Metodi di classificazione su dati multitemporali a media risoluzione geometrica per l'analisi delle trasformazione di uso dei suoli

William Cerull, Benedetto Figorito, Eufemia Tarantino

Politecnico di Bari, Via Orabona 4, 70125 Bari, Tel./Fax 0805963417
E-mail: william.cerull@gmail.com; figorito@ba.issia.cnr.it; e.tarantino@poliba.it

Riassunto
I dati satellitari costituiscono un insostituibile ausilio nel contesto del monitoraggio del territorio; effettuare analisi sempre più accurate, orientate alle trasformazioni di uso dei suoli, risulta di fondamentale importanza per ottenere risultati affidabili.
In questo studio sono stati sviluppati e confrontati differenti approcci di classificazione supervisionata di uso dei suoli (*Parallelepiped, Maximun Likelihood, Decision Tree* e *Feature Extraction*) applicati a dati Landsat TM5 dell'area del Parco Nazionale dell'Alta Murgia (Puglia), al fine di verificarne la riproducibilità nell'ambito di analisi di *change detection.*

Abstract
Satellite data are irreplaceable aid in the context of territorial monitoring; executing more accurate analysis for land use transformation is of fundamental importance to obtain reliable classification results. In this study different supervised land use classification approaches (*Parallelepiped, Maximun Likelihood, Decision Tree* e *Feature Extraction*) were developed and compared applied on Landsat TM5 data on the "Alta Murgia" national park in order to evaluate reproducibility for further change detection analysis.

Introduzione

In Italia la superficie sottoposta a tutela è circa il 5% del territorio nazionale: 772 aree protette inserite nell'elenco ufficiale del Ministero dell'Ambiente, di cui 22 parchi nazionali iscritti nell'Elenco Ufficiale delle Aree Protette (EUAP) e 105 parchi naturali regionali.
Nel corso degli anni abbiamo assistito a un'evoluzione del ruolo e delle funzioni delle aree protette: da una visione di rigida "conservazione e protezione dei valori ambientali", che limitava qualsiasi attività antropica, a una concezione cosiddetta di "tutela attiva" delle aree protette (conservazione e sviluppo sostenibile) (Roselli, 2005). Da sempre le campagne pugliesi offrono un paesaggio suggestivo con aree che usano ancora sistemi agricoli gestiti in maniera estensiva, caratterizzate da una forte naturalità e una ricca varietà floristica, e che fungono da ambienti ideale e fonte trofica per molte specie che vi trovano rifugio. Negli ultimi decenni molti di questi ambienti hanno subito notevoli cambiamenti a causa della diffusione di alcune discutibili pratiche agronomiche che hanno comportato notevoli cambiamenti sulla biodiversità, impoverendola, e sul paesaggio, semplificandolo e banalizzandolo (Angiuli et al, 2007). Lo spietramento e la macinazione del suolo, il diserbo chimico, l'impiego dell'acqua salmastra per l'irrigazione, la mancata rotazione colturale e il ricorso ad altre tecniche stanno avviando alcune aree alla desertificazione (Canora et al., 2003; Lopez et al., 2005).
Il dato sull'uso del suolo risulta essere tra le informazioni che meglio caratterizzano un territorio e allo stesso tempo fornisce una base per la formulazione di strategie di gestione sostenibile e di tutela dell'ambiente. Scaturisce pertanto l'esigenza di sperimentare tecniche di monitoraggio che consentano di ottenere dati attendibili sulle trasformazioni del territorio con il grado di precisione richiesto, e possano essere agevolmente replicabili per applicazioni in campo operativo. Il

telerilevamento offre quindi, oltre ai benefici di una grande copertura sinottica, la possibilità di usufruire dell'informazione multispettrale mediante tecniche automatiche e semi-automatiche per l'estrazione delle caratteristiche d'uso dei suoli (Caprioli et al., 2006).
Gli algoritmi tuttora a disposizione per la classificazione di immagini digitali sono per la maggior parte di tipo convenzionale (Maximum Likelyhood, Parallelepiped algoritm, Spectral Angle Mapper etc…). I classificatori che utilizzano altre informazioni oltre quelle spettrali puntuali possono essere divisi in due classi: contestuali (contextual classifiers) e basati sulle caratteristiche dell'oggetto (object-based classifiers) in contrapposizione con i classificatori convenzionali anche chiamati a pixel (pixel-based) (Tso et al., 2009).
Nel presente lavoro sono implementate analisi di *change detection* dell'uso dei suoli di una porzione di territorio dell'area dell'Alta Murgia, elaborando e confrontando differenti metodologie di classificazione di dati satellitari multi temporali a media risoluzione geometrica.
L'analisi è compiuta sulla base di due immagini telerilevate acquisite dal sensore LANDSAT 5 negli anni 2002 e 2009 su un'area di circa 6500 kmq, comprendente il Parco Nazionale dell'Alta Murgia. La scelta dei dati di riferimento ha tenuto conto della loro confrontabilità, disponibilità e riproducibilità del metodo.
Le scene LANDSAT sono state sottoposte nella prima fase ad un pre-processing di tipo geometrico e radiometrico allo scopo di ridurre gli errori dovuti alle distorsioni introdotte durante l'acquisizione e la trasmissione dei dati. Inoltre è stato applicato l'algoritmo MAD (*multivariate alteration detection)* per omogeneizzare le informazioni e permettere il confronto tra i dati multitemporali.
In seguito, sul dato LANDSAT del 2009 sono stati implementati i metodi di classificazione pixel-based (Parallelepiped algoritm e Maximum Likelyhood), decision tree (Math method che utilizza una tecnica di splitting ortogonale) e object-based al fine di verificarne l'affidabilità e riproducibilità orientati alla successiva analisi di *change detection* rispetto al dato del 2002, per determinare l'entità e la qualità del cambiamento di uso dei suoli. Particolare attenzione è stata rivolta al confronto tra i risultati ottenuti mediante l'implementazione delle suddette tecniche sul dato di partenza, per stabilire, eventualmente, se l'una sia preferibile all'altra, in termini di accuratezza, costi, tempi, o per verificare l'indifferenza nella scelta di una specifica metodologia.
Infine, l'accuratezza dei metodi è stata verificata in modo empirico utilizzando una serie di campioni ottenuti da verità a terra riferiti a cartografia tecnica prodotta nei periodi di indagine e documentazione multisorgente relative al territorio indagato.

Metodologia
L'area di studio appartiene al territorio dell'Alta Murgia. Istituito nel marzo 2004, il Parco Nazionale dell'Alta Murgia si estende per circa 68077 ha, ripartiti in tre zone a tutela differenziata (*Figura 1*). Il Parco Comprende una zona boscata, 11000 ha di bosco ad alto fusto, e una zona a pascolo, una fascia della steppa a stipa, presente ad un'altitudine di circa 500 m, che caratterizza la Murgia Alta e rappresenta l'ultimo esempio di pseudo-steppa mediterranea presente nell'Italia peninsulare ed uno dei più importanti del Mediterraneo. Negli ultimi decenni molti di questi ambienti hanno subito notevoli cambiamenti a causa della diffusione di alcune discutibili pratiche agronomiche che hanno comportato drastici cambiamenti sulla biodiversità e sul paesaggio. Diffusa da sempre nell'area dell'Alta Murgia la pratica della "*spietratura*", ovvero della rimozione delle pietre affioranti dai campi coltivati alla fine di ogni ciclo produttivo, pietre che venivano poi riutilizzate per la costruzione di numerosi manufatti rurali che ancora oggi punteggiano il territorio (trulli, lamie, muretti); negli ultimi anni tale pratica è stata sostituita dallo "*spietramento*", che consiste nella trasformazione dei pascoli in seminativi attraverso la lavorazione profonda del terreno e la frantumazione meccanica della roccia presente. Tale pratica, legittimata dalla legge regionale 54/81 e incentivata dall'erogazione di finanziamenti pubblici, regionali ed europei, si è diffusa a macchia d'olio nell'area murgiana. Oggi i finanziamenti sono chiusi ma la pratica purtroppo, seppure in misura minore, continua e la possibilità di recuperare le aree spietrate richiede tempi molto lunghi ed esiti incerti.

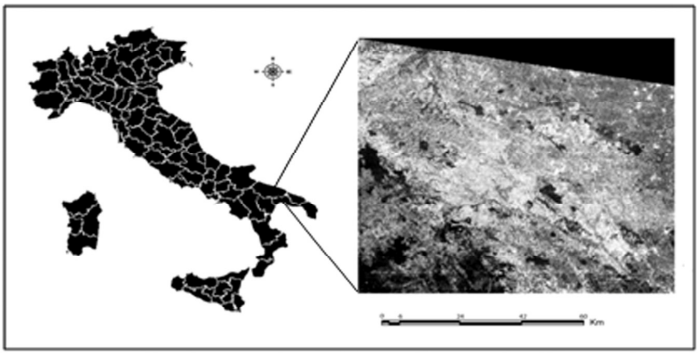


Figura 1. Area di studio relativa al territorio dell'Alta Murgia (Puglia).

L'analisi è stata condotta su due immagini multi spettrali TM5 (acquisition date: 22 june 2002; 27 july2009) equivalente ad una superficie di circa 6500 km^2 e relativa ad un'area della Puglia caratterizzata da una forte eterogeneità, soprattutto dal punto di vista morfologico e topografico.
L'analisi spettrale delle 10 classi individuate è stata eseguita selezionando alcune regioni rappresentative che non presentassero significativi cambiamenti nelle due immagini dovute all'intervallo temporale intercorso tra esse. Nonostante tale gap temporale, poiché le due immagini sono state acquisite entrambe in estate, è possibile ritenere valida, con buona approssimazione, che la gran parte delle classi di vegetazione sia caratterizzata dallo stesso stato fenologico.
La strategia di analisi è stata articolata nelle seguenti fasi (*Figura 2*):

1) Correzione geometrica, calibrazione radiometrica, definizione della legenda per la classificazione e acquisizione della documentazione sulle aree di training e di verità a terra;
2) Classificazione con i metodi *Parallelepiped, Maximun Likelihood, Decision Tree* e *Feature Extraction,* implementati sul dato TM5-2009 mediante il software di image progessing ENVI 4.7.
3) Calcolo della matrice di confusione e scelta dell'algortitmo con prestazioni migliori.
4) Analisi di change detection sui dati del 2002 e del 2009 e verifica dei risultati ottenuti.

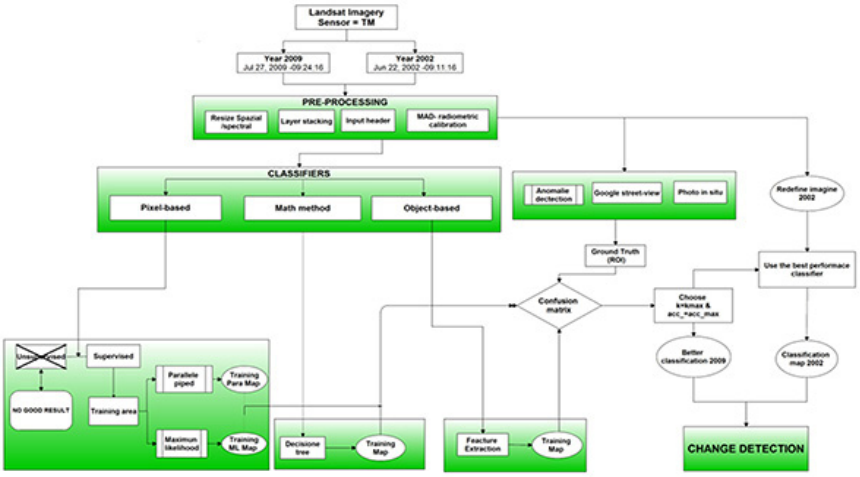


Figura 2. Diagramma di flusso della procedura implementata.

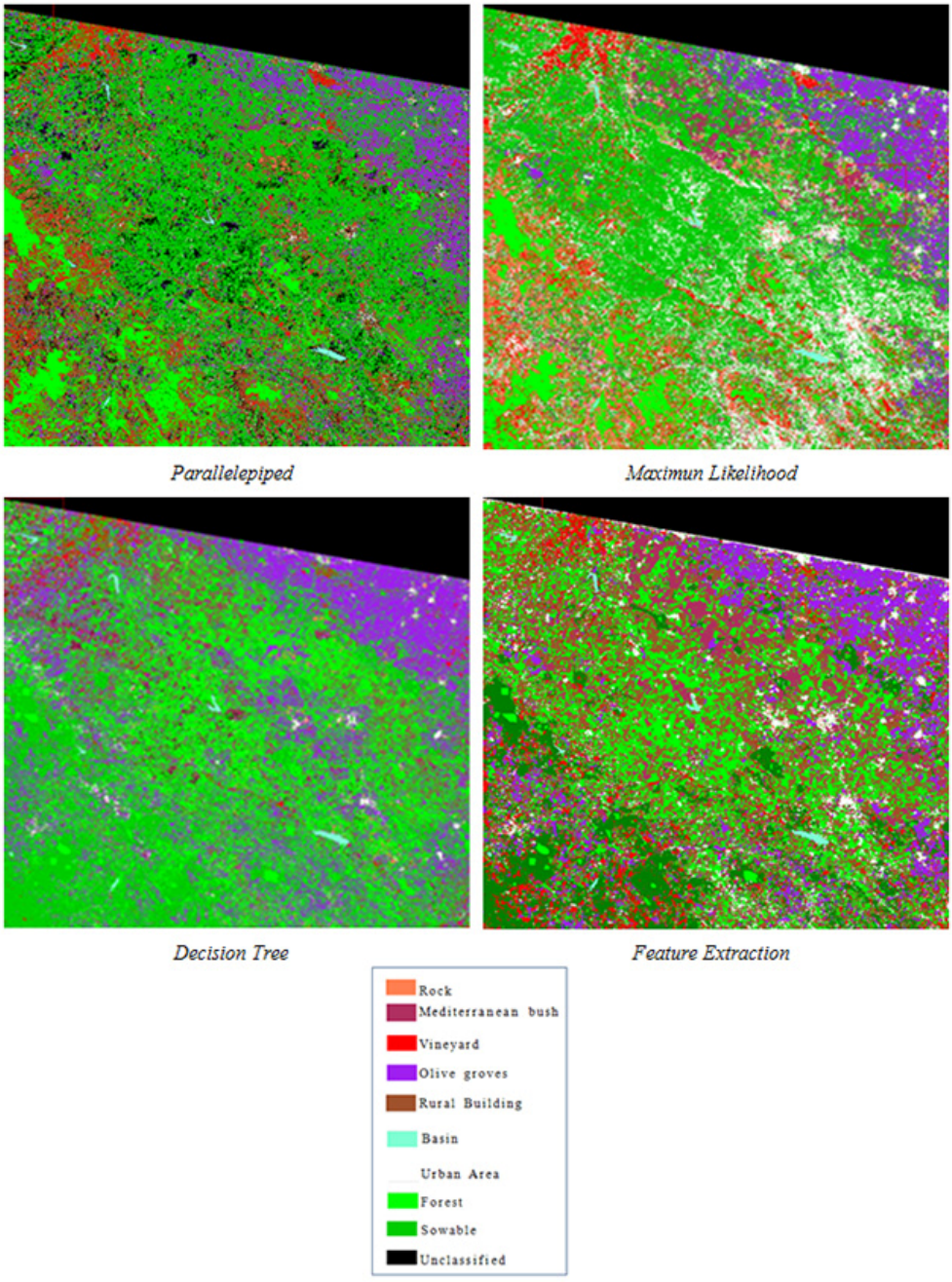


Figura 3. Risultati degli approcci di classificazione applicati al dato Landsat TM5 del 2009.

Risultati e conclusioni

Nelle Tabelle 1a-1b-1c-1d sono raccolti i risultati in termini di accuratezza della classificazione delle quattro metodologie applicate al dato Landsat TM5 del 2009.

L'analisi quantitativa, in congiunzione con quella qualitativa evidenziata nella Figura 3, mostra che il risultato migliore riguarda la classficazione ottenuta con l'approccio *Feature Extraction*, che è stato il metodo prescelto per sviluppare la classificazione del dato del 2002.

La Tabella 3 mostra i cambiamenti individuati durante l'arco di tempo preso come riferimento (Giugno 2002 - Luglio 2009). I risultati sono riportati secondo la superficie di ogni singola classe in kmq. Con l'analisi di *Change detction* è emerso un costante incremento della superficie delle classi agricole (seminativo, uliveto, vigneto). Per lo stesso periodo si ha anche una piccola percentuale di conversione da urbano ad altre coperture, dovute probabilmente a false classificazioni sulla prima data.

La metodologia adottata ha permesso di aggiornare in tempi ridotti anche vaste superfici di territorio. Eventuali false classificazioni, essendo una percentuale molto esigua rispetto al totale, non creano limitazioni all'analisi e a livello di macro-aree non pregiudicano la qualità e localizzazione dei risultati.

Classified map	Ground Truth													
	Basin	Urban area	Forest	Sowable	Rock	Mediterr. bush	Vineyard	Olive groves	Rural building	Total	Prod. Acc.	User Acc.	Commission	Omission
Unclassified	3.99	0.08	5.84	0.59	1.07	0.09	0.00	0.12	0.84	2.93				
Basin	**94.30**	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.74	94.30	99.97	0.00	0.12
Urban area	0.26	**97.97**	0.00	77.67	17.15	86.15	14.91	90.44	3.38	37.64	97.97	45.72	0.00	0.00
Forest	0.02	0.00	**93.08**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.07	93.08	99.99	14.91	90.44
Sowable	0.01	0.20	0.00	**20.65**	0.11	13.76	4.65	9.39	0.00	4.24	20.65	71.07	0.00	0.00
Rock	0.33	1.72	0.00	0.02	**81.46**	0.00	56.71	0.00	95.78	3.01	81.46	29.22	4.65	9.39
Mediterranean bush	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vineyard	1.08	0.03	1.06	1.04	0.11	0.00	**23.73**	0.04	0.00	1.37	23.73	45.77	56.71	0.00
Olive groves	0.01	0.00	0.00	0.03	0.11	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.01	0.00	0.00	23.73	0.04
Rural building	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Overall Accuracy = 72.53%; k = 0.6475														

Tabella 1a. Matrice di confusione ottenuta con l'algoritmo Parallelepiped.

Classified map	Ground Truth													
	Basin	Urban area	Forest	Sowable	Rock	Mediterr. bush	Vineyard	Olive groves	Rural building	Total	Prod. Acc.	User Acc.	Commission	Omission
Unclassified	0.12	0.91	0.06	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.99	0.12				
Basin	**99.79**	0.00	9.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.53	99.79	52.86	47.14	0.21
Urban area	0.00	**90.93**	0.02	2.78	0.25	0.72	0.86	1.00	8.91	8.90	90.93	91.66	8.34	9.07
Forest	0.00	0.00	**87.41**	0.01	0.00	1.23	1.33	0.00	0.00	41.73	87.41	99.71	0.29	12.59
Sowable	0.00	3.44	0.06	**66.66**	0.37	2.19	0.56	2.04	0.99	14.39	66.66	95.60	4.40	33.34
Rock	0.09	1.14	0.05	1.40	**96.63**	0.05	0.73	0.00	9.90	1.66	96.63	72.00	28.00	3.37
Mediterranean bush	0.00	0.50	0.08	23.03	1.50	**94.51**	0.04	0.27	0.00	10.35	94.51	52.90	47.10	5.49
Vineyard	0.00	1.45	2.70	5.25	0.25	1.20	**95.76**	1.91	51.49	6.24	95.76	55.38	44.62	4.24
Olive groves	0.00	1.43	0.18	0.85	0.00	0.11	0.73	**94.78**	5.94	7.02	94.78	93.86	6.14	5.22
Rural building	0.00	0.21	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	**21.78**	0.06	21.78	55.00	45.00	78.22
Overall Accuracy =85.31%; k = 0.8030														

Tabella 1b. Matrice di confusione ottenuta con l'algoritmo Maximum Likelood.

Classified map	Ground Truth													
	Basin	Urban area	Forest	Sowable	Rock	Mediterr. bush	Vineyard	Olive groves	Rural building	Total	Prod. Acc.	User Acc.	Commission	Omission
Unclassified	0.03	5.51	3.29	0.00	0.00	0.13	0.00	0.99	4.00	1.23				
Basin	**99.45**	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	7.92	0.00	5.03	99.45	99.72	0.28	0.55
Urban area	0.21	**58.28**	0.41	0.00	0.04	0.04	0.00	16.83	0.62	5.36	58.28	97.50	2.50	41.72
Forest	0.00	0.62	**92.54**	1.63	0.00	4.37	9.20	2.93	0.00	45.23	92.54	97.39	2.61	7.46
Sowable	0.00	14.32	6.57	**57.72**	4.87	75.13	9.71	6.75	3.96	21.56	57.72	55.24	44.76	42.28
Rock	0.00	1.55	0.00	1.25	**72.91**	0.00	0.21	0.00	13.86	1.33	72.91	67.91	32.09	27.09
Mediterranean bush	0.18	6.02	0.01	23.52	0.00	**19.54**	0.39	2.42	2.97	6.73	19.54	16.83	83.17	80.46
Vineyard	0.00	0.19	0.73	3.38	0.00	0.11	**74.58**	0.18	49.50	3.85	74.58	69.97	30.03	25.42
Olive groves	0.12	13.47	0.16	8.79	0.87	0.85	5.73	**87.67**	3.96	9.47	87.67	64.34	35.66	12.33
Rural building	0.00	0.05	0.00	0.00	16.73	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.21	0.00	0.00	100.00	100.00
Overall Accuracy = 77.00%; k = 0.6813														

Tabella 1c. Matrice di confusione ottenuta con l'algoritmo Decision Tree.

Classified map	Ground Truth												
	Basin	Urban area	Forest	Sowable	Rock	Mediterr. bush	Vineyard	Olive groves	Rural building	Total	Prod. Acc.	User Acc.	Commission	Omission
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Basin	99.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.03	99.63	100.00	0.00	0.37
Urban area	0.12	77.91	0.08	1.58	1.87	0.00	0.34	0.20	0.00	7.41	77.91	94.35	5.65	22.09
Forest	0.09	0.29	99.78	0.03	0.00	4.37	3.47	2.42	0.00	48.08	99.78	98.79	1.21	0.22
Sowable	0.03	19.58	0.01	78.11	3.00	10.93	3.25	10.86	3.96	19.43	78.11	82.94	17.06	21.89
Rock	0.00	0.65	0.00	0.00	89.51	0.00	0.39	0.00	31.68	1.23	89.51	90.08	9.92	10.49
Mediterranean bush	0.12	0.55	0.12	7.23	0.00	63.65	0.09	3.15	0.00	5.52	63.65	66.85	33.15	36.35
Vineyard	0.00	0.19	0.01	5.14	0.00	0.64	91.66	18.17	49.50	5.77	91.66	57.35	42.65	8.34
Olive groves	0.00	0.00	0.00	0.22	4.12	20.42	0.81	65.19	14.85	5.86	65.19	77.28	22.72	34.81
Rural building	0.00	0.83	0.00	7.69	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	100.00	100.00
Overall Accuracy =88.30%; k = 0.8352														

Tabella 1d. Matrice di confusione ottenuta con l'algoritmo Feature extraction.

	Parallelepiped	Mahimum Likehood	Decision Tree	Feature Extraction
Overall Accuracy	72.53	85.31	77.00	88.30
K	0.65	0.80	0.68	0.86

Tabella 2. Sintesi delle accuratezze ottenute mediante l'implementazione dei quattro metodi di classificazione sul dato TM5 – 2009.

Final State 2009	Initial State 2002										
	Basin	Urban area	Forest	Sowable	Olive groves	Vineyard	Rock	Mediterr. bush	Unclassified	Row Total	Class Total
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	790.28	790.28	790.28
Basin	12.95	0.06	0.00	0.22	0.02	0.06	0.00	0.02	0.00	13.33	13.33
Urban area	0.22	83.90	0.53	238.95	37.67	9.29	4.37	13.59	0.00	388.50	388.50
Forest	0.24	9.60	616.27	168.41	124.80	491.82	0.07	186.07	0.00	1597.27	1597.27
Sowable	0.06	212.68	6.00	2075.42	432.64	55.52	9.94	258.26	0.00	3050.52	3050.52
Olive groves	0.04	54.30	10.55	385.01	513.23	48.23	0.07	164.97	0.00	1176.40	1176.40
Vineyard	0.06	9.21	54.36	115.97	17.86	312.70	2.83	39.46	0.00	552.46	552.46
Rock	0.00	2.90	0.00	2.69	0.07	0.04	10.96	0.13	0.00	16.79	16.79
Mediterr. bush	0.00	32.26	0.11	210.06	112.24	1.44	0.35	133.34	0.00	489.80	489.80
Class Total	13.58	404.91	687.81	3196.73	1238.53	919.09	28.58	795.83	790.28	0.00	0.00
Class Changes	0.63	321.02	71.54	1121.30	725.30	606.39	17.62	662.50	0.00	0.00	0.00
Image Difference	-0.25	-16.41	909.45	-146.21	-62.14	-366.63	-11.79	-306.03	0.00	0.00	0.00

Tabella 3. Matrice di change detection calcolata in termini di kmq sui dati Landsat TM5 del 2002 e del 2009.

Riferimenti bibliografici

Angiuli, A., Brunetti G., Ciola G., Iannone R. F. (2007), "*Il riutilizzo dei fanghi e delle acque reflue in agricoltura"*. Mario Adda.

Canora F., Ferrigno L., Fidelibus M.D., Spilotro G., Straziuso K. (2003), "*Modificazioni antropiche delle tessiture dei suoli carsici dell'Alta Murgia e finalizzazione agricola: implicazioni idrogeologiche*". *Riassunti FIST*, Bellaria 2003, 476-478.

Caprioli M., Tarantino E. (2006), "*Identification of Land Cover Alterations in the Alta Murgia National Park (Italy) with VHR Satellite Imagery*", Int. J. of Sustainable Development and Planning, 1(3), 261-270.

Lopez R., Miano T.M. (2005), " *Dissodamenti e spietramenti di suoli ricadenti nel Parco nazionale dell'Alta Murgia: elaborazioni geostatiche ed indicatori di stato*". Atti Società italiana della Scienza e del Suolo, Bari 21-24 giugno 2005, 419-425.

Roselli, L. (2005), "Sviluppo rurale e agricoltura sostenibile nelle aree protette. Il caso del Parco Nazionale dell'Alta Murgia", *Tesi di dottorato*, Dipartimento di economia e politica agraria, Universita degli Studi di Napoli "Federico II", 2005.

Tso B., Mather P (2009), "*Classification methods for remotely sensed data*", CRC Press.

Integrazione di metodologie per il monitoraggio dei corsi d'acqua

Ivan Chiaverini (*), Daniele Ostuni (*), Liliana B. Teruggi (*), Marcelo Farenga (**)

(*) Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Firenze, Via S. Marta 3, Tel 055/4796220
(**) Instituto de Geologia de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, Funes 3350

Riassunto
L'obiettivo di questo contributo è quello di relazionare sui risultati fino ad oggi conseguiti nello studio di aspetti metodologici del monitoraggio di un corso d'acqua con l'uso di aerei ultraleggeri (ULM) e camere digitali commerciali calibrate. In particolare sono considerati alcuni aspetti relativi al grado di dettaglio necessario per questo tipo di indagini e le specifiche problematiche operative formulando una prima valutazione sull'efficacia degli strumenti e metodi utilizzati.

Abstract
The purpose of this paper is to report on the results so far achieved in the study of the methodological aspects of monitoring river morphology using ultralight aircraft (ULM) and commercial digital calibrated cameras. In particular, are considered some aspects related to the degree of detail required for this type of investigation and the specific operational problems for an initial valutation of the effectiveness of the tools and methods used.

Premessa
Le variazioni morfologiche e le tendenze evolutive degli alvei rappresentano una conoscenza importante nello studio della dinamica fluviale, sia per individuare le condizioni di rischio, sia per la gestione dell'alveo e dei suoi sedimenti.
Negli ultimi anni è migliorata sensibilmente la qualità e quantità degli strumenti di acquisizione e, come in altri settori della geomatica, anche per lo studio della morfologia fluviale si ricorre diffusamente all'integrazione tra il tradizionale rilievo diretto e le varie tecniche di monitoraggio (Barker et al., 1997; Dixon et al., 1998; Lane 1998, 2001).
Una prima ed immediata valutazione viene eseguita sulla base delle cartografie e dei rilievi fotogrammetrici attuali e pregressi forniti dagli enti territoriali. Questi dati sono in genere caratterizzati da incompletezza e discontinuità temporale ai fini di un esaustivo monitoraggio dei parametri osservati e, per specifiche indagini localizzate, anche dall'inadeguatezza del grado di dettaglio.
La disponibilità di fotocamere digitali e di specifici software di calibrazione, restituzione e trattamento dei dati acquisiti, ha offerto al gruppo di lavoro la possibilità eseguire test metodologici relativi a queste specifiche applicazioni.
Per le prove considerate nella presente comunicazione sono stati scelti alcuni tratti del fiume Cecina, Toscana meridionale, già oggetto di studio per altre ricerche di geomorfologia e dinamica fluviale (Teruggi et. al., 2005; Rinaldi et al., 2008; Teruggi et al., 2008; Luppi et al., 2009; Teruggi, Rinaldi, 2009; Teruggi et al., 2011)
Per definire in modo più specifico il monitoraggio nell'intorno dei tratti scelti, sono state effettuate dal 2009 al 2011 alcune riprese aerofotogrammetriche a bassa quota con aeromobile ultraleggero e fotocamere digitali, al fine di ottenere una immediata e complementare registrazione dei fenomeni attivi (erosione e sedimentazione) e per elaborare con dati comparativi il trend in atto, nonché formulare una prima valutazione dell'efficacia degli strumenti e dei metodi utilizzati.

Evoluzione delle acquisizioni effettuate

Il monitoraggio eseguito per sviluppare i test metodologici è caratterizzato da un insieme di acquisizioni aerofotogrammetriche dello stato attuale dell'alveo che, comparate con le informazione desunte dalla cartografia storica, dalle restituzioni fotogrammetriche e dai vari rilevamenti territoriali, sono state elaborate con software di tipo GIS (Teruggi, Rinaldi, 2009).

Per una preliminare valutazione metrica sono stati utilizzati principalmente rilievi topografici eseguiti in epoche precedenti a partire dal 1980.

Negli anni successivi, con strumentazioni più evolute, sono stati rilevati in modo costante gli eventi più significativi intervenuti in alcune parti dell'alveo. Nel 2009 con una nuova fase delle indagini, è stata effettuata una strisciata fotogrammetrica integrale del fiume digitalizzata ad alta risoluzione.

L'operazione ha consentito di stabilire un affidabile inquadramento metrico generale per tutto l'alveo ed ha permesso anche di relazionare in modo più completo i dati acquisiti negli anni precedenti.

Metodologia e strumenti impiegati

Programmare acquisizioni fotogrammetriche standard ai fini di un monitoraggio territoriale risulta operativamente complesso oltre che per i costi anche per l'attuazione di una rapida e contestuale registrazione di eventi intercorsi; pertanto, nel lavoro in oggetto, sono state inizialmente valutate le precisioni attese e quelle conseguibili con semplici tecniche fogrammetriche da aeromobile ultra leggero e camere digitali calibrate, adattando via via alle necessità delle indagini le modalità operative.

L'aereomobile utilizzato è un ULM Groppo modello Folder, appartenente al Dipartimento di Scienza della Terra dell'Università di Firenze; è un velivolo biposto dotato di appositi dispositivi che consentono la collocazione a bordo di sensori di vario genere (termo camera, I.R, ecc.). L'utilizzo di un ULM consente di operare a velocità relativamente basse e pertanto di minimizzare l'eventuale effetto di sfocatura causato dal trascinamento sull'immagine a bassa quota per le immagini a grande scala.

I nuovi software fotogrammetrici ed il continuo miglioramento della risoluzione dei sensori digitali permettono di realizzare in modo autonomo acquisizioni fotogrammetriche con fotocamere digitali calibrate. Queste acquisizioni speditive rispetto a quelle professionali più avanzate soffrono di un sensibile degrado della risoluzione iniziale del processo; risulta comunque possibile contenere questo fattore considerando alcuni ovvi criteri di metodo che possono influenzare sensibilmente le precisioni conseguibili e l'omogeneità dei risultati.

Le fotocamere utilizzate per le acquisizioni in oggetto sono state una Nikon D700 24x36 mm con ottiche di focali nominali 28 e 50 mm e una medio formato Hasselblad 60x60 mm di focale nominale 40 mm con dorso digitale *Phaseone PH20*, rispettivamente con sensore digitale da 12 e 16 Mpx .

Nel monitoraggio in oggetto i voli sono stati effettuati ad una quota di 300 e 500 m s.l.m. determinando una dimensione del pixel a terra compressa fra i 2 e 5 cm.

I parametri principali delle due fotocamere sono stati ricavati in sede presso la facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze, elaborando per ogni fotocamera una decina di immagini che inquadrano a raggera un predisposto poligono angolare di circa 10 x 5 m, contenente 40 punti di controllo fotografici. Il poligono è stato ripreso con le fotocamere da metricizzare a distanze da 5 a 10 m con il diaframma regolato per distanza iperfocale e l'obiettivo in modalità manuale bloccato a infinito. Le relative collimazioni dei punti di controllo sono state poi elaborate con il *software Micromap* (Geoin, 2011) in base alle routine di vertice di piramide, ricalibrando i dati nominali iniziali della focale e del centro ottico e ricavando la distorsione radiale mediata sulle semidiagonali (Fig. 1).

L'applicazione di queste correzioni numeriche, non è il solo aspetto da considerare; altri fattori a monte influiscono sensibilmente nel formare la qualità finale del processo di restituzione. La tipologia e la qualità intrinseca delle ottiche utilizzate determinano di fatto ciò che viene trasmesso al pixel; per un miglior risultato finale è senz'altro indicato l'utilizzo di ottiche di qualità che

preservino la nitidezza delle informazioni con obiettivi ad alta luminosità e a bassa distorsione. Pertanto è sconsigliato l'uso di obiettivi tipo tele-zoom caratterizzati da sistemi a lenti telescopiche. Inoltre occorre valutare con attenzione l'uso di ottiche grandangolari, molto utili per l'abbracciamento di un campo visivo più ampio ma di fatto caratterizzate da distorsioni radiali maggiori che determinano in fase di restituzione sensibili correzioni via software che causano spesso problemi di lettura e coerenza del modello stereoscopico.

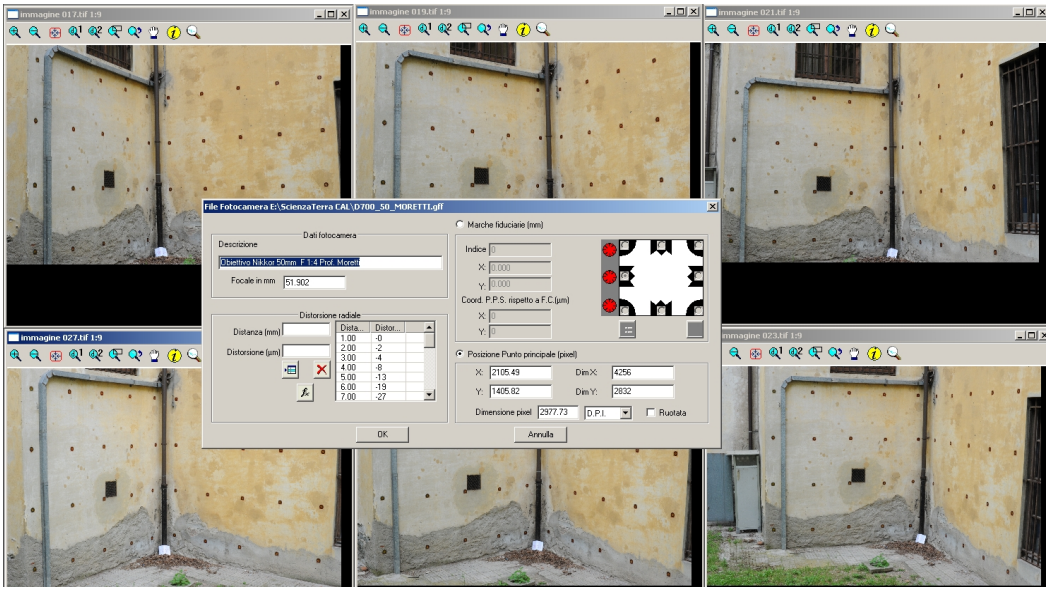


Figura 1. Calibrazione di fotocamera Nikon D700, vertice di piramide in ambiente Micromap.

Restituzione e elaborazione dei dati

Per le acquisizioni estive del 2011 a causa di una concomitante revisione periodica del veivolo sono stati noleggiati anche aeromobili da turismo convenzionali non specificamente attrezzati, fornendoci l'opportunità di sperimentare l'operatività di queste procedure speditive anche in condizioni logistiche non ottimali, aggiungendo un ulteriore tema di interesse alla sperimentazione stessa. In queste condizioni i fotogrammi acquisiti possono risultare parzialmente fuori dalla *target* area, mossi, caratterizzati da basi stereoscopiche non ottimali e da eccessive inclinazioni angolari. In genere nei programmi di restituzione dopo l'orientamento assoluto è possibile se occorre applicare al modello un ricampionamento epipolare per migliorare la visione stereoscopica ma questa procedura in alcuni casi impone alle immagini elaborazioni estreme che possono influenzare nella fase di restituzione la percezione 3D dei vettori tracciati e quindi la precisione finale delle collimazioni. Questo effetto è particolarmente avvertibile ai margini degli stereogrammi ove la distorsione radiale è maggiore e nel collegamento fra modelli adiacenti (Mikhail, 2007; Geoin, 2011). E' possibile tentare un recupero dei fotogrammi con maggiori problemi angolari effettuando un pre-trattatamento correttivo. In questi casi estremi il modello può essere comunque realizzato applicando la competente pre-rotazione K al fotogramma con problemi; con questo pre-trattamento viene resa di nuovo possibile la visione stereoscopica e la conseguente correzione della parallasse verticale nell'orientamento relativo. Con questo ricampionamento ruotato sul centro geometrico si genera un'immagine equivalente con qualche parziale taglio di informazione agli angoli ruotati fuori cornice; da alcune verifiche effettuate sembra che l'operazione influisca limitatamente sulla congruità delle collimazioni (le successive procedure di orientamento assoluto attenuano sensibilmente gli errori introdotti dalla rotazione dell'immagine) e anche la corrispondente

correzione della distorsione radiale appare comunque correttamente applicata. Per limitare queste problematiche utilizzando un aereo senza botola di fondo, occorrerà prevedere ad una riduzione delle basi di presa realizzando fotogrammi multipli con una ampia sovrapposizione stereoscopica (almeno dell'80%); la strisciata caratterizzata da immagini ripetute con scatti multipli e ravvicinati permetterà poi di operare in fase di orientamento una preselezione e consentire l'eventuale sostituzione di fotogrammi caratterizzati da valori angolari eccessivi. La restituzione 3D elaborata in una *cloud-point* tipo DEM 50x50 cm è stata effettuata senza utilizzare routine automatiche di autocorrelazione ma esclusivamente attraverso la collimazione stereoscopica diretta di vettori complessi che delineando dettagliatamente gli articolati volumi dell'invaso sia per una migliore aderenza all'oggetto del rilievo, sia perché era comunque richiesta una rappresentazione vettoriale di numerosi tematismi sovrapposti al modello volumetrico stesso (Fig. 2).

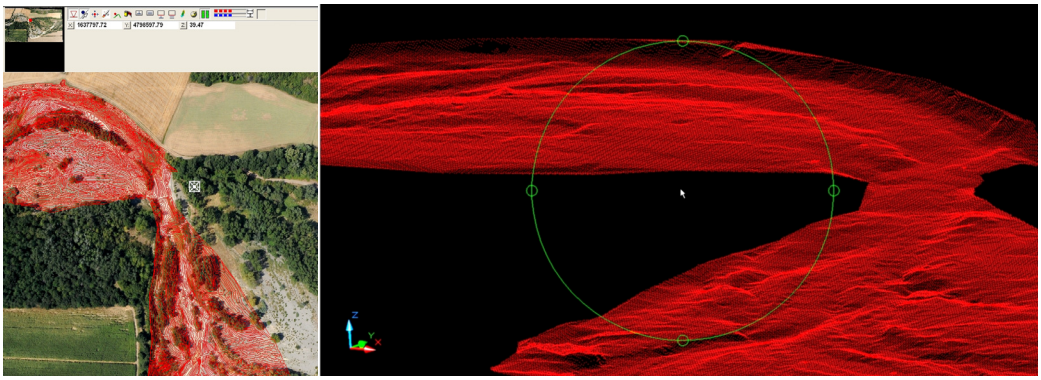


Figura 2. Restituzione elaborata in cloud-point.

Per queste acquisizioni fotogrammetriche aeree, l'ordine di grandezza delle precisioni verificato dai protocolli di orientamento è risultato di alcuni decimetri (s.q.m ±15 cm).
La restituzione selettiva dei diversi elementi dimensionali e attributi qualitativi individuati è stata programmata predisponendo differenziati *layer* informativi per lo studio dei seguenti temi:
- Tracciamento del profilo delle linee d'acqua
- Restituzioni a curve di livello (Fig. 3).
- Restituzioni di profili longitudinali di fondo dell'alveo durante periodi di magra.
- DEM 50 x 50 cm complessivo delle aree di studio.
- Correlazioni temporali delle variazioni del DEM 2009-2011. (Fig. 4).
- Correlazioni temporali delle variazioni su sezioni specifiche dal 2007 al 2009 (Fig. 5).

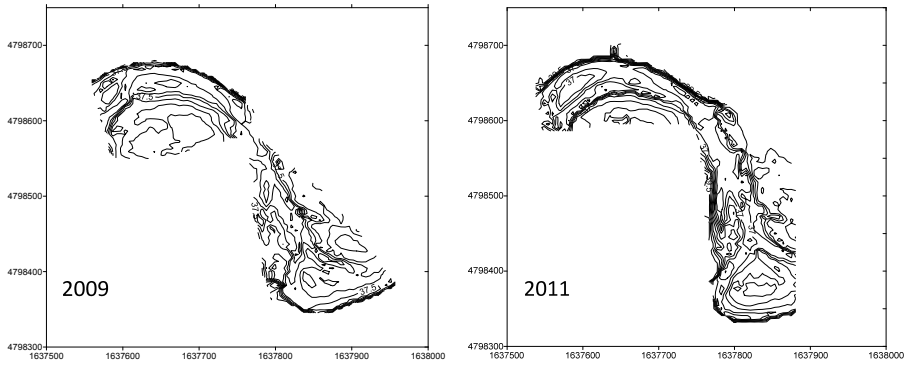


Figura 3. Modelli 2009-2011 a curve di livello.

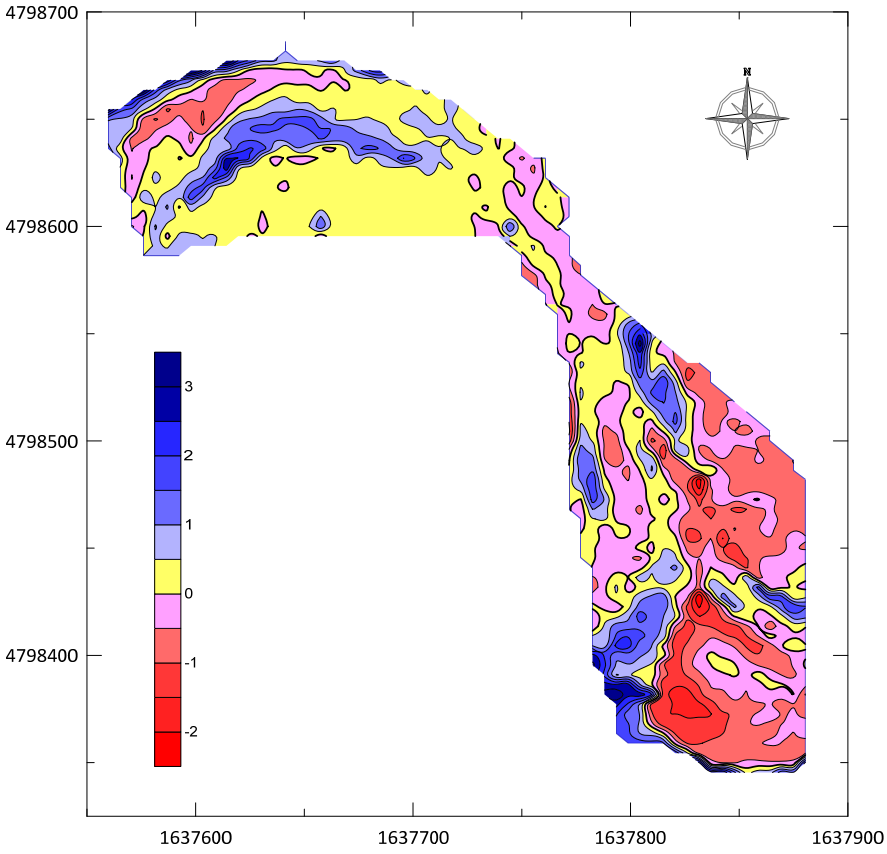


Figura 4. Correlazioni temporali delle variazioni del DEM 2009-2011.

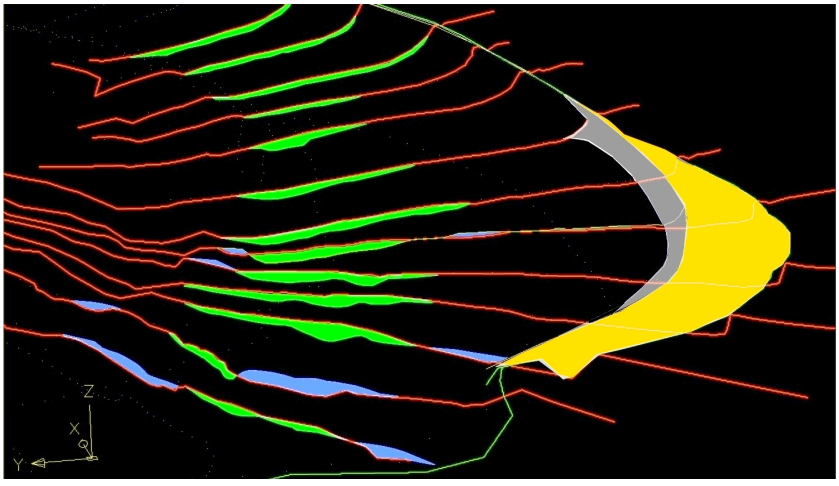


Figura 5. Correlazioni temporali delle variazioni su sezioni specifiche dal 2007 al 2009.

Considerazioni finali

La fotogrammetria, tecnica consolidata per lo studio dei processi erosivi, vive attualmente un incremento della sua applicazione nello studio dei processi fluviali.

Gli aeromobili ULM del tipo usato per questo studio consentono per la loro bassa velocità di stallo di eseguire levate aerofotogrammetriche anche a bassa quota e conseguentemente programmare una scala dei fotogrammi adatta ad indagini localizzate su piccole aree.

La possibilità di introdurre acquisizioni fotogrammetriche autogestite da aeromobile leggero offre poi il valore aggiunto di poter disporre rapidamente di dati verificabili acquisiti in prossimità temporale ad intercorsi eventi di piena e permette inoltre di osservare sia gli effetti in dettaglio sia le cause generatrici nell'intorno delle zone attive in una relazione continua e diretta.

I dati fino ad oggi ottenuti e riportati nella presente comunicazione rappresentano comunque una fase iniziale della ricerca metodologica in atto per questo monitoraggio e saranno oggetto di futuri approfondimenti.

Riferimenti bibliografici

Barker R., Dixon L., Hooke J. (1997), "Use of terrestrial photogrammetry for monitoring and measuring bank erosion". *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 1217-1227.

Dixon L.F.J., Barker R., Bray M., Farres P., Hooke J., Inkpen R., Merel A., Payne D. & Shelford A. (1998), "Analytical photogrammetry for geomorphological research". In: Lane S.N., Richards K.S. & Chandler J.H. (Eds.), *Landform monitoring, modelling and analysis*. 63-94, Wiley & Sons Ltd, Chichester.

Geoin S.r.l. (2011), *Manuale Micromap, versione 2.0*, Italia. 272pp.

Lane, S.N. (1998), "The use of digital terrain modelling in the understanding of dynamic river systems". In: Lane S.N., Richards K.S. & Chandler J.H. Eds., *Landform Monitoring, Modelling and Analysis*, Wiley, Chichester, 311-342.

Lane, S.N. (2001), "The measurement of gravel-bed river morphology". In: Mosley, M.P. (Ed), *Gravel-Bed Rivers V*, Hydrological Society, Wellington, New Zealand, 291-337.

Luppi L., Rinaldi M., Teruggi L.B., Darby S.E., Nardi L. (2009), "Monitoring and numerical modelling of riverbank erosion processes: a case study along the Cecina River (Central Italy)". *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 530-546.

Mikhail E. M., Bethel J.S., McGlone J. C. (2007), "Introduction to modern photogrammetry". Wiley & Sons Ltd.

Rinaldi M., L. B.Teruggi, C. Simoncini, L. Nardi (2008), "Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio dell'Appennino Settentrionale". *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences* 21(1B), 291-302.

Teruggi L.B., Chiaverini I., Ostuni D., Rinaldi M. (2005), "Integrated methodology for monitoring fluvial bank erosion". *Geologica Romana*, 38: 25-29.

Teruggi L.B., Rinaldi M., Ostuni D., Chiaverini I. (2008), "Quantificazione dell'apporto di sedimenti provenienti dall'erosione delle sponde del fiume Cecina". *Atti del Convegno* "GEOSED 2008", 118-120.

Teruggi L.B., Rinaldi M. (2009), "Analysis of planimetric channel changes along the Cecina River (central Italy)". *In: Medimond International Proceedings of 27th IAS Meeting of Sedimentology,* Alghero, Italy, 27-30.

Teruggi L.B., Rinaldi M., Chiaverini I., Ostuni D. (2011), "Application of terrestrial photogrammetry to the measurement of a riverbank retreat". *Italian Journal of Engineering Geology and Environment. Special Issue.* 115-122.

Utilizzo di modelli bio-geo-chimici guidati da immagini telerilevate per stimare a scala nazionale i flussi di carbonio in ecosistemi forestali

Gherardo Chirici (*), Marta Chiesi (**), Massimiliano Pasqui (**), Piermaria Corona (***), Riccardo Salvati (***), Anna Barbati (***), Fabio Lombardi (*), Fabio Maselli (**)

(*) DiBT EcoGeoFor, Università del Molise, Contrada Fonte Lappone snc, 86090 Pesche (IS), Italy
(**) IBIMET-CNR, via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino. Tel. 055 5226024
(***) DIBAF, Università della Tuscia, Via San Camillo de Lellis, 01100 Viterbo, Italy

Riassunto
Nel 2008 il Ministero dell'Università e della Ricerca ha finanziato il progetto FIRB C_FORSAT che ha lo scopo di sviluppare, applicare e validare un modello di stima regionalizzato della produttività degli ecosistemi forestali. A questo scopo il modello bio-geochimico BIOME-BGC è stato opportunamente calibrato e validato per le principali categorie forestali italiane anche grazie all'ausilio del modello C-Fix. Questo infatti è capace di stimare in maniera diretta la fotosintesi (GPP) attraverso l'uso di immagini tele rilevate di *Normalised Difference Vegetation Index* (NDVI). Per lo stesso periodo di studio sono stati acquisiti tutti gli strati informativi utili al funzionamento dei modelli, ivi inclusa una innovativa copertura di dati meteorologici giornalieri spazializzati. Il contributo richiama brevemente la metodologia utilizzata nel progetto e presenta i risultati dei primi test di validazione realizzati tramite torri *eddy covariance*.

Abstract
In 2008 the Italian Ministry of Education, University and Research funded the FIRB C_FORSAT project with the aim of developing, applying and validating an integrated modelling approach to estimate regional forest ecosystem productivity for the study period 1999-2010. To this aim the bio-geochemical model BIOME-BGC has been calibrated and validated to be applied for the main Italian biome-types; this operation was carried out by using the parametric model C-Fix. This is in fact capable to directly measure GPP and is based on the use of remotely sensed NDVI data. All layers required to initialise both models were acquired including a daily dataset of meteorological data. The current paper briefly describes the adopted methodology and shows the first tests carried out using data collected by the eddy correlation technique.

Introduzione
Gli ecosistemi forestali sono uno dei principali serbatoi di carbonio e la quantificazione della CO_2 sottratta all'atmosfera è una delle attività previste dal protocollo di Kyoto (Waring e Running, 2007). Attualmente tali informazioni sono desunte in Italia dall'Inventario Forestale Nazionale che, basandosi su una vasta campagna di rilievi a terra, ha un elevato costo di realizzazione. Per questo, ed in vista dei cambiamenti climatici in atto sul nostro pianeta, un importante obiettivo di ricerca è quello di sviluppare metodologie atte alla stima ed alla modellizzazione dell'effettivo accumulo di carbonio stoccato nelle foreste italiane.
Tra le metodologie proposte in letteratura per raggiungere tale scopo (tecniche di *eddy covariance*, immagini da satellite e modelli bio-geochimici), quelle basate sull'impiego dei modelli di simulazione dell'ecosistema unite all'utilizzo di dati telerilevati risultano le più promettenti. Esse infatti uniscono la possibilità offerta dai modelli di stimare tutti i processi dell'ecosistema basandosi sulla conoscenza delle specie analizzate e dell'ambiente in cui si trovano con quella di ottenere informazioni su vasta scala spaziale e con alto grado di ripetizione grazie all'uso di dati telerilevati.

Nel 2008 il Ministero dell'Università e della Ricerca ha finanziato il progetto FIRB C_FORSAT che ha lo scopo di sviluppare, applicare e validare un modello di stima regionalizzato della produttività degli ecosistemi forestali. Nello specifico si è adattato all'ambiente mediterraneo un modello parametrico, C-Fix, basato sull'uso di dati telerilevati e capace di fornire una stima diretta della produttività primaria lorda (GPP) (Maselli et al., 2009a). In aggiunta a questo è stato impiegato il modello bio-geochimico BIOME-BGC capace di simulare le respirazioni, sia autotrofe che eterotrofa ed e le diverse allocazioni (Running and Hunt, 1993). Dall'integrazione tra i due modelli, effettuata seguendo Maselli et al. (2009b), è possibile poi ottenere anche produttività primaria netta (NPP) e flusso netto dell'ecosistema (NEE). Il presente lavoro, dopo una breve descrizione dei dati , dell'area di studio e della metodologia (per maggiori dettagli si rimanda a lavori specifici), mostra le stime di GPP su base territoriale ed un preliminare confronto tra dati di riferimento di GPP ed NEE giornalieri ottenuti con tecniche di *eddy-covariance* per due siti nazionali e le stime prodotte con la procedura di integrazione.

Area di studio

L'indagine ha interessato tutto il territorio italiano (36°-47°30′ latitudine Nord, 5°30′-18°30′ longitudine Est) che si presenta assai diversificato sia per le caratteristiche climatiche delle diverse zone che per quelle orografiche. Conseguentemente la vegetazione che copre questa vasta penisola è molto eterogenea. In particolare le foreste coprono circa un terzo della superficie totale e le formazioni maggiormente rappresentate sono dominate dalle querce e dal faggio. Tra le conifere la specie più diffusa è l'abete rosso (*Picea abies* (L.) Karst), seguito dai pini montani (*Pinus sylvestris*, *P. nigra* Arnold) e da quelli mediterranei (*P. halepensis* Mill, *P. pinaster* Ait., *P. pinea* L.) (http://www.infc.it).

Dati di studio

Per caratterizzare dal punto di vista meteorologico il territorio italiano, sono stati impiegati i dati giornalieri forniti dal dataset E-OBS (Haylock et al., 2008). Questo database è stato prodotto nell'ambito del progetto ENSEMBLES e fornisce dati per tutta Europa alla risoluzione spaziale di 0.1° (http://www.ensembles-eu.org/).

Il modello digitale del terreno (DEM) con una risoluzione spaziale di 1 km è stato ottenuto da un lavoro precedente (Blasi, 2005), mentre la mappa digitale relativa alla distribuzione delle foreste italiane è stata ottenuta dal CORINE *Land Cover* 2000 alla scala di 1:100000 (Maricchiolo et al., 2004). Le classi originali sono state raggruppate in 6 gruppi diversi basandosi su considerazioni eco fisiologiche al fine di poter applicare BIOME-BGC (Maselli et al., 2009b).

Le immagini NDVI per l'applicazione del modello C-Fix modificato sono state ottenute dal satellite SPOT-VEGETATION. Le immagini, che hanno una risoluzione spaziale di 1 km, sono state scaricate in formato pre-elaborato per il periodo 1998-2006 (http://free.vgt.vito.be/) (Figura 1).

I dati di riferimento utilizzati per una preliminare validazione sono stati raccolti applicando la tecnica di *eddy covariance* presso le torri di misura di San Rossore e Roccarespampani. Le loro caratteristiche sono riassunte in Tabella 1 (vedere anche http://fluxnet.ornl.gov).

Tabella 1. Principali caratteristiche delle due aree di studio impiegate per la validazione.

Area di studio	Posizione	Orografia (altitudine)	Specie prevalente	Volume (m^3/ha)	Periodo di misura
San Rossore	43.7° N, 10.5° E	Pianura costiera (10 m)	*Pinus pinaster* Ait.	390	2001-2005
Roccarespampani	42.39° N, 11.92 ° E	Colline interne (178 m)	*Quercus cerris* L.	75	2001-2005

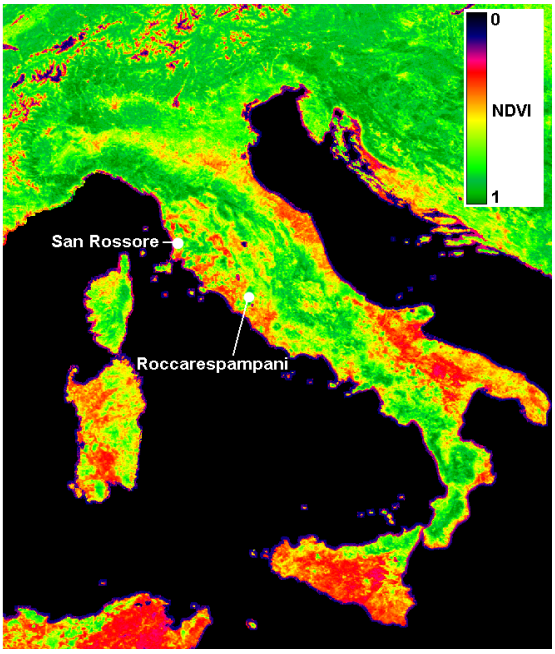


Figura 1. Immagine NDVI del sensore SPOT-VGT relativa al mese di agosto 2003 con indicazione delle due aree per le quali si dispone di misure di flusso giornaliere.

Metodologia

La metodologia adottata è basata sull'impiego di dati satellitari ed ancillari prodotti come descritto da Maselli et al., (2009b). Fanno eccezione i dati meteorologici che, in questo caso, sono derivati dal dataset europeo E-OBS sopra descritto. Le temperature e precipitazioni giornaliere sono state riportate alla risoluzione spaziale di 1 km applicando la tecnica delle regressioni multivariate calibrate localmente (Maselli et al., 2012); successivamente è stata stimata la radiazione solare con l'algoritmo MT-Clim (Thornton et al., 2000).

I due modelli, BIOME-BGC opportunamente calibrato (Chiesi et al., 2007), e C-Fix, nella versione modificata per meglio adattarlo alle regioni mediterranee (Maselli et al., 2009a), vengono utilizzati per stimare la GPP e le respirazioni degli ecosistemi. I risultati che producono sono poi integrati tramite un metodo che tende ad unire i vantaggi di entrambi i modelli, ovvero la maggior accuratezza del primo nello stimare la produttività primaria lorda e la capacità del secondo di simulare tutti i processi di respirazione (sia autotrofa che eterotrofa) ed allocazione (Maselli et al., 2009b). Vengono poi utilizzate stime di volume come *proxy* della distanza degli ecosistemi dalla condizione di equilibrio simulata da BIOME-BGC.

Una volta ottenute stime di produttività a 1 km di risoluzione spaziale per tutto il territorio nazionale coperto da foreste, si è proceduto ad una loro validazione mediante confronto con i dati delle torri per due siti, San Rossore e Roccarespampani, per i quali disponiamo di dati di GPP ed NEE di riferimento. Il confronto è stato effettuato riportando il valore dei principali parametri statistici (coefficiente di correlazione, r, scarto quadratico medio, RMSE ed errore medio percentuale, MBE%).

Risultati

L'applicazione dei dati meteo giornalieri riportati alla risoluzione spaziale di 1 km ha permesso di applicare i modelli per tutto il territorio nazionale (per approfondimenti vedere Maselli et al., 2012).

La mappa di GPP media ottenuta utilizzando le immagini SPOT-VGT è mostrata in Figura 2. I valori di GPP medi sono compresi tra 700 e 1800 g C/m^2/anno. In generale le foreste di tipo mediterraneo riportano i valori più alti: esse crescono in zone temperate e la loro attività è limitata prevalentemente dalla stagione secca. Gli ecosistemi di ambiente montano invece, la cui attività foto sintetica è limitata dal fattore termico durante buona parte dell'anno, producono meno. Complessivamente la prevalenza di limitazioni termiche determina un andamento decrescente dei valori di GPP dalle zone pianeggianti e meridionali, verso quelle in zone montuose e settentrionali, seguendo i principali gradienti altitudinali e latitudinali.

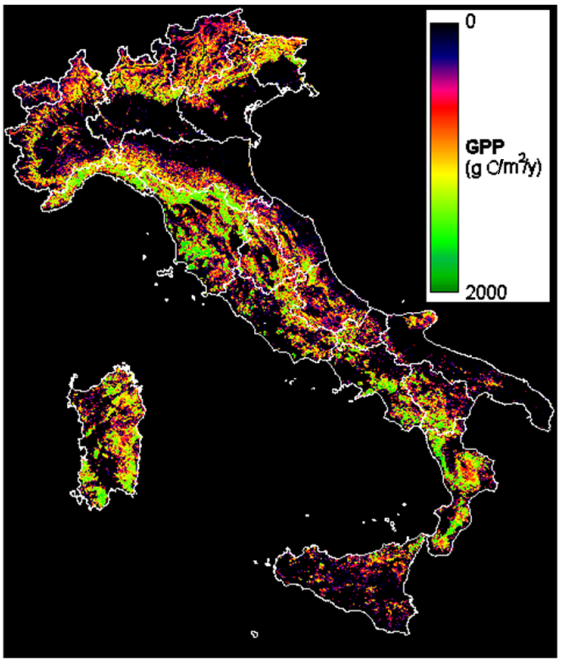
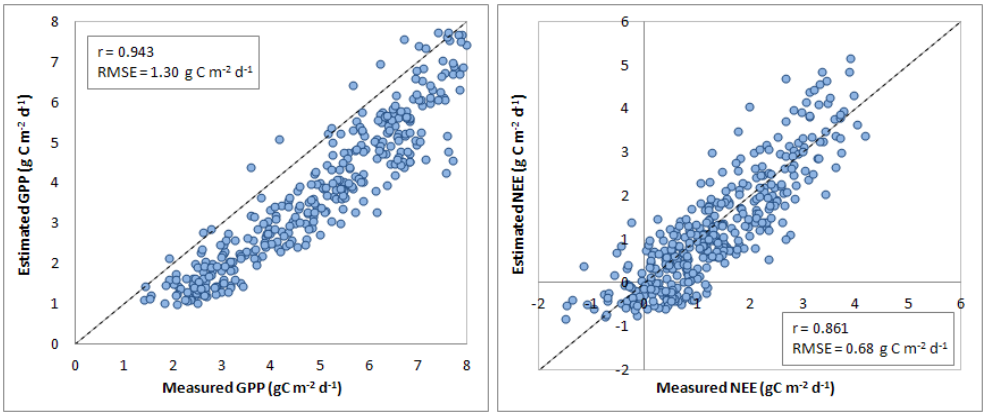


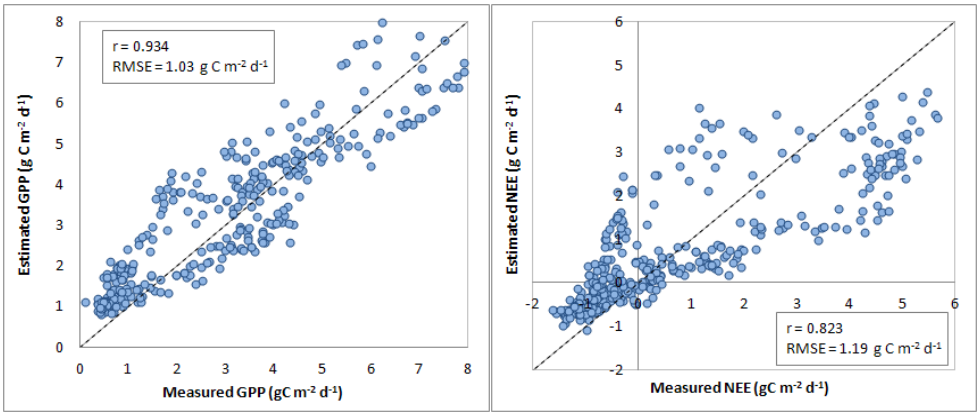
Figura 2. GPP annuale media delle foreste italiane e relativa al periodo 1998-2006. In bianco sono riportati i confini delle regioni.

Per quanto riguarda la valutazione dell'accuratezza delle stime ottenute, il confronto con dati indipendenti viene riportato nelle Figure 3-4. In figura 3A si riporta il confronto tra i valori di GPP simulati e le misure *eddy covariance* disponibili per San Rossore. Qui il valore medio annuale della GPP è circa 1800 g C/m^2/anno, che corrisponde ad una foresta produttiva senza evidenti limitazioni termiche o da siccità estiva. Il valore medio stimato è invece pari a circa 1450 g C/m^2/anno. Il confronto su base giornaliera evidenzia il buon accordo tra i dati in termini di correlazione (r =0.943) ed evidenzia la sovrastima (RMSE = 1.30 g C/m^2/giorno, MBE% = 22.4). La NEE annuale è intorno a 450 g C/m^2/anno sia per il misurato che lo stimato e dal confronto effettuato su base giornaliera si ottiene un buon accordo sia in termini di correlazione (r = 0.861) che di errore (RMSE = 0.68 g C/m^2/giorno, MBE% = -7.5). Si evidenzia solo una lieve sottostima più marcata a valori alti di NEE (figura 3 B).
Per quanto riguarda Roccarespampani (Figura 4), l'accordo è buono e si registra solo una lieve sovrastima (r = 0.934, RMSE = 1.03 g C/m^2/giorno, MBE% = 1.37).



A B

Figura 3. Confronto tra i valori medi giornalieri di GPP (A) ed NEE (B) misurata e stimata per San Rossore (dati relativi al periodo 2001-2005). Tutte le correlazioni sono altamente significative (P<0.001).



A B

Figura 4. Confronto tra i valori medi giornalieri di GPP (A) ed NEE (B) misurata e stimata per Roccarespampani (dati relativi agli anni 2001-2007). Tutte le correlazioni sono altamente significative (P<0.001).

I valori di GPP giornalieri simulati per Roccarespampani vengono confrontati con quelli misurati in Figura 4A. Il valore annuale medio, che è pari a circa 1350 g C/m^2/anno, è indice di ecosistema abbastanza produttivo senza forti stress termici o idrici; tale valore è abbastanza ben riprodotto dalla stima effettuata utilizzando i dati Spot-VGT. Su base giornaliera l'accuratezza ottenuta è buona sia in termini di correlazione che di errore (r = 0.934, RMSE = 1.03 g C/m^2/giorno, MBE% = 1.37).
Per quanto riguarda il valore medio annuo di NEE misurato dalla torre (NEE = 271 g C/m^2/anno), valore medio-basso, questo viene riprodotto bene applicando la metodologia di integrazione; su base giornaliera però si evidenziano alcune differenze e l'accordo risulta moderato (r = 0.823, RMSE = 1.19 g C/m^2/giorno e MBE% = 1.66) (Figura 4B).

Conclusioni

La metodologia messa a punto ed applicata nell'ambito del progetto di ricerca C_FORSAT consente di ottenere stime accurate di carbonio prodotto dagli ecosistemi forestali italiani sia in

termini di GPP (stimata direttamente attraverso l'uso dei dati tele rilevati) che di NEE (ottenuta attraverso il processo di integrazione brevemente richiamato).
Il confronto preliminare mostrato tra dati raccolti con tecniche eddy-covariance e le stime prodotte sono incoraggianti. L'applicazione su base nazionale potrà consentire di effettuare sia un monitoraggio degli ecosistemi forestali ai fini di una loro gestione sostenibile, sia una valutazione degli effetti dovuti a cambiamenti climatici e/o gestionali eventualmente ipotizzabili secondo gli scenari più probabili.

Ringraziamenti
Il lavoro è stato parzialmente finanziato dal progetto MIUR FIRB-Futuro in Ricerca 2008 C_FORSAT - Modellizzazione dell'accumulo di carbonio negli ecosistemi forestali nazionali tramite integrazione di dati convenzionali, dati telerilevati e modelli di produttività. Gli autori ringraziano i responsabili delle torri di San Rossore e Roccarespampani nelle persone di Dr. G. Seufert e Dr. D. Papale, per la disponibilità dei dati *eddy covariance*.

Bibliografia
Blasi, C., (2005). "Spazializzazione di variabili climatiche su base nazionale". Manuscript. Ministero dell'Ambiente e del Territorio, Roma, Italy.

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.

Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D., New M. (2008), "A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation", *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201.

Marchetti M., Barbati A., 2007. Land use changes. In: Blasi C., Boitani L., La Posta S., Manes F., Marchetti M. (eds.), "Biodiversity in Italy", Ministry for the Environment, Land and Sea Protection, Roma, Italy, pp. 108-114.

Maricchiolo, C., Sambucini, V., Pugliese, A., Blasi, C., Marchetti, M., Chirici, G., Corona, P., (2004). "La realizzazione in Italia del progetto europeo I&CLC2000: metodologie operative e risultati", Proceedings, 8th National Conference ASITA "GEOMATICA: Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie", Roma, Italy, vol. 1, pp. CXIII-CXXVIII.

Maselli F., Papale D., Puletti N., Chirici G., Corona P. (2009a) "Combining remote sensing and ancillary data to monitor the gross productivity of water-limited forest ecosystems", *Remote Sensing of Environment*, 113: 657-667.

Maselli, F., Chiesi, M., Moriondo, M., Fibbi, L., Bindi, M., Running, S.W. (2009b). "Modelling the forest carbon budget of a Mediterranean region through the integration of ground and satellite data", *Ecological Modelling*, 220, 330–342.

Maselli, F., Pasqui, M., Chirici, G., Chiesi, M., Fibbi, L., Salvati, R., Corona, P. (2012). "Evaluation of a 1-km daily meteorological dataset for modelling vegetation production in Italy". *Climate Research*, accepted.

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 JR and Field CB. (Eds) Scaling physiological processes: leaf to globe Academic Press, San Diego, USA, pp. 141-158

Thornton, P.E., Hasenauer, H., White, M.A. (2000). "Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: an application over complex terrain in Austria", *Agricoltural and Forest Meteorology,* 104, 255–271.

Waring H.R. and Running S.W. (2007), *Forest Ecosystems. Analysis at Multiples Scales*. 2nd edition. Academic Press, San Diego, p. 55.

Sistema di Supporto decisionale per la conservazione della biodiversità minacciata nei sistemi agricoli. Il progetto DINAMO (Life NATIT00324)

Giovanni Ciccorelli, Maria Laura Carranza, Angela Stanisci, Anna Loy, Davide Marino, Lorenzo De Lisio, Fabiana Berardo

EnvixLab, Dipartimento di Bioscienze e Territorio -Università degli Studi del Molise, Contrada Fonte Lappone, 86090 Pesche (IS)
giovanni500@gmail.com, carranza@unimol.it, stanisci@unimol.it; a.loy@unimol.it; dmarino@unimol.it; lorenzo.delisio@fastwebnet.it; fabi.berardo@hotmail.it

Riassunto

Obiettivo generale dello studio è quello di dimostrare l' utilità dei sistemi informativi territoriali (SIT) e di supporto decisionale (DSS) nella pianificazione e realizzazione di progetti di conservazione. Il lavoro si svolge nel contesto del progetto europeo LIFE NATIT00324 DINAMO ("Incremento della biodiversità a rischio di estinzione nelle aree agricole e seminaturali: un modello di gestione innovativo"). L'obiettivo principale di DINAMO è quello di preservare e incrementare le popolazioni di specie e le superfici di habitat minacciati nei sistemi agricoli costieri grazie alla cooperazione congiunta di soggetti pubblici (Amministrazioni comunali) e privati (agricoltori).

A titolo di esempio viene modellizzata una delle azioni di conservazione DINAMO: l'impianto di specie arboree e arbustive lungo fossi e torrenti di alcune aziende agricole coinvolte nel progetto mirati ad un duplice obiettivo: l'incremento della vegetazione naturale nel sistema agricolo, e il miglioramento della connettività nelle aree esterne ai SIC per la Testudo hermanni. Come supporto al processo decisionale sono stati prodotti due modelli spaziali per la Testudo hermanni: 1) Modello di Distribuzione Spaziale (Spatial Distribution Model), 2) Modello della connettività. Entrambi i modelli sono stati sviluppati per il paesaggio agricolo prima dell'intervento, e su tre scenari ipotetici che presentano delle distribuzioni alternative delle aree di piantumazione. Successivamente, in base ai risultati ottenuti sono state scelte le aree di intervento che più efficacemente contribuiscano alla realizzazione di una rete ecologica per la specie. Le prime osservazioni derivate dal lavoro di monitoraggio dimostrano una pianificazione adeguata ed efficace.

Abstract

The utility of the Geographic Information Systems and the Decision Support Systems on supporting landscape planning are undisputed. We illustrate a DSS specifically built to identify and plan conservation actions oriented to increase the menaced biodiversity on agricultural areas. The work takes place in the context of the European project LIFE NATIT00324 DINAMO (Increasing endangered bioDIversity iN Agricultural and semi-natural areas: a demonstrative Management mOdel). The aim of DINAMO is to preserve and increase the endangered biodiversity (habitats and species) on agricultural landscapes through the joint cooperation of public (municipal government) and private (farmers) stake holders.

In particular, we describe the Decision process on implementing one of the DINAMO conservation actions: "tree and shrub planting along ditches and streams on agricultural areas". The effects of such action must be dual: the increment of natural vegetation area and the improvement of connectivity for the Testudo hermanni outside the Natura2000 sites. During the Decision process we integrated two specific spatial models for Testudo hermanni: a) the Habitat Distribution Model

distribuzione della specie (Habitat Distribution Model – HDS; Guisan, Thuiller, 2005) ed uno che ne modellizza il movimento nel paesaggio (Connectivity Model, Saura & Pascual-Hortal, 2007). Per la costruzione del modello di distribuzione della testuggine (HDM) sono stati elaborati i tematismi cartografici adatti a descrivere le caratteristiche del territorio in funzione dei requisiti ecologici e dei fattori potenziali di disturbo della specie (carta delle pendenze elaborata da un modello digitale del terreno con passo di 20 m, carta degli insediamenti abitativi, carta dell'idrografia, carta delle aree boscate e cespugliate scala 1:5.000, carta delle infrastrutture per il trasporto su strada e su rotaia). In particolare, le aree boscate e cespugliate con una pendenza inferiore al 25% sono state definite idonee ospitare per *Testudo hermanni* in quanto offrono riparo sia nei mesi estivi (riparo dal caldo eccessivo) sia per quelli invernali (aree di rifugio per il letargo) (Fig. 2). Il modello di distribuzione è stato costruito con un approccio 'expert based' (Corsi et al., 2000), attribuendo valori idoneo/non idoneo e filtri alle diversi componenti di ciascun tematismo.
Per il modello di connettività è stato necessario definire la "permeabilità" allo spostamento della matrice di paesaggio. In particolare è stato costruito un "grid di attrito" riclassificando e combinando le diverse cartografie tematiche in base alle loro resistenze per lo spostamento della specie (Fig. 2). Sono state definite come aree atte allo spostamento le aree seminaturali ed agricole (Corti, Zuffi, 2003; Mazzotti 2004, 2006) e come barriere i corsi idrici, le aree urbane, l'autostrada A14 e la ferrovia Bologna-Bari.
Successivamente, per definire l'efficacia ecologica del territorio attuale e quella post-intervento di rinaturalizzazione, i due modelli (distribuzione e permeabilità della matrice) sono stati integrati mediante l'implementazione di un indice di connettività (PC – Probability of connectivity, Saura & Pascual-Hortal, 2007) derivante dalla teoria dei grafi. L'indice PC si basa sul concetto di disponibilità di habitat (nodi del grafo) e su un modello probabilistico di legami funzionali tra gli habitat stessi (calcolati attraverso un algoritmo di cammini di costo minimo – Minimum Cost Path). Con l'utilizzo di PC si è valutata la connettività per la testuggine prima degli interventi di rinaturalizzazione. Il contributo di ogni area di distribuzione (nodo del grafo) alla connettività per la testuggine è stato valutato attraverso il dPC, tecnica che prevede il calcolo del valore di PC eliminando un nodo alla volta (leave one out). In questo modo è stato possibile identificare quali sono i nodi che migliorano la connettività. Inoltre, l'indice PC è stato successivamente scorporato nei suoi tre componenti (habitat, connessione e flusso - rispettivamente PCintra , PCconnector e PCflux) in modo da valutare come ogni singolo nodo contribuisce a mantenere la connettività del sistema (Per dettagli vedere Saura e Rubio 2010).
In un secondo momento si è provveduto a valutare diversi scenari legati all'intervento che prevede la riqualificazione di 5 ettari di habitat boscati ai margini di fossi presenti nelle aree agricole coinvolte nel progetto (Fig. 3): a) creazione di un nuovo poligono di boscato (nodo), b) creazione di lembi lineari di bosco che permettano di unire delle piccole macchie di habitat già presenti (da due o piu nodi piccoli ad un nodo più grande), c) habitat creazione di aree boscate che consentano di annettere piccole macchie boscate a grandi macchie boscate già esistenti (da un nodo grande ed alcuni piccoli, si passa ad un nodo molto grande).

Risultati
La carta della distribuzione potenziale ha messo in evidenza l'esistenza di 111 nodi di habitat idoneo per la testuggine di Herman. Tali nodi , di diversa grandezza ed importanza, si distribuiscono in maniera non uniforme nell'area (Fig. 2). Le macchie più grandi di habitat idoneo si distribuiscono lungo i boschi ripari e a ridosso della linea di costa (pinete e rimboschimenti di conifere).

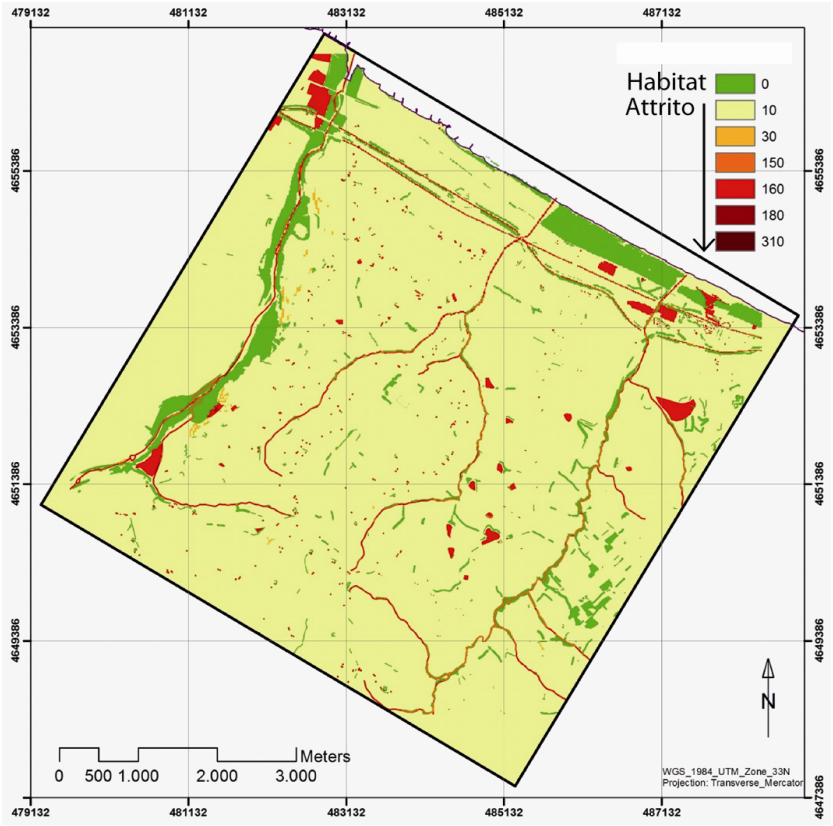


Figura 2. Modello di distribuzione di Testudo hermanni (aree verdi) e permeabilità della matrice territoriale (dal giallo al marrone) prima degli interventi DINAMO.

