interno del sistema cartografico di riferimento, Gauss-Boaga fuso Ovest. Risulta fondamentale riuscire ad individuare l'esatta posizione del sito di campionamento riducendo al minimo l'errore associato, possibilmente inferiore a 50 cm. Il fattore di precisione assume infatti particolare rilevanza in vista di una replica del campionamento in tempi successivi, per monitorare nel breve e lungo periodo i cambiamenti delle caratteristiche e delle proprietà del suolo.

La necessità di un posizionamento di precisione possibilmente submetrica e di un'elevata ripetibilità nell'identificazione dell'area di monitoraggio in tempi successivi, hanno richiesto l'utilizzo di strumentazione GPS di qualità superiore. Si è quindi scelto di utilizzare un ricevitore Trimble GPS Pathfinder ProXH, con possibilità di connessione al servizio di correzione differenziale fornito da IREALP (servizio GPSLombardia) tramite palmare con cellulare integrato. Sul palmare è stato installato il software ArcPad ESRI per la generazione degli shapefile delle posizioni stimate, tramite l'estensione Trimble GPSCorrect per la correzione differenziale in tempo reale. I dati raccolti sul campo vengono postprocessati con il software GPS Pathfinder Office.

Inoltre l'utilizzo della strumentazione GPS presenta in questo caso alcune problematiche, legate non solo alla difficoltà in alcuni siti di ricevere la correzione differenziale a causa della mancanza di copertura GPRS, ma anche legate a condizioni di scarsa visibilità satellitare, fenomeno frequente in aree montuose o in boschi. In questi casi si è scelto di utilizzare un distanziometro Leica, rotella metrica e bussola professionale. È stata quindi necessaria un'adeguata definizione di uno standard di lavoro per l'identificazione delle aree di monitoraggio nei due casi (pianura e montagna), stabilendo delle procedure semplici e rapide di utilizzo sul campo da parte di personale, non dotato di particolari competenze specifiche.

L'individuazione sul terreno di un punto di coordinate note in tempo reale e la successiva determinazione delle coordinate del vertice su cui si è effettuato realmente il campionamento richiede l'utilizzo di diversi software specifici, con file di diverso formato, e richiede il passaggio da differenti sistemi di riferimento. I dati di partenza infatti, ricavati da cartografia in formato .shp, sono espressi in coordinate Roma40 Gauss-Boaga fuso Ovest, mentre le posizioni stimate in tempo

reale tramite GPS opportunamente collegato alla rete GPSLombardia attualmente sono espresse nel sistema di riferimento IGS05. Il sistema di riferimento di queste soluzioni è stabilito da Irealp, che periodicamente aggiorna i parametri di trasformazione (con cadenza circa annuale). La trasformazione di sistema di riferimento, di coordinate e la relativa proiezione cartografica viene effettuata tramite i software della famiglia ArcGIS e Verto, in modo del tutto trasparente all'utente, che deve semplicemente impostare i desiderati parametri di trasformazione per il particolare progetto di lavoro. Questo implica la conoscenza di diversi programmi di calcolo, per cui si è scelto di svolgere queste operazioni quanto più possibile in ufficio, riducendo al minimo il lavoro sul campo.
Per quanto riguarda invece la fase di identificazione del sito in campo, nel caso in cui si abbia piena visibilità del cielo su tutta l'area da rilevare e che si abbia buona ricezione del segnale GPRS/GSM, (così da poter ricevere in tempo reale le correzioni differenziali), è possibile determinare l'ubicazione dei tre vertici tramite una semplice navigazione GPS verso gli stessi. Questa modalità fornisce le precisioni maggiori, potendo arrivare con la strumentazione adottata, anche a mezzo metro di errore di stima: l'operazione richiede la presenza di un solo operatore. Nel caso in cui solo su un vertice sia stato possibile effettuare la navigazione tramite connessione al servizio GPSLombardia, è possibile, in caso di terreno pianeggiante, ricavare le posizioni degli altri due ricorrendo all'uso di rotella metrica e bussola. La precisione con cui possono essere determinati questi due vertici è circa dell'ordine di 1 m. Situazione più complessa è il caso in cui non siano visibili satelliti in numero sufficiente a determinare la posizione GPS. Questa circostanza si può verificare in particolare quando i vertici si trovano all'interno di aree boschive folte. In questo caso risulta necessario trasportare sul sito la posizione da un punto di coordinate note con metodi topografici classici, utilizzando un distanziometro laser o rotella metrica. Le incertezze ottenibili in questo caso possono essere superiori al metro.
Una volta identificato il punto, dove possibile, si procede alla raccolta di dati GPS grezzi per la successiva fase di postprocessamento tramite correzione differenziale, al fine di determinare la posizione in cui è stato effettuato realmente il campionamento.

**Misure effettuate**
Sono stati inizialmente effettuati alcuni test, sia su terreno pianeggiante che montuoso, su aree sia con piena visibilità del cielo sia in zone boschive, confrontato quanto ottenuto con la strumentazione prevista con i risultati ottenuti con GPS di categoria geodetica. Ciò ha permesso di verificare sul campo la bontà della soluzione delineata, che permette le precisioni prima descritte.

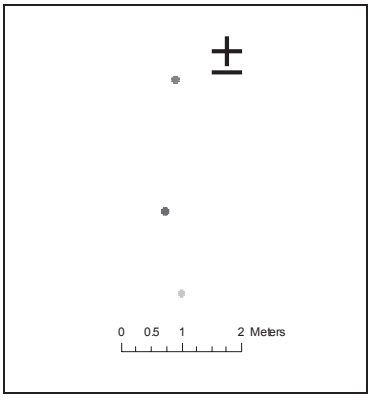



*Figura 5 – Esempio di posizionamento in zona boschiva: in rosso è indicata la posizione reale del punto, in blu la posizione stimata in tempo reale GPS stand alone e in verde la posizione postprocessata*

Sono quindi stati effettuati i primi monitoraggi su diversi nodi della rete SOILQUALIMON. L'attività di campionamento è tuttora in corso e al momento ha interessato il 32% dei siti previsti.
I risultati evidenziati in pianura mostrano, com'era da aspettarsi, una copertura GPRS molto buona al pari della visibilità dei satelliti, per cui si hanno valori di PDOP abbastanza bassi (mediamente tra 2.0 e 3.1). Le precisioni, in queste situazioni particolarmente favorevoli, sono submetriche. Il post-processamento dei dati ha evidenziato uno scostamento medio dalla posizione cercata di 0.39 m.
Nelle aree montuose finora rilevate è stata rilevata la copertura GPRS in poco più della metà dei casi. I risultati ottenuti in montagna evidenziano valori di PDOP un po' più elevati (mediamente tra 2.6 e 5.5). In più della metà dei casi è stato possibile effettuare il posizionamento tramite GPS, anche in zone boschive con elevato grado di copertura arborea. In queste zone, caratterizzate dai valori di PDOP più elevati, si è verificato che il GPS richiede un tempo superiore per raccogliere dati di qualità sufficiente (un incremento di circa il 50% del tempo impostato) e la precisione degrada fino a circa 5 m. Lo scostamento medio delle posizioni post-processate dalla posizione voluta è pari a 1.80 m. Negli altri casi è stato necessario ricorrere all'intersezione topografica classica effettuata con il distanziometro o con rotella metrica e bussola.

**Conclusioni**

Il progetto di ricerca "SOILQUALIMON", avviato da ERSAF su incarico della Regione Lombardia, ha il compito di allestire in Lombardia un sistema permanente finalizzato al monitoraggio della qualità dei suoli. In collaborazione con il Politecnico di Milano sono state definite le specifiche degli standard di lavoro per l'identificazione delle aree di monitoraggio in ambiti geografici differenti. Per individuare queste aree, anche in zone boschive, si è rivelato vantaggioso l'uso di GPS associato a strumentazione classica a basso costo, che consentono di raggiungere le caratteristiche di precisione e ripetibilità necessarie all'identificazione dell'area di monitoraggio in tempi successivi. È stato effettuato il rilevamento di punti in differenti zone di campionamento. Nell'ambito del rilievo, inoltre, sono state affrontate le problematiche specifiche riguardanti il posizionamento e il tracciamento di punti di coordinate note.

**Bibliografia**

[1]A. Leick, GPS Satellite Surveying, 3 ed., Wiley, 2004.
[2]A. Cina, Trattamento delle misure topografiche, ed. Celid, Torino, 2002.
[3]A. Cina, GPS: principi, modalità e tecniche di rilevamento, ed. Celid, Torino, 2000.
[4]The Lucas survey - European statisticians monitor territory – European Communities 2003
[5]Jolivet C., Boulonne L., Ratié C. - Manuel du Mesures de la Qualité des Sols - 2006 - Unité InfoSol, INRA, Orleans, France.
[6]ANPA – CTN_SSC. Censimento delle reti di monitoraggio sul suolo in Europa. RTI CTN_SSC 2/2000.
[7]APAT - CTN_TES. Elementi di progettazione della rete nazionale di monitoraggio del suolo a fini ambientali. Versione aggiornata sulla base delle indicazioni contenute nella strategia tematica del suolo dell'Unione Europea. CTN_TES 2003 – TES-T-MAN-03-02.
[8]Verso una strategia tematica per la protezione del suolo - Commissione delle Comunità Europee 2002, COM(2002) 179 definitivo.
[9]Strategia tematica per la protezione del suolo - Commissione delle Comunità Europee 2006, COM(2006) 231 definitivo.
[10] Proposta di direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per la protezione del suolo e modifica la direttiva 2004/35/CE - Commissione delle Comunità Europee 2006, COM(2006) 232 definitivo.

*Partner del progetto SOILQUALIMON sono il laboratorio di analisi MAC - Minoprio Analisi e Certificazioni S.r.l. con sede a Vertemate con Minoprio (CO) e il centro di ricerca europeo Joint Research Centre - European Soil Bureau con sede a Ispra (VA).*

# COSTRUZIONE DI UNA BASE DI CONOSCENZA CONDIVISA A SUPPORTO DELLA PROGRAMMAZIONE E PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO REGIONALE

Carlotta CELLA (*), Stefania CROTTA (**), Luigi GARRETTI (***)

(*) Politecnico di Torino - stagista presso Regione Piemonte, c.so Bolzano 44 - 10121 Torino, c_cella@libero.it
(**) Regione Piemonte, c.so Bolzano 44 - 10121 Torino, 011.4325389, stefania.crotta@regione.piemonte.it
(***) Regione Piemonte, c.so Bolzano 44 - 10128 Torino, 011.4324130, luigi.garretti@regione.piemonte.it

**Riassunto**

Il nuovo Disegno di Legge n°488, presentato il 13 Novembre 2007, "Legge della pianificazione per il governo del territorio", ha comportato per la Regione Piemonte la necessità di avere un sistema informativo geografico regionale, idoneo a consentire la conoscenza, sistematicamente aggiornata, del territorio e degli strumenti di pianificazione.

Proseguendo nel, già avviato, processo di informatizzazione delle informazioni geografiche, la Regione Piemonte, anche in un ottica europea, condividendo la direttiva INSPIRE, si sta muovendo per realizzare un Sistema Informativo Geografico regionale. La Regione sarebbe così in grado di coordinare i flussi di dati provenienti dai diversi livelli amministrativi presenti sul territorio piemontese.

Dal punto di vista cartografico, forte di un'esperienza pilota portata avanti da alcune aggregazioni della collina torinese, la Regione Piemonte ha promosso un bando per la realizzazione di un *Data Base* topografico, alle scale 1:2.000 e 1:5.000 con specifiche di IntesaGIS, a cui hanno partecipato alcune aggregazioni di Comuni presenti sul territorio regionale. La realizzazione di questo DB topografico alla grande scala, consentirà, in un ottica di integrazione, di predisporre una infrastruttura di dati geografici basata su una conoscenza condivisa dai diversi Enti della Pubblica Amministrazione piemontese.

**Abstract**

*The new DDL488, drawed up the 13th November 2007, "Planning law of territory government", has established for Regione Piemonte the necessity to have a regional geographical information system, adapt to arrange the knowledge, constantly update, of territory and of planning tools.*

*Growing up with the, already started, informatization process of geographic information, the Regione Piemonte, adopting the INSPIRE directive, it is moving to realize a regional geographical information system. In this way, the Regione Piemonte will be able to coordinate data flow coming from different administrative levels.*

*From the geographic point of view, thanks to the pilot experience of the Torino's hill, the Regione Piemonte had promoted a proclamation about the realization of a Topographic Data Base, at the stairs 1:2.000 and 1:5.000 and with IntesaGIS specific direction. The participation at this proclamation was shared by some group of municipalities being in the regional land. The realization of this topographic DB at the great scale, will be able to draw up in advance an infrastructure of geographical data, based on a knowledge shared between the members of the public administration of the Regione Piemonte.*

**Introduzione**

Il 15 maggio 2007 è entrata in vigore la Direttiva 2007/2/EC nota con il nome di INSPIRE che istituisce l'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale (IIT) dell'Unione Europea. Secondo la Direttiva, l'IIT europea sarà costruita a partire dalle IIT nazionali che a loro volta dovranno coordinare e integrare quelle sub-nazionali attraverso l'utilizzo di *standard* per la produzione e integrazione di dati, metadati, e servizi per la catalogazione, la pubblicazione, la distribuzione e l'elaborazione di dati.

Per realizzare le politiche europee è necessario un forte grado di integrazione ed una base di conoscenza adeguata tenendo altresì conto delle diversità regionali e locali. Per soddisfare tali principi, è necessaria una base informativa ampia, distribuita e qualificata.

Per il principio di *sussidiarietà* la tendenza è quella di far agire direttamente i Comuni, ovvero gli enti più vicini al cittadino, fin dove le loro competenze si dimostrino essere sufficienti agli obiettivi prefissati. La nuova legge urbanistica regionale piemontese (DDL 488/07 – Legge della Pianificazione per il Governo del Territorio) contiene già al suo interno alcuni articoli che coinvolgono la Regione nel sussidio agli enti amministrativi sottostanti anche per quanto riguarda la conoscenza e il sistema informativo del territorio. La nuova legge regionale prevede la costituzione di utili strutture tecnico-operative a sostegno del processo e dell'attività di pianificazione del territorio (con particolare riguardo a livello locale). I numerosi Comuni piemontesi che hanno una popolazione inferiore ai 10.000 abitanti, infatti, non dispongono di adeguate risorse da dedicare alla realizzazione di supporti cartografici integrati, che sono, tuttavia, indispensabili in un'ottica di decentramento di alcune funzioni amministrative, come quella dell'imposizione fiscale locale o delle funzioni catastali.

Infine, la realizzazione di una base cartografica comune, integrata e compatibile ai diversi livelli, è necessaria al fine di ottimizzare e rendere più economiche le operazioni di realizzazione ed aggiornamento, permettendone l'utilizzo ai diversi livelli amministrativi e migliorando il flusso informativo fra i soggetti che operano sul medesimo territorio, sia pubblici sia privati.

**Realizzazione di un DB-Topografico da parte della Regione Piemonte**

Il Progetto della realizzazione di un DB Topografico è nato come seguito di un primo Progetto Pilota, del 2004, che ha avuto come soggetti i Comuni della Collina Torinese.

Il nuovo Progetto, dal titolo "Predisposizione del DB topografico alle scale 1:2.000 e 1:5.000 con specifiche INTESA GIS", ha l'obiettivo di realizzare in modo capillare per i Piccoli Comuni del Piemonte basi cartografiche fotogrammetriche informatizzate a grande scala, tecnologicamente aggiornate e conformi alle specifiche tecniche emanate nell'ambito dell'Accordo Nazionale sul Sistema Cartografico di Riferimento.

Il Progetto è iniziato con l'attivazione di un Bando finanziato dalla Fondazione CRT, a cui hanno aderito alcune Unioni di Comuni del territorio piemontese, che si sono impegnate a realizzare:

- un DB topografico alla scala 1:2.000 per il territorio urbanizzato e per particolari porzioni del territorio extra-urbano (es. zone di espansione del PRGC) attraverso la restituzione fotogrammetrica numerica diretta;
- un DB topografico alla scala 1:5.000 per la restante parte del territorio di competenza mediante adeguamento e relativo aggiornamento alla CTRN.

Le specifiche di contenuto sono da considerarsi tutte quelle definite obbligatorie nel documento IntesaGIS – "Specifiche per la realizzazione dei DB topografici di interesse generale – Specifiche di Contenuto – Il catalogo degli oggetti – Documenti In1007_1 e In1007_2; In1007_3".

Il progetto di formazione cartografica prevede le seguenti fasi di lavoro:

- ripresa aerea
- raffittamento della rete geodetica
- appoggio
- triangolazione
- formazione DB 1/2000 urbano

- formazione DB 1/5000 extraurbano
- congruenza DB topografico/catasto

Non è prevista la realizzazione del *DTM*, che pur essendo richiesto, dovrà essere elaborato a posteriori dai dati altimetrici acquisiti. La morfologia deve essere restituita con le tradizionali curve di livello. Si fa notare, tuttavia, la richiesta di contenuto tridimensionale del DB topografico.

I Comuni che hanno aderito al Bando sono i seguenti:

- Cc Colline tra Langa e Monferrato
- Cm Valle di Mosso
- Unione Dei Comuni Della Baraggia Vercellese
- Cc Alto Astigiano
- Cc Intorno al Lago
- Cm Alta Valle Elvo
- Cc Colline di Langa e del Barolo
- Cc Unione Collinare del Monferrato
- Cc Unione di Comuni Sei in Langa
- Cm Alto Canavese
- Cc Aree Pregiate del Nebbiolo e del Porcino
- Cc Colli Tortonesi
- Cm Valle Sessera

A queste aggregazioni è stato inviato un questionario relativo ad informazioni di tipo cartografico e informativo territoriale, che permetta alla Regione Piemonte di capire il loro grado di conoscenza dei sistemi informativi regionali e il loro livello di informatizzazione cartografica e se l'uso che se ne fa è a livello interno o rivolto ad una diffusione pubblica.
Il questionario è stato strutturato in sette parti:
- **dati del soggetto titolare della cartografia**: la denominazione dell'Ente, l'ufficio interessato e quali sono i Comuni che vi appartengono;
- **dati relativi al Bando della Fondazione CRT**: l'anno di adesione, se hanno già partecipato al progetto prototipo precedente e sede legale dell'Ente;
- **dati relativi alla cartografia tecnica**: le informazioni relative alla cartografia tecnica posseduta dall'Ente richieste sono il formato, la tipologia di derivazione, la scala, la data dell'ultimo aggiornamento, il sistema di riferimento su cui è basata, il capitolato di riferimento, la ditta esecutrice, la data di collaudo e l'accessibilità del prodotto;
- **dati relativi al volo di ripresa aerofotogrammetria utilizzato per la produzione della cartografia tecnica:** i dati richiesti sono l'anno del volo, il sistema di riferimento, la scala dei fotogrammi, la quota media del volo, se la ripresa è stata realizzata a colori o meno, la data del collaudo, il capitolato di riferimento, la ditta che ha realizzato il volo, la copertura territoriale interessata dal volo, se esistono o meno dei voli più recenti a quello utilizzato per la produzione della cartografia tecnica ed, infine, se la cartografia tecnica si basa anche su ortofoto;
- **dati relativi alla cartografia catastale:** il formato, il tipo di acquisizione, la scala, la data dell'ultimo aggiornamento, il sistema di riferimento utilizzato;
- **informazioni generali sul sistema informativo dell'ente**: i dati richiesti riguardano lo stato del SIT, la condivisione o meno del SIT con altri Enti, i tipi di software utilizzati, il tipo di memorizzazione dei file, le aree tematiche gestite, se esiste o meno un servizio di stradario informatizzato o se vi sono altri servizi offerti;
- **dati relativi al livello i informatizzazione del piano regolatore generale comunale**: sono stati richiesti il formato, la scala, la data di approvazione dell'ultimo PRGC, la data di approvazione dell'ultima variante strutturale, la struttura delle informazioni nel PRGC ed informazioni sulla cartografia utilizzata per la produzione del PRGC.

*Figura 1 - Immagine dei Comuni aderenti al progetto*

**Conclusioni**

Il fine ultimo è quello di riuscire a realizzare un DataBase Topografico alla grande scala, per la predisposizione di un progetto territoriale condiviso che, attraverso un processo di generalizzazione, si possa tradurre in una cartografia Regionale alla scala 1:10.000.

Al momento la Regione è ancora in attesa di avere a disposizione tutte le risposte ai questionari inviati, in modo da poter poi coordinare l'attività di monitoraggio e sostegno ai Comuni, così come previsto dalla legge.

**Riferimenti bibliografici**

Sito istituzionale della Regione Piemonte, www.regione.piemonte.it;
Regione Piemonte, "SITAD-Sistema Informativo Territoriale Diffuso", http://www.sistemapiemonte.it/serviziositad/index.shtml;
Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione, www.cnipa.gov.it/site/it-IT;
Intesa Stato-Regioni-Enti Locali per la realizzazione dei sistemi informativi geografici, www.intesagis.it
IntesaGIS – Comitato Tecnico di Coordinamento (2007), Specifiche per la realizzazione dei Data Base Topografici di Interesse Generale, IntesaGIS

# IMPIEGO DI AEREI ULTRALEGGERI E CAMERE DI MEDIO FORMATO PER LA FOTOGRAMMETRIA AEREA A GRANDE SCALA

Filiberto CHIABRANDO, Mauro Luca DE BERNARDI, Marco ROGGERO

DINSE, Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, Torino
(filiberto.chiabrando; mauroluca.debernardi; marco.roggero)@polito.it

**Riassunto esteso**

Nella fotogrammetria a grande e grandissima scala l'acquisizione dei dati primari, immagini metriche e parametri di orientamento, può essere convenientemente effettuata anche con mezzi di basso o medio costo alla portata di piccole aziende. Tale possibilità è dovuta particolarmente all'attuale disponibilità di piattaforme aeree a basso costo, con o senza pilota, largamente sperimentate in questi ultimi anni nel campo del rilievo dell'archeologia e del monitoraggio delle emergenze ambientali. Le applicazioni realizzate per mezzo di aeromodelli o droni autopilotati, aerostati frenati o aquiloni sono le più frequenti per la produzione di cartografia a grande scala, ma abbiamo voluto valutare l'impiego di aerei ultraleggeri, piuttosto diffuso all'estero ed in particolare negli USA, che si è rivelato particolarmente conveniente in un vasto campo di intervento. Anche l'attuale disponibilità sul mercato di camere digitali di medio formato a costi relativamente bassi ha dato un impulso a questa attività di ricerca, che è consistita nella valutazione degli aspetti tecnici, logistici e normativi peculiari di questo tipo di applicazione, per poi passare all'esame delle problematiche più strettamente fotogrammetriche e fotografiche. Infine sono state effettuate alcune prove in volo, e realizzata un'applicazione alla produzione di cartografia per un piccolo centro alla scala di restituzione 1:500.

Le caratteristiche della camera hanno fortemente indirizzato le nostre scelte in fase di progetto delle prese e del piano di volo, e devono essere attentamente valutate prima di poter pianificare delle prove in volo. La camera utilizzata è la Canon EOS 1Ds Mark II, da pochi mesi proprietà del CESMO - Centro Servizi di Mondovì. Il sensore CMOS misura 36 mm di base e 24 mm di altezza, ed è formato da 16.7 MegaPixel, con risoluzione massima di 2450 linee a f/4, pari a 2 pixel per linea. Si tratta di una risoluzione molto elevata, ma ovviamente può essere raggiunta esclusivamente con ottiche di altissima qualità. Abbiamo valutato le prestazioni del sensore in combinazione con un assortimento di ottiche Canon, di lunghezza focale compresa tra i 14 e i 50 mm. L'ottica provata in volo è stata calibrata con il programma Calibra 2.0.1, dell'Ing Davide Marenchino sul poligono di calibrazione del laboratorio di fotogrammetria del DITAG. Per la valutazione della nitidezza ci siamo invece basati su misure eseguite presso il Centro Studi Progresso Fotografico.

La piattaforma di volo utilizzata è un ultraleggero QuickSilver con struttura in tubi e tela, che consente di operare a quote comprese tra i 50 e i 300 m ad una velocità compresa tra i 70 e i 100 km/h. Le prestazioni di volo e i relativi costi indicano un impiego ottimale ed estremamente conveniente per la produzione di cartografia alle scale comprese tra 1:200 e 1:2000.

**Bibliografia**

W.S. Warner, (1995) *Small Format Aerial Photography*, ISBN 1-57083-034-7, Whittles Publishing.

# SPERIMENTAZIONI SULL'UTILIZZO DI UAV PER IL RILIEVO DELLE EMERGENZE ARCHEOLOGICHE

Filiberto CHIABRANDO, Dario PIATTI, Fulvio RINAUDO

Politecnico di Torino - DITAG - Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

**Riassunto**

Di sempre maggiore interesse per le discipline del rilevamento sono i velivoli radiocomandati senza equipaggio o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), capaci di sorvolare ampie porzioni di territorio ed acquisire immagini nadirali utili alla documentazione ed al rilievo archeologico ed architettonico.
Tali sistemi di acquisizione associati alle tecniche di fotogrammetria digitale consentono di ottenere elaborati grafici e cartografici con le precisioni tipiche del rilievo a grandissima scala. L'esperienza eseguita dal gruppo di ricerca del DITAG del Politecnico di Torino è stata realizzata su un'evidenza archeologica venuta alla luce durante i restauri dei giardini della Reggia di Venaria Reale (Torino): la Fontana d'Ercole. L'elicottero radiocomandato utilizzato per il rilievo della fontana è dotato di una camera digitale amatoriale collegata ad una stazione di controllo a terra che permette di valutare la porzione di territorio ripresa e di eseguire l'acquisizione delle immagini. Sulla zona oggetto di studio sono state progettate più acquisizioni per il rilievo dell'intera struttura e di alcuni particolari. Le elaborazioni eseguite hanno riguardato la triangolazione aerea di alcune delle immagini acquisite, la creazione semi-automatica di modelli digitali del terreno, la produzione di ortofoto a grandissima scala e la restituzione fotogrammetrica.
Tali prodotti sono stati confrontati con un rilievo eseguito con metodi topografici tradizionali al fine di valutare le effettive precisioni ottenibili da tale sistema.
In questo articolo vengono presentati i primi risultati ottenuti: le elaborazioni grafiche e cartografiche, i problemi connessi all'acquisizione dei dati, quelli relativi alla realizzazione del modello digitale del terreno e i possibili elementi necessari al miglioramento dell'intero sistema di acquisizione.

**Abstract**

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have become more and more interesting for survey applications: they are able to fly over broad areas and to acquire nadiral images useful for documentation and archeological and architectural survey.
These acquisition systems combined with digital photogrammetric techniques allow to obtain graphical and cartographic elaborates which have the typical precisions of large scale surveys.
The research group of DITAG (Politecnico di Torino) tested one of these acquisition systems on an archeological site which came to light during the restoration of the gardens of "Reggia di Venaria Reale" (Torino): the "Fontana d'Ercole". The remote-controlled helicopter employed for the survey of the fountain is equipped with a no-metric digital camera connected with a ground control station which allows to evaluate the shot scene and to acquire the images of interest. In the area of study many acquisitions for the survey of the entire structure and of some particulars were planned.
The realized data processing concerns the aerial triangulation of some of the acquired images, the semi-automatic generation of digital terrain models, the production of large scale orthophotos and the photogrammetric restitution.
These products were compared with a survey realized with traditional topographic techniques in order to evaluate the actual obtainable precisions with the system.

In this article the first results are presented: the graphical and cartographic data processing, the problems related to data acquisition, the problems concerning digital terrain model realization and possible elements necessary for the acquisition system improvement.

**Introduzione**

Per il rilievo metrico e la documentazione di un bene culturale a carattere architettonico e/o archeologico con metodologie convenzionali, è in genere necessario svolgere a terra un notevole lavoro, tanto che, anche a seconda delle dimensioni dell'oggetto da rilevare, la fase di rilievo può protrarsi anche per parecchi giorni. Da tale aspetto si evince che le operazioni di misura rappresentano uno degli elementi principali per un corretto approccio alla rappresentazione e di conseguenza un'importante voce di spesa per il committente.

Una delle possibili soluzioni per limitare le operazioni sul terreno è quella che prevede l'utilizzo di metodologie fotogrammetriche convenzionali e non convenzionali per il rilievo e la documentazione dei beni architettonici ed archeologici. Grazie a tale approccio è possibile, acquisite le immagini ed i punti necessari per la realizzazione del processo fotogrammetrico, produrre sia ortofoto a grandissima scala sia, grazie alle operazioni di restituzione fotogrammetrica, tradizionali rappresentazioni numeriche utilizzate nella documentazione dei beni culturali.

Un'applicazione di metodologie fotogrammetriche non convenzionali per il rilievo archeologico è presentata nel seguente lavoro. In particolare, grazie all'utilizzo di un sistema UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), ovvero un veicolo aereo senza equipaggio, sono state sperimentate le potenzialità di acquisizione ed i possibili prodotti realizzabili attraverso tale sistema.

Gli UAV, fino a pochi anni fa utilizzati nella maggior parte dei casi come aerei ad uso militare (Eisenbeiss et al., 2005), suscitano attualmente un notevole interesse nella comunità scientifica che si occupa delle discipline tipiche del campo della geomatica per la possibilità di acquisire immagini nadirali, le quali, appositamente elaborate grazie ai moderni sistemi di fotogrammetria digitale, consentono di realizzare prodotti utili al rilievo ed alla documentazione dei beni culturali.

**UAV utilizzato**

Per l'acquisizione delle immagini relative alla fontana D'Ercole nei giardini della Reggia di Venaria Reale (Torino) è stato utilizzato un elimodello amatoriale radiocomandato appositamente modificato per poter alloggiare nella parte sottostante una camera digitale amatoriale (figura 1).

Per l'acquisizione delle immagini, è stato progettato e realizzato un sistema ammortizzato a camera d'aria radiocomandato da terra capace di ruotare attorno a due assi: uno in direzione nadirale (rotazione k) e l'altro nella direzione perpendicolare a quella di volo (rotazione φ) (figura 2 sinistra).

*Figura 1 - Elimodello Voyager G8 RR utilizzato per le riprese*

La camera utilizzata è la NIKON Coolpix 8400, dotata di sensore CCD da 8 megapixel; non è stato possibile utilizzare camere differenti (calibrate e/o con una risoluzione maggiore) in quanto il supporto può essere utilizzato solamente con la camera suddetta e non è modificabile per l'utilizzo di altri sistemi di acquisizione.

Durante il volo, grazie al collegamento in remoto tra la camera ed uno schermo a terra (figura 2 destra), è possibile visualizzare la parte di territorio sorvolato; tale sistema, integrato con un altimetro, consente di valutare la quota di volo più idonea per l'acquisizione della porzione di territorio definita in fase di progetto.

*Figura 2 - Supporto per il posizionamento della camera (sinistra) e sistema di controllo a terra per l'acquisizione delle immagini (destra)*

Per quanto riguarda l'acquisizione delle immagini, lo "scatto" avviene da terra grazie ad un radiocomando che aziona un apposito servo-controllo.
Sulla zona oggetto del rilievo sono state acquisite diverse immagini per valutare le effettive potenzialità del sistema per la realizzazione di prodotti utili al rilievo ed alla documentazione archeologica, quali ortofoto a grandissima scala, modelli digitali del terreno e rappresentazioni vettoriali.

**Acquisizione ed elaborazione dei dati**
Il volo eseguito sull'area oggetto di studio ha consentito di acquisire diverse immagini, alcune utili alla sola documentazione fotografica del sito (immagini non nadirali), altre appositamente realizzate per l'esecuzione del processo fotogrammetrico (immagini nadirali). In particolare, per quanto riguarda le immagini nadirali, la quota relativa di volo per l'acquisizione è stata di circa 50 metri. Per una completa documentazione dell'oggetto di studio e per essere ragionevolmente certi di avere un numero sufficiente di immagini utilizzabili per il processo fotogrammetrico, in totale sono state acquisite venti immagini nadirali.
Per poter orientare correttamente le immagini acquisite e per avere un maggior controllo sui risultati ottenuti, prima del volo sono stati posizionati sull'oggetto ripreso quaranta *marker*. In figura 3 si riporta un fotografia relativa a due dei *marker* posizionati sull'oggetto di rilievo. Per una corretta referenziazione nel sistema di coordinate locale costituito da punti di inquadramento già esistenti, la posizione dei *marker* è stata misurata con l'utilizzo di una stazione totale.
I parametri di calibrazione della camera sono stati stimati direttamente durante il processo di triangolazione aerea grazie all'utilizzo del software *Leica Photogrammetric Suite* (LPS) utilizzato per l'intero processo fotogrammetrico.

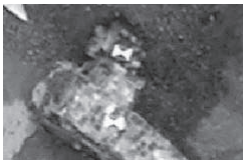


*Figura 3 Fotografia di due dei marker posizionati sull'oggetto di studio*

*Triangolazione aerea*
Per la fase di triangolazione sono state utilizzate cinque immagini con scala media pari a 1:200. Come esposto precedentemente, la fase di orientamento interno è stata eseguita direttamente all'interno del processo di triangolazione, grazie all'utilizzo di 29 *Ground Control Points* (GCP) ed 11 *Control Points* (CP). Inoltre, l'utilizzo di 77 *Tie Points* (TP), in parte collimati manualmente ed in parte generati automaticamente dal *software*, ha consentito di irrigidire ulteriormente il blocco fotogrammetrico e di ottenere dei risultati più che soddisfacenti al termine del processo di calcolo (tabella 1).

| | $\sigma_{x\ medio}$ [m] | $\sigma_{y\ medio}$ [m] | $\sigma_{z\ medio}$ [m] |
|---|---|---|---|
| GCP (29) | 0.014 | 0.011 | 0.022 |
| CP (11) | 0.016 | 0.016 | 0.025 |

*Tabella 1 - Risultati del processo di triangolazione aerea*

Le fasi successive di elaborazione hanno riguardato la realizzazione ed *editing* del modello digitale del terreno (DEM), la produzione di ortofoto a grandissima scala ed infine la restituzione fotogrammetrica e la relativa rappresentazione vettoriale del manufatto oggetto di studio.

*Realizzazione ed editing del DEM*
Per la realizzazione del modello digitale del terreno sono stati utilizzati i punti misurati sul terreno integrati con la generazione automatica realizzata attraverso algoritmi di *image-matching* (direttamente implementati nel *software Leica Photogrammetric Suite*). Tale integrazione consente di ottimizzare il processo di calcolo ed in parte di migliorare il risultato finale.
I primi risultati ottenuti al termine della generazione del DEM (figura 4), tuttavia, non possono essere direttamente utilizzati per la realizzazione dell'ortofotoproiezione, a causa dell'elevato rumore del dato in alcune parti della struttura associato ad errori grossolani nella creazione del modello. Alla luce dei risultati ottenuti è stata realizzata un'accurata verifica della qualità del modello e, di conseguenza, le opportune operazioni di *editing*. Quest'ultime consentono di correggere gli errori commessi dal *software* durante la generazione automatica del DEM e di ottenere un modello digitale utilizzabile sia per il processo di ortofotoproiezione sia per modellazioni tridimensionali dell'oggetto rilevato. Anche l'*editing* del modello digitale del terreno è stato realizzato mediante l'utilizzo del *software Leica Photogrammetric Suite*.

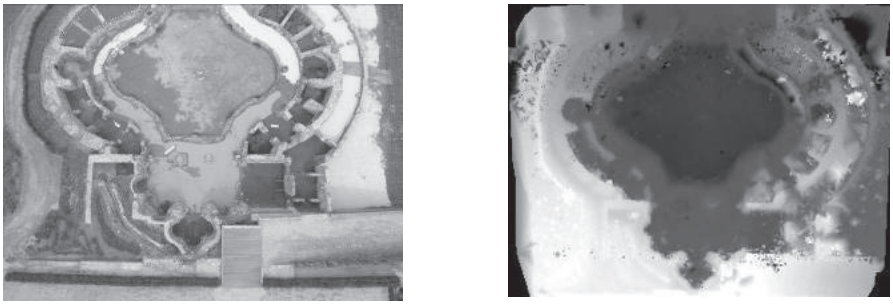


*Figura 4 - Una delle cinque immagini utilizzate per la generazione del DEM (sinistra) e primi risultati dell'estrazione automatica del DEM mediante LPS (destra)*

Dalle analisi eseguite gli errori commessi dagli algoritmi di autocorrelazione riguardano in particolare sia parti relative alle zone riprese con immagini non perfettamente nadirali sia parti che presentano discontinuità poco accentuate in quota. Tali problematiche, riscontrabili soprattutto nel

caso di evidenze archeologiche o elementi architettonici, possono essere in parte ridotte utilizzando per l'estrazione del DEM un maggior numero di punti posizionati in prossimità delle discontinuità.
Nel caso analizzato, dopo aver eseguito alcune prove inserendo alcune *breaklines* in corrispondenza delle discontinuità più "problematiche", si è passati all'*editing* del modello digitale mediante alcuni strumenti implementati nel *software* utilizzato. In figura 5 (sinistra) si riporta un'immagine del modello digitale ottenuto al termine delle operazioni di *editing*.

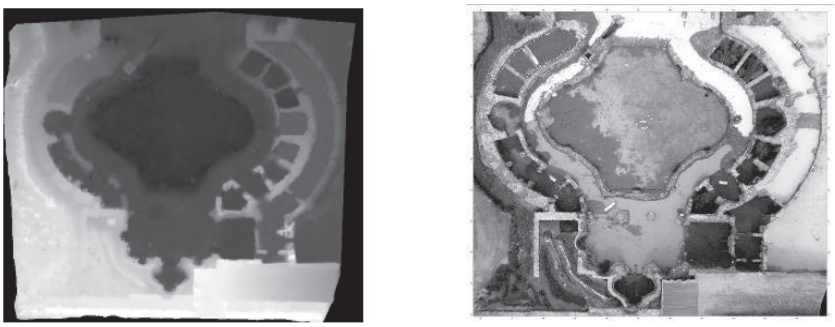


*Figura 5 - Modello digitale ottenuto al termine delle operazioni di editing (passo pari a 10 cm) (sinistra) e ortofoto della Fontana D'Ercole (destra)*

*Realizzazione dell'ortofoto*
Una volta ottenuto un modello digitale del terreno sufficientemente accurato, è stato possibile eseguire l'operazione di ortofotoproiezione. Dalle prime analisi eseguite su alcuni punti di coordinate note, il prodotto cartografico ottenuto dall'operazione di ortofotoproiezione rispetta le tolleranze tipiche di una rappresentazione in scala 1:100. L'ortofoto ottenuta è rappresentata in figura 5 (destra).
Si tratta di un prodotto di sicuro interesse per la documentazione e la rappresentazione archeologica in quanto l'ortofoto consente di associare informazioni metriche al contenuto radiometrico tipico delle immagini.

*Restituzione fotogrammetrica e rappresentazione vettoriale*
Oltre alla realizzazione dell'ortofoto dell'oggetto investigato è stata prodotta una rappresentazione numerica tradizionale (figura 6). Quest'ultima è stata realizzata mediante restituzione fotogrammetrica eseguita tramite il modulo PRO 600 implementato nel *software* LPS.
Tale operazione ha consentito inoltre di valutare le differenze rispetto ad uno stesso elaborato grafico eseguito attraverso un precedente rilievo con stazione totale.
Dai primi confronti è emerso che le due metodologie utilizzate per la redazione dei disegni (stazione totale e rilievo fotogrammetrico con UAV), sono in grado di fornire un prodotto con le stesse caratteristiche metriche; in entrambi i casi si sono riscontrate in fase di collaudo tolleranze tipiche per una

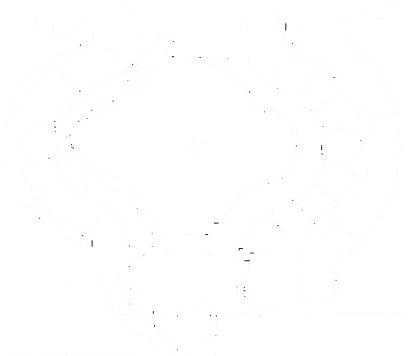


*Figura 6 - Primi risultati della restituzione fotogrammetrica*

rappresentazione in scala 1:100 (±4 cm). Alla luce delle precedenti considerazioni, per quel che riguarda la rappresentazione numerica dell'oggetto rilevato, si evince che le due metodologie seguite forniscono risultati equivalenti e quindi la scelta di una o dell'altra è funzione soprattutto dei tempi e costi di realizzazione delle misure e dell'accessibilità alla zona di interesse. Un vantaggio del metodo fotogrammetrico che è bene tener presente consiste nel fatto che, a differenza del rilievo celerimetrico, è possibile misurare le coordinate di tutti i punti presenti nelle immagini acquisite senza dover tornare in un secondo tempo sulla zona del rilievo.

**Conclusioni e sviluppi futuri**

Alla luce dell'esperienza condotta, è possibile affermare che per la realizzazione di un rilievo con l'utilizzo di UAV, senza considerare il breve tempo necessario per l'esecuzione del volo, i tempi necessari per l'acquisizione dei punti a terra da utilizzare come GCP sono sicuramente minori rispetto a quelli necessari per le operazioni di misura e redazione di eidotipi richiesti da un accurato rilievo celerimetrico. Inoltre, l'utilizzo del metodo fotogrammetrico consente di ottenere prodotti, quali ortofoto a grandissima scala e modelli digitali, non ottenibili con il solo rilievo celerimetrico. Tali prodotti consentono sicuramente una miglior lettura e documentazione dell'oggetto architettonico e/o archeologico rispetto agli elaborati ottenibili con il solo rilievo celerimetrico.

I risultati presentati confermano le notevoli potenzialità degli UAV per il rilievo, la rappresentazione e la documentazione archeologica. Per quanto riguarda l'elimodello utilizzato, durante la sperimentazione sono state riscontrate alcune problematiche, quali la ridotta flessibilità del sistema di supporto della camera (non è possibile utilizzare camere diverse da quella impiegata in questo lavoro) e l'assenza di sistemi di *autopilot* che consentirebbero di gestire al meglio la fase di volo pianificata in fase di progetto (Patias et al., 2007). Tali sistemi, già ampiamente sperimentati nell'ambito della comunità scientifica (Bendea et al., 2007), potrebbero consentire di pianificare tutte le fasi del volo, anche con la possibilità di memorizzare i dati relativi alla posizione del velivolo durante l'acquisizione delle immagini.

Per quanto riguarda il modello utilizzato, un'ottima scelta è stata la realizzazione di un supporto della camera in grado di ruotare attorno a due assi e quindi di acquisire immagini sia in direzione parallela sia in direzione perpendicolare a quella di volo. Di particolare utilità risulta essere anche il sistema per l'acquisizione delle immagini, gestito da terra mediante una stazione di controllo dotata di monitor per la visualizzazione dell'area ripresa della camera.

In conclusione, si può affermare che i miglioramenti sopra citati potrebbero aumentare la precisione dei risultati ottenibili in campo fotogrammetrico del UAV utilizzato, probabilmente però a discapito dell'obiettivo sempre più perseguito della realizzazione di sistemi a basso costo per il rilievo e la documentazione archeologica e architettonica.