L'analisi della connettività per la testuggine di Hermann basata sui tre diversi scenari ha messo in evidenza che gli interventi di a) e c) sono i più efficaci in quanto portano ad un incremento di PC e quindi migliorano la connettività del sistema (Tab. 1; Fig.3).

Tabella 1. Valori di connettività (PC) e numero macchie idonee (N) per i diversi scenari.

	N	PC
T0	114	1,207
A	115	1,243
B	114	1,209
C	111	1,216

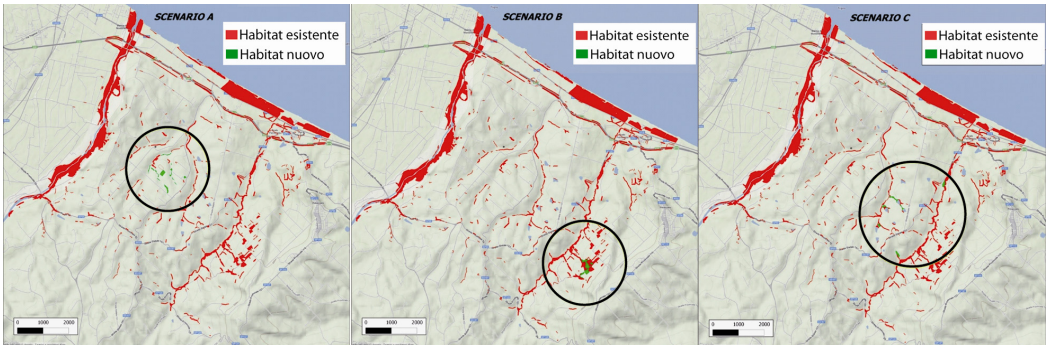


Figura 3. Distribuzione dell'habitat di Testudo hermanni secondo tre ipotesi di intervento. Nuovo habitat A) in un nuovo nodo isolato, B) in contiguità di piccoli nodi esistenti, C) in contiguità ad un nodo molto esteso già esistente.

Discussione

Il mantenimento di elevati livelli di connettività in paesaggi altamente frammentati dall'attività antropica è una priorità delle politiche di conservazione delle specie sensibili di estinzione. Pertanto lo studio di Testudo h. hermanni in un contesto agricolo e antropizzato ha richiesto una lettura strutturale e dinamico-funzionale del mosaico territoriale basata sulle conoscenze della biologia e dell'etologia della specie (Pullin et al., 2004; Battisti, 2004; Moilanen et al., 2005).

L'utilizzo dell'indice di "Probabilità di Connettività" (Saura, Pascual-Hortal, 2007), si è dimostrato uno strumento efficace per integrare pattern territoriale e processi ecologici. Esso ci ha permesso di descrivere la struttura e la funzione dell' habitat idoneo nel contesto della funzionalità e della dinamica in ambienti agricoli, e di stabilire una priorità di intervento in rapporto della loro distribuzione spaziale.

L'area indagata ha mostrato un grado di connettività post intervento maggiore di quello precedente le azioni di riforestazione e riqualificazione boschiva e arbustiva. La variazione dell'indice PC ha permesso di identificare gli interventi più efficaci nell'aumentare la funzionalità della rete ecologica per la testuggine di Herman nell'area. Tra questi l'aggiunta di un grosso nuovo nodo (tipo a) o di lembi boscati che collegano diversi lembi piccoli ad un lembo di habitat esteso già esistente .

La pianificazione degli interventi, in questo caso, si è basata sull'analisi di diversi scenari. In particolare, la gerarchizzazione dei nodi e dei legami ha consentito di individuare gli elementi critici per mantenere, migliorare o incrementare gli attuali valori di connettività.

I tre scenari analizzati hanno permesso di avere più chiaro il ruolo che svolgono le nuove patch di riforestazione in relazione alla connettività specie-specifica del paesaggio. Tale approccio può essere esteso ad altre specie o aree e rappresenta un utile strumento per massimizzare l'efficacia degli interventi di conservazione e ottimizzare le risorse investite nei progetti.

Bibliografia

Battisti C. (2004). *Frammentazione ambientale, connettivita', reti ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica.* Provincia di Roma, Assessorato alle politiche ambientali, Agricoltura e Protezione civile pp.

Carranza M.L., Ciccorelli G. (2011), Il SITI DINAMO: Un sistema Informativo Territoriale Integrato per la conservazione della biodiversità minacciata nei sistemi agricoli del Basso Molise. In: Carrabba P., Padovani L.M, De Mei M., Stanisci A., Carranza M.L. (eds.) 2011 *Il Progetto DINAMO per la biodiversità del Molise (LIFE08 NAT/IT/000324). Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.* Roma. ISBN 978-88-8286-237-4. pp: 35-39. On line: http://www.life- dinamo.it/attachments/093_Biodiversita_Molise_2011_web.pdf

Carranza M.L., Ciccorelli G., De Lisio L., Stanisci A. (2011), Un Sistema di Supporto

Decisionale per promuovere la biodiversità minacciata nei sistemi agricoli del Basso Molise. In: Carrabba P., Padovani L.M, De Mei M., Stanisci A., Carranza M.L. (eds.) 2011 *Il Progetto DINAMO per la biodiversità del Molise (LIFE08 NAT/IT/000324) D.1.S – D.2.S – D.3.S. ENEA.* Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. Roma. ISBN 978-88-8286-237-4. pp: 67-75. On line. http://www.life-dinamo.it/attachments/093_Biodiversita_Molise_2011_web.pdf

Corsi F., De Leeuw J., Skidmore A. (2000), Modeling species Distribution with GIS. In *"Research Techniques in Animal Ecology. Controversies and Consequences."* Boitani L., Fuller T. (Eds), 11: 389-434.

Corti C., Zuffi M.A. (2003), Aspects of population ecology of Testudo hermanni hermanni, from Asinara Island, NW Sardina (Italy, Western Mediterranean Sea): preliminary data. *Amphibia-Reptilia*, 24 (4): 441-447.

Guisan A., Thuiller W. (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Ecol Lett 8:993-1009

Marino D., Stanisci A., Loy A., Carranza M.L.**,** Marchetti M., Di Carlo A., Blasi F., De Lisio L., Chiavetta U., Ciccorelli G, Pelino G., Antimiani F, Valenti S., Padovani L., Carrabba P., De Mei M., Cappuccio A. (2010), Il progetto DINAMO : conservazione della biodiversità in aree agricole Una rete materiale e immateriale attivata nel Basso Molise**.** *Ambiente Risorse Salute* 125: 11-16.

Stanisci A., Pelino G. (2011), Gli habitat di interesse comunitario nell'area del progetto DINAMO. In: Carrabba P., Padovani L.M, De Mei M., Stanisci A., Carranza M.L. (eds.) 2011 *Il Progetto DINAMO per la biodiversità del Molise (LIFE08 NAT/IT/000324) D.1.S – D.2.S – D.3.S. ENEA.* Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. Lungotevere Thaon di Revel, 76. 00196 Roma. ISBN 978-88-8286-237-4. pp: 23-25. On line. http://www.life- dinamo.it/attachments/093_Biodiversita_Molise_2011_web.pdf.

Loy A., De Lisio L. (2011), La fauna di interesse comunitario nell'area del progetto DINAMO. In: Carrabba P., Padovani L.M, De Mei M., Stanisci A., Carranza M.L. (eds.) (2011*), Il Progetto DINAMO per la biodiversità del Molise (LIFE08 NAT/IT/000324) D.1.S – D.2.S – D.3.S. ENEA.* Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. Lungotevere Thaon di Revel, 76. 00196 Roma. ISBN 978-88-8286-237-4. pp: 26-31. On line. http://www.life-dinamo.it/attachments/093_Biodiversita_Molise_2011_web.pdf

Mazzotti S. (2004), Hermann' s tortoise (Testudo hermanni): current distribution in Italy and ecological data on population from the north Adriatic coast (Reptilia, Testudindae). *Ital. J. Zool*., 71. Suppl.1: 97-102.

Mazzotti S. (2006), Testuggine di Hermann, *Atlante degli Anfibi e dei rettili d'Italia*. pag. 390-395

Moilanen, A., Franco, A.M.A., Early, R., Fox, R., Wintle, B., Thomas C.D. (2005). Prioritising multiple use landscapes for conservation: methods for large multi species planning problems. Proc. R. Soc. Lond. B *Biol. Sci.*, 272: 1885-1891.

Pullin A.S., Knight T.M., Stone D.A., Charman K. (2004). Do conservation managers use scientific evidence to support their decision-making? *Biological Conservation* 119, 245-252.

Saura S, Pascual-Hortal L (2007), A new availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. Landsc Urb Plann 83: 91-103

Saura S, Rubio L (2010), A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography* 33: 523-537

Stanisci A., Pelino G. (2011) Gli habitat di interesse comunitario nell'area del progetto DINAMO In: Carrabba P., Padovani L.M, De Mei M., Stanisci A., Carranza M.L. (eds.) (2011*), Il Progetto DINAMO per la biodiversità del Molise (LIFE08 NAT/IT/000324) D.1.S – D.2.S – D.3.S. ENEA.* Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. Lungotevere Thaon di Revel, 76. 00196 Roma. ISBN 978-88-8286-237-4. pp: 26-31. On line. http://www.life-dinamo.it/attachments/093_Biodiversita_Molise_2011_web.pdf

Sisma Abruzzo 2009: gestione tecnica dell'emergenza

Giandomenico Cifani (*), Giovanni Cialone (**), Antonio Martinelli (***),
Aurelio Petracca(****), Alberto Lemme (*****)

(*) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Sede L'Aquila, Via Carducci 32, 67100 L'Aquila, Tel. 0862316669, Fax 0862318429, giandomenico.cifani@itc.cnr.it
(**) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Sede L'Aquila, Via Carducci 32, 67100 L'Aquila, Tel. 0862316669, Fax 0862318429, giovanni.cialone@itc.cnr.it
(***) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Sede L'Aquila, Via Carducci 32, 67100 L'Aquila, Tel. 0862316669, Fax 0862318429, antonio.martinelli@itc.cnr.it
(****) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Sede L'Aquila, Via Carducci 32, 67100 L'Aquila, Tel. 0862316669, Fax 0862318429, aurelio.petracca@itc.cnr.it
(*****) Collaboratore Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Sede L'Aquila, Viale dei Pentri, snc, 86170 Isernia, Tel. e Fax 0865451926, albertolemme@gmail.com

Dopo ogni terremoto è necessario effettuare, in tempi brevi, indagini su area vasta sul patrimonio storico architettonico danneggiato per la valutazione del danno e dell'agibilità e per la individuazione degli interventi più urgenti di messa in sicurezza. Queste indagini sono condotte ancora con metodi e procedure solo in parte già codificate. Deve ancora essere definita una procedura tecnica e operativa completa per fasi successive: dall'emergenza alla programmazione della fase di "ricostruzione", alla "ricostruzione vera e propria. L'esperienza condotta con il terremoto che ha colpito L'Aquila e l'Abruzzo aquilano il 6 aprile 2009 ha evidenziato sia le buone pratiche adottate, sia quelle che avrebbero dovuto integrarle. Si vuole quindi proporre la definizione di una procedura completa, utile anche per effettuare stime di costi attendibili e graduatorie di priorità degli interventi da eseguire. Va anche ricordato che le fasi della prevenzione, dell'emergenza, e della ricostruzione sono strettamente collegate. Il terremoto del 2009 ha dimostrato come l'assenza di un "percorso" tecnico procedurale completo abbia portato, ad oltre tre anni dal sisma, ad una mancanza di programmazione, ad una casualità nella scelta dei pochi interventi realizzati e a gravi ritardi. Questa esperienza suggerisce ancora una volta la necessità non solo di una legge per la prevenzione, ma anche per la gestione dell'emergenza e della ricostruzione, evitando che dopo ogni terremoto si ricominci da capo senza fare tesoro delle esperienze passate.

After each earthquake you must, in a short time, surveys, on large areas, on the historical and architectural heritage damaged, for the assessment of the damage and the usability and for the identification of the most urgent safety measures. These surveys are conducted with methods and procedures still only partially codified. Must, therefore, still be defined a technical and full operational procedure to conduct in phases: emergency, planning of "reconstruction", "reconstruction". The experience conducted after the earthquake that struck L'Aquila and Abruzzo region April 6, 2009 showed both good practices and those that would have to be integrated. The proposed method has led to the definition of a complete procedure is also useful to make reliable cost estimates and lists of priority actions to be performed. It should also be remembered that the phases of prevention, emergency, and reconstruction are closely interlinked. The earthquake of 2009 has shown that the lack of implementation of good practices, some of the steps indicated, have led to more than three years after the earthquake, to a lack of planning, a randomness in the selection of the few interventions and serious delays. This experience suggests once again the need not only a law for the prevention, but also for the management of the emergency and reconstruction, avoiding that after each earthquake to start over without build on past experience.

Dopo ogni evento sismico si presenta la necessità di effettuare, in tempi ragionevolmente brevi, indagini speditive su area vasta sul patrimonio storico-architettonico danneggiato per la valutazione del danno e dell'agibilità e per la individuazione degli interventi più urgenti di messa in sicurezza.
Nel terremoto che ha colpito L'Aquila e l'Abruzzo il 6 aprile 2009, tale attività è stata coordinata dalla Funzione "Salvaguardia dei Beni Culturali", utilizzato gli strumenti schedografici ufficiali predisposti dal DPC e dal MiBAC approvate con DPCM 23 febbraio 2006 e pubblicate in G.U.: per le chiese (Modello A-DC) per i palazzi (Modello B-DP). Tali schede se da un lato hanno consentito l'identificazione, la localizzazione e la descrizione del bene, l'individuazione dei beni artistici presenti e del relativo danno, la definizione delle caratteristiche geometriche e tipologiche, il riconoscimento del comportamento sismico e dei meccanismi di collasso attivabili ed attivati dal sisma, la descrizione del danno, l'indicazione dell'esito di agibilità e l'identificazione degli eventuali provvedimenti di pronto intervento necessari, dall'altro, si sono rilevate o eccessivamente complesse, quale quella relativa ai palazzi, o comunque insufficienti per una stima attendibile dei costi e per una loro gestione informatizzata che potesse condurre alla definizione di una graduatoria di danno, vulnerabilità e valore, indispensabile per una corretta programmazione degli interventi, anche in funzione di una ottimizzazione dell'uso delle risorse finanziarie.
Da un punto di vista organizzativo-procedurale il primo passo della Funzione Salvaguardia Beni Culturali ha riguardato l'acquisizione della consistenza del patrimonio storico artistico presente sul territorio colpito. Tale operazione si è rilevata non immediata in quanto l'archivio della Soprintendenza dell'Aquila si trovava all'interno della Fortezza Spagnola, struttura fortemente danneggiata dal terremoto. Tuttavia, durante i primi giorni successivi all'evento sismico del 6 aprile, è stato predisposto dal personale afferente alla sede dell'Aquila dell'ITC-CNR, l'elenco degli edifici tutelati presenti nei comuni del territorio colpito. Il Catalogo, punto di partenza per la programmazione delle attività di censimento del danno, è stato successivamente aggiornato in base alle indicazioni dei tecnici che hanno partecipato alle verifiche (squadre di esperti, denominate N.O.P.S.A. Nuclei Operativi Patrimonio Storico Artistico, formate da funzionari delle Soprintendenze, da un ingegnere strutturista, proveniente dalle Università italiane e Istituti di ricerca, come l'ITC-CNR L'Aquila, e da un tecnico dei VV.F.).
Essenziali, in fase di emergenza, sono stati gli interventi di messa in sicurezza e, in particolare, quelli condotti dai VV.F. La messa in sicurezza dei Beni Monumentali rappresenta un aspetto delicato nella gestione dell'emergenza sismica per le incertezze legate alla limitata conoscenza dei manufatti e alla loro stessa natura.
Dopo il terremoto abruzzese del 2009 è stato messo a punto un percorso, in parte già avviato dopo i più recenti eventi sismici che hanno colpito il territorio nazionale, (in particolare Umbria e Marche 1997 e Molise 2002) che prevede la collaborazione tra diverse componenti istituzionali (Comuni, Regione, Mibac, D.P.C., VVF, Comunità Scientifica). Nel caso specifico del terremoto abruzzese, nell'ambito della Funzione Salvaguardia Beni Culturali, è stato costituito un gruppo di tecnici per redigere i progetti di messa in sicurezza degli edifici di culto i cui lavori sul campo sono stati eseguiti dai Vigili del Fuoco. I progetti, redatti principalmente da CNR-ITC, UNIPD e UNIGE sono stati oltre 200 di cui circa il 30% realizzati nel centro storico dell'Aquila.
Per definire la strategia e la progettazione di un opera provvisionale bisogna fare alcune considerazioni di carattere generale tenendo anche conto del momento preciso in cui si interviene.
Nei primi giorni dopo l'evento sismico in genere vengono realizzati interventi limitati e/o eseguiti mediante la posa in opera di presidi di facile e rapido impiego, anche in considerazione della necessità di mettere a regime la "macchina" soprattutto per quanto riguarda la disponibilità di materiali, in queste fasi iniziali assolutamente carenti, e per eliminare situazioni di pericolo imminente. Ne sono un esempio la bonifica delle zone pericolanti con parziali demolizioni controllate, la rimozione delle macerie incombenti su spazi pubblici da rendere accessibili alla circolazione d'emergenza, la protezione delle parti esposte agli eventi meteorologici con teli, la protezione delle murature disgregate con malta a base di calce, l'utilizzo di fasce di nylon per interventi di cerchiatura, puntelli in legno e in acciaio per opere di sostegno e ritegno.

Dopo questa fase si passa alla progettazione e alla realizzazione dell'intervento definitivo di messa in sicurezza con opere provvisionali che potrebbero rimanere in esercizio per anni e che quindi devono avere caratteristiche di durabilità e resistenza alle azioni che potrebbero gravare sulla struttura nel periodo di tempo in cui resteranno in opera.
A tal proposito è opportuno effettuare una analisi preliminare delle condizioni di danneggiamento e un rilievo geometrico di massima per verificare la presenza di deformazioni e modifiche del comportamento delle strutture.
Spesso questi principi di base sono disattesi e vengono progettate e realizzate opere provvisionali che conferiscono alla struttura un livello di sicurezza maggiore di quello richiesto con costi elevati.
Quando l'intervento è progettato nella fase post-emergenza è possibile prevedere anche presidi definitivi purché compatibili con la logica dell'intervento finale di restauro.
Questa operazione potrebbe presentare qualche rischio per scelte affrettate e irreversibili che potrebbero compromettere gli aspetti culturali del bene, ma comunque è opportuno cercare di effettuare, ove possibile, interventi che possano essere definitivi con un evidente risparmio di costi.
Pertanto alcuni interventi ritenuti efficaci e di limitato impatto possono essere considerati come opere definitive a pieno titolo e introdotti tra gli interventi provvisionali.

Tuttavia non sono mancati aspetti negativi quali, in alcuni casi:

a) l'evidente sovradimensionamento degli interventi soprattutto riguardo gli edifici vincolati privati;
b) la mancanza o la poca tempestività nella realizzazione delle opere di protezione, soprattutto per gli edifici privati, determinando un aggravamento dei danni (maggiori costi per la fase di recupero);
c) il ritardo nella esecuzione di interventi di messa in sicurezza determinando anche in questo caso un aggravamento dei danni (maggiori costi per l'intervento di messa in sicurezza);
d) interventi potenzialmente dannosi in caso di repliche significative e di complessa o costosa reversibilità;
e) interventi sovradimensionati tanto da rendere, in molti casi, difficoltose anche le operazioni di rilievo propedeutiche all'intervento definitivo di recupero.

Queste operazioni legate alla gestione dell'emergenza dei BB.CC. sinteticamente descritte (Vice-Commissario delegato per la Tutela dei Beni Culturali, 2010) hanno comunque consentito di effettuare un censimento completo sia del patrimonio storico architettonico che dei beni storico-artistici mobili e di procedere alle attività di messa in sicurezza per i primi e di recupero e custodia per i secondi, ove necessario.

L'esperienza del terremoto del 2009 ha però evidenziato una serie di carenze dovute, solo per citarne solo alcune, ai seguenti fattori concomitanti:

a) l'assenza di elenchi, informazioni e indagini di vulnerabilità "ordinati" e informatizzati precedenti al sisma, salvo qualche eccezione disponibile anche se pubblicata successivamente (Cialone G., Cifani G., 2012);
b) il mancato coordinamento, se non conflitto di competenze, tra tutti i vari soggetti competenti (Vice-Commissario Vice-Commissario delegato per la Tutela dei Beni Culturali, Ministero, Direzione regionale e Soprintendenze MiBAC, STM Struttura Tecnica di Missione, soggetti attuatori);
c) i diversi successivi passaggi di competenze: dal Vice-Commissario delegato per la Tutela dei Beni Culturali, al Commissario Delegato per la Ricostruzione, al Vice-Commissario per gli interventi di messa in sicurezza, alla Direzione regionale MiBAC;
d) il mancato aggiornamento continuo del Catalogo dei Beni Culturali e delle informazioni correlate che ancora oggi non consente di avere un quadro chiaro e complessivo della situazione;

e) l'inadeguatezza della "scheda palazzi";
f) la possibilità di effettuare una seconda ricognizione più puntuale con al versione più recente della "scheda chiese";
g) la conseguente impossibilità di effettuare una stima dei costi di intervento più attendibile;
h) l'impossibilità di realizzare una graduatoria di danno e vulnerabilità che, unitamente ad altri criteri quali il "valore", consentisse di definire una programmazione degli interventi in funzione anche in funzione di priorità e costi.

Tale situazione riporta d'attualità il fatto che le fasi della prevenzione, dell'emergenza, e della ricostruzione (intesa anche come attività di prevenzione nei confronti dei futuri eventi sismici) sono strettamente collegate tra loro: quanto viene realizzato in una fase, nel bene e nel male, è condizionato dalla fase precedente e condiziona la fase successiva.



L'aspetto che più colpisce è inoltre quello di non fare alcun tesoro delle esperienze passate sia in termini di prevenzione che in termini di emergenza e ricostruzione. Giova a questo proposito ricordare i ben noti "Rapporti Barberi" e, in particolare, quello sui beni monumentali dell'Italia meridionale (Dipartimento della Protezione Civile, AA.VV., 2001) all'interno del quale, tra l'altro, furono studiati ed utilizzati per la prima volta strumenti schedografici per la valutazione del danno e della vulnerabilità per le varie tipologie di beni storico-architettonici, a partire dagli edifici di culto, o le meno note indagini e procedure per gli edifici di culto del Molise a seguito del sisma del 2002 (Cifani G., Lemme A., Podestà S., 2005).

E' quindi evidente la necessità di "ripensare" tutti i processi che vanno dalla fase di prevenzione a quella dell'emergenza e della ricostruzione, in "tempo di pace".
In fase di prevenzione:

a) costruire un catalogo informatizzato e georeferenziato dei beni storico-architettonici georeferenziato;
b) aggiornare gli strumenti schedo grafici oggi disponibili e integrarli con quelli riferibili alle altre tipologie di beni oltre alle chiese e ai palazzi;

c) effettuare censimenti di vulnerabilità;
d) formare personale specializzato sia per le operazioni sul campo che per gli aspetti organizzativi-gestionali.

In fase di emergenza:

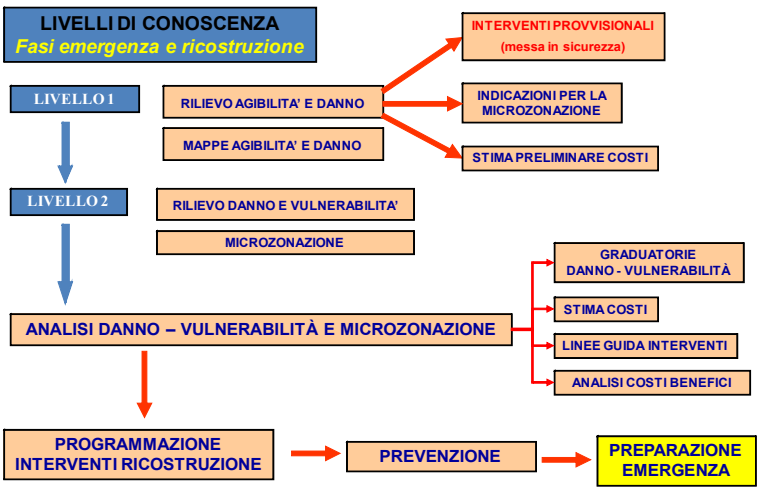
a) effettuare i censimenti di danno, ma anche di vulnerabilità;
b) provvedere ai primi interventi provvisionali;
c) effettuare la messa in sicurezza definitiva dei fabbricati, prevedendo ove possibile interventi che siano definitivi, e la loro protezione dagli agenti atmosferici;
d) l'avvio della fase della conoscenza

In fase di passaggio dall'emergenza alla ricostruzione:

a) completare la fase della conoscenza attraverso la verifica e il completamento di tutte le informazioni acquisite;
b) mettere a sistema tutte le informazioni acquisite;
c) provvedere al monitoraggio e alla manutenzione degli interventi di messa in sicurezza;
d) conseguente costruzione del Quadro generale del danno e della vulnerabilità;
e) determinare la stima dei costi di intervento
f) provvedere alla definizione di graduatorie di priorità in base al danno, alla vulnerabilità e al valore e quindi alla conseguente programmazione degli interventi definitivi;

in fase di ricostruzione:

a) fornire linee guida di dettaglio per la elaborazione dei progetti preliminari, da redigere in base alle graduatorie sopra definite;
b) costituire apposite commissioni per l'esame dei progetti preliminari e autorizzare la redazione dei progetti esecutivi in funzione delle risorse disponibili;
c) effettuare costanti controlli in corso d'opera.



Il quadro generale del danno e della vulnerabilità e delle altre conoscenze acquisite consente ai "decisori" di fare scelte ponderate e di pianificare il processo di "ricostruzione".



Questa esperienza suggerisce ancora una volta la necessità non solo di una legge per la prevenzione, ma anche per la gestione dell'emergenza e della ricostruzione, evitando che dopo ogni terremoto si ricominci da capo senza fare tesoro delle esperienze passate.

Bibliografia

Cialone G., Cifani G. (2012), *Le Terre della Baronia*, Edizioni One Group, L'Aquila

Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Vice-Commissario delegato per la Tutela dei Beni Culturali, AA:VV (2010), *Attività della struttura del vice commissario delegato per la tutela dei beni culturali a seguito del sisma del 6 aprile 2009 in Abruzzo: rapporto di consegna 28 gennaio 2010*

Cifani G., Lemme A., Podestà S. (2005), *Beni monumentali e terremoto: dall'emergenza alla ricostruzione*, Edizioni DEI, Roma

Dipartimento della Protezione Civile, AA.VV. (2001), *Censimento relativo alle emergenze a carattere monumentale ed ambientale nei Comuni ricadenti in tutto o in parte all'interno dei Parchi naturali nazionali e regionali,* Roma

La redazione di un capitolato speciale d'appalto per le riprese LiDAR

Virgilio Cima (*), Mario Fondelli (**), Massimo Rumor (***), Maurizio De Gennaro (****), Antonio Zampieri (****), Umberto Trivelloni (****)

(*) Libero Professionista esperto in Geomatica, virgiliocima@tin.it
(**) Già Professore Ordinario di Topografia nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze e di Cartografia Numerica, nella Facoltà di Pianificazione del Territorio dell'Università IUAV di Venezia, m.fondelli@3fconsulting.it
(***) Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, rumor@unipd.it
(****) Regione del Veneto, Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia, maurizio.degennaro@regione.veneto.it, antonio.zampieri@regione.veneto.it, umberto.trivelloni@regione.veneto.it

Riassunto

Il settore del rilievo aerofotogrammetrico per la documentazione e rappresentazione del territorio risulta negli anni in continua evoluzione, sia per gli aspetti tecnologici sia per i contenuti scientifici.
In questo innovativo scenario, di particolare importanza sono le indicazioni fornite dal rilievo mediante laser scanner posizionato su aeromobile: un sistema che consente di ottenere modelli digitali del terreno (DTM) e della superficie (DSM) di elevata precisione. Si tratta tuttavia di una tecnologia che, pur essendo sicuramente vantaggiosa nei nuovi processi di produzione cartografica, necessita di opportune metodologie di integrazione con le tradizionali operazioni di restituzione al fine di ottimizzare il risultato della combinazione dei due procedimenti.
I numerosi aspetti di ordine tecnico e scientifico sono da più parti oggetto di studio e ricerca al fine di migliorare approcci e metodi legati all'uso integrato di tecnologie differenti; inoltre appare opportuno inquadrare in un ambito definito tali aspetti anche sotto il profilo della normativa tecnica.
L'analisi integrata di diverse metodologie di rilevamento ha consentito di non trascurare gli elementi di complessità insiti nei differenti metodi di acquisizione; aspetti legati alla modellazione altimetrica che necessita di elevati livelli di dettaglio per non vanificare il consistente grado di precisione conseguibile con un corretto uso del LiDAR.
A tale scopo la Regione del Veneto ha realizzato uno studio per definire le linee guida per la redazione di Capitolati Speciali d'Appalto per le tematiche, avvalendosi della consulenza di esperti altamente qualificati in materia: l'attività si è sviluppata sull'esame di una vasta documentazione tecnica, riferita alle caratteristiche del rilievo LiDAR sia in riferimento agli strumenti sia ai risultati potenzialmente acquisibili; inoltre sono state utilizzate le esperienze dirette acquisite nel corso degli ultimi anni.

Abstract

The methods and tools used in the field of aerophotogrammetry are in continuous evolution and the use of LIDAR aerial surveys in now largely applied for the construction of high accuracy DSMs and DTMs. But LIDAR technology, in order to achieve the expected high accuracy, needs to be combined with other, more traditional techniques. This integration, which has been the object of research, experiments and applications, is now well defined and the Regione Veneto thought it was time to draw up for it a technical specification.
With this aim in mind the Regione Veneto has carried out a project, based on a study of the state of the art of LIDAR technology and applications, in order to define the guidelines for the its use and to draw up a specification for the use of aerial LIDAR survey for the construction of large scale elevation models. This specification is part of a series to be used for the construction of the large scale geographic infrastructure of the Regione Veneto and of its Municipalities.

Premesse generali

Nella corrente prassi operativa, la *qualità* degli elaborati informativi geografici viene definita in generale dalla loro *completezza*, dalla loro *chiarezza* e dalla loro *accuratezza metrica*. Ammesso che gli errori presenti negli elaborati informativi geografici abbiano tutti la stessa natura accidentale, la *accuratezza metrica* risulta allora funzione delle modalità di acquisizione e di elaborazione dei dati geografici collazionati e dei condizionamenti imposti dalla relativa rappresentazione numerica.

I progressi registrati in questi ultimi tempi dai moderni processi di rilevamento territoriale e la emergente domanda di informazioni territoriali sempre più aggiornate ed affidabili hanno posto il problema di pervenire ad una più esauriente ed affidabile *corrispondenza biunivoca*, o *verosimiglianza* possibile, fra la realtà oggettiva fisica, formale e dimensionale, degli elementi territoriali interessati e le corrispondenti entità spaziali che ne forniscono la relativa più accurata rappresentazione descrittiva. Una corrispondenza biunivoca tra gli oggetti e la loro rappresentazione, che gli attuali processi di rilevamento assicurano solo se vengono rispettate alcune regole metodologiche da definirsi in sede progettuale.

Invero, il contributo offerto dall'informatica territoriale ha aperto nuove possibilità al monitoraggio del patrimonio culturale ambientale e territoriale regionale da gestire e da salvaguardare, sia dal punto di vista della loro distribuzione nell'ambito territoriale, che della loro descrizione puntuale geometrica e qualitativa.

La messa a punto di opportuni sistemi informativi territoriali consente ormai di ampliare e coordinare in maniera alquanto più ampia e razionale di quanto non sia avvenuto nel passato, le conoscenze sulle diverse realtà correlate, attraverso la loro puntuale definizione in un unico sistema di riferimento spaziale, capace di sovrapporne i domini di pertinenza, incrociarne le peculiari caratteristiche ed elaborarne i relativi dati identificativi. Un trattamento dei dati raccolti, suscettibile di approfondirne la lettura e l'interpretazione, ma anche di predisporre gli elementi necessari per le eventuali urgenze operative e conservative.

Il settore è in continua evoluzione sia per gli aspetti tecnologici sia per i contenuti scientifici, in particolare per quanto attiene:

1. al rilevamento aerofotogrammetrico da piattaforma aerea di immagini digitali e il successivo trattamento per la produzione dei DB geografici
2. al rilievo altimetrico attraverso la tecnologia laser (LiDAR) da piattaforma aerea al fine della determinazione di modelli digitali del terreno e di superficie (DTM e DSM)
3. all'elaborazione di ortofotocarte alle diverse scale e/o risoluzione di immagine
4. all'elaborazione dei DB geografici nella logica multiscala per la gestione dei dati all'interno dell'Infrastruttura Dati Territoriale
5. all'utilizzo nei rilievi territoriali della "Rete di stazioni permanenti GPS", già istituita dalla Regione, in collaborazione con il CISAS (Centro Interdipartimentale Studi e Attività Spaziali "G. Colombo") dell'Università degli Studi di Padova, ai fini della determinazione delle reti plano altimetriche di controllo cartografico e geodetico.

A fronte di questo nuovo panorama, composto da innovazione tecnologica e sofisticate soluzioni hardware e software, la Regione del Veneto, al fine di migliorare le procedure mirate alla formazione ed allo sviluppo delle proprie *infrastrutture dati territoriali* e per adeguarle alle crescenti variegate necessità del governo e del monitoraggio del territorio, ha avviato una attività per definire le linee e gli indirizzi operativi più idonei per l'acquisizione e la diffusione dei dati geografici spaziali in oggetto.

Ulteriori approfondimenti sono stati inoltre avviati per la messa a punto di linee guida inerenti i rilevamenti del DEM mediante la metodologia LiDAR, condizionati tuttavia alla preliminare definizione di alcuni aspetti inerenti le esperienze non ancora completate relative alle attività correlate con il Ministero dell'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare, il quale ha in corso un

rilevamento LiDAR sul territorio nazionale, e con il Consorzio BIM Adige di Verona che ha in programma di rilievo coordinato con il predetto Ministero e la Regione del Veneto da considerare come un *test* sperimentale che può dare indicazioni per un ulteriore aggiornamento del lavoro normativo eseguito.

L'attività condotta dal prof. Mario Fondelli, dal prof. Massimo Rumor e dall'ing. Virgilio Cima, in collaborazione con i funzionari dell'Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia della Regione del Veneto, è stata completata con l'elaborazione di tre importanti documenti tecnico-normativi che sono a disposizione presso il GeoPortale regionale:
- Linee guida per la redazione di un Capitolato speciale per il rilievo laser scanner da piattaforma aerea (LiDAR)
- Linee guida per la realizzazione di un Capitolato speciale per la formazione della CTRN e la strutturazione del DB geografico alla scale 1:2000 e 1:5000
- Linee guida per la redazione di un Capitolato speciale per la formazione dell'ortofotocarta digitale a colori

Tali documenti rappresentano uno strumento utilizzabile anche da altre amministrazioni al fine di ottenere produzioni compatibili per caratteristiche di acquisizione e per qualità e tipologia dei dati. Si tratta di una base essenziale anche in vista della prospettiva di operare aggiornamenti tematici dei contenuti dei database geotopografici.

Linee guida per la redazione di un Capitolato speciale per il rilievo laser scanner da piattaforma aerea (LiDAR)
Il documento fornisce indirizzi sulle modalità di esecuzione del rilievo in riferimento agli elementi operativi, alle caratteristiche e ai formati dei prodotti da fornire e ai controlli di qualità da eseguire.
In particolare vengono trattati gli aspetti relativi alla qualità metrica dei prodotti e alle modalità realizzative in considerazione delle condizioni del territorio da rilevare.

Caratteristiche tecniche:
- S.q.m. (1σ) altimetrico: 25 cm
- S.q.m. (1σ) planimetrico: 50 cm
- Densità per m²: 1,5 punti
- Valori di risposta per impulso (first-last): ≥ 2

Prodotti e formati di consegna:
Tutti i flussi di elaborazione dei dati telerilevati vengono eseguiti nel sistema di riferimento ETRF2000, così come la consegna definitiva dei prodotti finali;
L'organizzazione degli elaborati di consegna è basata su una suddivisione dell'intero territorio in unità elementari, definite "tile", con taglio di 1 km per 1 km.

1. **Dati grezzi LIDAR (raw data) di prima acquisizione:** nuvola di punti costituita dai dati grezzi divisi per strisciate, in formato binario LAS in coordinate UTM-ETRF2000 fuso 32 e altezze ellissoidiche, nella versione completa acquisita in fase di misura (prima dell'eliminazione degli "outliers").
2. **Dati grezzi LIDAR (raw data) senza "outliers":** nuvola di punti costituita dai dati grezzi divisi per strisciate, in formato binario LAS, dopo l'eliminazione degli "outliers".
3. **Nuvola di punti "Ground":** dati classificati come "Ground" in formato ASCII X, Y, Z, Intensità, Classe, con lo spazio come carattere separatore.
4. **Nuvola di punti "Overground":** dati classificati come "Overground" in formato ASCII X, Y, Z, Intensità, Classe, con lo spazio come carattere separatore.

5. **Modello Digitale delle Superfici "First pulse":** (terreni aperti, sommità di manufatti ed edifici, superficie superiore della nuvola di punti nelle zone con risposta ad echi multipli) è il grigliato regolare che modella le superfici "first pulse", in formato ASCII Grid.
6. **Modello Digitale delle Superfici "Last pulse":** (terreni aperti, sommità di manufatti ed edifici, superficie inferiore della nuvola di punti nelle zone con risposta ad echi multipli) è il grigliato regolare che modella le superfici "last pulse", in formato ASCII Grid.
7. **Modello Digitale del Terreno:** (andamento del solo terreno. Il modello è ottenuto dal DSM "Last pulse" mediante l'eliminazione degli oggetti solidi in elevazione come edificato, manufatti ecc.; le parti di modello eliminate sono sostituite con porzioni di superficie ottenute per interpolazione dei valori circostanti) è il grigliato regolare che modella l'andamento del solo terreno, in formato ASCII Grid.
8. **Intensità:** in formato TIFF + TFW in scala di grigio, dimensione del pixel 1 metro, georiferito.
9. **Keypoints Model della nuvola "Ground":** in formato ASCII X, Y, Z, con lo spazio come carattere separatore.
10. **Elementi vettoriali (breakline):** in formato shapefile di tipo PolylineZ.
11. **Quadro di unione dei "tile"** in formato shapefile.

La normativa di riferimento ha avuto una continua attenzione al recepimento di quanto si stava definendo in ambito del Codice dell'Amministrazione Digitale.
Questi i riferimenti normativi:

- "Linee guida - Ortoimmagini alla scala 1:10000 e modelli altimetrici" CISIS - DigitPA;
- Documento a cura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per il Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale per i rilievi con tecnica Laser-scanning LiDAR
- Documenti FEMA (Federal Emergency Management Agency)
- 2003 - Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners, Appendix A: Guidance for Aerial Mapping and Surveying
- 2007 - LiDAR Specifications for Flood Hazard Mapping, Appendix 4B: Airborne Light Detection and Ranging Systems

Linee guida per la realizzazione di un Capitolato speciale per la formazione della CTRN e la strutturazione del DB geografico alla scale 1:2000 e 1:5000

La Regione del Veneto, ai sensi della L.R. 28/76, ha realizzato e provvede all'aggiornamento della Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN) alle scale 1:5.000 e 1:10.000 di tutto il territorio Veneto e, con il "Terzo Programma", ha definito le procedure per la conversione nei Database Topografici e gli obiettivi per l'implementazione di banche dati territoriali integrate prevedendo la realizzazione della CTRN con precisioni geometriche alla scala 1:2.000 per i centri urbani.
Con la L.R. 11/04 "Norme per il governo del territorio", la Regione del Veneto ha definito le finalità della pianificazione territoriale ai diversi livelli, finalità che devono essere perseguite, ai sensi del comma 2° dell'art 2, mediante l'adozione di un sistema informativo territoriale unificato prevedendo, come espressamente indicato dall'art. 9, l'adozione della Carta Tecnica Regionale come supporto per la redazione dei piani comunali e provinciali.
I maggiori Enti Territoriali regionali hanno, da tempo, avviato l'implementazione di propri sistemi informativi basati sull'infrastrutture dati territoriali e costituiscono i partner privilegiati della Regione per la definizione e realizzazione di progetti cartografici finalizzati allo sviluppo delle nuove tecnologie.
In questo articolato sistema di produttori e utilizzatori di dati risulta indispensabile, quanto strategico, il ruolo della Regione che, con una azione di coordinamento con i Comuni e gli Enti territoriali, possa fornire indicazioni per la condivisione di queste iniziative, e fornire strumenti e metodi operativi attraverso i quali si possano, sulla base di una verifica della loro strutture

informative e tecnologiche, definire progetti per la formazione/aggiornamento del DB topografico coordinati nell'ambito di norme tecniche coerenti con gli standard nazionali ed internazionali.
Le linee guida elaborate dallo studio per un Capitolato Speciale d'Appalto per la formazione della CTRN e la strutturazione del DB geografico alla scale 1:2000 e 1:5000, hanno prodotto i seguenti contenuti.

Articolazione in fasi del processo:
- riprese aerea a colori con un valore medio di GSD (Ground Sampling Distance) pari a 0,10 m per la scala 1:2000 e 0,18 m per la scala 1:5000
- operazioni per l'istituzione della rete di raffittimento planoaltimetrico e dei punti di appoggio necessari alla triangolazione aerea
- triangolazione aerea
- restituzione fotogrammetrica numerica per la formazione della CTRN alla scala 1:2000 dei centri urbani e alla scala 1:5000 di tutto il territorio comunale
- ricognizione sul terreno per l'integrazione della restituzione fotogrammetrica
- raccolta della toponomastica
- editing, integrazione dati e strutturazione del DB Topografico
- produzione dei file di consegna del DB Topografico e della cartografia tecnica numerica
- plottaggio della Carta Tecnica Regionale e realizzazione file raster alle scale 1:2000 e 1:5000

Caratteristiche tecniche: Accuratezza delle geometrie:
per la scala 1:2000:
- Tolleranza planimetrica = 0,40 m
- Tolleranza altimetrica = 0,60 m

per la scala 1:5000:
- Tolleranza planimetrica = 1,00 m
- Tolleranza altimetrica = 1,50 m

Le linee guida realizzate hanno tenuto conto delle Norme di riferimento proprie del processo di formazione della cartografia, prevedendo inoltre una costante attenzione alle indicazioni fornite e sviluppate in ambito delle iniziative a livello nazionale, dapprima con l'IntesaGIS e successivamente con le recenti "regole" emanate e approvate ai sensi dell'art. 59 del Codice dell'Amministrazione Digitale (D.Lgs. 82/2005).

Queste le norme a cui l'attività ha posto costante riferimento:
- La formazione di cartografie generali a grande scala (1:2.000, 1:1.000)", Commissione Geodetica Italiana, 1974
- "Norme proposte per la formazione di carte tecniche alle scale 1:5.000 e 1:10.000" Commissione Geodetica Italiana, 1973
- "Specifiche tecniche per il raffittimento della rete fondamentale IGM95" approvate dal Comitato Tecnico dell'Intesa Stato Regioni Enti Locali per i Sistemi Informativi Geografici (IntesaGIS)
- "Catalogo dei Dati Territoriali – Specifiche di contenuto per i Database Geotopografici", D.M. 10/11/2011 del Ministro per la Pubblica Amministrazione e l'Innovazione di concerto con il Ministro dell'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare

Linee guida per la redazione di un Capitolato speciale per la formazione dell'ortofotocarta digitale a colori
Le linee guida definite dallo studio, in coerenza con le indicazioni elaborate in materia dal CISIS e nell'ambito delle attività previste dal Codice dell'Amministrazione Digitale, hanno prodotto le seguenti indicazioni per la redazione di Capitolato Speciale d'Appalto.

Caratteristiche tecniche:
L'image processing che conduce alle ortofotocarte digitali a colori si sviluppa a partire dalla copertura stereoscopica aerea, e richiede la preliminare disponibilità delle immagini digitali necessarie, insieme alla definizione del modello digitale delle altezze DEM (Digital Elevation Model) dell'area territoriale interessata dai lavori.
Le immagini digitali acquisite durante la ripresa aerea dovranno essere sottoposte in genere ad una preliminare elaborazione, sia geometrica che radiometrica. L'elaborazione geometrica, con la modifica della risoluzione, la variazione delle dimensioni e rotazione, così come l'elaborazione radiometrica, con la modifica della risoluzione cromatica, l'utilizzo di filtri di contrasto, l'attenuazione dell'intensità dei singoli pixel, in combinazione con trattamenti locali spaziali, possono costituire infatti un valido strumento per ridurne le alterazioni in determinate bande delle frequenze spaziali, e migliorarne altresì la stessa qualità.
A conclusione del pre-processing delle immagini digitali per il loro miglioramento formale e cromatico, si dovrà provvedere quindi al raddrizzamento differenziale dei fotogrammi pixel-by-pixel, realizzando una interpolazione radiometrica mediante il metodo bicubico basato sui 4x4 pixels adiacenti: il risultato conseguito sarà un'immagine ortofotografica di alta qualità geometrica e radiometrica.
I singoli ortofotogrammi dovranno essere quindi assemblati per realizzare un mosaico di ortofoto, da cui trarre attraverso altri trattamenti le ortofotocarte desiderate.
Le ortofotocarte digitali, in RGB a 24 bit, ovvero 8 bit per ogni banda cromatica Red, Green e Blue, dovranno essere il prodotto finale del raddrizzamento delle immagini digitali della ripresa aerea, georeferenziate e ortorettificate in base al DEM fornito.
La rappresentazione del territorio non dovrà presentare soluzioni di continuità. La georeferenziazione dovrà essere realizzata nel sistema di riferimento europeo UTM-ETRF2000, nel fuso di appartenenza del territorio oggetto del rilevamento.

Anche per questa tematica la normativa di riferimento per il processo ha avuto una continua attenzione al recepimento di quanto si stava definendo in ambito del Codice dell'Amministrazione Digitale, e dalla incisiva azione delle Regioni che, in ambito CISIS, hanno finanziato e prodotto uno specifico progetto scientifico, coordinato dal Politecnico di Torino, per la redazione di linee guida per la formazione degli elaborati.

- "La formazione di cartografie generali a grande scala (1:2.000, 1:1.000). Guida per le scelte tecniche ed economiche", Commissione Geodetica Italiana, 1976
- "Specifiche tecniche per il raffittimento della rete fondamentale IGM95", approvate dal Comitato Tecnico dell'Intesa Stato Regioni Enti Locali per i Sistemi Informativi Geografici
- "Ortoimmagini 1:10.000 e modelli altimetrici - Linee Guida", pubblicate a cura del Comitato permanente per i sistemi geografici del CISIS, 2009

Conclusioni
L'applicazione sistematica di queste più che sperimentate metodologie di rilevamento ambientale ed architettonico è tuttora in corso di sviluppo e le prospettive che possono essere ancora dischiuse in questo campo tendono ormai anche ad una vera e propria introspezione delle realtà considerate.
Nuove prospettive dunque, nel futuro culturale di questo settore disciplinare delle infrastrutture dati territoriali capaci di verificare una corrispondenza biunivoca più globale ed affidabile tra i vari oggetti spaziali considerati ed i loro modelli digitali virtuali, che potrebbe essere in grado di modificare anche il nostro comune modo di operare nella gestione del territorio regionale Veneto.

Metodologie integrate tra rilievo e progetto: l'utilizzo delle scansioni LiDAR in ambiente BIM

Alberto Cina (*), Andrea Lingua (*), Marco Piras (*), Paolo Dabove (*),
Paolo Maschio (*), Horea Bendea (*), Giuseppa Novello (**), Massimiliano Lo Turco (**),
Gregorio Cangialosi (***)

(*) Politecnico di Torino, DIATI, Corso Duca degli Abruzzi 24, Italy,
e-mail: alberto.cina@polito.it, e-mail: andrea.lingua@polito.it, e-mail: marco.piras@polito.it,
e-mail: paolo.dabove@polito.it, e-mail: paolo.maschio@polito.it, e-mail: iosif.bendea@polito.it
(**) Politecnico di Torino, DISEG, Corso Duca degli Abruzzi 24, Italy,
e-mail: pina.novello@polito.it, e-mail: massimiliano.loturco@polito.it
(***) Politecnico di Torino, EDILOG, Corso Duca degli Abruzzi 24, Italy, e-mail: gregorio.cangialosi@polito.it

Riassunto
Negli ultimi anni la pratica professionale in ambito architettonico-edilizio richiede competenze sempre più specifiche e, spesso, tempistiche estremamente ridotte, in una continua ricerca di strategie procedurali fondate su piattaforme integrate e condivise, adatte a gestire la relazione rilievo-progetto.
Un caso studio sul tema proposto si riferisce al recupero edilizio di un edificio del Politecnico di Torino, oggetto di rifunzionalizzazione da ex Centrale termica a sede di nuove aule per la didattica. La relativa semplicità della sua configurazione spaziale ha rappresentato occasione ideale per la sperimentazione di nuove sinergie tra l'attività di progettazione operata in ambiente BIM (*Building Information Modeling*) e la necessaria preventiva fase di rilevamento dello stato di fatto. Dati provenienti da fonti eterogenee sono stati assunti dal sistema di elaborazione come base conoscitiva condivisa e sono state trattate per desumerne ulteriori informazioni tecniche: il rilievo dei punti di inquadramento, della poligonale di appoggio, dei punti di dettaglio e le scansioni laser georeferenziate sono state utilizzate per la definizione delle superfici interne ed esterne del manufatto; tali dati sono stati confrontati con i disegni d'archivio del progetto originale. Si è poi proceduto con l'attività progettuale, operando in continuità nel medesimo ambiente parametrico; ciò ha comportato un'efficace gestione dei dati desunti dal rilievo strumentale e ha permesso, peraltro, di investigare le molteplici potenzialità del BIM, gestendo la variabile temporale e l'insieme delle informazioni, di tipo grafico, tabellare, prestazionale ed estimativo. Per il loro carattere interdisciplinare i risultati conseguiti sono interessanti per quanto attiene agli ambiti della ricerca e sottolineano il valore metodologico contenuto in modalità di lavoro di tipo collaborativo: un'esperienza che, favorita dalla generosa cooperazione tra il Dipartimenti DISEG - Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica e il Dipartimento DIATI - Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture e il Servizio Edilizia del Politecnico di Torino, pensiamo meriti di essere approfondita e diffusa.

Le ragioni del lavoro

Il lavoro di seguito presentato sostanzia l'approccio metodologico di tipo collaborativo adottato con successo dal Servizio Edilizia e Logistica (EDILOG) del Politecnico di Torino che, coordinato come Responsabile del Servizio, arch. Gianpiero Biscant, da sempre attento alle sperimentazioni applicative , persegue una duplice tensione speculativa volta da un lato di tipo teorico e di ricerca, dall'altro alla conseguente sperimentazione di tipo professionale per valutare pregi, difetti e potenzialità delle nuove metodologie BIM, coinvolgendo settori disciplinari affini come nel caso studio di seguito presentato.

Introduzione

Il tema del rilievo integrato non è certamente nuovo, ma in questo caso l'obiettivo è di aggiornare consolidate procedure con proposte suggerite dalle più recenti modalità operative, onde presentare alcune valutazioni derivanti da esperienze direttamente condotte sul campo. A tale proposito, l'integrazione tra le differenti tecniche di misurazione è uno dei punti focali della "Carta del rilievo architettonico", documento in cui si esprime la necessità di forte interrelazione fra vari metodi, poiché si considera il settore del rilievo, analogamente a quello progettuale, un settore multidisciplinare. (Cundari et al., 2005). Questo lavoro dall'esigenza di rifunzionalizzazione l'ex Centrale termica del Politecnico di Torino in aule per la didattica e di seguito verranno riportati i principali *step* operativi che hanno permesso di ottenere una perfetta integrazione tra rilievo e progetto in un unico ambiente di lavoro.

Descrizione delle operazioni di rilievo

Oggigiorno, esistono tecniche di rilievo che consentono di ricostruire la situazione di "*as built*" in tempi rapidi e con precisioni elevate: nel caso in esame la tecnica LiDAR rappresenta sicuramente una buona combinazione tra precisione e rapidità, in quanto in breve tempo permette di rilevare "nuvole" di milioni di punti con precisione sub-centimetrica.

Il rilievo di una centrale termica presenta dimensioni e un grado di complessità tali da richiedere un numero di scansioni elevato e su vari livelli (interrato, piano terra e tetto). Una successiva "registrazione" con l'utilizzo di *marker* codificati e di posizione rilevata, permette di portare le singole scansioni in un unico sistema di riferimento. Tale sistema di riferimento è stato realizzato attraverso una rete 3D suddivisa in due ordini. Il primo, d'inquadramento, rilevato con GNSS ha permesso di "appoggiare" la rete di raffittimento, interna ed esterna all'edificio, rilevata con stazione totale.

La complessità della struttura da rilevare, ha richiesto la realizzazione di una rete di poligonali esterne e interne all'edificio e sui vari livelli. Dai vertici di poligonale sono state rilevate le coordinate dei *marker* sulle pareti per la registrazione delle varie scansioni.

Benché il fabbricato sia pressoché un grosso parallelepipedo, il rilievo ha presentato diverse difficoltà soprattutto per l'intervisibilità dei punti, sia esternamente, nella parte nord-ovest- del fabbricato ove gli spazi stretti e alcuni ostacoli hanno limitato lo spazio di lavoro, sia internamente, causa la presenza ancora di tutte le strutture termoidrauliche della centrale dismessa. Ciò ha richiesto una attenta progettazione della posizione dei vertici e delle misure in base alle visuali possibili. I vertici di stazione GNSS sono stati materializzati con centrini di centramento forzato dell'antenna, appositamente costruiti. Per la rete di raffittimento, la maggior parte dei vertici di poligonale all'esterno dell'edificio sono stati materializzati con chiodi d'acciaio. I vertici delle poligonali interne sono stati materializzati con *marker* bicolore, numerati e plastificati.

Rilievo GNSS di inquadramento

La rete d'inquadramento è una rete GNSS costituita da tre vertici, dalla stazione permanente del Politecnico di Torino, distante poche centinaia di metri dall'edificio e da una "stazione virtuale" generata in prossimità dell'edificio con i servizi della rete GNSS della Regione Piemonte (*gnss.regione.piemonte.it*). Il rilievo GNSS è stato realizzato con 2 ricevitori geodetici a doppia frequenza, in modalità statica, con sessioni di 30 minuti. La post-elaborazione dei dati è stata effettuata con il software LGO v8 e ha portato ad una soluzione delle baseline con ambiguità di fase fissata ad intero. La compensazione della rete con minimi quadrati ha portato alle precisioni millimetriche riportate in Tabella 1.

ID Punto	Est [m]	Nord [m]	h ell. [m]	σ Est [m]	σ Nord [m]	σ h ell. [m]
107	394520.734	4990810.857	306.741	0.007	0.007	0.014
108	394498.946	4990769.165	306.747	0.006	0.007	0.017
109	394643.914	4990763.811	326.711	0.003	0.004	0.008

Tabella 1. Coordinate e deviazioni standard dopo la compensazione GNSS (sistema di riferimento RDN-ETRF2000).

Rilievo plano-altimetrico della rete di raffittimento

Intorno alla palazzina della ex-centrale termica del Politecnico sono stati rilevati 8 vertici necessari all'inquadramento delle poligonali interne all'edificio, nel sistema di riferimento globale (WGS84, materializzazione RDN-ETRF2000).Per tale rilievo sono state utilizzate le stazioni totali Leica TPS1200 (TCRP1201 R300). La compensazione delle misure, col software MicroSurvey STAR*NET V6, e stata fatta vincolando le coordinate dei punti d'inquadramento e ha portato a scarti quadratici medi delle coordinate entro i 7 mm, sia in planimetria che altimetria. Si riporta in figura 2 lo schema della rete con i relativi ellissi d'errore al 95%.

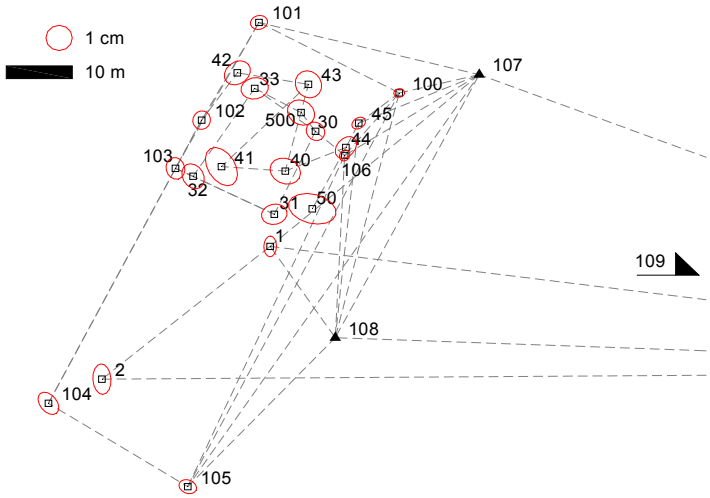


Figura 1. Schema delle reti plano-altimetriche (fattore amplificazione ellissi al 95% = 150).

Rilievo LiDAR

Per realizzare le scansioni ad alta risoluzione è stato utilizzato lo strumento CAM2 Focus 3D di produzione FARO disponibile presso il laboratorio di rilievo dell'architettura e del territorio del Politecnico di Torino. Le sue principali caratteristiche sono qui sotto riportate:

Range	0.60-120 m
Accuratezza distanziometro	2 mm
Precisione distanziometro	0.95 mm a 25m
Divergenza laser	0.009°
Risoluzione	0.009°
Massima velocità di scansione	976000 punti/s
Precisione Sensore di inclinazione (biassiale)	0.015°

Figura 2. LiDAR e caratteristiche strumentali.

Per definire in modo corretto e completo l'edificio della centrale termica sono state fatte 27 scansioni da varie posizioni sia esterne che interne all'edificio. Ogni scansione è stata selezionata una configurazione, impostando la qualità e risoluzione (valori max 1, min 1/32) e l'ampiezza angolare in verticale e in orizzontale della scansione. La risoluzione adottata per ogni scansione è stata scelta in modo da garantire una nuvola di punti con densità sufficiente per descrivere i dettagli in scala 1:50 (1punto/cm).
Le varie scansioni sono state orientate nel sistema di riferimento finale con rototraslazioni 3D i cui parametri sono stati stimati in base alle coordinate dei *marker* riconosciuti sulle scansioni. I risultati delle georeferenziazioni hanno portato ad avere dei residui massimi sui *marker* sempre inferiori a 25 mm, tolleranza standard per la rappresentazione dell'architettura in scala 1:50.

Alcune considerazioni sul sistema di riferimento
Come noto, per riportare una distanza misurata sul terreno e ridotta all'orizzontale sul piano cartografico, si devono considerare i due effetti di riduzione alla superficie di riferimento e al piano della carta di Gauss. Ne consegue che la distanza cartografica non coincide con quella misurata sul terreno. Nell'area in esame, considerando una altezza ellissoidica media h=310 m, con *R* raggio della sfera locale, ne consegue un fattore di riduzione alla superficie di riferimento pari a:

$$m_Q = \left(1 - h/R\right) = 0.999951$$

ovvero una "contrazione" di 5 mm/km. Per quanto riguarda il modulo di deformazione lineare, con le coordinate di tabella 1, posti ρ, N raggi di curvatura principale, esso assume il valore:

$$m_l = 0.9996\left(1 + \frac{(Est - 500km)^2}{2\rho N 0.9996^2}\right) = 0.9999737$$

Una distanza di 1 km viene dunque contratta di circa 26 cm. Se l'inquadramento nel sistema UTM-WGS84 ETRF2000 è fondamentale per la georeferenziazione nel sistema geodetico cartografico nazionale e internazionale, per le pratiche applicazioni è stato definito in sistema locale di tipo "isometrico". Tale sistema consente di realizzare l'equivalenza tra le distanze rilevate sulla rappresentazione cartografica e sul terreno, con deformazioni residue trascurabili e risulta quindi di immediato utilizzo nelle operazioni tecniche, senza dover apportare riduzioni, per altro sempre calcolabili, ma che possono essere scomode e portare a fraintendimenti. Tale sistema, chiamato PoliTO, risulta così definito: è una terna euleriana (sistema cartesiano associato ad un piano tangente) con origine in coincidenza della stazione permanente GNSS del Politecnico di Torino e all'altezza ellissoidica della stessa. L'asse "Nord locale" è rivolto secondo la tangente al meridiano per tale punto e l'asse "Est locale" è diretto secondo la tangente al parallelo. Il sistema locale risulta dunque "disorientato" rispetto al nord cartografico del sistema UTM. WGS84 ETRF200 di un angolo pari alla "convergenza della trasformata del meridiano" pari a γ=-0.94775° e con distanze orizzontali praticamente equivalenti a quelle rilevate sul terreno. La coordinata Z è diretta secondo la normale all'ellissoide nel punto di origine ma di essa non vengono forniti i valori in quanto più utili le "quote ortometriche", ricavabili dai capisaldi di livellazione IGM presenti nella zona del Politecnico. L'origine di tale sistema è stata posta convenzionalmente con coordinate non nulle ma pari a 500 m nelle componenti Est e Nord, per lavorare sempre con valori positivi delle coordinate locali in tutta l'area del Politecnico, limitando per comodità le cifre intere ad un massimo di 3.

Elaborazione dei dati e procedura di restituzione
Ogni nuovo progetto redatto mediante la collaborazione tra i ricercatori del DISEG e il Servizio Edilizia del Politecnico di Torino (EDILOG), fornisce spunti interessanti per porre a sistema nuove metodologie di lavoro, mantenendo una tensione di ricerca volta al confronto e al perfezionamento delle procedure derivanti da precedenti esperienze (Cangialosi et al., 2011). Nel caso in esame si è scelto di adottare un sistema di lavoro che consentisse una perfetta integrazione tra la fase di rilevamento (a cura del gruppo di ricerca del DIATI) e le successive fasi di restituzione grafica dello

stato di fatto e progettazione dell'intervento di riqualificazione. Gli obiettivi della sperimentazione consistevano nel valutare se e in quale modo fosse possibile:
- massimizzare l'efficienza produttiva attraverso l'adozione di un approccio coordinato e coerente atto ad un successivo utilizzo del dato attraverso piattaforme BIM;
- valutare se la particolare strutturazione dei modelli BIM consentisse un'efficiente condivisione dei dati all'interno del team multidisciplinare costituito dal gruppo di progettazione, tanto da poter parlare di ambiente collaborativo;
- definire le impostazioni, le norme e le buone pratiche che garantissero risultati di alta qualità e un disegno di output uniforme per l'intero progetto.

Le ultime versioni degli applicativi BIM utilizzati presso il Servizio Edilizia del Politecnico di Torino consentono una gestione semplificata delle informazioni derivanti dal rilievo fotogrammetrico nell'ambiente nativo di progettazione parametrica. Le singole scansioni sono state precedentemente georiferite e registrate, mediante l'utilizzo del software proprietario SCENE v5.0; le coordinate dei *marker* piani sono poi state caricate nel software e, lavorando per livelli, sono state registrate le singole scansioni.

Prima di procedere con l'importazione occorre operare una conversione di formato: sono stati pertanto rielaborati i file di estensione *.pts (estensione diffusa per l'utilizzo di dati provenienti dal laser scanner) al fine di ottenere i medesimi dati in formato *.pcd. Questa conversione ottimizza la gestione delle nuvole di punti in Revit Architecture, diminuendo la risoluzione grafica che le nuvole di punti forniscono all'interno di visualizzatori dedicati, ma alleggeriscono notevolmente la dimensione dei file importati. L'importazione è avvenuta all'interno di un *template* espressamente progettato per la gestione di diverse fasi progettuali (stato di fatto, stato di progetto e fase di demolizioni e costruzioni).

Una volta importate, le nuvole di punti sono state suddivise e rinominate in modo tale da essere facilmente classificabili in:
- scansioni esterne al corpo di fabbrica;
- scansioni interne alla Centrale Termica – piano terreno;
- scansioni interne alla Centrale Termica – piano interrato.

In questo modo è stato possibile caricarne soltanto parte di esse, attivando/disattivando l'impostazione di visibilità grafica delle nuvole di punti stesse.

Si è inoltre collegata l'origine delle scansioni georeferenziate con l'origine del progetto in ambiente parametrico, in modo tale da rendere di facile gestione successivi interventi progettuali.

Il software parametrico, come la maggior parte dei software dedicati alla realizzazione o alla gestione di modelli tridimensionali, lavora in modo ottimale se l'origine del sistema di riferimento locale è molto prossima all'origine del sistema di riferimento assoluto. Si è pertanto deciso di apportare una rototraslazione all'origine del sistema di riferimento locale, utilizzando a livello planimetrico un punto noto posto sul marciapiede di fronte alla ex Centrale Elettrica, come indicato nella figura sottostante.

Per quanto riguarda la definizione dell'altezza ortometrica si è scelto di porre l'origine in corrispondenza del piano di calpestio del piano interrato, trattandosi di un'area non interessata dall'intervento progettuale, a costituire pertanto un utile riferimento durante la fase di cantiere.

Possibili utilizzazioni della nuvola di punti

Nel software parametrico le nuvole di punti sono gestibili come riferimenti esterni, ritagliabili utilizzando riquadri di sezione, sia nelle viste mongiane sia nelle viste assonometriche. Questo consente di decidere la cosiddetta profondità di taglio (orizzontale e/o verticale) agevolando notevolmente la procedura di restituzione. Nelle precedenti esperienze di ricerca condotte in collaborazione tra i dipartimenti DIATI e DISEG le nuvole di punti erano importate in un programma di disegno ed impiegata per ricavarne sezioni significative e procedere successivamente alla ricostruzione tridimensionale del manufatto (Lo Turco et al., 2010).

Nonostante siano presenti sul mercato alcune plug-in in grado di automatizzare la procedura di restituzione, si è preferito impostare il lavoro seguendo un approccio di modellazione tridimensionale attraverso l'utilizzo di griglie e piani di riferimento vincolati tra loro su cui allineare i componenti edilizi oggetto della restituzione infografica.
Tali informazioni sono risultate essenziali per una rapida e fedele ricostruzione virtuale del manufatto, base di partenza per le future simulazioni progettuali. Si sono inoltre investigate nel dettaglio le potenzialità della piattaforma parametrica, attribuendo la fase di realizzazione (stato di fatto/stato di progetto e/o la sua eventuale demolizione) ad ogni componente edilizia, attraverso l'editazione di opportuni parametri, La gestione della quarta dimensione, quella temporale appunto, consolida un ancor più stretto rapporto tra la costruzione geometrica e la costruzione fisica. In questo senso, la metodologia del *Building Information Modeling* esprime proprio il valore aggiunto di una modellizzazione delle informazioni dell'edificio virtuale, basando gran parte delle procedure di interazione tra le diverse componenti edilizie in conformità alle regole del buon costruire.

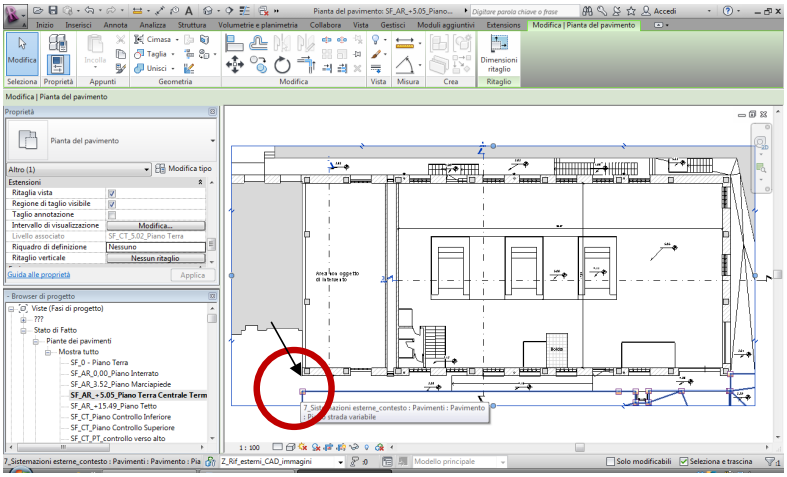


Figura 3. L'origine del sistema di riferimento locale utilizzato.

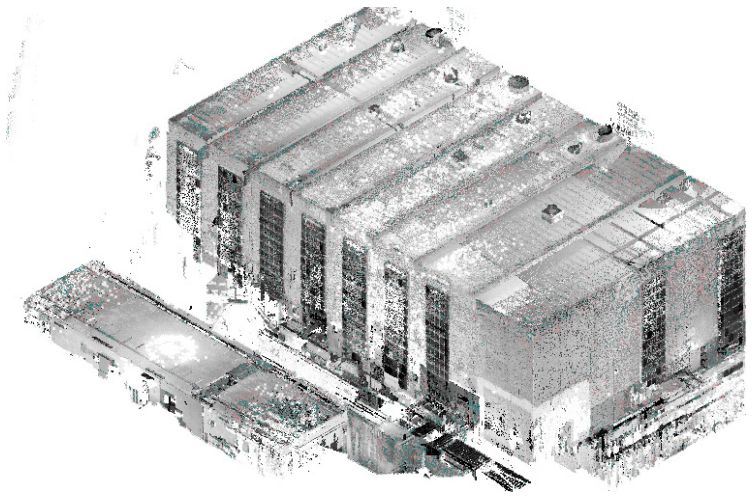


Figura 4. Vista prospettica delle nuvole di punti in ambiente BIM.

Il *database* multirelazionale gestisce la complessità delle informazioni parametriche coordinando le eterogenee rappresentazioni che dal modello 3D si possono desumere: non soltanto elaborati grafici quindi, ma anche elaborati di tipo tabellare; nel caso studio, un corretta impostazione delle viste di abaco delle sole demolizioni, ad esempio, consente una rapida quantificazione economica dello smantellamento della Centrale Termica ormai caduta in disuso. L'estrema attitudine alla manipolazione diviene dunque la peculiarità propria dei modelli digitali: tali modelli consentono di individuare i diversi momenti del processo progettuale, di potere verificare le ipotesi di partenza, di poterle contraddire, di instaurare un rapporto di continua interrogazione tra il professionista ed il manufatto architettonico oggetto di studio. Questa articolazione di processi non si esaurisce nella mera ricostruzione tecno-logica dei diversi componenti che appartengono al manufatto quanto piuttosto nella capacità di organizzare le diverse fasi temporali di uno o più interventi progettuali proposti. Trattasi quindi di un esercizio progettuale iterativo in cui è possibile sviluppare un processo di lettura critica del manufatto architettonico, avvalendosi di un modello virtuale perfettibile il quale vivrà in un costante rapporto di interrogazione.

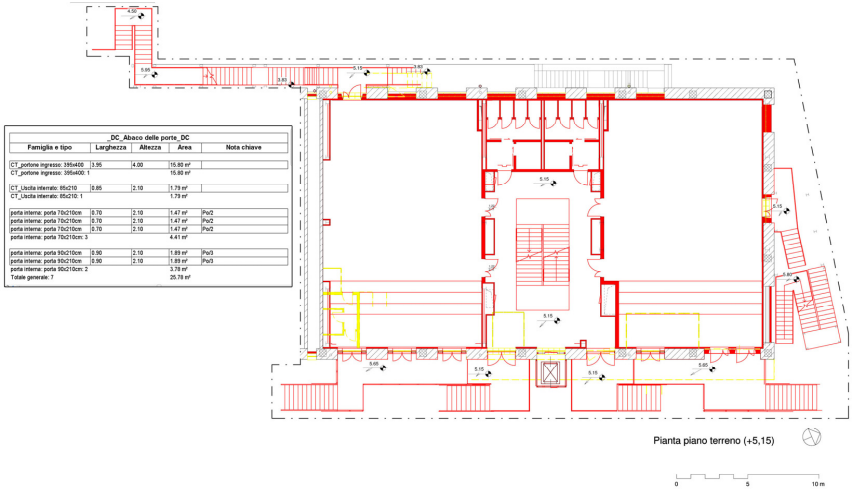


Figura 5. Visualizzazione di demolizioni e costruzioni in proiezione mongiana ed estratto abaco delle demolizioni riferito al componente porta.

Conclusioni

Già una dozzina di anni fa esistevano sul mercato prodotti della fotogrammetria che consentivano di ottenere base dati di informazioni metriche non interpretate come ad esempio, la stereofotocarta, oggi integrata all'interno dei più comuni software di fotogrammetria, sotto il nome di navigazione in continuo (Lo Turco, 2010). Principio simile si applica manipolando le scansioni ottenute dal laser scanner in cui, in luogo di immagini digitali correttamente orientate nello spazio, si impiegano le nuvole di punti derivanti dalla scansioni suddette. In entrambi i casi, relativamente alla restituzione grafica degli ambiti territoriali/urbani/architettonici oggetto di studio, spetta quindi al restitutore il ruolo decisionale e operativo in base alle proprie competenze e specificità. Uno strumento operativo volto al recupero tipologico e/o morfologico dell'esistente implica non solo l'utilizzo ma anche una corretta integrazione di differenti tecniche di acquisizione dati. L'operatività del metodo proposto è avvalorata dal fatto che si lavora in un unico ambiente virtuale, ove progetto e rilievo coesistono, consentendo di dare forma ad una vera e propria lavorazione in continuum. A tale riguardo, il ruolo dell'uso di tecnologie digitali più evolute rispetto alle più consolidate prassi, che si basano su una filosofia di approccio di natura sistemica e relazionale può essere discriminante, ciò spinge a esaminarne i limiti e le virtù, a esplorare i nuovi linguaggi di comunicazione, a indagarne i livelli di diffusione. In particolare, la metodologia adottata è parsa molto proficua, riducendo notevolmente il tempo di restituzione e diminuendo drasticamente il numero di errori, individuabili (sia a livello

grafico sia a livello tabellare) contenuti all'interno del database del modello parametrico. Inoltre le operazioni di rilievo effettuate hanno materializzato e determinato un sistema di riferimento locale definito "Politecnico", che ha permesso di georiferire tutti i dati geospaziali di questo lavoro, ma soprattutto consentirà, in futuro, di poter unificare tutti i rilievi effettuati dal EDILOG nell'area Politecnico, in un unico sistema di riferimento.



Figura 6. Vista prospettica del progetto di riqualificazione della Centrale Termica.

In conclusione, il più evidente beneficio registrato nelle operazioni descritte sopra è senz'altro la permanenza delle informazioni, di diversa natura, essenziali non soltanto per il buon esito del processo restitutivo ma anche per il conseguente step progettuale e per un altrettanto controllato e organico processo gestionale/manutentivo. (Novello et al., 2012).

Bibliografia

Barzaghi R., Cina A., Manzino A. (2006),"Il rilevamento geodetico tridimensionale integrato", In: *BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FOTOGRAMMETRIA E TOPOGRAFIA*, vol. 2, pp. 9-44. - ISSN 1721-971X.

Cangialosi G., Colaleo V., Lo Turco M., (2011) "Il disegno collaborativo - Collaborative drawing" In: Garzino G., (a cura di). *Disegno (e) in_formazione. Disegno Politecnico. Drawing (and) Information. Polytechnic drawing,* p. 135-185, Maggioli, Santarcangelo di Romagna. ISBN: 978-88-387-6056-x.

Cundari C., Carlevari L. (a cura di), (2005), "Il rilievo dei Beni Architettonici per la conservazione", In: Verso la dichiarazione sul rilevamento architettonico, Roma, 16-18 novembre 2000, Edizioni Kappa, Roma.

Lingua A., Moglia G., Todisco V, (2005) "Comparison of survey and representation techniques for architectural objects", In: Proceedings of the XX International Symposium CIPA 2005, Vol. 2, pp. 1068-1073

Lingua A., Nex F., Piatti D., Rinaudo F. (2011), "Dalle nuvole di punti alle informazioni: automatismo e integrazione, *Geomatica, le radici del futuro,*. SIFET, pp. 189-198, ISBN: 9788890193965Lo TurcoM., Piumatti P., (2010), "Il rilievo urbano nelle esperienze di ricerca", In: Coppo D., Boido C., (a cura di), *Rilievo Urbano. Conoscenza e rappresentazione nella città consolidata,* p. 123-130, Firenze: Alinea, 2010. ISBN/ISSN: 9788860555366.

Lo Turco M., Sanna M., (2010), "La modellazione digitale ricostruttiva: il caso della chiesa della Misericordia a Torino", In: *Disegnare Idee e immagini*, n° 41, Dicembre 2010, pp.42-51, ISBN 978-88-492-2051-3.

Novello G., Lo Turco M., (2012) "Which drawing to deliver more information?" In: Gambardella C. (a cura di), *Less More Architecture Design Landscape, Le vie dei Mercanti* X Forum Internazionale di Studi, La scuola di Pitagora editrice, Napoli, pp. 690-700.

Le reti telematiche come strumento di diffusione della conoscenza: il sito Unesco del centro storico di Napoli

Di Fabio Converti

La globalizzazione può essere intesa come la formazione di un'economia globale basata su attività strategiche e dominanti che funzionano -in tempo reale- come una unità, su tutto il pianeta Terra. L'economia globale si articola in centri gestionali, in grado di coordinare, gestire e innovare le attività di aziende-rete, i cui scambi si realizzano in ambito interurbano o transazionale.
I nuovi processi economici dell'economia globale si basano su flussi di informazioni e di conoscenze, che viaggiano su un sistema di telecomunicazioni altamente sviluppato grazie al quale le attività produttive possono collocarsi in qualunque punto del pianeta. L'economia globale, o globalizzazione, può essere identificata con l'economia dell'informazione dato che la generazione e l'elaborazione strategica dell'informazione costituiscono ormai fattori essenziali per la produttività e la competitività economica.
Tale fenomeno, sta interessando anche le aree peri-urbane delle maggiori metropoli Italiane, con caratteristiche di regione in regione differenti, con edilizia residenziale a bassa densità, attività produttive, grandi poli multifunzionali di ambito metropolitano (centri commerciali) che diventano spesso elementi catalizzatori di mobilità e di nuove urbanizzazioni.
È comunque importante ribadire che il paesaggio urbano, la sua tutela e la conservazione ambientale, articolandosi in molteplici forme e spazi, devono riferirsi sempre al contesto territoriale più ampio possibile.
"Se c'è un oggetto al quale la metafora petrolifera del "giacimento culturale " si applica con qualche maggiore precisione, ebbene questo è la rovina archeologica. E' evidente, infatti, che i reperti antichi sono tecnicamente dei giacimenti, e che come i giacimenti vanno ritrovati con le opportune procedure, è altrettanto evidente che tali giacimenti sono inoltre "culturali perché nulla come l'antico, rappresenta l'emblema ideale della cultura stessa".
Ad esempio con queste parole Omar Calabrese introduce una interessante lettura del progetto di Renzo Piano per la città antica di Pompei sottolineando la funzione che il bene archeologico dovrebbe avere: produrre "ricchezza" attirando visitatori desiderosi di Cultura. Tale funzione, chiarisce più avanti, è una potenzialità che da sola non è però sufficiente. Alla domanda, "come possiamo fare consumare redditiziamente l'archeologia?", risponde sostenendo la necessità di inserire il bene in un contesto di "massima valorizzazione". Non si dovrà parlare, pertanto di sfruttamento, un termine non appropriato alla natura non economica del bene archeologico, quanto piuttosto di "progetto delle rovine": mettere a sistema tutte le qualità dell'oggetto "ritrovato" anche, aggiungerei, in relazione al suo contesto. Affinché si possano compiere scelte progettuali appropriate, è necessario fare chiarezza su alcuni aspetti che costituiscono il quadro di riferimento di tali interventi progettuali, a partire dalla compatibilità tra uso e conservazione e dall'interpretazione e presentazione del bene archeologico al pubblico. Diventa, allora, di fondamentale importanza per la tutela del bene, individuare, mitigare e rimuovere tutti quei fattori che generano "interferenze" tra l'oggetto archeologico e il suo interlocutore. Interferenze riconducibili prevalentemente al discorso dell'accessibilità nelle sue diverse declinazioni di "accessibilità fisica" e "accessibilità culturale" al bene, riferibili rispettivamente agli aspetti tecnico-funzionali e interpretativi della fruizione.
Questi territori, diventano teatro di relazioni dense e produttive, che possono essere definiti quali contesti relazionali ad alto potenziale commerciale, in cui - coerentemente con gli orientamenti più

recenti è l'intensità e la qualità relazionale a indicare il valore (attuale e potenziale) del territorio ed anche i suoi confini. In tale quadro, per valutare il ruolo e i possibili effetti delle attività commerciali nella produzione di beni e servizi, elevando il valore dei contesti locali, oltre alla consueta considerazione degli effetti diretti, indiretti e indotti, è necessario prendere in considerazione una serie di vettori intangibili e difficilmente misurabili (Solima 1999, Jalla 2004), quali:
- la partecipazione delle organizzazioni sociali al dinamismo locale e allo sviluppo del territorio, attraverso le relazioni con le imprese distrettuali locali;
- il potenziamento della dinamica virtuosa di produzione e trasferimento di conoscenze nei contesti territoriali (Rullani 1996, 2000, 2002; Grandinetti 2003);
- il ruolo delle economie locali nello sviluppo della terziarizzazione economica, attraverso la nascita di neo-servizi e la trasformazione del terziario tradizionale in forme moderne, flessibili, intelligenti e capaci di interagire con un consumatore evoluto.