**Riferimenti bibliografici**

- Bendea H., Chiabrando F., Giulio Tonolo F., Marenchino D., (2007), "Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV the A*ugusta Bagiennorum* test site", XXI International CIPA Symposium, 01-06 October 2007, Athens, Greece, pp. 117-122
- Eisenbeiss H., Lambers K., Sauerbier M., Li Z., (2005) "Photogrammetric Documentation of an Archaeological Site (Palpa, Peru) Using an Autonomous Model Helicopter", *CIPA XX International Symposium*, Torino, Italy, pp. 238-243
- Patias P., , Saatsoglou-Paliadeli Chr., Georgoula O., Pateraki M., Stamnas A., Kyriakou N.,(2007) "Photogrammetric documentation and digital representation of the Macedonian Palace in Vergina-Aegeae", XXI International CIPA Symposium, 01-06 October 2007, Athens, Greece, pp. 562-566

**Ringraziamenti**

Gli autori ringraziano l'Arch. Luca Debernardi per il supporto durante le fasi di acquisizione e trattamento dati, il Dott. Diego Farina per le acquisizioni con l'elimodello e l'F.T Studio di Peveragno per le misure topografiche per l'appoggio fotogrammetrico.

# SOLUZIONI SOA PER LA DIFFUSIONE DELL'INFORMAZIONE STATISTICA ATTRAVERSO APPLICATIVI WEB-GIS: L'ESPERIENZA DELLA REGIONE SARDEGNA

Aldo CHIECCHIA (*), Luca DEVOLA (*), Sergio LODDO (*), Antonio PASCALIS (**), Mauro PILI (***)

(*) Osservatorio Economico, via Cino da Pistoia 20, Cagliari, tel 070482566, fax 0704560204, sardegnastatistiche@regione.sardegna.it)
(**) Sardegna IT Srl, Via Posada snc, 09126 Cagliari, tel 0706069015, fax 0706069016, apascalis@sardegnait.it
(***) Scelta snc, Viale S.Avendrace 272, Cagliari, tel 0702521125, fax 070255339, mauro@scelta.com

**Riassunto**
Il principale aspetto di questo lavoro è la cooperazione tra soggetti diversi per la realizzazione di un'applicazione WEB-GIS progettata per la diffusione di dati e indicatori statistici. L'articolo descrive brevemente la soluzione *Service Oriented Architecture* (SOA) adottata che, attraverso una opportuna progettazione del *Model View Controller* (MVC), ha consentito all'Osservatorio Economico della Sardegna, al servizio informativo e cartografico regionale dell'Assessorato degli Enti Locali e alla società *in-house* Sardegna IT di fornire le proprie specifiche competenze secondo i propri ruoli, mantenendo il controllo dei domini di proprietà differenti, il tutto a beneficio dell'indipendenza e delle responsabilità dei propri servizi.

***Abstract***
*The main aspect of this project is the cooperation between different organisations aiming at the deployment of a WEB-GIS application, designed to publish statistics and indicators. The paper briefly describes the Service Oriented Architecture* (SOA) *solution, which has been adopted. Through a suitable design of the Model View Controller* (*MVC), this SOA solution allowed three *main organisations - the Osservatorio Economico della Sardegna, the Servizio informativo e cartografico regionale dell'Assessorato degli Enti Locali and Sardegna IT - to provide their specific expertises under the control of different property domains, so that each organisation is responsible only for their own service.*

**Esigenza e soluzione individuata**
Per favorire la divulgazione dell'informazione statistica la Regione Autonoma della Sardegna (RAS) ha affidato all'Osservatorio Economico il compito di gestire e popolare il sito istituzionale www.sardegnastatistiche.it.
A tale scopo è stato implementato un sistema di consultazione dinamica su web denominato "Consulta le statistiche", che, utilizzando soluzioni *Open Source*, mette a disposizione dati ed indicatori aggregati per argomento e temi, per area geografica e per annualità, in formato tabellare, grafico e cartografico.
Il sistema è stato realizzato sotto i vincoli imposti dal CMS (Content Management System) del portale della RAS per la pubblicazione su Internet e dall'utilizzo della cartografia e dei navigatori geografici del SITR (Sistema Informativo Territoriale Regionale) per le funzionalità WEB-GIS.
Si è reso pertanto necessario individuare una soluzione tecnologica che consenta l'interazione di sistemi realizzati in domini di proprietà differenti e che si integri con il CMS della RAS.
In questo modo l'applicativo WEB-GIS eroga indicatori statistici su base geografica mantenendo le basi informative nei rispettivi sistemi di produzione in modalità controllata.
Al fine di garantire l'effettiva indipendenza dei sistemi proprietari, l'Osservatorio Economico pubblica un servizio interrogabile in modalità dinamica e che restituisce informazione in formato XML. E' stato quindi disaccoppiato il *presentation layer* dalla logica delle classi business che

utilizzano le metodologie statistiche. Il problema statistico è stato modellato all'interno di uno schema XML standard che viene letto e trasformato in pagine web dal CMS RAS.

*Requisiti di integrazione*
Il SITR deve rilasciare nel CMS dei servizi in stile *webservice* per la generazione di cartografia di base. In particolare l'esigenza di Consulta le Statistiche per la parte cartografica può essere così riassunta:

- produrre mappe coropletiche;
- utilizzare i dati geografici del DB SITR;
- mantenere i dati statistici dove vengono prodotti ed elaborati.

**Attori e sistemi coinvolti**
Di seguito sono descritti i sistemi coinvolti con i rispettivi attori.

Consulta le statistiche (Osservatorio Economico)
Primo prodotto del più ampio progetto SIStaR[1], Consulta le statistiche consente di accedere alle informazioni attraverso una navigazione semplice e veloce adatta a diverse tipologie di utenza. Il sistema è stato realizzato secondo gli standard grafici, tecnologici e di usabilità adottati dalla Regione Sardegna nel proprio portale Internet e nel rispetto delle linee guida relative all'accessibilità dei siti *Web*.
La parte "non visibile" del sistema riguardante il processo di acquisizione delle fonti, la loro integrazione e il trattamento per la produzione in qualità di statistiche affidabili e funzionali alle politiche regionali, rappresenta la parte più innovativa del progetto.
La struttura tematica del sistema è stata definita, con la collaborazione dell'ISTAT regionale, a partire dagli standard ufficiali di classificazione dando vita ad un modello di rappresentazione dei fenomeni che pone la Sardegna come centro di osservazione.
Le variabili e gli indicatori contenuti nel sistema provengono da fonti diverse e sono corredate oltre che da informazioni di dettaglio sulla loro costruzione e reperibilità (repertorio dei metadati), anche da un glossario che ne facilita la comprensione. Sono state inoltre utilizzate informazioni dell'Amministrazione regionale quali, ad esempio, gli indicatori sulla fiscalità che provengono dal Sistema Cent - Cruscotto delle Entrate Tributarie, messo a disposizione dall'Agenzia per le Entrate della Regione Sardegna nell'ambito di uno specifico protocollo. Infine dati e indicatori sono classificati secondo un albero tematico articolato per argomenti e temi.

CMS (Sardegna IT)
Lo strumento di gestione del Portale *Web* è il *Content Management System* che oltre a definire l'organizzazione dei siti, implementa il *back office* del sistema portale. Attraverso tale strumento è possibile aggiornare ed evolvere la strutturazione del sito *Web*. Infatti mentre da un *browser* un utente che naviga sul Portale *Web* accede al sistema in sola lettura, l'utente abilitato all'area protetta del CMS accede al sistema di lettura/scrittura. Questo paradigma, tipico di numerosi sistemi di *content management*, consente un controllo molto veloce e potente del sito *Web*, a tutti gli effetti definibile una *Web Application*. Il sistema CMS, secondo il modello MVC, è il componente dell'architettura che fa da tramite tra la *VIEW* e la componente dati del sistema, svolgendo il ruolo di *controller*.
La funzione principale del CMS è quella di gestire la logica applicativa fornendo un'interfaccia agli amministratori e operatori delle redazioni, integrando le informazioni ottenute da diverse fonti e applicazioni esterne nella pubblicazione dei portali. E' stato sviluppato un *layer* di comunicazione che permette di rimappare, mediante regole, raggruppamenti, filtri e funzioni di conversione, condividendo l'archivio dei metadati e specificando il posizionamento dei servizi esterni con flussi informativi verso il CMS stesso. Questa comunicazione avviene attraverso flussi informativi in XML.

[1] SIStaR (Sistema Informativo Statistico Regionale: è un progetto che l'Osservatorio Economico sta sviluppando per dotare l'Amministrazione di un insieme coerente di metodi, processi, interfacce e memorie in grado di produrre, con modalità controllate e monitorate, informazioni statistiche in qualità, funzionali alle politiche regionali e alla diffusione della conoscenza statistica.

SITR (Assessorato agli Enti Locali)
Il SITR definito anche IDT (Infrastruttura di Dati Territoriali) della Regione Sardegna è costituito da un insieme di componenti di rete, da apparecchiature hardware, dal software sia di base e sia applicativo. Il SITR è uno dei primi sistemi in Italia progettato secondo i più attuali principi di interoperabilità applicativa ampiamente promossi ed attuati dal Ministero della Innovazione e delle Tecnologie, secondo standard internazionali riconosciuti dalla Commissione europea, e realizzato sotto gli auspici e i riferimenti strategici e tecnici della Direttiva INSPIRE ("*INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe*"), in approvazione presso il Parlamento europeo. Il SITR realizza un ambiente nel quale gli attori possono cooperare tra loro e interagire con la tecnologia al fine di consentire:

- agli enti di operare su dati condivisi e comuni, mantenendo la propria autonomia e di interfacciarsi tra loro e con altri enti sino al livello di singolo ufficio;
- ai cittadini di usufruire di informazioni e servizi in modo semplice e diretto;
- alle imprese di utilizzare i dati per scopi specifici.

La struttura centrale del SITR è allocata nella Direzione della Pianificazione Territoriale. Esso interessa in maniera distribuita tutti gli enti regionali poiché i Sistemi Informativi Terrritoriali che nei vari uffici vengono implementati devono poter colloquiare fra di loro e attingere alla stessa banca dati.
I servizi delle interfacce applicative sono realizzati sulla base delle specifiche OGC (*OpenGeospatial Consortium*), attualmente *Draft International Standard* (DIS) ISO19128 (*OpenGis Reference Model*), e quindi mediante l'utilizzo di WMS e WFS che sono consultabili mediante il linguaggio *Geography Markup Language* (GML).
Le informazioni geografiche del SITR sono documentate in conformità con lo standard ISO19115 e le specifiche CNIPA in merito alla documentazione dei dati geografici.
La porta di dominio del SITR è stata realizzata utilizzando OpenPDD che consente di interagire con gli altri enti mediante la busta e-gov definita dal CNIPA.
L'architettura generale del SITR è stata progettata in conformità alle direttive di INSPIRE con l'obiettivo di rendere disponibili informazioni geografiche pertinenti, armonizzate e di qualità per la formulazione, l'attuazione, il monitoraggio e la valutazione della politica comunitaria europea.

**Metodologia utilizzata: Agile e XP programming (per prototipazioni successive)**

*Esigenze che deve soddisfare il sistema*
- Deve dialogare con il CMS della RAS per poter utilizzare il suo *presentation layer*.
- Deve dialogare con il SITR per utilizzare le funzionalità GIS da esporre attraverso il CMS RAS sul *Web*.

*Soluzione prospettata*
Completo disaccoppiamento del *presentation layer* rispetto ai dati e alla logica di utilizzo degli stessi impiegando flussi XML per interagire con il CMS RAS e flussi SLD per interagire con la piattaforma gis del SITR .

**Modello architetturale**
Il sistema è costituito da una struttura *Web* a tre-livelli che mette a disposizione i dati statistici contenuti in un database dell'Osservatorio Economico. L'utente può usufruire delle informazioni esportate accedendo da remoto con terminale e un *browser*.
Esso integra un middleware XML (*xml-engine*) che permette di erogare informazione in formato XML, che può essere utilizzata/trasformata via XSLT da altri sistemi che lo interrogano, e un flusso SLD con *geoserver* del SITR per la generazione di cartografia. Resta quindi separata la metodologia statistica dalla visualizzazione dei dati territoriali. Il sistema inoltre viene interrogato attraverso il CMS utilizzando una interfaccia *Web* con navigazione in stile *warehouse*, attraverso la scelta dei valori delle diverse dimensioni disponibili quali ad esempio le dimensioni temporali e spaziali.

**Vista di Implementazione**
Le tecnologie e i pattern utilizzati per la progettazione e lo sviluppo del sistema sono le seguenti:

- *Framework* di sviluppo *Symfony*
- *Eclipse*

- *Subversion*
- PHP5
- Database *Mysql*
- *Propel*
- *Design pattern* MVC
- AJAX
- *Web server Apache*
- *Server linux*

**Sviluppo software**
L'applicazione è basata su tecnologia PHP e vari componenti standard per i servizi di base. L'infrastruttura di funzionamento dell'applicazione è costituita dall'*application server/Web container*: *Symfony* 1.0.7[2];

**Accesso al database**
Per le funzionalità di accesso al database l'applicazione fa uso di API messe a disposizione dal *frame work Propel*[3]. Il *frame work Propel* è basato sulle librerie *Creole*, che si utilizza anche per la gestione del *pool* delle connessioni. Relativamente all'architettura *software* il sistema si presenta suddiviso in diverse *application* secondo il seguente schema:

- **Application Consulta**: Applica XSL e pubblica i contenuti "trasformati" www, csv etc.
- **Application XmlEngine**: *Middleware* d'astrazione tra la memoria "fisica" e il *presentation layer*.
- **Application ApqBackend**: Permette la gestione back office delle informazioni del sistema.

**Interazione tra le applicazioni**
*L'application Consulta*, attraverso uno specifico modulo di *business class*, riceve la *request url* iniziale (generata dal CMS RAS), ottenendo come parametri il nodo dell'informazione che si vuole esplorare. Esamina la tipologia di nodo (lista argomenti, lista temi o lista indicatori) e, avendo appreso ciò che deve rappresentare, chiama l'*application XmlEngine*.
Quest'ultima interroga lo strato di *memory layer* attraverso *l'object-relational Mapping Propel* (ORM) che permette di accedere al database utilizzando le sue API.
Le informazioni recuperate si rappresentano utilizzando il modulo *XmlHelper* che chiama i metodi crea_menusinistra(nodo_id) e crea_contenuto(nodo_id, pagina) e genera il flusso XML puro.
Se viene passato anche il parametro D=0 il sistema restituisce il flusso XML puro, altrimenti vengono applicati i fogli di trasformazione XSLT per generare la pagina web "decorata" con la visualizzazione di un menu laterale aggiornato e del contenuto della pagina con lista degli argomenti, o dei temi o degli indicatori. Se ad esempio dalla lista degli indicatori l'utente ne sceglie uno specifico, *l'application Consulta*, attraverso il modulo dati, riceve la *request url* e invoca la *action executeRisultatiXML* con parametri nodo, indicatore, tipo_territorio, anno, attributo, output, serie storica. Se non si dispone del territorio, anno, attributo, il modulo dati recupera l'ultimo anno disponibile, il territorio minimo e l'attributo di *default*. A questo punto l'*application Consulta*, partendo dall'informazione identificativa dell'indicatore prescelto, richiede i servizi dell'*XmlEngine* che utilizza le API *Propel* per ottenere i risultati:

- chiama xmlhelper->crea_menusinistra(nodo)
- chiama xmlhelper->crea_risultati(nodo, indicatore,…, valori *Propel*)
- chiama xmlpager se serve che i risultati siano paginati

In questo modo si ottiene l'XML puro che rappresenta i dati interrogati con i confronti di default e presenta l'output in base alla richiesta utente:

- tabella, allora chiama foglio di trasformazione XSL tabella
- grafico, allora chiama foglio di trasformazione XSL grafici e chiama la callback del modulo "grafici"
- cartografia, allora chiama foglio di trasformazione XSL cartografia e invoca il servizio remoto SITR

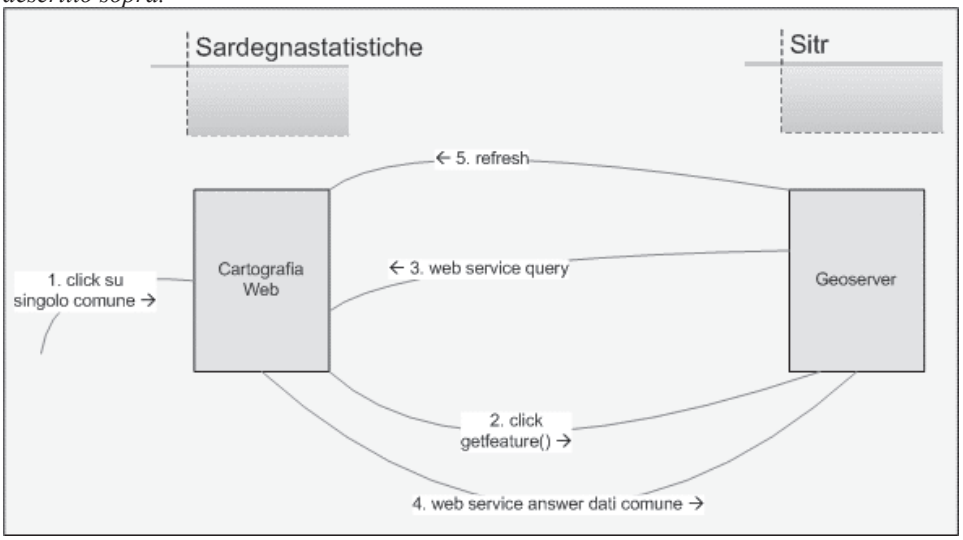
[2] Per maggiori informazioni su *Symfony* fare riferimento a: www.symfony-project.com
[3] Per maggiori informazioni su *Propel* fare riferimento a: http://propel.phpdb.org/trac/

In ultimo vengono applicati i fogli di trasformazione XSLT per ottenere la pagina. In particolare, se l'output richiesto è la cartografia i passi fondamentali saranno:

- recuperare i valori dal database
- popolare *XmlHelper* con i valori
- costruire le classi di ripartizione a partire da XML valori
- trasformare le classi in documento SLD
- invocare la trasformazione *output* html
- invocare l'applicazione *Javascript* con URL SLD che gli viene passata
- al *rendering* l'applicazione *Javascript* avrà la cartografia tematica generata

Al click su "informazioni" sulla cartografia (su richiesta del dettaglio di un singolo comune) in remoto *Geoserver* chiama il *Webservice* dell'Osservatorio Economico, che restituisce il valore dell'indicatore cartografato per il comune prescelto.

*Esempio di interazione del sistema con la piattaforma regionale GIS SITR-Geoserver come descritto sopra.*




**Soluzione individuata per l'interazione tra Consulta e il motore cartografico SITR**
1- Condivisione identificativi (codici ISTAT)
2- Integrazione servizi di mappa e dati/servizi statistici a livello di *browser* (utilizzo di API *JavaScript* in sviluppo in progetto SIT2COM )
3- Utilizzo di WMS 1.1.0 con supporto a SLD per produzione di mappa (*Geoserver*)
4- La produzione dell'SLD è responsabilità di SardegnaStatistiche
5- Per info su valore specifico indicatore per Comune utilizzo sia di metodo GetFeatureInfo di WMS e di un servizio esposto da SardegnaStatistiche; integrazione risultati a carico API JS
6- Legenda prodotta da lettura SLD da parte di specifico oggetto da realizzare in API JS.
7- Etichette solo per facilitare lettura, non link attivi. Etichette prodotte con dati geografici del SITR (ad esempio centroidi zone abitate) e categorizzate per importanza.

**Limiti e vantaggi della soluzione**
1- (+) Dati tematici separati da dati di base (completo disaccoppiamento "semantico" tra i due server: il WMS non conosce cosa sta temtizzando)
2- (-) Numero di elementi da tematizzare non troppo elevato
3- (+) Possibilità di sfruttare funzioni già implementate da API JS (*switch layer* per mostrare facilmente indicatori in anni diversi o *balloon* per mostrare in mappa risultato info)
4- (-) Mappa non accessibile (presenza di JS)
5- (+) Elevata usabilità (utilizzo AJAX)

**Alcune informazioni sintetiche di carattere pratico sul lavoro svolto**
Dal lato SITR è stato creato un ambiente di test che permette di interrogare il *webservice* per la generazione della cartografia. Dal lato Osservatorio è stato creato un prototipo che genera flussi SLD che sono inviati al *webservice* SITR attraverso delle API *Javascript*. In breve le API *Javascript* invocano i servizi dell'Osservatorio che generano il flusso SLD, per poi interagire con il *webservice* del SITR per la generazione della cartografia. Questa attraverso il CMS RAS viene infine integrata sul portale statistico dell'Osservatorio.

**Risultati raggiunti** (possibilità di riuso del modello utilizzato)
La soluzione adottata e qui sommariamente descritta ha puntato al riuso di strumenti software di pubblico dominio maturi e ampiamente utilizzati per favorire la stabilità ed l'efficacia del sistema e per aumentare la leggibilità e la standardizzazione del software prodotto.
A tale scopo, nella fase di progettazione del sistema sono stati utilizzati *pattern* di *design*, tra cui il *Model-Controller-Viewl* (MVC) *Design Pattern* e l'*Enumerated Domains Design Pattern*, che hanno consentito il disaccoppiamento delle componenti della piattaforma, e la separazione in livelli di codice, al fine di lavorare in *team* con competenze diverse e di supportare diversi livelli temporali di cambiamento utilizzando *view* multiple per uno stesso modello. Il *pattern* MVC è implementato tramite l'uso di classi del dominio del problema (*Model*), l'uso di action.class per la gestione del flusso logico/applicativo (*Controller*) e di pagine dinamiche (PHP) per il *rendering* delle interfacce (*View*). Nonostante la complessità derivante dalla elevata astrazione del modello progettato, si sono raggiunte alte performance comparabili a sistemi monolitici, con il vantaggio di aver mantenuto la separazione tra i diversi domini. In pratica il sistema espone dei servizi *webservice* tramite XML, consentendo ad altri sistemi l'utilizzo delle informazioni in contesti diversi, ad esempio di *mashup* nel *Web* 2.0. E' inoltre possibile il dialogo con altri sistemi con logica *machine-to-machine* come applicazioni ERP o CRM.

**Possibili evoluzioni/sviluppi futuri**

- Predisposizione di WSDL standard al fine di rendere il sistema pacchettizzato per poterlo distribuire attraverso i canali del CNIPA a soggetti terzi:
- Estensione della cartografia anche alle cartine con regioni italiane:
- Estensione del sistema con funzionalità gis-statistiche-spaziali avanzate;
- Utilizzazione di Oracle XE come *memory layer*;
- Estensione XML-*engine* per l'utilizzo delle API *google-maps* e/o *yahoo maps*.

**Bibliografia**


Barry D.K. (2003), *Web Services and Service-Oriented Architectures: The Savvy Manager's Guide*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco

Davis Scott, (2007), *GIS for Web Developers: Adding 'Where' to your Web Applications,* Pragmatic Programmers

Erl T. (2004), *Service-Oriented Architecture: A Field Guide to Integrating XML and Web Services*, Upper Saddle River, Prentice Hall PTR

Krafzig D., Banke K. Slama, D. (2004), *Enterprise SOA: Service-Oriented Architecture Best Practices*, Prentice Hall PTR

Ladd S., Darren D. (2006), *Expert Spring MVC and Web Flow*, Apress

Li X., Yang C., Zhang J., Yang J. (2004), *A new Web mapping architecture based on SLD and pattern*, Inst. of Remote Sensing Applications, Chinese Acad. of Sci., Beijing, China

Marks E. A., Bell M. (2006), *Service-Oriented Architecture (SOA): A Planning and Implementation Guide for Business and Technology*, Wiley

Schmidt D.C., Buschmann F., Henney K. (2007), Pattern Oriented Software Architecture: On Patterns and Pattern Languages, Vol. 5, Wiley

# IL DATABASE TOPOGRAFICO DEL SIT DELLA REGIONE PUGLIA: DAL MODELLO LOGICO AL MODELLO FISICO

Giuseppe CHIELLI, Tina CAROPPO, Michele GRAMEGNA

Tecnopolis CSATA Strada Provinciale Valenzano-Casamassima km 3 70010 Valenzano (Bari)
tel: 0804670513-0804670217 fax: 0804670217 - email: (g.chielli, c.caroppo, m.gramegna)@tno.it

**Riassunto**
Nell'ambito del Sistema Informativo Territoriale (SIT) Regionale, la Regione Puglia ha in corso la costruzione di un database topografico secondo le specifiche nazionali IntesaGIS; il database topografico rappresenta una componente fondamentale a supporto di svariati servizi applicativi forniti dal sistema e, come per tutte le altre banche dati geografiche del SIT, viene gestita all'interno di un'infrastruttura basata sul DBMS Oracle 10g e il gateway ArcSDE ESRI di tipo Enterprise.
Il database topografico è derivato dalla carta tecnica in costruzione su tutto il territorio regionale alla scala 1:5000 e ne eredita la precisione; essendo il modello dati adottato di tipo relazionale, tutti i contenuti richiedono un'organizzazione in una struttura relazionale per la quale la fase di progettazione è estremamente importante. La metodologia seguita parte da un'analisi concettuale in cui sono individuate tutte le entità e le relazioni più significative, per poi passare alla definizione di un modello logico di tipo E-R in cui sono stabilite le tabelle relazionali, con nomi e attributi, e le loro reciproche relazioni. Risultato finale è il modello fisico, ottimizzato rispetto agli strumenti tecnologici impiegati. Parallelamente, vi è l'individuazione di alcuni vincoli che i contenuti geometrici ed alfanumerici devono rispettare, il cui soddisfacimento è verificato da procedure di validazione a cui sottoporre i dati in ingresso al geodatabase fisico, garantendo in questo modo la qualità dei dati nella fase di popolamento.

**Abstract**
In the context of the its Territorial Information System, the Apulia Region is involved in the construction of a topographical database according to the IntesaGIS national standard; this database represents an essential component supporting the applicative functionalities provided by the system and it is managed in an infrastructure based on Oracle 10g DBMS and the gateway ESRI ArcSDE Enterprise. The relational model is used as data model, so all the contents of the topographical database, derived from a cartography on the whole regional territory at the scale 1:5000, must be organized in a relational structure. The followed methodology begins from a conceptual analysis in which entities and the most important relationships are found, then it passes to the definition of a E-R logical model in which relational tables, with their names and fields, and mutual relationships are estabilished. The final result is given by the physical model, optimized from the point of view of the chosen technology; parallely, some constraints are defined on the geometrical and alphanumerical data: the check of the data is made by validation procedures to run before storing data in the physical geodatabase. In this way, data quality is assured even from the first step of database creating; then, it must be maintained in the subsequent phases of database updating.

**Premesse**
Nodo basilare nel progetto del Sistema Informativo Territoriale della Regione Puglia è rappresentato dalla costruzione della Carta Tecnica Regionale relativa all'intero territorio regionale

e, soprattutto, dall'implementazione di un database topografico (nel seguito DBT) aderente alle specifiche nazionali IntesaGIS. Nella fase di primo impianto, il DBT è derivato direttamente dalla carta tecnica, con contenuti perlopiù orientati ad un approccio fotogrammetrico. Il DBT copre l'intero territorio regionale con un dettaglio tipico della scala 1:5000, mentre aree urbane di un sottoinsieme di Comuni riportano la precisione della scala 1:2000, per inglobare informazioni già rilevate in precedenti lavori regionali; in tali aree è acquisita la toponomastica e la numerazione civica secondo i medesimi standard. Ciò fa della multiprecisione una peculiarità che rende la banca dati estremamente innovativa.
Nucleo fondamentale del patrimonio informativo del SIT e dei servizi applicativi offerti ai vari enti locali, il DBT si traduce in un modello fisico finale implementato in un'infrastruttura basata su sistema di gestione di basi dati relazionali; la tecnologia adottata consta del DBMS Oracle 10g +, ArcGIS Server ESRI con integrato ArcSDE Enterprise, pertanto il modello fisico si rifà ad una struttura dati completa ed "intelligente".
Obiettivo del presente lavoro è illustrare le principali fasi nel processo di progettazione del DBT fino a descrivere i tratti salienti del modello fisico e delle procedure di validazione dei dati da utilizzare in fase di caricamento/aggiornamento nel database fisico. Nelle linee generali, la metodologia seguita si articola nelle tre fasi di progettazione concettuale, logica e fisica, secondo la tradizionale teoria delle basi di dati relazionali.

**La modellazione concettuale: corrispondenza dei contenuti CTR con le classi IntesaGIS.**
La definizione del modello concettuale consta nell'individuazione delle entità caratterizzanti il database topografico e delle eventuali reciproche relazioni; gli assunti fondamentali di questa fase sono i seguenti:

- il database topografico è derivato dalla cartografia per cui deve almeno includerne tutti i contenuti geometrici ed alfanumerici attinenti alla classificazione degli oggetti;
- i contenuti rappresentati si riferiscono tutti al Catalogo degli Oggetti IntesaGIS (documento 1n1007_1_2) per cui le codifiche presenti in carta tecnica vanno riportate a questo mediante un meccanismo di corrispondenza;
- partendo da una base fotogrammetrica, il database topografico deve essere predisposto, anche solo a livello di schema, per poter inserire altre informazioni derivanti da fonti alternative (dati Acquedotto Pugliese, Autorità di Bacino Puglia, etc.); questo nella logica di estendere la banca dati aldilà di una semplice traduzione della carta tecnica.

I contenuti geometrici del database topografico sono caratterizzati dalla stessa accuratezza posizionale della carta tecnica; la fotorestituzione è legata a specifiche più restrittive delle precisioni imposte da IntesaGIS in quanto aderenti al Capitolato Speciale d'Appalto della Regione Puglia attualmente vigente in materia di produzione di cartografia. Ciò implica che non vi è ammessa incoerenza tra le geometrie della carta tecnica (strutturate in linee, punti e poligoni) e le componenti geometriche delle classi IntesaGIS prodotte. Acquisendo i dati con soglie di acquisizioni più basse, non sempre è possibile restituire come aree oggetti per i quali lo standard prevede componenti geometriche poligonali: l'adattamento delle specifiche nazionali ai requisiti della carta tecnica pugliese ha indotto ad un uso intensivo del *collassamento geometrico*.
Inoltre, il repertorio di classificazione degli oggetti territoriali in carta tecnica si basa su un insieme di codici numerici che rendono conto anche della tipologia geometrica degli oggetti (se linee, punti o poligoni) e ai quali è associata una descrizione; preso ciascun codice, la categoria rappresentata è fatta confluire in una classe IntesaGIS avvalorando la n-pla di attributi prevista per la classe. In tal modo, resta individuato l'insieme base di classi acquisite e, per ciascuna classe, le componenti geometriche (puntuali, lineari o poligonali). In alcuni casi, il mapping è immediato e diretto sia dal punto di vista geometrico sia dal punto di vista dei contenuti alfanumerici descrittivi.
La tabella 1 di seguito riportata esemplifica il mapping diretto nel caso di oggetti puntuali che in carta tecnica individuano dei punti quotati e che nel DBT confluiscono nella classe "Punto quotato" con determinati valori per gli attributi previsti e con una componente geometrica puntuale come da Catalogo degli Oggetti IntesaGIS:

| CODICE CARTA TECNICA | DESCRIZIONE CARTA TECNICA | *PT_QUO_SEDE* | *PT_QUO_RIL* | *PT_QUO_SCA* |
|---|---|---|---|---|
| 16110000 | quota al suolo | 01 | 02 | 02 o 03 a seconda della scala |
| 16110001 | quota al suolo per scale diverse | 01 | 02 | 02 o 03 a seconda della scala |
| 61600000 | quota piede fabbricato | 0301 | 02 | 02 o 03 a seconda della scala |
| 11160000 | quota terrazzo piano edificio | 03 | 02 | 02 o 03 a seconda della scala |
| 11170000 | quota gronda edificio | 0302 | 02 | 02 o 03 a seconda della scala |
| 11180000 | quota colmo edificio | 0302 | 02 | 02 o 03 a seconda della scala |

*Tabella 1 – Esempio di corrispondenza diretta tra contenuti di carta tecnica e classi del DBT applicata ai punti quotati*

Sempre nell'ambito dell'altimetria, anche per le curve di livello la corrispondenza è semplice.
Pure in molti esempi relativi alla vegetazione il mapping è diretto, per cui, ad esempio, dalla carta tecnica si derivano aree direttamente riversabili nelle classi "Bosco" o "Coltura agricola" con classificazioni coerenti con i codici di partenza.
Per altre classi, invece, il discorso è più complesso; ad esempio per quanto concerne l'edificato, l'approccio fotogrammetrico non consente di avvalorare molti degli attributi previsti per la classe edificio: la problematica più rilevante è data dall'attributo di "*uso"* che non può essere avvalorato per corrispondenza diretta con la CTR. Per differenziare i teatri dagli ospedali, ad esempio, viene sfruttata informazione aggiuntiva contenuta in scritte cartografiche o legata a indagini a terra in fase di ricognizione.
In altre situazioni, la corrispondenza diretta non può neanche essere parziale, né geometricamente né sotto il profilo delle classificazioni: nel derivare le classi della viabilità, i codici di carta tecnica sono solo un punto di partenza, poiché le componenti geometriche poligonali sono ricostruite interamente ex-novo e i relativi attributi avvalorati sulla base di operazioni di fotointerpretazione, anche a posteriori, rispetto alla prima fase di fotorestituzione cartografica.
Anche per le classi degli strati 00 e 10 (informazioni aerofotogrammetriche e aree di pertinenza, rispettivamente) la costruzione dei dati va operata ex-novo pur elaborando informazioni di base disponibili in carta tecnica, nelle altre classi o in archivi provenienti da altre fonti.
Il problema del collassamento geometrico è già affrontato nell'analisi concettuale: per ciascuna classe si individuano le componenti geometriche fornite, non sempre coincidenti con quelle previste da IntesaGIS. Per quanto riguarda la classe "Area di viabilità mista secondaria", alle componenti geometriche areali si aggiungono le componenti lineari collassate pur non previste dal Catalogo degli Oggetti, in quanto i sentieri in carta tecnica sono sempre restituiti come linee; analogamente per le scarpate, per cui non sempre è possibile distinguere il ciglio dal piede durante il processo di fotorestituzione cartografica, e per gli argini. Viceversa, molti collassamenti nell'ambito dell'edificato vengono gestiti da classi IntesaGIS: è il caso delle localizzazioni puntuali di manufatti di varia natura, tra cui contenuti puntuali di carta tecnica trovano collocazione senza difficoltà. Il collassamento segue le direttive proposte nell'Allegato A predisposto dal CNIPA per le Regioni aderenti al progetto PR5SIT.
Molte classi sono introdotte nel modello pur senza disporre di contenuti nell'immediato, in prospettiva di integrazione con altre fonti.
Le relazioni tra le varie entità sono mutuate essenzialmente dal modello UML delle specifiche IntesaGIS e dall'Allegato A; relazioni associative di cardinalità complessa sono introdotte per definire componenti geometriche di alcune entità alfanumeriche in termini di geometrie elementari:

per esempio, un'estesa amministrativa è messa in relazione con le istanze della classe *Area stradale* per definirne la pertinenza, con gli elementi stradali per definirne il tracciato di dettaglio e con i tratti stradali per individuarne il tracciato di sintesi. Tali relazioni associative possono, talvolta, essere caratterizzate da attributi: nell'esempio dell'estesa amministrativa, una proprietà dell'associazione è data dall'ente gestore. Le relazioni sono previste per rendere più integrate e "navigabili" le informazioni disponibili.
Al termine dell'analisi concettuale, è ben delineato l'insieme delle entità (componenti geometriche delle classi IntesaGIS con relativi attributi) e il set di relazioni eventualmente impostate tra esse.

**Definizione del modello logico**
Nella fase di definizione del modello logico, tutte le entità individuate nella fase precedente sono tradotte in tabelle in uno schema logico relazionale complessivo non legato alla tecnologia in adozione. Nella predisposizione dello schema, sono stabiliti i nomi delle tabelle e i nomi dei campi di ciascuna tabella, dando per acquisita la differenziazione tra tabelle geometriche e tabelle alfanumeriche. Da un punto di vista esclusivamente logico, le varie tabelle sono organizzate in aree tematiche rispetto ai contenuti memorizzati nel loro interno; ogni area è caratterizzata da un codice mnemonico di due caratteri. La notazione è quella tipica degli schemi ER.
I nomi delle tabelle seguono una convenzione simile a quella scelta nel progetto SigmaTer; in ciascun nome, è presente il codice dell'area tematica, un numero progressivo che contraddistingue univocamente la tabella e un carattere che esplicita la natura della tabella, se geometrica o alfanumerica. Allo scopo di semplificare le procedure di caricamento, i nomi dei campi sono i medesimi degli shapefile di fornitura del database topografico, dati di input al processo di caricamento all'interno del database fisico.
Nella Figura 2 è riportato, a titolo di esempio, lo schema logico relazionale relativo all'area tematica *Copertura relativa a mobilità e trasporti* (CM).
Dall'esempio si astraggono alcune caratteristiche generali dello schema normalizzato:

- presenza delle tabelle dei tratti di contorno 3D associati alle geometrie poligonali: tra le tabelle SIT_CM06G_AC_VEI contenente tutte le sottoaree della classe *Area di circolazione veicolare* e SIT_CM07G_TRATTO_CONT_AC_VEI contenente i relativi tratti di contorno che specificano se il contorno è reale o fittizio sussiste una relazione di cardinalità uno a molti per ricostruire il contorno di ciascun poligono;
- presenza di tabelle codificate che memorizzano i valori codificati previsti per ciascun campo;
- oltre ai campi propri per ciascuna classe, sono presenti dei campi comuni accessori relativi ai metadati operativi previsti dall'Allegato A;
- gestione normalizzata del collassamento mediante l'introduzione di una tabella alfanumerica contenente i campi comuni alle geometrie collassate e non collassate (esempio: viabilità mista secondaria).

Ogni geometria è caratterizzata da un identificativo univoco indipendente dalla tecnologia usata (chiave primaria) che funge da chiave esterna nella relazione. Un buon esempio di tabella associativa dato dalla tabella SIT_CM32T_AR_STR_X_ES_AMM che mette in relazione le estese amministrative con le aree stradali per determinare la pertinenza areale di ciascuna estesa.
Nel modello relazionale sono introdotte tabelle esterne per la gestione degli attributi multivalore; anche gli attributi che per ciascun oggetto specificano rispettivamente il codice ISTAT del comune di appartenenza e il taglio cartografico di riferimento (taglio IGM per la scala 1:5000) sono gestiti come multivalore evitando segmentazioni fisiche sui limiti comunali e sui bordi delle tavole.

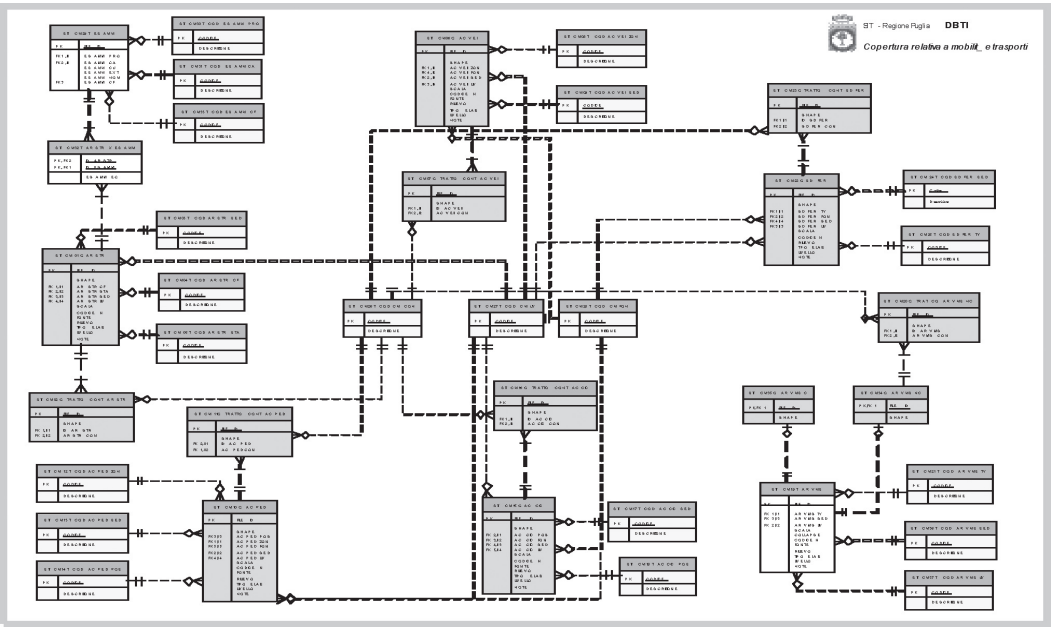



*Figura 2 – Schema relazionale dell'area tematica "Copertura relativa a mobilità e trasporti"*

**Il modello fisico finale: geodb, procedure di validazione e caricamento dei dati**

La costruzione del modello fisico tiene conto della tecnologia in adozione per cui traduce il progetto logico in un geodatabase implementato in ambiente ArcSDE + Oracle 10g. Tra le scelte effettuate evidenziamo:

- presenza di unico feature dataset DBTI in cui sono contenute le feature class geometriche; vi sono impostati il sistema di coordinate (UTM WGS84) e l'extent geografico corrispondente all'intero territorio regionale;
- impostazione dei domini per controllare tutti i campi i cui valori prevedono delle codifiche ad hoc; i domini sono tradotti anche in tabelle alfanumeriche per agevolare le procedure di controllo sul rispetto dei domini;
- introduzione di *relationship class* che traducono tutte le relazioni nel modello logico, eccetto quelle di decodifica dei valori dei campi codificati per cui è sufficiente la presenza dei domini; l'uso delle *relationship class* consente di mantenere in fase di editing (aggiornamento) l'integrità e la consistenza dei contenuti geometrici e non;

Il caricamento, in ambiente ArcCatalog, avviene mediante una procedura parametrizzata realizzata come tool di geoprocessing nel linguaggio Python; uno specifico file testuale di configurazione effettua il matching tra file di input (shapefile o file dbf alfanumerico) e tabella di destinazione del modello fisico: un file di log riporta l'esito di ogni operazione evidenziando eventuali anomalie verificatesi in fase di caricamento. Un insieme di tool realizzati con lo stesso approccio consentono di verificare alcuni vincoli importanti previsti sui contenuti del DBT. Le tipologie di controlli effettuati sono le seguenti:

- verifiche generali sui dati dal punto di vista formale (controllo della struttura del tracciato record di ogni tabella, dei valori utilizzati rispetto ai domini codificati, dell'obbligatorietà dei campi, dell'unicità degli identificativi univoci degli oggetti);
- verifiche generali dal punto di vista geometrico (presenza di self-intersection, di geometrie duplicate, di coerenza tra tratti di contorno e frontiera dei poligoni);

- verifiche di carattere specialistico che riguardano le geometrie di singole classi IntesaGIS o di sottoinsiemi di classi (relazioni topologiche).