Quindi l'urbanizzazione di questi territori, oggi, non si esprime più sotto forma di crescita geometrica di un tessuto urbano compatto, ma interessa fortemente il restante territorio, prevalentemente attraverso lo sviluppo di aree residenziali, commerciali o industriali e la costruzione di infrastrutture di trasporto. Tali processi, unitamente alla diffusione nelle realtà rurali, delle culture, degli stili di vita e dei modelli architettonici urbani, fanno sì che porzioni più o meno estese del territorio extraurbano vengano spesso considerate, in una logica urbano-centrica, come una risorsa da asservire alle esigenze sempre più pressanti delle città e alla conseguente domanda di suolo urbanizzabile anche a ragguardevoli distanze dai loro centri. Non a caso fra le molteplici definizioni formulate per gli spazi della diffusione prevalgono quelle che affidano un peso preponderante alla componente urbana del territorio, che rischia così di diventare l'unica prospettiva di osservazione con cui è possibile dare un senso agli spazi peri-urbani.

Tali trasformazioni economiche, politiche e sociali incidono profondamente sulla struttura e sulla morfologia fisica, cityscape, e sulla struttura sociale, mindscape, della città contemporanea (Amendola, 1997). Così tali dinamiche di cambiamento hanno condotto le città verso un mutamento fisico-morfologico, funzionale, istituzionale, sociale e culturale, per cui se da un lato le città tendono a perdere di significato dal punto di vista geografico, dall'altro acquistano una maggiore autonomia rispetto allo stato, acquisendo la capacità di configurare forme di mobilitazione politiche e sociali a livello territoriale, che possono contribuire ad alimentare la formazione di nuovi e compatibili approcci di gestione e promozione locale. Le dinamiche della globalizzazione, collocano infatti le città sempre più in uno scenario di competitività internazionale.

Quindi conservazione e diffusione delle conoscenze relative al patrimonio artistico-culturale sono certamente i due poli dell'azione gestionale delle amministrazioni locali, quali enti deputati al governo del territorio. Tali poli si collegano, in ottica di sviluppo delle reti, esclusivamente attraverso la realizzazione iniziative commerciali. In assenza di queste iniziative, in cui vi è scambio tra economie di una combinazione di beni-servizi-informazioni (Normann 1988), tutte le attività produttive necessarie per l'organizzazione e il potenziamento del territorio dovuto alla diffusione di nuovi nodi di permutazione, non assumono senso e valore per la sempre crescente domanda sviluppo.Solo attraverso l'interazione con la domanda (che nell'ottica micro sono principalmente gli utilizzatori finali, le generazioni future, i finanziatori) è possibile realizzare un processo di valorizzazione territoriale. Attraverso la realizzazione di attrezzature, in cui la domanda è soggetto essenziale tale da assumere i caratteri essenziale per avviare il processo di creazione e diffusione del valore del patrimonio artistico-culturale. E' infatti la domanda che vive anche nelle esperienze culturali (che vanno dall'estetica interazione allo studio puntuale di opere nel paesaggio). Tale collegamento permette l'attivazione di un circuito volto all'ottenimento delle risorse necessarie per il recupero, la valorizzazione e la gestione del patrimonio paesaggio peri-urbano (l'attività di tutela e conservazione). Tali circuiti si alimentano di risorse economiche in modo diretto (scambi commerciali, nuove iniziative culturali, ecc.) ed in modo indiretto (con sponsorizzazioni relative ai

singoli eventi o all'organizzazione per lo sviluppo di un brand territoriale), infine attraverso l'azione della domanda che attua scelte politiche volte al mantenimento di tale patrimonio territoriale.
La prospettiva individuata ci sembra permetta di contribuire attivamente all'individuazione, descrizione ed interpretazione delle relazioni tra istanze sociali e recupero del patrimonio paesaggistico.
Quindi la competitività fra città non si gioca più soltanto sul piano economico attraverso la massimizzazione delle risorse disponibili ma anche sul piano politico e sociale soprattutto attraverso nuove forme di governance e strategie per la creazione di opportunità di cambiamento, di valorizzazioni di nuovi significati e valori, reinterpretando risorse endogene o creando nuove risorse attraverso lo stimolo e le reti tra territori (risorse esogene).
Per ottenere un'immagine forte della città bisogna intraprendere un processo di recupero delle proprie identità, del paesaggio, dei beni culturali, che assumono un'importanza fondamentale come strumento attraverso il quale tale costruzione di identità è resa possibile. Beni culturali, architetture, centri storici, edilizia tradizionale, sono la testimonianza di ciò che quel luogo ha rappresentato, sono i capisaldi della propria identità, ed il paesaggio è il grande forziere che li raccoglie e li contiene.
Pensieri, desideri e volontà che investono lo spazio di azioni, ingegno, valori individuali e collettivi, trasformandolo in luogo. Particolare attenzione deve esser posta sui valori collettivi, intesi come coscienza territoriale. Questo aspetto sociale, condiviso dalla comunità, dei valori e dei simboli culturali che informano il territorio non è chiaramente presente non solo nella percezione dello spazio, ma anche nella stessa rappresentazione che i singoli individui forniscono di esso. Non possiamo dunque non tenerne conto nel contesto dell'indagine iconografica come studio della rappresentazione, regno della reificazione di questi simboli e valori e della loro strutturazione come conferimento ad essi di senso.
Questa attenzione al contesto storico e culturale della genesi della rappresentazione artistica caratterizza la "nuova iconografia" dell'ultimo quarto del secolo scorso (quella di Warburg, Panofsky e Gombrich,ecc.), ribattezzata iconologia proprio per indicare, una trattazione non più solamente descrittiva, bensì critica ed interpretativa.
Quindi la realizzazione di un progetto di ricerca mirato alla conoscenza e valorizzazione delle risorse paesaggistiche, ambientali, architettoniche, archeologiche e antropiche del centro storico di Napoli, non può certo prescindere dall'attivazione di un apposito "Sistema di concertazione e diffusione telematica" della conoscenza che ne consenta un'effettiva ed efficace fruizione da parte dell'ampia e variegata utenza a cui si rivolge.
Nella costruzione del modello la tecnologia permette di dare visione non solo dei dati materici ma anche di caratteri e attributi relativi ad un'architettura, in modo che in esso possa essere letto il duplice significato di necessità del rilievo per la costruzione del modello quale strumento tecnologico di supporto alla rappresentazione del rilievo. Un modello, infatti, si può configurare come l'interfaccia tra la realtà e ciò che di essa si vuole comunicare, oltre ad essere una potente estensione tecnologica delle nostre possibilità menmoniche, certamente superiore a quanto ognuno di noi è in grado di memorizzare e quindi di ricordare.
E' nata così l'idea di studiare una "applicazione" che permettesse non solo l'immissione di dati specifici, ma che consentisse un raccordo ragionato dei dati tra loro, il tutto visualizzabile in una loro rappresentazione di facile e immediata consultazione. Tale prototipo di rappresentazione e lettura intende quindi realizzare un'organizzazione di dati riguardanti l'aspetto dello stato di conservazione di un'architettura. Un modello che racconti, ma che sia anche disponibile a lasciarsi interrogare per dare risposte o offrire lo spazio per ulteriori approfondimenti.
La finalità del progetto urbano, aspira a creare qualità urbana: esso si propone di migliorare l'efficienza delle parti di città cui si rivolge; di facilitarne un uso integrato e socialmente equilibrato; di contribuire alla loro bellezza.
Un programma di ricerca sul progetto urbano dovrebbe dedicarsi ad una analisi comparativa di esperienze concrete, da studiare lungo tutto il loro percorso dalla concezione alla realizzazione ed

all'uso. Un siffatto programma potrebbe assumere come ipotesi di lavoro alcuni "principi", intesi nel duplice significato di "cominciamento" e di "fondamento".
L'effettivo innalzamento della qualità urbana richiede oggi interventi che integrino, completino, accrescano le reti infrastrutturali e le attrezzature esistenti: in molti casi un progetto urbano nasce attorno ad azioni di ampliamento, ristrutturazione o integrazione di reti e attrezzature per la mobilità. Richiede interventi che migliorino i tessuti lavorando negli interstizi, per riusi, inserimenti limitati, puntuali e diffusi di servizi, spazi e luoghi di uso pubblico. Perciò esprime spesso il massimo di efficacia quando si rivolge ad aree dismesse, alle frange in stato di abbandono, a spazi di risulta senza senso e nome che la logica dei vecchi piani attuativi chiusi in perimetri rigidi, l'accumularsi di mancate soluzioni, di iniziative fermate a metà, di conflitti non risolti hanno depositato nel corpo della città consolidata e delle periferie metropolitane.
Quindi anche una politica dello spazio pubblico che si proponga come alternativa all'omologazione dei territori, richiederebbe in prima istanza un sistema territoriale capace di contribuire autonomamente ad obiettivi di sviluppo, ed a esplorare e descrivere la geografia di quella particolare risorsa che è la capacità di autorganizzazione locale e di aggregazione territoriale volontaria, vista come interfaccia necessaria per attivare, e in una certa misura anche produrre, risorse specifiche nei processi di sviluppo. Questo aspetto introduce la dicotomia cooperazione/competizione, che appare particolarmente viva nelle dinamiche dei rapporti che nutrono il network urbano europeo. Le risorse (materiali ed immateriali), che alimentano gli scambi e i flussi della rete, e che determinano il grado di competitività e attrattività di una città possono essere sinteticamente definite come local collective competition goods (Crouch, 2001), ovvero tutti quei beni pubblici direttamente finalizzati o finalizzabili all'aumento della competitività di un territorio, e tutte le esternalità collegate al loro godimento, fruizione o protezione.
In fine la negoziazione è uno degli strumenti fondamentali per cercare risposte localmente differenziate a queste istanze tra loro non comunicanti, se con essa intendiamo avviare processi che cerchino di circoscrivere il governo del terreno locale. Nella nuova forma urbis si andranno a delineare nuove etiche individuali e collettive e responsabilità differite che solleciteranno un rinnovamento degli strumenti di governance, dando forma a meccanismi di traslazione temporale o attualizzazione degli effetti che, permettono di dar valore al lungo periodo e a ridurre la variabile incognita del fattore rischio.

Bibliografia

Amendola, G., "La città postmoderna", Laterza, Roma-Bari, 1997.
F. Bucci, "Periferie e nuove urbanità, Segni e sogni della terra, il disegno del mondo dal mito di Atlante alla geografia delle reti", DeAgostini, Milano, 2001.
Bonesio L., "Oltre il paesaggio. I luoghi tra estetica e geofilosofia", Arianna, Casalecchio di Reno, 2002.
Borja J., Castells, M. "La città globale. Sviluppo e contraddizioni delle metropoli nel terzo millennio". De Agostini, Milano, 2002.
Corna Pellegrini G., "Il mosaico del mondo. Esperimento di geografia culturale", Roma, Carocci, 1998.
Cosgrove D., "Social formation and symbolic landscape", Croom Helm, Londra e Sydney, 1984.
Dossena G., "Luoghi letterari: paesaggi, opere e personaggi", Bonnard, Milano, 2003.
Gambardella C., "I Layer della Forma Urbis", Esi, Napoli 2000.
Gambino, R., "Conservare, innovare: paesaggio, ambiente, territorio", Utet, Torino 1997.
Grandinetti R., "Marketing dei servizi e dei progetti pubblici in ambito locale: riflessioni e proposte da alcuni casi di studio", in Grandinetti R., Massarutto A. (a cura di), Servizi pubblici e politiche territoriali, Franco Angeli, Milano, 2003.
Lynch K., "Il Senso del Territorio", Milano 1981.
Lynch K., "Il Tempo dello Spazio", Milano 1977.

Normann R., Service Management, Chicester, John Wiley & Sons, trad it. “La gestione strategica dei servizi”, Milano EtasLibri 1984.
Rullani E., “Contesti e varietà nell’economia di impresa”, in Rivista Italiana degli Economisti, n. 2, Roma, 1996.
Rullani E., “Contesti che facilitano le relazioni: i meta-organizzatori fra imprese e istituzioni”, in Sinergie, n. 52, Roma, 2000.
Rullani E., “Sistemi territoriali e apprendimento localizzato”, in Biggiero L., Sammarra A. (a cura di), Apprendimento, identità e marketing del territorio, Carocci, Roma, 2002.
Salonia P., Negri A., “Strumenti e metodologie per la conoscenza del patrimonio edilizio storico: un sistema informativo”, in Atti del I International Congress on Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin (Catania, Siracusa 1995), Palermo, Luxugraph, 1996.
Secchi, B., “La ciudad contemporanea y su proyecto” en Font Antonio (coordinador) Planeamiento urbanístico. De la controversia a la renovación, Barcelona: Diputación de Barcelona, 2003.
Solima L., “L’impatto economico dei musei: l’esperienza del Guggenheim Museum di Bilbao”, in Economia della Cultura, 1999.
Tosco C., “Il paesaggio come storia”, Il Mulino, Bologna, 2007.

Integrazione di database spaziali multiscala in ambito urbano

Erik Costamagna, Antonia Spanò

Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, Tel. +39 011 090 4369, Fax +39 011 090 4399,
e-mail erik.costamagna, antonia.spano@polito.it

Riassunto
La gestione dei processi che caratterizzano lo sviluppo e le trasformazioni urbane attraverso l'integrazione dei contenuti informativi sono uno dei mezzi per garantire la sostenibilità e l'efficienza dei progetti urbani. In questo contesto un ruolo chiave è rivestito dai dati spaziali e dalla loro integrazione con quelli tematici alle diverse scale di rappresentazione. La dimensione della scala di rappresentazione costituisce il terreno su cui si deve misurare la capacità di integrazione degli strumenti tecnologici e normativi, nell'ottica di una documentazione dei processi di trasformazione attraverso uno schema comune capace di integrare contenuti, livelli di dettaglio e modalità di accesso ai dati diversi tra loro. La possibilità di integrare i dati spaziali alle scale architettoniche e urbane permette di mettere in contatto le diverse tipologie di soggetti coinvolti nella produzione e utilizzo delle informazioni e quindi di avvicinare i diversi approcci alla rappresentazione e gestione dei dati (CAD e GIS) che costituiscono il versante applicativo del divario di esigenze presenti nell'ambito della cartografia urbana e in quello della progettazione architettonica.
La documentazione dei processi di trasformazione urbani costituisce un flusso continuo di informazioni che sono caratterizzate da diversi livelli di lettura, corrispondenti alle diverse fasi della progettazione e gestione del manufatto architettonico, e dalla possibilità di rappresentare lo stesso contenuto informativo secondo esigenze specifiche di approfondimento di lettura sia del contenuto geometrico (diversi livelli di dettaglio) che di quello tematico (diverso valore semantico). Nel panorama internazionale gli standard GML e CityGML offrono una definizione completa dei dati dal livello concettuale a quello logico permettendo una gestione delle rappresentazioni 3D. La possibilità di disporre di questi strumenti normativi e tecnologici aperti permette di superare i limiti di interoperabilità degli strumenti applicativi più diffusi tra i GIS e la loro flessibilità permette la possibilità di adattare il modello dei dati e gli stessi strumenti per gestirlo a diversi contesti applicativi.

Abstract
An information data infrastructure is one of the key to assure efficiency and sustainability for urban processes management. In this field spatial data management plays a central role with a focus on thematic and geometric integration, multiscale modelling and flexibility to specific needs. These goals can be achieved through the provision of specific standards and tools for data modelling and information retrieving. The widening of the application fields of GIS to the architectural representations of the cultural heritage documentation and consequently the 3D data management support are two of the major issues for filling the gap between the CAD and GIS and theirs cultural and productive background. Here will be presented some preliminary issues of a test on spatial data integration in a XML based data structure following the OGC's CityGML specifications. The model implementation will focus on the multiscale and multiview modelling tools of the standard as a first step for the management of a 3D spatial database through XML based application tools.

Introduzione.

1. Evoluzione dei modelli di dati spaziali e standard

A partire dal 1990 circa, sono stati sviluppati numerosi modelli di dati le cui caratteristiche si adattavano agli specifici campi applicativi, dalla modellazione del terreno a quella dello spazio urbano. La loro scelta è stata dettata dalle esigenze di modellazione che la geometria degli oggetti rappresentati richiede, il loro grado di complessità nonché le aggregazioni richieste tra oggetti.
Una modalità per interpretare la tipologia dei modelli di dati proposti è stata quella il considerarne la modalità di rappresentazione del mondo reale: nei modelli continui i dati tematici sono direttamente collegati al dato geometrico, cioè gli attributi sono funzione della posizione nello spazio (*field-approach*); in altri tipi di modelli gli oggetti rappresentati, mediante una geometria ed aspetti tematici specifici, sono strutturati in maniera indipendente dalla posizione e dagli aspetti dimensionali (*object-structured approach).* In questi ultimi modelli, l'identificativo degli oggetti consente di archiviare dati tematici e relazioni topologiche in modo indipendente dalla posizione nello spazio. Alcuni esempi di modelli elaborati secondo questo approccio sono i seguenti: *3D FDS* (*Formal Data Structure*) (Molenaar, 1990), il modello *TEN* (Pilouk, 1996), l'*SSM* (*Simplified Spatial Model*) (Zlatanova, 2000), *UDM* (*Urban Data Model*) (Coors, 2002). Fra questi il modello TEN e 3D TIN è efficace per rappresentare superfici irregolari, mentre gli altri sono stati progettati per adeguarsi maggiormente alla modellazione di oggetti dalla geometria definita. Lo sviluppo di questi modelli spaziali ha contribuito in modo decisivo alla formulazione degli strumenti logici per la gestione delle informazioni spaziali, soprattutto in relazione alla capacità da parte dei GIS di gestire il dato 3D (Costamagna, Spanò, 2011).
Successivamente, l'affermazione di linguaggi di programmazione *object-oriented* (Atkinsons et al., 1990) ha determinato l'applicazione della modellazione ad oggetti anche nei DBMS: negli OODBMS (*Object-Oriented Data Base Systems*) i dati sono organizzati in classi che rappresentano il dominio degli oggetti, i quali sono considerati istanze delle classi; una delle peculiarità principali rispetto al modello relazione è l'*ereditarietà* degli attributi, che si rivela molto efficace nella gestione di grandi moli di dati organizzati in super-classi e sub-classi, che richiedono la modellazione di complesse aggregazione come lo sono i database della cartografia urbana. Una seconda proprietà importante della modellazione ad oggetti è l'*incapsulamento*, che è uno dei concetti più innovativi della teoria dei database in quanto prevede l'incorporazione delle procedure per gestire gli oggetti negli oggetti stessi e permette di realizzare pienamente l'indipendenza logica dei dati. La combinazione di *ereditarietà* e *incapsulamento* dà origine al *polimorfismo*, che consiste nella possibilità che procedure uguali possano determinare comportamenti diversi a seconda della sottoclasse o sottotipo con cui si interfacciano.
Lo sviluppo delle tecnologie e degli strumenti per la condivisione delle informazioni tramite la rete ha portato alla teorizzazione e messa in pratica dell'idea di web semantico, di cui il metalinguaggio marcatore XML (*Extensible Markup Language*) ne è il principale strumento. La rapida diffusione di XML e delle sue estensioni XQuery e XPath come strumenti per la strutturazione e la gestione delle informazioni in contesti diversi tra loro rappresenta un importante passo in avanti nello sviluppo di strumenti più versatili per la gestione della multi-valenza e complessità di determinate tipologie di informazioni. La tecnologia XML utilizza alcuni costrutti simili a quelli della modellazione ad oggetti tra i quali il principio di ereditarietà. Dal punto di vista dei linguaggi di interrogazione che sono uno degli strumenti principali di un database, quelli che si basano sulla tecnologia XML si collocano insieme a quelli ad oggetti nella categoria dei database NoSQL. L'XML Data-binding inoltre consente una traduzione automatica e semanticamente corretta tra un modello concettuale ad oggetti come UML e uno logico rappresentato dall'XML Schema.
La ricerca nell'ambito dei linguaggi di modellazione e della modelli spaziali ho contribuito alla formulazione di standard per la codifica e gestione dell'informazione geografica alcuni dei quali come quelli sviluppati dall'OGC (Open Geospatial Cosortium) sono rilasciati gratuitamente e aperti all'estensione per esigenze specifiche. L'OGC è il consorzio internazionale che svolge la propria

attività in diretto contatto con l'ISO e che ha formulato il GML, uno standard che è stato adottato dalle maggiori agenzie nazionali per la produzione di dati geografici, ed inoltre, recentemente, nei principali software GIS si sta via via diffondendosi il suo supporto. Il GML (*Geographic Markup Language*) divenuto norma ISO 19136:2007, è stato contemporaneamente esteso per descrivere in modo più specifico la tematizzazione del contesto urbano tramite il formato CityGML (*City Geographic Markup Language*). Questi standard, come il KML (*Keyhole Markup Language*) sono basati sul metalinguaggio XML e sono pertanto definiti da un preciso modello concettuale e logico che si esplica anche in un formato di memorizzazione dei dati. Lo standard GML, implementando gran parte degli schemi degli standard ISO/TC211, consente la modellazione della maggioranza delle rappresentazioni vettoriali 2D e 3D, nonché il formato raster e la possibilità di implementare i contenuti temporali.
Lo standard CityGML si configura come una formulazione specifica orientata alla descrizione e gestione delle classi di oggetti spaziali della cartografia urbana. Il modello tematico CityGML si presenta come un'estensione di quello GML prevedendo una specializzazione delle classi semantiche che descrivono i tematismi urbani e implementando il supporto multivista e multiscala. La modellazione multiscala presuppone una discretizzazione delle *features* geometriche sulla base di un insieme predefinito di livelli di dettaglio o LODs. Questo processo, differente da quello automatico della generalizzazione, presuppone una struttura concettuale e logica che definisce le relazioni tra il contenuto tematico e quello geometrico per ogni livello di dettaglio. Questa struttura riflette il complesso di approcci culturali più o meno codificati che si sono consolidati nell'ambito della cartografia urbana, della progettazione architettonica e di altri ambiti specifici come l'analisi del patrimonio architettonico dove la letteratura classica degli ordini architettonici ne è un esempio significativo (De Luca et al., 2007) (Apollonio et al., 2010).
Il modello geometrico e topologico CityGML rappresenta invece un sottoinsieme di quello GML mentre non è presente un modello per la rappresentazione dei dati temporali. La gestione del supporto multiscala viene effettuata tramite l'introduzione di 5 livelli di dettaglio differenti (*Levels of details - LODs*); la definizione dei LODs prevede la possibilità di associare a ciascuna istanza di una classe diversi contenuti geometrici a seconda del diverso livello di generalizzazione richiesta.
La capacità del sistema di gestire diverse tematizzazioni del modello in funzione di specifiche esigenze previste da un dominio di interesse è definita come supporto multivista (*multiview modelling*) (van Oosterom et al., 2005). Un modulo tematico *Appearance*, separato da quello geometrico, è utilizzato per implementare il supporto multivista consentendo di descrivere l'aspetto superficiale degli oggetti geometrici. Questa funzionalità può essere utilizzata per la caratterizzazione dei materiali e delle condizioni di illuminazione, una funzionalità tipica dei sistemi CAD supportata dal modello CityGML grazie all'implementazione delle specifiche X3D del Web3D Consortium.

2. Test di implementazione di dati spaziali di un bene architettonico nel modello CityGML

2.1 Considerazioni sulle esigenze di contenuti informativi per l'integrazione di beni architettonici nei DB urbani.

La definizione dei livelli di dettaglio sui quali è basata la gestione della rappresentazione degli oggetti geometrici nel CityGML, risente necessariamente di quanto sia già consolidato nella definizione semantica e nei criteri di generalizzazione delle cartografie a diverse scale regionali e urbane (tra 1:10000 ed 1:1000). A partire dalla considerazione che le specifiche dello standard attualmente disponibili siano state pianificate per essere efficaci per la rappresentazione e gestione del tessuto edilizio urbano, non è automaticamente garantito che l'adozione dei moderni modelli dei dati spaziali sia pienamente applicabile ed efficace per i beni architettonici in esso inseriti.
La presente ricerca ha come obiettivo proprio la verifica di compatibilità e efficacia dello standard CityGML in questo specifico settore, dal momento che le istanze di rappresentazione e

archiviazione di dati metrici e tematici alla scala di lettura dei beni architettonici è una problematica particolarmente complessa, anche per la mancanza di standard univocamente adottati.
Tra le caratteristiche principali che hanno orientato la scelta di questo standard vi è il suo pieno supporto per la gestione delle rappresentazioni 3D, le caratteristiche di estensibilità connesse con la tecnologia XML su cui si basa, il supporto multiscala e quello multivista. Aspetti che, a nostro avviso, rappresentano i punti chiave per realizzare un integrazione tra le esigenze della rappresentazione cartografica urbana, di quella architettonica e della documentazione metrica del patrimonio architettonico. E' infine molto importante considerare che generalmente la rappresentazione dei manufatti storici deriva da fonti di rilievo metrico dettagliate e diverse tra loro (rilievo fotogrammetrico e laser scanning), e che i risultati della rappresentazione sono spesso legate agli scopi di produzione della documentazione. Queste diverse caratteristiche dei supporti metrici derivano da diversi approcci alla rappresentazione e diversi modelli dei dati che necessitano di una maggiore integrazione sia a livello logico-concettuale che al livello degli strumenti applicativi.

2.2. Caratteristiche del dataset di base

La scelta del caso studio è caduta sul Castello del Valentino è una fabbrica moderna del XVII secolo situata nel tessuto urbano di Torino appartenente all'insieme delle Residenze Sabaude, già patrimonio UNESCO a partire dal 1997. Questo edificio è stato oggetto di una serie di campagne di rilievo effettuate negli anni 2007-2009 da parte del gruppo di rilievo del Politecnico, e la base del dataset grafico di partenza è ampia e comprende diverse tipologie di supporti metrici e formati di codifica dei dati. Il rilievo della rete di inquadramento è stato effettuato mediante la tecnica di posizionamento globale GNSS-GPS. A questa rete principale sono state appoggiate le reti di raffittimento che hanno permesso il rilievo di dettaglio dei fronti e degli ambienti interni il cui rilievo è stato effettuato con tecniche miste, topografiche e GNSS-GPS. È stato quindi possibile riferire tutti gli elaborati metrici prodotti ad un sistema di riferimento globale codificato e universalmente riconosciuto permettendo un più facile interscambio dei dati.
Il rilievo di dettaglio dei fronti esterni è stato effettuato per mezzo di tecniche speditive di acquisizione: rilievo celerimetrico con stazione totale integrato con metodologie di fotogrammetria semplificata (fotoraddrizzamento). Negli ambienti interni, laddove l'importanza degli ambienti necessitava una documentazione più dettagliata o la conformazione spaziale richiedeva un approccio diverso, queste tecniche sono state integrate con altre più innovative. Nel rilievo degli ambienti voltati collocati nei piani interrati della manica principale sono state acquisite scansioni laser dalle quali sono stati derivati i profili di sezione bidimensionali. Nel salone centrale posto al primo piano, collocato in un ambiente più aulico e caratterizzato da affreschi presenti sulla volta oltre che sulle pareti, le misure effettuate tramite scansione laser sono state integrate con quelle fotogrammetriche al fine di restituire l'ortofoto (Guardini, Spanò, 2012).
Le esigenze di una gestione dei dati metrici 3D relativi ai beni culturali alla scala architettonica, che rappresenta un settore di ricerca ancora in gran parte inesplorato, trova importanti collegamenti con le ricerche nel contesto della gestione dei dati metrici della cartografia urbana (Urban Data Management). In particolare è stata analizzata la struttura del dato geometrico a la sua relazione con quello semantico nell'ottica di una gestione integrata dei principali supporti metrici in uso (raster e vettoriali, 2D e 3D) con l'insieme dei contenuti informativi dei database cartografici e di quelli relativi al patrimonio culturale.
L'integrazione dei dati metrici è stata realizzata tramite applicazioni CAD, mentre l'implementazione nelle classi del modello CityGML è avvenuta con il supporto del modulo FME Workbench della Safe Softwares L'implementazione del modulo *Appearance* e la validazione dei dati (*consistency and namespaces declaration*) è stata realizzata tramite strumenti editor di XML.

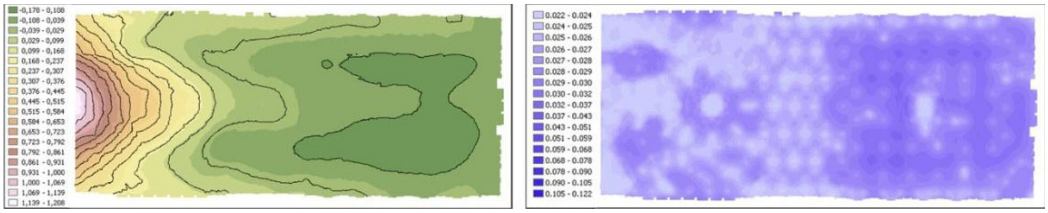


Figura 1. Modello di elevazione ottenuto per interpolazione utilizzando il metodo di Kriging, in evidenza le curve di livello e il variogramma delle linee di massima pendenza.

2.3. Implementazione nel modello CityGML

Lo standard City GML supporta 5 LODs, ognuno dei quali comprende specifiche classi geometriche e tematiche dei dati, e tra i quali il più dettagliato corrisponde ad una tipica scala di rappresentazione architettonica (1:100). La documentazione del patrimonio architettonico-culturale è generalmente attestata sulla scala 1:50, che è stata utilizzata in questo studio, principalmente per la rappresentazione delle caratteristiche dei fronti storici dell'edificio, assegnando ad essa un nuovo LOD che integra la sequenza individuata dall'OGC per il CityGML. Per realizzare l'implementazione complessiva è stato creato un modello architettonico al LOD più elevato e uno schema bidimensionale dei diversi LOD, sulla base dei quali sono stati derivati i modelli tridimensionali. Modelli complessivi del castello sono stati implementati ai LOD 1 e 2, mentre soltanto porzioni specifiche della fabbrica sono state modellate per testare il popolamento dei livelli di dettaglio superiori: un fronte della torre Sud-Est, incluso il tetto, è stato implementato al LOD3, mentre soltanto due livelli dello stesso fronte sono stati modellati al dettaglio richiesto dal LOD4.



Figura 2. Differenti porzioni del complesso implementate nei diversi livelli di dettaglio.

L'implementazione dei LOD previsti dallo standard CityGML ha evidenziato come se da un lato è necessario prevedere perlomeno un livello di dettaglio più elevato per abbracciare anche l'ambito della documentazione metrica del patrimonio architettonico, la problematica più evidente, che si manifesta già ai LOD inferiori 3 e 4 è quella di una specializzazione semantica delle classi tematiche corrispondenti agli oggetti geometrici rappresentati che sia adeguata alle esigenze di documentazione di quest'ambito di applicazione. Le classi tematiche del modello CityGML, infatti, sono esaustive per quanto concerne la rappresentazione dei tematismi della cartografia urbana mentre non abbracciano l'ambito della rappresentazione più specificatamente architettonica. Ambito che peraltro è codificato da altri standard in uso nei sistemi CAD, solitamente utilizzati per la gestione di questo segmento. Tra questi lo standard IFC della BuildingSMART, basato sul linguaggio di modellazione EXPRESS, è uno dei principali strumenti nell'ambito del BIM (*Building Information Modeling*). Coerentemente con il diverso contesto culturale e le diverse finalità applicative dell'ambito in cui è nato, questo standard è basato su un approccio diverso alla definizione semantica e geometrica degli oggetti rispetto all'approccio degli standard dell'OGC. La rappresentazione geometrica orientata essenzialmente verso le superfici degli standard OGC riflette l'approccio alla documentazione dell'esistente che costituisce la base metrica dei sistemi GIS,

mentre una rappresentazione che privilegi i solidi e i parametri di generazione degli stessi è tipica dell'ambito della progettazione architettonica e ingegneristica e delle costruzioni nel quale si sono sviluppati i sistemi CAD. Un integrazione tra questi due diversi approcci alla modellazione dei dati è auspicabile per una gestione efficacie delle trasformazioni in ambito urbano (Zlatanova, Isikdag, 2009) (El-Mekawy, Östman, 2011).

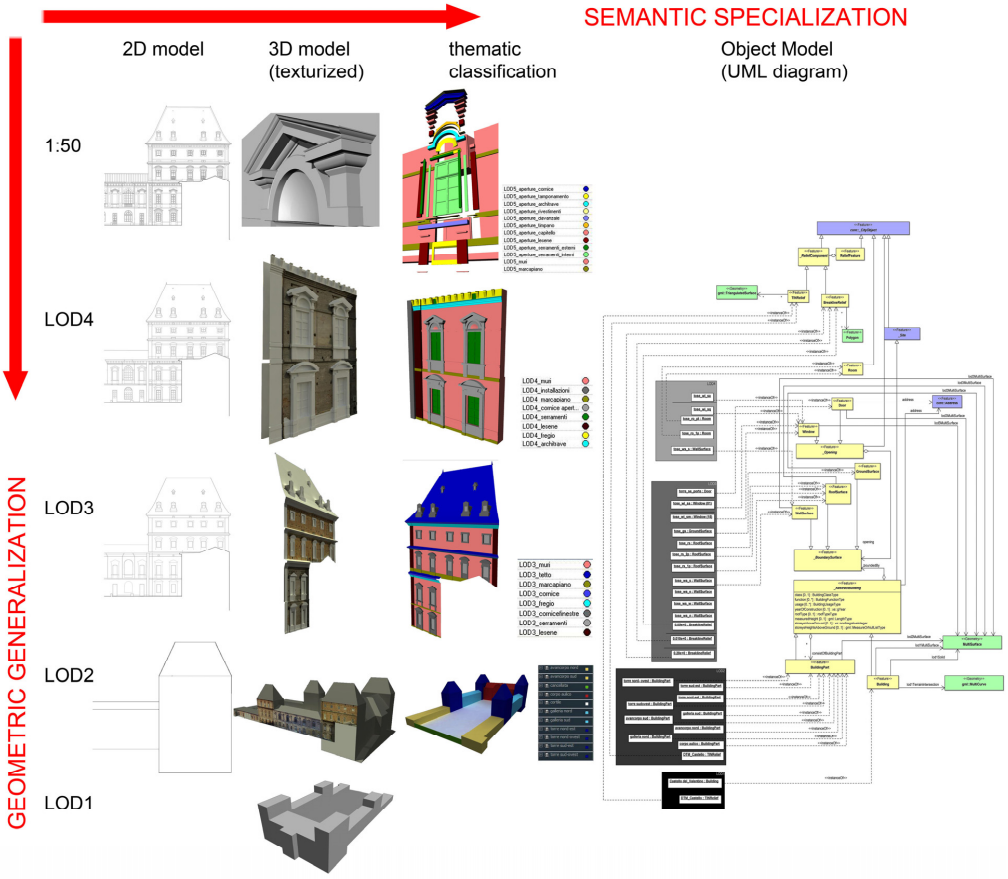


Figura 3. Schema del processo di discretizzazione delle features geometriche e della loro specializzazione semantica.

Le differenti tipologie di supporti metrici, vettoriali e raster, che concorrono alla caratterizzazione delle caratteristiche superficiali degli oggetti sono state in un primo momento integrate nei modelli in ambiente CAD e successivamente implementati nel modello CityGML per mezzo delle apposite classi previste nel modulo *Appearance*. Questo modulo è orientato essenzialmente alla visualizzazione del dato raster associato a quello vettoriale e oltre che per la caratterizzazione dei materiali e delle condizioni di illuminazione può essere utilizzata per una rapida ed efficace documentazione degli effetti di un determinato fenomeno sui manufatti urbani. Gli effetti del degrado delle superfici murarie o un intervento che ne alteri le caratteristiche come un restauro delle facciate può essere registrato e visualizzato tramite questi strumenti. L'integrazione da parte del modello CityGML degli strumenti CAD codificati dalle specifiche X3D consente di implementare automaticamente nel modello CityGML le caratteristiche precedentemente definite in ambito CAD (Costamagna, Spanò, 2012).

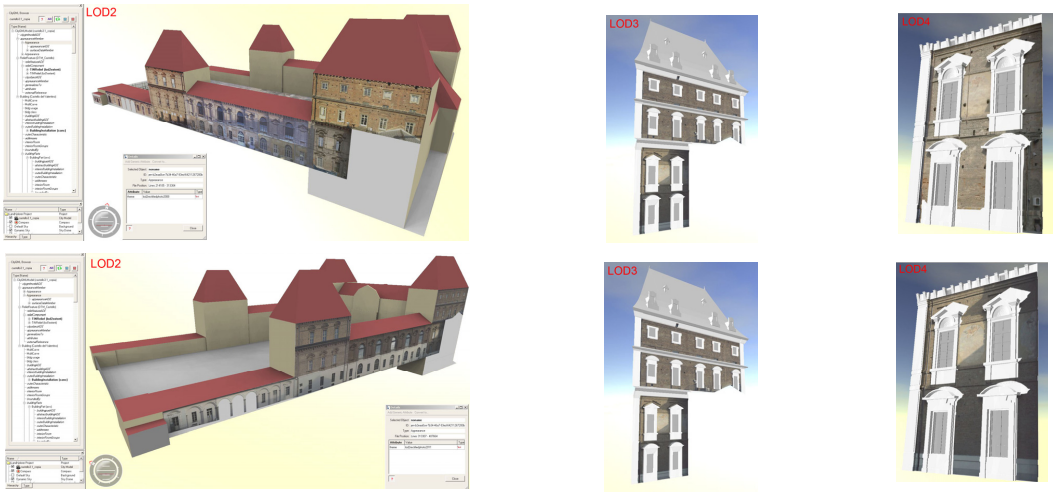


Figura 4. I due diversi temi del modulo Appearance implementati nei LOD2, 3 e 4: la situazione delle facciate prima del restauro (sopra) e dopo (sotto).

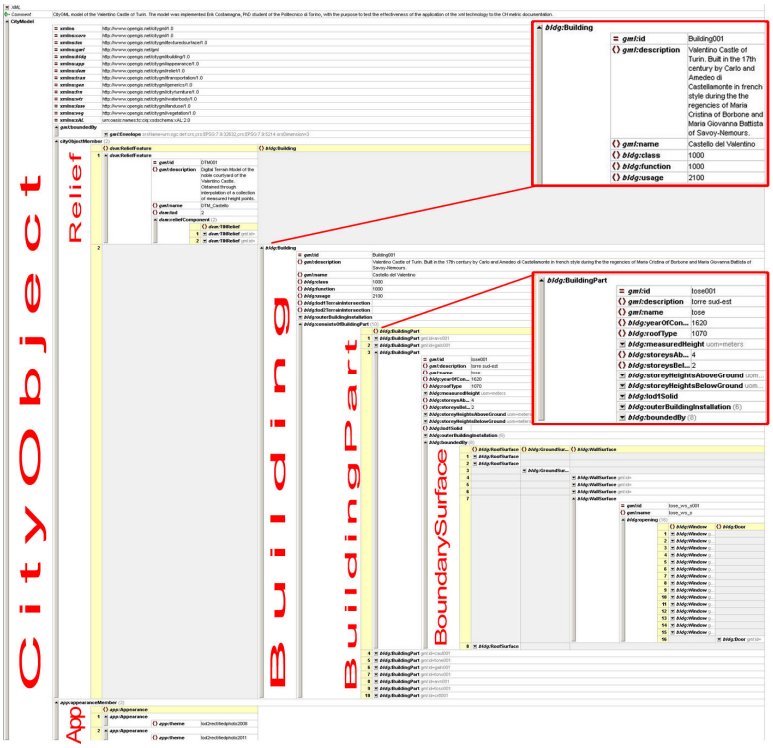


Figura 5. Schema della struttura del modello semantico con le classi implementate del modulo Building e Appearance.

Riferimenti bibliografici

Apollonio, F.I., Gaiani, M., Manferdini, A.M. (2010), Modellazione semantica metodi a multirisoluzione, *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*, cap. 8 Modellazione semantica metodi a multirisoluzione, pp. 234–267. Edizioni della Normale.

Costamagna E., (2012), GIS 3D: studio e applicazione alla documentazione metrica dei beni culturali, *Tesi di dottorato*, Politecnico di Torino.

Costamagna E., Spanò A., "Spatial Models for Architectural Heritage in Urban Database Context", *Atti della Conferenza UDMS (Urban Data Managemet Society)* Delft NE.

Costamagna E., Spanò A., (2012), "Semantic models for architectural heritage documentation", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7616, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg DE.

De Luca L., Véron P., Florenzano M., (2007), "A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements", *The Visual Computer* 23: 181§-205

Spanò A., Guardini N. (2012), "A sustainable approach in 3d documentation for historical building restoration. Valentino castle buildingyard", *Atti del 5° Congresso Internazionale Science and technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin*, Vol. 1, 134-143.

van Oosterom P., Jansen E., Stoter J. (2005), "Bridging the worlds of CAD and GIS", Zlatanova S., Prosperi D., ed., *Large-scale 3D Data Integration: Challenges and Opportunities* 9-§36. Taylor&Francis - CRC Press, Boca Raton US-FL.

Zlatanova S., Stoter J. (2006), The role of DBMS in the new generation GIS architecture, Rana, S., Sharma, J., ed., *Frontiers of Geographic Information Technology*, 155-§180, Springer, Berlin Heidelberg DE.

Zlatanova S., Isikdag U. (2009), "Towards defining a framework for automatic generation of buildings in CityGML using BIM", Zlatanova, S., Jiyeong, L., ed.: *3D Geoinformation Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 79§-96*. Springer -Verlag, Berlin Heidelberg DE

Consolidamento delle coordinate dei Punti Fiduciali nel territorio del comune di Vicenza nei sistemi di riferimento cartografici in uso

Pier Francesco Costantini

ITS per Geometri "A.Canova", Vicenza, Fax 0444507358, Tel. 0444507330, costantini.pf@alice.it

Riassunto
La presente Relazione illustra il percorso attuato per consolidare le coordinate degli oltre 1100 PF sparsi sul territorio del comune di Vicenza, in tutti i sistemi di riferimento in uso, partendo dalle informazioni geometriche rese disponibili dall'Agenzia del Territorio e provenienti dalle elaborazioni dei libretti di misura dal 1989 a oggi. Si discutono la fase preliminare di acquisizione e selezione dei dati e la fase di compensazione della rete a sua volta segmentata in diverse sotto fasi.
Posto che i dati di partenza avrebbero portato in ogni caso ad un risultato, l'incognita, che è stata sciolta solo in prossimità della conclusione, era la qualità dei risultati, non essendo finora mai stati elaborati simultaneamente i dati di partenza.
L'esito è stato superiore alle attese sia in termini di quantità di PF consolidati (1119 su 1158) sia di precisioni (il 90% dei PF è consolidato con scarto quadratico medio inferiore a 100 mm, e un ulteriore 9% entro 200 mm), confermando in pieno la possibilità di un loro uso cartografico e dell'impiego nella "ricostruzione" della carta catastale alla quale si sta lavorando.

Abstract
This paper explains how the coordinates of over 1100 cadastral reference points spread across the city area of Vicenza have been consolidated, in all the reference systems in use. The geometric starting data have been given by the *Agenzia del Territorio* and they derive from the raw survey data since 1989 to date. The present work is divided into two parts. The first deals with the acquisition and selection of the geometrical data, the second covers the adjustment of the topographic network and it is composed of several steps. We knew that the geometric starting data would have led to a result at any rate, so the unknown aspect was the quality of these results, because such data had never been processed all together. The precision of the results has become clear only near the end of the work. The outcome exceeded the expectations in terms both of the amount of consolidated cadastral reference points (1119 out of 1158) and of precision (90% of these points is consolidated with a standard deviation lower than 100 mm, and a further 9% by 200 mm). Therefore we are able to confirm the possibility of using these points for topographical practice and to "reconstruct" the cadastral maps we are working on.

Premessa

È auspicabile che in un futuro prossimo la cartografia catastale sia del tutto compatibile con la cartografia tecnica e che, in definitiva, tutte le informazioni catastali possano diventare, fatti salvi i limiti di accesso, parte del database territoriale: questo consentirebbe lo scambio di informazioni, gli opportuni controlli e una semplificazione del lavoro degli operatori; se a questo si aggiungesse la disponibilità di una cartografia costantemente aggiornata, si comprende bene quale sarebbe il salto di qualità nella gestione del territorio e non solo. La cartografia catastale attuale della provincia di Vicenza, ad eccezione di un comune dell'alta val d'Astico, è inquadrata nel *datum* che utilizza l'ellissoide di Bessel orientato a Genova, ed è espressa in coordinate piane Cassini-Soldner (CS). È riferita a circa 60 origini diverse (per 121 comuni); quella del territorio del comune di Vicenza, in-

sieme ad altri due comuni contermini (Arcugnano e Dueville), ha per origine l'asse del campanile della Basilica di Monte Berico. Con riferimento al territorio del comune di Vicenza, le mappe catastali, nel tempo scandite, digitalizzate e mosaicate, non consentono confronti con la cartografia tecnica. Gli errori riscontrabili da un capo all'altro del territorio raggiungono e superano spesso la decina di metri e non sono distribuiti secondo qualche regolarità, talché non sembrano possibili trasformazioni geometriche in blocco, ancorché sofisticate, in grado di ridurre a valori accettabili (di graficismo, di precisione fotogrammetrica, etc.) le differenze di geometria.
Inoltre, come illustrato dettagliatamente nella relazione di Berti di questa conferenza, l'Amministrazione comunale di Vicenza intende procedere all'aggiornamento del GeoDB, assestato, con notevole impegno e ottimi risultati, dall'Ufficio SIT dopo il rifacimento della Carta Tecnica Regionale (CTR) nel 2009, mediante procedure "automatiche" fondate sui rilievi topografici che in futuro supporteranno progettazioni di trasformazione del territorio. A tale scopo, l'Amministrazione ha intrapreso da alcuni anni un percorso di innovazioni tecniche e di modifiche delle procedure. Lo strumento fondamentale per mettere gli operatori in grado di fornire all'Amministrazione le informazioni necessarie senza aggravio di lavoro è stato la costituzione di un *frame* di punti sufficientemente fitto che materializzi il sistema di riferimento cartografico: quest'ultimo potrebbe essere quello della cartografia tecnica nazionale, attualmente Roma40, o qualsiasi altro, in futuro sperabilmente ETRF2000. Su questo *frame* dovranno appoggiarsi tutti i rilievi topografici e le conseguenti progettazioni. E questo *frame* servirà alla "ricostruzione" della carta catastale, finalmente congruente con la Carta Tecnica.
Il frame di cui si è detto raggiunge la densità richiesta con l'aggiunta di tutti i PF consolidati nel sistema di riferimento prescelto.
I passaggi fondamentali sono stati:

1. la costituzione di una Rete Geodetica Comunale (RGC) tridimensionale e di precisione millimetrica tutta rilevata con tecnica GNSS;
2. la determinazione planimetrica di un insieme di Vertici di Orientamento (VO) di precisione centimetrica mediante misure goniometriche da vertici della RGC o da altri vertici appositamente determinati con tecnica GNSS;
3. il consolidamento delle coordinate di tutti i Punti Fiduciali (PF) presenti nel suo territorio.

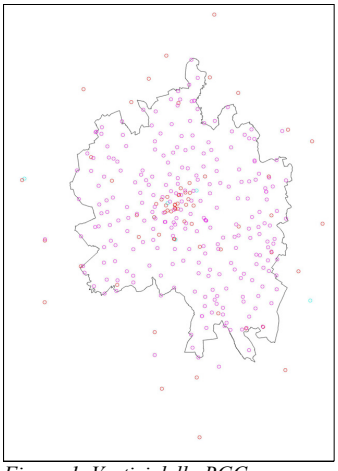


Figura 1. Vertici della RGC.

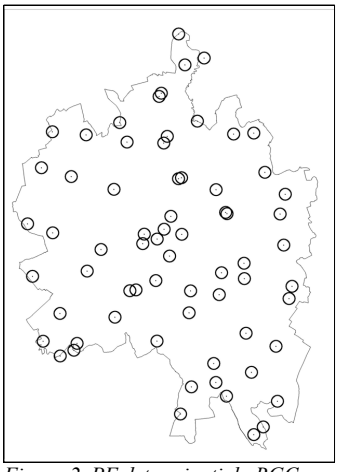


Figura 2. PF determinati da RGC.

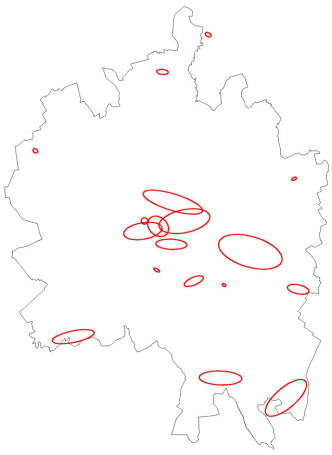


Figura 3. VO coincidenti con PF. Le ellissi di errore sono amplificate di 20 000 volte.

Tutti i punti della RGC (fig. 1) sono monumentati con borchie personalizzate, in luoghi pubblici e

da tutti si "vedono" VO: è dunque possibile eseguire rilievi tridimensionali direttamente georeferenziati anche utilizzando Stazioni Totali. Mediante tecniche di rilievo tradizionali, appoggiandosi a vertici della RGC o su punti appositamente determinati con GNSS e utilizzando i VO sono stati determinati 49 PF con precisione entro 20 mm (fig. 2).
Tra i VO, 18 coincidono con PF (assi di campanili) e sono stati utilizzati come vincoli o controllo nella compensazione della rete di PF (fig. 3).
Le immagini mostrano la distribuzione sul territorio dei vertici a disposizione al momento di affrontare la compensazione dei PF.
A questa nuvola di punti piuttosto rada (mediamente 3 punti/km^2 ovvero su una maglia media di circa 680-700 m) si aggiunge ora l'insieme dei PF (mediamente circa 11 punti/km^2) portando la densità complessiva a circa 1 punto/250 m che è una maglia adeguatamente fitta.
Le monografie, molto ricche di dati, di tutti i punti sono liberamente disponibili da un portale allestito dal Comune.
La presente Relazione espone sinteticamente le operazioni svolte e i risultati ottenuti relativamente alla terza fase, quella di consolidamento dei PF.

Estrazione dei dati
L'Agenzia del Territorio pubblica nel suo sito *web*, con aggiornamento mensile, gli archivi comunali delle coordinate dei PF (per Vicenza: L840.TAF nel sistema di riferimento CS) e gli archivi provinciali delle Mutue Distanze (per la provincia di Vicenza: Vicenza.DIS); nello stesso sito si trovano le monografie di gran parte dei PF attivi. In un altro sito *web* si trovano le coordinate d'impianto dei PF, informazioni talvolta molto utili. È da notare che, mentre l'archivio della distanze semplicemente si allunga di mese in mese con l'inserimento dei risultati dell'elaborazione dei nuovi libretti, la lista dei PF si allunga solo per l'istituzione (ormai rara) di nuovi PF, ma riporta sostanzialmente le coordinate progressivamente aggiornate dalle ultime determinazioni.
Sul territorio del Comune (80.4 km^2) si sono accumulati, dal 1989, oltre 900 PF. Alcuni sono scomparsi, perché rappresentati da particolari appartenenti a manufatti demoliti, o inutilizzabili, perché inglobati in aree inaccessibili, ma in gran parte sono attivi e utilizzati. Nello studio sono stati trattati anche i PF scomparsi perché tutti connessi con PF attivi e dunque utili alla compensazione.
Allo scopo di trattare adeguatamente tutti i PF all'interno del Comune sono stati utilizzati anche tutti i PF ricadenti nei 12 comuni contermini e collegati direttamente a PF di Vicenza.
I dati utilizzati per questo studio sono quelli pubblicati nel mese di marzo 2012.
I dati degli archivi non possono essere utilizzati senza una stringente analisi di attendibilità e un adeguato trattamento statistico al fine di condensarli in un set di misure significative. Questa operazione è stata la più laboriosa e difficile e ha proposto situazioni davvero inaspettate. Inoltre, non può nemmeno dirsi che questa possa essere una fase in sé chiusa, in quanto fino all'ultimo è stato necessario tornare a verificare o a ripescare qualche dato originario.

Trattamento delle basi
Parecchie basi risultano misurate una sola volta; moltissime risultano determinate più volte e in tempi diversi: è perciò evidente la necessità di condensare le diverse misure di una stessa base in un unico valore. Le situazioni che si sono verificate e le soluzioni adottate sono le seguenti[1].

1. basi misurate una sola volta: sono congelate e ripescate a mano a mano che i valori diventano compatibili con le coordinate compensate;
2. valori ripetuti uguali: suggeriscono un probabile utilizzo della base per l'elaborazione di più pratiche; di questi valori se ne è considerato solo uno;

1 Alcuni dei criteri esposti sono "oggettivi", altri sono opinabili: quelli esposti sono quelli adottati dopo diverse considerazioni e analisi. Ad esempio, non è stato considerato l'anno di determinazione della base: considerando che negli oltre 20 anni di misure gli strumenti sono parecchio evoluti, questa informazione potrebbe "pesare" la misura all'interno della serie, ma si è ritenuto che altri parametri non conoscibili (condizioni operative, perizia dell'operatore, marca, tipo e stato dello strumento etc.) abbiano influito sulla precisione più dell'epoca della misura.

3. valori dispersi in un intervallo di ampiezza compatibile con "presunte" precisioni di misura a seconda delle tecniche "probabilmente" utilizzate (distanziometri elettronici tra PF raggiungibili e intersezioni tra PF non raggiungibili); la media aritmetica è parso il valore ragionevolmente più attendibile;
4. valori dispersi in un intervallo molto ampio; si sono costatate varie situazioni:
   a) solo qualche misura scarta evidentemente dalle altre: depurata la serie si estrae il valore medio;
   b) qualche valore si associa, ma i più sono dispersi: è probabile che in fase di misura non siano stati interpretati correttamente i PF interessati; salvo casi particolari, queste basi sono inutilizzabili;
   c) i valori si polarizzano intorno a due-tre distanze: spesso si tratta di diversi spigoli di fabbricati o di pilastri (a seconda dell'entità); mediante approfondimento è possibile salvare un set di dati.

Il parametro di precisione (scarto quadratico medio della media, sqmm), riportato nell'archivio per una parte delle misurate, non ha purtroppo attendibilità esponendo, ad esempio, sqmm di 3 mm su basi di oltre 1 km e sqmm di 2 m su basi di 250 m; inoltre, come detto, per moltissime basi il parametro non è dichiarato.

Trattamento delle coordinate

La prima operazione è stata quella di trasformare le coordinate CS di tutti i PF (sono presenti 9 origini per i 13 Comuni interessati) in un sistema di riferimento qualsiasi ma unico e la scelta più conveniente è stata UTM-ETRF2000[2].

Il passaggio da CS a UTM-ETRF2000 è avvenuto in due tempi:

1. da CS a Gauss-Boaga (GB): per questa trasformazione è disponibile l'algoritmo del prof. Di Filippo[3], ma nel caso presente, dovendo determinare le coordinate da porre a innesco della soluzione iterativa di compensazione, quindi con precisione abbastanza ampia, è stato utilizzato un algoritmo, che utilizza un grigliato derivato da CartLab, che assicura precisioni almeno decimetriche;
2. da GB a UTM-ETRF2000: anche questa trasformazione, pur potendosi appoggiare ai grigliati IGM, è stata effettuata mediante interpolazione con funzioni di 5^ grado i cui coefficienti sono determinabili una volta per tutte, per gli ambiti che interessano, a partire da un numero adeguatamente sovrabbondante di punti doppi.

Per poter visualizzare i punti nella cartografia è stata effettuata anche la trasformazione della CTR, opportunamente spogliata, da GB a UTM-ETRF2000 mediante roto-traslazione e adeguamento di scala direttamente in ambiente CAD.

Un non trascurabile numero di PF è apparso posizionato fuori comune o in località del tutto estranee. Anche in questo caso si sono manifestate diverse situazioni che, a seconda dei casi, hanno consentito un rapido recupero delle coordinate corrette o hanno costretto a faticose ricostruzioni a parti-

2 Per l'elaborazione dei dati della RGC, rilevata tutta con tecnica GNSS, sono stati messi a punto diversi programmi di conversione di coordinate. In particolare è stato scritto un processore che determina tutte le trasformazioni tra i sistemi di riferimento utili (ETRF89, Roma40, ED50, CS) in tutti i sistemi di coordinate (geografiche, cartesiane e piane) e il calcolo di vari parametri geodetici (raggi di curvatura, coefficienti di deformazione, convergenze etc.) assumendo in input coordinate geografiche in ETRF2000 e quota ellissoidica. Questo processore utilizza i grigliati IGM per il passaggio tra i sistemi di riferimento ed è stato approfonditamente testato con i programmi ufficiali (Verto e ConVE). È stato anche scritto un programma per la conversione tra sistemi di coordinate all'interno dello stesso sistema di riferimento valido per i 4 sistemi di riferimento utilizzati (ETRF2000, ETRF89, Roma40, ED50). Nello stesso sistema di riferimento ETRF2000 è anche stata impostata e risolta la determinazione dei VO.

3 Questo algoritmo è stato effettivamente utilizzato nella fase finale di trasformazione delle coordinate compensate implementandolo nel programma principale di trasformazione tra i diversi sistemi di riferimento. Provato sia nella trasformazione da CS a GB che viceversa, si sono ottenute differenze in chiusura di circa 6 mm nella coordinata Nord e 1 mm nella coordinata Est nelle trasformazioni di punti a distanza 10 km dall'origine catastale. Nel caso di studio tale distanza non ricorre, e, comunque, si tratta di millimetri in ambito cartografico.

re dalle monografie o, addirittura, al posizionamento diretto utilizzando basi attendibili da PF attendibili. Vi sono stati casi di evidente scambio delle coordinate XY favorito dalla "strana" convenzione catastale di scambiare X con Y; casi, meno evidenti, di inversione di digitazione delle prime cifre, di cifre ripetute, di zero al posto del punto decimale etc.
Nel complesso, su oltre 1000 PF, alcune (molte) decine di questi avevano coordinate errate. Il tentativo di recuperare valori accettabili per via automatica ha generato un discreto numero di piccoli programmi di calcolo, ma, purtroppo, l'esame dei singoli casi è stato spesso l'unico modo per non rinunciare a molti PF[4].

All'avvio della fase di trattamento dei dati la situazione era la seguente:

Numero di DIS che complessivamente richiamano L840	*18969*
Numero di PF richiamati nelle DIS precedenti	*1159*
Numero provvisorio di PF utili e contenuti in TAF o in IMPIANTO	*1158*
Numero di PF utili ma mancanti dagli archivi	*1*
Numero di DIS che complessivamente interessano	*21689*
Numero provvisorio di DIS utili tra PF trovati	*21684*
Numero di DIS utili	*18311*
Numero di PF utili	*1158*

Nell'ammontare totale di PF, 927 sono in comune di Vicenza e 231 nei comuni contermini. Le basi tutte interne al comune sono risultate 14516 mentre quelle a scavalco o fuori del confine comunale 3795. Nelle basi a scavalco sono contate anche quelle tra i PF esterni al Comune; queste sono state considerate allo scopo di ridurre il numero di PF labili (ossia connessi ad un solo altro PF) e di arricchire la rete.
La condensazione delle distanze, nei modi descritti, ha condotto all'ammontare di 5049 basi.

Elaborazione
L'elaborazione è consistita sostanzialmente nella compensazione ai minimi quadrati di una rete planimetrica, ampiamente sovradeterminata, in cui i dati di ingresso erano i seguenti:

a) tutte le basi, ciascuna con una *switch* indicante il suo utilizzo o meno;
b) le coordinate approssimate di tutti i PF con codice di vincolo per ciascuna coordinata e una *switch* indicante il suo utilizzo o meno.

È stata considerata l'opportunità di assegnare un peso alle basi. In tal senso sono stati svolti diversi test. Come detto altrove, non erano utilizzabili gli sqmm riportati negli archivi DIS, e dunque, volendo pesare le distanze, si trattava di inventare e giustificare un criterio non matematico. Nel corso dello studio è stato a lungo provato un vettore di pesi dipendente, in varie forme e grado, dalla lunghezza di ciascuna base, ma questo conduceva sempre a risultati controintuitivi. Alla fine non si sono utilizzati i pesi, ma si è posto un filtro sulle basi scartando progressivamente quelle che mostravano un errore relativo maggiore di un limite prefissato. Questo limite è evoluto lentamente[5]

4 Da qui si comprende come i trattamenti delle basi e dei PF non siano stati disgiunti. Molti PF sono stati posizionati a partire da PF di coordinate già accertate (nell'ordine di precisione di questa fase, pluridecimetrico) utilizzando basi provenienti da serie di misure sufficientemente coerenti; peraltro, la scelta del valore attendibile di molte basi appartenenti a serie ambigue è stata possibile solo disponendo di PF di coordinate sufficientemente attendibili. Per evitare questa faticosa interazione tra PF e basi, si ritiene che qualche giorno di lavoro di un operatore abile e buon conoscitore del territorio posizioni i PF ambigui sulla CTR assegnando loro coordinate attendibili dalle quali poter filtrare le basi. In questo modo le due fasi si separerebbero e, probabilmente, si guadagnerebbe tempo.

5 Inizialmente è sceso rapidamente da 1000-1200 ppm iniziali a 600 ppm, per poi adagiarsi intorno a 350 ppm. Il limite può sembrare ampio (3.5 cm/100 m), ma si consideri che: si tratta sempre di misure indirette, affette quindi dalla propagazione degli errori sia di misura che di configurazione geometrica; che molte sono le cause di errore che concorrono nelle misure; infine, che spesso è allentata l'attenzione dedicata alle misure quando la tolleranza è piuttosto ampia. Abbassare ulteriormente questo limite di ammissibilità significava perdere PF per labilità.

insieme con il progresso della soluzione per evitare *shock* numerici e progressivamente isolare il gruppo di basi attendibili. Si potrà obiettare che così facendo la soluzione sia stata "manovrata", oppure che si sia "avvitata" su un risultato "qualsiasi" a causa di "congiunture numeriche casuali". È possibile, ma si ritiene che la soluzione raggiunta sia attendibile, confortata dal fatto che comunque le varie soluzioni si muovevano, per la grandissima parte dei PF, in un intervallo millimetrico, al più centimetrico.
L'elaborazione della rete si è svolta in 3 fasi:

1. compensazione della rete a vincoli minimi;
2. compensazione della rete sovra-vincolata ma con punti di controllo;
3. compensazione della rete vincolata su tutti i punti di coordinate note.

Compensazione della rete a vincoli minimi

Questa fase è stata attuata per testare la congruenza interna della rete e per "scremare" le basi e i vincoli incompatibili.
La rete dei PF, nella consistenza dichiarata, è stata dapprima vincolata in modo minimo: un punto pieno (l'asse del campanile di M. Berico che è abbastanza baricentrico e anche punto di emanazione del Catasto) e la coordinata Est di un secondo punto prossimo al meridiano del primo e da questo sufficientemente lontano[6]. Dopo una serie di tentativi e di applicazione di limiti di ammissibilità delle basi sempre più stretti, si è giunti alla configurazione di dati e ai parametri di iterazione e statistici della compensazione seguenti:

Numero di punti totali	*1119*
Numero di punti utili	*1119*
Numero di distanze totali	*4567*
Numero di distanze utili	*4459*
Numero di coordinate fissate	*3*
Numero di equazioni	*2238*
Grado di iperdeterminazione	*2224*
Tolleranza su massima correzione	*0.010*

n	*ora*	*Sqm u.p.*	*eq.*	*Dmax*	*punto*
1	*11:05:46*	*1.306*	*1244*	*5.065*	*654434*
2	*11:06:07*	*0.106*	*673*	*-2.344*	*695431*
3	*11:06:28*	*0.097*	*814*	*-0.039*	*714033*
4	*11:06:49*	*0.097*	*1198*	*0.000*	*644435*

Correzione massima inferiore alla relativa tolleranza

Numero di iterazioni eseguite	*4*
Tolleranza sulle correzioni	*0.010*
Correzione massima assoluta	*0.000*
Somma pesata dei quadrati degli scarti	*0.210838E+02*
Scarto quadratico medio dell'unità di peso	*0.097*

Come si vede, 39 PF sono andati persi per labilità; di questi 21 all'interno del Comune. Le basi, originariamente 5049 teoricamente attendibili, sono scese a 4567 togliendo quelle con errori molto grandi (oltre 1200 ppm). Le rimanenti si sono ulteriormente ridotte a 4459 scartando quelle che via via eccedevano 1000, 800, etc. ppm fino a giungere a 350 ppm, salvo 13 eccezioni per non perdere ulteriori PF.
A questo punto si è valutata la compatibilità dell'intera rete utilizzando il gruppo di PF con coordinate doppie. Per fare questo è stata eseguita la trasformazione di Helmert a 4 parametri (determinati ai minimi quadrati) di questi PF. I risultati ottenuti, rappresentati dai residui della trasformazione, sono riportati nella fig. 5.

6 Si potevano scegliere 3 condizioni elementari di vincolo qualsiasi (quasi), ma la scelta operata rendeva i valori dei parametri di trasformazioni prossimi ai valori minimi, con qualche vantaggio numerico.

Nella colona “Tutti attivi”, la trasformazione è stata attuata utilizzando tutti i 67 punti disponibili, poi, nelle successive, escludendo quelli che superavano la correzione massima limite fissata a 200 mm. Si nota che, assumendo il limite suddetto, alla fine il 15% dei punti è “spinto” dalla rete a oltre 200 mm dalla determinazione diretta. Si nota anche che i residui lasciati “liberi” spesso si assestano su valori non molto diversi da quelli della prima determinazione.
Se si esamina la distribuzione spaziale dei residui (fig. 4) si nota una certa regolarità. A parte il punto all'estremo nord e un paio di punti a sud-ovest, probabilmente affetti da errori grossolani localizzati, si nota che la zona sud è invece diffusamente deteriorata. Nella figura i raggi delle circonferenze sono 2000 volte il modulo del vettore dei residui; sono anche indicate le direzioni dei vettori che confermano la “sofferenza” di quella parte di rete.

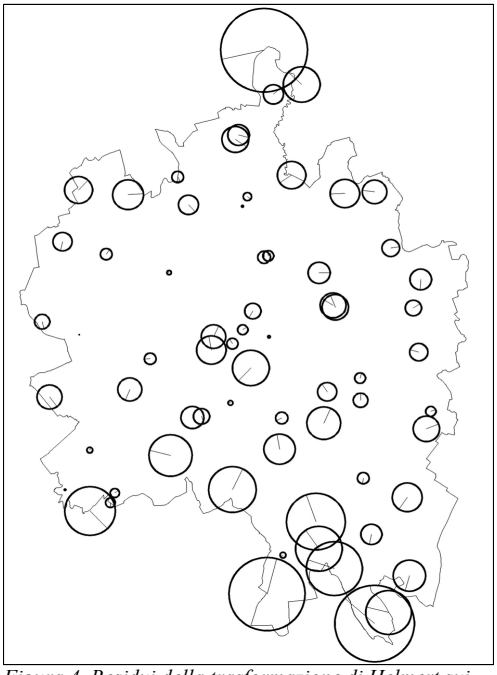


Figura 4. Residui della trasformazione di Helmert sui punti di coordinate doppie per compensazione a vincoli minimi.

Figura 5: Residui (in mm) della trasformazione di Helmert dei 67 punti di coordinate doppie. In grassetto corsivo i residui sui punti via via esclusi.

	Tutti attivi		-1		-6		-10	
	dN	dE	dN	dE	dN	dE	dN	dE
654981	-97	-43	-113	-57	-119	-35	-107	-23
664381	-18	29	-28	33	3	49	32	42
684581	-32	-16	-34	-19	-16	-20	0	-30
684681	37	-20	34	-27	44	-29	55	-36
684684	144	-21	140	-28	150	-26	163	-32
684782	109	71	104	63	113	64	124	59
685181	0	140	-5	117	-26	114	-32	119
694581	-70	-35	-68	-37	-48	-46	-34	-61
694681	-175	-122	-176	-128	-163	-132	-151	-142
694781	-17	8	-17	0	-9	-7	0	-16
694782	-89	-24	-90	-35	-86	-39	-79	-46
704281	146	-118	152	-112	192	-125	***214***	***-150***
704581	138	111	143	108	164	94	176	76
705281	184	-114	184	-141	155	-154	142	-151
714681	31	57	37	51	52	31	59	13
724181	-250	3	-238	10	-194	-16	-175	-50
734481	15	197	27	194	49	165	56	138
734881	-126	53	-117	39	-116	11	-121	-7
644537	-138	61	-153	59	-137	83	-111	87
644737	-94	-5	-110	-13	-105	12	-85	21
654333	-262	174	-272	180	***-239***	***199***	***-207***	***194***
654334	-48	-34	-61	-29	-31	-7	1	-9
654443	-5	-12	-17	-11	8	8	35	6
654734	-8	-16	-22	-23	-14	-3	4	2
655036	136	91	121	74	108	93	115	107
664338	-110	-17	-120	-12	-87	4	-57	-3
664537	-153	-60	-162	-63	-146	-50	-126	-52
664937	63	24	50	11	46	27	57	35
665035	30	170	19	153	6	165	11	175
674431	19	-234	13	-233	39	-226	***62***	***-234***
674539	-139	84	-144	82	-124	87	-105	79
674632	-27	-71	-35	-77	-23	-67	-7	-68
674834	11	-20	3	-32	2	-25	11	-23
675031	-44	0	-52	-19	-67	-14	-67	-7
675036	-66	87	-74	70	-85	73	-83	78
684338	189	129	188	132	219	131	***241***	***116***
684542	-122	37	-126	35	-106	38	-88	29
685134	-55	145	-60	123	-80	120	-86	125
694141	334	129	337	139	***383***	***133***	***412***	***109***
694241	-87	-3	-84	4	-43	-3	-19	-27
694434	130	-7	132	-7	157	-15	173	-32
694732	17	69	15	61	22	57	31	51
694834	64	13	63	-1	60	-8	61	-13
694842	75	29	74	15	71	8	73	4
695033	-15	58	-18	40	-30	35	-32	36
695035	26	25	23	8	12	4	11	5
695232	119	114	116	88	89	79	78	84
695339	-57	-446	***-61***	***-476***	***-94***	***-483***	***-108***	***-475***
704236	252	-76	257	-72	***293***	***-84***	***313***	***-108***
704535	61	-24	65	-30	82	-44	91	-61
704838	-2	163	1	149	0	135	1	126
705034	-70	-99	-70	-120	-85	-130	-91	-132
714134	29	-261	36	-253	***79***	***-268***	***102***	***-296***
714231	-182	21	-173	26	-135	6	-117	-23
714332	-117	34	-109	34	-80	15	-66	-10
714538	50	43	57	38	75	19	83	-1
714733	67	-87	71	-98	75	-114	77	-126
714740	130	-14	134	-25	138	-42	140	-54
715035	10	-122	14	-142	2	-160	-6	-167
724034	207	-291	218	-280	***269***	***-300***	***293***	***-334***
724035	-21	-200	-10	-190	40	-213	***63***	***-247***
724337	-196	-40	-185	-38	-152	-64	-139	-93
724641	4	-41	15	-50	26	-78	27	-99
724734	35	136	45	123	50	96	48	78

Compensazione della rete sovra-vincolata ma con punti di controllo

La compensazione della rete è stata poi attuata inserendo progressivamente vincoli avendo cura di mantenere una uniformemente discreta distribuzione dei vincoli su tutto il territorio.

La rete, al passo che si mostra, è vincolata su 41 punti (fig. 6) e controllata su 26 punti (fig. 7).

Su questi punti si sono ottenuti i residui riportati nelle fig.8 e 9.

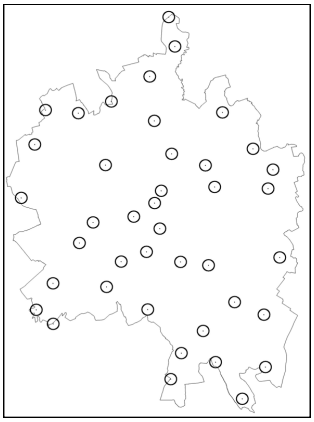


Figura 6. Punti doppi di vincolo.

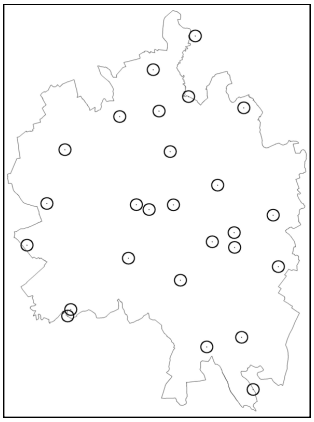


Figura 7. Punti doppi di controllo.

I parametri del processo e quelli di convergenza e statistici sono i seguenti:

Numero di punti totali	*1119*
Numero di punti utili	*1119*
Numero di distanze totali	*4567*
Numero di distanze utili	*4459*
Numero di coordinate fissate	*82*
Numero di equazioni	*2238*
Grado di iperdeterminazione	*2303*
Tolleranza su massima correzione	*0.010*

Figura 8. Residui e raggi dell'ellisse di errore (in mm) sui punti di controllo.

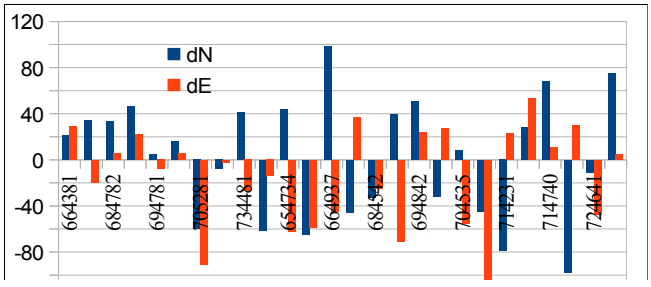
	dN	dE	a	b
664381	21	29	37	47
684681	34	-20	44	51
684782	33	6	40	74
685181	46	22	46	61
694781	5	-8	66	206
704281	16	6	43	73
705281	-60	-91	63	182
714681	-8	-2	47	65
734481	41	-27	59	273
644537	-61	-14	73	83
654734	44	-62	44	56
664338	-65	-59	42	56
664937	98	-45	46	57
675036	-46	37	38	44
684542	-33	-25	38	71
694434	39	-71	46	47
694842	51	24	27	34
695033	-32	27	34	48
704535	8	-55	52	61
705034	-45	-105	63	65
714231	-79	23	50	64
714538	28	53	59	61
714740	68	11	55	78
724035	-98	30	49	70
724641	-11	-47	50	72

n	*ora*	*Sqm u.p.*	*eq.*	*Dmax*	*punto*
1	*16:54:41*	*1.284*	*1244*	*4.823*	*654434*
2	*16:55:00*	*0.110*	*1529*	*1.013*	*684231*
3	*16:55:20*	*0.105*	*2225*	*-0.012*	*744632*
4	*16:55:40*	*0.105*	*1529*	*0.000*	*684231*

Correzione massima inferiore alla relativa tolleranza

Numero di iterazioni eseguite	*4*
Tolleranza sulle correzioni	*0.010*
Correzione massima assoluta	*0.000*
Somma pesata dei quadrati degli scarti	*0.255226E+02*
Scarto quadratico medio dell'unità di peso	*0.105*

Figura 9. Residui sui punti di controllo.



I primi 9 punti sono VO, i successivi 17 sono PF determinati

da RGC. Si nota che i residui sono ovunque contenuti: spiccano solo 3-4 valori prossimi a 100 mm. Per quanto riguarda i raggi delle ellissi di errore, spiccano 3 valori dovuti a cattiva configurazione geometrica delle basi misurate.
È infine il caso di notare che dalla compensazione a vincoli minimi a questa a vincoli sovrabbondanti il valore dello scarto quadratico medio dell'unità di peso è passato da 97 mm a 105 mm, con un incremento di circa 8% a fronte dell'imposizione di 79 condizioni elementari di vincolo. Questa discreta stabilità indica che la rete libera si adatta abbastanza bene ai vincoli, cioè che è abbastanza congruente con essi. La stessa considerazione si poteva trarre dai residui della trasformazione di Helmert sui punti "liberati" che non per questo migravano a valori molto differenti.

Compensazione della rete vincolata su tutti i punti di coordinate note
Preso atto che il procedimento "converge", la migliore soluzione è stata ottenuta vincolando la rete su tutti i punti doppi disponibili. Ovviamente non vi sono più punti di controllo, ma rimane il valore dello scarto quadratico medio dell'unità di peso come indicatore di un irrigidimento della rete senza sostanziale forzatura. Come si vede dai dati sotto riportati questo parametro non cambia.
I parametri del processo e quelli di convergenza e statistici sono:

Numero di punti totali	*1119*
Numero di punti utili	*1119*
Numero di distanze totali	*4567*
Numero di distanze utili	*4459*
Numero di coordinate fissate	*82*
Numero di equazioni	*2238*
Grado di iperdeterminazione	*2355*
Tolleranza su massima correzione	*0.010*

n	*ora*	*Sqm u.p.*	*eq.*	*Dmax*	*punto*
1	*22:37:10*	*1.269*	*1244*	*4.785*	*654434*
2	*22:37:28*	*0.110*	*1529*	*1.011*	*684231*
3	*22:37:46*	*0.105*	*2225*	*-0.013*	*744632*
4	*22:38:03*	*0.105*	*1529*	*0.000*	*684231*

Correzione massima inferiore alla relativa tolleranza

Numero di iterazioni eseguite	*4*
Tolleranza sulle correzioni	*0.010*
Correzione massima assoluta	*0.000*
Somma pesata dei quadrati degli scarti	*0.262536E+02*
Scarto quadratico medio dell'unità di peso	*0.105*

Risultati
1004 PF su 1119 risultano consolidati con un raggio massimo dell'ellisse di errore entro 100 mm; 99 PF entro 200 mm, 9 PF entro 300 mm e i rimanenti 7 entro 423 mm. Se si assume il valore di 200 mm quale indicatore di precisione di riferimento (pari a metà dell'errore di graficismo ammesso in ambito cartografico alla scala 1:2000 o, indicativamente, l'errore di posizionamento planimetrico in cartografia fotogrammetrica con voli a bassa quota e buona attrezzatura) si osserva che il 98.6% dei PF è in tolleranza (il 99% dei PF entro il Comune).
La fig. 10 riporta il grafo della rete.