Anche nel caso delle verifiche particolari, l'implementazione delle procedure di controllo si basa su una forte astrazione per cui i tool effettuano tipologie di controlli attuabili poi su contenuti diversi a seconda della configurazione iniziale; i file di configurazione consentono, nella maggior parte dei casi, di impostare anche dei filtri sui dati. Per esemplificare, riportiamo alcune classi di controlli specialistici che vengono effettuati sui dati:

- verifica della congruenza nella segmentazione fisica tra elementi areali ed elementi lineari dei reticoli rispetto agli attributi comuni;
- verifica che l'unione delle aree di circolazione veicolare sia contenuta nell'unione delle aree stradali (analogamente per le aree di circolazione pedonale e ciclabile);
- verifica di connessione dei reticoli stradali, assumendo che ogni elemento lineare debba essere coperto sulla frontiera da due nodi;
- verifica che gli ingombri al suolo dei cassoni edilizi siano coperti dagli ingombri al suolo degli edifici, che un ingombro al suolo di edificio sia coperto da una o più unità volumetrica per le aree alla scala 1:2000;
- verifica del corretto posizionamento degli accessi rispetto agli edifici.

Di fondamentale importanza è l'insieme di procedure che verificano la corretta copertura topologica del suolo: dato per acquisito l'insieme esaustivo delle classi che partecipano alla copertura areale del territorio (con eventuali filtri), viene testato che non vi siano "buchi" e che non vi siano sovrapposizioni non accettabili tra poligoni della stessa classe e di classi distinte.
Le procedure, eseguite su ciascun lotto di produzione del DBT coincidente con l'area contenuta in un foglio IGM 1:50.000, garantisce in maniera incrementale una buona qualità dei dati in fase di primo impianto del database fisico.

**Alcune considerazioni**

Rispetto ad una prima ipotesi di derivare il DBT direttamente dalle foto aeree, senza il passaggio intermedio dalla CTR, è stato necessario rivedere il percorso per una serie di motivi, primo tra tutti la difficoltà degli operatori coinvolti di confrontarsi con un nuovo processo e con un nuovo prodotto, la cui formulazione definitiva è stata lunga e laboriosa.
Il modello fisico e le procedure di validazione messe a punto seguono le direttive nazionali seppure con un necessario livello di adattività. Il modello è replicabile e la strutturazione degli shapefile di produzione del DBT compatibile con le linee guida definite dal CNIPA per le regioni aderenti al PR5SIT.
Le procedure di validazione assicurano un buon livello qualitativo dei dati in fase di primo impianto e sono in corso sperimentazioni mirate a valutare modalità e metodologie per un corretto aggiornamento che ne salvaguardi la consistenza.

**Riferimenti bibliografici**

CNIPA (2008) *Allegato A – Linee guida per la realizzazione dei database topografici nelle Regioni del progetto PR5SIT*
Comitato Tecnico di Coordinamento IntesaGIS (2006) *Il Catalogo degli Oggetti-Revisione delle specifiche di contenuto 1n1007_1 e 1n1007_2*
Comitato Tecnico di Coordinamento IntesaGIS (2004) *Specifiche di contenuto-Lo schema del contenuto in GeoUML*

# EFFETTI DEI POSSIBILI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUI FLUSSI DI CARBONIO FORESTALI IN TOSCANA

Marta CHIESI (*), Fabio MASELLI (*), Marco MORIONDO (**), Luca FIBBI (*), Marco BINDI (**)

(*) IBIMET-CNR, via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI), tel. 055 5226023, e-mail m.chiesi@ibimet.cnr.it
(**) DISAT-Università di Firenze, P.le delle Cascine 18, 50144 Firenze, tel. 055 3288257

**Riassunto**
L'obiettivo principale di questo lavoro è valutare i possibili effetti dei cambiamenti climatici sulla produttività degli ecosistemi forestali della regione Toscana. L'area di studio infatti è costituita dal territorio della regione, coperto per circa metà della sua estensione da foreste.
Si ipotizzano tre scenari diversi, ovvero incremento della temperatura media annuale di 2° C con riduzione delle precipitazioni annuali, aumento della concentrazione di biossido di carbonio dell'atmosfera e una combinazione dei due precedenti. Per ciascuno di essi, vengono valutati gli effetti sugli ecosistemi in termini di produttività primaria lorda (GPP), produttività primaria netta (NPP) e carbonio totale immagazzinato (OC).

**Abstract**
The main objective of this work is to assess the possible effects of climate change on productivity of forest ecosystems in Tuscany (Central Italy). The study area coincides with the territory of this Italian region, covered for about half of its extent by forests.
Three different scenarios are hypothesized, corresponding to an increase of the average annual temperature of 2° C with reduction of annual rainfall, an increase of the atmospheric concentration of carbon dioxide and a combination of the previous two. For each of them, the effects on the forest ecosystems in terms of gross primary productivity (GPP), net primary productivity (NPP) and total carbon stored (OC) are evaluated.

## Introduzione

I crescenti livelli di emissioni di $CO_2$ nell'atmosfera ed il conseguente cambiamento climatico aumentano la necessità di monitorare la quantità di carbonio immagazzinato negli ecosistemi terrestri. Tra questi, gli ecosistemi forestali, che coprono circa il 40% della superficie terrestre libera dai ghiacci, rappresentano la parte principale di tutto il carbonio immagazzinato (Waring, Running. 2007). Quantificare e monitorare gli scambi gassosi degli ecosistemi acquisisce sempre più importanza anche in vista della negoziazione delle emissioni di carbonio da parte delle singole nazioni nel quadro degli accordi di Kyoto sulla riduzione delle emissioni dei gas serra.
É ampiamente accettato che il carbonio sequestrato dalle foreste all'interno delle piante e nella sostanza organica dei suoli è sensibile ai fattori meteorologici come la temperatura, l'umidità, le precipitazioni, la radiazione, ecc.. e di conseguenza, esso è influenzato dai cambiamenti climatici che si stanno verificando in tutto il mondo e in particolare nel bacino del Mediterraneo (IPCC, 2007).
Quindi, una migliore comprensione delle interazioni tra cambiamenti climatici e biosfera terrestre è fondamentale ai fini della pianificazione e futura gestione del territorio (IPCC, 2007). Diversi approcci sono stati utilizzati per tale finalità, compresi i FACE (Free Air CO2 Enrichment), gli esperimenti di riscaldamento dell'aria del suolo e le tecniche isotopiche di carbonio. Mentre i risultati

di questi studi non possono essere facilmente estesi su ampia scala per ragioni di tempo e di costi, i modelli di simulazione degli ecosistemi offrono il fondamentale vantaggio di essere applicabili sia in fase di valutazione dell'attuale situazione delle foreste che nell'analisi delle risposte ai probabili cambiamenti climatici e ai diversi scenari di gestione del territorio. Per queste ragioni Maselli et al., (2008) hanno proposto di combinare gli outputs del modello BIOME-BGC (modello di simulazione dei processi degli ecosistemi) con le stime di volume forestale per la simulazione dei flussi netti di carbonio negli ecosistemi forestali toscani. Obiettivo di tale lavoro è valutare l'uso di questa strategia integrata di modellizzazione per stimare i flussi e le quantità di carbonio immagazzinate nelle foreste della Toscana, sia per il presente che per futuri scenari ambientali.

**Area di studio**

Il lavoro è stato condotto in Toscana (9°-12° long., 42°-44° lat.), regione caratterizzata da una morfologia estremamente variabile (zone costiere generalmente piatte ed aree interne con prevalenza di zone collinari e montuose). Il clima varia da tipicamente mediterraneo fino a temperato caldo e freddo. I boschi sono prevalentemente caratterizzati dalla presenza di specie quercine (*Q. ilex* L., *Q. pubescens* Willd., *Q. cerris* L.), pini mediterranei (*Pinus pinaster* Ait., *Pinus pinea L.*), castagni (*Castanea sativa* Mill.), faggi (*Fagus sylvatica* L.) ed abeti (*Picea abies* L., *Abies alba* Mill.).

**Dati utilizzati**

I dati meteorologici giornalieri di temperatura minima e massima e precipitazione necessari per inizializzare i modelli utilizzati sono stati ottenuti estrapolando, attraverso l'algoritmo DAYMET (Thornton et al., 1997), i dati di alcune stazioni di misura (rispettivamente 139 per la temperatura e 179 per le piogge). Usando queste stime di temperatura e precipitazione sono stati calcolati anche l'umidità e la radiazione sull'intera area utilizzando il modello MT-CLIM (Running et al., 1987). Il periodo di studio è il quinquennio 1999-2003 e la risoluzione spaziale è di 1 km.

Informazioni aggiuntive sono state derivate da un modello digitale del terreno (DTM) della regione con risoluzione spaziale di 200 m, da una mappa digitale relativa alla distribuzione delle foreste toscane in scala 1:250.000 (Arrigoni et al., 1998) (Figura 1) e da una mappa di volume ottenuta spazializzando i dati dell'inventario forestale con l'ausilio di alcune immagini Landsat TM (Maselli Chiesi, 2006).

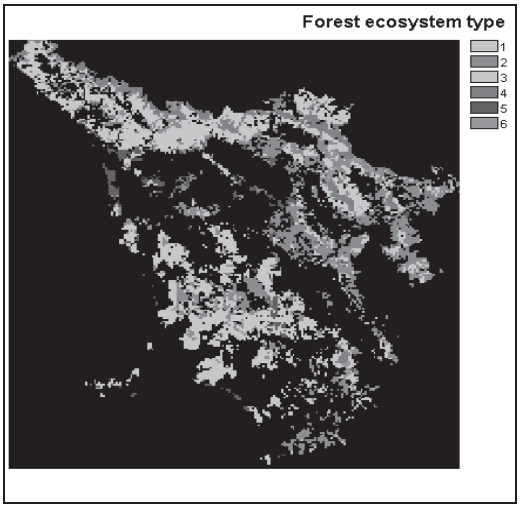



*Figura 1 – Mappa delle principali tipologie di boschi della Toscana raggruppate in 6 classi (1, leccete; 2 querce decidue; 3 castagno; 4 faggio; 5 conifere del piano basale; 6 conifere montane).*

I dati di profondità del suolo, tessitura e contenuto in carbonio sono stati derivati dalla mappa dei suoli della Toscana (1:250.000), prodotta dall'amministrazione regionale della Toscana, e attualmente disponibile sul web (http://sit.lamma.rete.toscana.it/websuoli).

**Metodologia**

La tecnica del "*delta-approach*" (Arnell, 2003) è stata applica al set di dati meteorologici osservati per la produzione di dati climatici futuri per una corrispondente serie temporale di 5 anni. Seguendo questa procedura, per riprodurre il clima futuro a scala locale, gli *output* normalizzati di un modello di circolazione generale (GCM) sono stati adattati con un *downscaling* empirico sul set di dati meteorologici osservati. In particolare, le differenze di temperatura minima, temperatura massima, precipitazione e radiazione tra le uscite del modello che riproduce l'attuale clima e quelle per un determinato periodo futuro sono state calcolate su base mensile per il punto griglia più vicino alla regione Toscana ed i risultati sono stati aggiunti ai dati osservati.

Il periodo futuro selezionato per questo esperimento è stato scelto tenendo conto del fatto che le strategie di adattamento e mitigazione dell'Unione Europea considerano tollerabile un aumento della temperatura media globale della terra di 2° C al di sopra del livello pre-industriale. Per il bacino del Mediterraneo, il modello GCM HadCM3 (Pope et al., 2000) nello scenario A2 simula che tale soglia possa essere raggiunta in un periodo compreso tra il 2031-2060 (Giannakopoulos et al., 2005). Di conseguenza, i fattori delta per il *downscaling* sono stati calcolati a partire dal modello GCM HadCM3 (scenario A2) come differenza tra il valore basale (1971-2000) e il periodo futuro (2031-2060) per un singolo punto griglia che copre tutta la regione Toscana (incentrato su 11° 25' Lon. E e 45° Lat. N).

Il modello BIOME-BGC, che è stato sviluppato presso l'Università degli Studi del Montana, è in grado di simulare i flussi e le quantità di acqua, di carbonio e di azoto immagazzinate all'interno dei vari ecosistemi terrestri (Running, Hunt, 1993). In particolare, esso riproduce il comportamento degli ecosistemi in condizioni di equilibrio con l'ambiente (climax). La versione del modello attualmente in uso include la parametrizzazione per sei principali biomi terrestri (White et al., 2002). Questa è stata modificata per adattare il modello agli ecosistemi mediterranei, che mostrano caratteristiche eco-climatiche notevolmente diverse da quelle per le quali era stato originariamente sviluppato (Chiesi et al., 2007). Utilizzando stime di GPP prodotte da un modello parametrico di efficienza produttiva, C-Fix, è stato configurato BIOME-BGC in termini di conduttanza stomatica e di efficienza fotosintetica. Nella corrente taratura sono stati introdotti due miglioramenti rispetto ai lavori precedenti. In primo luogo, le stime di GPP di riferimento sono state prodotte da una versione modificata di C-Fix che considera un indice di stress idrico per meglio simulare la fotosintesi della vegetazione mediterranea. In secondo luogo, il modello BIOME-BGC ha utilizzato i dati reali di profondità e tessitura dei suoli della Toscana.

Il modello BIOME-BGC configurato in modo ottimale è stato fatto girare su tutti i pixel forestali della Toscana. I risultati ottenuti sono riferibili ad ecosistemi forestali allo stato climax, in genere diverso da quello in cui si trovano effettivamente le foreste, a causa della frequente presenza di disturbi sia naturali che indotti dall'uomo (incendi, diradamenti, tagli, ecc..). Ciò implica che il contenuto in C della biomassa forestale e del suolo può essere molto diverso da quello simulato dal modello. Questo problema è stato affrontato considerando che il volume della parte legnosa delle foreste, che è direttamente collegato alla biomassa totale, può essere impiegato come indicatore della prossimità dell'ecosistema al climax (Maselli et al., 2008). In particolare, il rapporto tra volume reale e potenziale è considerato come un indice di tale prossimità ed è utilizzato per correggere la fotosintesi e la respirazione delle simulazioni prodotte da BIOME-BGC. Seguendo questo approccio, il volume effettivo delle foreste è stato derivato dalla mappa di Maselli, Chiesi (2006), e degradato ad 1 km di risoluzione. Queste stime di volume sono state combinate con il volume massimo (climax) calcolato da BIOME-BGC per stimare la frazione effettivamente coperta da alberi per ogni pixel dell'area considerata. Queste frazioni sono state quindi utilizzate per pesare gli *outputs* del modello BIOME-BGC al fine di riportarli da una situazione della foresta di climax a

quella reale e riuscire quindi a determinare il contributo della parte arborea per quanto riguarda i flussi e gli stock di C (Maselli et al., 2008). Il contributo della parte erbacea è stato simulato con l'esecuzione della versione standard di BIOME-BGC per specie erbacee C4 (White et al., 2002). Le stime definitive relative all'intero ecosistema sono state ottenute sommando gli *output* della parte erbacea ridotti in funzione del grado di copertura della foresta di ogni pixel a quelli della parte arborea.
Questo tipo di modellizzazione degli ecosistemi forestali è stata applicata per prima utilizzando i dati meteorologici osservati di cinque anni (1999-2003, scenario S1). Il volume forestale utilizzato in questa fase è quello rilevato da Maselli, Chiesi (2006). Gli *outputs* relativi alla produttività forestale erano già stati validati in Maselli et al., (2008), solo la previsione del C contenuto nel suolo necessita di una nuova validazione. Questo è stato realizzato confrontando la stima prodotta con la mappa del contenuto in C nel suolo derivata da misure.
Successivamente, lo stesso approccio di modellizzazione è stato applicato ai tre scenari con i vari cambiamenti ambientali. Questi scenari corrispondono a:
- solo aumento della concentrazione di $CO_2$ atmosferica, da 369.4 ppm a 550 ppm (scenario S2);
- solo il cambiamento del clima (scenario S3);
- entrambi i cambiamenti insieme (scenario S4).

Per tutti questi scenari le variabili che caratterizzano la vicinanza delle foreste alla situazione di climax sono stati mantenuti costanti, il che corrisponde a supporre uno sfruttamento delle risorse forestali proporzionalmente stabile rispetto ai cambiamenti di produttività. Gli effetti dei tre scenari sul bilancio del C sono stati valutati attraverso l'analisi comparata della produttività forestale e del C immagazzinato rispetto alle condizioni attuali.

**Risultati**

In Figura 2 si riporta il grafico che mostra il clima medio attuale e quello futuro. Nello scenario futuro ogni mese è sempre più caldo dell'attuale (circa 14 °C contro 16 °C di media annuale) ed è interessante notare che le massime differenze si registrano nel periodo estivo (fino a +4°C), che è anche il più critico per il frequente insorgere di carenze idriche. Per quanto riguarda le precipitazioni la quantità totale non varia molto (si riduce del 5% nel futuro), ma la sua distribuzione cambia significativamente. In particolare, le precipitazioni si riducono durante la tarda primavera e l'estate mentre aumentano in autunno ed a fine inverno accentuando anche in questo caso lo stress idrico estivo.

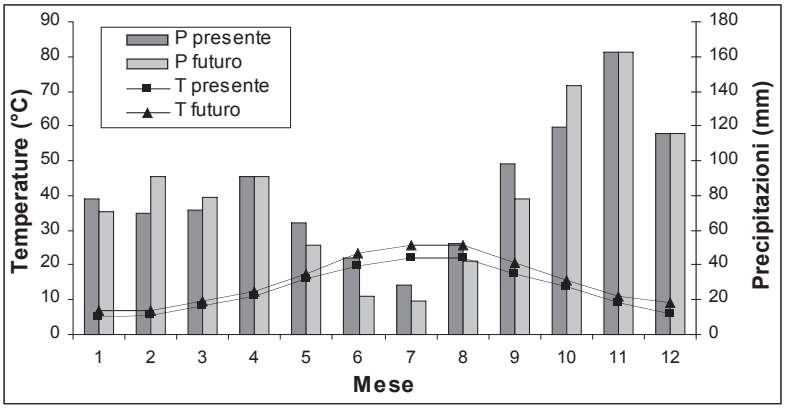



*Figura 2 – Dati di temperatura e pioggia mensili per il clima attuale (1999-2003) e futuro. Valori medi di tutti i pixel classificati come forestali.*

La comparazione della stima del contenuto in C del suolo con la mappa derivata dalle misure dà una correlazione di r = 0.315, P<0,01 e un RMSE di 1.79 kg C $m^{-2}$ al livello di pixel. Ancora migliori sono i risultati a livello di classi (r = 0.903, RMSE = 0.97 kg C $m^{-2}$) con una leggera sovrastima per tutte le classi eccetto che per l'ecosistema 1. Si può quindi dedurre che il modello proposto riproduce in maniera ragionevole il contenuto di C nei suoli forestali della Toscana.
Nella Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti con la metodologia proposta per i diversi scenari ed i diversi ecosistemi. Nello scenario S2 l'aumento della concentrazione di $CO_2$ in atmosfera determina un incremento della produzione forestale sia in termini di GPP che di NPP e un incremento del C immagazzinato nella vegetazione e nel suolo. Questo incremento è più evidente per gli ecosistemi che già attualmente sono sottoposti a più elevato stress idrico durante il corso degli anni (1 e 5). Nello scenario S3, con i soli cambiamenti climatici, si nota che la GPP e l'NPP tendono generalmente a diminuire. Anche in questo caso gli ecosistemi che sembrano più sensibili sono quelli più xerofili (1 e 5). Una diminuzione si registra anche nel C della vegetazione e del suolo. Lo scenario climatico futuro ha un effetto maggiore per quanto riguarda la riduzione del C del suolo rispetto alla GPP in alcuni ecosistemi collinari e montani (2, 3 e 4). In un clima più caldo la GPP di questi ecosistemi tende ad avere piccole riduzioni o ad aumentare, mentre il C nel suolo tende sempre a diminuire in maniera simile agli altri ecosistemi. Questo può essere spiegato con il fatto che l'aumento della temperatura ha un deciso effetto sulla respirazione eterotrofa del suolo che libera nell'atmosfera parte del C in esso contenuto.
Nell'ultimo scenario S4, che considera entrambi i cambiamenti, si produce un generale incremento della produttività forestale sia lorda che netta, mentre il C contenuto nella vegetazione mostra solamente un leggero incremento e quello nel suolo rimane più o meno inalterato rispetto alla situazione attuale.

| | GPP Kg C $m^{-2}$ | | | | NPP Kg C $m^{-2}$ | | | | Vegetazione Kg C $m^{-2}$ | | | | Suolo Kg C $m^{-2}$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| E1 | 1.22 | 1.59 | 1.04 | 1.43 | 0.35 | 0.56 | 0.23 | 0.42 | 6.06 | 7.86 | 4.59 | 6.30 | 7.69 | 9.70 | 6.21 | 7.46 |
| E2 | 1.32 | 1.61 | 1.35 | 1.71 | 0.30 | 0.42 | 0.27 | 0.42 | 6.18 | 7.51 | 5.66 | 7.13 | 9.93 | 12.12 | 8.66 | 10.59 |
| E3 | 1.21 | 1.46 | 1.21 | 1.50 | 0.36 | 0.50 | 0.32 | 0.47 | 8.75 | 10.52 | 7.89 | 9.78 | 11.11 | 13.73 | 9.45 | 11.67 |
| E4 | 1.10 | 1.25 | 1.07 | 1.25 | 0.32 | 0.40 | 0.28 | 0.37 | 9.21 | 10.41 | 8.26 | 9.63 | 13.10 | 15.13 | 11.15 | 12.96 |
| E5 | 1.43 | 1.76 | 1.27 | 1.69 | 0.34 | 0.51 | 0.25 | 0.42 | 7.87 | 9.71 | 6.23 | 8.33 | 8.58 | 10.84 | 6.77 | 8.40 |
| E6 | 1.31 | 1.55 | 1.21 | 1.48 | 0.32 | 0.44 | 0.26 | 0.37 | 7.28 | 8.66 | 6.15 | 7.52 | 10.55 | 12.92 | 8.96 | 10.62 |

*Tabella 1: Stima dei valori medi di GPP e NPP e quantità di C immagazzinato nella vegetazione e nel suolo per i 6 ecosistemi considerati e per i vari scenari (S1-S4 vedi testo).*

**Discussione e conclusioni**
I cambiamenti climatici utilizzati (scenario A2 IPCC del modello HadCM3) hanno come effetto sugli ecosistemi forestali quello di ridurre sia la capacità di fissazione che la quantità di C accumulato in essi. Questi risultati sono in accordo con il fatto che il principale fattore che limita la produttività degli ecosistemi in ambiente mediterraneo è la disponibilità idrica nel periodo estivo che viene ulteriormente ridotta nello scenario utilizzato; sono inoltre in accordo col fatto che le maggiori riduzioni si registrano negli ecosistemi più aridi e quelle minori negli ecosistemi montani che sono più freddi ed umidi. L'incremento di $CO_2$ produce un incremento piuttosto omogeneo in tutti i tipi di foreste sia della fissazione che dell'accumulo di C. Tale incremento risulta

proporzionale alla produttività dell'ecosistema stesso ed è maggiore per l'NPP rispetto alla GPP tanto che il rapporto NPP/GPP passa da 0.23-0.29 dello scenario S1 a 0.26-0.36 nello scenario S2. Nello scenario S4 un incremento significativo è stato osservato per GPP e NPP e in misura minore per il C immagazzinato nella vegetazione. Gli incrementi sono stati più pronunciati per gli ecosistemi che si trovano ad altitudini intermedie (2 e 3). L'effetto contrastante del cambiamento climatico (che tende a favorire le zone più umide e fredde) e quello dell'aumento di $CO_2$ (che agisce prevalentemente sulle zone più calde) ha, quindi, favorito le zone intermedie. Il rapporto NPP/GPP rimane inalterato rispetto alla situazione attuale. L'effetto dei cambiamenti climatici è stato di tipo additivo nei confronti dell'aumento di $CO_2$ con nessun apparente interazione. Il C contenuto nel suolo in questo scenario rimane quasi identico alla situazione attuale, probabilmente perché la maggiore produzione di sostanza organica da parte delle foreste è bilanciata da un aumento della respirazione da parte degli organismi decompositori. Questi risultati sembrano indicare che, in un ambiente forestale di tipo mediterraneo, il suolo non aumenterà il suo contenuto di C qualora si verifichino le prospettate situazioni di aumento di temperatura e di $CO_2$.