Conclusioni
L'idea di assestare progressivamente le coordinate dei PF tramite successive e numerose misurazioni è corretta da un punto di vista teorico, ma la sua realizzazione non ha funzionato pienamente: probabilmente hanno concorso sia cause oggettive, pratiche (difficoltà operative, tolleranze troppo ampie, metodi di rilievo imposti, strumentazione talvolta inadeguata etc.), che cause "umane" (misure inventate, sciatteria, incapacità, scarsi controlli etc.).
Nell'ambito dello studio si è visto che, tra i punti di coordinate doppie, vi sono PF isolati, sempre ai margini del territorio di studio, con coordinate errate probabilmente frutto di basi con errori grossolani non riconoscibili: per poterli individuare occorrerebbe, probabilmente, estendere l'area di studio; si è anche visto che c'è una zona "disturbata" a sud: per migliorare sensibilmente l'affidabilità

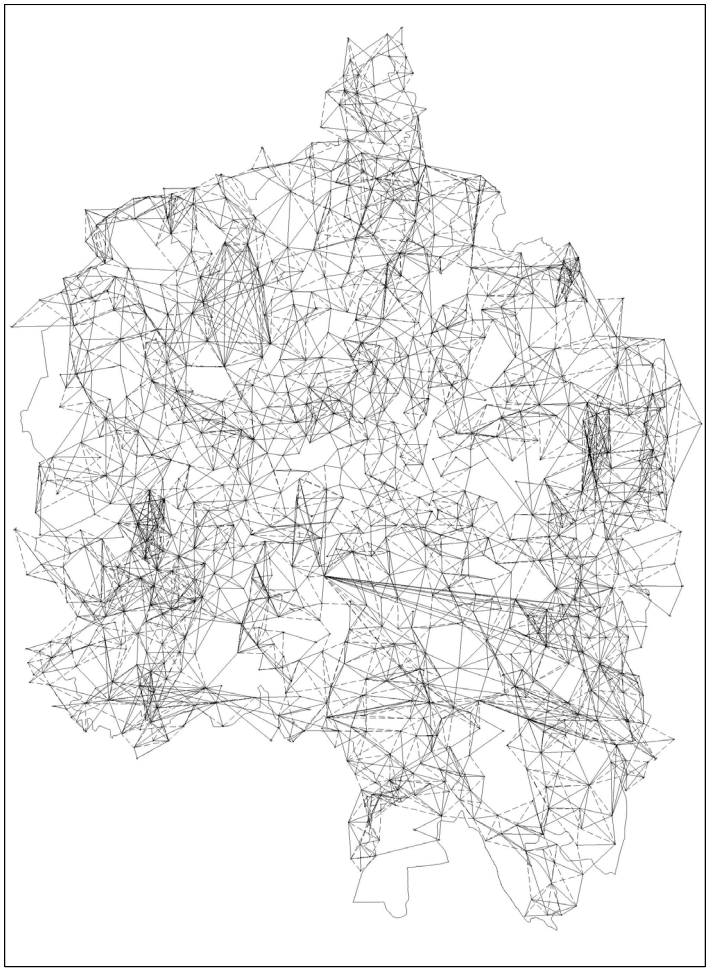


Figura 10. Rete delle Basi Misurate dopo la compensazione: le basi "allungate" sono tratteggiate.

dei risultati occorrerebbe raffittire i punti di coordinate doppie in quell'area e usarli tutti come vincoli. Lo studio è stato piuttosto laborioso: ha seguito un'idea complessiva, ma ha dovuto spesso tornare sui propri passi, aprire sessioni non programmate, approfondire e verificare con rilievi di campagna. Tuttavia si ritiene di aver dimostrato la possibilità di giungere alla definizione delle coordinate dei PF con precisione sufficiente a tutte le applicazioni ordinarie; per operazioni che richiedono precisioni maggiori, la RGC, completa anche della coordinata quota, resta il *frame* di riferimento.
Questo metodo è riproponibile su un'area più vasta: la frammentazione della rete dei PF comporterebbe trattamenti locali e si risolverebbe compensando ciascuna sottorete all'interno di una rete di ordine superiore che imponga la congruenza sull'intero ambito. In questi termini è in atto un'iniziativa a livello provinciale in cui la rete fondamentale è già realizzata e si sta lavorando alla rete dei VO, ricreando quindi lo stesso ambiente operativo che ha consentito il consolidamento dei PF nel territorio del comune di Vicenza.
Sul *frame* completato nel comune di Vicenza (circa 16 vertici/km^2), che ora materializza il sistema di riferimento cartografico nazionale, è allo studio, e sta dando risultati interessanti, la "ricostruzione" della carta catastale, congruente con la Carta Tecnica.

Estrazione di informazioni agronomiche tramite l'analisi dell'andamento temporale di indici vegetazionali per la mappatura automatica di aree agricole

Alberto Crema (*), Giacinto Manfron (*,**), Mirco Boschetti (*), Roberto Confalonieri (**)

(*) Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA) Via Bassini 15, 20133 Milano, crema.a@irea.cnr.it, manfron.g@irea.cnr.it, boschetti.m@irea.cnr.it
(**) Università degli Studi di Milano (UNIMI), Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Produzione, Territorio, Agroenergia (DISAA), Via Celoria 2, 20133 Milano, roberto.confalonieri@unimi.it

Riassunto
La produzione di informazioni agronomiche circa lo stato dei sistemi colturali è oggetto di indagine scientifica da parte di diverse discipline. In particolare il contributo offerto dal telerilevamento riguarda la possibilità di supportare il monitoraggio continuo dell'agroecosistema, fornendo su larga scala informazioni spazialmente distribuite inerenti la localizzazione delle colture, la dinamica stagionale ed il loro stato fitosanitario. L'approccio alla caratterizzazione delle aree agricole, volta all'identificazione delle differenti colture, richiede molto spesso informazioni esterne non sempre disponibili e presenti solamente in forma di statistiche aggregate per unità amministrative. Il telerilevamento satellitare, ed in particolare l'analisi multi-temporale, può rappresentare un utile strumento per l'estrazione di informazioni agronomiche di dettaglio ed aggiornate per sistemi con forte variabilità. In questo lavoro si è voluto approfondire la possibilità di mappare ed estrarre informazioni fenologiche di colture risicole in maniera automatica, proponendo un algoritmo in grado di ricavare questo tipo di informazioni valutando l'andamento temporale di indici spettrali ricavati da immagini satellitari MODIS. Sono state acquisite immagini del sensore relative ai principali distretti risicoli nel Nord Italia per gli anni 2005, 2006, 2007. I risultati hanno dimostrato come la dinamica di indici spettrali quali *l'Enhanced Vegetation Index* (EVI) e il *Land Surface Water Index* (LSWI), possano essere utilizzati per distinguere superfici interessate da risicoltura da aree caratterizzate da vegetazione spontanea o altre colture agricole. Un accurato lavoro di analisi della dinamica del segnale è stato inoltre in grado di identificare specifiche informazioni fenologiche della coltura. Il presente contributo fornisce un confronto tra i risultati di mappatura ottenuti con la metodologia proposta con una metodologie precedentemente applicata ed una già nota in letteratura, discute inoltre le potenzialità e i limiti dell'approccio proposto.

Abstract
The production of agricultural information about the status of cropping systems is being investigated by several scientific fields of research. In particular, the contribution of remote sensing can provide continuous monitoring of the agro-ecosystem, allowing the use of large-scale spatially distributed information regarding the location of crops, the seasonal dynamics and their state of health. The approach to the automatic mapping of agricultural areas, aimed at identifying the different crops, often needs external information not always available and when present often in the form of statistical averages. Satellite remote sensing, thanks to the multi-temporal monitoring, can be a useful tool for extracting update agricultural information. In this study we wanted to investigate the possibility of automatically extracting information of rice crop extension and phenology defining an algorithm that uses time series of satellite images. MODIS sensor data of the rice-growing areas of northern Italy were analyzed to derive time series of spectral indices EVI and

LSWI. The study highlighted how information on crop extension and phenology can be extrapolated from a dynamic analysis of spectral indices time series. We noticed how the dynamics of some indices, allow to differentiate rice crop from other natural and agronomical features. Secondly a careful analysis of the signal, is also able to specifically identify phenological crop information of the crop during the on-going season. This paper shows also an application of the methods proposed in the literature called analysis on the "Pareto Boundary".

Introduzione

Il presente lavoro si concentra sulla elaborazione e sulla valutazione di un algoritmo per la mappatura di aree risicole e la restituzione di mappe fenologiche della coltura, tramite dati ottici a media risoluzione rilevati da sensore *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo del satellite Terra. L'importanza delle coltura risicola si testimonia infatti anche dall'elevato numero di metodi che sono stati proposti per la mappatura e il monitoraggio di questa risorsa sia a scala locale che globale. La conoscenza sin qui acquisita, ha permesso di focalizzare l'attenzione su un nuovo approccio alla base della metodologia qui proposta. Per la definizione del metodo si sono precedentemente valutate le performance di approcci per la mappatura automatica di colture risicole proposti in letteratura (Xiao et al., 2005; Peng et al. 2011) testandoli nelle diverse condizioni sperimentali delle risicoltura del nord Italia. In particolare, il riscontro di una limitata capacità di adattamento del metodo di Xiao et al 2005 (Crema et al, 2011) nel passaggio tra l'applicazione dell'algoritmo da zone tropicali a zone temperate caratterizzata dall'alta presenza di errori di commissione, ha fornito l'opportunità di definire un approccio alternativo. L'approccio qui proposto è stato pensato per analizzare l'andamento di indici spettrali basandosi sullo studio della dinamica di questi dati durante una stagione agronomica. Tale approccio, si è rivelato in grado di prestarsi bene per derivare informazioni di tipo fenologico, fornendo oltre che un metodo di riconoscimento delle colture anche uno strumento di monitoraggio (Eklund et al., 2004; Boschetti et al, 2009). Obiettivo di questo studio è proporre un approccio di mappatura alternativo e confrontare le sue performance rispetto a metodi precedentemente proposti comparandone i risultati con una cartografia tematica di riferimento.

Area di studio

In ambito mediterraneo l'Italia risulta essere il principale produttore di riso con la maggiore superficie investita alla coltivazione di questo cereale. Il riso in Italia è coltivato principalmente in un distretto agricolo compreso tra il Piemonte e la Lombardia (Bocchi et al., 2003). Come per gli altri cereali primaverile-estivi è presente un unico ciclo produttivo all'anno, che avviene durante un periodo che va dalla semina che si effettua in Aprile alla raccolta che generalmente si effettua a partire da Settembre ma che varia a seconda delle varietà. L'area di studio (Figura 1) abbraccia i principali distretti risicoli del Nord Italia e particolarmente intende focalizzarsi tra le province di Milano, Pavia, Vercelli e Novara dove sono investiti circa 250.000 ha e dove viene prodotto il 90% del riso coltivato in Italia, risultando il più grande distretto risicolo in Europa.

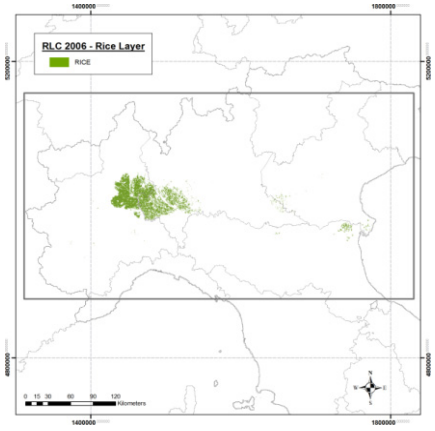


Figura 1. L'areale di studio si focalizza sui principali distretti risicoli del Nord Italia. In verde è evidenziata l'estensione risicola secondo il layer cartografico regionale, in grigio i confini regionali italiani.

Materiali

Dati MODIS

Nel presente lavoro sono state impiegate immagini satellitari di riflettanza rilevate dal sensore *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) presente a bordo del satellite Terra (EOS). Il sensore MODIS misura in 36 bande spettrali, le prime 7 sono state designate in particolare per lo studio della vegetazione e della superficie terrestre. Le prime due bande (rosso a 620-670 nm e NIR a 841-876 nm) sono acquisite a 250 m, mentre le successive 5, blu (459-479 nm), verde (545-565 nm), NIR (1230-1250 nm) e SWIR (1628-1652 nm, 2105-2155 nm) sono acquisite a 500 m. Tutte le altre bande hanno una risoluzione di 1000 m (Lillesand et al, 2000).Questi dati sono liberamente scaricabili dal portale *United State Geological Survey* (USGS), (*http://www.usgs.gov/*). Il prodotto MODIS considerato in questo studio prende il nome di MOD09A1 ed è il risultato di un composite temporale volto a selezionare la migliore osservazione di riflettenza registrata sulla data superficie in un arco temporale di 8 giorni.

Cartografia di riferimento

Per la valutazione dell'accuratezza delle mappe tematiche risultanti dall'algoritmo proposto è stato utilizzata una cartografia di copertura del suolo unendo 4 prodotti cartografici regionali, reperiti dai portali cartografici di riferimento delle regioni Piemonte, Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna. Questo prodotto, ad una maggiore risoluzione spaziale rispetto a quella dei dati MODIS, ha una scala di 1:10.000 e un dettaglio tematico articolato in 16 differenti classi tra cui quella riferita alle coltivazioni di riso.

Metodi

Indici spettrali

Per analizzare il comportamento temporale della vegetazione al suolo, è stato scelto di utilizzare l'indice *Enhanced Vegetation Index* (EVI) secondo l'equazione [1]. Tale indice, proposto da Huete et al. (2002), si caratterizza per essere fortemente correlato ad importanti parametri della vegetazione come ad esempio il *Leaf Area Index* (LAI). Altre due importanti caratteristiche di questo indice sono la capacità di subire meno gli effetti della distorsione atmosferica sulla radiazione riflessa e quella di riuscire ad attenuare la tendenza alla saturazione dei suoi valori all'infittirsi della copertura vegetativa, difetto caratteristico di altri indici spettrali come il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI, Tucker C.J, 1974).

$$EVI = 2.5 \times \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + 6 \times \rho_{red} - 7.5 \times \rho_{blu} + 1} \qquad [1]$$

L'indice utilizzato per caratterizzare la presenza di acqua (umidità/contenuto idrico) al suolo è il *Land Surface Water Index* (LSWI) [2], indice applicato da Xiao et al. (2004) ai dati forniti dai sensori MODIS. Questo indice utilizza le bande dell'infrarosso vicino e dell'infrarosso medio per essere sensibile nei confronti del contenuto d'acqua al suolo e dell'umidità.

$$LSWI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{swir}}{\rho_{nir} + \rho_{swir}} \qquad [2]$$

Processamento dati

In figura 2 è proposto un diagramma di flusso per sintetizzare la metodologia studiata durante la mappatura automatica delle aree risicole e delle caratteristiche fenologiche ad esse associate. L'algoritmo è stato implementato in ambiente di sviluppo *Interactive Data Language* (IDL) ed è in grado di gestire automaticamente l'intero flusso dati satellitari, sino all'ottenimento degli output. E' possibile descrivere l'intero processamento suddividendolo nelle sue quattro fasi principali: i) la fase di acquisizione dei dati, ii) l'elaborazione di dati per rilevare il grado di nuvolosità e per l'ottenimento di indici spettrali, iii) la fase di analisi temporale degli indici e, infine, iv) la fase di calcolo degli *output* inerente i criteri di ottenimento delle mappe di localizzazione e fenologia.

La fase di **acquisizione dati** ha previsto il reperimento di un totale di 46 immagini MODIS MOD09A1 per ogni anno di indagine (2005, 2006 e 2007) per un totale 138 immagini. Da queste, si sono successivamente estratte le informazioni relative alla contaminazione atmosferica e alla presenza delle nuvole. In dettaglio, sono stati estratti dati di riflettenza nella terza banda (blu, 459–479 nm) e i meta-dati presenti nello strato informativo HDF n° 12 relativo ai *Quality flags* (*500m state flags; internal cloud algorithm flag - MOD35 cloud*). L'integrazione di questi dati ha permesso di generare una maschera indicante il grado di contaminazione nuvolosa, utile nella successiva fase di *smoothing* del segnale EVI.

La fase di computo degli **indici spettrali** ha previsto l'elaborazione di 2 indici. L'indice EVI (strettamente correlato alla presenza di copertura vegetale al suolo), è stato sfruttato durante tutta la fase di analisi dei segnali, a partire dal suo iniziale filtraggio (*smoothing)* sino al definitivo ottenimento dei risultati di mappatura e fenologia del riso. L'indice EVI è stato inoltre utilizzato assieme all'indice LSWI (strettamente correlato alla presenza dell'acqua al suolo) per la rivelazione dello stato di "potenziale sommersione agronomica" delle superfici osservate, seguendo il criterio [3] adottato da Xiao et al. (2005):

$$LSWI+0.05 \geq EVI \qquad [3]$$

Un'operazione di **filtraggio dati** precede l'analisi temporale degli indici. Questa elaborazione è stata applicata sull'indice EVI e si è resa necessaria per rimuovere il "rumore" che caratterizza le serie temporale e diminuire la possibilità di incorrere in errori di omissione / commissione durante la fase di analisi. Il filtraggio applicato prevede inizialmente un *gap-filling* sui dati della serie temporale e successivamente l'applicazione del filtro *Savitzky – Golay* (Chen et al. 2004). Questo filtro implementa una regressione polinomiale locale ed ha il vantaggio di agire sulle serie di dati preservando i punti di massimo e minimo relativo della funzione. Il filtro prende in considerazione la qualità del dato di origine, modulando la sua azione a seconda del grado di contaminazione nuvolosa rilevata durante in fase di acquisizione dei dati. Lo *smoothing* locale del segnale è stato effettuato pesando ogni singola osservazione della finestra di analisi (*temporal window*) in funzione della contaminazione nuvolosa presente.

Nella fase di **analisi temporale del dato**, si è operato calcolando la derivata prima dell'indice EVI (EVI') ed individuando successivamente i punti di massimo e minimo relativo della serie secondo la relazione [4] e [5].

$$MINrel_{(t)} = EVI'_{(t-1)} < 0 \;\square\; EVI'_{(t+1)} > 0 \qquad [4]$$

$$MAXrel_{(t)} = EVI'_{(t-1)} > 0 \;\square\; EVI'_{(t+1)} < 0 \qquad [5]$$

Una serie di criteri sono poi stati implementati per individuare tra tutti i massimi e minimi relativi quelli aventi un **significato agronomico** relativo all'andamento colturale risicolo, questi punti sono stati definiti come MAX e MIN.
Sulla serie temporale di ciascun pixel, un punto di minimo relativo è individuato e considerato indicativo di una sommersione risicola (MIN) soltanto se occorre in corrispondenza della condizione [1]. Sulla serie temporale di ciascun pixel un punto di massimo relativo è stato individuato ed associato alla presenza di una coltura risicola (MAX) se occorre la concomitanza dei seguenti criteri: i) il punto di massimo relativo si presenta a seguito di un periodo di rapida crescita vegetativa, criterio implementato come una sequenza di almeno 3 punti con derivata prima positiva sui 5 punti che precedono il MAXrel analizzato; ii) al punto di MAXrel analizzato segue una diminuzione dell'andamento vegetativo identificato in almeno 3 punti con derivata prima negativa sui successivi 5; iii) il periodo di tempo che intercorre tra la sommersione e la fase di massima crescita vegetativa della coltura ha una logica coerente con la durata agronomica del ciclo vegetativo della coltura risicola, questo criterio è stato implementato considerando una finestra temporale compresa tra 56 e 120 giorni (7÷15 MODIS composite) tra l'individuazione di una sommersione, punto di MIN, ed il punto MAXrel considerato; iv) in successione al considerato MAXrel si accerta la presenza di una senescenza agronomica, descritta individuando lungo la serie temporale EVI il valore che presenta un decremento di almeno 1/3 del EVI, al punto MAXrel considerato, nei successivi 40 giorni (5 MODIS composite).
Infine, in accordo con quanto proposto in precedenti studi da Jönsson et al. (2002) e da Boschetti et al. (2009), i segnali filtrati dell'indice EVI sono stati analizzati per derivarne i punti di inizio della stagione vegetativa risicola (Start of Season – SoS) e di fine (End of Season - EoS). Questi due punti, cosi come i punti MIN e MAX, sono in grado di restituire importanti interpretazioni sulla fenologia del riso nella stagione agronomica passata e sono stati rispettivamente calcolati nell'algoritmo come il momento in cui si localizza un incremento del 10% del valore di EVI dal punto di MIN (SoS) ed un decremento del 50% del valore di EVI dal punto di MAX (EoS).
Gli output dell'algoritmo hanno riguardato 5 differenti mappe: una mappa binaria, relativa alla presenza/assenza di colture nell'area di studio e quattro mappe indicanti l'occorrenza dei momenti fenologici rilevati (MIN, MAX, SoS, EoS).

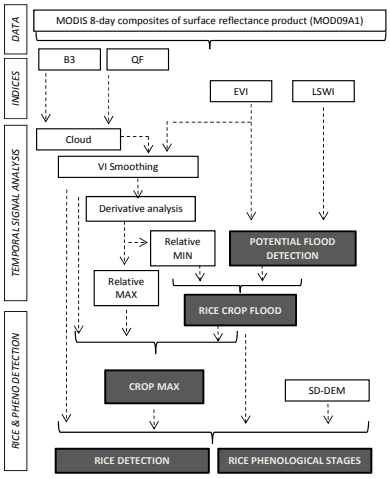


Figura 2. Rappresentazione schematica della metodologia proposta.

Valutazione della classificazione

Le mappe tematiche ottenute a seguito dell'applicazione dell'algoritmo descritto sono state valutate con dati cartografici regionali a migliore risoluzione spaziale. La valutazione è stata condotta mediante il calcolo delle matrici d'errore (matrici di confusione), metodologia spesso utilizzata nella valutazione delle mappe ottenute da dato telerilevato (Brivio et al., 2006), in quanto consente di confrontare pixel a pixel la mappa ottenuta con quella di riferimento, ricavando l'accuratezza globale della mappa, l'accuratezza di classificazione della specifica classe e l'ammontare degli errori di commissione/omissione.

I risultati ottenuti, sono stati inoltre valutati utilizzando la metodologia di analisi suggerita da Boschetti et al. (2004). Questo metodo mette nelle condizioni di poter comparare le performance di classificazione dell'algoritmo qui proposto, con quelle di classificatori utilizzati precedentemente sulla medesima area di studio (Crema et al., 2011; Manfron et al., 2012). La determinazione del confine di Pareto (*Pareto boundary*) permette di individuare inoltre la soglia di errore imputabile unicamente dalla condizione sperimentale funzione della dimensione e grado di eterogeneità della classe di interesse e non dalle caratteristiche dei classificatori (*bias error*).

Risultati

In figura 3a è mostrato il risultato della mappatura automatica di aree risicole rilevate nell'areale di studio dall'algoritmo proposto. La valutazione della mappa ha mostrato accuratezza globale (OA) del 98% ed una accuratezza dell'utente (UA) pari all'87%. Questi sono risultati molto soddisfacenti e trovano conferma ulteriore nel dato inerente gli errori di commissione (CE) pari al solo il 13%. Questi dati indicano bassa percentuale di errore da parte delle predizioni dell'algoritmo nei confronti della classe riso. Ciononostante, l'analisi ha anche evidenziato che l'approccio dimostra essere ancora molto conservativo. Ha infatti prodotto un significativo errore di omissione (OE), pari al 68%. L'analisi condotta con la metodologia della "frontiera di Pareto" (Figura 3b) ha permesso di capire che la distribuzione della classe riso è molto frammentata sull'areale di studio e pertanto genera alla scala di rappresentazione MODIS (risoluzione spaziale 500m) un potenziale alto errore di omissione (*low resolution bias*). Questo errore non è imputabile alla bontà del classificatore ma dipende unicamente dalle caratteristiche dell'area di studio. Il confronto tra le metodologie di classificazione precedentemente applicate e quella proposta in questo lavoro indica che un approccio di mappatura basato sullo studio della dinamica degli indici spettrali nel tempo è comparabile in termini di performance di classificazione al altri metodi, localmente adattati, basati essenzialmente sul confronto diretto tra indici.



Figura 3. a) Mappatura dell'estensione risicola sull'areale di studio utilizzando il metodo proposto. In verde le aree risicole stimate, in grigio quelle indicate dalla cartografia di riferimento. b) Analisi di confronto tra metodologie di mappatura precedentemente applicate e quella qui proposta.

In figura 4 sono invece riportati i risultati riferiti alla mappatura delle caratteristiche fenologiche delle superfici risicole per gli anni 2005,2006 e 2007. Questi risultati seppur affetti da alte omissioni e pertanto ancora conservativi nella mappatura, risultano essere in pieno accordo con i calendari agronomici dell'area di studio e rappresentativi delle seguenti fasi fenologiche della coltura risicola:
MIN: fase di sommersione della risaia, prossima all'emersione della coltura. Fine Aprile;
SoS: interpretabile come fase di rapido accrescimento vegetativo della coltura. Inizio Maggio;
MAX: picco di crescita vegetativa della coltura, prossima alla fioritura del riso; Metà Luglio;
EoS: fase prossima alla maturità fisiologica della coltura. Metà Settembre.

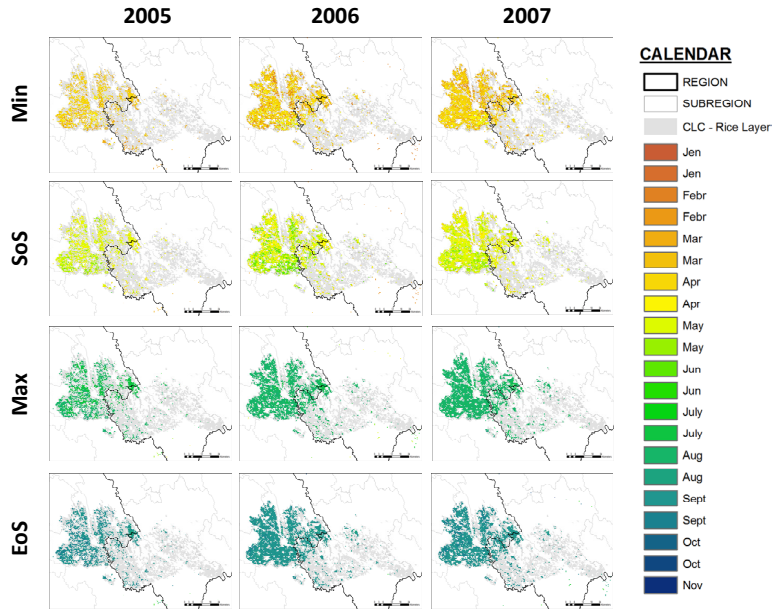


Figura 4. Mappatura delle caratteristiche fenologiche risicole, per il triennio 2005, 2006, 2007.

Conclusioni

Il presente lavoro dimostra come sia possibile effettuare una mappatura automatica di aree risicole utilizzando un approccio basato sull'interpretazione della dinamica temporale degli indici spettrali. Questo approccio, applicato in maniera totalmente automatica, ha permetto di ottenere risultati

comparabili a quelli ottenuti con metodi specificatamente adattati alle condizioni locali (vedi Manfron et al., 2012). Tale nuovo approccio si presta ad essere indipendente da costanti, soglie e maschere di esclusione, risultando quindi più adatto ad essere esportato ed applicato in differenti contesti. Ciò nonostante questo metodo necessita di ulteriori studi e approfondimenti finalizzati a ridurre l'alta quota di omissione riconducibile anche ad una scarsa capacità predittiva della fase di sommersione. Quest'ultimo aspetto richiede perciò ulteriori indagini anche sfruttando diverse combinazioni spettrali delle bande del sensore MODIS.

Bibliografia

Bocchi S., Confalonieri R., Genovese G., Mariani L., Martin S., Orlandi S., (2003), "An integrated rice yield forecasting system in Europe", CD of proceedings of the 3rd International Temperate Rice Conference. 10-13 March, Punta del Este – Uruguay.

Boschetti L., Flasse S. P., & Brivio P. A., (2004), "Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution dichotomic thematic products: The Pareto Boundary". *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4): 280-292.

Boschetti, M., Stroppiana, D., Brivio, P. A. and Bocchi, S., (2009), "Multi-year monitoring of rice crop phenology through time series analysis of MODIS images", *International Journal of Remote Sensing*, 30: 18, 4643 – 4662.

Brivio P.A.; Lechi G.M., Zilioli E., (2006). *Principi e metodi di Telerilevamento. 1a ed,* UTET Università.

Chen, J., Johnsson, P., Tamura, M., Gu, Z., Matsusshita, B. and Eklundh, L., (2004)."A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter". Remote Sensing of Environment, 91, pp. 332–344.

Crema A., Boschetti M., Manfron G., Pepe M., Musanti M., (2011), "Individuazione automatica di aree coltivate a riso da serie temporale MODIS: primi risultati in ambiente mediterraneo", 15° Conf. Naz. ASITA, Colorno 15-18 Novembre, pp.779-789.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G., (2002), "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices", *Remote Sensing of Environment*, 83: 195–213.

Jönsson and Lars Eklundh, (2002), "Seasonality Extraction by Function Fitting to Time-Series of Satellite Sensor Data", *Geoscience and remote sensing,* 40: 1824-1832.

Lillesand T. M., Kiefer R. W, (2000), *Remote Sensing and Image Interpretation*, Chapter 7 – Wiley & Sons.

Manfron G., Crema A., Boschetti M., Confalonieri, R. (2012), "Authomatic procedures definition and validation to extract mapping and phenologicalrice fields informations through time series analysis of remote sensed MODIS data", *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology* XIV, Proc. of SPIE 2012 paper number 8531-56, in press.

Peng D., Heute A.R., Huang J., Wang F., Sun H., (2011), "Detection and estimation of mixed paddy rice cropping patterns with MODIS data", *International journal of applied earth observation and geo-information*, 13: 13-23.

Tucker, C.J., (1974),"Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation", *Remote Sensing of Environment,* 8: 127-150

Xiao, X., He, L., Salas, W., Li, C., Moore, B., Zhao, R., et al., (2002), "Quantitative relationships between field-measured leaf area index and vegetation index derived from VEGETATION images for paddy rice fields", *International Journal of Remote Sensing*, 23: 3595– 3604.

Xiao X., Boles S., Liu J., Zhuang D., Frolking S., Li C., Salas W., Berrien M., (2005), "Mapping paddy rice agriculture in southern china using multi-temporal MODIS images", *Rem. Sen. Env.*, 95: 480-492.

La sperimentazione di una rete GNSS transfrontaliera per il posizionamento NRTK

Alberto Croci (*), Paolo Dabove (*), Ambrogio M. Manzino (*), Cinzia Taglioretti (*), Ludovico Biagi (**), Maria Grazia Visconti (**)

(*) Politecnico di Torino, C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
(alberto.croci, paolo.dabove, ambrogio.manzino, cinzia.taglioretti) @polito.it
(**) Politecnico di Milano, Sede di Como
ludovico.biagi@polimi.it, grazia.visconti@mail.polimi.it

Il presente lavoro si inquadra all'interno del progetto INTERREG Italia-Svizzera denominato HELIDEM (Helvetia-Italy DEM), e costituisce la sintesi delle ricerche svolte nel Work Package 4 (ID 3476) -"Reti GPS transfrontalieri" dal Politecnico di Torino.
L'attività del WP4 aveva come obiettivo la creazione di una rete di stazioni permanenti GNSS per il posizionamento in tempo reale, considerando le stazioni permanenti esistenti (sia italiane che svizzere) presenti nella fascia transfrontaliera facente parte del Progetto. Inoltre si chiedeva di progettare ed eseguire campagne GNSS e di sperimentare l'integrazione dei servizi di posizionamento in tempo reale per applicazioni di tipo professionale e per navigazione terrestre.

Una delle peculiarità di tale lavoro è data dalla sperimentazione di un servizio di posizionamento GNSS per il tempo reale formato da stazioni permanenti presentanti una forte variabilità delle quote ortometriche passando da circa 300 m s.l.m. ad oltre 4000 m s.l.m.
Una variabilità di questo tipo ha ripercussioni "interessanti" sulla modellazione degli errori atmosferici (soprattutto sui ritardi troposferici) sia lato rete (modellazione) che lato rover (applicazione delle correzioni).
Sono perciò stati effettuati alcuni test di posizionamento NRTK (*Network Real Time Kinematic)* a differenti quote (dai 300 m s.l.m ai 3260 m s.l.m) per validare tale servizio, utilizzando i principali prodotti disponibili (MAC – *Master Auxiliary Concept*, VRS – *Virtual Reference Station*, NRT – *Nearest*) ed effettuando un posizionamento cinematico di circa 40' su un punto libero da ostacoli e con ottima visibilità satellitare. I valori ottenuti da tale rilievo sono stati confrontati con una soluzione multibase compensata in post-processamento tramite software commerciale, assunta come riferimento.
I risultati di tale lavoro hanno messo in evidenza la possibilità di utilizzo di un servizio come quello descritto in precedenza, anche se restano da valutare alcune problematiche inerenti la modellazione dei *bias* atmosferici da parte del software di calcolo della rete e la loro gestione da parte del ricevitore.
La descrizione dettagliata dell'esperimento e dei risultati sarà oggetto di una pubblicazione futura.

FreeGIS.net – Dati e strumenti geografici liberi

Francesco D'Alesio (*), Sergio Farruggia (**)

(*) R3 GIS srl, Via J. Kravogl 2, 39012 Merano (BZ), E-mail: francesco.dalesio@r3-gis.com
(**) Consulente, Genova, E-mail: sergio.farruggia@fastwebnet.it

Introduzione

Il progetto FreeGIS.net ha l'obiettivo di affrontare la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni geografiche attraverso l'utilizzo di formati di dati aperti e strumenti *software* liberi. FreeGIS.net è un progetto Interreg Italia-Svizzera finanziato grazie al Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Svizzera 2007-2013 del FESR (Fondo Europeo di Sviluppo Regionale) dell'Unione Europea ed è un approfondimento puntuale del progetto Interreg Italia-Svizzera CoCOS, consolidato attraverso il Free Software Center South Tyrol® collocato nell'area delle Tecnologie Digitali del TIS innovation park di Bolzano.

FreeGIS si basa sugli standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC) e applica la direttiva INSPIRE, ponendo particolare attenzione a come viene gestito il multilinguismo, caratteristica di particolare importanza nelle regioni frontaliere dell'Alto Adige e del Canton Grigioni, principali partner del progetto.

In sintesi, gli obiettivi principali del progetto sono i seguenti:

- analizzare i protocolli di interscambio dati riguardo il multilinguismo e collaborare nell'ambito di gruppi di lavoro internazionali sugli standard geografici;
- creare un prototipo (*Reference Implementation*) basato su protocolli e formati aperti e compatibili con INSPIRE, utilizzando esclusivamente software libero;
- definire una licenza per dati geografici liberi;

La relazione tratterà lo stato di avanzamento delle attività, evidenziando i risultati sinora raggiunti, ed il calendario di realizzazione.

Stato del progetto

Il progetto è iniziato ufficialmente nell'ottobre 2010, anche se le pratiche amministrative hanno consentito un inizio delle attività solo nella primavera del 2011.

Durante le prime fasi del progetto sono state definite le necessità e sono stati analizzati standard e specifiche riguardo al multilinguismo e la pubblicazione di servizi INSPIRE attraverso l'utilizzo di software webGIS open source interoperabili tra loro tramite formati di interscambio standard.

Un aspetto importante dell'analisi ha riguardato il multilinguismo, in particolare il confronto tra gli standard OGC e le specifiche introdotte dalla direttiva INSPIRE.

L'analisi ha evidenziato una sostanziale discrepanza nel modo in cui vengono gestititi i temi del multilinguismo. Questa discrepanza è stata portata all'attenzione dell'OGC, ma non è stata intrapresa nessuna azione formale di richiesta di modifica degli standard in quanto, come dichiarato nelle specifiche INSPIRE, queste subiranno delle modifiche per adattarsi agli standard OGC non appena questi saranno sufficientemente maturi da coprire le esigenze della direttiva.

Il progetto FreeGIS.net prevede anche lo sviluppo di una soluzione, completamente basata su software liberi, che permetta ad un'amministrazione di pubblicare i propri dati soddisfacendo le esigenze di INSPIRE.

Per la Reference Implementation è stata fatta un'analisi della struttura delle caratteristiche specificate dal progetto, in modo da produrre uno schema dell'architettura che potesse guidare la scelta dei vari componenti software.

La scelta dei software da includere nella Reference Implementation è stata fatta considerando lo stato attuale della conformità rispetto agli standard OGC e alle specifiche INSPIRE, l'attività della comunità e la sua sensibilità riguardo a questi argomenti, la dimensione della comunità stessa e la possibilità di integrazione con gli altri componenti.
Una volta definito in dettaglio lo stack di software da utilizzare, si è passati alla fase di sviluppo delle parti mancanti e delle funzionalità di integrazione tra i vari componenti.
Per quanto riguarda la licenza da utilizzare per i dati geografici, un gruppo di lavoro di esperti degli aspetti legali collegati ai *software* liberi, ha studiato i vari tipi di licenze già disponibili, per individuare quale meglio si addice ai dati geografici.
Il risultato di questo studio è stato reso disponibile e discusso con la comunità.

Reference Implementation
Il progetto FreeGIS.net prevede lo sviluppo di una *Reference Implementation* che permetta la gestione, trasformazione, modifica e pubblicazione di dati geografici con *software open source*.
Di seguito lo schema della Reference Implementation, con i vari componenti software utilizzati e le relative relazioni tra di loro.

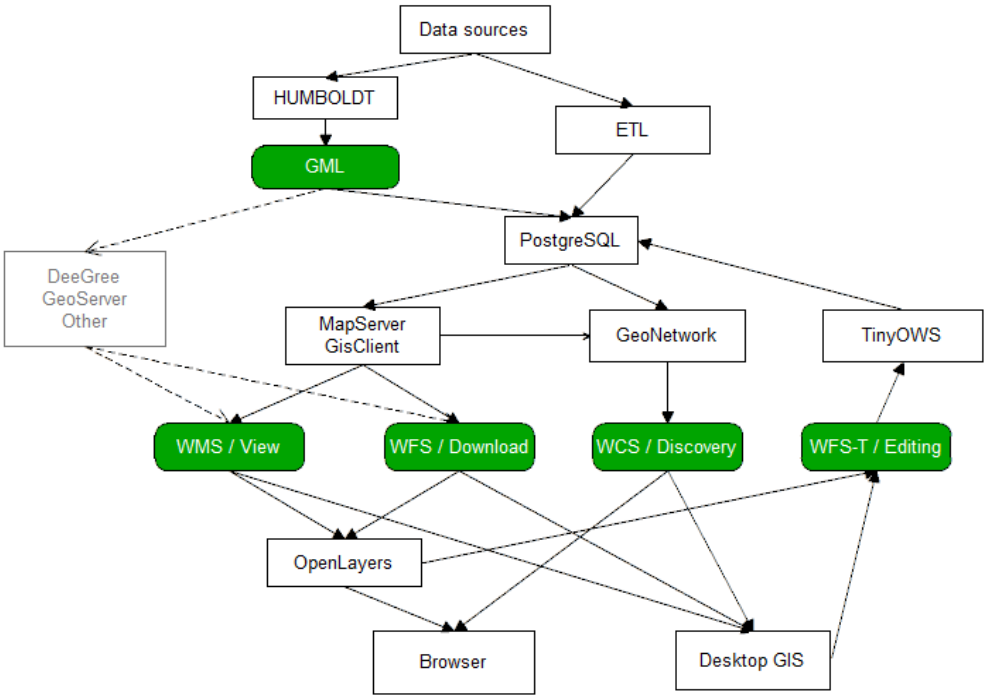


Figura 1. Architettura proposta per la Reference implementation del progetto FreeGIS.net.

Il primo prototipo della Reference Implementation è stato pubblicato e messo a disposizione sul sito del progetto www.freegis.net
Si tratta di una macchina virtuale, eseguibile sia sul proprio pc, sia su un server dedicato, che contiene al suo interno tutti i software scelti per la Reference Implementation ed alcuni dati significativi.
Eseguendo la macchina virtuale, sarà possibile usufruire immediatamente dei servizi messi a disposizione, caricare i propri dati e configurare nuovi servizi.

Contributo al progetto MapServer
Al momento della scelta del software, nessuno dei componenti disponibili presentava una conformità perfetta alle specifiche della direttiva INSPIRE.
Tra i software selezionati, MapServer, presentava un supporto limitato alle specifiche INSPIRE per i View Services multilingua.
Nell'ambito del progetto è quindi stata incaricata la ditta EOX Gmbh di provvedere a sviluppare il supporto pieno ai View Services multilingua e a proporre l'integrazione delle modifiche all'interno del progetto MapServer.
Le modifiche sono state portate a termine con successo e il comitato di controllo del progetto MapServer ha accettato le modifiche e le ha integrate nella versione 6.2 del software.

Trasformazione dei dati verso le specifiche INSPIRE
Come strumento di supporto per la trasformazione dei dati verso il modello stabilito dalla direttiva INSPIRE, è stato sperimentato il framework HUMBOLDT.
Si tratta di un set di strumenti e best practices focalizzati sull'armonizzazione dei dati spaziali con l'obiettivo di creare un'infrastruttura di dati spaziali europea.
Uno di questi strumenti, l'HUMBOLDT Alignment Editor, consente di creare, tramite un'interfaccia grafica, una corrispondenza tra una struttura dati e quella prevista per il relativo tema INSPIRE. Permette inoltre di eseguire la trasformazione e di salvarne le regole in modo da poterla rieseguire quando i dati vengono aggiornati.
Nell'ambito del progetto, è stata realizzata una trasformazione di dati del tema "Transport Network" dalle specifiche attualmente in uso dalla Provincia di Bolzano verso la specifiche INSPIRE.
Il lavoro ha consentito la documentazione della procedura da seguire per ottenere trasformazioni simili e il raffinamento dello strumento per integrarsi con il resto della Reference Implementation.

Prossimi passi
Nel prossimo comitato di controllo verranno raccolte le segnalazioni dei partner di progetto e degli utenti riguardo la Reference Implementation e verranno stabiliti con precisione i dati che verranno inclusi nella distribuzione.
Successivamente, lo sviluppo della Reference Implementation volgerà al termine con il rilascio della versione definitiva, prevista per metà 2013.

Riferimenti bibliografici
Implementing Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council as regards interoperability of spatial data sets and services
http://inspire.jrc.ec.europa.eu/
INSPIRE Technical Guidance View Services v3
INSPIRE Technical Guidance for Discovery services v3
ISO 19115:2005(E): Geographic information – We map server interface
ISO 19115:2003(E): Geographic information – Metadata
Sudra Pawel, (2010) *INSPIRE-compliant web services*
http://inspire.kademo.nl/doc/
http://www.mapserver.org/
http://www.geoserver.org/
http://www.deegree.org/
http://karlinapp.ethz.ch/qgis_wms/
http://tinyows.org/trac/
http://www.petascope.org/
http://pywps.wald.intevation.org/
http://geonetwork-opensource.org/
http://www.gisclient.org/

Il rischio Sinkhole: gli sprofondamenti di natura antropica nel centro storico di Velletri (RM)

Valentino D'Aniello

AGAT, Associazione Geografica per l'Ambiente e il Territorio, Via Guattari 60, 00144 Roma,
Tel: 00393391166924, e-mail: info@agatweb.it, valentino.daniello@libero.it

Introduzione

Velletri (RM), abitata da millenni, così prossima a Roma, all'odierna pianura pontina e al Lazio meridionale è stata da sempre crocevia di popoli e di eserciti.

Il centro storico veliterno ha subito negli ultimi sessanta anni un diffuso spopolamento, dalla seconda metà del Secolo scorso si è registrato un progressivo abbandono delle abitazioni e ciò ha avuto una significativa influenza sulla perdita dell'utilizzo di grotte, cunicoli e gallerie in passato impiegate sia per la conservazione del vino che come vie di comunicazione sotterranee ed ora pressoché sconosciute ai più.

In questo scenario si inserisce l'analisi mirata a focalizzare l'attenzione sugli sprofondamenti antropici che negli ultimi anni colpiscono ripetutamente Velletri.

Una prima fase di ricerca è stata eseguita utilizzando molteplici fonti di informazione, tra le quali archivi storici, emeroteche, testi antichi e moderne immagini rilevate da satelliti ambientali.

Nella seconda fase del lavoro si è proceduto alla creazione di un GIS per l'inserimento e la gestione di tutti i dati raccolti. Si è creato un database dei casi di sprofondamento avvenuti dal 1967 ad oggi. Sono state individuate le aree del centro abitato più colpite da questo fenomeno. Si è proceduto alla suddivisione dei casi di sprofondamento per tipologie. Un'ulteriore fase del lavoro è stata l'individuazione delle zone della città che, in base ai dati raccolti, si trovano a maggiore rischio di sprofondamento.

L'analisi svolta e la creazione del GIS vuole essere la base di un programma di gestione del Comune di Velletri con l'obiettivo di porre un freno al fenomeno degli sprofondamenti antropici.

Abstract

Velletri is populated from thousand years, in the proximity of Rome, of the current pontina valley and of the southern Latium, Velletri has always been crossroads of peoples, armies.

Velletri's historic centre suffered, in the last sixty years, a widespread depopulation, from the second half of the last century it has been registered a gradual abandonment of the habitation located in the most ancient part of the city. This had a significant influence upon the loss of the utilization of caves, underground passages and galleries, used in the past both for preserving wine and as an underground system of communication, today almost unknown to people.

In this scenario takes part the analysis led up to keep one's mind on anthropic sinkhole that, in the last years, affects Velletri time and time again.

The first stage of this study is based on the use of multifarious sources of information, among the others historical records, newspaper libraries, ancient texts and modern images surveyed by environmental satellites. In the second stage of the study we proceeded to the creation of a GIS, to insert and handle all the recorded data. It has been created a rich database of sinkholes occurred in the district of Velletri from 1967 to nowadays. All the events that have been identified have been georeferred, can be distinguished the zones of the built-up area most affected by the phenomenon. Afterwards, we proceeded to the subdivision by typology of the sinkholes events. A further stage if

the study has been the location of the city zones that, in conformity with the recorded data, in theory are exposed to the higher risk of subsidence.
The developed analysis and the creation of the Geographic Information System tend to be the starting point of a program of territorial management for the local government of Velletri with the purpose to clamp down the phenomenon of sinkholes.

Inquadramento dell'area di studio
Il Comune di Velletri è situato nell'entroterra laziale al limite del comprensorio conosciuto ai più come Castelli Romani di cui ne fa parte geograficamente e storicamente. La città rappresenta inoltre la cerniera di contatto tra tutti i comuni che gravitano nell'area dei Colli Albani e i territori a Sud.
Velletri e il territorio circostante corrispondono alla regione geologica cosiddetta del Vulcano Laziale. La città è situata nell'area esterna della possente cinta calderica, meglio definita come Tuscolano – Artemisio e il suo territorio viene geologicamente descritto con una presenza di coltri di piroclastiti e tufi le quali costituiscono una piattaforma continua spessa dai 150 ai 250 metri.
Il suo sottosuolo, a causa della particolare conformazione, è stato sfruttato nei secoli dalla popolazione veliterna che ha dato vita ad una rete intricata di gallerie, cunicoli e grotte.



Figura 1. Grotte che si diramano nel sottosuolo del centro storico veliterno. Archivio fotografico V. D'Aniello.

La popolazione veliterna dal 1871 ad oggi è cresciuta continuamente, fino a superare le 53 mila unità, però a partire dagli anni '60 il centro storico è stato progressivamente abbandonato e questo ha portato da un lato all'aumento esponenziale del traffico veicolare verso questa zona dove tuttora sono ubicate la maggior parte delle attività commerciali e degli uffici pubblici con il forte aumento dello stress dinamico sui sottoservizi. Dall' altro ha portato alla perdita dell'uso di grotte e gallerie, parte delle quali sono state murate dai vecchi proprietari al momento di lasciare le abitazioni.

Sprofondamenti neturali e antropici
Gli sprofondamenti catastrofici, chiamati anche sinkhole, sono voragini di forma sub-circolare, con diametro e profondità variabili da pochi metri a centinaia di metri, che si aprono rapidamente nei terreni nell'arco di poche ore, tipiche di aree di pianura, zone carsiche, aree urbane, aree il cui sottosuolo presenti altre cavità anche di origine antropica. La classificazione di questo tipo di fenomeno non è facile perché spesso è legato alla coesistenza di più variabili. Le diverse tipologie di sprofondamenti sono suddivise in alcune grandi classi in relazione ai processi genetici che li hanno originati, come l'attività umana, le acque di infiltrazione, i fluidi di risalita.
Si distinguono quindi: sprofondamenti antropici (Antropogenic sinkhole); sprofondamenti causati da fenomeni carsici; sprofondamenti causati da fenomeni di evorsione o soffusione superficiale; sprofondamenti causati da fenomeni di piping profondo. Gli sprofondamenti possono essere originati da scosse sismiche, dall'alternanza di periodi secchi e piovosi con conseguenti rilevanti oscillazioni delle falde acquifere e dalle attività antropiche (Nisio, 2008).

Nel territorio veliterno, soprattutto nel centro storico della città, si verificano in particolare fenomeni di sprofondamento di origine antropica dovuti al collasso di volte originate dall'attività umana come cave, grotte, cunicoli, condotte fognarie, rete idrica con formazione di cavità con morfologia varia che non necessariamente possono essere di forma sub-circolare.
Sotto Velletri si snoda una ricca rete di gallerie e cunicoli realizzati a vario titolo che mettono in pericolo la sicurezza della città. Nel tempo si è persa la memoria della presenza di una sorta di ***Velletri sotterranea***. L'aumento dei casi di sprofondamento negli ultimi anni in corrispondenza di queste cavità determina condizioni di rischio per la cittadinanza e notevoli problemi legati alla interruzione di infrastrutture e servizi.
La situazione è aggravata ulteriormente dalle problematiche relative sia alla rete fognaria che alla rete idrica, le cui condotte, per ampi tratti vecchie di almeno due secoli, sempre più spesso sottoposte a forti sollecitazioni causate dal traffico veicolare in continuo aumento subiscono perdite o rotture improvvise dando luogo alla formazione di voragini anche di grandi dimensioni.

Realizzazione di un GIS della Velletri sotterranea e analisi dei dati
Prima di realizzare un Sistema Informativo Geografico è stata svolta una fase di ricerca attraverso l'utilizzo di molteplici fonti di informazione, tra le quali archivi storici, emeroteche, testi antichi. Inoltre è stato svolto un meticoloso lavoro sul campo, fatto di indagini dirette e di interviste.
L'acquisizione di utili informazioni può avvenire anche utilizzando strumenti di indagine tecnologicamente avanzati. Il Georadar ad esempio è una tecnica che consente di rivelare in modo non distruttivo e non invasivo la presenza e la posizione di oggetti sepolti, manufatti, sottoservizi, cavità utilizzando il fenomeno della riflessione delle onde elettromagnetiche.
La seconda fase del lavoro è stata quella della creazione del GIS, per l'inserimento e la gestione di tutti i dati raccolti. L'uso di questa applicazione si è rilevato il modo più esaustivo possibile per esaminare e cercare di proporre delle soluzioni al fenomeno degli sprofondamenti improvvisi che sono avvenuti e tuttora avvengono nel centro storico di Velletri.
Si sono creati vari livelli informativi (layer) nei quali sono stati suddivisi tutti gli elementi oggetto di studio. Il layer ingressi cunicoli e grotte con il quale identificare tutti questi accessi. Nel layer identificato come rete cunicoli e grotte sono riportati tutti quei percorsi di grotte e cunicoli di cui si ha la certezza dell'esistenza. Nel layer rete fognaria si è inserita la rete di condotte fognarie che attraversano la città di Velletri. Il layer identificato come rete idrica è costituito da tutti gli acquedotti che portano l'acqua comunale negli edifici della città.
Uno dei layer basilari per l'analisi compiuta è quello relativo agli sprofondamenti. Tutte le notizie riguardanti l'apertura improvvisa di voragini sono state archiviate e georiferite. Inoltre è stato creato un database nel quale sono stati inseriti i dati relativi ad ogni singolo evento.
La creazione di un GIS dedicato ha garantito un'approfondita analisi e comparazione dei dati raccolti, si è cercato di costruire un primo archivio e la relativa ***Carta degli sprofondamenti del Comune di Velletri***.
Dalla fine degli anni 60 i casi documentati sono risultati essere poco più di 70, un numero elevato indicativo di una certa instabilità del sottosuolo veliterno. Da una prima osservazione si evince che la maggior parte degli eventi di sprofondamento si verifica in un'area limitata del territorio comunale corrispondente alla parte più antica della città. infatti circa il 65% dei casi totali, 47 su 72, ha avuto luogo proprio in questa area.

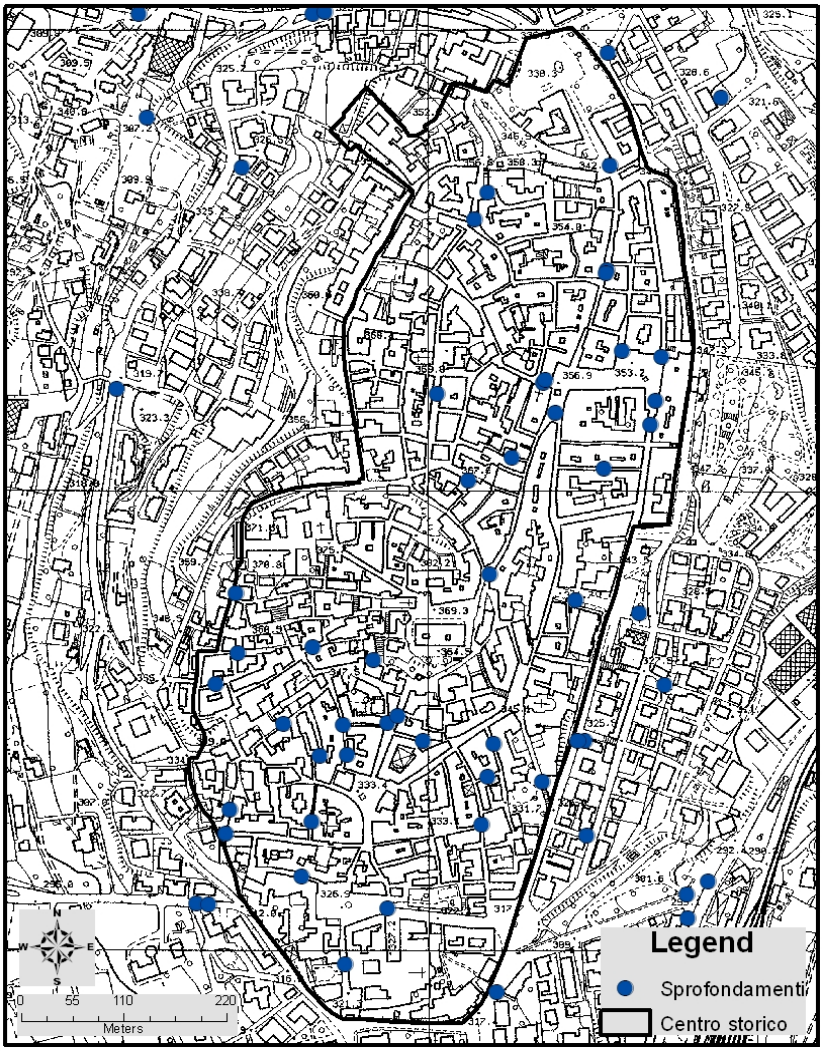


Figura 2. Distribuzione degli sprofondamenti verificatisi nel centro abitato di Velletri, in particolare nella zona del centro storico. Fonte: elaborato ArcGIS V.D'Aniello.

Di fondamentale importanza si è rivelata l'individuazione delle varie tipologie di formazione di sprofondamenti.
Sono state individuate 4 tipologie predominanti nelle quali si sono suddivisi tutti i casi di sprofondamento registrati.
La classi sono state divise in:

- Fognatura: cedimento improvviso di una parte del condotto fognario o, nella zone della città dove la rete è più antica, della fogna realizzata con copertura a cappuccina meno resistente al passaggio continuo di veicoli.
- Grotta o cunicolo: crollo improvviso delle volte di grotte o cunicoli che si diramano per larghi tratti al di sotto del piano stradale, la maggior parte delle quali sono in stato di abbandono da decenni.

- Rete idrica: voragini causate dalla rottura delle condotte idriche vetuste che producono un imponente dilavamento in tempi brevi nel sottosuolo.
- Fognatura-Grotta: concatenarsi di più cause dovute spesso a rottura di condotte fognarie che riversano i fluidi in grotte limitrofe fino a causarne il crollo improvviso.

Questa suddivisione ha permesso di evidenziare le cause principali nella formazione delle voragini. Come si nota dal grafico successivo, la causa predominante è quella relativa alla rottura delle condotte fognarie, che raggiunge il 60% circa dei casi registrati. Questo avviene soprattutto perché la rete è molto antica, la maggior parte della quale è stata costruita più di due secoli fa con tecniche ormai obsolete. Con il passare degli anni ed anche con l'aumento del traffico veicolare si è amplificato lo stress di queste strutture che sempre di più rischiano di collassare su se stesse portando alla formazione di voragini.
Il crollo di grotte e cunicoli è la seconda causa di sprofondamenti per numero di casi, il 23% circa, un dato questo che non deve essere sottovalutato perché, mentre gli eventi che interessano le fognature avvengono soprattutto in corrispondenza della rete viaria, questi si verificano in corrispondenza o in aree molto prossime ad edifici di varia natura. Questa tipologia di sprofondamento può ritenersi quella da tenere maggiormente sotto controllo, perché è quella che negli anni ha messo di più a rischio la sicurezza dei cittadini.

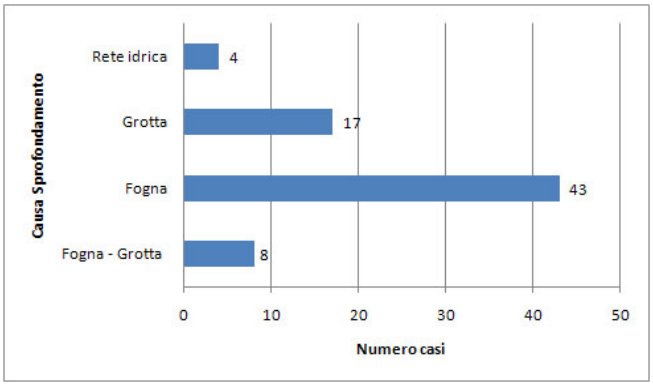


Tabella 1. Numero di sprofondamenti nel Comune di Velletri e cause che hanno portato all'evento. Fonte: elaborazione dati V.D'Aniello.

Avendo quindi identificato e classificato tutti gli sprofondamenti si è deciso di costruire nel Sistema Informativo Geografico una tabella degli attributi nella quale oltre all'ubicazione e alla data sono state inserite anche le cause che hanno portato alla formazione dello stesso.
Nell'analisi si è posta l'attenzione anche sul numero di persone che hanno subito danni fisici in occasione di uno sprofondamento catastrofico. Nei 72 casi fino ad oggi registrati 2 persone hanno perso la vita, mentre 8 sono rimaste ferite. Significativo è ciò che emerge se viene presa in considerazione la tipologia di evento che ha portato al ferimento o all'uccisione di un cittadino. Infatti delle dieci persone colpite in maniera più o meno grave da un evento di questo tipo, solo per una di esse si è trattato di un ferimento dovuto ad una voragine causata dal cedimento di una condotta fognaria, mentre per quanto riguarda i due morti ed i rimanenti sette feriti, essi sono rimasti vittime di uno sprofondamento dovuto al crollo di una grotta.
Uno dei più drammatici eventi di questo tipo verificatosi a Velletri e che ha sconvolto la cittadina laziale è stato causato proprio dal crollo di un tratto di una di esse. Il 6 luglio 1967 la volta di una galleria, ha ceduto improvvisamente causando uno sprofondamento che ha portato alla morte di due persone e al ferimento di altri due.
Una volta compiuta l'analisi dei dati raccolti nella quale sono state evidenziate delle problematiche riguardanti soprattutto alcune zone del centro abitato e alcune tipologie di sprofondamento si è

proceduto nell'individuazione delle aree della città a maggiore rischio, verso le quali indirizzare gli studi e i progetti che mirino ad una riqualificazione soprattutto del sottosuolo urbano nell'ottica della mitigazione di questa particolare problematica. Come emerso dal lavoro realizzato alcune aree soffrono più delle altre del fenomeno degli sprofondamenti antropici, tra queste è proprio il centro storico che ne è afflitto maggiormente. In particolare l'area meridionale di esso è stata la prima ad essere antropizzata ed è quella nella quale nella fase di acquisizione dei dati sono stati scoperti e censiti un cospicuo numero di ambienti sotterranei ed ingressi di grotte e cunicoli.
All'interno di questa zona è stata identificata un area di più ridotte dimensioni dove il rischio sprofondamenti è massimo in quanto si è registrata negli anni la maggiore frequenza di eventi, molti dei quali dovuti al crollo di grotte e cunicoli.
L'individuazione di aree a rischio sprofondamento è stata effettuata anche attraverso una accurata ricerca sul campo. In particolare è stata posta l'attenzione su strade ed edifici che potenzialmente potrebbero trovarsi in una situazione di pericolo perché posizionati lungo percorsi di grotte, gallerie, fognature e condotte idriche che mostrano segni di cedimento che possono portare alla formazione di voragini improvvise.



Figura 3. Classificazione delle diverse aree del centro storico veliterno a rischio di sprofondamento per le quali si devono programmare urgenti interventi di messa in sicurezza. Fonte: elaborato ArcGIS V. D'Aniello.

Conclusioni e prospettive

L'analisi compiuta nel territorio di Velletri, iniziata con lo scopo di studiare l'evoluzione storica, ambientale e demografica della città messa in relazione soprattutto al fenomeno degli sprofondamenti di natura antropica ha portato, attraverso la raccolta e l'utilizzo di numerose fonti di informazione, nonché di un attento lavoro di ricerca sul campo, all'individuazione di aree del centro abitato veliterno che devono essere considerate ad elevato rischio.

Aree per le quali l'Amministrazione Pubblica dovrebbe attuare quanto prima un piano di gestione e riqualificazione nell'ottica di un programma volto alla mitigazione del rischio di sprofondamenti.

Si deve quindi proseguire nell'esplorazione delle cavità sotterranee in tutta l'area del centro abitato per giungere al completamento della nascente ***Carta della Velletri Sotterranea***, che miri alla valorizzazione della rete caveale, che così importante è stata per gli antichi cittadini veliterni e che ora è pressoché sconosciuta ai più.

Inoltre di concerto con l'Amministrazione Pubblica si deve continuare nella stesura della ***Carta degli Sprofondamenti*** che possa essere utilizzata nelle future decisioni di pianificazione di campagne che mirino ad una drastica riduzione di questo particolare problema e giungere alla creazione di un archivio comunale degli sprofondamenti.

Un'azione fondamentale nella prevenzione contro questo tipo di eventi da attuare nell'imminente futuro sarà quella dell'individuazione dei movimenti precursori alla formazione di voragini attraverso l'utilizzo di specifiche metodologie moderne, quali, ad esempio, l'uso di dati rilevati da satelliti ambientali e la loro elaborazione con le procedure dell'interferometria differenziale e dei diffusori permanenti.

L'interferometria differenziale si basa su dati satellitari acquisiti da radar ad apertura sintetica (SAR) ed è una tecnica utilizzata per lo studio dei movimenti del terreno che consente di individuare e misurare, attraverso il confronto tra due interferogrammi della stessa scena, eventuali spostamenti avvenuti in un arco temporale.

Un'applicazione relativamente recente di queste metodologie è la tecnica dei diffusori permanenti (permanent scatterers), nella quale viene considerato lo stesso oggetto in una serie temporale di rilevamenti radar e se ne elaborano i segnali retrodiffusi per identificare eventuali movimenti verticali, anche molto piccoli (subcentimetrici). Questa tecnica permette di valutare in particolare la stabilità di un edificio (Gomarasca, 2004).

Alla luce di quanto visto precedentemente, si può ragionevolmente pensare di poter utilizzare a-posteriori questa tecnica per cercare di rilevare nei dati SAR pregressi eventuali movimenti precursori degli sprofondamenti avvenuti, almeno dalla seconda metà degli anni Novanta, nel centro storico veliterno.

Nell'ottica della gestione del territorio e della mitigazione del rischio di sprofondamenti si deve quindi prevedere per l'abitato di Velletri, oltre alle opere di investigazione degli ambienti sotterranei, delle indagini da effettuare ad intervalli regolari in superficie sulla stabilità degli edifici e del manto stradale, ad esempio utilizzando la metodologia dei diffusori permanenti.

Questo permetterebbe finalmente di monitorare costantemente le zone a maggior rischio di collasso e procedere con azioni di controllo e manutenzione delle aree nelle quali vengano osservati dei movimenti del suolo troppo ampli che possano far pensare alla formazione imminente di uno sprofondamento.

Bibliografia

APAT (2004), *Stato dell'Arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio*, Atti 1° Seminario sui fenomeni di sinkholes (Roma 20-21 maggio 2004), Iger, Roma, pp. 709.

Bauco T. (1851), *Storia della città di Veletri*, Tipografia Cappellacci, Velletri, pp. 766.

Campobasso C., Graciotti R., Nisio S., Vita L. (2004), *Il Progetto Sinkhole: le attività svolte dal Dipartimento Difesa del Suolo dell' APAT, in* APAT*, Stato dell'Arte sullo studio dei fenomeni di*

sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio, Atti 1° Seminario sui fenomeni di sinkholes (Roma 20-21 maggio 2004), Iger, Roma, cfr. pp. 171-187.
Caputo C., Funiciello R., Lamonica G.B., Lupia Palmieri E., Parotto M. (1974), *Geomorfological features of the Latian Volcano (Alban Hills, Italy)*, in "Geologica Romana", Roma, vol. XIII, cfr pp. 157-201.
Catenacci V. (1992), *Il dissesto geologico e geoambientale in Italia dal dopoguerra al 1990,* in Nisio S.(a cura di), *Memorie descrittive della Carta Geologica D'Italia, vol. XLVII*, , Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, pp. 301.
Corazza A. (2010), *Individuazione di movimenti precursori di sprofondamenti nell'area urbana di Roma attraverso l'utilizzo dell'interferometria differenziale,* in ISPRA*, I Sinkhole. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale e in quello antropizzato,* Atti 2° Workshop Internazionale (Roma 3-4 dicembre 2009), TipolitoGrafica CSR, Roma, cfr pp. 685-702.
Corazza A. (2004), *Il rischio di fenomeni di sprofondamento in Italia: le attività del Dipartimento della Protezione Civile, in APAT, Stato dell'Arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio*, Atti 1° Seminario sui fenomeni di sinkholes (Roma 20-21 maggio 2004), IGER, Roma, cfr. pp. 319-330.
Fornaseri M., Scherillo A., Ventriglia U. (1963), *Regione vulcanica dei Colli Albani. Vulcano Laziale*, Bardi Ed., Roma, pp. 561.
Funiciello R., Parotto M. (1968), *Studio idrogeologico del versante meridionale dell'Artemisio,* in "Geologica Romana", Roma, vol. VII, pp. 115-122.
Galli I. (1906), *I terremoti nel Lazio*, , Stracca Ed., Velletri, pp. 128.
Gomarasca M. A. (2004), *Elementi di Geomatica*, Associazione Italiana Telerilevamento, Firenze, pp. 618.
ISPRA (2010), *I Sinkhole. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale e in quello antropizzato*, Atti 2° Workshop Internazionale (Roma 3-4 dicembre 2009), TipolitoGrafica CSR, Roma, pp. 1022.
Nisio S. (2008), *I sinkholes: problemi terminologici, meccanismi genetici, classificazioni*, in Nisio S. (a cura di), *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, vol. LXXXV: i fenomeni di sinkholes nelle aree di pianura italiane*, Geda, Torino , cfr pp. 17-32.
Nisio S. (2010), *Fenomeni di sprofondamento in alcuni centri urbani*, in ISPRA, *I Sinkhole. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale e in quello antropizzat,* Atti 2° Workshop Internazionale (Roma 3-4 dicembre 2009), TipolitoGrafica CSR, Roma, cfr pp. 845-864.
Teoli B. (1644), *Teatro Historico di Velletri insigne città e capo de' Volsci*, Alfonso dell'Isola, Velletri, pp. 648.
Venditti A. (1991), *Velletri, Storia di una città millenaria,* Editrice ISTED, Velletri, pp. 360.
Ventriglia U. (1990), *Idrogeologia della Provincia di Roma. Vol. III. Regione Vulcanica dei Colli Albani*, Abete Grafica, Roma, pp. 547.
Zanzi L. (2004), *Appunti di sismica di esplorazione e georadar,* CUSL editore, Milano, pp. 181.

Sull'impiego del monitoraggio geomatico per la stima dei parametri nei modelli di calcolo degli spostamenti strutturali

Maria Grazia D'Urso (*), Paolo Russo (**), Salvatore Sessa (***)

(*) DICeM, Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale, Via G. Di Biasio 43, 03043 Cassino (FR), Tel. +39-0776 2994309; Fax:089 2580897; durso@unicas.it
(**) Dipartimento di Ingegneria, Università di Ferrara, Viale Saragat 1, 44121 Ferrara, Tel. +39-0532 974950, paolo.russo@unife.it
(***) DIS, Politecnico di Milano, P.zza L. Da Vinci 32, 20133 Milano, Tel. 3339176371, sal.sessa@gmail.com

Sommario
La stima a-priori dei cedimenti delle strutture di fondazione è di grande importanza nella scelta degli interventi di prevenzione dei danni che possono essere causati a un fabbricato o ad una infrastruttura da cantieri interferenti. In questo lavoro si presentano i risultati di uno studio riguardante i cedimenti fondali di alcuni fabbricati ubicati in prossimità di un'area di scavo profondo destinata alla realizzazione di un parcheggio multipiano in un centro urbano. In particolare si mostra come i movimenti misurati mediante livellazione digitale di alta precisione possano essere utilizzati per la calibrazione dei parametri di un modello di calcolo agli elementi finiti (FEM) della zona interessata dallo scavo. Il modello è opportunamente semplificato in modo da poter essere utilizzato con sufficiente affidabilità in applicazioni tecniche correnti.

Abstract
A-priori estimate of the vertical displacements of foundations is particularly important for selecting the preliminary activities able to prevent damages to buildings or infra-structures caused by nearby construction sites. In this paper we present the results of a study concerning the evaluation of the foundation displacements of some buildings close to an urban area where deep excavations have been carried out for constructing a multi-floor parking. It is shown in particular how the displacements measured from high precision digital leveling can be used for calibrating the parameters of a FEM model of the area interested by the excavation. The model is adequately simplified to be used with sufficient reliability in common technical applications.

Il monitoraggio geodetico applicato alle strutture

Le tecniche di monitoraggio e controllo hanno subito nel corso degli ultimi 40 anni una notevole evoluzione in quanto, accanto ai metodi tradizionali, spesso ancora assai affidabili ed accurati, sono gradualmente comparsi strumenti, sensori e sistemi di controllo innovativi che hanno introdotto nuove possibilità in questo settore.
Nel presente lavoro si farà riferimento al "*monitoraggio strutturale*", intendendo per esso la procedura con la quale si confrontano in continuo dati sperimentali con dati progettuali consentendo di conoscere in tempo reale il grado di sicurezza di un'opera. Poichè il confronto avviene tra dati misurati (il più probabile modello sperimentale) e dati calcolati (il più probabile modello teorico), è ovvio che il problema assume immediatamente una connotazione stocastica che trova ambito naturale nelle misure di alta precisione.
Tipicamente i dati acquisiti sperimentalmente durante un'attività di monitoraggio sono costituiti da spostamenti di punti significativi della struttura. Tali spostamenti vengono giudicati eccessivi quando superano di almeno un ordine di grandezza quelli ottenuti da un modello di calcolo, e sono

pertanto indicativi di potenziali situazioni di rischio per la statica e la funzionalità dell'opera da realizzare o già esistente.
Tale problematica ha assunto notevole valenza in tempi recenti a causa del gran numero di scavi profondi eseguiti in aree fortemente urbanizzate, tipicamente per la realizzazione di parcheggi sotterranei o di linee di metropolitane. Conseguentemente, la scelta della tecnologia di scavo e la successione delle sue fasi può avere notevole influenza sulla integrità delle costruzioni adiacenti alle aree di scavo.
In tal caso gli spostamenti da misurare sono quelli di punti di controllo materializzati sia sugli edifici esistenti che sulla struttura in costruzione. Gli obiettivi del monitoraggio sono fondamentalmente legati alla valutazione della capacità delle fondazioni degli edifici già costruiti, al controllo degli assestamenti strutturali e alla definizione di un'area di rottura potenziale.
Peraltro, in tali casi, il problema maggiore è costituito dalla determinazione dei valori più plausibili da attribuire ai parametri geotecnici del modello di calcolo. Infatti, tale aspetto costituisce quello di gran lunga più delicato attesa l'anisotropia dei terreni ed il loro comportamento non lineare. Non a caso, è ritenuto più che soddisfacente un modello di calcolo che riesca a stimare l'ordine di grandezza del massimo cedimento atteso.
Inoltre è importante effettuare il monitoraggio sia in fase di realizzazione dell'opera che dopo la sua realizzazione in quanto i fattori che provocano i cedimenti possono essere differenti tra una fase e l'altra. Per progettare un intervento di monitoraggio è necessario conoscere:
- il contesto entro cui si inserisce l'opera;
- i punti significativi dell'opera di cui si vogliono conoscere i movimenti e le direzioni principali di spostamento;
- il sistema di riferimento rispetto a cui riferire le misure e le direzioni di movimento;
- l'ordine di grandezza degli spostamenti dell'opera e le incertezze attribuibili;
- la strumentazione, lo schema geometrico (rete o altro), l'algoritmo di calcolo che consentono di avere nel tempo misure congrue a quelle del punto precedente;
- la valutazione della minima condizione di rischio.

Lo spazio in cui si realizzerà l'opera di cui si vuole eseguire il monitoraggio, costituisce il "*cantiere delle misure*". Quest'ultimo, a differenza del cantiere di costruzione, è un cantiere *permanente* che nasce in quello di costruzione, resta operativo per tutta la vita utile dell'opera e durante questo tempo deve essere sempre agibile.
L'agibilità di questo cantiere è peculiare perché consiste nella possibilità di ripetere nel tempo le misure che si ritengono utili per definire la posizione nel tempo di punti significativi della struttura.
Nell'area impegnata dal cantiere delle misure andranno sviluppate la rete di controllo su cui appoggiare tutte le operazioni di rilevamento del terreno e l'installazione di sottoreti necessarie all'individuazione di punti fissi.
L'applicazione di differenti metodologie di rilevamento topografico rappresenta uno strumento efficace per il monitoraggio statico degli edifici che ancora oggi risulta spesso economicamente più vantaggioso, affidabile e completo rispetto a sistemi di acquisizione in continuo.

Un esempio di monitoraggio geodetico
Il sistema di monitoraggio di precisione che si illustra è stato realizzato per il controllo di possibili effetti indotti sui fabbricati prospicienti la centrale Piazza XXIV Maggio, in Salerno, interessata dai lavori di scavo profondo eseguiti per la costruzione di un parcheggio sotterraneo multipiano.
L'attività di monitoraggio è consistita in una serie di campagne di livellazione geometrica di alta precisione eseguite su una rete di n. 40 capisaldi verticali, a superficie sferica in acciaio, installati sulle pareti di fondazione dei fabbricati di controllo, in prossimità del piano campagna, all'interno di pozzetti in PVC chiusi.
Il caposaldo "*zero*" è stato individuato in prossimità dello spigolo Nord Est dell'edificio sede del Tribunale di Salerno su Corso Vittorio Emanuele, e per ogni strada di accesso alla piazza sono stati individuati degli anelli di livellazione secondari di riferimento.

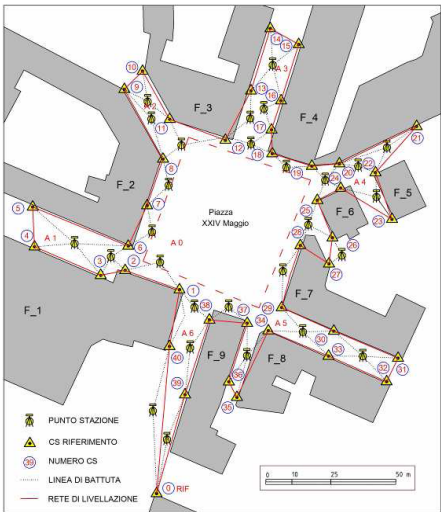


Figura 1. Rete di Monitoraggio dei fabbricati prospicienti Piazza XXIV Maggio: schema delle misure.

La particolare conformazione del sito che presenta sull'intera rete di livellazione più di 14 m di dislivello, la presenza di un cantiere che con le sue recinzioni limita la visibilità, l'alta densità di traffico hanno richiesto campagne di misura notturne, sia per il rilievo iniziale al tempo t_0 che per le campagne successive alla t_0. L'esecuzione di una singola campagna di misura ha richiesto in media circa 8 ore continue di operazioni di misura. La strumentazione impiegata è consistita in un livello digitale TOPCON modello DL101C e stadie di invar codificate di altezza 3 m e 5 m.
Complessivamente le campagne di misura sono state in numero di 8 e sono state eseguite nel periodo 2004-2007; le prime due campagne di misura intervallate di 1 anno, prima dell'inizio effettivo dei lavori, sono state svolte su richiesta della Direzione Lavori, rispettivamente nel luglio 2004 e nel luglio 2005. In tal modo è stato possibile verificare la presenza eventuale di fenomeni deformativi in atto ancor prima dell'insediamento del cantiere e dovuti a cause diverse da quelle legate alla realizzazione del parcheggio.
In entrambe le sessioni di misura al tempo "t_0" è stato eseguito il rilievo globale della rete costituita da 40 capisaldi collegati tra loro da uno schema geometrico che consente la localizzazione e la rimozione di errori grossolani, nonché la stima della precisione dei risultati, indispensabile per la valutazione della significatività dei movimenti.
Lo schema della rete, costituita da 9 anelli chiusi e indipendenti tra loro, connessi in modo da comprendere tutti i punti di controllo, è tale da consentire il controllo di tutte le misure e individuare immediatamente la presenza di eventuali errori grossolani. Soltanto il caposaldo 23 è stato collegato alla rete mediante un ramo aperto. Dopo avere constatato che gli errori di chiusura dei suddetti anelli sono risultati tutti inferiori alla tolleranza tipica della livellazione geometrica di alta precisione, si è proceduto alla compensazione della rete ai minimi quadrati, assumendo la quota del caposaldo di riferimento pari a 10,00 metri.
Ottenuti i risultati della compensazione, si è proceduto al confronto tra le quote determinate in una generica campagna di misure e la prima.
La variazione di quota di un qualsiasi caposaldo verificatasi tra due campagne di misura si considera significativa, cioè dovuta ad un effettivo movimento del caposaldo stesso, se la sua entità è superiore all'incertezza da cui è affetta la variazione stessa, per effetto degli errori di misura. Tale

incertezza è facilmente calcolabile sulla base delle deviazioni standard delle quote che risultano dalla compensazione delle misure i cui valori massimi sono riassunti nella seguente tabella.

Campagna	Anno	Dev. St. max [*mm*]
1°	2004	0,40
2°	2005	0,40
3°	Luglio 2006	0,59
4°	Ottobre 2006	0,69
5°	Novembre 2006	0,33
6°	Gennaio 2007	0,38
7°	Aprile 2007	0,57
8°	Ottobre 2007	0,60

Tabella 1. Valori massimi delle deviazioni standard nelle varie campagne di misura.

Pertanto la variazione di quota ΔH di un caposaldo relativa a due generiche campagne di misura, una al tempo t_i e l'altra al tempo t_j, si considera significativa se supera il doppio della deviazione standard $\sigma_{\Delta H}$. In tal caso la probabilità che essa indichi un movimento è circa del 95%.

Capisaldi	*DIFFERENZE DI QUOTA TRA LE VARIE CAMPAGNE DI MISURA*							
	2° - 1°	3° - 1°	4° - 1°	5° - 1°	6° - 1°	7° - 1°	8° - 1°	9° - 1°
	ΔH [m]	ΔH [m]	ΔH [m]	ΔH [m]	ΔH [m]	ΔH [m]	ΔH [m]	ΔH [m]
CS Rif 0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0006	-0,0019	-0,0029	-0,0033	-0,0032	-0,0032	**-0,0048**	**-0,0040**
2	-0,0006	-0,0024	-0,0036	-0,0045	-0,0046	-0,0050	**-0,0068**	**-0,0073**
3	-0,0021	-0,0037	-0,0059	-0,0073	-0,0077	-0,0078	**-0,0103**	**-0,0100**
4	0,0002	0,0003	-0,0007	-0,0017	-0,0012	-0,0010	**-0,0022**	**-0,0014**
5	0,0003	0,0006	-0,0003	-0,0013	-0,0006	-0,0004	-0,0014	-0,0002
6	-1E-04	-0,0025	-0,0032	-0,0036	-0,0033	-0,0037	**-0,0050**	**-0,0045**
7	-0,0003	-0,0013	-0,0022	-0,0032	-0,0026	-0,0027	**-0,0038**	
8	-0,0002	-0,001	-0,002	-0,0026	-0,0019	-0,0022	**-0,0031**	
9	-0,0171	-0,0171	-0,0181		-0,0183	-0,0187	-0,0199	
10	-0,0007	-0,0002	-0,0009		-0,0011	-0,0013	**-0,0021**	
11	-0,0003	-1E-04	-0,0012	-0,0021	-0,0011	-0,0013	**-0,0022**	
12	-1E-05	0,0003	-0,0011	-0,0018	-0,0006	-0,0008	**-0,0020**	
13	-0,0003	0,0008	-0,0007		-0,0005	0,0000	**-0,0015**	
14	-0,0004	0,0008	-0,0004		-0,0005	-0,0003	-0,0013	
15	-0,0007	0,0004	-0,0006		-0,0009	-0,0007	**-0,0017**	
16	-0,004	-0,0037	-0,0049		-0,0053	-0,005	**-0,0061**	
17	-0,0009	-1E-04	-0,001		-0,0014	-0,0012	**-0,0021**	
18	-0,0003	0,0003	-0,0011	-0,0015	-0,0006	-0,0007	**-0,0019**	
19	-0,0003	-0,0003	-0,0013	-0,0016	-0,0010	-0,0008	**-0,0016**	
20	-0,0006	0	-0,0011		-0,0009	-0,0006	-0,0014	
21	-0,0007	-0,0003	-0,0015		-0,0011	-0,0004	**-0,0018**	
22	-0,0005	0,0003	0,0012		-0,0007	-0,0002	-0,0012	
23	-0,0008	-0,0008	0,0007		-0,0016	-0,0015	**-0,0025**	
24	-0,0004	1E-04	-0,001		-0,0010	-0,0005	**-0,0018**	
25	-0,0004	-0,0004	-0,0014	-0,0017	-0,0015	-0,0013	**-0,0020**	
26	-0,0005	-0,0002	-0,0013		-0,0013	-0,0010	**-0,0020**	
27	-0,0004	-1E-04	-0,0011		-0,0012	-0,0007	**-0,0019**	
28	-0,0003	-1E-04	-0,0009	-0,0012	-0,0008	-0,0008	**-0,0015**	
29	-0,0001	0,0003	-0,0005	-0,0002	-0,0003	-0,0003	-0,0010	
30	-0,0001	0,0003	-0,0007		-0,0004	1E-04	-0,0010	
31	-1E-04	0,0003	-0,0007		-0,0003	-0,0002	-0,0008	
32	-0,0007	-0,0005	-0,0017		-0,0015	-0,0014	**-0,0020**	
33	-0,0006	-0,0003	-0,0014		-0,0013	-0,0012	**-0,0016**	
34	-0,0007	-0,0006	-0,0013	-0,0012	-0,0012	-0,0011	**-0,0016**	
35	-0,0008	-0,0003	-0,0015		-0,0014	-0,0012	-0,0014	
36	-0,0018	0	-0,0008		-0,0015	-0,0010	-0,0012	
37	-0,0011	-0,0003	-0,0009	-0,0011	-0,0013	-0,0011	-0,0013	
38	-0,0007	-0,0006	-0,0011	-0,0015	-0,0017	-0,0012	**-0,0016**	**-0,0020**
39	-0,001	-0,0007	-0,001	-0,0015	-0,0015	-0,0011	**-0,0015**	**-0,0017**
40	-0,0006	0	-0,0006	-0,001	-0,0008	-0,0003	-0,0010	-0,0009

Tabella 2. Variazioni di quota dei capisaldi.

Assumendo come misura precauzionale il valore massimo di $\sigma_{\Delta H}$ e cioè

$$\sigma_{\Delta H} = \sqrt{\sigma^2_{\max,ti} + \sigma^2_{\max,tj}} \qquad [1]$$

si ritiene significativa al 95% o al 99% una variazione di quota superiore a $2\sigma_{\Delta H\ \max}$ e a $3\sigma_{\Delta H\ \max}$ rispettivamente.

Essendo opportuno utilizzare soltanto due valori per l'incertezza delle variazioni di quota, è risultato, dai valori massimi delle deviazioni standard ottenuti dalla compensazione eseguita nelle varie campagne di misura, che una variazione di quota si poteva considerare significativa al 95% o al 99% se risultava superiore o uguale rispettivamente a 1,5 mm e a 2,0 mm.

Nella Tab. 2 sono riportate le differenze di quota tra le 8 campagne di misura svolte per l'intera rete e la campagna n. 9 eseguita solo in corrispondenza dello scavo centrale; per semplicità ci si limita a evidenziare le variazioni significative al 95% (evidenziate in rosso) e al 99% (evidenziate in grigio) solo nei risultati del confronto tra la prima e l'ottava campagna di misure, e tra la prima e l'ultima campagna di misure n.9 in cui come detto è stato eseguito un controllo parziale della rete.

A titolo di esempio nella Figura 2 sono riportati i grafici degli abbassamenti dei capisaldi più significativi, in particolare i capisaldi 2, 3 e 6 che presentano un trend di abbassamento molto netto. Per quanto non è possibile dire se tali variazioni siano effettivamente indicative di un movimento o, semplicemente, siano dovute agli inevitabili errori di misura.

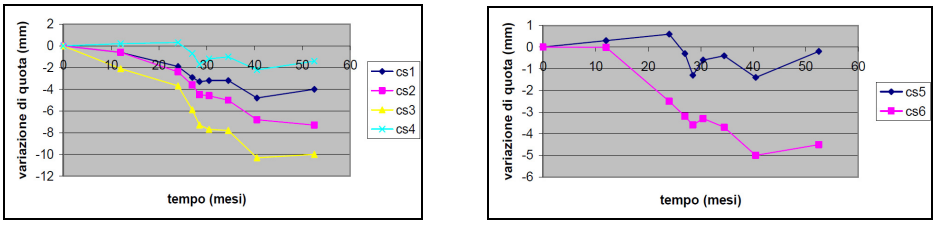


Figura 2. Abbassamenti di alcuni capisaldi della rete in funzione del tempo.

Il modello degli spostamenti attesi

L'intervento di scavo in ambito urbano impone sempre una certa attenzione nella valutazione degli effetti che questo può indurre sulla stabilità o sulla funzionalità delle costruzioni che sorgono in prossimità dello scavo stesso. In tal senso, e' utile un confronto tra i cedimenti dei capisaldi solidali agli edifici ed i relativi valori attesi.

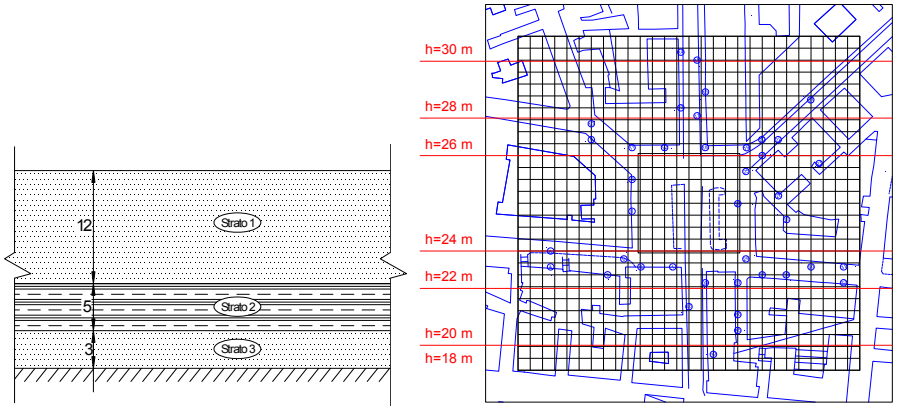


Figura 3. a) Stratigrafia del terreno; b) mesh del modello agli elementi finiti.

Questi ultimi sono stati stimati mediante analisi numeriche agli elementi finiti che hanno simulato l'intera procedura di scavo. I parametri meccanici del terreno sono stati definiti sulla base della stratigrafia desunta dalla relazione geologico–tecnica a corredo del progetto e riassunta nella figura 4a. Nello specifico, gli strati si presentano prevalentemente sabbiosi con inclusioni di lenti a grana fina. I valori caratteristici, riportati di seguito, hanno permesso la definizione meccanica degli elementi finiti secondo un modello elastico alla Winkler.

Strato	E (kg/cm^2)	φ_1	γ_1 (kg/cm^3)
1	500	40°	1800
2	120	28°	1500
3	1000	40°	1800

Tabella 3. Parametri meccanici del terreno.

Dalle relazioni progettuali, inoltre, si evince la presenza di una paratia che delimita lo scavo e ne costituisce le pareti perimetrali. Ne consegue uno schema 3D ad elementi finiti con elementi brick, per la modellazione del terreno, interagenti con elementi shell, per la modellazione della paratia, la cui planimetria e' schematizzata nella figura 4b. La scelta di tale modellazione e' motivata dalla necessita' di una schematizzazione accurata, al fine di trarre indicazioni attendibili sugli spostamenti che hanno luogo nel terreno a tergo della paratia stessa nelle varie fasi della realizzazione dell'opera.

Confronto tra gli spostamenti misurati e quelli attesi

A valle dell'analisi FEM, e' stato eseguito un confronto tra i cedimenti misurati e quelli stimati dal modello.

In figura 5 si riportano, per i capisaldi ritenuti piu' significativi, i grafici a dispersione in cui sull'asse delle ascisse viene riportato il cedimento misurato, e sulle ordinate quello stimato dal modello FEM in corrispondenza delle 4 fasi di scavo, rispettivamente a 2 m, 6 m, 8 m, 12 m, in accordo con il cronoprogramma dei lavori. Per ciascun grafico e' stata desunta una retta di regressione nonché i rapporti $\frac{spostamenti-misurati}{spostamenti-calcolati}$.

Come si evince dai grafici il confronto tra spostamenti misurati e spostamenti calcolati (attesi), eseguito per ogni caposaldo, ha mostrato che per ciascuna campagna di monitoraggio esiste una soddisfacente linearità per la maggior parte di essi.

In accordo con i risultati attesi la gran parte degli spostamenti si è verificata nella fase di scavo relativa alla profondità di 6 m. Infine considerando un range tra 0,1 mm e 10 mm, il confronto ha posto in evidenza che al termine della campagna triennale di monitoraggio (2004 – 2007), circa il 60% del numero totale dei capisaldi ha subito cedimenti che rientrano in tale intervallo.

In alcuni casi, tuttavia, la correlazione risulta inaccurata. Si ritiene che tali discrepanze siano da imputare a diversi fattori quali:

- impossibilità di infittire ulteriormente la mesh per limitare l'onere computazionale: gli elementi brick impiegati, di dimensioni (6x6) m in pianta e 2 m in profondità, comportano all'incirca 5 x 10^5 gradi di libertà del modello complessivo;
- la linearita' e l'isotropia del legame costitutivo del terreno assunto nel modello FEM a fronte di un comportamento reale fortemente non lineare ed anisotropo;
- l'incertezza circa il carico trasmesso dai fabbricati, stimato, in mancanza di dati precisi, nel valore di 1 kg/cm^2 assumendo, inoltre, una sua distribuzione uniforme;
- la presenza di cavità sotto i fabbricati (scantinati, garage, ecc.) non è stata considerata.

Tali considerazioni forniscono anche utili indicazioni su sviluppi futuri della ricerca riguardanti in particolare l'impiego di modelli FEM piu' raffinati in grado di considerare anisotropia e legami costitutivi specifici, nonché una caratterizzazione probabilistica dei carichi esterni agenti sul modello.

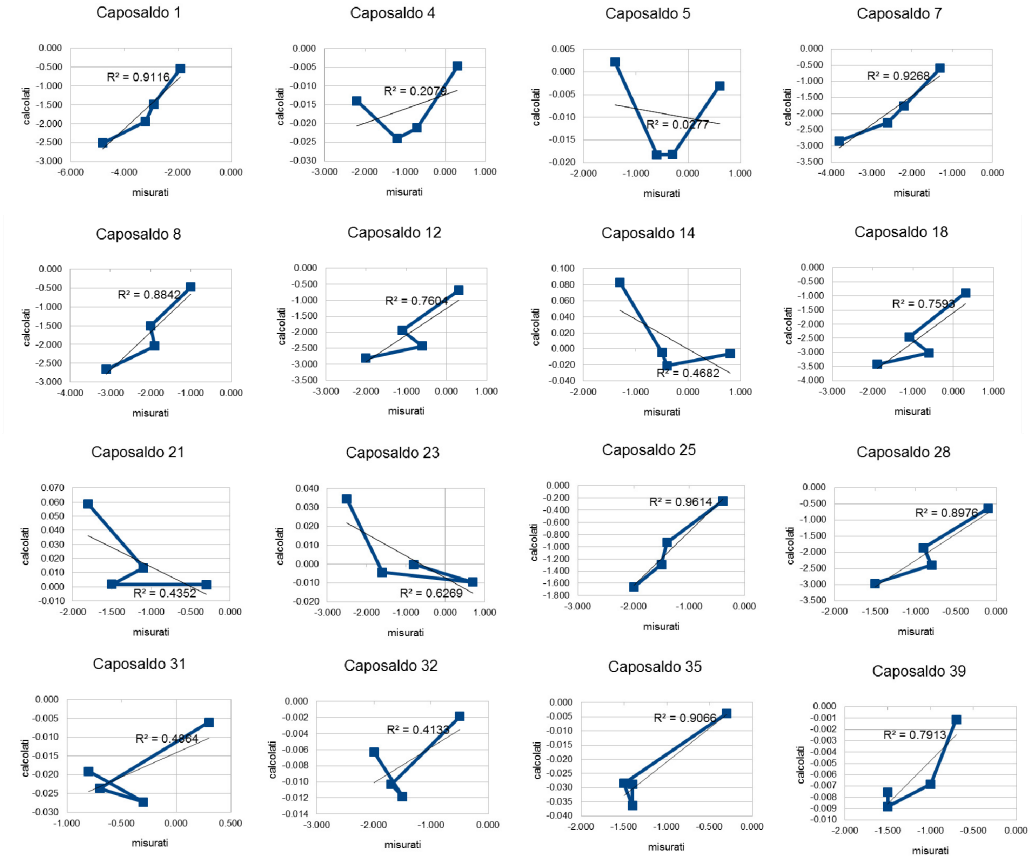


Figura 4. Confronto tra abbassamenti misurati e abbassamenti calcolati.

Conclusioni

Il caso di studio illustrato in precedenza ha mostrato che il monitoraggio di sorveglianza, inteso come monitoraggio geomatico di spostamenti e deformazioni di organismi strutturali, costituisce uno strumento quanto mai efficace nella vita di un'opera. Infatti, esso consente non solo di ridurre, se non eliminare del tutto, contenziosi legali ma anche di avere conferma sperimentale della modellazione adottata, a livello costitutivo e strutturale, e tararne opportunamente i relativi parametri sulla base delle misure eseguite nelle fasi preliminari di scavo e di realizzazione dell'opera.

Tenuto altresì conto del costo relativamente modesto di un monitoraggio di sorveglianza, è lecito affermare che i tempi sono sufficientemente maturi affinché il monitoraggio diventi uno strumento presente fin dal concepimento dell'opera; in questa direzione sarebbe quindi auspicabile un tempestivo intervento delle normative.

Infatti, si ha l'impressione che, nella realizzazione delle opere di ingegneria, la mancanza di un adeguato quadro normativo in materia di monitoraggio dia eccessivo spazio ad un approccio empirico ed approssimativo da parte della maggioranza degli operatori, con il risultato di non conseguire obiettivi significativi in relazione al problema affrontato. Sarebbe, quindi, opportuno provvedere all'elaborazione di linee guida, che siano in grado di fornire metodi e criteri idonei per una casistica quanto più possibile ampia nell'ambito di alcuni aspetti del monitoraggio strutturale.

Bibliografia

Armer, G.S.T. (2001), *Monitoring and Assessment of Structures*, McGraw Hill, New York

Ball A. D., Cooper J.E., Worden K. (1991), "On-line system identification techniques for structural analysis and monitoring", *Structural Integrity Assessment*, P. Stanley Ed., Elsevier, 236-245

Barzaghi R., Pinto L. (2008), "Alcuni aspetti dell'analisi della deformazione", *SIFET*, Sorrento

Becker J.M., Heister H., Slaboch V. (2000), "New technical standards improving the quality in positioning and measurement", *XX FIG International Congress*, Prague, 21-31

Bitelli G., Bonsignore F., Unguendoli M. (2000), "Levelling and GPS Networks to Monitor Ground Subsidence in the Southern Po Valley", *J. of Geodynamics*, 30:355-369

Brigante M., D'Urso M.G. (2006), "Crolli e Affidabilità delle Strutture Civili- Prevenzione e Controllo degli Spostamenti dei Dissesti Strutturali con Tecniche di Monitoraggio di Sorveglianza", *IF CRASH*, Messina

Coppa U., Guarnirei A., Pirotti F., Vettore A. (2008), "Integrazione di tecniche di rilevamento per il controllo di stabilità di una struttura storica", *Convegno SIFET*, Sorrento

D'Urso M.G., Russo P. (2006), "Norme tecniche per l'impiego degli apparati digitali di livellazione geometrica", *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, 4:165-178

Davis E., Marsic S., Rodarmel W. (2008), "Deformation Monitoring Through Multi-Platform Integration", *13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis; 4th Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, LNCE, LISBON

De Seixas A., De Seixas J.R., De Seixas J.J. (2006), "Control and Monitoring of Building Foundations - Applications in Very High Building Structures", *XXIII FIG Congress*, Munich,

Grafarend, E.W. (1982), "Optimisation of geodetic networks", *DGK, Band B*, 258/III:69-81

Henriques M. J., Casaca J. (2001), "Monitoring vertical displacements by means of geometric levelling", *Historical Constructions*, P.B. Lourenco and P. Roca (eds.), Guimarães, 403-412

Ingensand H. (1999), "The use of digital level techniques: limitations and new solutions", *XIX FIG International Congress*, Gavle, 59-68

Matarazzo L., Arena A.B. (2005), *La statica degli edifici esistenti: indagini e monitoraggio*, Sistemi ditoriali ditore

Moore J.F.A. (1992), *Monitoring Building Structures*, Blakie & Son Ltd, Glasgow UK

Radicioni F. (1994), Advanced mathematical analysis of control data of a high precision levelling network for monitoring the settlement of the 1982 Ancona landslide, D.S.M.T., Univ. of Ancona

Rigo A., Cushing M. (1999), "Effets topographiques sur les comparaisons de profiles de nivellement: cas français de Saint-Paul-de-Fenouillet (Pyrénées-Orientales) et d'Arudy (Pyrénées-Atlantiques)", *Edition scientifiques et médicales*, Paris

Sessa S., D'Urso M.G.(2013),"Employment of Bayesian networks for risk assessment of excavation processes in dense urban areas" sottoposto *11th Int. Conf. Struct. Safety & Reliability* New York

Waschitz H., Brunner F. K. (2002), "System calibration of digital levels: experimental results of systematic effects", *INGEO*, *2nd Conference of Engineering Surveying*, Kopacik A. and Kyrinovic P. (eds.), Bratislava

Yetki M., Inal C., Yigit C.O. (2008), "Optimal Design of Deformation Monitoring Networks Using Pso Algorithm", *13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis; 4th Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, LNCE, LISBON

Rilievo delle infrastrutture di drenaggio urbano e modellizzazione dei flussi nel bacino fognario di Mestre - Via Torino (Venezia, Italia)

Paolo Dalla Vecchia (*), Enrico Conchetto (*), Roberto Francese (**)

(*) AATO Laguna di Venezia, Via G. Pepe 102, 30172 Mestre (VE)
(**) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS)

Riassunto
Il presente lavoro descrive i risultati ottenuti nell'ambito di un progetto pilota condotto dall'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" con l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste per l'individuazione delle modalità di smaltimento delle acque nel bacino fognario di Mestre – Via Torino, interessato dall'evento di allagamento causato dalle condizioni meteoriche estreme che hanno colpito pesantemente l'intero entroterra veneziano nel settembre 2007. L'obiettivo del progetto è l'approfondimento delle conoscenze sulle infrastrutture adibite allo smaltimento delle acque del drenaggio urbano, miste e nere, nel bacino fognario di Mestre - Via Torino, al fine della comprensione, attraverso l'analisi integrata dei dati sul territorio circostante e sulla rete idraulica di bonifica, delle modalità con cui tali infrastrutture di smaltimento delle acque trasferiscono il carico idraulico ai corpi idrici ricettori e all'impianto di sollevamento alla chiusura del bacino. Gli obiettivi sono stati raggiunti articolando il progetto in diverse fasi tra le quali hanno avuto un ruolo determinate: la raccolta e la rielaborazione dei dati esistenti; la predisposizione della rete di inquadramento topografico; il rilievo topografico delle evidenze delle reti infrastrutturali sotterranee; i rilievi geofisici mediante tecnica GPR (*Ground Probing Radar*) multicanale delle condotte sotterranee; l'ispezione visiva di pozzetti e camere e la conseguente cattura degli attributi delle reti; la costruzione del modello numerico di simulazione dei deflussi e infine la calibrazione del modello mediante una campagna di misura locale delle precipitazioni e delle portate.
Sul modello finale sono state condotte diverse simulazioni idrauliche iniziando con i dati relativi all'evento di picco del settembre 2007 e riducendo progressivamente il carico pluviometrico sino ad identificare la soglia critica del bacino. L'analisi ha infine permesso l'individuazione di tutte le criticità che, durante particolari condizioni meteoriche, vengono a verificarsi nel bacino lungo l'intera rete di smaltimento delle acque.

Abstract
This paper describes some of the results of a research study conducted by the Authority of Optimal Territorial Area "Lagoon of Venice" along with the National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics of Trieste to assess the sewer network in the basin of Mestre - Via Torino, severely flooded by an extreme meteorological event in September 2007.
The major aim of the study is to gain an adequate insight in the understanding of infrastructure used for the disposal of the waters both from the storm drainage and the sanitary systems. The geometry and the topology of this "mixed" network are the key to proper modeling of the hydraulic infrastructure management and to discover the critical nodes of the network itself.
The study was successful in the achievement of the above objectives due to the careful project scheduling and management and the availability of technical and economical resources. The project was organized in several different key phases: collecting and reprocessing of existing data, setting up of a reference network to assist the topographic survey, state of the art subsurface scanning with

a novel 40-channel radar system; detailed pipeline attribute capturing inspecting handholes and manholes; numerical modeling of water flow assisted by long term monitoring of flow rate and rainfall at various sites within the basin.
Once the final model was functional it was possible to carry out a series of hydraulic simulations starting from the peak event of September 2007 and progressively reducing the rainfall regime until the critical threshold of the basin was estimated. The analysis also allowed the mapping of several nodes that enter very quickly a status of hydraulic criticality.

Inquadramento generale

Il bacino fognario di Via Torino, indicato in Figura 1, rappresenta uno dei bacini nei quali è suddivisa l'area urbana di Mestre, ha un'estensione di circa 1.700.000 m^2 con una quota compresa tra 1 e 3 m s.l.m. (Figura 2). Il bacino conta una presenza media, tra residenti e fluttuanti, di circa 14.500-15.000 persone. La rete stradale, interessata dai rilievi, è piuttosto sviluppata con una lunghezza complessiva di circa 20 km, pavimentati prevalentemente con asfalto e talvolta con cemento.

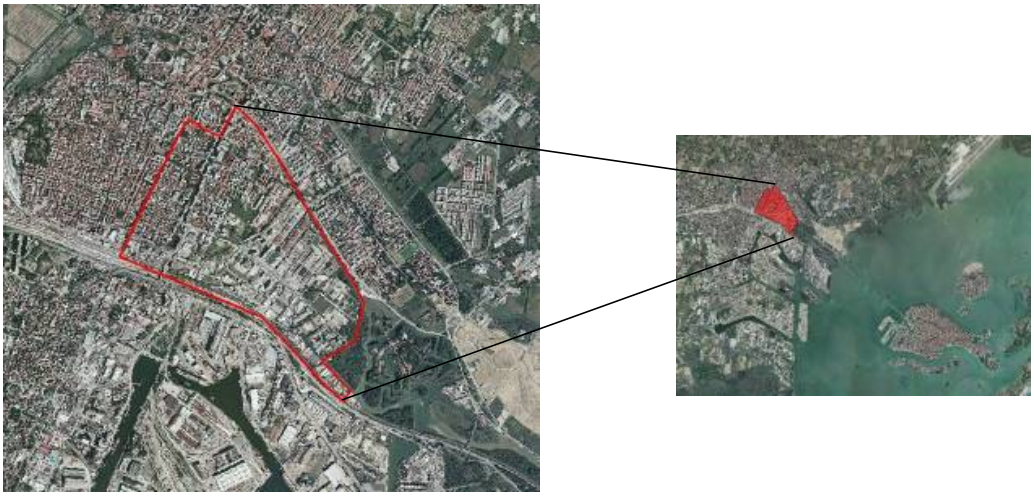


Figura 1. Immagine aerea del bacino fognario di Mestre – Via Torino.

Il rilievo geofisico, per questioni logistiche, ha riguardato la sede stradale mentre il rilievo geodetico-topografico e l'ispezione visiva sono stati estesi anche ai vicini marciapiedi ed alle aree verdi al di fuori delle zone di percorribilità degli automezzi.
Da un punto di vista geologico il primo sottosuolo risulta composto da materiali a prevalente granulometria fine anche se è presumibile immaginare che la maggior parte dei sottoservizi, fatta eccezione per qualche tubazione profonda, sia alloggiata entro lo strato di riporto antropico. Tale strato, come evidenziato da alcuni test di propagazione delle onde elettromagnetiche, presenta caratteristiche dielettriche nel complesso favorevoli alla propagazione delle onde. La soggiacenza della falda freatica è mediamente intorno al metro di profondità ed è soggetta a rilevanti escursioni in funzione soprattutto delle oscillazioni periodiche di marea e delle precipitazioni.
Al fine di ridurre al minimo i fenomeni di attenuazione delle onde EM dovuti alla presenza di salamoie saline nei terreni superficiali le misure sono state effettuate durante la stagione estiva (caratterizzata dalla massima soggiacenza) e durante i periodi di bassa marea.

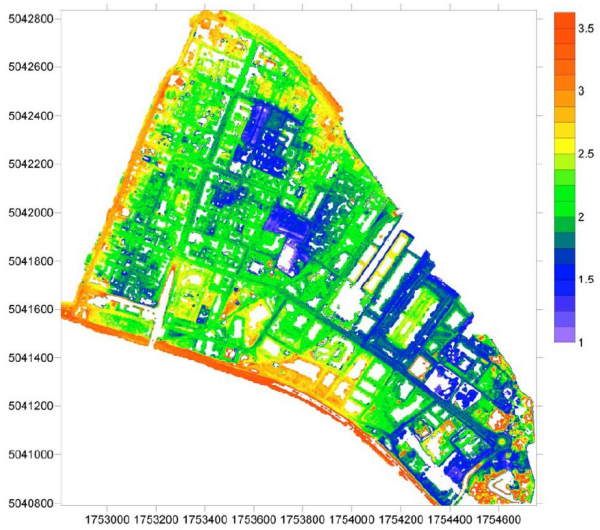


Figura 2. DTM del bacino fognario di Mestre – Via Torino.

La strumentazione radar (GPR) utilizzata per il rilievo dei sottoservizi

Il rilievo radar è una tecnica detta a numero d'onda e si basa sulla propagazione delle onde EM in profondità e sulla misura del segnale riflesso in corrispondenza di variazioni delle proprietà elettriche e magnetiche dei terreni e dei corpi presenti nel sottosuolo. Il sistema radar, dopo l'invio dell'impulso, in analogia con il metodo sismico, misura una serie temporale di risposta rilevando più bersagli posti in verticale uno sopra l'altro. L'immagine del sottosuolo è quindi tridimensionale in quanto la riflessione del bersaglio/strato ubicato a maggiore profondità arriva a tempi maggiori della scala temporale del segnale riflesso. Il sistema radar ha quindi una piena capacità di discriminazione della posizione verticale del bersaglio. Le misure radar sono state effettuate mediante un sistema sperimentale *Stream* di nuova generazione costruito da IDS (Ingegneria dei Sistemi S.p.A.) (Figura 3).



Figura 3. Sistema IDS Stream a quattro banchi, per un totale di 38 canali attivi, montato su carrello trainato da furgone durante la scansione di Via Torino.

Al tempo del rilievo il sistema era in fase avanzata di realizzazione e non ancora disponibile in commercio. Lo strumento è modulare e sono stati impiegati 4 moduli da 8 dipoli radianti ciascuno realizzando un totale di 15x2 canali bistatici (per un totale di 30 canali) longitudinali e di altri 8 canali trasversali tra bistatici e monostatici. In ciascun modulo da 8 dipoli la spaziatura tra i centri di fase è fissa ed è pari a 0.12 m e la frequenza centrale è di 200 MHz. I dipoli sono orientati con l'asse maggiore nella direzione di avanzamento. A differenza dei normali sistemi disponibili sul mercato la sensibilità è quindi massima per i bersagli longitudinali. I quattro banchi del dispositivo radar sono stati sistemati su un carrello in metallo progettato e realizzato "ad hoc" per il rilievo e costituito esclusivamente da materiali scarsamente-magnetici (leghe metalliche e plastica). I due banchi della fila posteriore (3 e 4) sono stati traslati di 0.06 m in modo da ottenere una linea di scansione ogni 0.06 m. Il *firing* del sistema radar viene gestito mediante ruota metrica che lancia una intera sequenza di impulsi (30) ogni unità di avanzamento del carrello, che, nel caso specifico, è stata impostata a 0.08 m.

Il rilievo radar (GPR)

Il rilievo radar è stato organizzato per unità stradali: ciascuna via è stata percorsa in andata e ritorno dal carrello radar, con diverse linee di scansione sino alla copertura quasi completa della sede viaria. Sono state definite 49 unità stradali per una lunghezza complessiva di circa 20.050 m di scansione multipla. Per ciascun senso di marcia, a seconda della larghezza della via, sono state infatti necessarie da una a tre scansioni, ciascuna di larghezza utile di 1.8 m. In molti casi per ottenere garanzia della copertura le linee di scansione sono state acquisite in parziale sovrapposizione. In totale sono stati acquisiti circa 1.400 km di scansioni radar per un totale di 17.600.000 tracce (*sweep*). Il "tracciamento" del carrello radar multicanale durante la scansione del sottosuolo, è stato possibile utilizzando un'antenna GPS *rover* (Figura 3) oppure un prisma riflettente a seconda delle condizioni di visibilità satellitare. Il carrello è stato quindi trainato da un automezzo sul quale era installata la consolle di controllo. Per assecondare eventuali asperità del terreno e ridurre i sobbalzi il blocco anteriore è stato svincolato da quello. Tutti i dati di navigazione sono stati registrati mediante un secondo sistema GPS differenziale in configurazione RTK in costante collegamento radio con la stazione master ubicata all'interno dell'area da rilevare.

Elaborazione del segnale GPR

Il processo di elaborazione è stato condotto con l'obiettivo di aggregare le strisciate in unità stradali e di estrarre dei piani di riflettività con dt = 1ns.

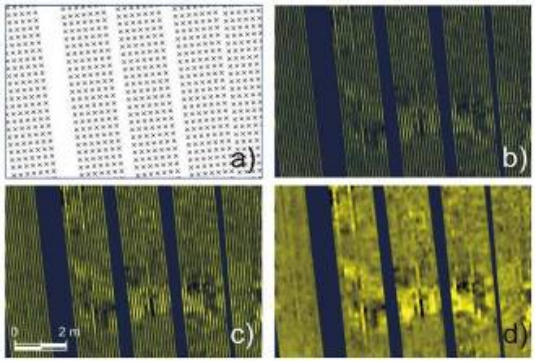


Figura 4. Modalità di visualizzazione del dato radar senza passare per il processo di ricalcolo dei valori di ampiezza su griglia regolare per poi interpolare l'immagine. a) cluster di punti con la sola rappresentazione della posizione. b), c) e d) cluster di punti colorati con dimensione del punto via via crescente sino a generare un'immagine continua.

I piani di riflettanza (*time slice*) sono stati estratti come *cluster* di punti nel formato ASCII PSI (id, x, y, z, riflettanza). Un codice Matlab è stato infine utilizzato per riunire i punti estratti da ogni singola scansione, integrati in una determinata finestra temporale, in un piano aggregato di riflettanza (*macro cluster*). Il processo è stato ripetuto per ogni livello di un ns nell'intervallo compreso tra 3 e 60 ns in ciascuna delle 49 unità stradali. In fase di visualizzazione del dato si è cercato di trarre vantaggio dalla densità della griglia di misura all'interno di ciascuna striscia multiscansione. Ciascun punto di un singolo piano di riflettanza è stato infatti rappresentato come un quadrato colorato in funzione dell'ampiezza della riflessione (Figura 4). La dimensione del punto è stata quindi ingrandita sino a generare un'immagine continua. Si tratta di un approccio analitico del tutto nuovo che ha dato ottimi risultati anche in altri casi analoghi.

Sintesi dei rilievi e ricostruzione delle reti

Tutti i dati raccolti durante il rilievo, unitamente alla cartografia storica disponibile (opportunamente omogeneizzata e georiferita), sono stati infine convertiti nel medesimo sistema di riferimento (Gauss-Boaga Fuso Ovest) ed importati nel sistema informativo dove è stata realizzata la sintesi dei dati e si è proceduto alla ricostruzione ed alla codifica delle reti. La ricostruzione del dato *radar* è avvenuta attraverso piani di riflettenza (Figura 5): per ciascuna strada sono stati visualizzati in sequenza 60 piani di intensitàEM (uno ogni ns), con sovrapposti gli elementi puntuali delle reti (pozzetti e camere).

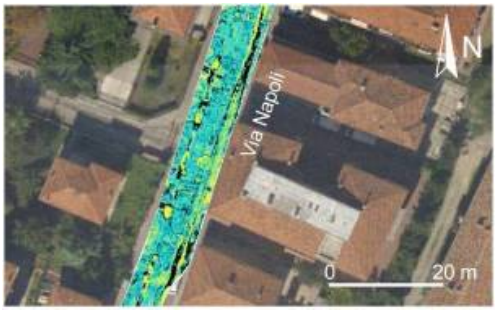


Figura 5. Esempio di sovrapposizione di time slice radar, calcolata al tempo di 20 ns, sul tratto mediano di Via Napoli.

Ad ogni segmento di rete è stato attribuito il diametro interno della condotta ed il verso di scorrimento, da un pozzetto (nodo di inizio) a quello successivo (nodo di fine) procedendo idraulicamente verso "valle". Per la vestizione dei segmenti di rete sono stati utilizzati gli attributi catturati nei pozzetti (per una percentuale superiore al 90 %) ed i dati storici (utili soprattutto per il confronto di geometria e diametro dei collettori principali).

	Pre-rilievo	Post-rilievo	Variazione (m)	Variazione (%)
Fognatura bianca		3300	+ 3300	nuovo dato
Fognatura nera		700	+ 700	nuovo dato
Fognatura mista	17300	28400	+ 11100	+ 64 %
Fognatura non definita	1600	0	- 1600	---
Fognatura (B,N,M) a diametro noto	15750	32400	+ 16650	+ 51 %

	Pre-rilievo	Post-rilievo	Variazione (n)	Variazione (%)
Collettori (Φ≥ 0.8m) - numero	94	167	+ 73	+ 44 %
Collettori lunghezza (m)	7700	10796	+ 3096	+ 29 %

Tabella 1. Confronto tra i dati relativi alle reti del bacino di Via Torino pre- e post- ricognizione.

Procedendo in questo modo sono stati ricostruiti nell'intero bacino di Via Torino più di 40 km di rete fognaria. L'incremento dello stato delle conoscenze ottenuto attraverso la ricognizione è stato decisamente significativo. Ciò è visibile da un rapido confronto in Figura 6 e apprezzabile dalla sintesi dei dati di Tabella 1.

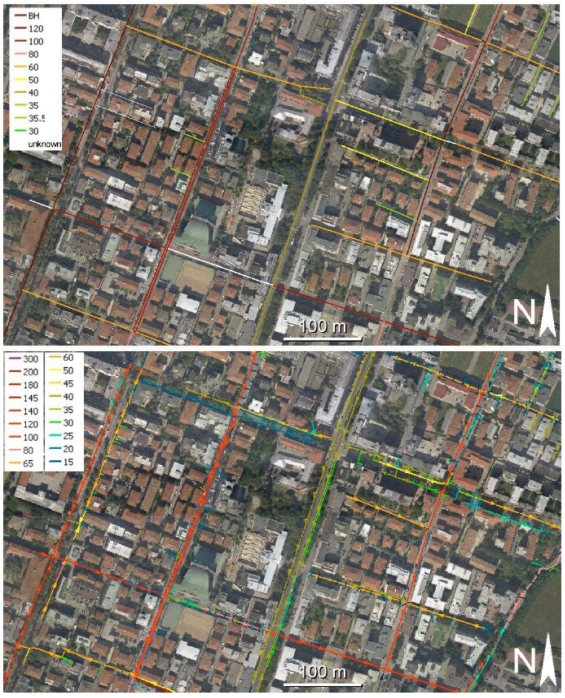


Figura 6. Confronto tra il livello conoscitivo pre (sopra) e post (sotto) ricognizione. I diversi colori rappresentano i diametri delle condotte.

Predisposizione del modello idraulico

Principale finalità del progetto era la realizzazione del modello idraulico del bacino di Via Torino al fine di simulare le portate di piena derivanti da eventi meteorici estremi ed individuare gli eventuali punti di criticità. A tale scopo la rete è stata semplificata ad un sistema di condotte e pozzetti chiave (figura 7).

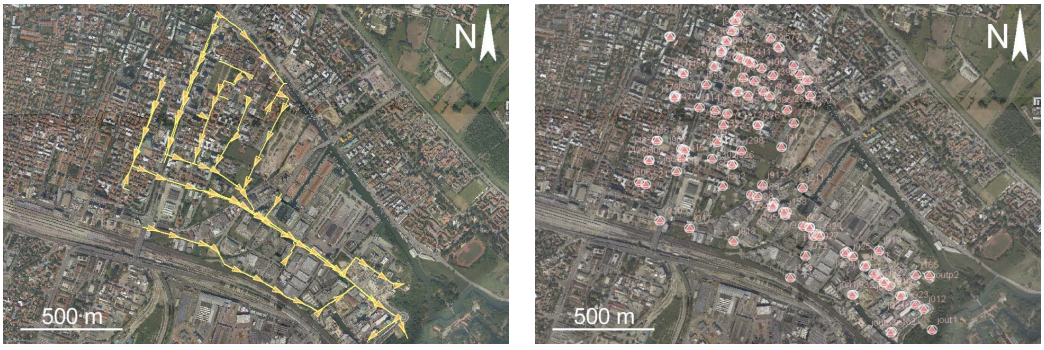


Figura 7. Modello delle condotte chiave a sinistra e dei pozzetti chiave a destra.

Per la simulazione è stato utilizzato il software EPA-SWMM 5.0 (Storm Water Management Model) sviluppato dall'agenzia ambientale governativa statunitense EPA (Environmental Protection Agency).
L'ambiente di superficie, ai fini modellistici, è stato organizzato in sottobacini, la cui costruzione in questo contesto urbano è stata piuttosto complessa; la stessa disponibilità del DTM, predisposto avvalendosi del dato LIDAR, ha agevolato il processo ma non è stata risolutiva. Sono stati istituiti e delineati 135 sottobacini (Figura 8), a ciascuno dei quali sono stati assegnati i seguenti parametri:
- superficie del bacino;
- lunghezza del percorso dell'acqua al nodo di chiusura;
- pendenza;
- percentuale di suolo impermeabile;
- coefficienti di Manning per il suolo impermeabile e permeabile: 0.01 e 0.1;
- altezza media delle depressioni di intrappolamento dell'acqua: da 0.02 a 0.06 m;
- percentuale dell'area priva di depressioni: da 20% a 25%;
- percentuale dell'acqua di deflusso.

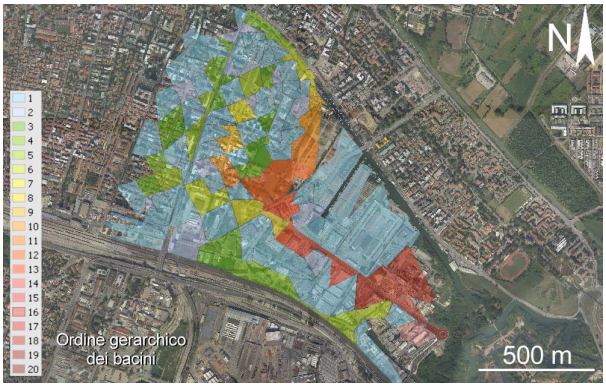


Figura 8. Schema dei sottobacini di raccolta delle acque meteoriche e reflue istituiti per il modello idraulico. Il colore rappresenta l'ordine gerarchico di ciascun bacino.

Il punto chiave della modellazione corrisponde sicuramente alla terminazione di Via Torino dove vi sono tre terminazioni, che in fase di piena devono essere simulate congiuntamente con una uscita a pelo libero e 2 stazioni di pompaggio. L'uscita a pelo libero (sfioratore) è stato modellato considerando una uscita vincolata dalle oscillazioni di marea. Una ulteriore terminazione di Via Pepe è stata invece modellata con un orifizio rettangolare in un pozzetto-vasca che convoglia i volumi idrici in eccesso sul vicino Canal Salso.

Conclusioni

La simulazione matematica indica che, alla fine dell'evento di riferimento (alle ore 12:00 del 26/9/2007), dalla rete fognaria è fuoriuscito un totale di 194.497 m^3 d'acqua (Figura 9) che, rispetto alla precipitazione cumulata alla stessa ora, pari a 382.010 m^3, rappresenta un'aliquota del 50,9% del volume di precipitazione. Una percentuale pari al 77,2% del complessivo volume di alluvionamento è fuoriuscita dalla rete nell'arco di sole due ore. In relazione alle modalità di deflusso superficiale delle acque è ragionevole ipotizzare che questo sia il volume d'acqua che determina l'alluvionamento effettivo.

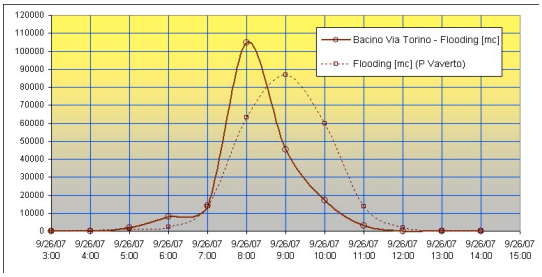


Figura 9. Sommatoria dei volumi parziali di alluvionamento (AI) diagrammati rispetto al tempo di tutti i nodi idraulici in sofferenza dell'intero bacino fognario di Via Torino. La curva a tratteggio indica l'alluvionamento con la precipitazione registrata alla stazione di Valle Averto.

I rilievi svolti, la calibrazione del modello e le simulazioni idrauliche effettuate considerando quattro ietogrammi hanno permesso l'individuazione di 12 zone con diverse soglie di criticità idraulica (vedi esempio di Figura 10).

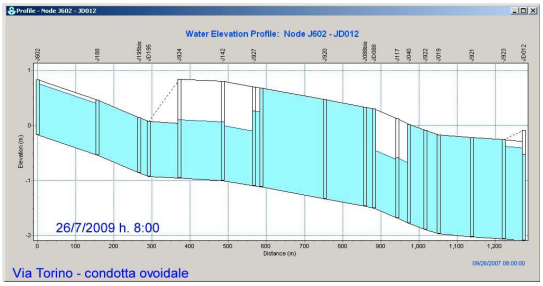


Figura 10. Tratto di condotta di Via Torino tra i nodi J602 e JD012 (simulazione: ore 8:00 del 26/9/2007). Si notino i nodi in condizioni critiche e i diversi segmenti di condotta in pressione.

In particolare le principali criticità identificate possono essere risolte con una serie di interventi di adeguamento della sezione delle condotte, di rimozione di alcuni restringimenti e di realizzazione di alcune vasche di prima pioggia (anche in sotterraneo) in corrispondenza di alcune aree verdi.

Riorganizzazione territoriale degli Uffici del Giudice di Pace

Gino Dardanelli (*), Alessandro Ferrara(**), Giuseppe Sortino(*).

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale dei Materiali (DICAM), Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze, Edificio 8, 90118 Palermo, Tel. 09123896228, Fax 091588853 gino.dardanelli@unipa.it
(**) Libero professionista, sandro.ferrara@mediigea.com

Riassunto

Lo studio si prefigge lo scopo di riorganizzare, con l'ausilio di applicativi *GIS.*, la distribuzione degli uffici del Giudice di Pace (*GdP*) nel territorio siciliano, prendendo in analisi le sedi dei distretti di Corte di Appello di Palermo e Caltanissetta.
L'articolazione dello studio avviene in due fasi :

a) la ricerca di una metodologia oggettiva per l'individuazione delle sedi del Giudice di Pace più idonea, in termini di efficienza ed efficacia, per offrire il servizio di giustizia;
b) l'individuazione del nuovo territorio di competenza per ogni sede del Giudice di Pace confermata, con un'attenta analisi spaziale.

Per la ricerca di una metodologia oggettiva è stata realizzata una scheda di valutazione per assegnare alle sedi dei *GdP* un punteggio in base ad alcune variabili, già indicate nell'art. 1 lett. b della legge n.148 del 14/9/2011, e più precisamente:

1) il numero di abitanti di competenza;
2) l'estensione del territorio da servire;
3) l'indice di litigiosità della popolazione sull'ambito locale;
4) l'indice di produttività. Tale indice è stato creato appositamente in questo studio e consente di "premiare" quelle sedi di *GdP* che nel periodo analizzato hanno evidenziato una capacità di smaltimento uguale o maggiore al valore fissato dalla soglia nazionale.

Per l'individuazione del nuovo territorio di competenza di ogni *GdP* è stata condotta un'analisi spaziale multicriteriale in ambiente *GIS*, su piattaforma Open Source.
Partendo dalla Sede Circondariale del Giudice di Pace sono stati associati i territori dei Comuni raggiungibili entro 50 Km di percorrenza stradale.
E' stata tenuta in grande considerazione la definizione della distanza massima che ogni cittadino deve percorrere per raggiungere la sede del *GdP* di competenza perché è l'elemento comune a tutti i cittadini e li pone su un piano di pari trattamento.
I risultati ottenuti permettono di affermare che l'analisi così strutturata consente comunque un'elevata riduzione degli uffici presenti sul territorio (pari al 74% contro l'83% operata dallo studio di revisione governativo), pur mantenendo operative le sedi dei *GdP* che nella valutazione oggettiva hanno ottenuto il punteggio migliore e riuscendo, comunque, a garantire un ufficio di Giudice di Pace a meno di 50 chilometri dalle sedi dei Comuni di competenza.

Abstract

The goal of the study is to reorganise the distribution of the offices of the Justices of the Peace *(JoP)* in the Sicilian jurisdiction, using Geographical Information Systems and taking into account the district offices of the Court of Appeals of Palermo and Caltanissetta.
The authors have divided the study into two phases:

a) to research an objective methodology for the identification of *JoP* offices most suited, in terms of efficiency and efficacy, to offer judicial services;

b) to redetermine, on the basis of careful spatial analysis, the defined territory of jurisdiction for each office of the *JoP*.

For the purpose of determining an objective methodology an evaluation form has been developed that will be used to assign a score to each office of the *JoP* according to certain variables, already indicated in art. 1 lett. b of law no.148 of 14/9/2011, namely:

1) the population of the area of jurisdiction;
2) the extent of the area;
3) an index of demand in the jurisdiction for services of the *JoP*;
4) an index of productivity. This index has been developed specifically for this study and aims to "rank" the performance of the offices of the *JoP* during the period of the study on the basis of their ability to dispose of business as well as or more efficiently than the national level.

In order to determine the new area of jurisdiction for each office of the *JoP*, a spatial and multi-criterial analysis has been undertaken using Open Source Software.

Each district head office of the *JoP* has been assigned the territories of the Communes located within 50km travelling distance by car.

Consideration has been carefully given to determining the greatest distance each citizen would have to travel to reach a competent office of the *JoP* because, according to the authors, it is one element that affects every citizen and all should receive equal treatment.

The results obtained allow us to affirm that the study structured in this manner in any case provides for a drastic reduction of offices within the territory (74%, compared to the 83% reduction indicated in the government revision study), while still guaranteeing an office of the Justice of the Peace within 50 Km from the seats of the municipal governments, and keeping open, in the areas where it is required, those offices of the *JoP* that obtained the highest scores in the objective valuation.

Introduzione

La figura del Giudice di Pace è stata introdotta nel nostro paese seguendo una tradizione di esperienze della giustizia maturate in alcune nazioni europee vicine per cultura giuridica alla nostra: cronologicamente in Inghilterra con la figura denominata *Justice of the Peace,* addirittura dal 1327, mentre in Francia, con la legislazione rivoluzionaria dal 1790, come simbolo della "fraternità", ed infine, in Spagna dal 1855.

Il Giudice di Pace ha concretizzato nel tempo la "*giustizia di prossimità*" favorendo l'accesso alla legge per le classi sociali meno abbienti, impossibilitate a sostenere oneri e costi proibitivi, materializzando la vicinanza della giustizia ai cittadini.

L'attuale struttura degli uffici del Giudice di Pace in Italia può essere così sinteticamente rappresentata:[1]

- 846 uffici del Giudice di Pace, di cui 4 sedi distaccate così distinte:
  a) 165 uffici presso le sedi circondariali;
  b) 681 uffici presso le sedi non circondariali.

Nel quinquennio 2005/2009 il numero dei nuovi procedimenti civili iscritti negli uffici del Giudice di Pace è stato in media pari al 34% del totale di nuovi procedimenti iscritti per il primo grado di giudizio (Giudici di Pace, Tribunali e Corti di Appello), pari a 470.448 procedimenti medi annui[2].

Si tratta di un volume di lavoro che ha sicuramente contribuito ad alleviare il numero dei procedimenti di primo grado a carico della giustizia civile.

E' dunque indispensabile preservare la figura storica di *bonus paterfamilias* al quale, specie in piccoli centri urbani o in contesti rurali, storicamente si rivolgeva una popolazione poco incline alle controversie giudiziarie in senso stretto, capace di patrocinare le ragioni della collettività rispetto alle infrazioni dei singoli.

[1] Relazione illustrativa allegata allo schema di Decreto Legislativo recante:"Revisione delle circoscrizioni giudiziarie – Uffici dei giudici di pace, a norma dell'articolo 1, comma 2, della legge 14 settembre 2011, n. 148"

[2] Fonte ISTAT - Dati rilevati dall'annuario statistico italiano 2011 – Capitolo 6 – Giustizia

Ma nonostante ciò, è ugualmente indispensabile riesaminare la distribuzione territoriale degli uffici giudiziari essendo trascorsi più di venti anni dalla data di istituzione, legge 21 novembre 1991 n. 374.
Con legge 14 settembre 2011, n. 148 il Ministro della Giustizia pro-tempore, dott. Nitto Palma, ha chiesto ed ottenuto la delega del Governo per la revisione delle circoscrizioni giudiziarie.
I lavori del gruppo di studio incaricato dal già citato dott. Palma e dall'attuale Ministro dott. Paola Severino sono stati formalizzati nella relazione finale approvata nel marzo 2012.
Essi fissano i criteri per la sopravvivenza degli uffici di Giudici di Pace: [3]

- Valore soglia pari a 568,3 procedimenti annui (rappresenta il carico di lavoro mediamente sostenibile dal personale giudicante nel corso dell'anno solare);
- Bacino di utenza non inferiore a 100.000 abitanti.

Lo studio – Prima fase
Questo studio, pur condividendo alcuni dei criteri adottati nello schema di Decreto Legislativo, vuole affrontare la problematica da una prospettiva diversa.
Il risparmio della spesa e l'incremento di efficienza[4] non possono essere gli unici obiettivi prioritari nei lavori di definizione della nuova geografia giudiziaria. Occorre tenere conto dell'efficacia del servizio stesso e della parità di trattamento di tutti i cittadini, anche in un periodo in cui spesso si abusa della espressione "*spending review*".
In questi termini si è espresso anche l'ufficio studi del Consiglio Nazionale Forense: *"Il Consiglio nazionale forense condivide gli obiettivi dichiarati ma non può fare a meno di ribadire che il quadro valoriale nel quale si inscrivono gli interventi in esame è quello del diritto di accesso alla giustizia, che è diritto fondamentale dell'individuo, insopprimibile nella forma di Stato democratica. La garanzia del diritto di accesso alla giustizia, per i cittadini e per le imprese, non può essere semplicemente considerata come un terzo ulteriore (implicito) obiettivo del processo in atto, bensì come la cornice costituzionale di riferimento alla luce della quale misurare la legittimità e la ragionevolezza delle concrete scelte operate".*[5]
Per questo motivo in questo studio non sono stati presi in esame vincoli del tipo "*Numero minimo di abitanti per bacino d'utenza*", parametro che non si potrebbe conciliare con altri presi in considerazione come "*Estensione del territorio servito*" o "*Indice di litigiosità della popolazione servita*", nel rispetto del principio della parità di trattamento.
I dati valutati comprendono le sedi dei Giudice di Pace dei distretti di Corte di Appello di Palermo e Caltanissetta e si riferiscono agli anni 2009-2010. Sono stati forniti dal Ministero della Giustizia – Dipartimento dell'Organizzazione Giudiziaria e dei Servizi - Direzione Generale di Statistica, integrati da dati forniti dalla Direzione Generale dei Sistemi Informativi Automatizzati – Cisia di Palermo, dello stesso Dipartimento del Ministero della Giustizia.
In dettaglio, per ogni sede dei *GdP* sono stati rilevati il numero:

- delle udienze nel settore civile;
- dei pendenti nel settore civile inizio anno;
- dei sopravvenuti nel settore civile;
- dei pendenti nel settore civile inizio anno successivo;
- delle udienze nel settore penale;
- dei pendenti nel settore penale inizio anno;
- dei sopravvenuti nel settore penale;
- dei pendenti nel settore penale inizio anno successivo;

[3] Relazione illustrativa allegata allo schema di Decreto Legislativo recante:"Revisione delle circoscrizioni giudiziarie – Uffici dei giudici di pace, a norma dell'articolo 1, comma 2, della legge 14 settembre 2011, n. 148"
[4] Art.1 comma 2 Legge 14 settembre 2011, n. 148
[5] Osservazioni del CONSIGLIO NAZIONALE FORENSE -Audizione presso le Commissioni giustizia del Senato della Repubblica e della Camera dei deputati - (Roma, 19 Luglio 2012)

In prima fase è stata determinata una metodologia oggettiva che, assegnando dei punteggi in base alle variabili prese in esame, definisca una graduatoria di sedi che hanno lavorato con efficienza ed efficacia al servizio della giustizia.
Per la determinazione dei punteggi è stata realizzata una scheda di valutazione di ogni sede dei *GdP* che prende in esame le seguenti variabili:

1. il numero di abitanti di competenza;
2. l'estensione del territorio da servire;
3. l'indice di litigiosità della popolazione di competenza;
4. l'indice di produttività.

Le suddette variabili sono state così valorizzate:

1. *numero abitanti di competenza* - calcolata sommando i valori di riferimento (ISTAT 2010) di ogni comune di competenza del *GdP*. Il valore ottenuto è stato standardizzato e rielaborato fissando il peso della variabile pari a 1.
2. *estensione del territorio da servire* - calcolata sommando i valori di riferimento (ISTAT 2010 in Kmq) di ogni comune di competenza del *GdP*. Il valore ottenuto è stato standardizzato e rielaborato fissando il peso della variabile pari a 0,7.
3. *indice di litigiosità della popolazione di competenza* - ottenuta dal rapporto tra la media dei due anni presi a riferimento delle nuove iscrizioni in materia civile e il numero degli abitanti (raggruppati per 1000). Il valore ottenuto è stato standardizzato e rielaborato fissando discrezionalmente il peso della variabile pari a 0,9.
4. *indice di produttività* - E' stato creato appositamente per questo studio e consente di "premiare" quelle sedi dei *GdP* che nel periodo analizzato hanno fatto registrare una capacità di smaltimento uguale o maggiore al valore della soglia nazionale; si è attribuito valore 0 se la capacità è stata minore del valore soglia, valore 1 se è stata uguale o maggiore del valore soglia.

Ciascuna variabile è stata standardizzata secondo la formula:

$$\zeta = \frac{(\chi - \mu)}{\sigma} \qquad [1]$$

dove ζ è la variabile standardizzata, χ è la variabile di partenza, μ è la media e σ è la deviazione standard.
Il punteggio ottenuto dalla somma delle variabili standardizzate e pesate, ha consentito di stilare una graduatoria che è stata presa a riferimento nella scelta delle sedi *GdP* da mantenere *(Tabella 1)*.

	B	D	O	H	I	J	K	L	O	P	Q	AT	AW	AX
1	Ufficio	Circondario	Abitanti di competenza	Variabile abitanti standard	Variabile abitanti standard e pesata(p=1)	Superficie Kmq	Variabile superfice standard	Variabile superfice standard e pesata (p=0,7)	Indice di litigiosità	Variabile litigiosità standard	Variabile litigiosità standard e pesata (p=0,9)	Media nuove iscrizioni	Indice di Produttività	Punteggio Ottenuto
18	Cefalu'	Termini Imerese	45.825	0,02	0,02	543,77	1,78	1,25	33,31	3,26	2,93	1640	0	4,20
20	Termini Imerese	Termini Imerese	74.197	0,34	0,34	245,28	-0,08	-0,06	16,75	0,50	0,45	1901	1	1,73
24	Corleone	Termini Imerese	33.823	-0,12	-0,12	790,77	3,32	2,33	7,18	-1,09	-0,98	285	0	1,23
27	Polizzi Generosa	Termini Imerese	14.116	-0,34	-0,34	486,70	1,42	1,00	13,53	-0,03	-0,03	223	0	0,63
33	Lercara Friddi	Termini Imerese	18.951	-0,28	-0,28	241,41	-0,11	-0,08	17,60	0,64	0,58	373	0	0,22
34	Misilmeri	Termini Imerese	57.672	0,15	0,15	266,68	0,05	0,03	9,78	-0,66	-0,59	607	0	-0,40
36	Montemaggiore Belsito	Termini Imerese	20.753	-0,26	-0,26	497,03	1,49	1,04	4,79	-1,49	-1,34	134	0	-0,56
44	Gangi	Termini Imerese	13.680	-0,34	-0,34	317,55	0,37	0,26	5,67	-1,34	-1,21	93	0	-1,29
48	Mezzojuso	Termini Imerese	9.110	-0,39	-0,39	158,22	-0,63	-0,44	9,00	-0,79	-0,71	92	0	-1,54
55	Piana degli Albanesi	Termini Imerese	6.942	-0,42	-0,42	103,44	-0,97	-0,68	5,69	-1,34	-1,20	57	0	-2,30

Tabella 1. Scheda di valutazione delle sedi di Giudice di Pace.

Lo studio – Seconda fase

L'elemento determinante che ha caratterizzato questo studio è stato il vincolo della distanza massima che ogni cittadino deve percorrere per raggiungere la sede del *GdP* di competenza perché, come detto, è l'elemento comune a tutti i cittadini e li pone su un piano di pari trattamento.
Per l'individuazione del nuovo territorio di competenza di ogni *GdP* è stata condotta un'analisi spaziale multicriteriale in ambiente *GIS*, su piattaforma *Open Source, Quantum GIS* ver. 1.8.0 (http://www.qgis.org/).

Sono state georeferenziate le sedi comunali nel sistema di riferimento WGS 84 e per semplicità di rappresentazione la sede di ogni *GdP* è stata individuata coincidente con la relativa Sede Comunale.
La prima analisi è stata effettuata sulle sedi circondariali dei *GdP* (queste non rientrano tra le sedi da sopprimere) utilizzando il *Network Analyst* e in particolare la funzione di *Service Area* per individuare il territorio raggiungibile, in termini di percorrenza stradale, entro 50 Km dalla sede prescelta.
Individuata l'area di percorrenza è stata effettuata una *query spaziale* per individuare tutte quelle sedi comunali del Circondario che risultassero servite dalla sede del *GdP* prescelta *(Figura 1).*

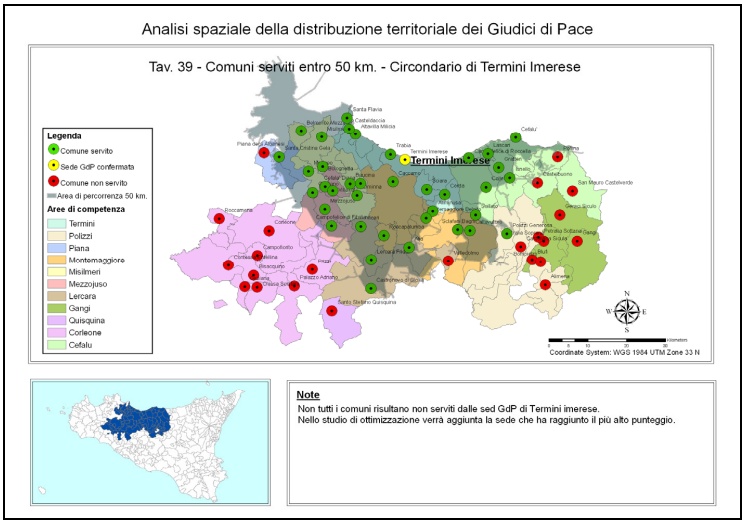


Figura 1. Select by location per individuare i comuni serviti dalla sede prescelta

Nel caso in cui non tutti i comuni del circondario risultano serviti dalla sede prescelta, è stata effettuata una nuova valutazione di *Service Area,* aggiungendo la sede del *GdP* del Circondario che nella scheda di valutazione ha ottenuto il più alto punteggio *(Figura 2)*.
Reiterando il procedimento e una volta ottenuta la copertura totale delle sedi comunali è stata generata la matrice dei costi di spostamento all'interno della rete con la funzione di *Cost Matrix* in modo da stabilire, in base alla minore distanza di percorrenza, quali Comuni assegnare alla competenza di ogni sede del *GdP* confermata *(Tabella 2, Figura 3).*
Stabilite le nuove competenze delle sedi dei *GdP* è stata effettuata un'ultima analisi per verificare se, con le nuove competenze, queste sedi potessero raggiungere comunque un numero di nuove iscrizioni maggiore del valore soglia nazionale *(Figura 4).*
Per giungere al dato presunto delle nuove iscrizioni nei nuovi territori di competenza della sede del *Gdp* si è operato nel seguente modo:

- la media delle nuove iscrizioni di ogni sede di *GdP* dei due anni presi a riferimento è stata suddivisa, proporzionalmente al numero di abitanti, per i propri Comuni di competenza;
- il numero presunto di nuove iscrizioni di competenza di ogni singolo Comune è stato successivamente sommato secondo le nuove aggregazioni comunali stabilite dalla precedente analisi.

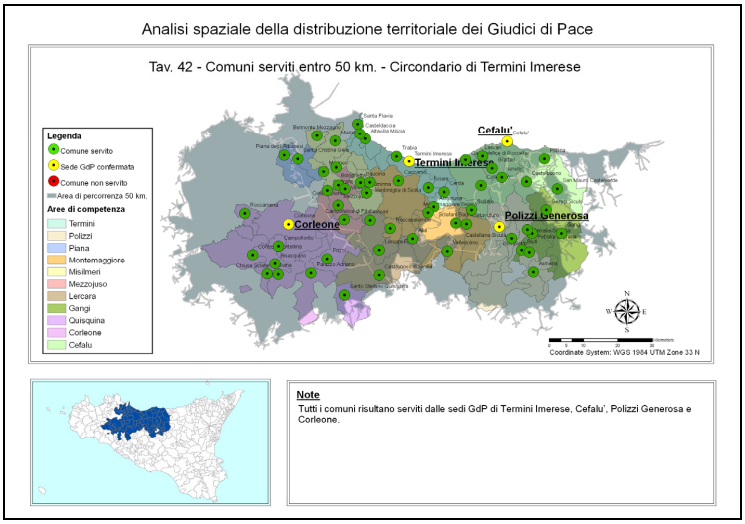


Figura 2. Select by location per verificare la copertura totale dei comuni del circondario.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Comune	Sede GdP di competenza	Distanza in km.	Comune	Sede GdP di competenza	Distanza in km.	Comune	Sede GdP di competenza	Distanza in km.	Comune	Sede GdP di competenza	Distanza in km.
2	Campofelice di Roccella	Cefalu'	14,72	Belmonte Mezzagno	Corleone	42,40	Alia	Polizzi Generosa	42,65	Aliminusa	Termini Imerese	24,32
3	Castelbuono	Cefalu'	22,48	Bisacquino	Corleone	17,02	Alimena	Polizzi Generosa	21,96	Altavilla Mi	Termini Imerese	16,72
4	Cefalu'	Cefalu'	0,00	Bolognetta	Corleone	31,55	Blufi	Polizzi Generosa	11,69	Baucina	Termini Imerese	22,55
5	Gratteri	Cefalu'	16,04	Campofelice di Fitalia	Corleone	36,12	Bompietro	Polizzi Generosa	14,59	Caccamo	Termini Imerese	7,56
6	Isnello	Cefalu'	18,83	Campofiorito	Corleone	10,66	Caltavuturo	Polizzi Generosa	23,06	Casteldacc	Termini Imerese	18,42
7	Lascari	Cefalu'	11,07	Castronovo di Sicilia	Corleone	40,37	Castellana Sicula	Polizzi Generosa	6,50	Cerda	Termini Imerese	16,29
8	Pollina	Cefalu'	20,43	Cefala' Diana	Corleone	29,86	Collesano	Polizzi Generosa	25,26	Ciminna	Termini Imerese	25,64
9	San Mauro Castelverde	Cefalu'	37,01	Chiusa Sclafani	Corleone	20,79	Gangi	Polizzi Generosa	29,57	Lercara Fri	Termini Imerese	37,02
10				Contessa Entellina	Corleone	21,76	Geraci Siculo	Polizzi Generosa	28,31	Misilmeri	Termini Imerese	27,00
11				Corleone	Corleone	0,00	Petralia Soprana	Polizzi Generosa	16,74	Montemag	Termini Imerese	26,92
12				Giuliana	Corleone	21,42	Petralia Sottana	Polizzi Generosa	14,25	Roccapalu	Termini Imerese	27,38
13				Godrano	Corleone	25,55	Polizzi Generosa	Polizzi Generosa	0,00	Santa Flav	Termini Imerese	22,06
14				Marineo	Corleone	26,52	Scillato	Polizzi Generosa	15,53	Sciara	Termini Imerese	13,16
15				Mezzojuso	Corleone	32,65	Sclafani Bagni	Polizzi Generosa	30,43	Termini Im	Termini Imerese	0,00
16				Palazzo Adriano	Corleone	25,02	Valledolmo	Polizzi Generosa	29,93	Trabia	Termini Imerese	4,68
17				Piana degli Albanesi	Corleone	32,44				Ventimiglia	Termini Imerese	18,57
18				Prizzi	Corleone	20,16				Vicari	Termini Imerese	30,62
19				Roccamena	Corleone	18,80				Villafrati	Termini Imerese	29,44
20				Santa Cristina Gela	Corleone	29,74						
21				Santo Stefano Quisquina	Corleone	34,65						

Tabella 2. Distanze chilometriche dalle sedi GdP confermate.

Conclusioni

Lo studio così strutturato ha consentito di analizzare situazioni del territorio siciliano molto complesse, evidenziando le criticità che lo caratterizzano.

Su tutti spicca il Circondario di Termini Imerese per il quale nella relazione illustrativa allegata allo schema di Decreto Legislativo recante: "Revisione delle Circoscrizioni giudiziarie – Uffici dei Giudici di Pace", è previsto il mantenimento di una sola sede dei *GdP,* per un bacino d'utenza pari a 295.069 abitanti e con un'estensione territoriale pari a 3.650 Kmq, che comprometterebbe il principio della parità di trattamento tra i cittadini e degli abitanti di ben 21 Comuni.

In questo caso specifico la metodologia utilizzata ha dimostrato che, mantenendo in vita quattro sedi di *GdP,* piuttosto che una sola, è possibile effettuare una revisione della geografia giudiziaria e un riassetto territoriale delle competenze, nel rispetto sia dei vincoli imposti dallo studio, sia del valore soglia nazionale stabilito dallo studio governativo.

Dai risultati ottenuti si può affermare che lo studio così strutturato consente comunque una riduzione significativa degli uffici dei Giudice di Pace presenti sul territorio pari al 74% contro l'83% della riduzione operata dallo studio di revisione governativo, riuscendo al contempo, come valore aggiunto, a garantire la parità di accesso alla giustizia da parte di tutti i cittadini.

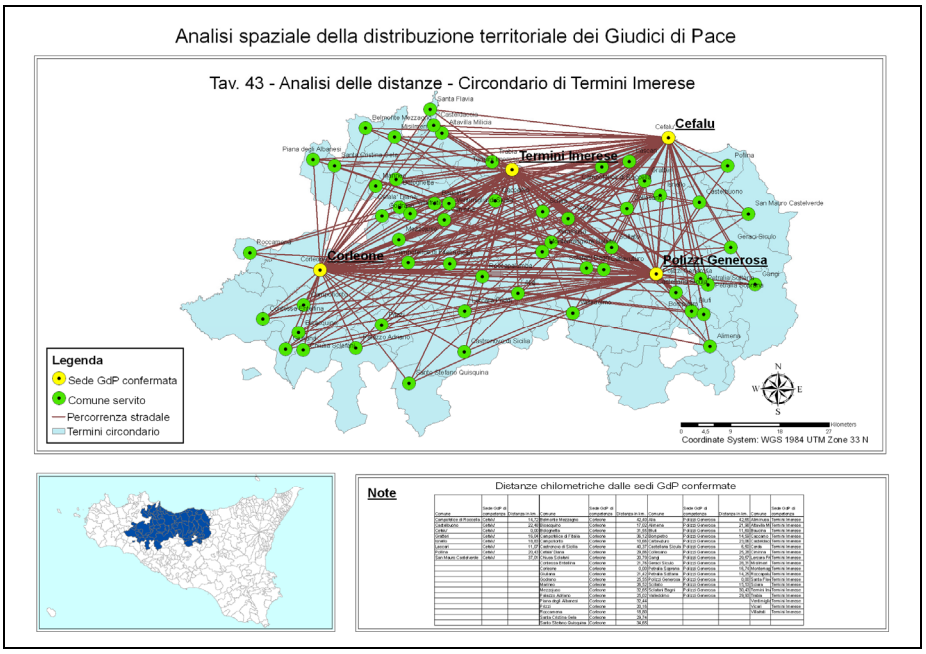
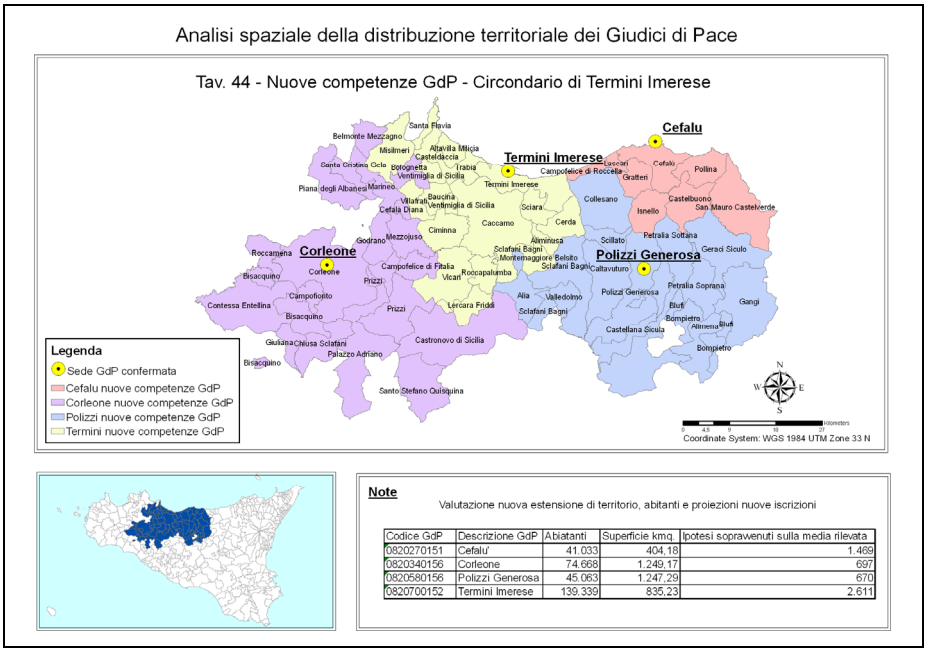


Figura 3. Analisi delle distanze (Cost Matrix) e assegnazione dei comuni alle competenze del GdP.



Codice GdP	Descrizione GdP	Abitanti	Superficie kmq.	Ipotesi sopravenuti sulla media rilevata
0820270151	Cefalu'	41.033	404,18	1.469
0820340156	Corleone	74.668	1.249,17	697
0820580156	Polizzi Generosa	45.063	1.247,29	670
0820700152	Termini Imerese	139.339	835,23	2.611

Figura 4. Nuove competenze della sede dei GdP e verifica superamento valore soglia.

Bibliografia

Maurizio Stanziola. (2010) *"Il Giudice di Pace in Italia"* - Intervento svolto al 16° Convegno Nazionale dell'associazione Giudici di Pace Tenutosi a Roma, all'Hotel Nazionale il 22 Aprile 2010 – Pubblicato su www.filodiritto.com il 30/04/2010

Relazione illustrativa allegata allo schema di Decreto Legislativo recante: *"Revisione delle circoscrizioni giudiziarie – Uffici dei giudici di pace, a norma dell'articolo 1, comma 2, della legge 14 settembre 2011, n. 148"*

ISTAT - Annuario statistico italiano 2011

Legge 14 settembre 2011, n. 148

Osservazioni del Consiglio Nazionale Forense - Audizione presso le Commissioni giustizia del Senato della Repubblica e della Camera dei deputati - (Roma, 19 Luglio 2012)(op. cit.)

Monitoraggio della diga "Castello" di Bivona (AG) con tecniche GNSS

G. Dardanelli (*), V. Franco (*), N. Perfetti (**), L. Puccio (*)

(*) DICAM, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali, Università di Palermo
Viale delle Scienze, 90118 Palermo, Tel. 09123896228, Fax 091588853,
e-mail: gino.dardanelli@unipa.it, vincenzo.franco@unipa.it; luigi_puccio@libero.it
(**) GEOTOP S.r.l., Via Brecce Bianche 152, 60131 Ancona
Tel. 071213251, Fax 07121325282, e-mail: nicolaperfetti@geotop.it

Riassunto

Le dighe di grandi dimensioni, di terra o di cemento, sono infrastrutture che rivestono un ruolo critico nella fornitura idrica e nella produzione energetica. Come è noto in letteratura, il carico e lo scarico delle forze sottopone la diga a elevate sollecitazioni strutturali che devono essere monitorate. Queste possono essere dovute alle fluttuazioni del livello dell'acqua, all'assestamento della struttura, all'attività di frane situate nelle vicinanze o all'attività sismica. Rilevare preventivamente i potenziali problemi consente di adottare le misure necessarie per evitare che si verifichi una catastrofe, o mitigarne gli effetti. Il lavoro proposto è in corso di svolgimento presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale Aerospaziale, dei Materiali (DICAM) dell'Università degli Studi di Palermo e ha come scopo il monitoraggio della Diga "*Castello*", sbarramento di materiali sciolti situato tra i comuni di Bivona e Alessandria della Rocca in provincia di Agrigento, mediante il posizionamento sul coronamento di tre ricevitori GNSS. Le antenne sono state monumentate su appositi pilastrini in acciaio fissati al suolo mediante piccola fondazione in cls; il *rate* impostato ai ricevitori è stato di 30 sec., l'angolo di *cut-off* di 10°. La campagna di rilevamento è in corso e ad oggi sono stati archiviati 12 mesi di dati con cadenza settimanale. Verificata la buona qualità dei dati a disposizione si è proceduto con l'elaborazione degli stessi mediante i software *NDA Professional* e *Bernese GPS 5.0*.

Abstract

The big earth dams or concrete, are facilities that play a critical role in water supply and energy production. As is known in the literature, the loading and discharge of the dam forces submit high structural stresses that must be monitored. These may be due to fluctuations in water level, settling of the structure, activity in the vicinity of landslides or seismic activity. Proactively detect potential problems can take the necessary measures to prevent a catastrophe from occurring or mitigate its effects. The proposed work is underway at the Department of Civil Engineering, Environmental, Aerospace, Materials (DICAM), University of Palermo and has as its purpose the monitoring of the dam "Castello", rockfill dam located between the towns Bivona and Alessandria della Rocca in the province of Agrigento (Italy), by positioning in the culmination of three GNSS receivers. The antennas have been placed on special steel pillars fixed to the ground by means of small foundation concrete; the rate set to the receivers was 30 sec., the angle of cut-off of 10 °. The measurement campaign is underway and to date have been stored 12 months of data on a weekly basis. After verifying the quality of the available data we have proceeded with the development of such software by *NDA Professional* and *Bernese GPS* Software, referring to the permanent stations at an early stage of Palermo, Trapani and Agrigento, then we opted for the stations of Prizzi and Agrigento, all managed by DICAM.

Introduzione

Gli avvenimenti che caratterizzano in diverso modo le funzionalità delle strutture consentono di rendere più diffusa la cultura del controllo: alla base di questa non può che esserci una delle fondamentali operazioni topografiche, il monitoraggio, che si sta affermando come uno degli strumenti gestionali più efficaci per garantire la sicurezza in servizio dell'opera. Il monitoraggio delle strutture, o in generale il monitoraggio ambientale, riveste un ruolo fondamentale nell'ambito della sicurezza, perché consente di valutare nel tempo le modificazioni del fenomeno in esame, con l'obiettivo ultimo di riconoscere l'insorgere di situazioni di pericolo per cose o persone e quindi consentire un'efficace allarmistica. Il monitoraggio strutturale non è, di per sé, un argomento di studio recente; al contrario ha una lunga tradizione in diverse discipline. Per quanto riguarda le tecniche di monitoraggio geodetico, i metodi tradizionalmente utilizzati per il controllo delle strutture possono essere suddivisi, come è ben noto, in due categorie: quelli che permettono di determinare spostamenti verticali (livellazione geometrica o trigonometrica, livellazione idrostatica), e quelli che permettono di determinare spostamenti orizzontali (triangolazione, collimatore, pendoli dritti e rovesci). Tali metodi, che consentono di raggiungere elevate precisioni, sono ormai ben consolidati e largamente utilizzati, ma hanno il limite di non fornire una descrizione continua del fenomeno, nel senso che si eseguono campagne periodiche di misura con la presenza di personale tecnico; inoltre le tecniche citate difficilmente si prestano all'automatizzazione delle procedure di acquisizione o di un sistema di allarme. Per questi motivi, tra le nuove metodologie sviluppate nel tempo, da affiancare ai metodi tradizionali di monitoraggio, un ruolo importante è ricoperto dal posizionamento satellitare GPS di precisione, che permette di avere una maggior risoluzione temporale e una strumentazione che ben si presta all'automatizzazione delle misure e alla realizzazione di un sistema di allarme semi-automatico. Altro vantaggio del metodo risiede nel fatto che il sistema GPS fornisce contemporaneamente le deformazioni nelle tre dimensioni.