**Bibliografia**

Arnell N. W., D. A. Hudson, R. G. Jones (2003), "Climate change scenarios from a regional climate model: Estimating change in runoff in southern Africa." *J. Geophys. Res.*, 108(D16), 4519, doi:10.1029/2002JD002782.

Arrigoni P.V., Raffaelli M., Rizzotto M., Selvi F., Vicini D., Lombardi L., Foggi B., Melillo C., enesperi R., Ferretti G., Benucci S., Turrini S., di Tommaso P.L., Signorini M., Bargelli E., Miniati U., Farioli C., de Dominicis V., Casini S., Chiarucci A., Tomei P.E., Ansaldi M., Maccioni S., Guazzi E., Zocco Pisana L., Cenerini A., Dell'Olmo L., Menicagli E. (1998), *La vegetazione forestale. Serie Boschi e Macchie di Toscana.*, Regione Toscana, Giunta regionale, Firenze, 215 pp.

Chiesi M., Maselli F., Moriondo M., Fibbi L., Bindi M., Running S.W. (2007), Application of BIOME-BGC to simulate Mediterranean forest processes, *Ecological Modelling*, 206: 179-190.

Giannakopoulos C., Bindi M., Moriondo M., Tin T. (2005). *Climate change impacts in the Mediterranean from a 2°C global temperature rise.* Un report per il WWF (World Wide Fund for Nature) Disponibile da: http://assets.panda.org/downloads/medreportfinal8july05.pdf.

IPCC (2007) *Climate change 2007. IPCC Forth Assessment Report.* Disponibile da: http://www.ipcc.ch.

Maselli F., Chiesi M. (2006), "Evaluation of statistical methods to estimate forest volume in a Mediterranean region." *IEEE Transaction of Geoscience and Remote Sensing*, 44(8): 2239-2250.

Maselli F., Chiesi M., Moribondo M., Fibbi L., Bindi M., Running, S. W. (2008), "Integration of ground and satellite data to simulate the forest carbon budget of a Mediterranean region". *Ecological Modelling*, in stampa.

Pope V.D., Gallani M.L., Rowntree P.R., Stratton R.A. (2000) "The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model-HadAM3." *Clim. Dynam.* 16: 123-146.

Running S.W., Nemani R.R., Hungerford R.D., (1987). "Extrapolation of synoptic meteorological data in mountainous terrain and its use for simulating forest evaporation and photosynthesis." *Canadian Journal of Forest Research*, 17:472-483.

Running S.W., Hunt E.R. (1993). "Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BGC, and an application for global-scale models." In: Ehleringer, J.R., and Field, C.B. (eds.), *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*, Academic Press, San Diego, pp. 141-158.

Thornton P.E., Running S.W., and White M.A. (1997), "Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain", *Journal of Hydrology*, 190: 214-251.

Waring H.R, Running S.W. (2007), *Forest Ecosystems. Analysis at Multiples Scales*., 3rd edition. Academic Press, San Diego.

White M.A., Thornton P.E., Running S.W., Nemani R.R. (2002), "Parameterization and sensitivity analysis of the BIOME-BGC terrestrial ecosystem model: net primary production controls", *Earth Interactions*, 4: 1-85.

# PATTERN SUPERFICIALI RICORRENTI DI CHL-A NEL CANALE DI SICILIA E IONIO MERIDIONALE

Achille CIAPPA, Valeria DONZELLI, Pierpaolo PILLONI e Paolo CECAMORE

Telespazio S.p.A., Osservazione della Terra, via Cannizzaro 51, 00156 Roma, tel: 06-40793672,
achille.ciappa@telespazio.com

**Riassunto**

In questo studio sono presentati risultati dell'analisi della distribuzione superficiale di CHL-a nel Canale di Sicilia e nello Ionio Meridionale effettuata nel corso degli ultimi anni (2003-2005) utilizzando dati satellitari MODIS (MODerate-resolution Imaging SpectroRadiometer). Considerando che le misure assolute di CHL-a da satellite risultano particolarmente sensibili ai disturbi atmosferici, i pattern superficiali di CHL-a rivelano tuttavia particolari aspetti legati alla circolazione delle acque superficiali e per questo possono essere proficuamente utilizzati. L'analisi dei pattern superficiali rivela strutture ricorrenti nel periodo esaminato, nonostante che la circolazione superficiale nell'area sia indicata in letteratura come altamente variabile.

**Abstract**

Results coming from recent observation of satellite surface CHL-a (2003-2005) by MODIS sensor (MODerate-resolution Imaging SpectroRadiometer) in the Sicily Strait and Southern Ionian Sea are presented in this study. Even if absolute satellite remote measurements of CHL-a are sensitive to atmospheric transmission, large scale patterns reveal aspects closely related to the surface circulation in the area. The analysis of CHL-a surface patterns reveals recurrent structures in the examined period, even if the surface circulation in the Strait and in the Southern Ionian is described in literature highly variable.

## Premessa

La circolazione nel Canale di Sicilia e nello Ionio Meridionale è caratterizzata in superficie da un flusso verso Est di acqua di provenienza Atlantica (MAW, *Modified Atlantic Water*) che muove verso il bacino Mediterraneo orientale, ed in profondità da un flusso inverso, di acqua più salata formatasi nel bacino orientale a causa dell'evaporazione (LIW, *Levantine Intermediate Water*), che si sposta da Est verso Ovest per poi defluire in Atlantico dallo Stretto di Gibilterra. L'area del Canale di Sicilia, ed in parte anche il Mar Ionio, sono pertanto zone di transito per i flussi che a diverse profondità scambiano masse d'acqua tra il Mediterraneo Occidentale ed il Mediterraneo Orientale. L'oggetto di questo studio si riferisce al percorso seguito dal flusso di acqua Atlantica MAW, localizzato in prossimità della superficie e pertanto tracciabile con dati satellitari, comunemente indicato come AIS (*Atlantic-Ionian Stream,* in Lermusiaux and Robinson, 2001).
La circolazione superficiale di MAW nel Canale di Sicilia e nello Ionio, tendenzialmente diretta verso Est, presenta aspetti tuttora dibattutiti. Considerando l'influenza che esercita la batimetria (in figura 1, a sinistra) sui flussi medi, si dedurrebbe che per via della morfologia della costa il flusso di

MAW subisca una accelerazione all'interno del Canale per poi defluire nel profondo bacino Ionico seguendo l'andamento delle curve batimetriche, ovvero dirigendosi verso Sud-Est verso la costa Libica. In accordo con questa logica, gli schemi di circolazione superficiale proposti in letteratura sino agli anni 80 (Nielsen, 1912; Ovchinnikov, 1966; Lacombe and Tchernia, 1972) illustrano una circolazione superficiale anticiclonica in tutto il bacino dello Ionio, compresa l'area meridionale interessata dalla confluenza del flusso proveniente dal Canale di Sicilia. Tuttavia, a seguito delle campagne POEM effettuate sul finire degli anni 80 (Malanotte-Rizzoli ed altri, 1997) si è notata la presenza di MAW anche in vaste aree dello Ionio Settentrionale, confermata poi anche da successive campagne condotte nel corso degli anni 90 (Manca ed altri, 2002).

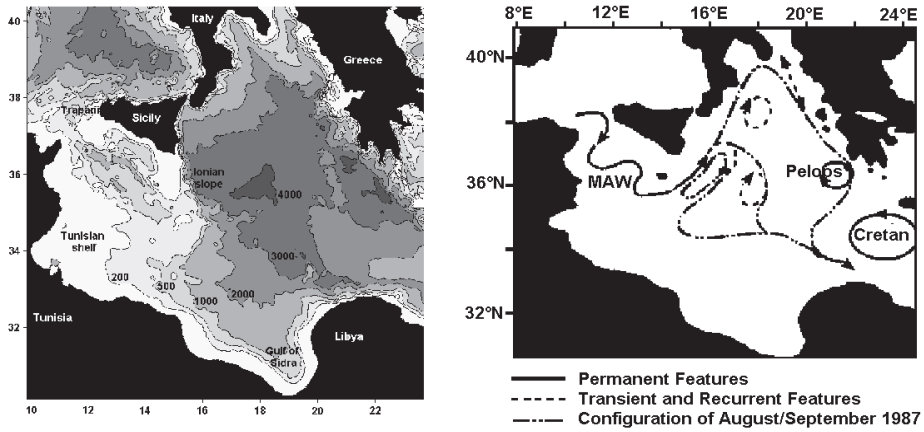



*Figura 1- Batimetria del Canale di Sicilia (a sinistra) e circolazione superficiale dedotta dopo le campagne POEM (destra)*

Lo schema dedotto di circolazione superficiale dopo le campagne POEM prevede pertanto un'oscillazione verso Nord del percorso seguito da MAW nello Ionio (in figura 1, a destra), pur considerando un ampio margine di variabilità interannuale. Tale variabilità è interpretabile tuttavia anche come incertezza dell'ipotesi, in quanto molte delle campagne POEM e successive sono state prevalentemente condotte in mesi estivi, e poco è noto sulla circolazione nei mesi invernali. Inoltre vaste aree dello Ionio Meridionale in prossimità della costa Africana, da quegli anni sino ad oggi, sono state scarsamente esplorate da un punto di vista oceanografico.

**Osservazioni**

L'analisi dei dati da satellite, efficace a partire dagli anni 90 sia per lo sviluppo tecnologico dei sensori utilizzati che per il numero di strumenti operativi, ha sollevato tuttavia alcuni dubbi sulle precedenti ipotesi. Studi effettuati sulla base di SST (*Sea Surface Temperature*) che includono anche i periodi invernali (nonostante la copertura nuvolosa) hanno evidenziato in diverse zone del Mediterraneo Orientale, ma anche nel Canale di Sicilia, una ipotesi di percorso dell'acqua Atlantica (più fredda rispetto alle masse d'acqua residenti) più attendibile rispetto a precedenti osservazioni (Hamad ed altri, 2005). Tali ipotesi sono confermate anche da recenti esperimenti di boe rilasciate nel Canale a partire dagli anni 90 (Poulain e Zambianchi, 2007); anche se l'analisi di questi dati è

difficile per l'estrema variabilità delle traiettorie riscontrate, sembra emergere che l'estensione di MAW nello Ionio Settentrionale si verifichi occasionalmente.
In tal senso è probabile che l'integrazione di differenti tipologie di dati da *remote sensing* e dati 'in situ' fornisca ulteriori elementi per dedurre la dinamica oceanografica con un maggior grado di attendibilità. Il contributo presentato in questo studio si riferisce in particolare all'utilizzo delle mappe di CHL-a, ottenute giornalmente dal sensore MODIS operativo sui satelliti Terra ed Aqua, che appare promettente nell'area in esame.
In figura 2 è mostrato un pattern di CHL-a comparato con una mappa di SSH (*Sea Surface Height*) derivata da dati altimetrici. I dati altimetrici sul Mediterraneo sono forniti da Ssalto/Duacs e distribuiti da AVISO, con il supporto del CNES (Agenzia Spaziale Francese). La mappa altimetrica mostrata in figura è una ADT (*Absolute Dynamic Topography*), ovvero una stima della altezza assoluta della colonna d'acqua, che teoricamente (ovvero, se fosse esatta) costituirebbe una stima diretta del flusso superficiale. Tale misura è alquanto delicata in quanto in essa è contenuto (e stimato) il segnale del geoide, che potrebbe incidere sensibilmente sulle altezze (in cm.) riportate nella mappa. Per questa ragione il dato altimetrico più comunemente usato è SLA (*Sea Level Anomaly*), ovvero le anomalie di altezza della superficie stimate rispetto al geoide. Tuttavia recenti missioni di satelliti geodetici hanno evidentemente portato notevoli miglioramenti nella stima della forma del geoide nell'area del Mar Mediterraneo (Rio ed altri, 2007), con il risultato mostrato in figura 2 che le linee di corrente stimate da dati altimetrici sono plausibili, trovando un riscontro nelle mappe di CHL-a. D'altro lato, questa osservazione è anche una conferma che la CHL-a sembra essere un efficace tracciante della circolazione superficiale nel Canale di Sicilia.

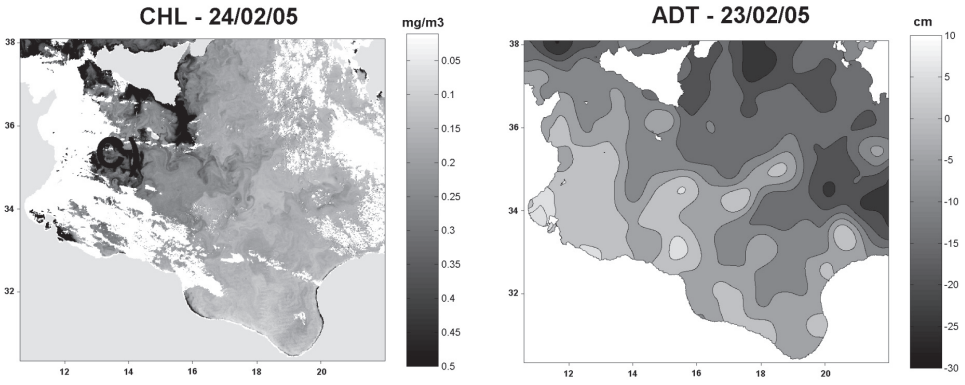



*Figura 2. Pattern superficiale di CHL-a (sinistra) e relativa mappa altimetrica di altezza assoluta (ADT, Absolute Dynamic Topography) della superficie marina (a destra).*

Questa circostanza, tuttavia, è limitata ad essere una caratteristica peculiare dell'area del Canale di Sicilia e dello Ionio. Tali tratti di mare infatti sono interessati da una notevole produzione primaria in prossimità delle coste Siciliane, dovuta all'*upwelling* lungo la costa meridionale in estate e dal flusso lungo le coste dell'Italia continentale di acque ricche di nutrienti provenienti dal Mar Adriatico, ed in quanto tali, i pattern di CHL-a risultano particolarmente visibili ed adatti ad essere considerati dei traccianti.
L'analisi del pattern di CHL-a in figura 2, relativo all'inverno 2005, mostra un flusso uscente dal Canale principalmente diretto verso Sud Ovest, nonostante una temporanea oscillazione verso il centro del bacino Ionico. Si nota inoltra che il flusso uscente dal Canale non lambisce la costa Africana, piuttosto esce dal centro della sezione di uscita, in qualche modo richiamando la topografia batimetrica visibile in figura 1. Come terzo punto, si nota che a sud della punta

meridionale Siciliana, il flusso di MAW è sensibilmente deviato verso Sud, lungo il ripido versante dello Ionian slope. Tali osservazioni sono confermate anche dalle immagini illustrate in figura 3, per gli inverni 2003 e 2004, i cui pattern sono molto simili rispetto all'inverno 2005.

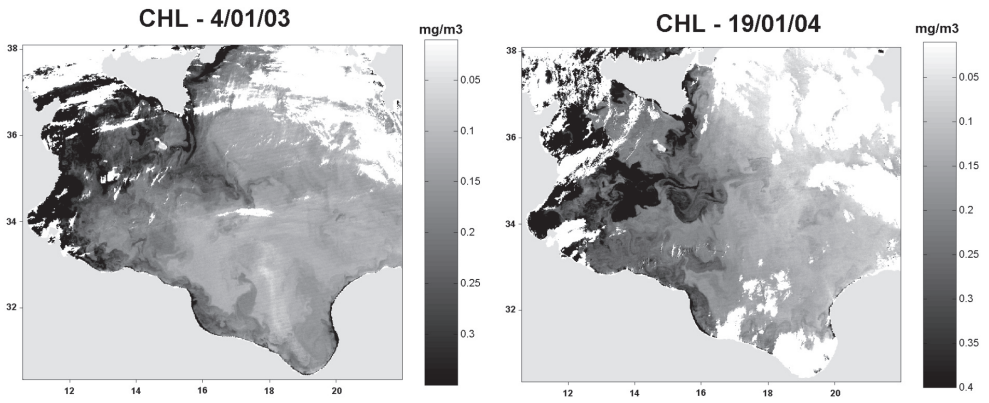



*Figura 3. Pattern superficiale di CHL-a in Gennaio 2003 (a sinistra) e Gennaio 2004 (destra). Le nuvole sono mascherate in bianco.*

**Conclusioni**

Dall'analisi dei pattern di CHL-a nel Canale di Sicilia e nello Ionio Meridionale la circolazione invernale delle acque superficiali, caratterizzata dal transito da Ovest verso Est di MAW (Modified Atlantic Water), presenta aspetti ricorrenti negli anni dal 2003 al 2005. In particolare, il deflusso di MAW in prossimità della costa meridionale siciliana appare sensibilmente deviato verso Sud, lungo le batimetriche del ripido *Ionian slope*. C'è da ritenete che la prevalenza della direzione del flusso verso Sud-Est nella stagione invernale sia particolarmente influente in termini di circolazione media annuale, in quanto in tale stagione i venti da NW predominano nello Stretto e sono uno dei fattori che incrementano l'intensità del flusso nel Canale (Poulain e Zambianchi, 2007).

**Bibliografia**

Hamad N., Millot C., Taupier-Letage I., 2005. A new hypothesis about the surface circulation in the eastern basin of the Mediterranean Sea. Progress In Oceanography, Volume 66 , Issue 2-4, Pages 287-298.

Lacombe, H., and Tchernia, P. (1972). Caracterès hydrologiques et circulation des eaux en Mèditerranèe. In D.Stanley (Ed.), Mediterranean Sea (pp. 25-36). Stroudsburg:Dowden, Hutchinson and Ross.

Lermusiaux P.F.J. and A.R. Robinson, 2001. Features of dominant mesoscale variability, circulation patterns and dynamics in the Strait of Sicily. Deep Sea Research I, 48 (2001), pp. 1953-1997.

Malanotte-Rizzoli P., Manca B.B., Ribera D'Alcalà M., Theocaris A., Bergamasco A., et al., 1997. A synthesis of the Ionian Sea hydrography, circulation and water mass pathways during POEM-Phase I. Progress in Oceanography, vol 39, pp. 153-204.

Manca B.B, Ursella L. and P. Scarazzato, 2002. New developments of Eastern Mediterranean Circulation based on hydrological observations and current measurements. Marine Ecology, 23, 237-257.

Millot C. and I. Taupier-Letage, 2005. Circulation in the Mediterranean Sea. In: The Mediterranean Sea, Handbook of Environmental Chemistry. Saliot A. (Ed.), Springer-Verlag, Berlin, vol. 5, Part K, 9-66.
Nielsen, J. N. (1912). Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters. Report of the Danish Oceanographic Expedition 19809-1910 to the Mediterranean and adjacent waters, 1 , 77-192.
Ovchinnikov, I.M. (1966). Circulation in the surface and Intermediate layers of the Mediterranean. Oceanology, 6, 48-59.
Poulain P.-M. and E. Zambianchi, 2007. Surface Circulation in the central Mediterranean Sea as deduced from lagrangian drifters in the 1990s. Continental Shelf Research, vol 27, iss. 7, 981-1001.
Rio M.-H, Poulain P.-M., Pascual A., Mauri E., Larnicol G. and R. Santoleri, 2007. A Mean Topography of the Mediterranean Sea computed from altimetric data, in-situ measurements and a general circulation model. Journal of Marine systems, 65 (2007), 484-508.