La diga di terra oggetto del nostro studio è costruita in materiali sciolti con manto di tenuta in conglomerato bituminoso ubicato presso Bivona, in provincia di Agrigento, con andamento planimetrico costituito da due tratti rettilinei laterali, di 165,00 m. quello in destra e di 317,00 m. quello in sinistra, raccordati da un arco di cerchio dello sviluppo di 309,80 m., con raggio di 268,08 m. e concavità rivolta verso valle.

La sezione trasversale di massima altezza ha forma trapezoidale, con larghezza in testa di 9,00 m. e larghezza alla base di 214,00 m. circa; il paramento di valle, rivestito con manto erboso su terreno vegetale, è costituito da una linea spezzata, interrotta da due banchine di larghezza 2,50 m. alle quote di 284,00 m.s.m. e 272,00 m.s.m.

La diga è costituita da materiale omogeneo a grana grossa (alluvioni di fondo valle e formazioni calcaree), con uno strato di sottofondo del manto bituminoso di monte, dello spessore di 2,00 m. costituito da pietrame selezionato, regolarizzato con uno strato di 15 cm. di pietrisco, sul quale poggia il manto di tenuta formato da un pacchetto costituito, dall'interno verso l'esterno: da uno strato di conglomerato bituminoso semiaperto tipo binder) dello spessore di 10 cm., da un sovrastante strato di conglomerato bituminoso chiuso, impermeabile, di 5 cm., da un successivo strato di conglomerato bituminoso drenante dello spessore di 8 cm., seguito da un altro strato di conglomerato impermeabile di 8 cm., su cui è realizzato un sigillo in mastice dello spessore di 1,5÷2 mm. Il manto di tenuta si attesta su una struttura di c.a. munita di sottostante paratia in c.a., dello spessore di 80 cm., che si immerge nella formazione argillosa di base; tale struttura è percorsa da un cunicolo ispezionabile lungo tutto il suo sviluppo, ove recapita il sistema di raccolta dei drenaggi, costituito da tubi di raccolta degli stessi dal manto di tenuta, che confluiscono nella parte alta del cunicolo, lato valle, e da tubi di raccolta dei drenaggi del sottofondo del manto, che confluiscono nella parte bassa del cunicolo. Al cunicolo longitudinale si accede tramite due torrette di estremità e tramite un cunicolo trasversale che fa capo, a valle, a un pozzo verticale. I terreni di fondazione sono costituiti da materiali alluvionali di spessore variabile, poggianti sulla formazione di argille marnose, risalente al Miocene. Sulle sponde la coltre dei terreni di ricoprimento della formazione è costituita da argille rimaneggiate con frequenti inclusioni di gesso e di calcare, di spessore variabile da 5,00 a 10,00 m. ed anche più in sponda sinistra, dove l'instabilità superficiale riscontrata ha reso necessario un intervento di placcaggio.

Background

Negli ultimi venti anni molti studi scientifici sono stati prodotti con le finalità di monitoraggio di dighe di terra con metodi GPS, come quelli legati alle applicazioni di reti di stazioni permanenti. L'analisi seguente riporta i principali casi studio e non ha la pretesa di essere esaustiva.

Il più importante esempio di monitoraggio di dighe in terra è lo studio effettuato dal "*Metropolitan Water District of Southern California – USA*" in collaborazione con il "*Department of Geodesy and Geomatics Engineering",*Università di New Brunswick in Canada. Il sistema di monitoraggio automatico è stato pienamente operativo dal 2000 e oggetto di tali studi è stato il "*Diamond Valley Lake"*, che comprende tre grandi dighe di terra. Dato che il lago si trova in una zona sismicamente attiva, il progetto è stato implementato da una rete di monitoraggio GPS in continuo collegata alle stazioni di riferimento (CORS) della California (Duffy et al., 2001). Lo studio è stato inoltre sviluppato in un secondo momento dal *Canadian Centre for Geodetic Engineering* (Chrzanowski et al., 2003, 2008).

In Cina ci sono circa 22.000 dighe e un sistema di monitoraggio continuo è stato realizzato dall'*Università di Hohai* a Nanjing e dal *Politecnico di Hong Kong* (He et al., 2004). Dagli autori di tale studio è stato sviluppato un sistema multi-antenna GPS che è stato posizionato su ogni punto da monitorare, con l'ausilio di un unico ricevitore (GMAS), abbattendo notevolmente i costi di realizzazione e gestione.

In Europa, dal 2006, molte ricerche sono state indirizzate al fine di monitorare dighe di terra: un esempio è lo studio effettuato dall'*Istanbul Technical University Department of Geomatics* sulla diga di Atatürk, in Turchia (Kalkan et al., 2010), con la cooperazione del prestigioso *Turkish General Directorate of State Hydraulic Works,* attraverso l'impiego di metodi geodetici avanzati come quelli GNSS.

Inoltre, negli ultimi anni le applicazioni GNSS al monitoraggio strutturale come quello delle dighe hanno aperto nuovi mercati nel mondo e in questo lavoro è significativo riportare le nuove esperienze commerciali di alcune ditte leader (Drummond, 2010, Van Cranenbroeck, 2011).

In Italia, invece, non sono state riscontrate in letteratura metodi GNSS per il monitoraggio di dighe in terra, dato che generalmente vengono adottate le tecniche tradizionali. Uno studio significativo è stato svolto sulla diga di Cixerri in Sardegna dal *Politecnico di Milano* (Barzaghi et al., 2009).

La sperimentazione

Il sito scelto è rappresentato dalla Diga *"Castello"*, sbarramento di materiali sciolti situato tra i comuni di Bivona e Alessandria della Rocca, in provincia di Agrigento, in collaborazione con l'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità – Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti - Servizio 3 – Gestione Infrastrutture per le Acque. Sono state utilizzate attrezzature hardware *Topcon*, ed in particolare due antenne PG-A1 con ground plate e una G3-A1, ubicate sul coronamento dello sbarramento in appositi pilastrini in acciaio inox prodotti dalla "Geotop S.r.l.", fissati al suolo mediante piastre in acciaio e successivo getto di calcestruzzo; alle antenne sono stati accoppiati due ricevitori GB-500 e uno NET-G3A.

Prima di iniziare la registrazione dei dati, i ricevitori sono stati impostati in Laboratorio con un intervallo di campionamento di 30 sec. Le sessioni di registrazione sono iniziate il giorno 8 Aprile 2011 (EPOCH_MJD: 55659) e sono attualmente in corso; per questo lavoro si è scelto di elaborare un arco temporale di 6 mesi di dati (8/4/2011 – 8/10/2011). Fase preliminare all'elaborazione è stata il pretrattamento dei dati mediante l'utilizzo di due software utilizzati in ambito internazionale: *TECQ* e *QC2SKY* (Estey, 1999). È stata utilizzata anche un'altra tipologia di analisi per la verifica della qualità iniziale dei dati, utilizzando un software sviluppato dalla *"Galileian Plus s.r.l."* denominato *Network Deformation Analysis* (NDA), nella versione *Lite*.

A tale pacchetto, che presenta avanzati livelli di automazione, è stato aggiunto un modulo *Data Quality Evaluation* (DQE), per il controllo di qualità dei dati GPS che rappresenta un potente strumento di diagnosi per valutare l'attendibilità delle soluzioni ottenute (Briano e Chersich, 2003).

Il processamento dei dati è stato impostato con soluzione su singola linea di base che con soluzione di rete, correzione della posizione del centro di fase dell'antenna, effemeridi precise dei satelliti GPS, oltre alle effemeridi relative al Sole e alla Luna ottenute dal *Jet Propulsion Laboratory* (JPLEPH). Con lo scopo di garantire maggiore precisione nella stima delle coordinate, sono stati caricati all'interno del programma i parametri relativi alle maree oceaniche. Successivamente si è scelto quale modellazione utilizzare per il calcolo e la correzione dell'errore ionosferico e dell'errore troposferico.
Per modellare l'errore ionosferico è stato scelto il modello di *Klobuchar* (1996), utilizzando i parametri giornalieri forniti dal CODE dell'Osservatorio Astronomico dell'Università di Berna, mentre per ciò che riguarda la modellazione della troposfera sono stati utilizzati sia il modello di *Saastamoinen* sia quello di *Hopfield*, entrambi modificati con la mapping function di *Niell* (1996). Infine, per ciò che riguarda il fissaggio delle ambiguità si è scelto di utilizzare il metodo LAMBDA associato ad un test secondario sul ratio, che ad oggi risulta una delle metodologie maggiormente utilizzate in letteratura.
La prima fase di impostazione del software ha riguardato la creazione della rete ed il suo setting. Innanzitutto è stato fissato come sistema di riferimento terrestre rispetto al quale il programma avrebbe successivamente calcolato le stime delle coordinate l'IGS08, che rappresenta l'ultima realizzazione del sistema ITRF2008; il processamento dei dati è stato impostato con soluzione su singola linea di base sulle SP della Rete UNIPA.
La seconda fase di impostazione del software è stata quella di settare le stazioni della rete: si è convenuto di utilizzare 4 stazioni permanenti della rete GNSS dell'Università di Palermo e precisamente Agrigento (AGRI), Palermo (PALE), Prizzi (PRIZ) e Trapani (TRAP) per il pre-inquadramento; poi per monitorare i punti di controllo monumentati sul coronamento della Diga (BIV1, BIV 2, BIV 3) si sono utilizzate sia le stazioni più prossime di PRIZ e AGRI, che quelle più lontane di PALE e TRAP.

Analisi dei risultati

Di seguito vengono riportati in figura 1i diagrammi delle stime delle coordinate calcolate con NDA Professional delle tre stazioni in diga BIV1, BIV2 e BIV3, processate dalle stazioni permanenti della rete UNIPA di Palermo, Agrigento, Trapani e Prizzi; i ricercatori del DICAM utilizzano questo software per determinare le coordinate delle stazioni permanenti già da alcuni anni (Dardanelli e Sciortino, 2010).

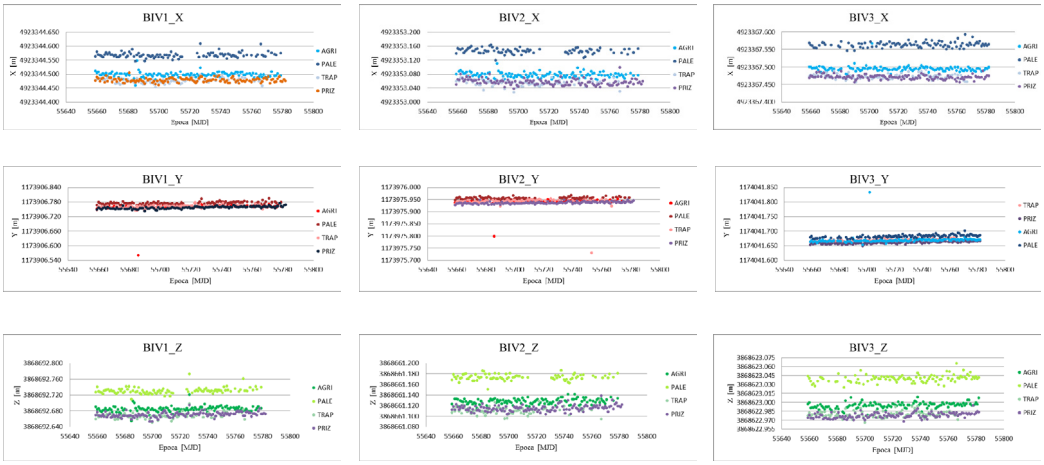


Figura 1. Valori delle stime delle coordinate X, Y e Z delle stazioni BIV1, BIV2 e BIV3.

In generale, le stime delle coordinate dalle tre stazioni permanenti di Agrigento (AGRI), Prizzi (PRIZ) e Trapani (TRAP) si sono presentate dello stesso ordine di grandezza e con andamento temporale pressoché sovrapponibile in tutte e tre le direzioni del sistema di riferimento (IGS05) X, Y e Z. Per quel che riguarda la stima delle coordinate dalla Stazione di Palermo (PALE) nelle due direzioni X e Z, l'andamento si è presentato similare a quello delle altre tre Stazioni con una differenza costante di circa 60 mm. Tale margine è da attribuire alle deformazioni annue del sistema ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) di circa 100 mm. rispetto al sistema dinamico ITRS (*International Terrestrial Reference System*).
Per ciò che riguarda invece l'andamento temporale degli SQM (Scarti Quadratici Medi) si ottengono risultati dello stesso ordine di grandezza per tutte e stazioni monitorate, submillimetrico; in particolare dalla stazione AGRI l'andamento è pressoché rettilineo e si mantiene, salvo qualche outlier (in corrispondenza del MJD 55731), al di sotto di 1.00 mm.; dalle stazioni di PALE e di TRAP l'andamento è sempre rettilineo e, nelle direzioni X e Z assume valori compresi nell'intervallo 0,7÷0,9 mm., mentre nella direzione Y valori compresi tra 0.3÷0.5; dalla stazione di PRIZ, in tutte le direzioni, l'andamento è rettilineo e il valore di SQM è compreso sempre nell'intervallo 0,3÷0,9 mm (Tabella 1).

	BIV 1			BIV 2			BIV 3		
SP	X (mm)	Y(mm)	Z(mm)	X (mm)	Y(mm)	Z(mm)	X (mm)	Y(mm)	Z(mm)
AGRI	1.00	0.40	0.80	0.90	0.40	0.60	0.80	0.30	0.60
PALE	0.90	0.30	0.70	0.80	0.30	0.60	0.70	0.30	0.60
PRIZ	1.00	0.30	0.80	0.90	0.30	0.70	0.70	0.30	0.60
TRAP	1.00	0.50	0.80	1.00	0.50	0.80	0.80	0.30	0.50

Tabella 1. Valori dello SQM delle tre stazioni sulla diga.

Si è valutato pertanto, considerate le notevoli lunghezze delle baselines e le modalità previste in letteratura, di scartare i risultati provenienti dalle stazioni permanenti di Palermo (PALE) e di Trapani (TRAP), valutando le coordinate dalle sole stazioni più prossime dalla diga e quindi da AGRI e PRIZ, attraverso una trasformazione di sistemi di riferimento.

Trasformazione dal Sistema Globale al Sistema Locale e considerazioni sui risultati
Al fine di valutare meglio il comportamento delle tre stazioni in diga è stato opportuno effettuare una trasformazione di sistemi di riferimento. Dato un sistema di riferimento e l'eventuale ellissoide associato, per descrivere la posizione di un punto sono possibili diversi metodi di rappresentazione.
Per problemi di controllo locale, quali ad esempio l'analisi metrica di deformazioni e quindi il monitoraggio di fenomeni locali, le coordinate locali costituiscono un sistema di coordinate ortogonali: definito un punto origine per un'area di interesse, le coordinate degli altri punti sono date come Nord, Est e Up rispetto all'origine. Si consideri un punto P_0 di coordinate:

$$[\varphi_0 \quad \lambda_0 \quad h_0]^T \Leftrightarrow [X_0 \quad Y_0 \quad Z_0]^T \qquad [1]$$

In un sistema di coordinate locali avente come origine P_0, le coordinate degli altri punti sono date dalla:

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ -\sin\varphi_0\cos\lambda_0 & -\sin\varphi_0\sin\lambda_0 & \cos\varphi_0 \\ \cos\varphi_0\cos\lambda_0 & \cos\varphi_0\sin\lambda_0 & \sin\varphi_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} = E_{P0}\Delta x_{P0,P} \qquad [2]$$

È stata assunta come campagna "zero" la prima registrazione dei dati, quindi quella effettuata in data 08 Aprile 2011. Stimate le coordinate X, Y, e Z delle tre stazioni in diga BIV1, BIV2 e BIV3

dalle due stazioni permanenti di Agrigento (AGRI) e Prizzi (PRIZ), per ottenere delle coordinate su cui poi effettuare il cambio di sistema di riferimento si è effettuata la media aritmetica.
Quindi sono state calcolate le differenze fra le coordinate stimate nei successivi giorni e quelle del primo giorno di registrazione, calcolando in questo modo le delta X, delta Y e delta Z.
Dopo tale calcolo si è effettuato il cambio di sistema di riferimento, da quello globale (X,Y,Z) a quello locale (Est, Nord, Up), utilizzando la matrice (eq. 2) di trasformazione (Biagi et. al., 2009).
Di seguito si riportano le serie temporali delle delta Est, delta Nord e delta Up per ogni stazione in diga.

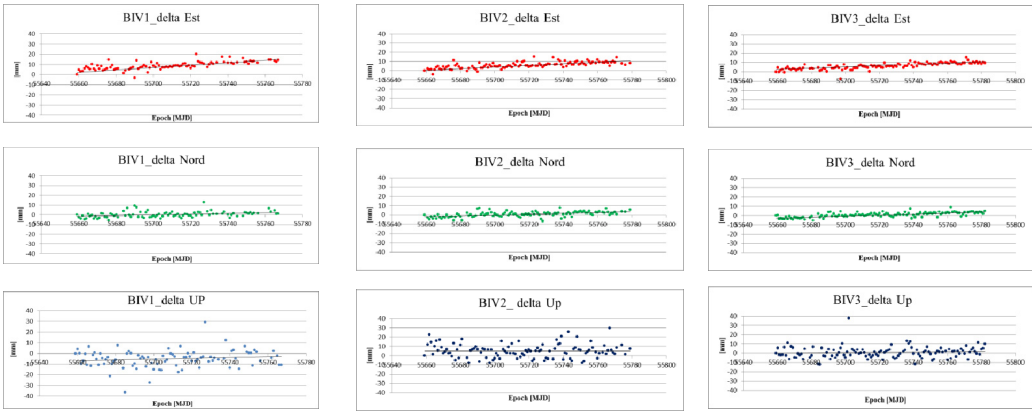


Figura 2. Serie temporali delta Est, delta Nord, delta Up di BIV1, BIV2 e BIV3.

Le serie temporali delle tre stazioni in direzioni Est e in direzione Nord, nonostante un trend limitato, evidenziano variazione di coordinate di circa 5 mm., ordine di grandezza conforme ai movimenti e alle velocità annuali della placca euro-asiatica. Per quel che riguarda la serie temporale in direzione Up, per le stazioni BIV1 e BIV3, che sono quelle monumentale in destra e in sinistra idraulica, presentano variazioni di coordinata dell'ordine di 2÷3 mm., risultato sovrapponibile alle campagne di rilievo effettuate mediante livellazione dall'Ente Gestore della diga. La stazione BIV2, quella monumentata al centro del coronamento, soggetta al maggiore carico idrodinamico, non presenta quasi nessuna variazione di coordinata: è lecito correlare tale risultato, così come gli altri, alle variazioni di quota dell'invaso.

Il trattamento dei dati con Bernese 5.0

Al fine di comparare e validare il processamento dei dati effettuati con la versione Professional di NDA, è stato utilizzato il Bernese GPS Software Version 5.0, sviluppato dall'Università di Berna, un pacchetto software completo per l'analisi di dati provenienti dalla rete GPS e da altre reti GNSS. Il software permette la localizzazione precisa delle stazioni satellitari riceventi e di dati utili nella costruzione di modelli dell'atmosfera terrestre, della rotazione terrestre e di altri parametri. Per l'approfondimento di tale software si rimanda a testi specifici messi a disposizione e facilmente consultabili sul web al sito*: http://www.bernese.unibe.ch/.*
Bernese 5.0, a differenza di NDA Professional, processa le baselines strutturandole ad "albero", elaborando quelle che, nell'arco delle 12 ore, hanno avuto il maggior numero di ambiguità.
Le stazioni utilizzate per le elaborazioni sono le tre stazioni in diga BIV1, BIV2 e BIV3 e le due SP della rete UNIPA, Agrigento (AGRI) e Prizzi (PRIZ). È stato valutato, in sede di progettazione, di vincolare nelle elaborazioni la stazione di Agrigento (AGRI).

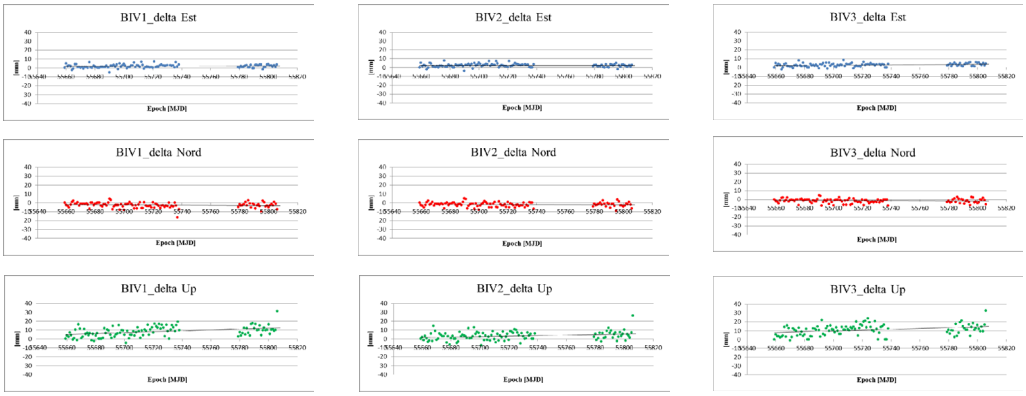


Figura 3. Serie temporali di BIV1, BIV2 e BIV3 calcolate con Bernese 5.0.

Bernese 5.0 ha confermato che le stime delle coordinate e le loro evoluzioni temporali delle tre stazioni in diga BIV1, BIV2 e BIV3 presentano sia nel sistema di riferimento globale che in quello locale un andamento conforme ai movimenti della placca euro-asiatica, alle caratteristiche costruttive della diga e alle variazioni di quota di invaso. Per ciò che riguarda l'andamento della serie temporale relativa alla stazione BIV1, così come nelle altre due stazioni, il software non ha computato e stimato, dato il numero eccessivo di ambiguità da fissare, le coordinate nei giorni MJD compresi nell'intervallo 55740÷55776.
Nelle direzioni Y e Z si registra una variazione positiva di coordinata dell'ordine di 2 mm.; in direzione X una variazione di 5 mm.

Conclusioni

Le stime delle coordinate e le loro evoluzioni temporali delle tre stazioni in diga dalle tre Stazioni Permanenti di Agrigento (AGRI), Prizzi (PRIZ) e Trapani (TRAP) si sono presentate dello stesso ordine di grandezza e con andamento temporale pressoché sovrapponibile in tutte e tre le direzioni del sistema di riferimento (IGS05) X, Y e Z. Per quel che riguarda la stima delle coordinate dalla Stazione di Palermo (PALE) nelle due direzioni X e Z, l'andamento si è presentato similare a quello delle altre tre Stazioni con una differenza costante di circa 60 mm.
Tale margine è da attribuire alle deformazioni annue del sistema ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) di circa 100 mm. rispetto al sistema dinamico ITRS (*International Terrestrial Reference System*). Si è valutato di "scartare" le due stazioni più lontane dal corpo diga, quelle di Palermo (PALE) e Trapani (TRAP). È stato opportuno passare dal sistema di riferimento globale (X,Y,Z) al sistema di riferimento locale (Est, Nord, Up), per avere una piena visione del fenomeno.
I risultati di tale elaborazione sono sovrapponibili a quelli della livellazione che ogni due mesi viene effettuata in diga: gli spostamenti registrati in direzione Est e Nord sono conformi ai movimenti della placca euro-asiatica; quelli in direzioni Up sono compatibili con i risultati della livellazione.
Si è evidenziato inoltre che i risultati ottenuto con NDA Professional sono, nelle tre direzioni (Est, Nord, Up), compatibili con quelli ottenuti con Bernese GPS Software.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare l'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità, Dipartimento dell'Acqua e dei Rifiuti, Gestione delle infrastrutture per le acque della Regione Sicilia, ed in particolare il Dirigente Ing. Francesco Greco, il responsabile della Diga "Castello" Ing. Mario Alfonso e del Geom. Gaglio per la documentazione fornita.
Un ringraziamento speciale all'Ing. Fabrizio Cairone, tecnico responsabile della Diga, per la disponibilità incondizionata e l'entusiasmo al lavoro di sperimentazione.

Bibliografia

Van Cranenbroeck, J., 2011. State of the Art in Structural Geodetic Monitoring Solutions for Hydro Power Dams. In: *Proceedings of FIG Working Week 2011 Bridging the Gap between Cultures*, Marrakech, Marocco, 18-22 May

Drummond, P., 2010. Combining Cors Networks, Automated Observations and Processing, for Network Rtk Integrity Analysis and Deformation Monitoring. In: *Proceedings, 15th FIG Congress 2010, Facing the Challenges – Building the Capacity*, Sydney, Australia, 11-16 April

Dardanelli, G., Sciortino, M., (2010). Time series analysis in the UNIPA NRTK GNSS network. In: *Proceedings, 5° International Conference And Exhibition Melaha 2010*, Location Technologies and Solutions: The Next Frontier, Cairo, Egypt

Kalkan Y., Alkan, R.M., Bilgi, S., 2010. Deformation Monitoring Studies at Atatürk Dam. In: *Proceedings, 15th FIG Congress 2010, Facing the Challenges – Building the Capacity*, Sydney, Australia, 11-16 April

Barzaghi, R., Cannizzaro, L., Gaetani, M.E., Pinto, L. 2009. Il monitoraggio di una diga a gravità mediante GPS. In: *Atti della 13ª Conferenza Nazionale ASITA*, Bari, Italy.

Biagi, L. 2009. *I fondamentali del GPS*. Geomatic Workbooks, Vol. 8.

Chrzanowski, A. S., Chrzanowski, A., Massiéra, M., Bazanowski, M., Whitaker, C., 2008. Study of a long-term behavior of large earth dam combining monitoring and finite element analysis results. In: *13th FIG International Symposium on Deformation Measurements and Analysis*, Lisbon, Portugal, May 12-15 2008

He, X., Yang, G., Ding, X., Chen, Y., 2004. Application and evaluation of a GPS multi-antenna system for dam deformation monitoring, *Earth Planets Space*, n. 56, pp. 1035–1039.

Briano, P., Chersich, M. 2003. NDA-DQE: un software italiano per l'Analisi in Automatico del Dato GPS. In: *Atti della of 7ª Conferenza Nazionale ASITA*, Verona, Italy.

Chrzanowski, A. S., Chrzanowski, A., Massiéra, M., 2003. Use of geodetic monitoring measurements in solving geomechanical problems in structural and mining engineering. In: *Proceedings, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements*, Santorini, Greece, 2003

Duffy, M., Hill**,** C., Whitaker, C., Chrzanowski, A., Lutes, J., Bastin, G., 2001. An automated and integrated monitoring program for Diamond Valley Lake in California. In: P*roceedings of the 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements*, Orange, USA, pp. K-1 to K-23.

Estey, L. H**.,** Meertens, C. M., 1999. TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS data. *GPS Solutions*, vol. 3, n. 1, pp. 42-49.

Klobuchar, J. A., 1996. *Global Positioning System: Theory and Applications".* Volume I, Cap. XII: Ionospheric effects on GPS, pp. 485-515, American Institute of Aeronautics and Astronauitcs Inc.

Niell, A. E., 1996. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, n. B2, pp. 3227-3246.

Conservazione e valorizzazione dei castelli del Salento (Puglia) attraverso censimento in ambiente GIS

Maurizio Delli Santi

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (CNR – IBAM)
Area di Ricerca di Potenza, Contrada Santa Loja 85050 Z.I. Tito Scalo (PZ)
Tel. +39 (0)971 427328, Fax +39 (0)971 427333, e-mail: m.dellisanti@ibam.cnr.it

Riassunto
L'informazione contenuta in un dato geografico, ossia il posizionamento spaziale, è una sorta di metadato, in quanto costituito da un'altra serie di dati, tra loro correlati: l'insieme di coordinate geografiche, i valori numerici del dato stesso, la posizione che occupa nel tempo, ecc. La congiunzione di valori numerici ed alfanumerici alla ordinaria coppia di coordinate geografiche consente di valorizzare il mero dato geografico si trasforma in informazione, un input che, rappresentata su una mappa per mezzo delle tecnologie GIS, consente elevate opportunità di utilizzazione. Creati quali strumenti di controllo tecnico del territorio, i GIS attualmente costituiscono uno degli *atout* più strategici per la "lettura" transdisciplinare del patrimonio culturale. Infatti, è sempre più intensa l'applicazione GIS al campo della conservazione del patrimonio edilizio esistente, in particolare per quello storico-monumentale, con un graduale abbandono della scala urbanistica in favore di rappresentazione grafico-informatiche differenti , che giunge a rappresentare anche il manufatto architettonico. Il Sistema Informativo Territoriale per la schedatura sistematica dei castelli presenti nell'area salentina (in particolare, in questa prima fase, nella provincia di Lecce) implementa tecnologie di analisi GIS. Con esse si evidenziano immediatamente le caratteristiche comuni dei castelli, creando così tabelle che, convertite in formati speciali, collegano dinamicamente i manufatti e i segmenti tematici: una fonte preziosa per un innovativo strumento di analisi, in chiave di recupero conservativo e successiva valorizzazione, dell'intero sistema castellare.

Abstract
Information in a geographical data, that is a spatial positioning, is a kind of metadata, because it is made by others series of data that are linked each other: the set of geographical coordinates, the numerical values of the same data, position in the time, etc. The connection of numerical and alfa-numerical values with an ordinary couple of geographical coordinates let us improve simple geographical data, which becomes information, like an input, that is on a GIS map and permit important opportunities for using. Since they have been created as instruments for the technical control of territory, now the GIS are the most strategic *atout* for the trans-disciplinary "interpretation" of cultural heritage. In fact it is more and more intensive the GIS application in building heritage conservation field, especially in the historical and monumental ones, with a gradual abandonment of urban scale for different graphical-information representations, that ends with the representation of architectonic artefact. The Geographical Information System for a systematical cataloguing of castles that are in Salento area (especially, in this first phase, in Lecce province) implements GIS technologies. With them we can underline the common characteristics of the castles, by creating tabs that, in special formats, associate artefacts and thematic segments dynamically: a precious source for an innovative analysis instrument, so there could be a conservative recovery and a subsequent development of the whole castles system.

Introduzione

I dati geografici presentano identità peculiari rispetto agli altri tipi di dati, atteso che le informazioni contenute sono caratterizzate da una specifica posizione di ordine spaziale. Il dato geografico, infatti, è costituito dall'insieme di coordinate geografiche, dal valore numerico del dato stesso, dalla posizione che occupa nel tempo, dagli attributi, ecc. Associando ad una semplice coppia di coordinate geografiche una serie di altri valori numerici, alfanumerici, statistici, il dato geografico si trasforma in informazione, informazione che, rappresentata su una mappa per mezzo delle tecnologie GIS, risulta avere potenzialità di utilizzo davvero elevate.

Un percorso di analisi GIS di insediamenti di tipo castellare nel Salento (Fig. 1), ognuno con specifica valenza storica, paesaggistica e tipologica (ognuna, a sua volta, suscettibile di ulteriore valorizzazione) ha condotto a delineare un importante "giacimento" di ordine storico-architettonico, di cui di seguito daremo un *aperçu*, che - pur nella ineludibile sintesi dovuta al tipo di comunicazione - può fornire indicazioni macro, principalmente legate all'insediamento edilizio e alla dimensione storica, utili a riavviare il dibattito sulla necessità di un nuovo censimento –di tipo globale- di questo patrimonio da valorizzazione, onde evitare l'ulteriore deperimento, sia del singolo manufatto che della "rete" culturale di cui fa parte, recuperando così una parte non indifferente della nostra cultura e della nostra storia.

I castelli del Salento

Il *castellum,* derivato da *castrum,* individua un complesso architettonico di matrice difensiva, con caratteristiche di presidio del territorio su cui insiste in chiave prettamente difensiva, talvolta –ma non sempre- in funzione della tipologia morfologica del terreno, nonché – quanto alla finalità ultima del *castrum* - in ragione del rapporto con la città (o, a seconda delle epoche, le *universitas* e comunità in genere) e il territorio in genere. Questa è la cifra fondamentale del castello fino a tutto il Seicento, così come acclara tutta la letteratura sull'arte edificatoria e sulle funzioni dei castelli: strutture di presidio del territorio, fortemente caratterizzate dalla funzione difensiva e comunque militare (Fig. 2). Successivamente si può notare (l'analisi GIS fornisce anche una evidenza empirica a livello strutturale) che la nozione comunemente intesa di "castello" si allarga anche a quella di "palazzo" (spesso baronale o marchesale, talvolta ducale). Proprio lo strumento di GIS ci consente di comprendere che quei palazzi sovente sono nati sui resti, o pure come ampliamenti che si susseguono nel tempo, di elementi fortificati preesistenti, soprattutto quando si vitalizza il sistema frazionato dei feudi: non vanno comprese, però, in questo modello generale che contrassegna il Salento, le vere *fortezze* che hanno conservato il taglio difensivo-militare, quali i presìdi di Lecce, Gallipoli, Otranto (Fig. 3), ecc. Ad esclusione di questa tipologia, quindi, il potere politico, con il passare dei secoli e il diradarsi di guerre e invasioni, trasforma l'arte edificatoria: cosicché, il castello passa da strumento di difesa a manufatto che deve rendere ragione della magnificenza della signoria locale (quasi sempre baronale). I caratteri tipici delle strutture fortificate mutano: si tratta di un fenomeno che appare già nel XVI secolo ma risulterà pressoché definitivo e irreversibile nel periodo che segue le rivolte sociali della metà del Seicento. Tuttavia, alcune di queste strutture succedute alla fortificazione originaria hanno mantenuto alcuni elementi tipici della struttura morfologica del castello. Così, di conseguenza, andranno esclusi dal patrimonio dei "palazzi" salentini, il castello Lequile, quello di Sternatia, integralmente ricostruito nella prima metà del XVIII secolo, come pure quello di San Cesario, ricostruito un secolo prima; nella stessa ottica, va citato il castello di Corigliano (Fig. 4), che ha mantenuto l'impostazione di matrice "aragonese, nonostante la cui ricca facciata barocca del 1667, e riteniamo anche quello di Acaya (Fig. 5), che poi registrerà l'apposizione del cd. *baluardo* nel 1536, avviando le fortezze cosiddette "moderne", così come avverrà per i castelli di Parabita, Copertino e Lecce. Questo censimento si completa con i castelli di Cavallino, Martano, Castrignano, Monteroni e Tutino, pur con tracce di fortificazioni non sempre di facile lettura.

Il primo modello storico, sul territorio, era stato quello denominato *a recinto,* struttura difensiva certamente primigenia, il cui primo insediamento, in area leccese, sembrerebbe attestato a

Fulcignano: un recinto quadrangolare sui cui lati si innestano torri anch'esse quadrangolari di rafforzamento, nonché volumi funzionali di supporto. La lettura del territorio conduce a rilevare tipologie anche più semplici, in cui esisteva un unico torrione, congiunto ad un'ampia area recintata: la casistica conosce i modelli di Carpignano, Nociglia, Galatone e Tricase (almeno per la parte più antica), oltre alla torre di Federico II a Leverano, cui fanno da contraltare –in terra di Taranto e Brindisi- i castelli Pulsano, Fragagnano e Mesagne.
I castelli di Morciano, Sanarica, Montesardo, invece, vanno segnalati quale traccia di modalità costruttive più sofisticate, che sembrano abbandonare la struttura difensiva più semplice per evolvere verso modelli concettualmente più compiuti, quale quello avente *schema quadrangolare con torri quadrate ai vertici*. Esempi importanti sono quelli dei manieri di Racale, Supersano, Patù e Giuliano, cui seguirono, da un punto di vista costruttivo, i castelli aragonesi, che sostituiscono alle torri alte e quadrangolari torri più basse e a base rotonda e scarpata: permane, dunque, un modello quadrangolare, ai cui vertici sono innestate torri circolari. Questo processo di trasformazione derivò dopo l'invasione turca del 1480: si segnalano così i castelli di Gallipoli, Martano, Otranto, Borgagne (1498), Palmariggi, Barbarano (1505), Acaya (1500-1506), Andrano (1505), Corigliano (1505), e Caprarica del Capo (1524). Infine la comparsa del *baluardo* nel castello di Acaya nel 1536, darà inizio alle fortezze costruite "alla moderna", ne abbiamo un esempio nel castello di Lecce, di Copertino e Parabita.
La seconda metà del Cinquecento, poi, si segnala per il graduale ma risolutivo subentro delle linee circolari rispetto a quelle angolari, fino al "tipo" scarpato nel piano inferiore, circondato da uno o più ordini di cordoni, sovente con il prospetto diviso in tre parti (le esperienze più significative sono quelle di Cocumola, Cannole, Cavallino, Lizzanello e Casamassella). Ormai, anche nel mantenere funzionalità di presidio (difensivo, se non militare), si registrano crescenti apparati decorativi e architettonici: avviene ciò che si accennava sopra, ossia che l'aristocrazia politica del Salento aveva da tempo voluto sostituire le necessità militari con quelle della visibilità. Così, i manufatti architettonici si qualificheranno sempre più come attributi di *decoro* civile e di prestigio aristocratico, requisiti che troveranno compiutamente soddisfatti con il frontespizio del *palazzo baronale* di San Cesario (realizzata nel 1630): *palazzo*, appunto, e non più *castello* !

Struttura del G.I.S.
Per la realizzazione dell'applicazione GIS, è stato necessario seguire una precisa procedura programmatica che ha previsto, come prima fase, la creazione di un modello dati.
Un modello dati si ottiene attraverso un percorso logico che consiste, innanzi tutto, nell'avere chiari gli obiettivi da conseguire, nella selezione e nell'organizzazione delle informazioni da utilizzare, nella scelta dei *software* e dei formati più consoni al tipo di informazioni utilizzate, nella valutazione del trattamento dati (tecniche elaborazione, implementazione ed analisi dei dati).
L'elemento più interessante del modello dati di un GIS sono i database. In genere la cartografia ha come obiettivo principale la produzione di carte per la rappresentazione delle informazioni; un GIS invece ha come obiettivo principale l'analisi dei dati, per diventare uno strumento di supporto alle decisioni.
Nell'analisi condotta mediante GIS non si addiviene ad una mera rappresentazione geometrica dei manufatti o degli oggetti: ciò che si evidenzia sono piuttosto le dirette relazioni spaziali tra i diversi elementi, come la connessione, l'adiacenza o l'inclusione.
Dalle suddette relazioni, il sistema GIS consentirà - tramite la strutturazione di dati diversi ma completi – di definire analisi complesse di monitoraggio dello spazio, delineando di volta in volta i tratti specifici del *topos.*
In pratica, il modello dei dati, in una ottica di efficace interazione, deve prevedere l'inserimento, al suo interno, di dati descrittivi dei singoli oggetti reali, definibili come attributi dello spazio.
Questi tre insiemi di informazioni (geometria, topologia, attributi) vengono poi effettivamente implementati in un GIS mediante uno specifico modello fisico, che oggi si basa su strutture dei dati di tipo relazionale, tipiche dei *database* più evoluti e su architetture *hardware* e *software* di tipo

client/server, tipicamente in reti locali di elaboratori: nel nostro caso, il software GIS utilizzato per l'implementazione e la successiva gestione dei dati è stato ARCGIS della Esri (Fig. 6)
Più generalmente, le fasi essenziali per produrre un'elaborazione del dato geografico sono: input dei dati, gestione dei dati, analisi dei dati, presentazione dei dati.
Occorrerà comunque distinguere la tipologia di dati stessi, essi sono distinguibili solitamente in due categorie: dati spaziali (vale a dire il posizionamento degli elementi geografici, nel nostro caso i castelli del Salento) e dati attributo (cioè l'insieme del monumento, localizzazione dello stesso, denominazione, secolo di costruzione, stato di conservazione, etc.), associati ai dati spaziali.
I dati spaziali (mappe, rilievi, ecc.) sono stati implementati mediante digitalizzazione manuale, *scanning* e *files* grafici in formato vettoriale; i dati attributo, invece, sono stati introdotti tramite *script* da tastiera di elaboratore elettronico.
E' importante evidenziare il fatto che in un GIS le informazioni vettoriali sono sempre accompagnate da informazioni topologiche. La topologia è la branca della matematica che studia le relazioni tra gli oggetti geometrici; essa analizza quelle proprietà delle figure che si mantengono inalterate anche quando le figure stesse subiscono una deformazione continua.
In generale, tutte le informazioni inserite nel GIS risultano provenienti da supporti cartacei, tabelle-attributi o *database* interni al *software*. Ricordiamo, infatti, che i dati attributo valgono quali risultanze della ricerca storico-urbanistica, degli studi storico-artistici e di altre analisi svolte presso lo stesso IBAM-CNR.
Sinteticamente, si riporta che l'identificazione dei monumenti, sulla relativa cartografia di base, è stata eseguita secondo la tipologia puntuale: l'opzione di una tipologia da riferire al geotipo, ossia alla classe di oggetto grafico, dipende non solo dalla sua estensione nello spazio, ma anche dall'uso previsto o prevedibile che si vuol fare di ogni elemento nelle fasi di gestione dei dati.
Dopo il processo descritto, sono state opportunamente redatte delle tabelle-attributo collegate in modo interattivo ai castelli, così da determinare, alle richiesta di dati tramite puntamento, una classe di informazioni dettagliate sul sito oggetto di interesse.
I dati attributo sono stati inseriti in un database interno (Fig. 7): ogni tabella è collegata al geotipo attraverso il legame ID, che viene automaticamente gestito dal *software* ARCGIS.
La gestione complessa dei dati, ovvero le procedure per archiviare e ricercare le informazioni introdotte in un GIS, sono poi affidate ad un *database* che gestisce le relazioni informative.
Il tracciato per giungere ad individuare le informazioni si articola in "chiavi di ricerca" definiti a target univoco e a gerarchia differenziata di domanda: ad esempio, sarà possibile ricercare le singole emergenze artistico-architettoniche dei castelli oppure le caratteristiche strutturali e morfologiche degli stessi.
La gestione dei diversi tematismi cartografici associati ad un bene culturale è stata affidata alla tecnica dell'*overlay*, cioè della codifica per *layers* differenti delle informazioni di base.

Conclusioni

Lo strumento di analisi, in continuo aggiornamento e che presenta agilità di lettura-interpretazione, si compone di documenti informatici di facile utilizzo, orientati non solo all'indagine meramente scientifica bensì anche alle istanze istituzionali, al fine di varare iniziative – locali o regionali – tese a recuperare culturalmente, ma anche sotto il profilo economico, il patrimonio storico architettonico dei castelli del Salento, in Puglia.
Lo studio così condotto contiene pertanto spunti di valorizzazione interessate a ipotesi di sviluppo territoriale per la programmazione di un organico piano di recupero del patrimonio architettonico a valere quale riqualificazione di un più ampio territorio di riferimento.



Figura 1. La Terra d'Otranto in una veduta del 1649.



Figura 2. Castello di Acquarica del Capo.



Figura 3. Castello di Otranto.



Figura 4. Castello di Corigliano d'Otranto con la facciata barocca.



Figura 5. Castello di Acaya.

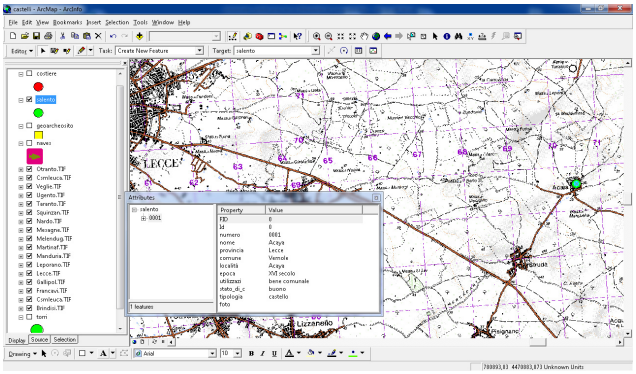


Figura 6. Schermata durante una sessione di lavoro.

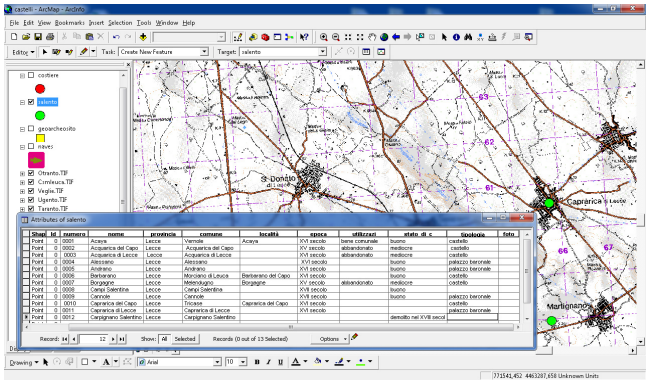


Figura 7. Schermata durante una sessione di lavoro:
si evidenzia il database associato ai dati spaziali (castelli).

Bibliografia

Basile V. (2008), *Gli Imperiale in Terra d'Otranto, Architettura e trasformazioni urbane a Manduria, Francavilla Fontana e Oria, tra XVI e XVIII secolo,* Congedo Editore, Galatina.

Capone L. (2006), *Puglia, castelli e torri,* Capone Editore, Edizioni del Grifo, Lecce.

Cazzato V.- Guaitoli M., a cura di (2005), *Insediamenti del Salento dall'antichità all'età moderna,* Congedo Editore, Galatina.

Cazzato M. (1997), *Guida ai castelli pugliesi, la provincia di Lecce,* Congedo Editore, Galatina.

Delli Santi M., Gizzi F.T., Masini N., Pellettieri A., Potenza M.R., Santagata P. (1999), *Il G.I.S. nella fotointerpretazione aerea di un territorio: Monte Serico in Basilicata,* in Atti della 3° Conferenza Nazionale ASITA: Informazioni Territoriali e Rischi Ambientali (Napoli, 9-12 novembre 1999), vol. II, 703-708.

Delli Santi M., Giaccari E. (2000), *Applicazione del GIS per la rivalutazione dei Beni Culturali: le torri costiere nella provincia di Terra d'Otranto,* in Atti del Convegno Internazionale organizzato dall'Università degli Studi del Sannio "Sviluppo economico e sostenibilità: il turismo ambientale e culturale occasione di nuova occupazione" (Anacapri, 2-6 Novembre 2000), vol. II, 399-402.

Delli Santi M.**,** Masini N., Montesano N., Pellettieri A., Potenza M. R. (2001), *G.I.S. e Beni Culturali: i centri scomparsi nella Basilicata,* in Atti della 5° Conferenza Nazionale ASITA: La qualità nell'Informazione Geografica (Palacongressi di Rimini, 9-12 ottobre 2001), vol. II, 701-706.

Delli Santi M. (2004)**,** *Gis per la catalogazione, gestione e valorizzazione della Rabatana di Tursi*, Ministero per i Beni e le Attività Culturali e Fondazione Sassi di Matera (a cura di Cosimo Damiano Fonseca), Altrimedia Edizioni, Matera, pp. 331-334.

Delli Santi M. (2008) **,** *Cultural Heritage management in GIS: cataloguing of ancient marbles in Apulia (Southern Italy)*, Proceeding of the 1st International EARSeL Workshop, (CNR - Rome, September 30 – October 4, 2008), Roma, pp. 355 – 358.

Delli Santi M. (2008), *Censimento e catalogazione dei "marmi antichi": un'applicazione G.I.S.*, in Atti della 12° Conferenza Nazionale ASITA, Federazione Italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (L'Aquila, 21 - 24 ottobre 2008), vol. I, pp. 1019 - 1024.

Delli Santi M. (2009), *Archiviazione digitale del patrimonio rurale salentino finalizzato alla valorizzazione e fruizione delle masserie*, in Atti della 13° Conferenza Nazionale ASITA, Federazione Italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (Bari, 1 - 4 dicembre 2009), pp. 965 - 970.

Delli Santi M. (2010), *La banca dati digitale delle torri costiere del XVI secolo nel Salento,* in Atti della 13° Conferenza Nazionale ASITA, Federazione Italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (Bari, 1 - 4 dicembre 2009), pp. 965 - 970.

Delli Santi M. (2011), *Un Sistema Informativo Territoriale per la salvaguardia del patrimonio architettonico in Basilicata,* in Atti della 15° Conferenza Nazionale ASITA, Federazione Italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (Reggia di Colorno, 15 - 18 novembre 2011), pp. 883 - 887.

Il contributo dell'interferometria radar satellitare per l'identificazione e caratterizzazione dei fenomeni franosi a differenti scale d'indagine

Anna De Agostini (*), Alessio Cantone (**), Marco Defilippi (**), Mario Floris (*), Rinaldo Genevois (*), Paolo Pasquali (**), Paolo Riccardi (**), Giovanni Stevan (***), Giulia Tessari (*)

(*) Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze, Via Gradenigo 6, 35100 Padova, Tel. +39 049 8279121, anna.deagostini@studenti.unipd.it
(**) Sarmap SA, via Cascine di Barico10, 6989 Purasca, Svizzera, Tel. +41 91 600 9365, sarmap@sarmap.ch
(***) Provincia di Vicenza, U.C. Difesa del Suolo, Contrà S. Marco 30, 36100 Vicenza, Tel. +39 0444 908461, stevan.giovanni@provincia.vicenza.it

Riassunto

Nel presente lavoro sono riportati i risultati di uno studio di fattibilità sulle potenzialità di applicazione e sull'interpretazione dei dati interferometrici, ottenuti attraverso tecniche DInSAR (*Differential Synthetic Aperture RADAR Interferometry*), nell'analisi della franosità nel bacino del Torrente Agno (provincia di Vicenza) a differenti scale di indagine. Alla scala del bacino sono stati esaminati i fattori che limitano la possibilità di ottenere informazioni dal trattamento dei dati *SAR*. Le aree affette da distorsioni geometriche (*layover, shadowing*) a causa delle modalità di acquisizione dei dati RADAR, sono state combinate con i fattori morfometrici e con le carte di uso del suolo, per capire quali fattori limitano l'applicazione delle tecniche interferometriche. I risultati mostrano che le aree del bacino in cui non è possibile ottenere informazioni sono molto limitate e l'acquisizione di dati *SAR* è ostacolata principalmente da elevate variazioni di pendenza. Alla scala del versante sono state analizzate le serie degli spostamenti ottenuti dall'analisi interferometrica per valutare l'evoluzione temporale (stato di attività) dei fenomeni franosi nell'area di Rovegliana-Cappellazzi, a sud-est di Recoaro Terme (VI). Le serie di spostamenti sono state confrontate, inoltre, con il regime pluviometrico dell'area in studio al fine di indagare le cause di innesco dei fenomeni di instabilità. L'interpretazione dei dati interferometrici, congiuntamente con l'analisi geomorfologica, ha contribuito in maniera determinante all'identificazione e caratterizzazione dei fenomeni franosi, la cui attività è risultata connessa con il regime pluviometrico.

Abstract

This paper reports the results of a feasibility study on potentialities and limits of using DInSAR (*Differential Synthetic Aperture RADAR Interferometry*) techniques in landslide phenomena analysis at different scales (basin and slope scale). The study area is the Agno Valley, located in the NE sector of Italian Alps (Vicenza Province, Veneto Region, Italy).

At the basin scale, factors that limit the applicability of inteferometric techniques, have been investigated. Portions of RADAR images affected by geometric distortion (layover and shadowing) are compared with morphometric factors (aspect and slope) and with land use data. The results show that areas affected by distortions are very limited and the presence of steep slope is the main factor limiting theapplicability of SAR interferometric techniques. At slope scale, time-series displacement data derived from Persistent Scatters processing are analysed to evaluate the state of activity of landslide phenomena that occur in Rovegliana-Cappellazzi area (North sector of Agno Valley). Furthermore, displacement data have been compared with rainfall data to investigated landslide triggering factors. In conclusion, interferometric data interpretation jointly with geomorphologic analysis resulted a helpful tools in landslide identification and characterization.

Introduzione

I fenomeni di instabilità sono dei processi complessi, dovuti a molti fattori interconnessi, che necessitano di diversi approcci per essere investigati a fondo. Un aiuto può essere fornito dall'utilizzo delle tecniche avanzate di interferometria differenziale DInSAR (*Differential Synthetic Aperture RADAR Interferometry*), *Persistent scatters* (PS) e *Small Baseline Subset* (SBAS), le quali permettono di valutare l'andamento temporale delle deformazioni su alcuni punti, o zone, della superficie terrestre. Analizzando le serie di immagini SAR (*images stack*), è possibile stimare le velocità di spostamento e ricostruire una serie temporale continua di alcune componenti del campo di deformazione a terra, a partire dal 1992 fino al 2010, grazie all'utilizzo dei dati acquisiti dai satelliti ERS 1, ERS 2 ed ENVISAT.

L'importanza delle immagini satellitari nello studio dei movimenti di versante consiste proprio nella possibilità di osservare con elevata frequenza i fenomeni franosi, laddove non esistono monitoraggi e, di conseguenza, stimare la loro evoluzione spaziale e temporale (distribuzione e stato di attività). Inoltre è possibile identificare nuovi movimenti franosi di difficile individuazione tramite i classici metodi di rilevamento di campagna e di analisi e interpretazione delle foto aeree.

L'utilizzo delle tecniche interferometriche per lo studio dei fenomeni franosi, presenta alcuni limiti legati principalmente alla geometria di acquisizione dei dati, alla morfologia del territorio, alla copertura boschiva e alle velocità di spostamento. In generale, tali limiti dipendono dalla scala di indagine; infatti all'aumentare della scala, aumenta il grado di informazione richiesto e, di conseguenza, aumenta il peso delle limitazioni imposte dalla tecnica interferometrica. Conoscendo le caratteristiche dei sensori satellitari, è possibile una valutazione approssimativa dei fattori che condizionano l'applicabilità delle tecniche, ma nella pratica si eseguono studi preliminari di fattibilità, che richiedono l'acquisizione e il processamento dei dati RADAR. Non esistono chiare indicazioni sulla possibilità di effettuare studi preliminari basati, ad esempio, sull'analisi dei fattori morfometrici derivati da DEM e sull'osservazione dell'uso del suolo, informazioni spesso disponibili e a basso costo.

L'obiettivo principale del presente studio è verificare se i dati SAR acquisiti dai satelliti ERS 1, ERS 2 (1992-2000) ed ENVISAT (2003-2010), sono in grado di fornire informazioni utili per l'identificazione e caratterizzazione dei fenomeni franosi. La prima fase dello studio concerne l'analisi a piccola scala del bacino del fiume Agno (settore NO della provincia di Vicenza) (Fig.1).

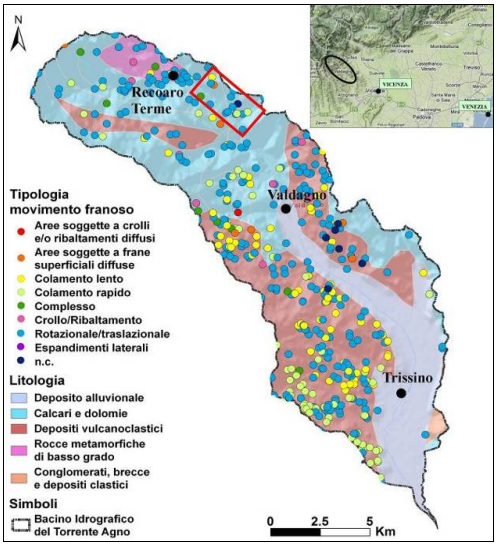


Figura 1. Carta litologicadella Valle dell'Agno e ubicazione dei fenomeni franosi censiti nel progetto IFFI (AA.VV., 2007). Il riquadro rosso indica l'ubicazione dell'area di Rovegliana-Cappellazzi, oggetto dello studio a grande scala.

Attraverso la combinazione dei fattori morfometrici e le mappe di visibilità dai satelliti sono stati individuati gli elementi che maggiormente limitano l'utilizzo delle tecniche DInSAR nello studio dei fenomeni franosi, in modo da fornire uno strumento preliminare di indagine. La seconda fase considera un aumento della scala d'indagine e riguarda la caratterizzazione dei fenomeni franosi dell'area di Rovegliana-Cappellazzi (circa 4 km^2), situata a sud-est di Recoaro Terme. In questa seconda fase le serie multi-temporali dei dati di spostamento negli ultimi vent'anni sono state utilizzate per identificare i fenomeni di instabilità e valutarne la frequenza di attivazione, espressa in termini di tempo di ritorno. In ultima analisi si è valutata la correlazione tra tali spostamenti e il regime delle precipitazioni al fine di identificare le cause innescanti dei fenomeni franosi.

Geologia e geomorfologia dell'area

Il bacino idrografico del torrente Agno (circa 200 km^2), è caratterizzato da pendenze comprese tra i 10° ed i 30° e da un'altitudine tra i 600 ed i 700 m (solo l'area nord-ovest, Gruppo del Pasubio, presenta quote maggiori di 1500 m e pendenze maggiori di 40°). L'esposizione dei versanti è prevalentemente rivolta verso est. Le litologie più diffuse sono costituite da calcari, dolomie e vulcanoclastiti, mentre le tipologie di fenomeni franosi che maggiormente interessano l'area sono gli scivolamenti e i colamenti lenti.

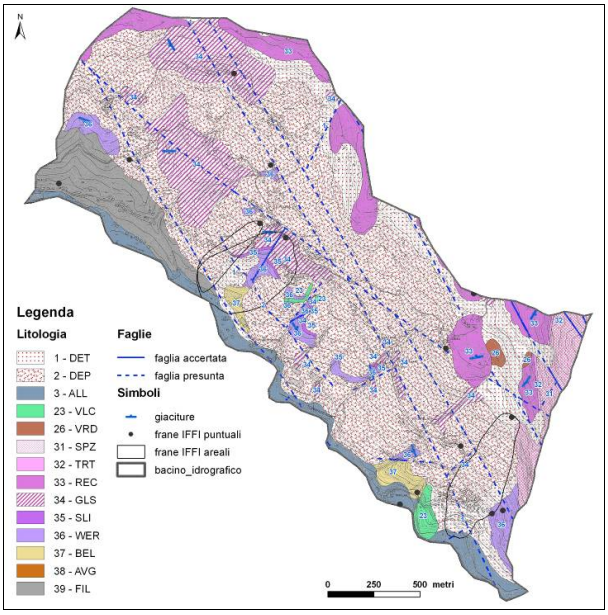


Figura 2. Carta geologica dell'area di Rovegliana-Capellazzi (modificata da Barbieri et al. ,1980) e ubicazione delle frane censite nel progetto IFFI. Detrito di versante (DET), deposito di versante (DEP), deposito alluvionale (ALL), Latiti e latiandesiti (VLC), Rioliti e daciti (VRD), Calcare del Monte Spitz (SPZ), Conglomerato del Tretto (TRT), Calcare di Recoaro (REC), Fmz. a Gracilis (GLS), Dolomia del Serla Inferiore (SLI), Fmz. di Werfen (WER), Fmz. a Bellerophon (BEL), Basamento cristallino sudalpino (FIL).

Nella zona di Rovegliana-Cappellazzi affiora il basamento cristallino sudalpino, costituito da filladi quarzifere pre-permiane e la successiva potente sequenza sedimentaria Permo-Triassica, formata da una successione litologicamente molto eterogenea (fig. 2). Sono presenti, con spessori assai variabili, arenarie, siltiti, marne, vulcaniti, dolomie, calcari, in parte stratificati e fratturati, spesso sovrastati da coperture detritiche eluvio-colluviali e di frana. La grande varietà di spessori e di litologie deriva dal susseguirsi di numerosi ambienti deposizionali (marini, costieri, continentali), mentre l'alta fratturazione degli ammassi rocciosi deriva dalla presenza nell'area di importanti

lineazioni tettoniche a carattere regionale, la Linea Schio-Vicenza a nord e il thrust Bassano-Marana a sud, connesse con le estensioni mesozoiche e paleogeniche e il raccorciamento Neo-alpino. Queste fasi tettoniche hanno dislocato la successione sedimentaria locale, danneggiando le copertura detritiche e la parte più superficiale del substrato roccioso, riducendo le proprietà meccaniche di tali materiali e creando così una delle cause predisponenti alla franosità dell'area, insieme alla presenza di numerosi intervalli siltitici-argillosi, che a causa delle loro condizioni giaciturali (a franapoggio) costituiscono i principali piani di scivolamento dei movimenti franosi.
Dal punto di vista geomorfologico, in particolar modo riguardo a quei fattori connessi con i fenomeni di instabilità, la zona di studio è interessata da numerosi solchi di erosione e da aree affette da movimenti superficiali lenti. Le aree franose delimitate nel catalogo IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia) sono solo tre, mentre i fenomeni di instabilità segnalati, ma non esattamente delimitati, sono nove (fig. 2). La maggior parte dei movimenti franosi coinvolge la coltre detritica, con superfici di scivolamento localizzate al contatto tra la coltre e il substrato fortemente fratturato o livelli argillosi/siltitici della sottostanti formazioni sedimentarie.
Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, la circolazione idrica sotterranea risulta complessa; nel versante si trovano varie emergenze idriche naturali dovute al contrasto di permeabilità tra i diversi litotipi e all'esposizione di limiti a flusso nullo (aquiclude).

Metodologia
La principale metodologia di telerilevamento satellitare, impiegata per la misura degli spostamenti della superficie terrestre è l'InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture RADAR*) (Hanssen, Usai, 1997; Strozzi et al., 1999, Ferretti et al., 1999) che si basa sul confronto di 2 immagini RADAR acquisite in tempi successivi. Il concetto di combinare le informazioni InSAR, provenienti da un grande numero di immagini, permettendo la ricostruzione di una serie temporale di deformazione, è stato introdotto da Ferretti et al. (2000), Berardino et al. (2002), Lanari et al. (2004) e Lauknes (2004). L'utilizzo di una tecnica "multi temporale", detta DInSAR (interferometria differenziale SAR), permette non solo la stima di un certo evento di deformazione, ma anche la stima dell'evoluzione dello spostamento. La tecnica PS (*Persistent Scatters*) (Ferretti et al., 2001) e la tecnica SBAS (*Small Baseline Susbet*) (Berardino et al., 2002) rappresentano le principali metodologie di calcolo usate fino ad oggi. La prima lavora su oggetti a riflettività costante (rocce, edifici, infrastrutture), detti *Persistent Scatters* (PS), generando interferogrammi differenziali riferiti tutti a un'unica immagine (*master*), calcolando così la velocità di spostamento dei PS. La seconda si basa sulla combinazione di interferogrammi differenziali, creati da coppie di immagini SAR aventi limitate distanze orbitali (*baseline*), riducendo così il fenomeno della decorrelazione spaziale.
La prima fase di questo lavoro consiste in un'analisi alla scala del bacino della Valle dell'Agno. Vengono messi in relazione i dati SAR ERS ed ENVISAT, elaborati con il software *SARscape*®, i fattori morfologici del territorio estratti da DEM ed i dati dell'archivio IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia) per individuare i fattori che limitano l'applicazione delle tecniche interferometriche.
Si è proceduto innanzitutto alla creazione della mappa di *layover* e *shadowing* (Fig.2). Questa mappa permette di individuare le aree prive di informazioni a causa di distorsioni geometriche dovute alle modalità di acquisizione dei dati RADAR, e, quindi, non utilizzabili per lo studio delle aree instabili. Il fenomeno di *layover* si verifica quando il versante ha una pendenza maggiore dell'angolo di vista del satellite (circa 23°), mentre le aree in *shadowing* (in ombra) corrispondono ad aree non viste dal satellite, probabilmente perché nascoste da altri rilievi, dove il segnale RADAR non arriva, e quindi sono anch'esse prive di informazioni. Per creare questa mappa sono state utilizzate immagini ERS, una della *track* ascendente (n°165) e una di quella discendente (n°172). Successivamente, la mappa di *layover* e *shadowing* è stata confrontata con l'esposizione e la pendenza dei versanti della valle dell'Agno (), al fine di capire le relazioni tra caratteristiche ambientali e le aree/frane "visibili" al satellite e per delineare uno schema di analisi preliminare sul possibile uso delle tecniche DInSAR nello studio dei fenomeni franosi.

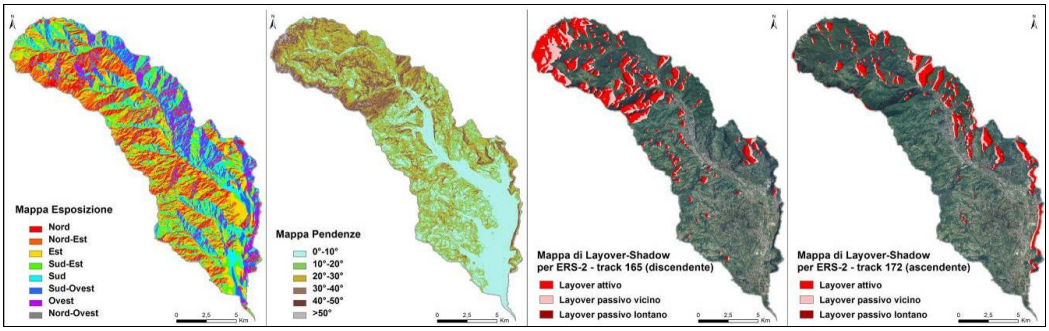
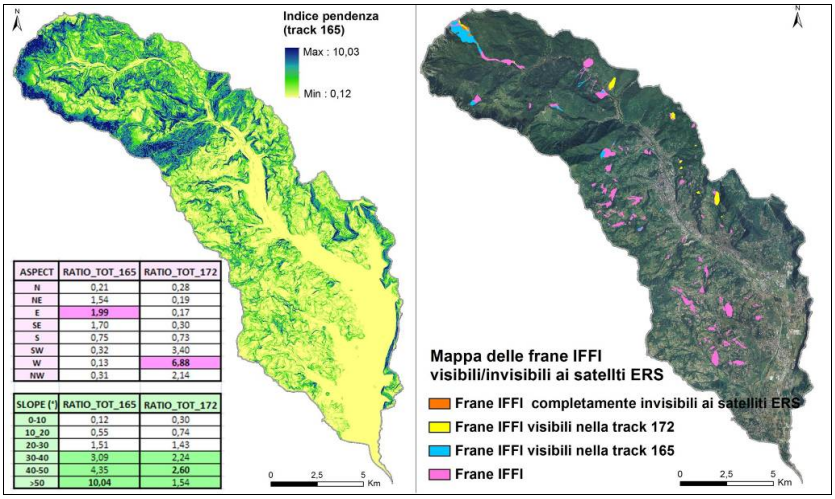


Figura 3. Mappa dell'esposizione dei versanti, delle pendenze e mappe di layover e shadowing della Valle dell'Agno.

La seconda fase del lavoro è consistita nel processamento dei dati RADAR attraverso la tecnica PS nella zona di Rovegliana-Cappellazzi e nell'interpretazione dei dati interferometrici, al fine di valutare l'andamento temporale dei fenomeni franosi presenti e di valutare il contributo delle tecniche *DInSAR* in analisi a grande scala.
In primo luogo, si è proceduto all'identificazione e delimitazione delle aree in frana attraverso rilievi geologici e geomorfologici di campagna, all'analisi delle foto aeree e ortofoto e ai dati delle relazioni tecniche esistenti. In questa fase il contributo dei dati interferometrici è stato quello di evidenziare le aree potenzialmente instabili laddove erano assenti chiari evidenze geomorfologiche di instabilità. Tali aree sono state classificate in base alla tipologia di movimento e, sulla base dei dati di spostamento dei PS, allo stato di attività, espresso in termini di frequenza, ovvero di tempi di ritorno. Ai fenomeni che nei 17 anni di dati, dal 1992 al 2010, non hanno subito spostamenti considerevoli è stato assegnato un tempo di ritorno maggiore di 20 anni, ai fenomeni che presentano solo un periodo di spostamento sostanziale è stato attribuito un periodo di ritorno compreso tra i 10 ed i 20 anni, i movimenti franosi con due o tre periodi di spostamenti considerevoli rientrano in un tempo di ritorno tra i 5 ed i 10 anni ed infine alle instabilità che hanno subito 4 o più spostamenti vengono sono stati assegnati tempi di ritorno inferiori ai 5 anni. Infine, le serie di spostamento sono state relazionate con i dati delle precipitazioni piovose degli ultimi vent'anni forniti dall'ARPAV (Agenzia Regionale Per l'Ambiente del Veneto) per comprendere se esiste una relazione tra i momenti di maggior piovosità e l'attività delle frane.

Risultati

Lo studio preliminare, alla scala del bacino, tramite strumenti a basso costo (derivati da DEM), che mette in relazione i limiti delle immagini RADAR satellitari con i fattori morfologici del territorio, ha prodotto risultati incoraggianti.
Se si analizzano le aree soggette a effetti di distorsione geometrica per ogni orbita si ottiene che per quella discendente le aree in layover e shadowing sono il 17,8%, mentre per l'orbita ascendente sono l'11% della area totale del bacino idrografico dell'Agno.
Incrociando i risultati delle mappe di *layover* e *shadowing* delle due *track* satellitari, si ottiene che le aree completamente non utilizzabili per l'individuazione di movimenti franosi sono l'1,3%. La relazione tra i fattori morfologici (esposizione e pendenza dei versanti) e le aree visibili dai satelliti è stata indagata calcolando gli indici di pendenza ed esposizione per entrambe le orbite (rapporto tra le aree "invisibili" normalizzate e le aree "visibili" normalizzate, per ogni classe di pendenza ed esposizione) (RATIO_TOT_165 e 172 in Fig. 4). I risultati mostrano che, nell'area in studio, la presenza di versanti con pendenza maggiore dei 30° (aventi un RATIO_TOT >1,5), rappresenta il fattore che limita maggiormente l'applicazione delle tecniche interferometriche. L'esposizione dei versanti che più ostacola l'utilizzo delle tecniche InSAR è verso est ed ovest, rispettivamente per la *track* 165 e 172.



ASPECT	RATIO_TOT_165	RATIO_TOT_172
N	0,21	0,28
NE	1,54	0,19
E	1,99	0,17
SE	1,70	0,30
S	0,75	0,73
SW	0,32	3,40
W	0,13	6,88
NW	0,31	2,14

SLOPE (°)	RATIO_TOT_165	RATIO_TOT_172
0-10	0,12	0,30
10_20	0,55	0,74
20-30	1,51	1,43
30-40	3,09	2,24
40-50	4,35	2,60
>50	10,04	1,54

Figura 4. A sinistra, tabella degli indici di esposizione e pendenza e mappa dell'indice di pendenza per la track 165, la quale presenta una maggiore percentuale di aree con pendenze che creano limitazioni alla vista del satellite. A destra, frane IFFI "visibili" ed "invisibili" ai satelliti.

Per quanto concerne le frane IFFI non visibili al satellite e quindi non utilizzabili per creare un archivio temporale delle velocità di spostamento, sono l'1,4% di quelle ricadenti all'interno del bacino del torrente Agno.
Nelle aree visibili al satellite il 44% ricade in zone boscate e quindi prive di dati utili per l'interferometria.
Alla scala del versante (area di Rovegliana-Cappellazzi), sono state esattamente individuate e classificate 11 aree instabili. Sono state individuate, inoltre, aree affette da deformazioni superficiali lente della copertura detritica. Secondo la metodologia esposta nel paragrafo precedente, le aree franose sono state classificate oltre che in base al tipo di movimento, anche in base allo stato di attività (Fig. 5). A tal fine sono state utilizzate le serie di spostamenti dei PS con maggiore coerenza all'interno dei fenomeni franosi. In dettaglio, sono state individuate due aree soggette a frane diffuse superficiali con tempi di ritorno (TR) inferiori ai 5 anni che coinvolgono l'abitato di Rovegliana, due aree con frane diffuse superficiali con TR compresi tra i 5 e i 10 anni, un'area soggetta a frane diffuse superficiali con TR maggiori di 20 anni, una zona abbastanza estesa, sopra l'abitato di Cappellazzi, soggetta a fenomeni di tipo scivolamento traslazionale con TR inferiori ai 5 anni, tre aree coinvolte in un scivolamento traslazionale con TR compresi tra i 5 e i 10 anni, un movimento rotazionale con TR tra i 5 ed i 10 anni ed infine due scivolamenti rotazionali con TR tra 10 e 20 anni ai lati del movimento franoso che coinvolge Cappellazzi ed infine due fenomeni rotazionali. Il confronto tra la serie temporale di spostamento e i dati di pioggia mensile, ha evidenziato una buona corrispondenza tra i periodi di forte piovosità ed i maggiori spostamenti delle aree instabili (Fig. 6). Come deducibile dalla Fig. 6, l'esatta valutazione degli spostamenti dei PS è piuttosto difficile a causa di limitazioni imposte dalla tecnica di calcolo; in questo studio si è fatto riferimento ad una valutazione qualitativa basata sull'andamento di una funzione di interpolazione (media mobile) dei dati di spostamento .

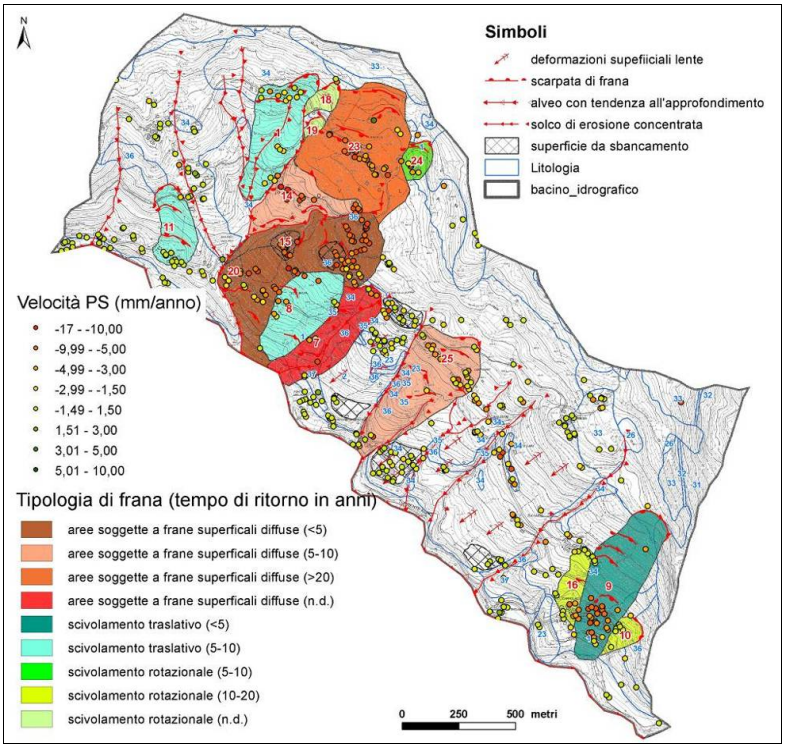


Figura 5. Movimenti franosi e loro tempi di ritorno, individuati e valutati grazie all'integrazione tra i dati di campagna e i dati interferometrici. I poligoni in azzurro indicano le litologie (vedi Fig. 2).

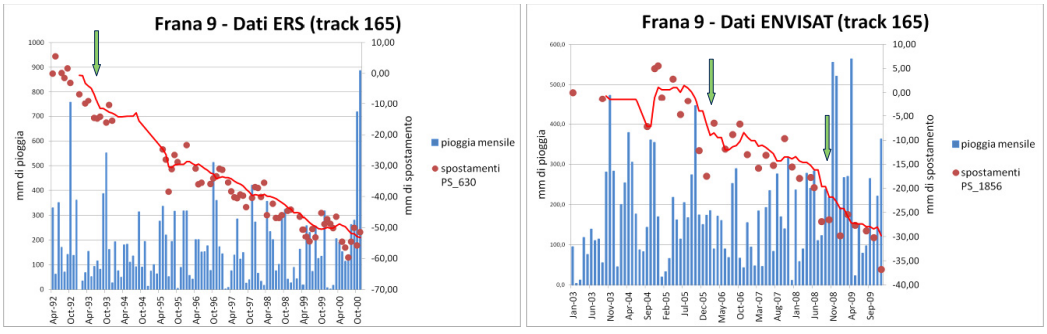


Figura 6. Confronto tra i dati di spostamento PS e i valori di precipitazione mensile per la frana numero 9. Si noti la corrispondenza tra le fasi di maggior movimento del fenomeno (indicate dalle frecce) con periodi caratterizzati da elevata piovosità. La linea rossa indica l'interpolazione dei dati di spostamento attraverso l'utilizzo di una media mobile.

Conclusioni

Il presente lavoro ha evidenziato le potenzialità dell'utilizzo dei dati interferometrici nello studio della franosità di una data area. La creazione con dati a basso costo, di un archivio ventennale di dati di spostamento, impensabile con i metodi classici di monitoraggio, è una delle maggiori potenzialità dei dati interferometrici.

I limiti dell'applicabilità delle tecniche nello studio dei fenomeni d'instabilità sono dovuti principalmente alla risoluzione delle immagini ERS ed ENVISAT utilizzate (25x25 metri), in molti

casi troppo bassa per l'individuazione dei PS; e alla copertura boschiva spesso presente in aree montuose e collinari, che associata all'alta densità abitativa nel fondo valle causa perdite di coerenza e difficoltà durante la fase di *unwrapping* (srotolamento) dell'interferogramma nel processamento PS. Un ulteriore limite è dovuto al limitato numero di PS al di fuori delle aree urbane. In questo caso nell'area di Rovegliana-Cappellazzi si sono avuti risultati positivi poiché sono presenti diversi centri abitati sparsi su tutto il versante, anche se è presente una forte copertura vegetativa. Infine, la possibilità del satellite di misurare solo spostamenti lungo la linea di vista (LOS: Line Of Sight) e l'impossibilità di monitorare rapidi movimenti di versante a causa dell'estrema variazione di riflettività della scena (forte perdita di coerenza), condiziona l'applicabilità dell'interferometria a studi del territorio.
In conclusione, nello studio della franosità in aree montane e collinari, l'approccio interferometrico è abbastanza problematico a causa dei limiti imposti dalla tecnica interferometrica stessa, in relazione alla morfologia del territorio (pendenza ed esposizione dei versanti e copertura boschiva) ed a causa della risoluzione delle immagini satellitari, quindi il possibile utilizzo di tali tecniche deve essere preliminarmente indagato. Al tal fine è possibile, sulla base dei risultati di questo studio, l'utilizzo di DEM e carte di uso del suolo.
Occorre sottolineare che i risultati ottenuti si limitano al processamento dei dati ERS e ENVISAT (risoluzione 25x25m), che rappresentano la serie di dati SAR più lunga e a basso costo disponibile. Una più ampia disponibilità dei dati COSMO SkyMED (3x3m in modalità di acquisizione *stripmap*) e Sentinel (5x20m con una modalità di acquisizione dedicata all'interferometria), viste le caratteristiche di acquisizione dei sensori, potrebbero ridurre le limitazioni osservate in questo lavoro.