# IL SISTEMA ECOGRAFICO CATASTALE DELLA REGIONE UMBRIA

Ambra CIARAPICA (*), Lucia PANNUTI (*), Orietta NICIARELLI (*), Paolo TAMAGNINI (*), Domenico BERTOLDI (*), Giammario CANESCHI (*), Candida BURANI (**)

(*) Regione Umbria – Direzione Ambiente Territorio e Infrastrutture – Servizio Informatico/Informativo: geografico, ambientale e territoriale - via M. Angeloni 61, 06124 Perugia; tel. 075/5045909; fax 075/5045566; e-mail: aciarapica@regione.umbria.it, lpannuti@regione.umbria.it, oniciarelli@regione.umbria.it, ptamagnini@regione.umbria.it, dbertoldi@regione.umbria.it, gcaneschi@regione.umbria.it.
(**) Consorzio Sir Umbria; via Settevalli 11, 06129 Perugia; e-mail: c.burani@sir.umbria.it.

**Abstract**
Il Sistema ecografico catastale, uno dei progetti di riferimento dell'e-government della Regione Umbria, intende dematerializzare e ricomporre su scala regionale il dato ecografico detenuto dai Comuni umbri, attraverso processi di cooperazione applicativa della Pubblica Amministrazione.
L'esigenza alla base dell'avvio del sistema ecografico catastale è l'integrazione e l'automatizzazione, mediante l'impiego delle tecnologie GIS, dell'informazione territoriale detenuta dai Comuni in forma frammentaria e povera di riferimenti localizzativi certi.

Il progetto ha perseguito i seguenti obiettivi:
- dotare la Regione Umbria e i Comuni umbri di una infrastruttura unificata per l'interscambio e l'integrazione automatica delle informazioni ecografico catastali prodotte autonomamente da più soggetti per i loro scopi istituzionali, al fine di realizzare una comune base geografica di riferimento confluente in un'ottica di sistema;
- integrare e migliorare i sistemi informativi territoriali locali esistenti, che gestiscono l'informazione ecografico catastale, raggiungendo così uno standard regionale partecipato e condiviso.

Il progetto realizza inoltre lo strato informativo necessario per l'integrazione delle informazioni di fonte comunale e catastale, evolvendo l'architettura tecnologica dei Sistemi Informativi Territoriali verso una Infrastruttura di Dati Territoriali (IDT), basata su criteri di interoperabilità e standardizzazione.

**Abstract**
The Cadastral Echographical System, one of the Umbrian reference projects of the E-government area, intends to decompose and reassemble too on regional scale the echographic datum held by the Umbrian Councils, through Applicatory Cooperation Process of the Public Administration.
The demand to start on the Cadastral Echographical System is to complete and automate the territorial information that Councils hold in fragmentary and poor reference form, by using G.I.S. technologies.
The project pursues the following objectives:
- Provide both the Umbria area and Councils of an unified infrastructure for either exchange or automatic integration of the Cadastral Echographical Information, autonomously produced by several subjects for their institutional purposes, in order to realize one common basic geographic reference in a system optics;
- Integrate and improve the existing local Territorial Information System, that manage the Cadastral Echographical Information, attaining one's regional standard.

Furthermore the project realizes the informative layer necessary for the municipal and cadastral source integration, gods evolving the technological architecture of the Territorial Information System directing into a Territorial Data Infrastructure (IDT), based on criteria of interoperability and standardization too.

**Finalità del Sistema**

Il Sistema ha realizzato l'obiettivo di:

- dotare ciascuno dei 92 Comuni umbri di una banca dati ecografico catastale, secondo lo standard definito dalla Regione Umbria;
- organizzare una struttura presso la Regione Umbria preposta a svolgere a livello regionale il coordinamento della raccolta e la verifica della comparabilità dei dati ecografici provenienti da ogni singola banca dati comunale;
- predisporre il mantenimento e lo sviluppo di appositi servizi che consentono di consultare il piano ecografico, avvalendosi degli strumenti offerti dalla struttura regionale di cooperazione applicativa (CSRUCA – Centro Servizi Regione Umbria di Cooperazione Applicativa).

**Descrizione del progetto**

Il progetto riguarda la realizzazione:

- di un archivio fondamentale di riferimento territoriale mediante la creazione di una banca dati GIS ecografico catastale;
- di applicazioni software per l'aggiornamento della banca dati GIS ecografico catastale per l' integrazione e l'aggiornamento delle informazioni presenti presso i Comuni e la loro ricomposizione sul livello regionale;
- di componenti software per l'invio degli aggiornamenti in cooperazione applicativa tramite il CSRUCA.

Per costituire il primo impianto della banca dati regionale sono state valutate per ogni Comune, la disponibilità ed eventuale copertura, la validità e il livello di aggiornamento degli archivi esistenti. Tale indagine è stata svolta dal Consorzio SIR Umbria (Consorzio degli enti locali umbri per lo sviluppo dei sistemi informativi regionali) ed ha prodotto la seguente classificazione:

- Comuni di Fascia A in cui è necessaria la realizzazione ex- novo della Banca dati ecografico catastale;
- Comuni di Fascia B che hanno realizzato o hanno in corso di realizzazione una banca dati ecografico catastale che dovrà essere resa coerente con lo standard regionale.

*Fig. 1 - Comuni di Fascia A e B*

Sulla base di questa classificazione, al fine di disporre di una banca dati ecografico catastale completa e coerente di livello regionale, sono state ipotizzate tre fasi, distinte secondo attività di intervento sequenziali:

1. Un livello base che prevede di dotare ogni singolo Comune di fascia A di un archivio fondamentale di riferimento territoriale, quale la Banca dati GIS ecografico catastale;
2. Un secondo livello di completamento, aggiornamento e adeguamento coerente allo standard regionale delle banche dati ecografico catastali esistenti o di quelle in corso di realizzazione presso i Comuni di fascia B;

3. La banca dati GIS ecografico catastale regionale risultante dal livello 1 e 2, potrà essere ulteriormente ampliata attraverso l'individuazione e la memorizzazione delle unità immobiliari di ogni singolo fabbricato, arricchita di ulteriori riferimenti amministrativo-territoriali.

## Le componenti del sistema

### *La Banca Dati*

La banca dati (DB ECO-CAT) nasce dall'incrocio e dall'integrazione di dati alfanumerici e territoriali provenienti da fonte di rilevazione diversa (terrestre, aerofotogrammetrica, satellitare, ecc...), attraverso l'utilizzo di tecnologia di tipo misto GIS/RDBMS.
Gli elementi costituitivi della banca dati rilevati su tutto il territorio regionale, sono individuati nelle informazioni ecografiche di titolarità comunale correlate con la viabilità comunale, la numerazione civica e la codifica degli edifici. La banca dati si basa su entità standard di tipo relazionale ed è strutturata secondo classi informative che per loro natura e livello di fruibilità possiedono una sufficiente significatività e un grado di autonomia rispetto alla struttura concettuale complessiva. Lo schema concettuale della banca dati si articola secondo tre strati informativi identificabili come "Civici ", "Stradario" ed "Edificato" (Fig. 2).

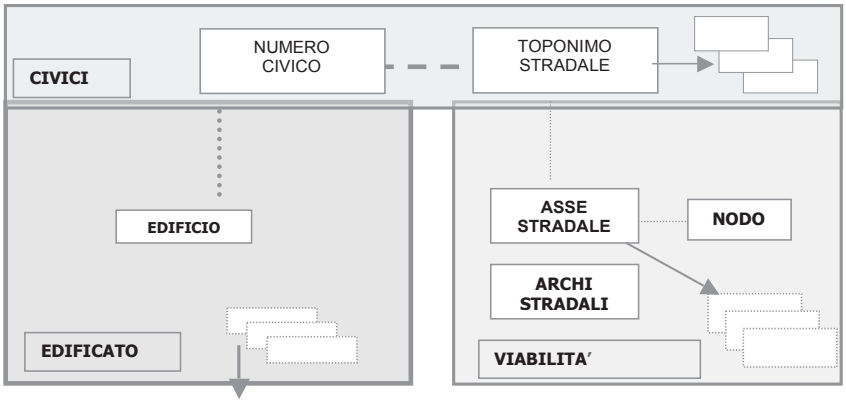



*Fig. 2 - Principali entità dello schema concettuale della DB ECO-CAT*

Il popolamento della Banca Dati

Per ogni Comune di fascia A sono state reperite, analizzate, incrociate e normalizzate - avvalendosi anche di software dedicati - le fonti dati disponibili in loco relativamente alla toponomastica, all'anagrafe della popolazione residente, ai tributi, alla cartografia dei numerici civici e ad ogni altra fonte individuata in sede di analisi. Si è prodotta in tal modo una prima banca dati del Comune, contenente gli elenchi delle vie e dei civici considerati come "affidabili", utilizzata come supporto per la successiva fase di censimento da svolgere con rilievo sul campo. Successivamente è stata realizzata una cartografia di base (utilizzando principalmente Catasto, CTR e ortofoto), con edifici e numeri civici "certi", in modo da fornire ai rilevatori estratti di mappa.

Sulle mappe realizzate per effettuare il successivo rilievo sul terreno sono stati così rappresentati gli edifici, i civici cartografati e le strade con relativo toponimo. La fase di rilevamento dei dati è stata condotta tramite una campagna di rilievo sul luogo da parte di apposite squadre di rilevatori addestrati e adeguatamente supportati dai materiali sopra descritti.

Ciascun rilevatore ha effettuato le seguenti verifiche ed operazioni, riportandole sulla mappa:

- esattezza della toponomastica stradale e della numerazione civica relativa alla singola strada;
- corrispondenza delle relazioni tra numeri civici ed edifici;
- corrispondenza tra la situazione edilizia indicata in mappa e quella reale introducendo nuove strade, nuovi edifici, edifici demoliti, inesattezze nelle sagome degli edifici sulla mappa;
- inserimento di tutti gli ingressi del fabbricato (tabellati e non) e gli accessi esterni al fabbricato in cui è presente una numerazione civica.

Queste annotazioni sono state poste a base per l'aggiornamento della banca dati della toponomastica, per il completamento della anagrafe edilizia e per eventuali approfondimenti e rilievi da effettuare. I dati rilevati sul territorio sono stati informatizzati e fatti confluire, tramite procedure WEB di upload, nella banca dati comunale integrandola, correggendola e completandola dopo aver superato i controlli di completezza, consistenza, congruenza e confronto con le banche dati acquisite in fase preliminare.

***I software applicativi***

L'insieme dei moduli software che compongono l'ambiente applicativo sono articolabili in:

Software di Gestione

Il software di gestione realizzato permette di organizzare le relazioni tra numerazione civica, fabbricati, unità immobiliare e stradario comunale, in modo da poter attribuire ad ogni fabbricato uno o più numeri civici che danno accesso alle varie unità immobiliari, che ricadono sulla viabilità comunale.

Il software permette di inserire, modificare e visualizzare sia dati alfanumerici che geo-metrici dei tre strati informa-tivi principali del sistema ecografico catastale (civici, stradario ed edificato) (Fig. 3). La gestione del sistema si sviluppa attraverso la strut-turazione e il controllo delle banche dati dello stradario comunale, della numerazione civica e dell'anagrafe immo-biliare unica, intesa quale censimento di tutti i fabbricati e unità immobiliari presenti sul territorio comunale.

*Fig. 3 – Trattamento della scheda Fabbricati*

Software di Interscambio

Il progetto ha realizzato e messo a disposizione degli Enti gestori delle informazioni ecografiche gli applicativi che attraverso gli strumenti di cooperazione applicativa, permettono di alimentare in tempo reale la banca dati territoriale regionale.

Gli aggiornamenti di ogni Database ecografico catastale comunale sono replicati nella Banca Dati regionale per tutti gli eventi di aggiornamento delle classi presenti nelle stesse.

La comunicazione e l'infrastruttura di cooperazione applicativa per l'aggiornamento dei dati da ogni Comune verso la Regione è garantita dal CSRUCA.

Il software di interscambio così sviluppato svolge le seguenti funzioni:

1. LATO EROGATORE DEL SERVIZIO: trasforma l'aggiornamento in banca dati (evento) nel formato .xml utilizzando lo schema appropriato ed effettua la chiamata del servizio esposto dalla porta di Dominio;
2. LATO FRUITORE DEL SERVIZIO: riceve la notifica di variazione relativa ad un evento e inoltra il documento ricevuto al Web Service regionale, il quale decodifica il documento .xml conforme al relativo schema ed effettua il corrispondente aggiornamento nel data base regionale.

Nel considerare le diverse infrastrutture e sistemi informativi di cui sono dotati i Comuni, l'invio degli aggiornamenti alla banca dati territoriale regionale avviene utilizzando la busta di e-Gov e i gateway applicativi in conformità allo standard SPCoop.

I servizi di cooperazione applicativa, attraverso i quali attuare lo scambio dati e le richieste di servizi territoriali, riguardano tutte le classi di dati previste dalla banca dati ecografico-catastale.

**La Cooperazione Applicativa**

Il progetto ha sviluppato differenti architetture di cooperazione applicativa per adeguarsi al meglio rispetto alle specificità di ogni Comune, secondo le quattro opzioni di seguito raffigurate (Fig. 4):

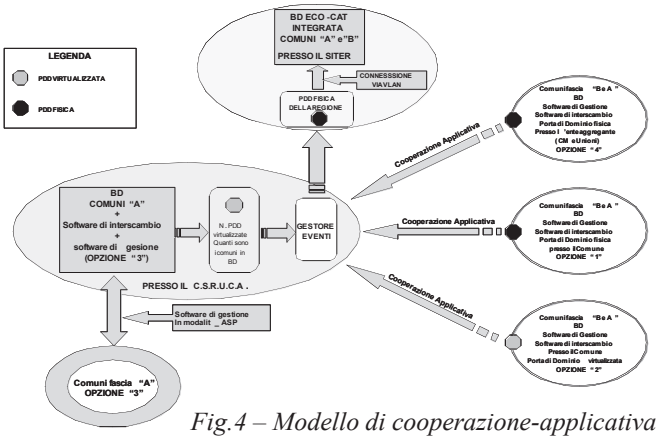



*Fig.4 – Modello di cooperazione-applicativa adottato*

Opzioni:

1. Il s/w di gestione, il s/w di interscambio, la banca dati e la Porta di dominio per inviare gli aggiornamenti sono collocati fisicamente presso il Comune;
2. Il s/w di gestione, il s/w di interscambio e la banca dati sono collocati presso il Comune mentre la Porta di dominio per inviare gli aggiornamenti è collocata nel CSRUCA;
3. Il s/w di gestione è messo a disposizione dalla Regione al Comune in modalità ASP; la banca dati e il s/w di interscambio sono collocati presso la Regione;
4. Il s/w di gestione, il s/w di interscambio, la banca dati e la Porta di dominio per inviare gli aggiornamenti sono collocati presso un Ente che raggruppa più Comuni.

Il modello che ne consegue si articola secondo queste componenti:

a) Presso la Regione è installata la "Banca dati ecografico-catastale integrata", relativo software di consultazione per gli utenti regionali e la componente del software di interscambio, necessaria alla memorizzazione dei dati provenienti dai Comuni di Fascia A e B via cooperazione applicativa, indipendentemente dall'opzione architetturale scelta. La porta di dominio utilizzata per la ricezione dei dati è quella regionale;
b) Presso i Comuni aderenti all'opzione 1 viene installata la Banca Dati ecografico-catastale di ambito comunale, relativo software di modifica/consultazione per gli utenti comunali e la componente del software di interscambio, necessaria all'invio dei dati al sistema regionale via cooperazione applicativa. La porta di dominio per l'invio dei dati è installata fisicamente presso il Comune stesso;
c) Presso i Comuni aderenti all'opzione 2 viene installata la Banca Dati ecografico-catastale di ambito comunale, relativo software di modifica/consultazione per gli utenti comunali e la componente del software di interscambio, necessaria all'invio dei dati al sistema regionale via cooperazione applicativa. La porta di dominio per l'invio dei dati è "virtualizzata" presso il CSRUCA;

d) Presso gli enti aggreganti dei Comuni aderenti all'opzione 4 viene installata la Banca Dati ecografico-catastale dei rispettivi ambiti comunali, relativo software di modifica/consultazione per gli utenti comunali e la componente del software di interscambio necessaria all'invio dei dati al sistema regionale via cooperazione applicativa. La porta di dominio per l'invio dei dati è installata fisicamente presso l'ente aggregante;
e) Presso il CSRUCA viene installata la Banca Dati Ecografico-Catastale dei Comuni aderenti all'opzione architetturale 3. Tali Comuni accedono in consultazione/modifica ai dati di propria competenza, attraverso un'istanza del software di gestione, installata sempre presso il CSRUCA così come anche la componente del software di insterscambio necessaria all'invio dei dati al sistema regionale. La porta di dominio utilizzata per l'invio dei dati è "virtualizzata" presso il CSRUCA.

Tutte le comunicazioni avvengono attraverso la rete COMNET Umbria, una rete IP per la interconnessione Internet-Intranet della P.A. che consente ad ogni Ente di interoperare in modalità Intranet con qualsiasi altro Ente umbro o della Rete Nazionale. COMNET Umbria implementa il modello di Rete Nazionale definito dal Centro Tecnico della Presidenza del Consiglio.

**Gli attori del sistema e i relativi ruoli**

Gli Enti e le strutture coinvolte nel progetto sono:

- *REGIONE UMBRIA*. Il "Servizio Informatico/Informativo: geografico, ambientale e territoriale" regionale sovrintende e gestisce gli archivi ecografici catastali, coordina e controlla il processo di costituzione delle banche dati ecografico-catastali comunali, interfacciandosi, quando necessario, con altri enti sovra-regionali per l'interscambio delle informazioni e per l'applicazione degli opportuni standard; produce e rende disponibili le banche dati cartografiche di riferimento (archivi di confronto), coordina e favorisce l'attività di catalogazione dei dati e dei relativi metadati e sovrintende alla loro pubblicazione e diffusione;
- *CSRUCA (Centro Servizi Regione Umbria per la Cooperazione Applicativa)*. Compito del Centro è mantenere in linea i sistemi di comunicazione tra gli enti coinvolti;
- *SIR Umbria (Consorzio degli enti locali umbri per lo sviluppo dei sistemi informativi regionali)* Il Consorzio cura la stipula di Accordi per l'adesione dei Comuni alla realizzazione del progetto, supporta la Regione durante la realizzazione del progetto;
- *COMUNI*. I Comuni sono gli attori "protagonisti" dell'attività di raccolta, controllo, verifica e gestione delle informazioni ecografico-catastali di proprio diretto interesse, in quanto costituiscono la base geografica per la georeferenziazione di altre informazioni derivanti da archivi comunali di tipo anagrafico, tributario e tecnico. La titolarità degli archivi ecografici è dei Comuni che garantiscono la loro archiviazione, il mantenimento ed il loro aggiornamento;
- *ALTRI ENTI*. Tra gli Enti coinvolti nel Progetto figurano l'Unione dei Comuni dell'Olio e del Sagrantino e la Comunità Montana Monti del Trasimeno che affiancano e supportano alcuni Comuni nel garantire l'attività di gestione delle informazioni ecografico-catastali;
- *AGENZIA DEL TERRITORIO*. L'Agenzia del Territorio fornisce la base cartografica (in formato cxf) necessaria per l'acquisizione dei dati afferenti le varie classi della Banca dati e fornisce il censuario da integrare con le informazioni ecografiche al fine di effettuare il collegamento degli edifici alle unità immobiliari urbane.

**Conclusioni**

I risultati attesi alla messa a regime del sistema riguardano:

- l'incremento quali/quantitativo dei servizi all'impresa e al cittadino;
- il miglioramento della produttività della pubblica amministrazione in un'ottica di sistema;
- lo sviluppo tecnologico di settori connessi alle attività di trasformazione urbana e territoriale;
- la reale possibilità di attivare la compartecipazione dei soggetti nei processi decisionali che attengono le trasformazioni territoriali.

In particolare ogni Comune umbro, utilizzando la banca dati così realizzata, potrà incrociare i dati territoriali e fiscali per individuare evasioni di natura tributaria e potrà altresì disporre di un iniziale livello informativo per costituire il primo nucleo dell'Anagrafe Edilizia comunale.

# NUOVI METODI PER LA CARTOGRAFIA DEL RISCHIO DA INONDAZIONE MARINA: L'ESPERIENZA IN EMILIA-ROMAGNA

Paolo CIAVOLA (*), Clara ARMAROLI (*), Marinella MASINA (*), Luisa PERINI (**), Paolo Luciani (**)

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara, Via Saragat 1, 44100, Ferrara, e-mail cvp@unife.it
(**) Serv. Geol., Sism. e dei Suoli, RER., V.le Silvani, 4/3, 40122, Bologna, e-mail LPerini@regione.emilia-romagna.it

**Riassunto**

Nel presente contesto delle variazioni climatiche e dell'innalzamento del livello marino riveste una particolare importanza la cartografia delle zone costiere per quanto riguarda il rischio da inondazione marina. La Regione Emilia-Romagna ha recentemente completato una cartografia di dettaglio del rischio di inondazione in condizioni di mareggiata estrema ed acqua alta. Lo studio si è avvalso delle più moderne tecnologie *Lidar* per la definizione di un modello digitale del terreno con maglia metrica ed ha incluso un calcolo delle massime quote di risalita della lama d'acqua in condizioni di mareggiata. Sono stati considerati eventi con periodo di ritorno di 1, 10 e 100 anni ed è stata elaborata una legenda per l'identificazione del tipo di impatto previsto, discriminando zone protette da difese costiere, zone con insediamenti, fasce dunari, etc. Lo studio ha concluso che anche un evento combinato con un basso periodo di ritorno mette già a rischio buona parte della costa in questione. Si auspica che ora tali risultati vengano utilizzati nell'ambito della pianificazione territoriale e per scopi di mitigazione del rischio in protezione civile.