Bibliografia

AA.VV. (2007), *Rapporto sulle frane in Italia. Il progetto IFFI: metodologia, risultati e rapporti regionali*, APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), Roma

Barbieri G., De Zanche V., Di Lallo E., Mietto P. e Sedea R. (1980), "Profili e note illustrative della Carta geologica dell'area di Recoaro"*, Memorie di Scienze Geologiche*, 34: 23-5

Berardino P., Fornaro G., Lanari R. e Sansosti E. (2002), "A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(11): 2375-2383

Ferretti A., Prati C., Rocca F. (1999), "Monitoring terrain deformation using multi-temporal SAR images", *Proc. CEOS SAR Workshop, ESA-CNES,* Toulouse, France

Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2000), "Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry*", I**EEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* 38(5): 2202-2212

Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001), "Permanent scatterers in SAR interferometry*", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* 39(1): 8-20

Hanssen R., Usai S. (1997), "Interferometric phase analysis for monitoring slow deformation processes*" Proc. 3th ERS Symposium Space at the Service of our Environment,* Florence, Italy

Lanari R., Mora O., Manuta M., Mallorqui J.J., Berardino P. e Sansosti E. (2004), "A smallbaseline approach for investigating deformations on full-resolution differential SAR interferograms*", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(7): 1377-1386

Lauknes T.R. (2004), "*Long-Term Surface Deformation Mapping using Small-Baseline Differential SAR Interferograms",* Thesis for the Degree of Candidatus Scientiarum, University of Tromsø, Norway

Strozzi,T., Tosi L., Carbognin L., Wegmuller U. e Galgaro A. (1999), "Monitoring land subsidence in the Euganean Geothermal Basin with differential SAR interferometry*", Proc. 2nd International Workshop on ERS SAR Interferometry, Fringe'99*, Liege, Belgium

Le Classi del Catalogo dei Dati Territoriali: il ruolo dei Comuni

Maurizio De Gennaro (*), Eugenio Berti (**), Andrea Corò (***), Giorgio Zanata Ventura (****), Nadia Poles (*****), Alessia Salvador (*****), Fiorenza Ronsisvalle (*******), Renata Bianchin (********), Paolo Barbieri (*********), Massimo Rumor (**********)

(*) Regione Veneto, Uff. Cartografico, S.I.T. Fax, Tel. 0412792571, maurizio.degennaro@regione.veneto.it
(**) Comune di Vicenza Settore Sistemi Informatici, Telematici e Sit, uff, S.I.T. Fax 0444221033, Tel. 0444221232, eberti@comune.vicenza.it
(***) Comune di Padova, Fax, Tel. 0498205300, coroa@comune.padova.it
(****) Comune di Verona, Fax, Tel. 0458078348, giorgio_zanata-ventura@comune.verona.it
(*****) Comune di Treviso, Fax , Tel. 0422658353, nadia.poles@comune.treviso.it
(******) Comune di Belluno, Fax, Tel. 0437913157, asalvador@comune.belluno.it
(*******) Comune di Rovigo, Fax, Tel. 0425206400, fiorenza.ronsisvalle@comune.rovigo.it
(********) Comune di Bassano del Grappa, Fax, Tel. 0424519638
(**********) Università di Padova, Fax, Tel. 335213423, rumor@dei.unipd.it

Riassunto

Il Catalogo dei Dati Territoriali per i Database Geotopografici (GeoDB) presenta l'indubbio vantaggio che le strutture dei GeoDB dei Comuni sono costituite da Strati, Temi e Classi che, di fatto, rendono omogenee ed interoperabili le Banche dati dei SIT ai diversi livelli della pianificazione. I dati del GeoDB si basano sulle specifiche sviluppate dal "Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni" approvate con Decreto del Ministro per la Pubblica Amministrazione e l'Innovazione, lo scorso 10 novembre 2011. Appare significativo però far presente che, prima della definitiva approvazione del Catalogo, nei maggiori comuni del Veneto erano, da tempo, già stati avviati e sviluppati i SIT, e le quotidiane attività relative all'uso e gestione dei dati avevano, di fatto, riscontrato la necessità di implementazioni delle strutture per far fronte a tipologie di alcuni dati, che a volte risultavano essere ridondanti o di scarso valore a livello comunale, pur rimanendo coerenti alla struttura così come prevista dal modello concettuale del Catalogo. E' emersa così la necessità di avviare un'attività di confronto e coordinamento tra i SIT comunali per analizzare e valutare eventuali soluzioni per superare difficoltà e proporre un percorso condiviso di una gestione maggiormente fruibile e sostenibile dei GeoDB comunali.

E' stato pertanto costituito un tavolo di lavoro tra i SIT dei Comuni e della Regione del Veneto, e sono state analizzate e valutate le Classi più significative, a scala comunale, del Catalogo dei Dati Territoriali, evidenziandone alcuni aspetti di criticità gestionale ed operativa con il conseguente inutilizzo di alcune Classi, da parte degli enti interessati.

Tale percorso ha prodotto una proposta tecnica di revisione di alcune Classi, tuttora allo studio del SIT della Regione del Veneto: un'iniziativa condivisa che dovrebbe recepire e proporre una gestione sostenibile del DBT da parte dei Comuni e contestualmente il rispetto delle specifiche tecniche del Catalogo dei Dati Territoriali.

Abstract

The Catalog of Spatial Data for Database Geotopografici (GeoDB) undoubtedly has the advantage that the structures of GeoDB of Commons, they consist of layers, themes and classes that, in fact, make a consistent and interoperable databases to different levels of SIT planning. The data are based on the GeoDB specifications developed by the "Committee for technical data on local

government" approved by Decree of the Minister for Public Administration and Innovation, on 10 November 2011. But it is significant to note that, prior to final approval of the Catalogue, in the major towns in the Veneto had for some time already been initiated and developed the SIT, and the daily activities relating to the use and management of data had, in fact, found the need for implementations of the structures to deal with certain types of data, which sometimes appeared to be redundant or of little value to the municipal level, while remaining consistent to the structure as expected from the conceptual model of the catalog. And 'emerged the need to start a discussion and coordination among municipal GIS to analyze and evaluate possible solutions to overcome difficulties and propose a shared path of a more usable and sustainable management of municipal GeoDB.
It 'was therefore formed a working group between the SIT of Commons and the Region of Veneto, and were analyzed and evaluated the most significant classes, a municipal, the catalog of spatial data, highlighting some critical issues with management and operating the consequent disuse of certain classes, by the members concerned. This path has produced a range of technical review of certain classes, still studying the SIT of the Region of Veneto: a joint initiative that would implement and propose a sustainable management of DBT by municipalities and simultaneously respect the technical specifications of the Catalogue of spatial data.

Introduzione
Questa esperienza riguarda un'attività che ha coinvolto tutti i comuni capoluogo del Veneto più il comune di Bassano del Grappa unitamente con l'Unità di progetto per il SIT e la Cartografia Regione Veneto.
In tutti questi Enti l'utilizzo del GeoDB si è sviluppato, in modo più o meno raffinato, ben prima del D.M. 10/11/2011 che ha approvato sulle specifiche sviluppate dal "Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle pubbliche amministrazioni" del Catalogo dei Dati Territoriali per i Database Geotopografici (GeoDB). In alcuni di essi lo sviluppo di un GeoDB, è iniziata addirittura ben prima che la Regione Veneto introducesse il primo Catalogo degli Oggetti, tanto che la complessità della sua gestione rese necessario, per questi Enti, da organizzare un apposito ufficio S.I.T., la cui attività cominciò ben presto a porre in evidenza come un GeoDb sapientemente organizzato consenta molteplici fondamentali utilizzi:

- analisi e pianificazione territoriale
- analisi e monitoraggio dell'attività edilizia
- analisi e monitoraggio dei flussi della popolazione, originaria ed emigrante
- analisi e monitoraggio delle attività produttive
- analisi e controllo degli eventi di protezione civile
- analisi e controllo di qualsiasi forma di antropizzazione legata al territorio
- servizio di cartografia aggiornata in tempo reale dagli operatori nel territorio

L'esperienza Comuni - Regione

Con l'approvazione dell'ultimo Catalogo degli Oggetti, emerse però fin da subito da parte dei Comuni l'insostenibilità di gestione e di manutenzione dei GeoDb, tanto da far emergere il bisogno di un primo incontro intercomuale al quale tutti parteciparono. La convergenza delle osservazioni e delle opinioni che emersero si concretizzò nella necessità di aprire un confronto con la Regione nel quale illustrare i problemi che stavano, e stanno, emergendo riassumibili nei seguenti principi guida:

1) gli oggetti territoriali vanno disegnati una volta sola;
2) l'attributo della classe deve comparire una volta sola;
3) l'attributo della classe deve avere un codice univoco;
4) l'eventuale aggiunta di un nuovo dominio o attributo o classe deve essere coordinata a livello regionale per rispettare i punti precedenti.

Un'altra ragione fondamentale emersa, fu la consapevolezza del ruolo di guida e di coordinamento della R.V. nella strutturazione in standards del GeoDB regionale, in quanto se perseguito rispettando i principi guida precedenti diverrebbe sostenibile da parte dei Comuni, consentendo di conseguenza, uno scambio completo e bidirezionale di informazione geografiche tra i vari Enti, scambio di cui sia i Comuni sia la Regione hanno estremo bisogno. In mancanza di questo, il rischio che si può ben intuire è di avere un GeoDB strutturato in dettagli anche minimali ma destinato a rimanere scarsamente popolato o addirittura vuoto.

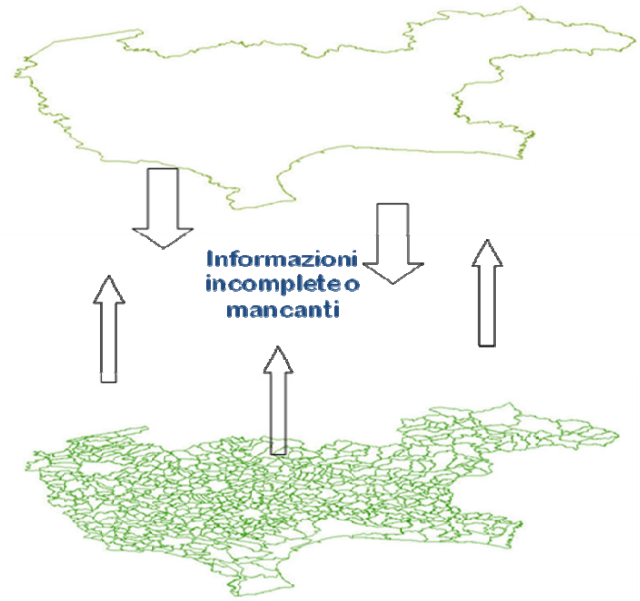


Figura 1. Schema che illustra l'attuale potenzialità d'interscambio tra Enti di informazioni del GeoDB.

La discussione sul GeoDB.
Il primo incontro con lo staff dell'Unità di progetto per il SIT e la Cartografia Regione Veneto avvenne nell'ottobre 2011, con presenti tutti i Comuni invitati e nel quale vennero illustrate le osservazioni emerse:

I LIVELLI DI PROBLEMI

1) di CONCETTO (classi di copertura, numerazione civica)
2) di CLASSI (diversa strutturazione e utilizzo)
3) di DOMINIO (voci rindondanti o contraddittorie o insufficienti)

I RISCHI

Difficoltà e insostenibilità nel costruire e mantenere l'informazione geometrica ed alfanumerica che sta alla base del Geodb

LE CONSEGUENZE

Gestione mancante o incompleta del GeoDB da parte dei Comuni con perdita delle informazioni

Di seguito alcuni esempi:

Strade:
O: nel catalogo la viabilità è suddivisa in AC_VEI (c.c.), AR_STR, e MAN_TRe l'informazione è frammentata in altre classi.
P: si propone AR_STR come c.c. sopra alla quale insistono tutti gli accessori della viabilità (MAN_TR), compresa la toponomastica e i numeri civici , la proprietà (coincide con ESTESA AMMININSTRATIVA), e la CLASSIFICA FUNZIONALE.
(AC_VEI se serve si ricava per differenza AR_STR – MAN_TR)

GEODB.AR_STR Properties

General | Attributes

Name	Value
ID	1096
VI_CODVIA	5430 VIA DEI MILLE
VI_AR_STR_NOM	5430 VIA DEI MILLE
VI_CUL_DE_SAC	N
VI_COD_PROPR	Comune di Vicenza
VI_FASC_PATR	0000
ID_PERC	91
AR_STR_CON	contorno fisico
AR_STR_LIV	non in sottopasso
AR_STR_SED	a raso
AR_STR_STA	91
AR_STR_CF	locale interzonale
NUM_ELEM	
SCALA	
ORIGINE	nuova ripresa aerea o satellitare
TIPO_MOD	nuovo oggetto territoriale (non presente nell'edizione cartografica disponibile oppure in sostituzione di un oggetto territoriale tipo 2, 3, 4)
DATA_CRE	11/04/2010
LIVCOD	
MEASUREMIN	
MEASUREMAX	
CODICE_CLASSE	010104
DATA_MOD	

Figura 2. Record di AR_STR come CLASSE di copertura.

Viabilità e indirizzi:
O: nel catalogo sono previsti 2 temi e 5 classi nello stato 3 tra cui la classe CIVICO priva di componente spaziale.
P: si propone la toponomastica come attibuto di AR_STR.
Il numero civico diventa puntuale e va posizionato sugli accessi come da normativa toponomastica.

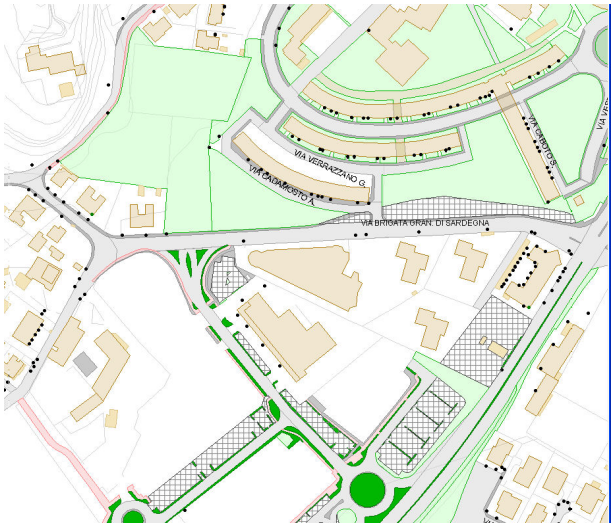


Figura 3. Mappa del GeoDB con la numerazione civica puntuale sugli accessi.

Fabbricati:
O: il catalogo non consente una definizione non ambigua degli oggetti.
P: si propone di risolvere l'ambiguità adottando come istanze della classe gli edifici catastali che son già definiti, adottandone le geometrie come riferimento per i contorni delle unità volumetriche.
Il successo di questo adattamento dipende dalla qualità della sovrapposizione delle diverse cartografie.



Figura 4. Mappa del GeoDB con la sovrapposizione catastale dei fabbricati.

Verde:
O: il catalogo prevede le classi AR_VRD per trattare ogni singolo pezzo di terreno a verde e PE_UINS come oggetto complesso come parchi, giardini, etc. con il risultato di avere la sovrapposizione di più oggetti che riguardano lo stesso tema.
P: si propone di classificare AR_VRD come VERDE PUBBLICO URBANO e ad esso trasferire il domino di PE_UINS relativo al verde. In questo modo all'interno di un'area pubblica si ha più facilmente il controllo di tutte le sue componenti (viottoli, attrezzature, arredo, servizi, laghetti, etc.). Per il verde urbano non pubblico aggiungere un attributo *"verde"* nelle AATT.
Il verde dei MAN_TR si ottiene aggiungendovi un attributo booleano MAN_TR.

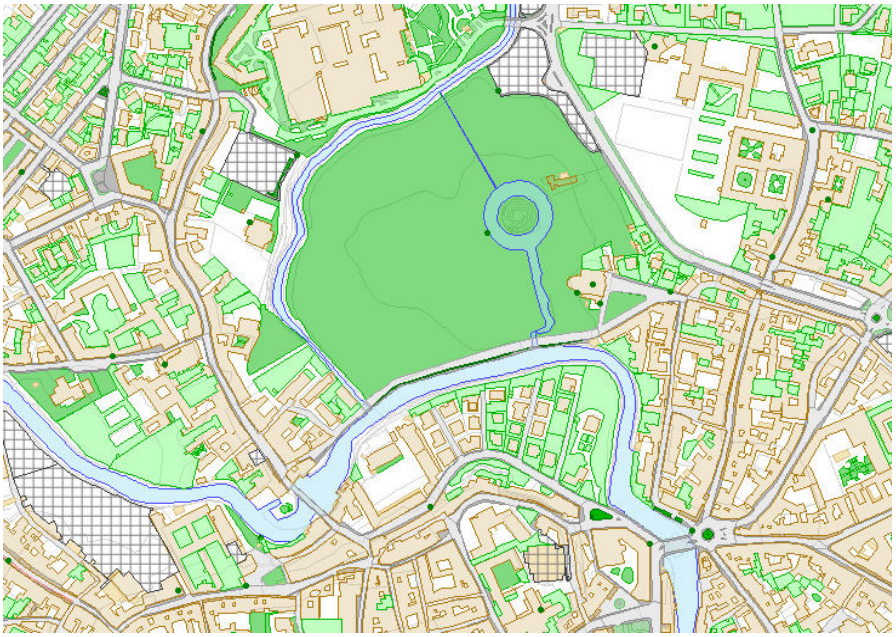


Figura 5. Mappa del GeoDB con la gestione del verde pubblico e privato.

Inoltre in evidenza sono stati proposte le ulteriori seguenti osservazioni:
- Va ricomposto lo "spezzatino" sulle AR_STR (1 strada nominata = 1 oggetto di AR_STR), inutile ed estremamente dispendioso per la loro gestione;
- I marciapiedi vanno posti su un'apposita classe riservata (MARCPD – 020215);
- Le SV_STR diventano classe di copertura;
- Le AR_VMS devono riguardare tutti i percorsi che non sono soggetti al codice della strada, in quanto la viabilità viene delimitata dalla nomina delle strade e dalla distribuzione della numerazione civica;
- Correlazione tra le CLASSI prese in esame con ripercussioni semplificatorie sulle strutture dei dominii e sulle voci di decodifica;
- Visione diversa del Tema Pertinenze PE_UINS (strato 10) , queste aree hanno valenza per più settori della P.A., oltre al catalogo degli oggetti le troviamo nel quadro conoscitivo, strutture scolastiche, verde pubblico, protezione civile, etc., ma hanno tutte la stessa geometria per cui andrebbero disegnate una volta solo e messe a disposizione per i diversi utilizzi.

Conclusioni.

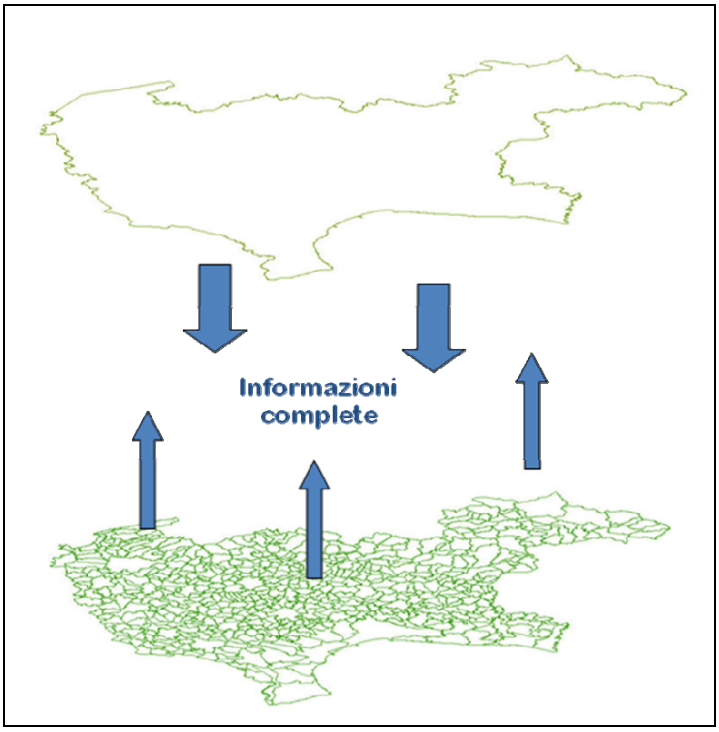


Figura 6. Schema che illustra la potenzialità futura d'interscambio tra Enti di informazioni del GeoDB.

Tale percorso che si è sviluppato in 3 incontri nel 2011 e 1 incontro 2012, ha prodotto, da parte dei Comuni, una proposta tecnica di revisione di alcune Classi, tuttora allo studio dell'Unità di Progetto per il SIT e la cartografia della Regione del Veneto. L'analisi è stata condotta solo sul alcune classi dell'intero catalogo e andrà quindi completata. E' stata un'iniziativa condivisa che dovrebbe recepire e proporre una gestione sostenibile del DBT da parte dei Comuni e contestualmente il rispetto delle specifiche tecniche del Catalogo dei Dati Territoriali. Il dirigente dell'uff. Cartografico della Regione ing. Maurizio De Gennaro ha riconosciuto, in questa esperienza, il contributo costruttivo portato a questa fondamentale materia dai Comuni, tanto da auspicare e promuovere ulteriormente in futuro, un periodico confronto intercomunale e con gli uffici della Regione.

Bibliografia.

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DECRETO 10 novembre 2011
Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici.
(Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27/02/2012 - Supplemento ordinario n. 37).

L'applicazione della Metodologia GeoUML per la produzione dei DB Geotopografici: l'esperienza della Regione del Veneto

Maurizio De Gennaro (*), Antonio Zampieri (*), Umberto Trivelloni (*), Pierpaolo Milan (**)

(*) Regione del Veneto, Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia, Fax 041 2792108, Tel. 041 2792577, maurizio.degennaro@regione.veneto.it, antonio.zampieri@regione.veneto.it, umberto.trivelloni@regione.veneto.it
(**) Corvallis SpA, Settore GIS e Cartografia, Fax 049 8434555, Tel. 049 8434511, pierpaolo.milan@corvallis.it

Riassunto
La Regione del Veneto, produce da diversi anni DB geotopografici (L.R. 28/1976) contestualmente alle operazioni di aggiornamento della Cartografia Tecnica Regionale Numerica (CTRN), ed ha sempre posto una particolare attenzione e cura alle diverse iniziative che, in campo nazionale (Codice dell'Amministrazione Digitale) ed europeo (direttiva INSPIRE), forniscono soluzioni per la gestione di dati territoriali.
In questo innovativo scenario la Regione del Veneto, tramite l'Unità di Progetto per il SIT e la cartografia (UP SIT), ha partecipato attivamente alla definizione di un nuovo modello di banca dati geotopografica presso il "Comitato delle regole tecniche per i dati territoriali delle P.A." di DigitPA (già CNIPA) che ha portato alla realizzazione delle regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici approvate con il Decreto del Ministro per la Pubblica Amministrazione e l'Innovazione del 10 novembre 2011.
Inoltre la Regione del Veneto ha aderito e attivamente preso parte, in ambito CISIS, al progetto condotto con il Politecnico di Milano per la definizione della Metodologia GeoUML: tale progetto prevedeva una fase conclusiva di sperimentazione dei software e delle procedure realizzate a cui la Regione del Veneto ha contribuito producendo un DB geotopografico di una porzione di territorio.
In seguito ai positivi riscontri ottenuti dalla fase di test è proseguita la formazione del DB dell'intero lotto corrispondente a una parte del territorio della provincia di Vicenza.
La produzione del DB geotopografico del Lotto "Vicenza sud" è stata preceduta da una fase di test che ha avuto come oggetto una superficie di 1200 ha; i lavori di generazione delle specifiche e di validazione sono stati sempre eseguiti direttamente dall'UP SIT assieme agli esperti del CISIS e a quelli dello Spatial DB Group del Politecnico di Milano, mentre l'implementazione è stata cura della ditta che ha attivamente collaborato anche nelle fasi di taratura e miglioramento degli strumenti GeoUML Catalogue e GeoUML Validator.
Le conoscenze acquisite hanno permesso di progettare ulteriori produzioni e l'adeguamento ai nuovi standard di banche dati già realizzate; in questo modo è concretamente ipotizzabile il completamento di un processo che condurrà alla completa copertura del territorio regionale mediante DB realizzati secondo le regole dettate dal Decreto Ministeriale tanto nei contenuti quanto nelle metodologie.

Abstract
The Project Unit for GIS and cartography of Veneto Region (UP SIT) has participated actively in the definition of a new model for the geo-topographic database (GeoDB) within the "Committee of the technical rules for the public administration territorial data" of DigitPA (before CNIPA). The technical rules for the definition of the content specifications of the geo-topographic database were approved by the Decree of the Minister of Public Administration and Innovation of November 10th 2011. Moreover the UP SIT participated, in the framework of CISIS, in the project for the definition of the GeoUML Methodology in collaboration with the Polytechnic of Milan. This project

scheduled a concluding phase for testing the carried out software and procedures. The Veneto Region contributed to this phase generating a GeoDB concerning a part of the territory.
The generation of the GeoDB was preceded by test on an area of 1200 hectares. The UP SIT technicians, together with the CISIS experts and the Spatial DB Group of the Polytechnic of Milan, performed the creation of specifications and the validation process. The implementation was treated by the same company which has actively participated in the calibration phase and the improvement of the GeoUML Catalogue and GeoUML Validator tools.
The gained knowledge allowed to plan further outputs and adapt to the new standards of the existing databases. The use of DB following the ministerial decree rules both in contents and methodology gives the concrete possibility of planning a total coverage of Veneto Region territory.

Il DB Geotopografico come base per i servizi legati al territorio

Il DB Geotopografico costituisce una banca dati informatizzata che contiene gli elementi informativi principali per la descrizione e la conoscenza del territorio. Si tratta di un insieme di dati georeferenziati che costituisce la base per le analisi territoriali e per tutte le attività di pianificazione e monitoraggio: il DB rappresenta pertanto lo strumento fondamentale a supporto delle scelte delle politiche di governo del territorio.
La produzione e l'aggiornamento del DB Geotopografico permette di fornire servizi ad una molteplicità di soggetti pubblici e privati che operano a vario titolo sul territorio. Si possono distinguere le categorie pubbliche e private per descrivere gli ambiti di applicazione, pur tenendo conto degli ampi margini di sovrapposizione che spesso si manifestano nelle azioni di gestione del territorio.
I dati topografici strutturati nella banca dati servono alle amministrazioni locali per le attività di controllo e monitoraggio del territorio, di elaborazione e aggiornamento degli strumenti urbanistici, per la gestione tributaria integrata con i dati anagrafici e catastali. La Regione utilizza il DB Geotopografico oltre che per la pianificazione territoriale e per la programmazione in generale, per il monitoraggio e il controllo del territorio finalizzato alla difesa del suolo, le valutazioni ambientali, la protezione civile, la comunicazione delle informazioni territoriali al pubblico. L'aspetto legato alla diffusione dei dati merita particolare attenzione anche in considerazione del sempre più diffuso sviluppo di servizi territoriali nel web che hanno come naturale base geometrica e informativa i dati del DB Geotopografico.
Il DB Geotopografico è utilizzato dalle società di servizi per la programmazione e la gestione delle reti di loro competenza, dai professionisti per i progetti edilizi o di opere pubbliche e per le analisi territoriali, dai cittadini per la conoscenza del proprio territorio, oltre che per scopi culturali, turistici e ricreativi, anche per la presa di coscienza di quelli che sono gli elementi che sono tenuti come base nelle scelte di programmazione e pianificazione territoriale delle amministrazioni locali.

Gli standard comunitari e nazionali di riferimento

L'UP SIT, dopo una lunga fase di sviluppo degli standard per il DB Geotopografici nell'ambito dei lavori del Comitato Tecnico di Coordinamento dell'IntesaGis, ha partecipato attivamente alla definizione di un nuovo modello di banca dati geotopografica presso il "Comitato delle regole tecniche per i dati territoriali delle P.A." di DigitPA (già CNIPA) che ha portato alla realizzazione delle regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici approvate con il Decreto del Ministro per la Pubblica Amministrazione e l'Innovazione, di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, del 10 novembre 2011.
Nello scenario europeo, di particolare importanza risulta la Direttiva 2007/2/CE, emanata dal Parlamento Europeo il 14 marzo 2007, che ha istituito l'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale nella Comunità Europea denominata INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe): un articolato sistema di disposizioni con le quali si forniscono indicazioni, anche di carattere normativo, per la costituzione e lo sviluppo delle Infrastrutture dei Dati Territoriali (IDT) degli Stati membri.

Il processo di realizzazione del DB Geotopografico

La realizzazione del Database Geotopografico è contestualizzata nelle operazioni di aggiornamento della cartografia tecnica e si sviluppa secondo le tipiche fasi di formazione di quest'ultima: ripresa aerofotogrammetria, inquadramento, restituzione, ricognizione, editing. La procedura percorre quindi fasi consolidate di produzione alle quali tuttavia si attribuiscono pesi diversi a causa della variazione di contenuti rispetto alla cartografia numerica tradizionale. In particolare si deve rilevare il maggior onere dovuto alle fasi di ricognizione in senso stretto e di acquisizione di dati provenienti da altre fonti al fine di implementare il sistema di attributi che completa l'informazione geometrica del database. La quantità di attributi che caratterizzano gli oggetti costituisce infatti la principale differenziazione rispetto agli strumenti tradizionali, assieme alla garanzia di una completa copertura del territorio mediante primitive di tipo poligonale.

Negli ultimi anni il rilevamento è eseguito alla scala 1:2000 nelle aree occupate dai centri urbani e alla scala 1:5000 nel resto del territorio. La disponibilità di un prodotto a grande scala per le zone ad elevata densità di edifici consente un appropriato uso del DB Geotopografico per la redazione degli strumenti urbanistici comunali, intercomunali e provinciali. Infatti, la legge urbanistica regionale, L.R. 11/2004, oltre a ribadire l'utilizzo della Carta Tecnica Regionale per la redazione degli strumenti urbanistici, definisce i compiti e le competenze degli enti, prevedendo, tra i vari strumenti, la costituzione e l'adozione di Sistemi Informativi Territoriali, accessibili e interoperabili.

L'efficacia della banca dati è garantita da adeguati livelli di qualità delle informazioni contenute; uno dei parametri che certificano il livello di affidabilità è legato all'accuratezza geometrica dei dati in relazione alla loro reale posizione sulla superficie terrestre. L'utilizzo delle più recenti tecnologie nel campo delle riprese aerofotogrammetriche consente un marcato aumento delle precisioni di norma raggiungibili che sono fissate all'interno dei Capitolati Speciali d'Appalto, utilizzati per la produzione della CTRN e la formazione dell'associato DB Topografico, che sono aggiornati con la frequenza legata alla rapidità dell'evoluzione tecnica e scientifica che interessa le diverse fasi di lavorazione. Gli ultimi progetti avviati prevedono le seguenti tolleranze:

- per la scala 1:2000: planimetrica = 0,40 m, altimetrica = 0,60 m
- per la scala 1:5000: planimetrica = 1,00 m, altimetrica = 1,50 m

La qualità geometrica è inoltre un requisito fondamentale per l'uso del DB Topografico come supporto alla redazione di strumenti urbanistici o come struttura a cui si collegano altre banche dati; infatti l'elevato standard di precisione garantisce anche la tenuta nel tempo delle geometrie.

Appare significativo far presente che la percentuale di territorio del Veneto per cui esiste o è in fase di produzione il DB Geotopografico è pari a circa l'80%; per il 20% del Veneto, che resterà privo di una copertura di tipo DB Geotopografico, si programmeranno progetti compatibilmente con il reperimento delle risorse finanziarie necessarie.

La fase di produzione si avvia dunque alla conclusione lasciando spazio alla necessaria opera di omogeneizzazione e integrazione delle banche dati acquisite secondo gli standard più recenti e funzionali.



Figura 1. Esempio di visualizzazione di alcuni file di un DB Geotopografico.

L'applicazione della Metodologia GeoUML

Nel corso del biennio 2011-2012 la Regione del Veneto ha partecipato assieme alle Regioni Lazio, Piemonte e Umbria al progetto interregionale "Applicazione degli strumenti GeoUML nel processo di produzione del Database geotopografico" coordinato dal Comitato Permanente per i Sistemi Geografici (CPSG) del Centro Interregionale per i Sistemi Informatici, Geografici e Statistici (CISIS).

Gli strumenti GeoUML (GeoUML Methodology e GeoUML Tools), realizzati dal Politecnico di Milano per conto del CISIS-CPSG, sono destinati a coprire le necessità degli Enti sia per il processo di produzione dei dati territoriali, sia per la gestione e l'aggiornamento di tali dati all'interno delle proprie strutture.

Il progetto era finalizzato a supportare le Regioni nella sperimentazione della metodologia e degli strumenti GeoUML per la realizzazione dei Database geotopografici partendo o da nuove produzioni o recuperando dati esistenti.

Parallelamente ha promosso l'adozione delle nuove specifiche tecniche per i Database geotopografici fornendo criteri ed indicazioni puntuali per la migrazione dalla specifica precedentemente adottata.

La Regione del Veneto, per l'attività di sperimentazione, ha provveduto alla progettazione di un Database geotopografico (DBGT) basato sulle Specifiche di Contenuto e sul Modello Concettuale nazionale (DM 10.11.2011 Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei Database geotopografici), affidandone all'esterno la realizzazione.

E' stata effettuata una variante ad un appalto già in corso relativo alla formazione di un DBGT basato sulla precedente versione delle Specifiche (IntesaGIS).

Il progetto ha riguardato una parte del territorio della Provincia di Vicenza (per una superficie pari a 83.893 ha) e ha previsto che l'acquisizione dei centri urbani fosse realizzata con un rilievo alla scala 1:2000 (16.763 ha) mentre la restante parte del territorio alla scala 1:5000 (67.130 ha).

E' stata individuata un'area di circa 1200 ettari scelta appositamente in quanto campione rappresentativo degli oggetti territoriali presenti nel lotto oggetto dell'appalto.

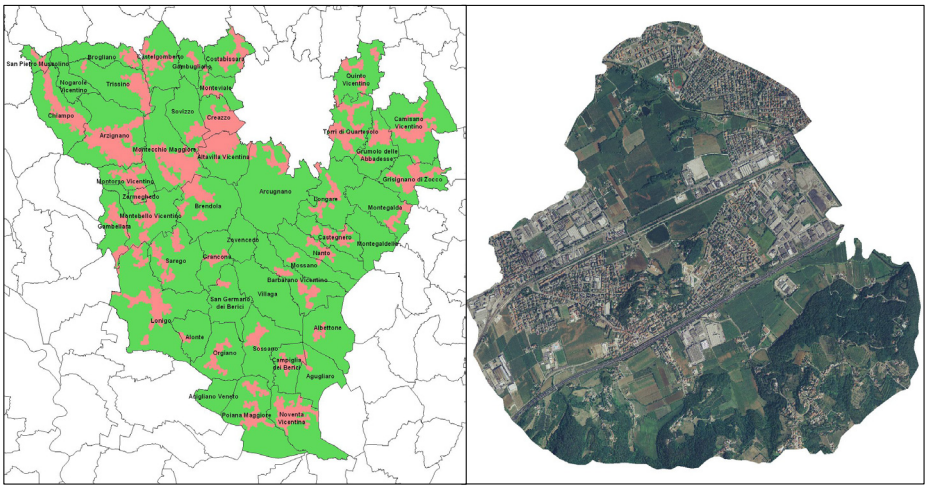


Figura 2. Il "Lotto Vicenza Sud" e l'area campione di 1200 ettari.

Ciò ha permesso la realizzazione di un prototipo in tempi brevi che ha consentito di sperimentare in modo efficace il processo produttivo, dal rilievo all'implementazione, così da ottimizzarlo prima di estenderlo alla produzione dell'intero lotto.

L'attività svolta preliminarmente alla produzione del DBGT ha riguardato la predisposizione, mediante il GeoUML Catalogue, della Specifica di Contenuto prevedendo l'acquisizione di tutto quanto contemplato dal National Core 1:5000 (NC5) definito nel "Catalogo dei Dati Territoriali".
Successivamente si è provveduto ad aggiungere anche alcuni contenuti informativi, non previsti come obbligatori dal NC5, ma comunque già definiti all'interno del "Catalogo dei Dati Territoriali": essenzialmente si è trattato delle classi relative alle informazioni geodetiche e fotogrammetriche oltre ad attributi specifici facenti parte della metadatazione di istanza necessari all'interfacciamento con l'Infrastruttura Dati Territoriali regionale (IDT).
Si elencano di seguito le principali attività svolte per la progettazione e la successiva realizzazione del DBT:

- Produzione della Specifica di Contenuto
- Definizione della Data Product Specification per il Modello Implementativo Shape Flat
- Generazione del mapping fisico della Specifica Concettuale e produzione della struttura fisica shape secondo il Modello Implementativo Shape Flat
- Produzione della documentazione descrittiva della struttura shape e del mapping
- Popolamento sistematico degli Shape file vuoti con i dati provenienti dal nuovo rilievo
- Caricamento e validazione dei dati prodotti mediante il GeoUML Validator
- Produzione dei report di errore (report di validazione)
- Iterazione del processamento dei dati fino al conseguimento del prodotto conforme alla Specifica di Contenuto

Violazioni dei vincoli GeoUML		
TIPO	**VINCOLO**	**NUMERRORI**
Partitioned	CSUOLO.geometria partizionato ((posizione = "isolata") AC_CIC.SottoareeDi_Sede(Sede <> "su ponte"AND Sede <> "in galleria/ sottopassaggio/sotterraneo") , AR_MAR.Estensione.superficie , ATTR_SP.Estensione.superficie , MU_DIV.Sup_riferimento.superficie , AT_NAV.Estensione.superficie , SC_DIS.Sup_estensione.superficie , AR_VMS.SottoareeDi_Sede(Sede <> "su guado"AND Sede <> "su ponticello"AND Sede <> "sotterraneo") , CR_EDF.Ingombro al suolo.superficie , MN_IND.Sup_riferimento.superficie , ARGINE.Sup_riferimento.superficie , (posizione = "non in sede stradale") AC_PED.SottoareeDi_Sede(Sede <> "su ponte/passerella pedonale"AND Sede <> "in galleria/sottopassaggio pedonale") , MN_CON.SottoareeDi_Sede(Sede = "in superficie") , OP_REG.SottoareeDi_Affiorante(Affiorante = "affiorante") , SD_FER.SottoareeDi_Sede(Sede <> "su ponte/viadotto/cavalcavia"AND Sede <> "in galleria") , DIGA.Sup_riferimento.superficie , CL_AGR.Estensione.superficie , AC_VEI.SottoareeDi_Sede(Sede <> "su ponte/viadotto/cavalcavia"AND Sede <> "in galleria") , MN_MAU.Sup_riferimento.superficie , F_NTER.Sup_estensione.superficie , (tipo <> "marciapiede, sagrato, piazza"AND tipo <> "percorsi a gradinate") MAN_TR.Sup_riferimento.superficie , BOSCO.Sup_estensione.superficie , A_TRAS.Sup_estensione.superficie , AATT.Sup_riferimento.superficie , AB_CDA.SottoareeDi_Sede(Sede <> "in sede pensile"AND Sede <> "in sede sotterranea") , AR_VRD.Estensione.superficie , INVASO.Estensione.superficie , MU_SOS.Sup_riferimento.superficie , A_PVEG.Sup_estensione.superficie , OP_POR.Sup_riferimento.superficie , PS_INC.Estensione.superficie , SP_ACQ.Estensione.superficie ,	6
Partitioned	PROVIN.Estensione partizionato PROVIN.Cmdipv.Estensione	1
Partitioned	REGION.Estensione partizionato REGION.Pvdirg.Estensione	1
Partitioned	RT_ST1.Grafo_l1 partizionato EL_STR.Tracciato	9
exists	(Sup_sede.uso = "autostradale"OR Sup_sede.uso = "stradale") PONTE.Sup_sede.superficie (INT) esiste (AC_VEI.SottoareeDi_Sede(Sede = "su ponte/viadotto/cavalcavia") , AR_VMS.SottoareeDi_Sede(Sede = "su ponticello"))	3
exists	TP_STR.Tracciato.PLN (IN) esiste TP_STR.Cmditp.Estensione	14
forall	ELE_CP.Copertura.B3D (DJ| TC) perOgni ELE_CP.Copertura.B3D	2
forall	ES_AMM.Tracciato_analitico (CR| DJ| TC) perOgni ES_AMM.Tracciato_analitico	4

Figura 3. Esempio tratto da un report sintetico prodotto dal GeoUML Validator.

Si è pertanto potuto verificare operativamente l'implementazione del modello di DB geotopografico, definito dalle più recenti e complete Specifiche di Contenuto nazionali, in tutta la filiera produttiva a partire dalla definizione dei contenuti fino alla validazione intrinseca dei dati prodotti secondo il Modello Implementativo prescelto.
In particolare si sono potuti mettere a punto gli strumenti software della GeoUML Methodology (il GeoUMLCatalogue destinato alla produzione e gestione della Specifica Concettuale oltre che alla produzione del mapping fisico, e il GeoUML Validator finalizzato alla validazione intrinseca dei dati implementati).
Inoltre, sono emerse indicazioni puntuali utili alla formulazione di proposte di integrazione della Specifica di Contenuto sia per gli aspetti relativi ai contenuti informativi sia per quanto concerne i vincoli di integrità spaziale.
A tal riguardo, durante la fase produttiva della sperimentazione, si è provveduto a un'ulteriore revisione del popolamento di attributi e valori, a completamento di quanto preliminarmente effettuato nella fase di progettazione del DBGT, per gestire la disponibilità di nuove informazioni acquisite durante il processo di rilievo e di ricognizione operati sul territorio.
Analogamente si è provveduto sia ad affinare alcuni vincoli di integrità spaziale già definiti, sia a introdurne di nuovi, utili all'intercettazione degli errori di conformità dei dati acquisiti rispetto a quanto definito nella Specifica di Contenuto con particolare riferimento al modello geometrico adottato.

Pertanto, complessivamente, la sperimentazione compiuta ha permesso di:

- ottimizzare le fasi di rilievo con particolare riferimento alle operazioni di restituzione, finalizzandole alle peculiarità produttive richieste dal DBGT
- valutare le questioni relative alla corretta interpretazione della Specifica di Contenuto
- definire al meglio il fabbisogno informativo dettato dalla ricchezza e complessità dell'attuale modello di DBGT
- ottimizzare le verifiche di conformità intrinseca dei dati mediante l'utilizzo degli strumenti messi a disposizione dai GeoUML Tools.

Inoltre, l'applicazione completa delle Specifiche di Contenuto e del Modello Concettuale nazionale ha consentito di misurare la distanza tra tale modello e quello secondo il quale è strutturato l'attuale Database topografico in possesso dell'Amministrazione Regionale, fornendo precise indicazioni utili a una accurata progettazione della futura riconversione del patrimonio cartografico di base.

Bibliografia

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DECRETO 10 novembre 2011
Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici.
(Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27/02/2012 - Supplemento ordinario n. 37).

Spatial DB Group Politecnico di Milano - Comitato di Progetto e Struttura tecnica di supporto CISIS-CPSG, GeoUML Methodology e Tools - Organizzazione Complessiva, 2012

Spatial DB Group Politecnico di Milano - Comitato di Progetto e Struttura tecnica di supporto CISIS-CPSG, Guida alla lettura di uno schema GeoUML, 2012

Spatial DB Group Politecnico di Milano - Comitato di Progetto e Struttura tecnica di supporto CISIS-CPSG, Guida all'uso del GeoUML Catalogue, 2012

Spatial DB Group Politecnico di Milano - Comitato di Progetto e Struttura tecnica di supporto CISIS-CPSG, Guida all'uso del GeoUML Validator, 2012

Spatial DB Group Politecnico di Milano - Comitato di Progetto e Struttura tecnica di supporto CISIS-CPSG, Guida ai Modelli Implementativi di tipo Flat, 2012

Spatial DB Group Politecnico di Milano - Comitato di Progetto e Struttura tecnica di supporto CISIS-CPSG, Guida alla implementazione delle proprietà geometriche del GeoUML, 2012

Monitoraggio geofisico di aree sottomarine in Mare Adriatico

Nunzio De Nigris (*), Margherita Aguzzi (*), Gianna Fabi (**),
Sarine Manoukian(**), Mentino Preti (*)

(*) Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente (ARPA), Largo Caduti del Lavoro 6, 40127 Bologna, Italia, maguzzi@arpa.emr.it
(**) Istituto di Scienze Marine (ISMAR), CNR, 60125 Ancona, Italia, s.manoukian@ismar.cnr.it

Riassunto

Scopo del lavoro è lo studio dell'impatto ambientale determinato sul fondale del mare Adriatico Settentrionale dal prelievo di 800.000 m3 di sabbia nel 2002 e 815.000 m3 nel 2007 da 3 aree appartenenti a 2 dossi (A e C1) distanti circa 46 e 57 km dalla costa, giacenti rispettivamente alle profondità di circa 34 m e 39 m.

Entrambi i dossi sono attribuibili a cordoni litoranei relitti e la sabbia è stata utilizzata per il ripascimento delle spiagge in erosione del litorale emiliano-romagnolo.

Le 3 aree sono state oggetto di diverse campagne di monitoraggio geofisico mediante ecoscandaglio (*singlebeam e multibeam*) e *side scan sonar* nel periodo 2001-2009, prima, durante e dopo le operazioni di dragaggio.

I rilevi hanno permesso di riscontrare, da un lato, il rispetto dell'area di prelievo prevista dal progetto da parte della draga e, dall'altro, le modificazioni apportate al fondale.

Nel 2002 la sabbia è stata prelevata da una sola area del dosso C1 (C1P02), mentre nel 2007 da 2 aree distinte appartenenti al dosso C1 e al dosso A (C1P07 e AP07).

I rilevi hanno evidenziato che la draga ha operato seguendo rotte circolari e che gli approfondimenti del fondale hanno raggiunto punte di 2 m nel dosso C1 e di 3 m nel dosso A.

Nelle 3 aree, il monitoraggio non ha evidenziato significative attenuazioni nel tempo dei solchi prodotti dal dragaggio.

Abstract

The aim of this study is to assess the environmental impact of dredging activities on the seabed in the North Adriatic Sea. The operations involved the removal of 800,000 m3 of sand in 2002 and 815,000 m3 in 2007 from three areas belonging to two rises, A and C1, located at 46 km and 57 km offshore and at a mean depth of 34 m and 39 m respectively.

Both the rises are part of relict sandbars and the sand was used for eroded beach nourishment along the Emilia-Romagna coast.

Geophysical surveys using singlebeam and multibeam echosounders and side scan sonar were carried out in all the three areas between 2001 and 2009, before, during, and after the dredging activities.

The acoustic investigations were an effective tool to verify the observance from the dredging company of the extraction area as provided in the project and to identify any change occurred on the seafloor.

In 2002 the sand was removed only from one area of C1 (C1P02), while in 2007 two different areas belonging to C1 and A (C1P07 and AP07) were involved in the extraction activities.

The surveys showed that the dredge worked following circular tracks and that the maximum deepening picks reached 2 m and 3 m in C1 and A respectively.

No significant attenuation of the dredging tracks was recorded over time in the three areas.

Introduzione

Nell'ambito di due progetti di messa in sicurezza di tratti critici del litorale emiliano-romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine effettuati dalla Regione Emilia-Romagna nel 2002 e nel 2007 (Preti, 2011) denominati di seguito rispettivamente Progettone 1 e 2, l'Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente (ARPA) ha ricevuto l'incarico di individuare le aree di prelievo in mare Adriatico delle sabbie e di eseguirne il monitoraggio fisico e ambientale successivi allo sfruttamento.

Nel 2002 sono stati prelevati 800.000 m3 di sabbia da un area (di seguito C1P02) collocata sul dosso C1, mentre nel 2007 815.000 m3 da due aree appartenenti al dosso C1 e al dosso A, denominate C1P07 e AP07.

Queste tre aree di prelievo sono state scelte sulla base di dati acquisiti nell'ambito di una serie di campagne di ricerca in mare condotte nel 2000 da ARPA in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine (ISMAR) di Bologna (Fig. 1; Correggiari et al., 2011).

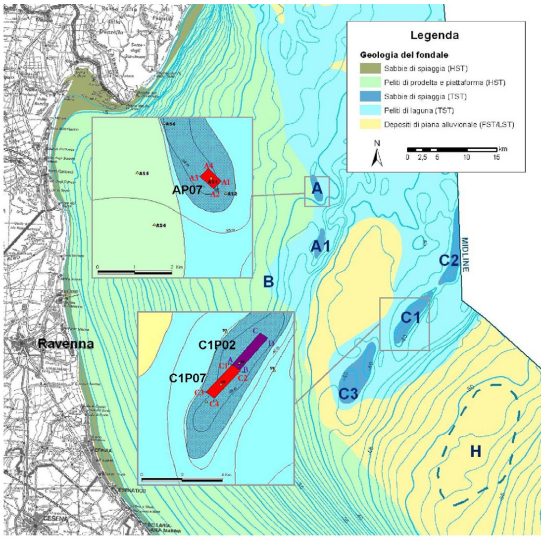


Figura 1. Ubicazione delle aree oggetto di prelievo nel 2002 e 2007 (C1P02, C1P07, AP07) sulla carta geologica della piattaforma nord adriatica (modificata da Fabbri et al., 2001). A, A1, B, C1, C2, C3 e H: accumuli sabbiosi sottomarini.

Per il monitoraggio fisico, volto allo studio dell'impatto indotto sul fondale dalle operazioni di prelievo, ARPA si è avvalsa del supporto del Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine (ISMAR) di Ancona che ha svolto una serie di campagne di rilevamento geofisico nel periodo 2002-2004 e nel periodo 2006-2009.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti a partire dai rilievi *Multibeam* (MBES) e *Side Scan Sonar* (SSS) effettuati sulle tre aree oggetto di dragaggio.

I due sistemi impiegati forniscono informazioni dettagliate sulla batimetria e il *backscatter* del fondale marino utili per la definizione della zona circoscritta alle operazioni di dragaggio, verificare l'impatto fisico e ottenere informazioni sugli attributi morfologici del fondale.

Materiali e metodi

I rilevi batimetrici del fondale sono stati effettuati tramite il sistema MBES in dotazione alla M/R "Tecnopesca II" di proprietà del CNR-ISMAR di Ancona.

L'area oggetto di dragaggio nel 2002, collocata sul dosso C1 (C1P02), è stata rilevata anche con metodologia SSS C-Max CM 800 102/325 kHz.
Nell'ambito del Progettone 1, i rilievi acustici dell'area C1P02 sono stati effettuati durante le operazioni di dragaggio e a distanza di 7, 18 e 31 mesi. Nel giugno 2009, a 7 anni dalla fine dei lavori, ARPA ha deciso di ripetere il rilievo di quest'area per verificare eventuali modificazioni del fondale.
Da progetto il sito di prelievo delle sabbie, di forma rettangolare (area C1P02; Fig. 1), ha un'estensione di 1 km2, con i lati di 500 m x 2000 m.
Ad eccezione del primo rilievo, effettuato in concomitanza con le operazioni di dragaggio, l'area effettivamente monitorata è stata estesa alle dimensioni di 3200 m x 1580 m, per garantire una visione del fondale circostante i lavori.
Nel 2007, nell'ambito del Progettone 2, sono stati prelevati 815.000 mc di sabbia da 2 aree distinte: una, denominata C1P07, collocata sul dosso C1 a sud di quella sfruttata nel 2002 e una collocata sul dosso A (AP07, Fig. 1). Particolare attenzione è stata rivolta al monitoraggio degli impatti indotti dal dragaggio su quest'ultimo dosso, dove le sabbie, a differenza del C1, non sono affioranti all'interfaccia acqua sedimento, ma giacciono al di sotto di una coltre pelitica spessa alcuni decimetri.
Le due aree (AP07, C1P07) sono state oggetto di rilievo nel 2006, prima dell'intervento, e nel luglio 2007, 1 mese dopo l'attività di dragaggio.
Nel giugno 2009, è stato eseguito un ulteriore rilievo batimetrico sull'area AP07, a 2 anni dal dragaggio del 2007.
L'area C1P07, utilizzata nell'ambito del Progettone 2, presenta forma rettangolare con lati di 1.900 m x 550 m, mentre l'area di dragaggio del 2007 AP07, ha dimensioni decisamente inferiori rispetto alla precedente (500 m x 300 m).
In entrambi i casi sono state monitorate aree con estensioni maggiori di quelle previste dal progetto di dragaggio (per la AP07 = 1050 m x 750 m; per la C1P07 = 2550 m x 950 m). Inoltre, sia per l'area AP07 che per l'area C1P07, il rilievo é stato concluso eseguendo un transetto perpendicolare a quelli precedenti per un'ulteriore verifica della correttezza dei dati acustici.
Infine, ARPA ha utilizzato i dati batimetrici di prima pianta (precedenti al dragaggio) e seconda pianta (successivi al dragaggio) per elaborare i DTM delle tre aree interessate dal prelievo di sabbia allo scopo di calcolare la quantità di sedimento asportato da ciascuna zona.

Metodologia di rilevo MBES
L'MBES è un ecoscandaglio multifascio ad alta risoluzione che lavora ad una frequenza di 300 kHz (può operare in acque basse da meno di 1 m sino a oltre 150 m di profondità) garantendo una copertura totale del fondale. Tale sistema, che risponde a tutti gli standard suggeriti dall'International Hydrographic Organization (IHO, 1998; 2008), consta di tre parti (Fig. 2):
- una stazione di controllo;
- una o due teste sonar (trasduttori) montate sulla chiglia della M/N da ricerca Tecnopesca II (Figg. 2b, 2c) e dotate di due differenti array, uno per la trasmissione e uno per la ricezione dei dati;
- un'unità di elaborazione centrale: pilota i due array della testa sonar per la formazione dei fasci in trasmissione e in ricezione, riconosce il fondale e gestisce l'interfaccia con il sistema di posizionamento DGPS, la girobussola e l'unità MRU (*Motion Reference Unit*) per la correzione di beccheggio e rollio.

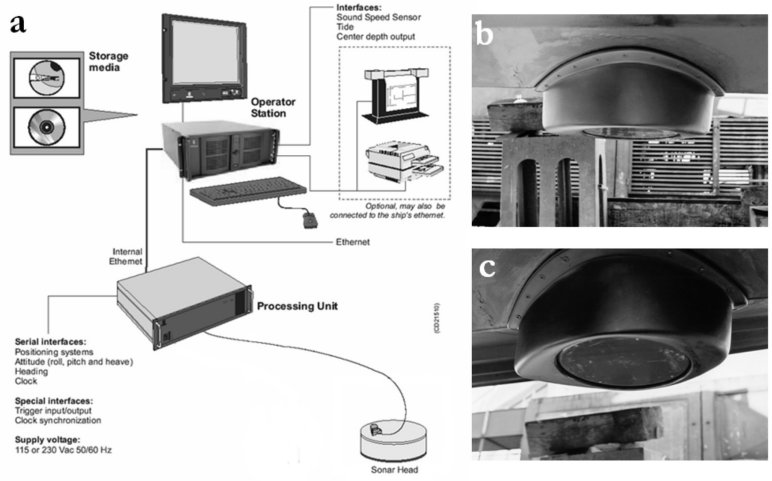


Figura 2. Schema del sistema MBES EM3000, da "Multibeam echo sounder – The new generation high performance shallow water multibeam" Kongsberg Maritime AS, in dotazione alla M/N da ricerca "Tecnopesca II" (a) e testa sonar (trasduttore) montata sulla chiglia della motonave (b, c).

Durante i monitoraggi tra il 2002 e il 2004, è stato utilizzato il modello Kongsberg EM3000 a singola testa sonar. Per ogni ciclo di misura il sistema genera in trasmissione un fascio acustico (ping) ampio 130°, mentre in ricezione vengono formati 127 fasci (beam) di 1,5°, a ciascuno dei quali corrispondono altrettanti punti di misure batimetriche. Questo sistema consente di coprire sezioni ampie sino a quattro volte la profondità, con una cadenza di 25 scansioni al secondo.
Nel 2007 il sistema è stato sostituito col nuovo e più avanzato modello Kongsberg EM3002 a singola testa. A differenza del precedente, l'EM3002 è in grado di utilizzare 254 beam. Infine, nel monitoraggio del 2009 il sistema è stato integrato con una seconda testa sonar raddoppiando il numero del beam (508) e incrementando il fascio acustico da 130° a 200°, arrivando a coprire sezioni ampie sino a dieci volte la profondità.
L'MBES è connesso a un sistema di posizionamento satellitare differenziale DGPS collegato a un satellite geostazionario, a una girobussola e a una sonda per misure della velocità del suono lungo l'intera colonna d'acqua che viene calata in mare prima dei rilevamenti ed è indispensabile per ottenere la corretta distanza tra l'oggetto battuto (fondale, banchine, ecc.) e la testa sonar. Questa misurazione viene eseguita più volte durante il giorno a causa della variabilità della densità dell'acqua con la temperatura.
Durante l'acquisizione dei dati acustici l'imbarcazione ha mantenuto una velocità media di 3,5 nodi compiendo dei transetti paralleli tra di loro previamente stabiliti.
Seguendo tale schema di navigazione e impostando il cono di acquisizione del trasduttore a 90°, la sovrapposizione del dato di acquisizione è risultata del 5-10%, garantendo la totale copertura dell'area richiesta.
Il post-processing dei dati registrati è stato condotto utilizzando i software *Neptune* (Simrad) e CARIS HIPS&SIPS che hanno permesso di correggere i posizionamenti palesemente errati, apportare la correzione dei dati di marea forniti dall'APAT – Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici di Roma e applicare filtri statistici alle misure batimetriche.
Per la realizzazione grafica è stato utilizzato il software C-Floor (Roxar) che ha consentito di effettuare un'ulteriore elaborazione dei dati concernente, ad esempio, la scala di grandezza e l'intervallo batimetrico da applicare alla cartografia. Inoltre, utilizzando il medesimo software si

sono realizzate alcune sezioni di computo sia perpendicolari che longitudinali ai transetti di navigazione confrontando i profili ottenuti dai diversi monitoraggi.

Metodologia di rilevo SSS

L' SSS è un sistema di rilevamento che permette di identificare le diverse litologie presenti sul fondale marino (sabbie, ghiaia, roccia, fango, Posidonia, Cymodocea, ecc.) sulla base della diversa risposta acustica che danno questi litotipi (Fig. 3). Il sistema sonar si avvale della tecnologia 'digitale' avanzata per produrre immagini SSS ad alta risoluzione e viene utilizzato anche per la ricerca di oggetti dispersi sul fondale (es. relitti).

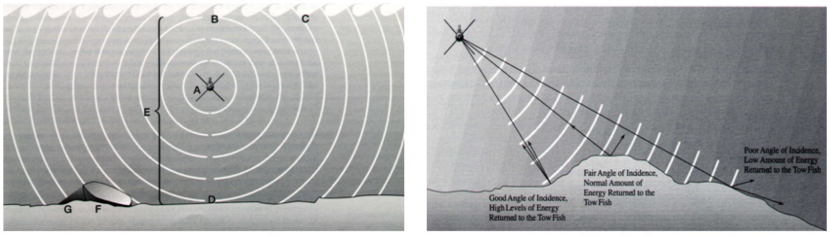


Figura 3. Tecnologia SSS, da "Sound Underwater Images – A guide to the generation and interpretation of Side Scan Sonar data" J. P. Fish & H. A. Carr.

Il SSS si avvale di due componenti principali:
- unità di acquisizione a bordo;
- *tow-fish* in mare.

Il sistema di acquisizione a bordo si compone di:
- sistema di registrazione digitale *workstation* integrata;
- drive magneto-ottico;
- stampante laser per immagini SSS (Alden 9315CTP);
- *drive* di backup formato *exabyte*.

Il sistema a mare *tow-fish* consiste invece di 2 trasduttori a doppia frequenza LF-HF 105-325 KHz (bassa ed alta risoluzione).

Durante l'acquisizione SSS sono stati utilizzati una bassa frequenza (105 KHz) e un range laterale di 100 m per ciascun canale. La scelta è ricaduta su questi parametri sia per ottenere le migliori immagini, sia per uniformità di acquisizione con il rilievo MBES. I dati acquisiti sono stati successivamente processati ed elaborati presso gli uffici della Geomarine S.a.s. utilizzando il software OCTOPUS 461.

Il sistema di posizionamento dell'SSS ha lavorato con una unità di ricezione *SkyFix* a 12 canali operante a bordo del mezzo navale a cui sono state collegate due antenne, una per il GPS e l'altra per le correzioni differenziali. La posizione di bordo è stata determinata mediante la ricezione dei segnali GPS, trasformate in coordinate geografiche, alle quali sono state successivamente applicate le correzioni differenziali ricevute tramite il satellite *Inmarsat.* La posizione di bordo così corretta è stata inviata al computer di navigazione attraverso una porta seriale. L'accuratezza della posizione dipende da diversi fattori (atmosferici, militari) e varia da 0,5 a 3,0 m.

Il sistema di navigazione del SSS soddisfa solitamente le richieste di comunicazione sia con i sensori di fix sia con le periferiche del computer e l'interfaccia modulare è adattabile a qualsiasi combinazione di input dai sensori esterni per permettere un'elaborazione in tempo reale. Il software di navigazione permette di eseguire rilievi su linee di indagine con fix predefiniti, il cui numero può essere incrementato o diminuito di qualsiasi valore e può gestire due sistemi di posizionamento, inclusi GPS, DGPS, sistemi *range/range* e *range/bearing*.

Per un accurato posizionamento satellitare il software di navigazione opera usando il DGPS, mentre una trasformazione a 7 parametri permette la traslazione del posizionamento al datum locale. Le opzioni del software facilitano la registrazione dei dati DGPS bruti per una successiva elaborazione, ottenendo una posizione finale estremamente accurata e nel contempo permettendo di configurare le informazioni sullo schermo del navigatore e del pilota. È stato infatti possibile definire l'immagine grafica della nave e creare un file archivio delle linee di rilievo, delle linee di costa e altri parametri relativi alla navigazione. Per il controllo di qualità, alla fine di ogni linea è anche possibile stampare istogrammi di deviazione dalla rotta, di distanze tra i fix, di intervallo tra i fix o di qualità dei dati di navigazione.

Metodologia di analisi ed elaborazione dati

I dati dei rilievi MBES effettuati tra il 2001 e il 2009 sulle tre aree sono stati sottoposti ad analisi per eliminare le eventuali anomalie, quindi si è proceduto alla loro elaborazione per ricavare i DTM di ciascuna area. In totale sono stati ottenuti 6 DTM dell'area C1P02, 2 dell'area CP07 e 3 dell'area AP07. Da questi sono stati ricavate carte batimetriche, carte delle differenze di quota e sezioni longitudinali e trasversali.

Allo scopo di verificare se il fondale di ciascuna area abbia subito delle variazioni nei periodi successivi alle operazioni di dragaggio, è stato effettuato un confronto preliminare qualitativo tra le carte batimetriche e tra le sezioni e una successiva analisi quantitativa consistente nel calcolo delle differenze di quota sulla base dei DTM.

Nei casi in cui sono state riscontrate significative variazioni di quota, è stata effettuata l'analisi statistica delle stesse (media e deviazione standard) che ha fornito elementi aggiuntivi utili a individuare le cause dei cambiamenti di quota (processi naturali, metodo di rilievo, ecc.).

Infine, per calcolare il volume di sabbia prelevata dalla draga nell'ambito dei due interventi, è stata effettuata la differenza dei DTM delle tre aree ottenuti dai rilevi precedenti e subito successivi al dragaggio.

Per l'area C1P02, come già accennato, sono stati utilizzati il rilievo antecedente i lavori effettuato con singlebeam (con maglie rettangolari di 300x500 m) da ISMAR-CNR di Bologna e il rilievo multibeam (con maglie di 1x1 m) acquisito da ISMAR-CNR di Ancona dopo il prelievo. Mentre, per le aree AP07 e C1P07, sono stati impiegati due rilievi multibeam a maglia di 1x1 m eseguiti da ISMAR CNR di Ancona.

Risultati dei rilievi eseguiti nel periodo 2001-2009 sull'area C1P02

Nel maggio 2002 una draga della capacità di 6.000 m3 ha prelevato 800.000 m3 di sabbia dall' area C1P02, collocata sul dosso C1. Essendo tra le tre aree dragate quella più indagata, se ne riporta di seguito la descrizione. Nell'arco di 8 anni (2001-2009) è stata infatti oggetto di 6 compagne di rilievo batimetrico. L'area è situata su un fondale compreso tra 38,75 m e 39,25 m di profondità. Le operazioni di dragaggio, rappresentate da linee circolari (Fig. 4), sono state effettuate prevalentemente all'interno della zona assegnata.

Le quote registrate con la prima campagna di monitoraggio variavano generalmente da 39,50 a 40,50 m, raggiungendo solo in alcuni punti della parte centrale dell'area i 41,00 - 41,25 m. Mediamente è stata quindi rispettata la quota di approfondimento prevista dal progetto, pari a 1 m.

L'analisi qualitativa delle carte batimetriche e dei profili ottenuti dai rilievi eseguiti tra il 2002 e il 2009 ha evidenziato una serie di variazioni di quota che in un primo momento sono state ricondotte a una leggera attenuazione delle asperità del fondale.

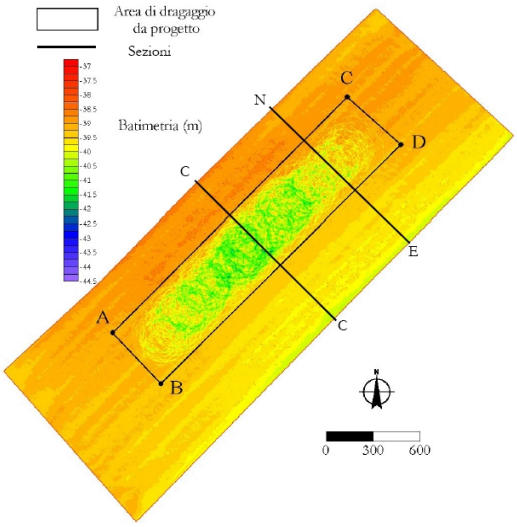


Figura 4. Area C1P02: carta batimetrica del dicembre 2002.

Questa prima interpretazione è stata confutata da successive analisi.
Dal confronto delle 4 carte batimetriche ottenute dai rilievi effettuati dopo la fine del dragaggio è risultato che le tracce lasciate dalla draga non diminuiscono nel tempo, ma risultano di volta in volta più o meno marcate.
In corrispondenza dei fondali esterni all'area dragata, rimasti invariati negli anni, le carte delle differenze di quota evidenziano delle variazioni paragonabili a quelle rilevate nella zona di dragaggio.
I profili rilevati nei diversi periodi risultano in molti tratti paralleli tra loro e/o leggermente traslati lateralmente. In particolare, si osservano anomali incrementi di quota in corrispondenza degli alti morfologici.
Dall'analisi statistica delle variazioni di quota calcolate tramite la differenza di DTM risulta che la media delle variazioni di quota è poco superiore al centimetro tra il 2002 e il 2003 e di circa 6 cm tra il 2003-2004 e 2004-2009; la relativa deviazione standard si mantiene su valori compresi tra ± 16 e ± 19. La media delle variazioni di quota è di un solo centimetro se si confronta il rilievo 2002 con quello del 2009, mentre la deviazione standard è di ± 21 cm.
In sintesi, quindi, sia l'analisi qualitativa che quantitativa inducono a concludere che il fondale dragato nel 2002 non ha subito significative variazioni nei successivi 7 anni e che le variazioni di quota riscontrate rientrano nel *range* degli errori della metodologia di rilievo impiegata.

Conclusioni
Nell'ambito dei monitoraggi successivi a due interventi di ripascimento con sabbie sottomarine che hanno comportato il prelievo, nel 2002 e nel 2007, di 1.615.000 m3 di sabbie da 3 aree (C1P02, AP07, C1P07) collocate sul fondale del mare Adriatico settentrionale, i rilievi batimetrici con multibeam hanno messo in evidenza come il dragaggio abbia prodotto una marcata irregolarità del fondo marino nelle aree interessate dal prelievo.
L'azione del dragaggio è rappresentata da solchi circolari che evidenziano come la maggior parte delle operazioni sia avvenuta all'interno delle zone indicate dai due progetti esecutivi, alcune fuoriuscite sono state riscontrate lungo il perimetro delle due aree sfruttate nell'ambito dell'intervento del 2007 (AP07 e C1P07).

Mentre il sistema MBES ha evidenziato in dettaglio le alterazioni batimetriche del fondale, l'SSS è stato in grado di porre in risalto alcuni piccoli accumuli di materiale fuori dell'area di prelievo indicandone la diversa litologia in comparazione con il sedimento superficiale circostante.
Il monitoraggio post-intervento è stato condotto solo sulle aree C1P02, che è stata indagata per una durata di 8 anni, e sull'area AP07, che è stata studiata per 2 anni. Sull'area C1P07 sono stati effettuati solo i rilievi prima e dopo il dragaggio.
Nell'area C1P02, dragata nel 2002, i rilievi di monitoraggio post-intervento hanno evidenziato inizialmente delle variazioni di quota che dopo una approfondita analisi qualitativa e quantitativa sono state definite non significative e presumibilmente imputabili al metodo di rilievo in mare. In sintesi, nell'area C1P02 a 7 anni di distanza dal dragaggio il fondale non ha subito sostanziali modificazioni. Anche nell'area AP07, a due anni dal prelievo, i rilievi non mostrano particolari attenuazioni dei solchi di dragaggio.
Tra le varie elaborazioni, ARPA ha calcolato anche la quantità di sedimento prelevato da ciascuna area sulla base dei rilievi in mare e conseguentemente lo scostamento dai volumi di dragaggio quantificati con i rilievi effettuati sulle spiagge dalla Direzione Lavori, in accordo con l'impresa che ha eseguito il lavoro di dragaggio, trasporto e scarico delle sabbie sulla spiaggia.
Per le aree AP07 e C1P07 si è riscontrato una sostanziale coincidenza tra i due risultati.
Per quanto riguarda l'area C1P02, il volume ottenuto dal confronto dei rilievi eseguiti sull'area dragata è superiore del 16% a quello fornito dalla Direzione lavori. Questa differenza di volume è stata determinata dalla differente modalità e strumentazione utilizzata per il rilievo di prima pianta (*singlebeam)* e di seconda pianta (*multibeam*).
Nel complesso, i risultati ottenuti rendono concreta la possibilità di poter considerare tale approccio un utile sistema di verifica dei volumi di ripascimento, normalmente misurati a terra o sulla draga per quantificare l'importo dovuto all'impresa esecutrice.
In sintesi, i rilievi effettuati nell'arco di 8 anni da ARPA sulle aree di prelievo della sabbia in Mare Adriatico, e le successive analisi ed elaborazioni dei dati hanno permesso di fornire risposte ai seguenti aspetti:

- rispetto dell'area di prelievo indicata nel progetto esecutivo da parte della draga;
- forma ed entità delle modificazioni determinate dalle operazioni di dragaggio sul fondale;
- riduzione nel tempo delle asperità lasciate dalla draga sul fondale;
- verifica di eventuali processi di sedimentazione;
- calcolo dei volumi prelevati.

L'entità pratica e scientifica dei risultati ottenuti dimostra quindi la validità del monitoraggio, dei metodi e degli strumenti impiegati.
Nel volume monografico N. 19 di Studi Costieri, vengono riportati in 8 articoli a carattere scientifico metodologie e risultati dei monitoraggi fisici e ambientali che hanno riguardato le aree di prelievo della sabbia in mare e le spiagge oggetto di ripascimento dei Progettoni 1e 2.

Bibliografia

Preti M. (2011), "Ripascimento delle spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna: monitoraggio 2001-2009"*, Studi Costieri,* 19: 216
Correggiari A., Aguzzi M., Remia A., Preti M., et al. (2011), "Caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche dei giacimenti sabbiosi in Mare Adriatico Settentrionale utilizzabili per il ripascimento costiero", *Studi Costieri,* 19:11-31
IHO (2008), IHO Standards for Hydrographic Surveys, *Special Publ*., 44, 5th edition
Fabbri A., Argnani., Bortoluzzi G., Correggiari A., Gamberini F., Ligi M., Penitenti D., Roveri M. e Trincardi F. (2001), "Note illustrative della Cartografia Geologica dei mari italiani scala 1:250.000: Foglio NL33-10 Ravenna".
IHO (1998), IHO Standards for Hydrographic Surveys, *Special Publ.,* 44. 4th edition

Memoria e oblio.
Scoperta e rilievo digitale dell'anamorfosi murale di J.-F. Nicéron

Agostino De Rosa, Alessio Bortot, Cristian Boscaro,
Cosimo Monteleone, Elena Trevisan

Università Iuav di Venezia-fAR, Dorsoduro 2196, 30123 Venezia, Italia,
Tel. +39.0412571965, Fax +39.0412571927, email: aderosa@iuav.it

Abstract
Nel complesso conventuale di Trinità dei Monti (Roma) è stata recentemente riportata alla luce una pittura murale a secco, attribuita a padre Jean François Nicéron (1613 –1646), che si credeva oramai irrimediabilmente scomparsa: l'opera ritrae *San Giovanni Evangelista nell'isola di Pathmos mentre scrive l'Apocalisse* accelerato prospetticamente. L'Università Iuav di Venezia, dopo gli interventi di restauro conservativo, è stata incaricata dai *Les Pieux Etablissements de la France à Rome et à Lorette* di redigere il rilievo digitale dell'opera e di indagarne, per la prima volta, la struttura ottico-proiettiva.
In Trinita dei Monti's convent (Rome) was recently brought to light a wall painting, attributed to Father Jean François Nicéron (1613 -1646), which was thought by now irretrievably lost: the work depicts in accelerated perspective *St. John the Evangelist in Pathmos writing the Apocalypse*. The University IUAV of Venice, after the conservative restoration's painting, was appointed by *Les Pieux Etablissements de la France à Rome et Lorette* to draw up a digital survey of this neglected masterwork and to investigate, for the first time, its optical-projective structure.

L'edificazione del Convento di Trinità dei Monti, iniziata nel 1502, fu fortemente voluta dall'allora re di Francia Carlo VIII, allo scopo di erigersi a baluardo e simbolo della cristianità francese, divenendo luogo privilegiato dove esibire le risorse spirituali, artistiche e scientifiche galliche. La chiesa annessa al complesso conventuale fu completata nel 1519 anche se, in realtà, il corpo principale fu prolungato, a seguito dell'edificazione dell'attuale facciata, nel 1584 su progetto di Giacomo della Porta. Il convento infine sarebbe stato terminato nel 1550. In esso sono custodite opere di mirabile valore che risultano intimamente legate al fondatore dell'Ordine dei Minimi, San Francesco di Paola.
La ricerca svolta dall'*Imago Rerum* team, afferente all'Università Iuav di Venezia, si è concentrata su due figure di eccellenza, i padri Emmanuel Maignan (1601-1676) e Jean-François Nicèron (1613-1646) che furono a più riprese ospiti del convento nel XVII secolo, periodo in cui il complesso fu sotto la protezione del Cardinale A. Ludovico Richelieu, fratello del celebre consigliere del re di Francia Luigi XIII. Si affianca a questi due studiosi il padre Minimo Marin Mersenne (1588-1648), allievo di Descartes, conosciuto al convento gesuita di La Fléche. E' proprio il pensiero di stampo cartesiano il minimo comune denominatore che lega queste quattro personalità: dai loro scambi culturali sarebbe infatti nata una vera e propria 'poetica del dubbio', basata sugli errori della vista e sulla possibilità di sfruttarli a scopo ludico e filosofico al contempo, sottintendendo così un messaggio più profondo, legato a quel sentimento dell'incertezza espresso chiaramente da Descartes nel suo *Discours de la Méthode*: "Sono sempre rimasto fermo nella decisione, a suo tempo presa, di non supporre alcun altro principio oltre quello di cui mi sono or ora servito per dimostrare l'esistenza di Dio e dell'anima e di non accogliere per vera alcuna cosa che non mi sembrasse più chiara e più certa delle dimostrazioni sin qui fatte dai geometri" (Cartesio,

1993). Questo approccio gnoseologico ha il suo *locus* privilegiato di verifica nel più importante dei cinque sensi, la vista, generando una proliferazione di immagini che si scompongono e ricompongono in un'atmosfera magica, in cui esse appaiono come fantasmi da una sciarada di linee e colori, per poi perdersi in quello stesso turbinio non appena il punto di osservazione muti. Questo stesso spirito viene condiviso in modo particolare da Nicéron e Maignan che mostrarono nelle loro ricerche un forte interesse per le scienze matematiche e fisiche, ma soprattutto una spiccata curiosità verso una particolare forma di rappresentazione, legata alle leggi della prospettiva, detta *anamorfosi*. Nicèron dimostra fin dalla più tenera età notevoli capacità intuitive per le materie scientifiche entrando a far parte, nel 1632, dell'ordine dei Minimi presso il convento di Place Royale a Parigi.



Figura 1. Nuvola di punti da scansione laser del complesso Conventuale di Trinità dei Monti, Roma.

Le numerose lettere e i documenti custoditi presso la Biblioteca Nazionale di Francia, quella di Firenze e dall'archivio Generale dei Minimi a Roma, testimoniano gli intensi scambi culturali che Nicéron ebbe con figure di spicco nell'ambito coevo delle scienze esatte tra cui, per citare i più celebri, ricordiamo: Evangelista Torricelli, Jacques-Alexandre Le Tenneur, Jacques De Billy, Athanasius Kircher e il padre Bonaventura Cavalieri. Gli argomenti trattati in queste corrispondenze spaziano dall'astronomia all'ottica, anche se il vero interesse di Nicèron fu la prospettiva e l'*anamorfosi* come testimonia il celebre trattato da lui pubblicato a Parigi nel 1638: *La perspective curieuse, ou magie artificielle des effets mervellieux de l'optique, de la catoptrique et de la dioptrique* e la successiva edizione latina, apparsa postuma del 1646, curata e integrata da padre M. Mersenne e titolata *Thaumaturgus opticus seu admiranda. Optices per radium directum; catoptrices per reflexum e' politiscorporibus, planis, cylindricis, polyedris, poligonis, et aliis; Dioptrices, per rifractum in diaphanis* (Rizzini, 2004).

Il termine *anamorfosi*, di derivazione greca, si compone etimologicamente del suffisso *anà* (all'insù, all'indietro, ritorno verso) e della radice *morphé* (forma) (*ad vocem*, Piccola Treccani, 1995; Thompson, 1969; De Rosa, D'Acunto, 2003): secondo lo studioso Jurgis Baltrusaitis (Baltrusaitis, 1960) il termine compare per la prima volta nel trattato di Gaspar Schott, *Magia Universalis naturae et artis*, (Würtzburg 1657-1659). Esso allude a una particolare categoria di immagini che a prima vista risultano deformate, tanto da non essere riconoscibili, se non da un preciso punto di osservazione (*anamorfosi dirette*), oppure con l'ausilio di un medio riflettente di forma sferica, cilindrica, conica o poliedrica che, opportunamente posizionato, rivela la figura nelle

sue proporzioni reali (*anamorfosi catottriche*) (Andersen, 1996). Come altrove sottolineato, dal punto di vista geometrico, le viste anamorfiche risultano legate alle leggi della prospettiva lineare (*perspectiva artificialis*) codificate nei celebri trattati di Leon Battista Alberti (1435) (Alberti, 1973) e di Piero della Francesca (1472 ca.) (Della Francesca, 1984), non risentendo però dell'esigenza rinascimentale di far coincidere lo spazio della rappresentazione con quello della visione del soggetto osservante. Per tali ragioni queste immagini, nonostante la loro coerenza geometrica, appaiono come depravazioni proiettive, utilizzate sia come *divertissement* che come strumenti per criptare messaggi di carattere politico, simbolico ed esoterico.



Figura 2. Le due anamorfosi murarie pinciane a confronto.

Durante i primi sopralluoghi presso il convento di Trinità dei Monti, il team ha avuto modo di visitare e pianificare la campagna di rilievo che ha compreso la scansione tridimensionale delle facciate esterne del chiostro e dei corridoi posti al primo piano del convento pinciano; l'interesse per quest'ultimi è legato soprattutto alla presenza al loro interno di alcune opere realizzate proprio da Nicèron e Maignan (Compendiosum Chronicorum.., 1629). Nel corridoio occidentale troviamo infatti una *grisaille* in *anamorfosi* realizzata dal padre Maignan nel 1642, che ritrae *San Francesco di Paola raccolto in preghiera*. Un'altra immagine anamorfica policroma ad opera di Nicèron, che rappresenta *San Giovanni Evangelista nell'Isola di Patmo nell'atto di scrivere l'Apocalisse*, è ospitata invece nel corridoio opposto, sul lato orientale del chiostro; la pittura murale è rimasta celata da strati di intonaco per molti secoli, probabilmente a partire dal periodo dell'occupazione napoleonica, finché recenti restauri, condotti da Luigi De Cesaris e Maria Cristina Tomassetti (Frattini, Moriconi, 2012), non hanno riportato alla luce quasi per intero la preziosa opera. *Trait d'union* tra le due opere è la galleria sul lato nord che si caratterizza per la presenza di un astrolabio proiettato sulle sue pareti interne e sul suo soffitto a volta, realizzato da Maignan (autore di un manuale di gnomonica intitolato *Perspectiva Horaria Sive de Horographia Gnomonica Tum Theoratica Tum Practica Libri Quatuor*, Roma, 1648.), probabilmente in collaborazione con Nicèron. Questo corridoio è orientato in direzione sud-est e come gli altri misura circa 20 ml. di lunghezza; la meridiana che vi si trova ospitata è detta catottrica, poiché la luce del sole penetra all'interno dell'ambiente passando per un foro, praticato sull'imposta di legno che sigilla una della finestre, solo dopo essere stata riflessa da uno specchio posto orizzontalmente sul davanzale esterno della finestra medesima. Essendo il corridoio così esposto, ciò che si osserva sulla superficie voltata è una proiezione di luce che percorre una traiettoria che va da occidente a oriente individuando, col passare delle ore, una serie di località geografiche poste a est e ovest rispetto a Roma.