**Abstract**

Climate changes and the consequent sea level rise are main issues for many countries around the world. Risk maps for costal areas are very important for coastal managers in order to define which are the areas that can be harmed and affected by marine storms. The Emilia Romagna Region has recently developed a cartography of coastal risk. In the present study two Lidar surveys were used to create a digital terrain model with 1 m resolution. Several profiles were extracted from Lidar data to evaluate wave run-up during storm events. Three scenarios were considered: 1, 10, 100 years return periods. The water elevation for each return period due to storm surge was added to maximum spring tidal elevation (+0.45 m above MSL) and to run-up to define the *worst-case scenario*. Different impact categories were described and the relative legend was defined and put inside a GIS (ArcView). The impact of storms was evaluated for natural areas with dunes, areas protected by coastal defences and urbanised zones. The results show that urbanised areas are especially, at risk even for the event with a 1 year return period. These results now are useful for coastal managers to define which are the priorities of intervention and to prevent irreversible storm damages.

**Introduzione**

L'analisi del rischio da inondazione delle aree costiere derivante da fenomeni meteomarini energetici sta diventando sempre più importante nel mondo ai fini della pianificazione territoriale e per scopi di Protezione Civile. Nel quadro dei cambiamenti climatici infatti le Autorità di tutto il mondo si stanno sempre di più confrontando con spese insostenibili per ripristinare le aree colpite da fenomeni di carattere estremo, nonché con situazioni disastrose alcune delle quali hanno portato (ad es. l'uragano Katrina, New Orleans) a drammatiche conseguenze. Come risultato della crescente attenzione mondiale alle tematiche ambientali ed,. in particolare, ai fenomeni di carattere estremo, un nuovo progetto europeo (MICORE, Morphological Impact and COastal Risks induced by Extreme storm events) è stato finanziato, nell'ambito del VII Programma Quadro (contratto 202798). Tale progetto intende valutare il rischio da erosione ed inondazione lungo le aree costiere di vari paesi europei e sviluppare dei sistemi di allerta in grado di prevenire effetti negativi irreversibili sulle cose e sulle persone (www.micore.eu).
Nell'ambito degli studi finalizzati a supportare le attività di pianificazione territoriale regionale e subordinata e la Gestione Integrata della Fascia Costiera in Emilia Romagna, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, in cooperazione con l'Università di Ferrara, ha voluto creare una cartografia del rischio da mareggiata a cui è soggetta la costa. Tale cartografia è utile come strumento di gestione del territorio e come quadro d'insieme delle possibili problematiche di protezione civile che si potrebbero generare in occasione di tempeste marine.
Il presente lavoro fornisce informazioni in merito alla metodologia usata e consente di conoscere le classi di rischio che interessano le coste romagnole.
I risultati finora ottenuti riguardano metà del litorale ed, in particolare, il tratto costiero compreso tra la Foce dei Fiumi Uniti (Ravenna) e Rimini (Figura 1). Tale area è stata suddivisa in tre tratti: CESA nord e sud (zone tra Lido di Dante e Savio, tra Savio e Cesenatico) e RICE (zona tra Cesenatico e Rimini).

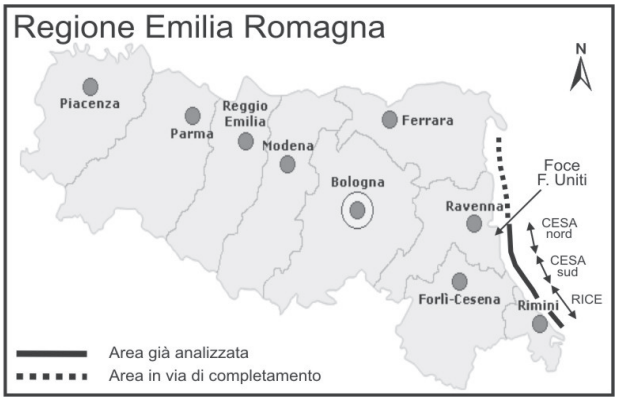



Figura 1 - *Carta di localizzazione delle aree oggetto del presente studio in Emilia Romagna.*

Tale area presenta al suo interno (CESA nord e sud) una delle poche zone naturali ancora rimaste sulle coste romagnole (provincia di Ravenna). Qui si trovano cordoni dunari continui, all'interno del Parco Naturale del Delta, associati a zone umide ed ad un'estesa pineta. L'importanza naturalistica di tale area implica la necessità di preservarla sia per il suo valore ambientale sia per la conservazione della biodiversità animale e vegetale.
La zona che si estende da Cesenatico fino a Rimini invece è totalmente antropizzata, con centinaia di strutture balneari sulla spiaggia e un continuum di strutture alberghiere e di ristoro per i visitatori. Il numero di presenze turistiche durante l'estate 2007 ammonta a quasi 5 milioni di persone (http://www.osservatorioturismo.emr.it/index.htm). Da ciò si evince quanto sia importante conoscere l'effetto delle tempeste sulla costa a causa soprattutto del suo elevatissimo valore economico.

**Sviluppo del metodo**

Lo studio dell'impatto delle mareggiate sulla morfologia costiera è stato condotto mettendo a confronto due rilievi topografici ad alta risoluzione, ottenuti con tecnologia *Lidar*, il primo dei quali eseguito dall'Ente Nazionale Idrocarburi nel Luglio del 2003 ed il secondo realizzato a fine Settembre 2004 dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna in collaborazione con l'Istituto Cartografico della Catalogna. Dettagli sulle caratteristiche strumentali, sui parametri di volo e sulle proprietà del DTM associato a quest'ultimo rilievo sono riportati da Ciavola et al. (2006). Nonostante un lungo intervallo di tempo separi i due rilievi, quello fornito da ENI è stato assunto come riferimento nella definizione dello stato della spiaggia emersa, potendo supporre che i profili che se ne estraggono riflettano la caratteristica forma di un profilo "normale" (*calm weather profile*) associata a condizioni di moto ondoso, disponibilità e tipologia di sedimenti tipiche del periodo estivo.
Le principali componenti che occorre quantificare ed incrociare quando si effettuano analisi di previsione degli impatti riguardano, da un lato, le forzanti meteomarine e, dall'altro, le caratteristiche topografiche e morfologiche di dettaglio delle spiagge e dei cordoni dunari. È stato quindi adottato un approccio valutativo di tipo statistico-modellistico che, considerando le peggiori condizioni possibili (*worst-case scenario*), anche ai fini della configurazione di uno strumento utile alla gestione preventiva ed alla pianificazione strategica del territorio, tiene conto della quota di massima risalita del livello del medio mare (sopralzo) per effetto dell'occorrenza simultanea dei fenomeni di acqua alta *(storm surge),* marea eccezionale e *run-up*. Altezza d'onda e sovralzo atmosferico sono stati parametrizzati prendendo in considerazione eventi di mareggiata con periodo di ritorno di 1, 10 e 100 anni e caratterizzati su base bibliografica. Le condizioni di moto ondoso al largo sono state derivate dalle analisi statistiche svolte sulle osservazioni effettuate presso la piattaforma Agip P.C.B. (situata 20 km al largo di Ravenna, su un fondale di 25 m) nel periodo 1971-1983 (Idroser, 1996). Altezza d'onda significativa e periodo sono stati quindi calcolati per ciascun tempo di ritorno eseguendo una media dei valori di $H_s$ e $T$ relativi ai settori direzionali più significativi per l'esposizione del tratto costiero oggetto di studio, ovvero per le direttrici che variano tra 30° e 120° (Tabella 1). I valori di sopralzo atmosferico *(storm surge)* utilizzati sono stati ricavati dalle analisi condotte da Yu et al. (1998) e sono il risultato di simulazioni numeriche bidimensionali che tengono in considerazione unicamente variazioni del fattore di intensità del vento.

*Tabella 1 – Valori di $H_s$ e T per eventi di mareggiata con periodo di ritorno di 1, 10 e 100 anni (Idroser, 1996) e valori di sopralzo atmosferico (m) per i periodi di ritorno di 1, 10 e 100 anni (Yu et al., 1998)*

| **Moto ondoso** | ***T1*** | | ***T10*** | | ***T100*** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Direzione* | $H_s$ *(m)* | *T (s)* | $H_s$ *(m)* | *T (s)* | $H_s$ *(m)* | *T (s)* |
| 30° | 3.3 | 7.2 | 4.7 | 8.2 | 5.8 | 9.0 |
| 60° | 3.6 | 7.4 | 4.9 | 8.3 | 6.2 | 9.2 |
| 90° | 3.5 | 8.4 | 4.9 | 9.6 | 6.2 | 10.7 |
| 120° | 2.8 | 7.8 | 4.2 | 9.4 | 5.5 | 10.8 |
| *Valori medi* | *3.3* | *7.7* | *4.7* | *8.9* | *5.9* | *9.9* |
| *Sovralzo (m)* | 0.85 | | 1.039 | | 1.28 | |

La valutazione dell'impatto sulla costa viene poi eseguita assumendo che l'evento estremo si verifichi in concomitanza di un'alta marea sizigiale, e cioè aggiungendo 0.45 m al livello statico del medio mare (riferito al mareografo di Porto Corsini). Si è provveduto quindi al calcolo del valore di massimo *run-up*, o risalita della lama d'acqua, per ciascun tempo di ritorno, utilizzando l'espressione di Komar (1998) basata sulla formulazione empirica proposta originariamente da Holman (1986). L'applicazione della metodologia ad aree protette da scogliere, più o meno

parallele alla linea di riva, ha comportato una stima dell'attenuazione dell'energia ondosa prodotta dalla presenza delle barriere stesse per i diversi periodi di ritorno. Per il calcolo del coefficiente di trasmissione dell'altezza d'onda aldilà delle strutture è sembrato conveniente, dato che in condizioni di mareggiata estrema ed acqua alta le strutture comprese nel tratto oggetto di studio risultano sommerse, utilizzare la formula empirica proposta da Van der Meer (1990).
Sulla base dei parametri d'onda menzionati è stata quindi costruita la matrice di calcolo che ha consentito di ricavare l'elevazione massima della risalita del medio mare durante gli eventi di mareggiata con tempo di ritorno di 1, 10 e 100 anni, in condizioni di sovralzo ed alta marea, per ciascuno dei profili estratti dai modelli altimetrici. Questi sono stati tracciati seguendo le tracce della rete di monitoraggio regionale ARPA (2002), con spaziatura di 500 m. Per la zona tra Lido di Dante e Lido di Classe è stato effettuato un raffittimento delle sezioni, che ne ha ridotto la spaziatura a 250 m, per poter meglio caratterizzare le dinamiche in questa zona che è occupata da uno dei pochi sistemi dunari ancora presenti in regione. La posizione dei profili è indicata nella mappa di vulnerabilità riportata in Figura 2.
Per la valutazione dell'impatto di eventi estremi sulle fasce dunari si è fatto riferimento allo schema concettuale del Progetto *Eurosion* (http://www.eurosion.org), che individua nella dimensione del serbatoio frontale della duna (*frontal dune reservoir*) il parametro di controllo della probabilità di una sua rimozione o sopravvivenza (Armaroli et al., 2007). Sono state quindi definite 3 classi, per ciascun possibile effetto: "**intersezione profilo**", "**erosione frontale della duna**", "**scavalcamento e rimozione della duna**" (Armaroli et al., 2007). Qualora la quota di massima risalita del livello del mare durante la mareggiata non arrivi a toccare la base della duna, ma si limiti ad inondare la spiaggia, il criterio seguito prevede di esprimere tale condizione come "**intersezione profilo**".
Per la valutazione dell'impatto di eventi estremi in aree protette da scogliere emerse e soffolte o altamente antropizzate, si è confrontato il livello massimo raggiunto dal mare in base al *worst scenario* con l'elevazione di ogni singolo profilo e delle strutture antropiche presenti sulla spiaggia o nell'immediato retro spiaggia. Sono state quindi generate 3 classi di "**danneggiamento**" e/o "**scavalcamento**" delle strutture antropiche e 1 classe di "**intersezione profilo**", che si ha quando la quota raggiunta dalla lama d'acqua non supera la quota massima del profilo, ma si interseca con esso. Resta chiaro comunque che un evento estremo, per quanto rimanga confinato alla spiaggia, genera sempre fenomeni di erosione associati a trasporto di sabbia *offshore* e/o *longshore*. Non si è provveduto nell'ambito di quest'analisi ad una quantificazione della perdita dei volumi di arenile, che avrebbero richiesto l'utilizzo di un modello numerico di evoluzione trasversale, in quanto si è semplicemente voluto fornire un metodo per la sola rappresentazione della vulnerabilità della fascia costiera a fenomeni di inondazione marina, senza includere una valutazione dei rischi connessi ad altri processi o pericoli costieri, fattori episodici isolati o di carattere strutturale.

**La cartografia e le sue applicazioni**

La cartografia che rappresenta le aree a rischio è di notevole importanza al fine di una corretta pianificazione territoriale e a scopi di Protezione Civile. Le suddette classi di rischio sono state infatti rappresentate in ambiente GIS (shape file) per ciascun scenario combinato (onde+sovralzo) per ciascun tempo di ritorno. La simbologia adottata è rappresentata in Figura 2. A ciascun simbolo sono associati un insieme di attributi che consentono di interrogare rapidamente le principali caratteristiche del sito (nome della sezione, quota max raggiunta dal mare, effetto prodotto, ecc) e di visualizzare la quota di risalita del mare, per ciascun tempo di ritorno, nel caso in cui si verificasse il *worst-case scenario*.
I risultati ottenuti per le aree finora analizzate sono indicati in Tabella 2. Nella tabella sono inserite le percentuali totali calcolate rispetto al numero di profili analizzati per ciascun tratto costiero, per ciascun tempo di ritorno, distinguendo punti "**intersezione profilo**" e di "**danneggiamento**" (per ciascuna classe indicata in precedenza) che si identificano nelle aree naturali (con dune) ed in quelle antropizzate.

Tabella 2 - *Percentuale di apparizione di ciascuna classe di "effetto" del worst scenario per ciascuna area analizzata.*

| | CESA NORD (%) | | | CESA SUD (%) | | | RICE (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Effetto** | **T1** | **T10** | **T100** | **T1** | **T10** | **T100** | **T1** | **T10** | **T100** |
| Intersezione profilo | 12.5 | 0 | 0 | 26.09 | 4.35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Arretramento fronte dunare | 37.5 | 9.38 | 6.25 | 0 | 0 | 4.35 | 0 | 0 | 0 |
| Intersezione fronte dunare | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.35 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Intersezione/danneggiamento | 0 | 0 | 0 | 13.04 | 4.35 | 0 | 11.43 | 0 | 0 |
| Rimozione della duna | 25 | 59.38 | 62.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Danneggiamento strutture antropiche | 15.63 | 15.63 | 12.5 | 56.52 | 82.61 | 91.3 | 77.14 | 85.71 | 82.86 |
| Danneggiamento e possibile scavalcamento | 0 | 0 | 3.13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.86 | 5.71 |
| Inondazione retrospiaggia | 9.38 | 15.63 | 15.63 | 4.35 | 4.35 | 4.35 | 11.43 | 11.43 | 11.43 |

Dalla Tabella 2 si evince che, solo nell'area CESA sud (si veda Figura 1) si trovano dei profili in sicurezza, sia per sezioni con duna sia per sezioni senza duna, anche con tempo di ritorno dell'evento di 10 anni. Inoltre, si può notare una discreta percentuale di profili nella zona CESA nord e sud lungo i quali, per il periodo di ritorno di 100 anni, la duna viene erosa frontalmente ma non viene scavalcata o rimossa. Ciò implica che, dove le dune presentano una quota elevata rispetto al medio mare ed una notevole estensione trasversale, si verificano condizioni di solo danneggiamento delle dune. Queste ultime sono ancora in grado di fungere da protezione per le aree retrostanti.

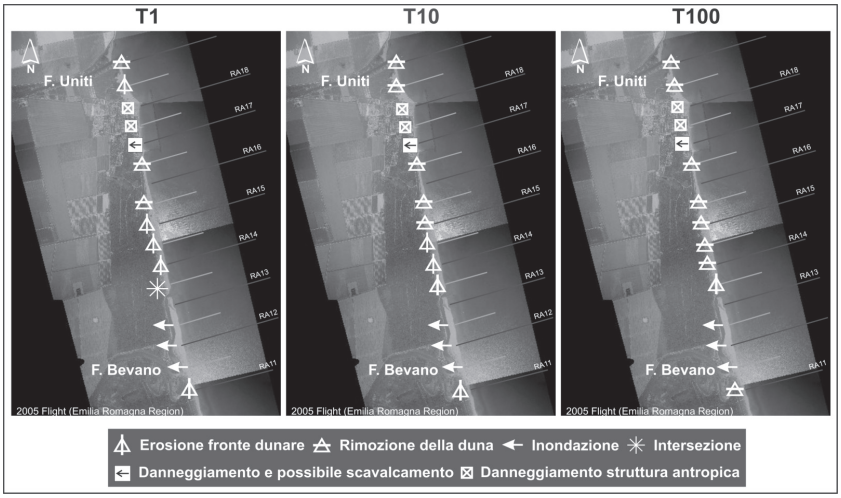



Figura 2 - *Esempio di cartografia di rischio per la zona di Lido di Dante (Ravenna) compresa tra la foce dei F. Uniti e il F. Bevano.*

La zona antropizzata del tratto RICE (Figura 1) è a rischio di danneggiamento anche con eventi con tempo di ritorno di un anno, denotando una situazione critica. Naturalmente le percentuali di condizioni di danneggiamento aumentano progressivamente tra i tre tempi di ritorno.
La cartografia del rischio associata ai risultati elencati qui sopra, restituita in ambiente GIS (shape file), consente di avere delle informazioni adeguate e rapide dello stato della costa. Un esempio di

mappa di rischio è rappresentato in Figura 2 per la zona CESA nord, nel tratto di Lido di Dante (Ravenna).
Si noti come, lungo il profilo in prossimità della foce del F. Bevano, ci sia un sistema in grado di "resistere" ad un evento estremo con periodo di ritorno di 100 anni. Le dune in questa zona hanno infatti una quota maggiore di 4 m e sono ben vegetate. Inoltre si estendono per circa 25 m in direzione trasversale (perpendicolarmente alla costa, Armaroli et al., 2005).

**Conclusioni**

Il presente lavoro ha proposto una metodologia semplice ed efficace per valutare il rischio di inondazione e danneggiamento di un litorale, fornendo informazioni di fondamentale importanza nell'ambito della gestione delle aree costiere. La qualità dei dati ottenuti consente di poter pianificare eventuali interventi e scegliere soluzioni che siano efficaci per sviluppare politiche di abbattimento del rischio. La costa dell'Emilia Romagna riveste una notevole importanza per l'economia regionale, perciò eventi di inondazione marina comporterebbero gravi perdite a livello socio-economico. Inoltre, la salvaguardia dei beni e delle persone, che si trovano nelle vicinanze del mare, è una priorità che comporta costi elevati per la costruzione di opere rigide non sempre efficaci. La cartografia del rischio permette di identificare le zone che possono essere fortemente danneggiate da un evento estremo, anche nel breve periodo, e di pianificare soluzioni efficienti, come ripascimenti. Questi ultimi necessitano di una pianificazione accurata delle risorse sedimentarie, che può essere sviluppata solo identificando preventivamente le zone ad alta priorità.

**Riferimenti bibliografici**

Armaroli C., Balouin Y., Ciavola P., Capatti D. (2005). "Nearshore Bars as a Natural Protection of Beaches, Field Evidence from Lido di Dante Beach, Adriatic Sea". Atti di: *ICCM'05 Conference*, Tavira, Algarve, Portogallo, pp. 295-303.

Armaroli C., Ciavola P., Perini L., Luciani L. (2007), "Morfologia delle spiagge ravennati e vulnerabilità per fenomeni di inondazione", *Terzo Forum Nazionale, Pianificazione e tutela del territorio costiero; questioni, metodi, esperienze a confronto*, vol. 127, pp. 363-389.

ARPA (2002), *Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2000*, I quaderni di Arpa. Regione Emilia-Romagna, Bologna.

Ciavola P., Perini L., Luciani P., Armaroli C. (2006), "Il rilievo Lidar della costa dell'Emilia-Romagna: uno strumento per la valutazione dell'impatto delle mareggiate sulle zone costiere e per la caratterizzazione della morfodinamica della spiaggia", *Hydrogeo*, vol. Febbraio 2006: 18-25.

Ciavola P., Armaroli C., Chiggiato J., Valentini A., Deserti M., Perini L., Luciani P. (2007), "Impact of storms along the coastline of Emilia-Romagna: the morphological signature on the Ravenna coastline (Italy)", *Journal of Coastal Research*, SI50: 540-544.

Idroser (1996), *Progetto di piano di difesa del mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna, relazione generale*, Regione Emilia-Romagna, Bologna, 16-43.

Holman R.A. (1986), "Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach", *Coastal Engineering*, 9: 527-544.

Komar P.D. (1988), *Beach Processes and Sedimentation*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ

Van Der Meer J.W. (1990), *Low crested and reef breakwaters*, Technical Report n.H986 II, Delft Hydraulics Publications.

Yu C.S., Decouttere C., Berlamont J. (1998), *Storm surge simulations in the Adriatic Sea*. In CENAS, Kluwer Academic (ed.), Dordrecht, The Netherlands: 207-232.