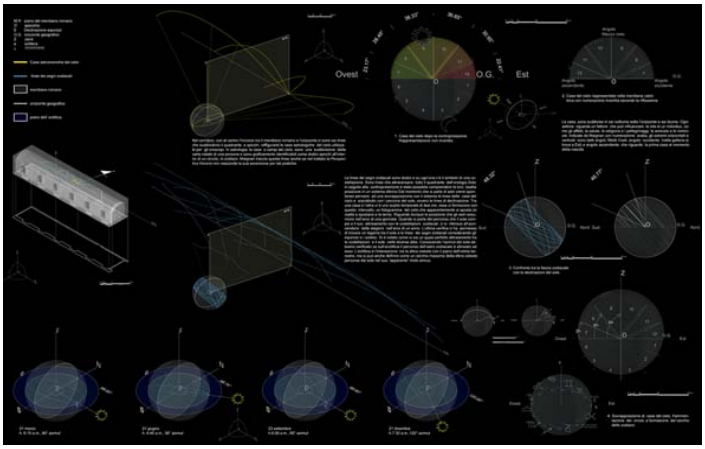


Figura 3. Analisi e studio della struttura dell'astrolabio catottrico di Padre Maignan.

Successivamente, si è proceduto, da un lato, all'esecuzione del rilievo dettagliato delle gallerie del chiostro di Trinità dei Monti con relativi dipinti murali, utilizzando due sistemi tecnologicamente avanzati quali lo laser a scansione *3D* e software di fotogrammetria automatica prodotto da Menci Software©; e, dall'altro, al reperimento negli archivi e fondi romani di ulteriori documenti che attestassero l'attività scientifico-speculativa della figura del frate Minimo Jean François Nicéron.
Sono state eseguite scansioni laser dei corridoi al piano terra e primo del chiostro, della scala interna di collegamento, di quella esterna di accesso principale, della facciata della chiesa del Monte Pincio e del cortile che si trova oltre il chiostro, sul lato nord del complesso. Si è utilizzato un laser scanner (HDS 6100) a differenza di fase al fine di garantire una elevata densità di punti e contemporaneamente un limitato tempo di scansione. Con l'ausilio di un kit di colore esterno (Nodal Ninja) e con una fotocamera Canon 450D (12 Megapixel) dotata di obbiettivo Sigma 8mm Ex DG fisheye 3.5, si sono realizzate le prese fotografiche per la successiva ri-proiezione del valore RGB sulla Point Cloud acquisita, mentre per quanto riguarda il sistema Menci© è stata impiegata una Canon 1000D con ottica Canon UltrasonicEf-s 17-85 1:4-5.6. In totale sono state eseguite 76 stazioni per una quantità complessiva di circa tre miliardi di punti acquisiti, mentre l'elaborazione dei dati nel sistema fotogrammetrico (che ha interessato solamente i dipinti murali) ha richiesto 174 scatti per il dipinto di *S. Francesco di Paola,* realizzato da Emmanuel Maignan nel 1642, e 380 scatti per quello di *S. Giovanni Evangelista,* ad opera di Nicéron tra il 1639 e il 1640.
Le scansioni – allineate sfruttando gli algoritmi di *Cloud to Cloud* del software di elaborazione (CYCLONE) e colorate attraverso la ri-proiezione delle immagini cubiche ottenute dalla elaborazioni delle foto sferiche - sono state importate in *AutoCAD©*, grazie al *plug-in Cloud Cube©* sviluppato dall'azienda *Virtualgeo*. È stato così possibile suddividere la nuvola in porzioni seguendo una logica basata sulla pianificazione delle successive operazioni di modellazione *3D*: i quattro lati del chiostro sono stati segmentati e, per ognuno di questi, sono state create una serie di 'famiglie di punti' composte da *child* caratterizzanti ciascuno un preciso elemento architettonico (pavimenti, muri, soffitti, finestre, eventuali particolari, ecc.). Questa complessa fase di suddivisione dei dati è risultata decisamente necessaria per le successive operazione di *reverse modeling*: infatti, da un lato, essa ha agevolato la gestione dei dati da parte degli elementi *hardware* e *software;* e dall'altra, ha creato un indispensabile ordine nei *files* che sarebbero risultati altrimenti ingestibili.



Figura 4. Nuvola di punti da scansione laser dei corridoi pinciani.

Dopo aver modellato digitalmente i prospetti interni del chiostro, l'attenzione si è concentrata sulla galleria posta sul lato ovest, dove si trova il primo affresco in anamorfosi ritraente *S. Francesco di Paola*: per il suo rilievo, si è preferito 'addensare' le stazioni di presa, al fine di ottenere una nuvola colorata la più fitta possibile. Consapevoli dei limiti di visualizzazione dei dati ottenuti, il team di rilievo ha optato per mantenere le singole stazioni separate in modo tale da poter estrarre da ognuna un'ortofoto ad alta risoluzione e procedere quindi al loro montaggio come in un fotomosaico. Parallelamente, sfruttando gli strumenti di modellazione messi a disposizione da *Cloud Cube©*, si sono ricostruite le superfici della galleria grazie allo strumento *quod surface* che - simile ad una *mesh* - consente di 'stendere' una superficie a maglia ortogonale seguendo l'andamento dei punti, senza per questo generare una maglia di poligoni troppo fitta e quindi difficile da computare. Il modello digitale di questa singola porzione è stato poi esportato da *Cloud Cube©* e importato in *LIM©* (evoluzione del precedente *software Easy Cube*), programma che ha permesso di mappare l'ortofoto elaborata in precedenza, ottenendo così un clone in alta risoluzione dell'architettura e, al contempo, del decoro pittorico del corridoio est del chiostro.
Con il sistema Menci© abbiamo raggiunto risultati analoghi a quelli ottenuti utilizzando il laser a scansione, attraverso una serie di scatti fotografici e seguendo una procedura rigorosa. Preliminarmente è stato necessario calibrare la camera in funzione della distanza di scatto e del tipo di focale. Nella fase di campagna, le immagini sono state ottenute con focale fissa, ad una distanza costante, spostandosi lungo una piano parallelo alla giacitura del dipinto. Questa serie di fotogrammi, in seguito ad una elaborazione con *U-Map©*, hanno generato un modello tridimensionale a punti colorati delle porzioni di corridoio considerate: il programma permette, una volta processate le immagini, di ricostruire le relative stelle proiettive e, attraverso l'automatica identificazione dei punti omologhi, di produrre la nuvola colorata parametrizzabile. Questo metodo prevede, negli *steps* successivi, la creazione della *mesh* attraverso *Afterwork©*, in seguito all'applicazione di filtri atti a omogeneizzare e bilanciare le *textures*. Il limite tecnico più evidente, riscontrato in questo caso, risiede nell'impossibilità di ricostruire superfici bianche ossia prive di punti omologhi cromatici, ben riconoscibili dagli algoritmi di calcolo dei *softwares* sviluppati dall'azienda Menci. Entrambi i sistemi di rilievo impiegati, in relazione a questo caso di studio, hanno dimostrato un buon livello di efficienza dal punto di vista della precisione, anche se sono riscontrabili alcune macroscopiche differenze. I principi base che regolano le due procedure sono profondamente differenti: il laser sfrutta regole legate per lo più a principi di fisica della luce, mentre la fotogrammetria si basa su assunti di carattere prospettico e quindi geometrico. Dal punto di vista immersivo si hanno analoghe sensazioni osservando le opere pittoriche di Maignan e di Nicéron: il *San Francesco di Paola* esprime un senso di scientificità e di compostezza formale (ricordiamo che il padre Maignan è autore anche dell'astrolabio presente nel corridoio a nord), mentre il *San Giovanni Evangelista*, pur fedele al rigore geometrico, esprime una maggiore spontanea plasticità.



Figura 5. J.F. Nicéron, San Giovanni l'Evangelista che scrive l'Apocalisse a Patmo, 1639-40.

Come già premesso, la ricerca svolta si è concentrata non soltanto sul confronto tra le moderne tecnologie applicate al rilievo, ma anche sull'indagine di documenti volti ad un'analisi critica dell'attività artistica e scientifica di J. F. Nicéron e più in generale delle vicende legate al suo soggiorno romano.
Il titolo del trattato di Jean François Nicéron contiene il termine *magie artificielle* senza intendere, come lo stesso autore precisa nel secondo libro dell'opera, quel genere di pratiche proibite di carattere occulto, riferendosi invece, sul modello di Gian Battista della Porta (Della Porta, 1589), agli "effetti meravigliosi" che le viste prospettiche possono offrire allo sguardo dell'osservatore.
Ci preme ricordare che a sfondo del panorama scientifico e culturale dell'epoca si staglia il pensiero filosofico di figure di grande rilievo come, per esempio, quella di René Descartes e di Thomas Hobbes. I due autori sono legati alla produzione di Nicéron per ragioni divergenti, anche se complementari: il *cogito* cartesiano rappresenta, in ultima analisi, un sistema di conoscenza della realtà tanto da divenire, in un percorso speculativo che dubita della corretta percezione sensoriale, pensiero. In altri termini i giochi ottici che Descartes cita nella sua produzione letteraria vanno interpretati non tanto quali strumenti per creare meraviglia o stupore, quanto più come dimostrazioni di come la realtà naturale sia spiegabile solamente attraverso le leggi delle scienze matematiche. Per quanto riguarda Hobbes, egli dimostra grande interesse e ammirazione per i giochi di ottica e per la figura di Nicéron che potrebbe aver incontrato nel convento parigino di Place Royale. In particolare, in un passo del suo *Leviatano* egli usa, per avvalorare le sue dissertazioni, la descrizione in senso metaforico di un gioco ottico con lenti prismatiche, gioco che viene descritto ne *La Perspective Curieuse* e di cui probabilmente esisteva una copia conservata nella biblioteca del convento parigino (Hobbes, 1651). Inoltre, secondo Noel Malcom (Malcolm, 2002), il filosofo inglese avrebbe visto, sempre all'interno del convento di Parigi, altri due dipinti murarli anamorfici realizzati da Nicéron, oggi andati perduti (le opere rappresentavano *S. Giovanni* e la *Maddalena*). Infine il legame tra le due figure è attestato anche da un preciso interesse di Hobbes per le teorie sulla visione che sfocerà in tre opere sull'ottica, la prima delle quali fu inserita nella silloge tematica del padre Mersenne intitolata *Cogitata physico matematica* del 1644.
L'attività scientifica e artistica di Nicéron, come già più volte osservato, risulta profondamente intrecciata alla figura del confratello e probabilmente amico Emmanuel Maignan. Di lui sappiamo che visse dal 1636 al 1650 al convento di Trinità e che pubblicò nel 1648 a Roma il suo trattato di gnomonica *Perspectiva horaria* (Vagnetti, 1969). È proprio all'interno di quest'opera, in particolare nel libro III, che il Maignan ci offre una descrizione del procedimento geometrico utile alla realizzazione di viste anamorfiche su ampie superfici murarie. In questa descrizione è evidente il riferimento al dipinto raffigurante *S. Francesco di Paola*, realizzato nel corridoio al primo piano sul

lato ovest del chiostro due anni dopo quello eseguito da Nicéron. L'opera, dopo i restauri subiti nel 1998 dall'arch. Vittoria Giartosio, si presenta oggi in buono stato di conservazione: salendo la scala principale che dal piano terra del chiostro conduce al primo e girando subito lo sguardo a sinistra si intuisce quasi immediatamente la figura del Santo, rappresentato avvolto nel suo saio, in preghiera sotto un albero di ulivo. Spontaneamente ci si ritrova ad avvicinarsi alla figura ricercando, con piccoli spostamenti, il punto di vista obliquamente più preciso, capace di conferirgli il corretto raddrizzamento, quasi a voler metter a fuoco, l'immagine distorta. Il senso della *magia artificialis* diviene ancora più esplicito quando in questa peregrinazione fruitiva si supera il punto di vista rivelatore per scoprire che se ne possono guadagnare infiniti altri, questa volta ponendosi parallelamente alla superficie dipinta: da questi nuovi punti di osservazione ci accorgiamo che le curve che delineavano le vesti del Santo si trasmutano nei profili di un paesaggio calabrese e che tra le balze del saio spuntano scene salienti della vita del Santo stesso.
Per quanto riguarda l'altro dipinto di 'lunga vista', posto nel corridoio est, parallelo a quello appena descritto e raffigurante *San Giovanni Evangelista* realizzato due anni prima da Nicéron, non è stato possibile rintracciare l'opera pittorica ispiratrice. Nonostante l'intervento di restauro completato nel 2009 dall'*équipe* coordinata da Luigi De Cesaris, il dipinto si presenta oggi piuttosto lacunoso (anche se leggibile), probabilmente a causa dell'intonacatura subìta in epoca napoleonica che i sopracitati interventi di recupero hanno tentato di rimuovere con estrema delicatezza. Invece, come nel caso precedente, è possibile rintracciare nel trattato del Nicéron una descrizione delle metodologie operative idonee a "Fornire il metodo per descrivere ogni sorta di figura, immagine e quadro, nello stesso modo delle sedie del precedente enunciato, vale a dire, che sembrino confuse in apparenza, e da un certo punto [di osservazione] rappresentino perfettamente un oggetto proposto", come leggiamo nel II Libro del *La Perspective Curieuse* (1638) (Nicéron, 1638). L'anamorfosi si rettifica solamente da un punto di osservazione collocato lungo il corridoio a sud-ovest, risultando intuitivamente simmetrico al *punctum optimum* dal quale è possibile apprezzare l'immagine otticamente corretta del *San Francesco*. A differenza dell'opera del Maignan, quella di Nicéron si estende per qualche metro anche sull'attigua parete nord di fondo. Alcuni elementi ricorrenti ci fanno pensare che il *San Giovanni* è stato, per aspetti compositivi, fonte di ispirazione per l'affresco di *San Francesco*: anche in questo caso un grande albero di ulivo fa da cornice alla scena, estendendosi dal fondo fino all'*incipit* del dipinto. Il Santo appare, in questo caso, seduto a gambe raccolte, chino sul volume sul quale sta scrivendo, grazie ad una penna d'oca, la sua Apocalisse; accanto a lui, in un piano molto avanzato, si legge, anche se molto deteriorata, la presenza di un'aquila, l'unico essere vivente capace di volare talmente in alto da osservare la luce del sole senza venirne abbagliato. Sono proprio le scene apocalittiche descritte dal personaggio biblico che si rivelano allo sguardo attento dell'osservatore che si pone parallelo alla parete decorata: una città in fiamme (probabilmente Babilonia), angeli librati in volo, demoni cornuti che si contorcono, elementi paesaggistici come laghi, fiumi, scene di vendemmia, montagne, palmeti e fiori esotici. Al di sopra del piano d'imposta della volta, troviamo ben leggibili tra i rami dell'ulivo, le presenze simboliche di un gufo, di una colomba (esplicito riferimento allo Spirito Santo), di un serpente (il tentatore dell'uomo) attorcigliato ad una fronda e infine un piccolo passero simbolo del mondo celeste. Attraggono infine l'attenzione dell'osservatore alcune iscrizioni emblematiche in lingua greca e latina: su di un sottile cartiglio pendente come un drappo da un ramo leggiamo "*citra dolum fallimur*" ("siamo ingannati senza malizia"), esplicito riferimento, da un lato, al frontespizio del trattato *Perspectivae libri sex* (Pesaro, 1600) di Guidobaldo dal Monte (1545-1607) e, dall'altro, ad un approccio conoscitivo di tipo cartesiano. Sul dorso del volume che il San Giovanni è intento a compilare, ritroviamo invece la frase: *"l'apocalisse dell'Ottica, il testimone oculare dell'Apocalisse"*. Apocalisse letteralmente significa "rivelazione" (Carassiti, 1997), quindi parafrasando la prima parte dell'iscrizione potremmo dire: "la rivelazione dell'ottica", evidente richiamo al ruolo taumaturgico dell'anamorfosi all'interno dell'esperienza conoscitiva che avviene attraverso l'organo fallace della vista (Descartes). Biblicamente San Giovanni è l'unico degli Evangelisti che riporta sempre in maniera diretta ciò che descrive: egli infatti sostiene di aver

ricevuto, attraverso una visione, ciò che fedelmente trascriverà nel suddetto libro; non a caso l'animale che simbolicamente lo rappresenta è proprio l'aquila, colei che tutto vede dall'alto, Quindi il soggetto della seconda parte dell'iscrizione non è che il Santo stesso (Adinolfi, 2001). Il racconto biblico anamorfotizzato si rivela in un continuo gioco di composizione e scomposizione visiva, in un processo di rimandi che costringono l'osservatore, stupefatto e incuriosito, a cambiare dinamicamente il proprio punto di vista.
N.B. *Il contributo deve intendersi egualmente suddiviso per il numero degli estensori.*

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (1629), *Compendiosum Chronicorum SS. MaeTrinitatis in Monte Pincio Fratrum Ordinis Minimorum Nationis Gallicanae*, Fondo del Convento di Trinità dei Monti, Roma, 72-74.
Ad vocem*, "*anamorfosi", *La Piccola Treccani*, A-Bars, Istituto Treccani, Roma, vol. I: 435-436.
AGM (XVII sec.), *Livre des Conclusions Capitulaires de ce convent de la S.teTrinitè Du mont* (5-X-1620 -26-IX- 1649), (T3), Roma, 191.
Alberti, L.B. (1973), *De Pictura*, a cura di C. Grayson, Laterza, Bari.
Amodeo F. (1933), Lo sviluppo della Prospettiva in Francia nel secolo XVII, *Atti dell'Accademia Pontaniana*, Napoli, vol. LXIII: 24-25.
Andersen, K. (1996), "The mathematical treatment of anamorphoses from Piero della Francesca to Nicéron", *History of Mathematics: States of the Art*", San Diego.
Baltrusaitis, J., *Anamorfosi o Thaumaturgusopticus*, Adelphi, Milano.
Bragaglia N. (A.A. 2002-2003), *Su due orologi solari a riflessione del 1600*, tesi di laurea in Matematica, Università di Roma "La Sapienza".
Cartesio R. (1993), *Discorso sul Metodo*, Rusconi, Milano, 41.
De Rosa, A., D'Acunto, G. (2003), *La vertigine dello sguardo. Tre saggi sulla rappresentazione anamorfica*, Cafoscarina, Venezia.
del Monte, G. (1984), *I Sei Libri della Prospettiva*, a cura di R. Sinisgalli, L'Erma" di Bretschneider Ed., Roma.
della Francesca P. (1984), *De Prospectiva pingendi*, a cura di G. Nicco Fasola, con note di E. Battisti e R. Pacciani, Le Lettere, Firenze.
della Porta G. B. (1589), *Magia Naturalis, libri XX*, Napoli.
Frattini, G., Moriconi, F. (2010), "Datazione e attribuzione dell'anamorfosi di San Giovanni a Pathmos presso il Convento della Trinità dei Monti a Roma", *MEFRIM*, Roma, 122/1:123-136.
Grimaldi, C. (1751), *Dissertazione in cui si investiga quali sieno le operazioni che dependono dalla magia diabolica, e qvali qvelle che derivano dalle magie artificiale e naturale, e qual cautela si ha da usare nella malagevolezza di discernerle,* a cura di Ginesio Grimaldi, Roma, 4
Hobbes, T. (1651), *Leviathan or The Matter, Forme and Power of a Common Wealth, Ecclesiasticall and Civil*, Londra,128-129.
Malcom, N. (2002), *Aspects of Hobbes,* Oxford University Press, Oxford, 218
Nicéron, J.F. (1638), *La Perspective Curieuse*, Pierre Billaine ed., Parigi, 52.
Rizzini I. (ottobre-dicembre 2004), "Il Thaumaturgusopticus di Jean-François Nicéron: appunti in margine alla traduzione dal Latino", *Bollettino Ufficiale dell'Ordine dei Minimi,* 4.
Stafford B.M., Terpak, F. (2002), *Devices of Wonder*, The Getty Research Institute, Los Angeles,184-191.
Sullivan, V. B. (2006), *Machiavelli, Hobbes, and the Formation of a Liberal Republicanism in England,* Cambridge, Cambridge University Press, 106.
Thompson, D'A.W*., Crescita e forma*, Bollati Boringhieri, Torino 1969
Vagnetti, L. (1979), *De Naturali et Artificiali Perspectiva*, Libreria Editrice Fiorentina, Firenze, 406.

Valorizzazione delle fonti cartografiche storiche sull'uso del suolo per il governo del territorio in Toscana

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

Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio (CIST: Università degli Studi di Firenze, Università di Pisa, Università degli Studi di Siena, Scuola Normale Superiore, Scuola Superiore Sant'Anna), email mdesilva@unifi.it

Riassunto
Nell'ambito della revisione del Piano Paesaggistico della Regione Toscana è emersa la necessità di delineare un quadro conoscitivo degli usi del suolo del passato e dei processi di trasformazione degli ultimi due secoli. Sulla base di fonti e cartografie storiche sono state sperimentate metodologie per la rappresentazione sincronica e diacronica degli usi del suolo. L'articolo si concentra sull'analisi dell'assetto agro-forestale di primo '800 e sulla produzione di cartogrammi che evidenzino le trasformazione intervenute fra questo periodo e la metà del '900

Abstract
Within the context of the Tuscany Regional Landscape Plan, the need for draw up a cognitive framework of past land use and transformation processes over the last two centuries has arisen. On the basis of historical sources and maps, methodologies for synchronic and diachronic representation of land use have been tested. The paper focuses on the analysis of agroforestry structure in the early nineteenth century and on the production of cartograms highlighting the changes that took place between this period and the mid-twentieth century.

Introduzione

Nell'ambito della ricerca attivata dal Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio (CIST) e dalla Regione Toscana relativa alla revisione del Piano Paesaggistico Regionale è emersa la necessità di realizzare delle sintesi cartografiche degli assetti territoriali del passato al fine di comprendere la matrice storica del paesaggio toscano e di evidenziarne gli elementi di continuità e di trasformazione.
In questa prospettiva, è stata avviata una sperimentazione che – attraverso l'individuazione, l'elaborazione e la restituzione cartografica di adeguate fonti storiche – consentisse di costruire un quadro dei diversi assetti territoriali e dei processi di trasformazione intervenuti nel corso degli ultimi due secoli. Di fondamentale importanza, a tale proposito, è risultata l'esperienza che i componenti del gruppo di lavoro, provenienti da diverse discipline, hanno maturato nel corso di precedenti ricerche su tematiche analoghe.
Sebbene il percorso della ricerca abbia comportato un processo talvolta reiterativo, per aggiustamenti successivi, è possibile individuare schematicamente alcune fasi:

- individuazione delle fonti storiche relative all'uso del suolo della Toscana riferibili a fasi particolarmente significative;
- elaborazione dei dati finalizzata alla restituzione cartografica di sintesi;
- messa a punto di metodologie di rappresentazione di carte 'di fase' (sincroniche);
- messa a punto di metodologie di rappresentazione di carte dei processi di trasformazione e degli elementi di continuità (diacroniche).

In questo lavoro ci concentreremo su alcuni aspetti metodologici e tecnico-procedurali relativi alle fasi meno recenti del periodo preso in considerazione (che hanno comportato specifiche problematiche), riservando l'analisi degli ultimi 50 anni, ancora in corso, ad una futura trattazione.

Fonti storiche e banche dati

I criteri di selezione delle fonti storiche sull'uso del suolo della Toscana da utilizzare per la ricerca sono riconducibili ad alcuni requisiti fondamentali:

- la qualità e la completezza delle informazioni;
- la possibilità della loro spazializzazione e rappresentazione cartografica;
- la significatività del periodo di riferimento;

Naturalmente, è stata data priorità a quelle fonti che erano state già acquisite in formato digitale nell'ambito di altri progetti e le cui banche dati fossero disponibili per la presente ricerca.

In funzione dei criteri sopra esposti sono state individuate tre banche dati riferite all'uso del suolo storico, più una attuale per l'analisi delle trasformazioni e delle persistenze dell'ultimo periodo:

- la *banca dati sull'uso del suolo della Toscana di primo '800*[1], derivata da documenti del Catasto Leopoldino, realizzata dal Laboratorio di Geografia dell'Università di Siena con il contributo della Regione Toscana;
- la banca dati realizzata dal Laboratorio di Geografia dell'Università di Siena[2] ricavata dalla digitalizzazione della porzione toscana della *Carta della utilizzazione del suolo d'Italia* 1:200.000 prodotta dal CNR su base del TCI e realizzata fra gli anni '50 e '60 del '900;
- la banca dati ricavata dalla digitalizzazione(eseguita dal LaMMA su commissione della Regione Toscana), della *Carta dell'uso del suolo della Toscana* 1:25.000 basata sul volo del 1978 e pubblicata negli anni successivi (Giordano *et al.*, 1986).
- La *banca dati regionale dell'uso del suolo* 1:10.000 al 2007 della Regione Toscana.

Come premesso nell'introduzione, il presente lavoro si concentrerà sul periodo compreso fra l'inizio dell'800 e la metà del '900 considerando le soglie temporali costituite dalle prime due banche dati.

La *banca dati sull'uso del suolo della Toscana di primo '800* è stata realizzata dal Laboratorio di Geografia dell'Università di Siena nell'ambito del progetto "Dopo CaStoRe – Una banca dati regionale georeferenziata, dell'uso del suolo agroforestale e delle rendite catastali della Toscana dell'Ottocento" cofinanziato dal Servizio Geografico della Regione Toscana (De Silva, Tarchi, 2010). La componente geometrica vettoriale è costituita dai 3.010 poligoni relativi alle singole sezioni catastali (che costituiscono l'unità territoriale di base) ai quali sono associate le informazioni relative alla rendita e all'estensione occupata in ogni sezione da nove diverse macroclassi di uso del suolo: *Coltivato a viti* (seminativo vitato), *Coltivato a olivi e viti* (seminativo olivato-vitato), *Lavorativo nudo* (seminativo nudo), *Bosco*, *Selva di castagni* (castagneto da frutto), *Prato naturale e artificiale*, *Sodo a pastura* (incolti a pascolo), *Prodotti diversi*, e *Fabbriche* (edificato). Questa struttura dei dati ricalca la fonte originale, un *Prospetto della misura e della stima*, che riassume appunto i dati catastali per sezione ripartendoli nelle nove classi. Ciò non consente una rappresentazione cartografica 'classica' degli usi del suolo in cui ad ogni poligono è associata un'unica classe. Per ciò che concerne il periodo di riferimento dovremmo considerare un lasso di tempo compreso fra 1817, anno al quale i periti erano esplicitamente invitati a riferirsi per la stima delle particelle, e il 1834, anno di stesura del Prospetto. Nel testo si è deciso di adottare convenzionalmente il 1830 come periodo di riferimento, anno in cui si conclusero le operazioni di stima.

[1] La banca dati riguarda la porzione del Granducato di terraferma ancora compresa nel territorio regionale. Mancano dunque, oltre alle isole che vennero accatastate in un secondo tempo, alcuni comuni delle attuali province di di Lucca e Massa Carrara (che entrarono a far parte del Granducato solo in seguito) e i territori che attualmente non sono compresi nella Toscana.

[2] Desideriamo a tale proposito ringraziare Claudio Greppi e Giancarlo Macchi Jánica per aver fornito i dati in questione per il presente progetto.

I lavori per la realizzazione della *Carta della utilizzazione del suolo d'Italia* 1:200.000 presero avvio all'inizio degli anni '50 ad opera del Centro di Studi per la Geografia Economica del CNR presso l'Istituto di Geografia dell'Università di Napoli ed una memoria fu pubblicata, unitamente ad una 'carta saggio' riguardante la fascia centrale della Toscana, nel 1952 (Colamonico, 1952). I 26 fogli che costituiscono la Carta definitiva videro la luce fra 1956 e il 1967 nell'edizione del Touring Club Italiano, ed in particolare, i fogli 9, 11 e 13, che coprono l'intero territorio della Toscana, uscirono nel 1962 corredati in seguito dalla relativa *Memoria illustrativa* (Barbieri 1966).
La Carta si basa su documenti catastali il cui classamento fu completato nelle diverse province toscane fra il 1940 e il 1950 e i dati furono valutati, integrati ed aggiornati sotto il controllo del Comitato nazionale e del Centro Studi per la Geografia Economica (Colamonico, 1952). Per quanto riguarda il territorio toscano la Carta "è stata aggiornata con osservazioni campionarie dopo il 1960" (Barbieri, 1966, p. 21). Sebbene dunque la Carta rilevi, almeno in parte, assetti di poco precedenti, abbiamo assunto il 1960 come anno di riferimento per questa fonte.
La Carta ha una unità minima rappresentata di 35-36 ettari (mm 3 X 3) e classifica il territorio in 21 classi di uso del suolo. In funzione della scala adottata, nella Carta si ricorre "alla rappresentazione finché possibile delle aree di singole colture e, nei casi di unità spaziali minime, alla raffigurazione delle colture prevalenti" (Colamonico, 1952).
La digitalizzazione della porzione toscana della Carta, eseguita dal Laboratorio di Geografia dell'Università di Siena, ha prodotto uno strato vettoriale in cui ad ogni singolo poligono è associata la relativa classe di uso del suolo. Ciò consente, oltre che molteplici forme di rappresentazione, operazioni di calcolo e statistiche basate sull'estensione delle diverse colture e, con i dovuti accorgimenti, confronti in *overlay* con altre banche dati riferibili all'uso del suolo in periodi diversi oppure relative ad altre componenti tematiche.

Verso una rappresentazione dell'assetto agro-forestale di primo '800

I dati sull'uso del suolo di primo '800 ricavati dal *Prospetto* del 1834 non sono immediatamente utilizzabili per la realizzazione di una carta dell'uso del suolo in cui ad ogni poligono corrisponde un'unica classe, sia essa esclusiva o prevalente. Sebbene infatti nei documenti catastali di dettaglio venga rilevata l'esatta estensione di ogni singola particella ed il suo uso specifico, nel *Prospetto* questi dati sono accorpati in sole nove classi generalizzate e riassunti per sezione catastale. Inoltre, soltanto sette classi sono utilizzabili ai fini della rappresentazione in quanto la classe dei *Prodotti diversi* risulta troppo eterogenea e le superfici delle *Fabbriche* non corrispondono all'estensione territoriale delle aree edificate. La soluzione più logica sarebbe rilevare i dati dalle serie di dettaglio ma l'imponente lavoro di digitalizzazione degli oltre 2 milioni di particelle e del loro uso ha finora scoraggiato una simile iniziativa. Per aree limitate e circoscritte, esistono digitalizzazioni dei dati catastali ottocenteschi con il dettaglio di ogni singola particella, realizzate da varie istituzioni e programmi di ricerca, che non consentono però una ricostruzione a scala regionale.
Il metodo più immediato per la rappresentazione dei dati del *Prospetto* è quello di ricavare, per ogni sezione, la percentuale di superficie occupata dalle varie classi di coltura rispetto all'intera sezione e di produrre una serie di cartogrammi separati (uno per classe) in cui tale percentuale è raffigurata per intensità di colore (o di grigio). Tali cartogrammi, unitamente alla descrizione delle fonti, della metodologia adottata e ad alcuni primi tentativi di sintesi, sono stati presentati in altre occasioni (De Silva, Tarchi, 2010).
L'uso di cartogrammi nei quali ad ogni sezione è associato un grafico a torta o un istogramma con la ripartizione nelle diverse classi di coltura, se efficace per un numero limitato di elementi (e dunque per piccole porzioni di territorio), risulta inadeguato alla scala regionale.
Una rappresentazione unitaria potrebbe essere ottenuta attraverso la classificazione delle sezioni catastali in 'tipi agrari' sulla base della loro ripartizione colturale. Tale soluzione comporta però alcuni inconvenienti: in primo luogo la difficoltà, e l'inevitabile arbitrarietà, nel ricondurre a delle rigide classi di tipi agrari (o meglio, agro-silvo-pastorali) la grande variabilità e frammentazione del paesaggio toscano; d'altro canto, un uso del suolo così generalizzato è soltanto uno degli elementi,

anche se importante, che concorrono a determinare un tipo agrario. Inoltre, è da sottolineare l'inadeguatezza di una tale rappresentazione interpretativa come termine di confronto con le carte di uso del suolo delle fasi successive.
Nell'intento di giungere a rappresentazioni sintetiche, oltre che analitiche, degli usi del suolo a scala regionale, è stata sperimentata una metodologia che prevede di prendere in considerazione, tenendo conto della scala, la classe di uso del suolo prevalente nelle diverse sezioni, attribuendo una tonalità di colore alle varie classi e la cui intensità è determinata dall'incidenza di queste, in termini di superficie occupata, rispetto al totale. Nel caso di classi secondarie rilevanti tale informazione può eventualmente essere aggiunta in forma di simbolo. Tenendo conto che l'estensione media delle sezioni catastali, sebbene molto variabile, è di circa 600-700 ettari, il criterio della classe prevalente sembrerebbe accettabile, almeno per scale inferiori alla topografica. In effetti, per scale comprese orientativamente fra 1:250.000 e 1:1.000.000, tale rappresentazione risulta efficace. Il problema è che, dal punto di vista dell'informazione e senza un adeguato commento, una carta così concepita induce in errore, soprattutto alle scale più grandi. Infatti, il confine degli elementi cartografati non corrisponde al confine delle aree in cui una certa classe è prevalente, ma piuttosto ai confini delle sezioni catastali in cui quella classe è presente per un'estensione superiore alle altre. In altre parole, i confini dei poligoni sono pur sempre relativi alle sezioni e non ad aree omogenee sul piano colturale.
La ricerca si è dunque orientata verso l'obbiettivo di giungere ad una rappresentazione che, sebbene basata sulle sezioni catastali, riuscisse a restituire, anche in forma semplificata, le relazioni reciproche fra le varie classi, ovvero l'assetto colturale delle varie sezioni.
Basandosi su esperienze precedenti, si è deciso di procedere a degli accorpamenti di classi in funzione di rendere possibile una rappresentazione unitaria, sintetica e significativa degli assetti agro-silvo-pastorali della Toscana di primo '800, anche se a scapito di un minor dettaglio tematico. Le sette classi significative (*Prodotti diversi* e *Fabbricati* , come abbiamo già detto, sono difficilmente utilizzabili) sono state ricondotte a tre macroclassi: *Usi intensivi* (Coltivato a viti, Coltivato a olivi e viti, Selva di castagni, Prato naturale e artificiale), *Usi estensivi* (Lavorativo nudo) e *Usi silvo-pastorali* (Bosco e Sodo a pastura). Per queste tre macroclassi sono state ricavate, per ogni sezione, le relative percentuali in termini di superficie e i valori percentuali sono stati ricampionati su un *range* di 256 valori (0-255) in modo da ottimizzarli per un formato a 8 bit. Partendo da questi valori sono poi stati generati tre *layers* vettoriali separati, uno per macroclasse, ed infine convertiti in tre *layers* raster monobanda a 8 bit. La procedura sopra descritta consente di ottenere una immagine RGB composita a 'falsi colori', assegnando una delle tre componenti cromatiche della sintesi additiva ad ognuna delle tre macroclassi, in cui il colore risultante indica la composizione nelle sezioni delle tre macroclassi colturali. È stato assegnato il rosso all'intensivo, il blu all'estensivo e il verde al silvo-pastorale. Ciò significa che nella lettura della carta, quanto più il colore di una sezione si avvicina ad una delle tre componenti principali, maggiore è l'incidenza della corrispondente macroclasse colturale, con tutte le possibili tonalità intermedie fino al caso limite del perfetto equilibrio corrispondente al grigio. Una legenda cromatica triangolare con i vertici corrispondenti alle tre macroclassi è stata realizzata per facilitare la lettura della carta (fig. 1).
Mentre una rappresentazione dell'incidenza dei diversi usi del suolo basata sull'estensione che questi occupano nell'ambito di ogni sezione assume soprattutto una valenza ambientale, lo stesso cartogramma costruito basandosi, anziché sulla superficie, sulla rendita, mostra il ruolo socio-economico che i vari assetti agro-silvo-pastorali rivestono nelle diverse aree del territorio regionale.

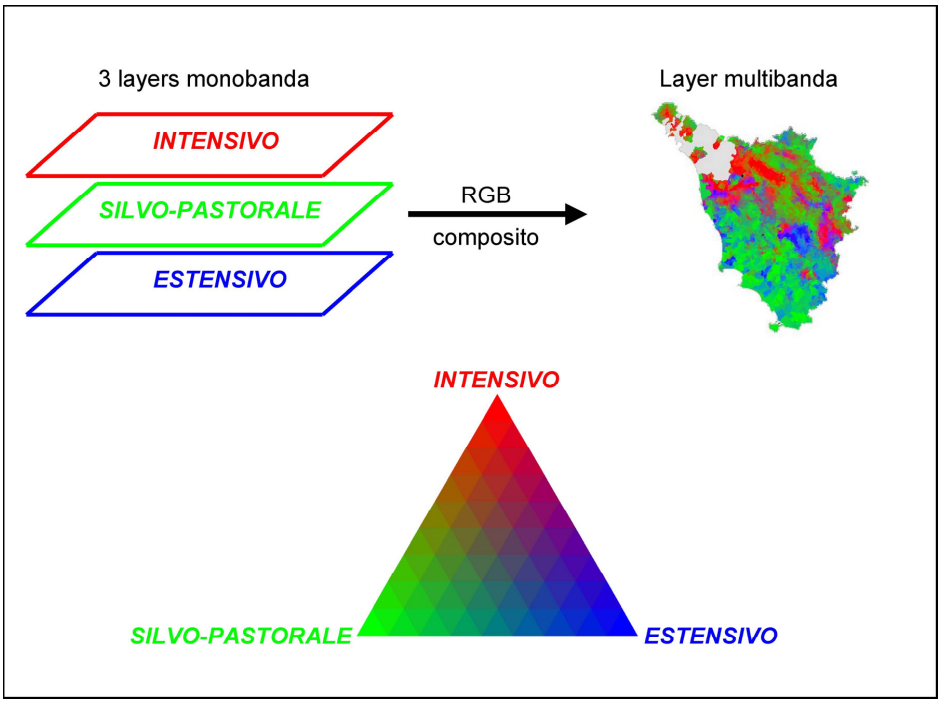


Figura 1. Rappresentazione a "falsi colori" degli assetti agro-silvo-pastorali.

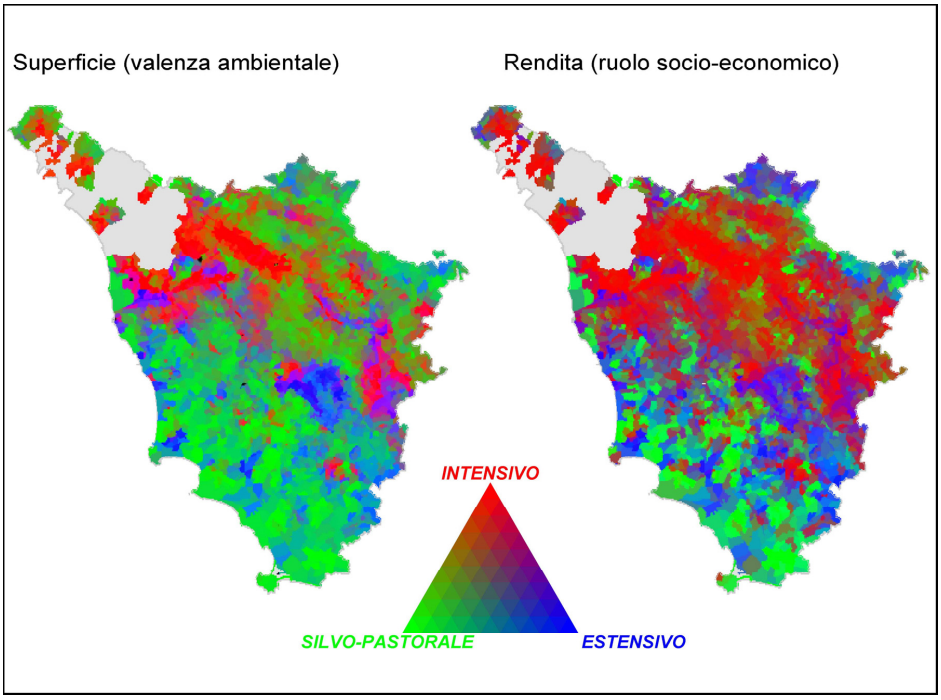


Figura 2. Sintesi degli assetti agro-silvo-pastorali della Toscana di primo '800.

In via sperimentale, seguendo la procedura descritta, è stato dunque prodotto un ulteriore cartogramma basato sulla rendita delle tre macroclassi, piuttosto che sulle superfici, per verificare se esistessero delle discrepanze fra la distribuzione degli usi del suolo in termini ambientali e la distribuzione degli stessi dal punto di vista del ruolo socio-economico. Era già emersa, attraverso analisi statistiche, una netta prevalenza delle superfici occupate dal bosco e dalla pastura nella Toscana di primo '800, alla quale fa riscontro invece una notevole preponderanza del ruolo delle due classi dei seminativi arborati dal punto di vista economico, cioè considerati dal punto di vista della rendita (De Silva,Tarchi, 2010). Dal confronto fra i due cartogrammi risulta evidente come il ruolo economico delle colture intensive (in particolare i seminativi arborati e il castagneto) risulti enfatizzato rispetto alla loro distribuzione in termini di superficie, sopratutto nelle aree marginali (fig. 2).

Trasformazione degli usi del suolo fra l'inizio dell'800 e la metà del '900

Mentre i dati del Catasto Leopoldino consentono di delineare la fisionomia del Granducato all'alba delle grandi trasformazioni territoriali che coinvolgeranno la regione a partire dagli anni '30 dell'800, la *Carta della utilizzazione del suolo* CNR-TCI della metà del '900 fotografa una Toscana all'apice, o forse all'inizio del declino, dell'agricoltura tradizionale. Un confronto fra gli usi del suolo di queste due soglie temporali consentirebbe di cogliere la qualità, l'intensità e la distribuzione delle trasformazioni intervenute in questo lasso di tempo, così come delle persistenze, per quanto riguarda una delle componenti fondamentali del paesaggio toscano.

Se quantificare tali trasformazioni, attraverso l'analisi statistica, risulta relativamente semplice, altra cosa è rappresentarne la distribuzione attraverso cartogrammi di sintesi. Le difficoltà nascono dalla differente struttura dei dati che si ricavano dalle due fonti. Innanzitutto queste seguono un diverso sistema di classificazione degli usi del suolo, ma ciò e affrontabile attraverso adeguate riclassificazioni e accorpamenti. Il problema principale deriva, come abbiamo visto, dall'assunzione di due diverse entità territoriali (o geometriche) e dal diverso modo in cui a queste vengono associati i vari usi del suolo: la sezione catastale con le relative superfici occupate dai vari usi in un caso e l'area interessata da una determinata classe (in modo esclusivo o prevalente) nell'altro.

Essendo pressoché impossibile adeguare la struttura dei dati ricavati dal Catasto Leolpoldino a quella della Carta CNR-TCI in quanto non disponiamo dei limiti e degli usi delle singole particelle (se non attingendo ai fogli di mappa e ai repertori di dettaglio), abbiamo cercato di fare il contrario, e cioè di rielaborare i dati e le geometrie della carta al 1960 in modo che fossero compatibili, e dunque confrontabili e sovrapponibili, con i dati al 1830.

In primo luogo si è proceduto ad una riclassificazione degli usi del suolo delle due fonti in sole quattro classi accorpate in modo da rendere più agile il successivo confronto che , come vedremo, dovrà essere eseguito per singole classi. Le quattro classi generalizzate sono le seguenti:

- *Colture permanenti*: comprende le colture legnose sia specializzate che promiscue (seminativi arborati) ed il castagneto da frutto.
- *Seminativo nudo*: comprende i seminativi sia irrigui che asciutti non associati a coltivazioni legnose.
- *Bosco*: comprende ogni tipo di bosco ad esclusione del castagneto da frutto.
- *Pascolo e prato*: comprende ogni forma di pascoli, prati e l'incolto produttivo.

I poligoni dell'uso del suolo CNR-TCI sono stati tagliati, attraverso una operazione di *intersect*, con i poligoni relativi alle sezioni catastali del 1830 ed in seguito aggregati per sezione catastale (*dissolve*) calcolando in campi separati l'estensione complessiva di ognuna delle quattro classi nell'ambito di ogni singola sezione. Dopo aver calcolato, per le due soglie temporali, la percentuale della superficie occupata da ognuna delle nuove quattro classi rispetto all'estensione totale di ogni sezione, è stato possibile procedere nell'analisi delle trasformazioni intervenute. In questo modo, separatamente per le diverse classi di uso del suolo, è possibile calcolare e rappresentare la differenza fra la percentuale di superficie occupata in ogni sezione nel 1960 e quella nel 1830 (fig. 3). La rappresentazione di questa differenza attraverso una gradazione di colore bitonale (nel nostro

caso dal rosso per l'aumento al verde per la diminuzione) consente di cogliere gli aspetti qualitativi, quantitativi e distributivi dei processi di trasformazione e di persistenza dell'uso del suolo della Toscana fra il primo '800 e la metà del '900 (fig. 3)

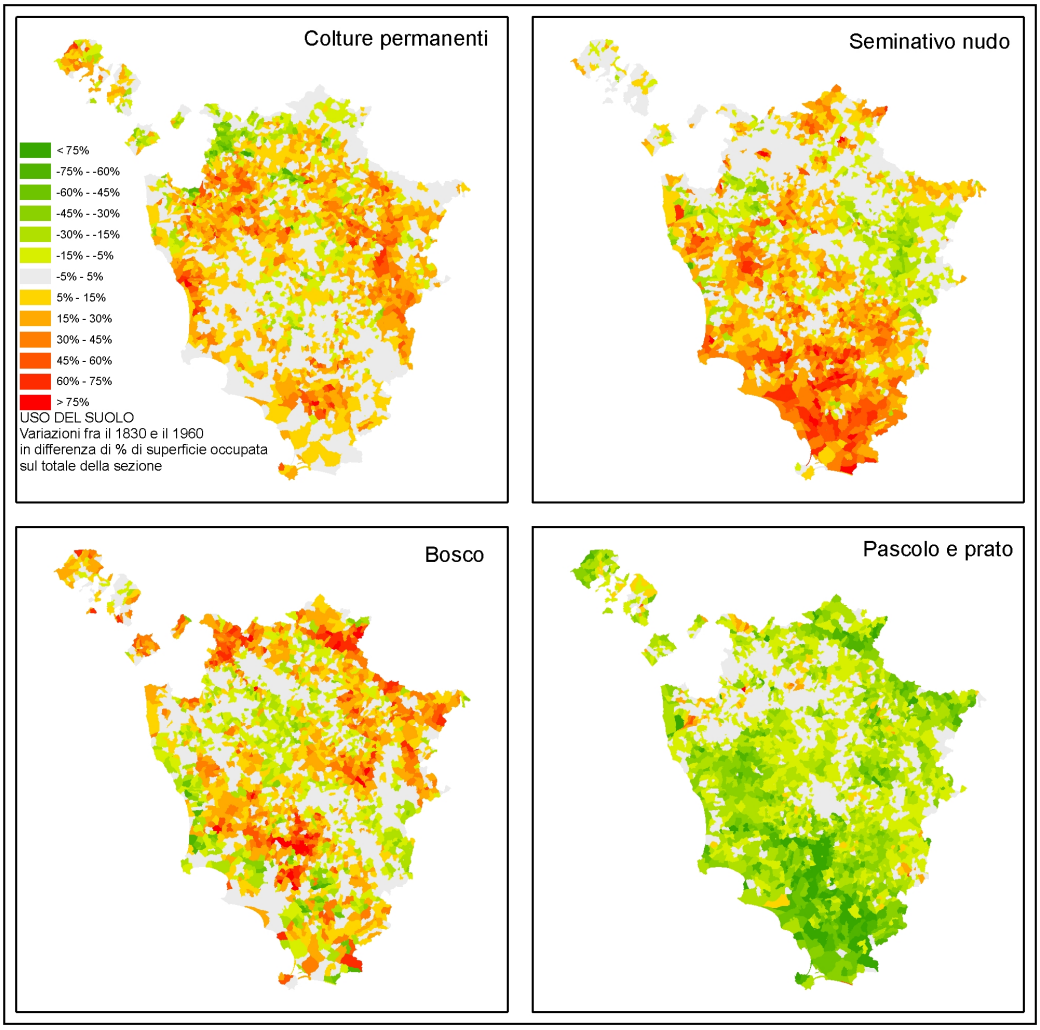


Figura 3. Variazioni dell'uso del suolo fra il 1830 e il 1960.

Senza entrare nel merito dell'analisi di tali trasformazioni, che esula dagli intenti di questo scritto, la rappresentazione proposta mostra la sua efficacia, a titolo di esempio, nell'evidenziare, anche a prima vista, come siano i pascoli ad aver subito la maggiore contrazione, a vantaggio dei boschi in alcune aree dell'arco appenninico, e dei seminativi nelle maremme.

Conclusioni e prospettive di ricerca

I risultati fin qui conseguiti nella sperimentazione di metodi rivolti alla rappresentazione dei passati assetti territoriali e dei processi di trasformazione ci inducono a proseguire sulla strada intrapresa, in particolare orientandoci verso criteri di sintesi, di immediatezza e significatività della

rappresentazione che meglio si adattano, rispetto ad un ulteriore approfondimento tematico o ad un maggiore dettaglio geometrico, al carattere e alle finalità della pianificazione territoriale a scala regionale. E ciò risulta di particolare rilevanza nell'accingersi ad analizzare e rappresentare gli assetti e le trasformazioni intervenute negli ultimi cinquanta anni, per i quali non mancano informazioni di dettaglio utilizzabili soprattutto a livello locale. Quello che spesso sfugge, soprattutto in riferimento a trasformazioni e permanenze, è il quadro generale, la vista d'insieme delle varie fasi e del cambiamento, la qualità, la direzione e la distribuzione dei fenomeni e dei processi.

Bibliografia

Barbieri G. (1966), *Memoria illustrativa della carta della utilizzazione del suolo ella Toscana*, CNR, Roma.

Biagioli G. (1976), *L'agricoltura e la popolazione in Toscana all'inizio dell'Ottocento – Un'indagine sul catasto particellare*, Pacini, Pisa.

Colamonico C. (1952), *Per la carta di utilizzazione del suolo d'Italia*, CNR – Centro di Studi per la Geografia Economica, Napoli.

De Silva M., (2006), "The Fourth Dimension of Places: Landscape as an Environmental and Cultural Dynamic Process in the Maremma Regional Park", in S. Campana e M. Forte (a cura di), "*From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology, CNR,. Rome, Italy, December 4-7 2006*", BAR- International Series 1568, Archaeopress, Oxford, 285-290.

De Silva M., Tarchi G. (2010), "I dati del Prospetto della Misura e della Stima del Catasto Leopoldino: prime considerazioni sugli assetti agrari e la rendita fondiaria nella Toscana dell'Ottocento", in G. Macchi Jánica (a cura di), *Geografie del popolamento – casi di studio, metodi e teorie*, Edizioni dell'Università, Siena, 321-330.

Giordano M. V., Legrottaglie P., Nevini R., a cura di (1986), *Carta dell'uso del suolo della Toscana 1:25.000. Relazione tecnico-illustrativa*, Regione Toscana – Giunta Regionale, Firenze.

Greppi C., Monaci R., Pessina G. (2007), "Un paesaggio in formazione: il territorio di Buonconvento, San Giovanni d'Asso, Trequanda e San Quirico d'Orcia nel Catasto Leopoldino", *Trame nello spazio. Quaderni di geografia storica e quantitativa* , n. 3, pp.49-69.

Pazzagli C. (1973), *L'agricoltura toscana nella prima metà dell'800. Tecniche di produzione e rapporti mezzadrili*, Olschki, Firenze.

Pazzagli C. (1979), *Per la storia dell'agricoltura toscana nei secoli XIX e XX. Dal catasto particellare lorenese al catasto agrario del 1929*, Fondazione Luigi Einaudi, Torino.

Estrazione di batimetria da immagini del sensore WorldView2: stima dell'accuratezza e della precisione

Monica Deidda (*), Giannina Sanna (*), Gianluigi Deiana (**)

(*) Università di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR), Piazza d'Armi, 09123 Cagliari, Tel. 0706755429-0706755437, Fax 0706755405, mdeidda@unica.it, topoca@unica.it
(**) Osservatorio astronomico di Cagliari, Loc. Poggio dei Pini, Strada 54, 09012 Capoterra (Ca), Tel. 070711801, Fax 07071180222, deiana@oa-cagliari.inaf.it

Riassunto

Nel settore dei rilievi batimetrici, accanto alle tecniche di rilievo consolidate come quella Sonar (SOund NAvigation and Ranging), cercano di ritagliarsi uno spazio anche tecniche alternative quali quella del Telerilevamento. In tal senso la tecnologia da il suo contributo; ne è la riprova il lancio, nell'Ottobre del 2009, del sensore WorldView2 dotato di una banda appositamente deputata ad analisi batimetriche. In questo lavoro vengono esposti i risultati relativi all'impiego di immagini satellitari per l'estrazione di batimetrie nella fascia di mare da 0 a circa 25 metri di profondità. Lo studio, preceduto da altre sperimentazioni effettuate dagli stessi autori, ha riguardato l'applicazione del modello di Jupp di estrazione di batimetrie ad immagini del sensore Worldview2 per il quale sono state acquisite una scena nel 2010 ed una ripresa stereoscopica nel 2011, entrambe relative alla spiaggia del Poetto nel litorale di Cagliari. Le immagini sono state sottoposte a pretrattamento per la classificazione del fondale e l'estrazione delle aree omogenee relative alla sabbia, unica classe a cui è stato applicato il modello. Sia la calibrazione del modello di attenuazione che la successiva validazione impongono un'accurata conoscenza dei valori di profondità. Perciò è stato necessario ricorrere a rilevamenti puntuali della profondità distribuiti su un'area sufficientemente ampia, misurata in aree nelle quali la dinamica costiera era sufficientemente lenta da rendere trascurabili le differenze di profondità dovute alle variazioni stagionali del fondo marino. Trattandosi di rilevamenti prossimi alla linea di riva non è stato possibile operare con imbarcazioni a motore. Perciò nella fascia da 0 a 1.5 m di profondità si è proceduto con un rilevamento topografico classico, mentre per la fascia da 1.5 a 25 m è stata realizzata una piccola imbarcazione dotata di ecoscandaglio a basso costo e ricevitore GPS. Se da un lato il confronto con le misure in situ ha permesso valutazioni circa l'accuratezza del metodo, l'applicazione del modello alle immagini stereoscopiche ci ha permesso di valutare, praticamente per lo stesso istante, il valore di profondità ottenuto da due immagini diverse, consentendo per la prima volta una stima della precisione del metodo.

Abstract

In the field of bathymetric surveys, among well-established techniques such as SONAR (Sound Navigation And Ranging), new ones are emerging, such as Remote Sensing. New technologies are contributing to this, such as the launch in October 2009 of the WorldView2 sensor, with a band expressly dedicated to bathymetric analysis. This work expounds the results obtained using satellite imagery for extracting bathymetric data in the 0-25 m depth range. The research, which follows on previous experiments by the same authors, concerns applying the Jupp model for bathymetry extraction to WorldView2 imagery, in particular a 2010 scene and a 2011 stereoscopic scene, both centered on the Poetto beach in Cagliari, Italy. The images were pre-processed in order to classify the bottom types, extracting the homogeneous areas corresponding to a sand bottom, the only class to which the model was applied. Both the calibration of the attenuation model and the successive validation require an accurate knowledge of the actual depth values; for this reason, it was

necessary to survey the depths in a wide area, while choosing zones where the coastal dynamics were slow enough not to produce significant seasonal variations in the depth values. Being very close to the coast, it was not possible to use a motorboat for the survey: for the first zone (depths between 0 and 1.5 m) a traditional GPS survey was used, while the 1.5 - 25 m zone was surveyed using a small boat equipped with an echo sounder and a GPS receiver. On one hand, the comparison with the surveyed depth values allowed us to evaluated the accuracy of the method; on the other, the use of the stereoscopic pair gave us an evaluation of the differences in the depth values extracted from two near-simultaneous images of the same area, and thus, for the first time, an estimation of the method's precision.

Introduzione

Dal 1984, data del lancio del satellite statunitense Landsat 5 con cui sono state eseguite le prime mappature di batimetria da immagini satellitari, la tecnologia ha fatto passi da giganti. L'avvento, nell'ultimo decennio, dei sensori ad alta risoluzione come Ikonos e Quickbird hanno permesso analisi sempre più accurate. La tecnica di estrazione delle batimetrie da immagini satellitari si sta consolidando così tanto che il satellite WorldView2 è stato progettato con una banda a questo dedicata e chiamata "Coastal".

Fin'ora però non è stato possibile valutare la precisione del metodo ma solo dare una stima dell'accuratezza raggiungibile ottenuta confrontando i modelli digitali estratti dalle immagini con rilievi batimetrici diretti. Un metodo per ottenere valori di precisione è quello di confrontare immagini indipendenti acquisite nello stesso istante. Il fatto che WorldView2 consente prese stereoscopiche in cui le singole scene sono acquisite con un piccolo intervallo temporale rende possibile eseguire valutazioni sulla precisione dei valori da questa estratti.

Per gli scopi della presente ricerca è stata fissata, quale area test, quella del litorale del Poetto. Situato a sud della Sardegna (Italy), il Poetto è il litorale della città di Cagliari. La sua particolare posizione geografica ha senza ombra di dubbio condizionato la sua storia. Esso è infatti da sempre caratterizzato da fenomeni erosivi, principalmente dovuti a cause di tipo antropico, e per questo nel 2002 è stato sottoposto a ripascimento con sabbia prelevata a mare.

L'analisi è stata condotta confrontando i valori di profondità estratti in ogni scena per differenti calibrazioni, tra scene diverse e con il rilievo batimetrico diretto. In ciascuna scena sono state individuate 10 distinte aree di 50x50 pixel rappresentative delle acque profonde con le quali si è calibrato il modello. La distribuzione delle aree di calibrazione nelle due diverse scene è rappresentata in Figura 1 e 2. Nel seguito vengono descritte le caratteristiche principali delle due scene, il metodo applicato e i risultati ottenuti. Per semplicità le due immagini sono state rinominate in funzione dell'istante di acquisizione in 5318 la prima e 5419 la seconda.

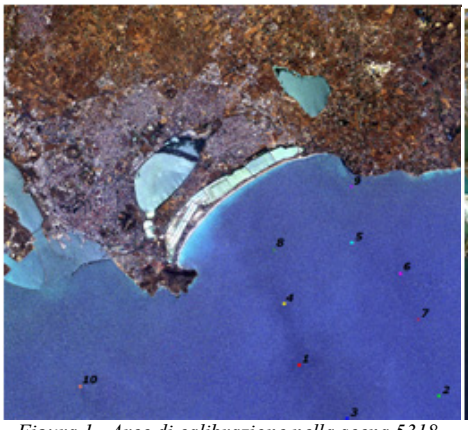


Figura 1. Aree di calibrazione nella scena 5318.

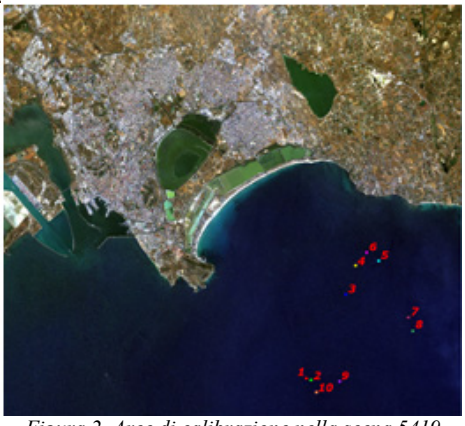


Figura 2. Aree di calibrazione nella scena 5419.

Configurazione della stereo coppia

La geometria della coppia stereoscopica è stata ricostruita grazie al file con estensione .STE a corredo delle immagini. In tale file la geometria convergente delle immagini stereo è descritta mediante tre misure angolari: l'angolo di convergenza, l'angolo di asimmetria e il bisector elevation angle (BIE). Essi misurano le relazioni geometriche tra due raggi che intersecano un punto a terra comune alle due immagini, per questo detti raggi omologhi. Due raggi omologhi definiscono un piano chiamato piano di convergenza (ISD 2011).

Più in particolare l'angolo di convergenza è l'angolo che due raggi omologhi formano sul piano di convergenza, l'angolo di asimmetria quello tra la proiezione sul piano di convergenza della verticale sul punto a terra e la bisettrice dell'angolo di convergenza, infine il BIE è l'angolo tra la bisettrice e la proiezione di questa sul piano orizzontale (Figura 3). Il più importante tra i tre angoli è l'angolo di convergenza il cui valore ideale varia tra i 30 e i 60 gradi. E' importante effettuare un'acquisizione asimmetrica, in quanto questa consente di discernere con maggiore accuratezza le caratteristiche a terra, ma l'angolo deve essere mantenuto sotto i 20 gradi. L'angolo BIE definisce la quantità di parallasse che apparirà nella direzione verticale dopo l'allineamento. Per tale motivo esso dovrebbe essere compreso tra i 60 e i 90 gradi.

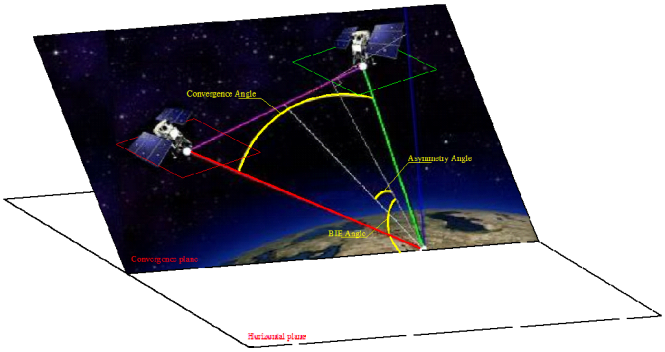


Figura 3. Geometria della stereo coppia.

Il 17 Giugno 2011 è stata acquisita sull'area di studio una coppia di immagini stereo del sensore WorldView2 di livello 1B. L'area coperta dalle immagini è di circa 100 Km^2 e va da 9° 3' 30,23'' a 9° 17' 57,23'' di longitudine e da 39° 17' 57,23" a 39° 08' 11" di latitudine. Le caratteristiche delle due immagini, acquisite entrambe con la posizione del sensore in forward, sono riassunte nella Tabella 1.

Parametri	Immagine 5318	Immagine 5419
Data di acquisizione	17 Giugno 2011	17 Giugno 2011
Ora	10:53:18	10:54:19
Angolo zenitale della vista	57.1	61.7
Angolo azimutale della vista	325.6	264.5
Dimensione pixel	2.394	2.220
Angolo zenitale del sole	73.1	73.2
Angolo azimutale del sole	155.0	155.8
Bits per pixel	16	16

Tabella 1. Caratteristiche della stereo coppia WorldView2.

I tre angoli che definiscono la geometria della stereo coppia utilizzata sono riassunti nella tabella 2 seguente:

Angoli	Stereo coppia 5318_5419
Convergenza (inizio – fine)	30.25 – 30.25
Asimmetria (inizio – fine)	5.09 – 5.59
BIE (inizio – fine)	63.14 – 62.67

Tabella 2. Angoli della stereo coppia.

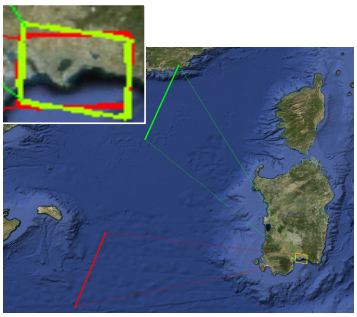


Figura 4. Traccia dell'orbita a terra.

La configurazione della geometria della presa risulta quindi appena sopra i limiti descritti sia per quanto concerne l'angolo di convergenza che per il BIE mentre risulta accettabile per il solo valore di asimmetria. La stereo coppia presenta inoltre una sovrapposizione del 96.3%.
Il file con estensione .EPH, anch'esso fornito a corredo delle immagini, contiene le coordinate geocentriche dei punti dell'orbita e le relative accuratezze valutate ad intervalli di tempo regolari pari a 0,2 secondi. La figura 4 mostra le tracce a terra così come ricostruite da questo file.
La configurazione appena descritta ha prodotto due immagini di qualità non equivalente; se infatti l'immagine 5419 può ritenersi "radiometricamente" adatta agli scopi della presente trattazione, altrettanto non può dirsi per quella 5318. Quest'ultima infatti è stata presa nelle condizioni peggiori per l'impiego in batimetria, perciò si può quasi ritenere che si tratti del 'worst case scenario'.

Determinazione della batimetria

Per l'estrazione della batimetria è stato utilizzato il metodo di Jupp così come descritto in Green et al. (2000). L'algoritmo è stato implementato in linguaggio IDL (*Interactive Data Language*) e integrato nel menù del software ENVI. L'immagine 5419 è stata pre-processata in accordo alla procedura descritta in Deidda et al. (2012). Questa procedura divide l'immagine in classi, ognuna corrispondente a una tipologia di fondale omogeneo. Tra le classi così identificate è stata selezionata quella corrispondente al fondale di tipo sabbioso, rappresentata in ENVI come ROI (*Region of Interest*). Applicando una trasformazione di coordinate l'area corrispondente alla sabbia è stata portata dall'immagine 5419 a quella 5318. Operando in tal modo si è perseguito un duplice obiettivo: evitare alterazioni dei valori di radianza dei pixel conseguenti ad operazioni di georeferenziazione, avere la garanzia che il risultato della classificazione sulle due immagini (vista la quasi contemporaneità dell'acquisizione) sia esattamente la stessa. Per la calibrazione del modello è necessario un rilievo batimetrico diretto. La prima fascia fino alla profondità di circa -1.50 m. è stata rilevata da due operatori con strumentazione GPS in modalità NRTK. Due operatori hanno percorso a piedi 30 transetti ortogonali la linea di riva e distanti 20 metri l'uno dall'altro. Ancora con tecnica GPS è stata misurata, per tutta la durata del rilievo, la posizione del pelo libero dell'acqua. Con 46762 epoche disponibili (dalle ore 10:00:00 alle ore 22:59:59 del giorno di rilievo) misurate dalla stazione permanente GCAG (rete Sarnet) è stata calcolata una VRS (Virtual Reference Station) in funzione della quale è stato post processato il rilievo. Allo scopo di determinare la quota del livello del mare in corrispondenza all'esatta posizione planimetrica dei punti del rilievo è stata calcolata con un interpolatore lineare la curva di *fitting,* la cui equazione è $y = 8.627 \cdot 10^{-6} x + 41.42$ essendo x il tempo GPS e y la quota del pelo libero dell'acqua (figura 5).

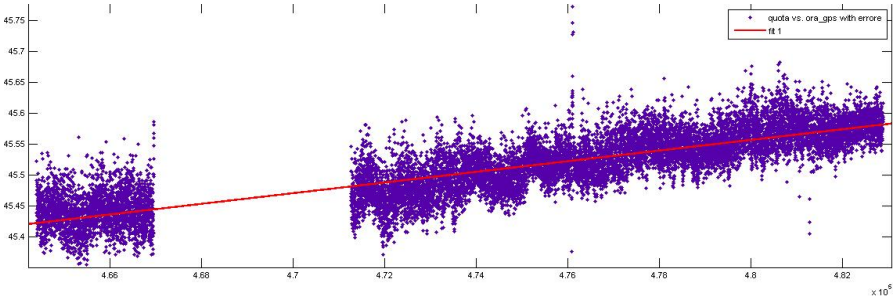


Figura 5. Curva di interpolazione dei punti di rilievo della marea.

La profondità in ciascun punto del rilievo è quindi ottenuta come differenza tra la quota del fondale e quella del pelo. Considerato però che il range di variazione delle quote del livello del mare nella giornata di rilievo è stato pari a 13.40 cm, e valutata la σ si è scelto di calcolare il valore di profondità utilizzando come quota del pelo libero il valore medio pari a 45.515. Per il rilievo della seconda fascia, in considerazione dei limiti alla navigazione a motore fino a 300 metri dalla riva, occorreva utilizzare una piccola imbarcazione da trascinare a remi. Nell'intento di minimizzare però gli errori di rollio e beccheggio dovuti alla presenza a bordo degli operatori, si è scelto di montare la strumentazione su un piccolo natante progettato e realizzato ad hoc. La scelta, per ovvie ragioni di stabilità, è ricaduta sulla simulazione di un piccolo catamarano denominato "*unopuntozero*". Lungo circa 1 metro e largo circa 80 cm, possiede una struttura (realizzata piegando tubi in acciaio della sezione 10x10 cm) nel cui baricentro è situata un'asta regolabile in altezza. Alle due estremità dell'asta sono montati in cima l'antenna GPS per il rilievo della posizione planimetrica, al piede un trasduttore per il rilievo delle profondità. Due parabordi per grosse imbarcazioni realizzano la struttura galleggiante (Figura 6).



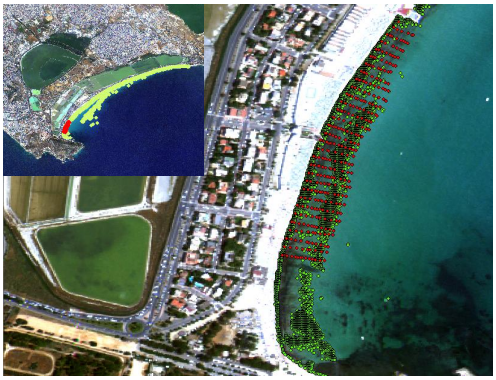
Figura 6. Unopuntozero.

Dotato del solo sensore di profondità, il trasduttore è capace di fornire valori fino a -150 m, più che sufficienti a soddisfare le esigenze della presente ricerca e a realizzare rilievi di bassi fondali a ridosso della linea di costa. Allo scopo di assicurare la corrispondenza delle letture del GPS e di quelle dell'ecoscandaglio è stato scritto un software in linguaggio Python che sincronizza i messaggi NMEA dei due dispositivi. La realizzazione del rilievo della seconda fascia, oltre -1.50 m, costituisce una delle fasi per il proseguo della presente ricerca. La figura 7 mostra il rilievo di prova eseguito con "Unopuntozero" allo scopo di testare la strumentazione.



Figura 7. Rilievo di test con Unopuntozero.

Il modello di Jupp è stato applicato in ciascuna delle due immagini 10 volte (una per ogni area di calibrazione individuata). Non tutte le aree di calibrazione sono risultate però valide ai fini



dell'estrazione dei valori di profondità e pertanto sono state scartate. In particolare per quanto concerne l'immagine 5419 sono state scartate l'area di calibrazione 1 in quanto produceva valori estrapolati e non interpolati e le aree 4, 5, 8 il numero dei valori di profondità estratti risultava irrisorio. Per il medesimo motivo sono state scartate nell'immagine 5318 le aree 2, 5 e 9. Le aree 6 e 10 non sono state utilizzate invece in quanto definiscono DOP che non si intersecano con il rilievo NRTK. Questo è stato infatti eseguito solo in una piccola porzione del litorale.

Figura 8. Rilievo GPS e DSBM.

In figura 8 è possibile vedere in rosso la localizzazione di quest'ultimo e in verde quella dei valori estratti dall'immagine 5419 (caso dell'area di calibrazione 7). Allo scopo di distinguere il modello di profondità ottenuto con il rilievo diretto da quello derivante dall'applicazione del modello di Jupp per ogni singola area di calibrazione, nel seguito quest'ultimo sarà chiamato DSBM (Digital Sea Bottom Model).

Analisi dei risultati

Come già detto il confronto ha riguardato la fascia da 0 a 1.5 mdii rofondità.Il software di estrazione della batimetria ha prodotto 6 modelli del fondo per l'immagine 5419 e 7 per 5318, ciascuno corrispondente ad una differente area di calibrazione (figure 1 e 2). Un confronto diretto tra i modelli non è possibile dato che, come risultato della calibrazione stessa, le aree in cui viene stimata la profondità non sono esattamente le stesse (differenti dop). La strategia di confronto è stata quindi quella di intersecare spazialmente i modelli e limitare il confronto alle aree comuni. Anche il confronto con il rilievo NRTK del fondo, che ha preceduto quello fra i DSBM , ha necessitato di una strategia di accoppiamento dei punti. In questo caso la comparazione è stata effettuata confrontando la profondità rilevata con quella estratta dall'immagine per il punto più vicino fino ad una distanza massima di mezzo pixel (1.2 m a terra).
La tabella 3 seguente mostra le medie e le deviazioni standard degli scarti tra i punti del DSBM e quelli del rilievo NRTK per le aree di calibrazione dell'immagine 5419.

Area di calibrazione	Media (m)	Deviazione Standard (m)
2	0.25	0.21
3	0.30	0.20
6	0.21	0.20
7	0.21	0.19
9	**0.39**	**0.22**
10	**0.46**	**0.26**

Tabella 3. DSBM estratto dalla 5419 vs Rilievo NRTK.

Le aree di calibrazione 9 e 10 sono state scartate perché le medie delle differenze sono troppo elevate.

Aree di calibrazione	Differenze (m) <									
	0.1	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.9**	**1.0**
2-3	35%	46%	49%	51%	54 %	58%	64%	72%	81%	92%
2-6	38%	51%	56%	58%	61 %	64%	69%	75%	83%	93%
2-7	68%	89%	96%	98%	99%	99%	99%	99%	99%	100%
3-6	62%	86%	95%	98%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
3-7	75%	94%	98%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
6-7	86%	97%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabella 4. Percentuali delle differenze, tra le diverse aree di calibrazione della 5419 rimaste, con valori inferiori alle soglie indicate in tabella.

L'area di calibrazione 2 mostra un bassissimo accordo, inferiore al 50% alla soglia dei 20 cm con le altre, perciò è stata scartata.
Le aree di calibrazione 3, 6 e 7 sono quelle che mostrano il maggiore accordo con il rilievo NRTK, e coerenza interna. Sono perciò da considerare validi ed equivalenti i DSBM provenienti da tutte e tre.
In maniera analoga sono state trattate le diverse aree di calibrazione per l'immagine 5318. La tabella 5 seguente mostra, alla stregua di quanto fatto per l'immagine 5419, le medie e le deviazioni standard degli scarti tra i punti del DSBM estratto per le aree di calibrazione dall'immagine 5318 e quelli del rilievo NRTK.

Area di calibrazione	Media (m)	Deviazione standard (m)
1	0.25	0.21
3	0.30	0.20
4	0.21	0.20
7	**0.39**	0.22
8	0.21	0.19

Tabella 5. DSBM estratto dalla 5318 vs Rilievo NRTK.

Con la stessa motivazione adotta per le aree di calibrazione 9 e 10 dell'immagine 5419, è stata scartata l'area di calibrazione 7.
Il confronto tra i DSBM rimasti è svolto analogamente a quello della immagine 5419. I risultati sono riportati nella tabella 6 seguente:

Aree di calibrazione	Difference (m) <									
	0.1	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.9**	**1.0**
1-3	22%	56%	79%	91%	94%	96%	98%	99%	99%	22%
1-4	23%	51%	80%	94%	98%	99%	100%	100%	100%	23%
1-8	38%	71%	88%	94%	97%	99%	99%	100%	100%	38%
3-4	51%	82%	92%	96%	98%	99%	99%	100%	100%	51%
3-8	44%	79%	90%	94%	96%	98%	98%	99%	100%	44%
4-8	40%	69%	87%	95%	98%	99%	100%	100%	100%	40%

Tabella 6. Percentuali delle differenze, tra le diverse aree di calibrazione della 5318 rimaste, con valori inferiori alle soglie indicate in tabella.

Tutte le aree di calibrazione mostrano, alla soglia dei 20 cm, coerenza interna. Sono da considerare validi ed equivalenti i DSBM provenienti da tutte. Infine con la stessa metodologia sono stati confrontati tutti i DSBM rimasti della 5419 con quelli della 5318.

Aree di calibrazione	Differenze (m) <									
	0.1	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.9**	**1.0**
3-1	9%	24%	37%	46%	53%	60%	65%	71%	77%	85%
3-3	21%	37%	47%	54%	61%	66%	73%	80%	88%	94%
3-4	21%	37%	47%	55%	60%	66%	73%	81%	89%	95%
3-8	15%	31%	42%	50%	57%	64%	70%	76%	84%	93%
6-1	2%	4%	14%	30%	41%	50%	58%	65%	72%	83%
6-3	10%	23%	36%	46%	54%	61%	69%	78%	87%	93%
6-4	13%	25%	36%	45%	53%	60%	68%	78%	87%	95%
6-8	6%	14%	26%	38%	48%	55%	63%	71%	81%	91%
7-1	2%	5%	18%	38%	52%	62%	69%	75%	80%	90%
7-3	14%	31%	46%	59%	68%	75%	80%	87%	94%	97%
7-4	18%	34%	47%	57%	66%	72%	79%	86%	93%	98%
7-8	9%	20%	35%	50%	61%	69%	75%	80%	86%	94%

Tabella 7. Percentuali delle differenze, tra le diverse aree di calibrazione della 5419 rimaste e quelle della 5318, con valori inferiori alle soglie indicate in tabella.

La tabella mostra che non si hanno percentuali di accordo superiori al 50% al di sotto di **0.6 m**, che pare quindi il limite di precisione del metodo.

Conclusioni

Sulla base dei confronti fin qui effettuati possiamo dire che malgrado le immagini fossero notevolmente differenti per geometria e qualità, mostrano un accordo che ci consente di dire che la precisione con cui si può stimare le profondità è di circa 60 cm. Questo risultato, di prima approssimazione ci consentirà di progettare i parametri di qualità dei rilievi batimetrici necessari per calibrare il modello. Nell'immediato futuro infatti abbiamo previsto, con l'ausilio di *Unopuntozero*, un rilevamento batimetrico di una zona più ampia comprendendo profondità che ci consentiranno di creare le DOP anche per le altre bande del sensore e soprattutto per la coastal.

Bibliografia

Deidda M., Sanna G. 2012. Pre-processing of high resolution satellite images for sea bottom. Italian Journal of Remote Sensing, 44(1), pp. 83-95

Digital Globe. Imagery Support Data (ISD) Documentation. Supplemental information for the product guide
http://www.digitalglobe.com/downloads/Imagery_Support_Data_Documentation.pdf (11 Jan. 2011).

E. P. Green et al., Remote Sensing for Tropical Coastal Managment, Parigi, UNESCO, 2000

Jupp, D.L.B., 1988, Background and extensions to depth of penetration (DOP) mapping in shallow coastal waters. Proceedings of the Symposium on Remote Sensing of the Coastal Zone, Gold Coast, Queensland, September 1988, IV.2.1-IV.2.19

Proposta di una Carta di interesse naturalistico, geoturistico e culturale lungo il tracciato del Trenino Verde (Sardegna centro-orientale)

Felice Di Gregorio, Paolo Frongia, Carla Gaviano

Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Scienze chimiche e geologiche, via Trentino 51, 09127 Cagliari
Tel. 0706757750, Fax 070282236, e-mail: digregof@unica.it

Riassunto

La ferrovia storica ora denominata "Trenino verde", con i suoi 159 km è, nel suo genere, la più lunga d'Italia. La tratta Mandas-Arbatax consente di attraversare il territorio della Trexenta, della Barbagia di Seulo e dell'Ogliastra, regioni storico-geografiche della Sardegna centro-orientale, di grande interesse geologico e geomorfologico ma anche paesaggistico ed ambientale. Il percorso si sviluppa a partire dal paesaggio collinare dell'Alta Trexenta, modellato sui terreni marnoso-arenacei del Miocene, a quello degli altopiani carbonatici mesozoici dei Tacchi o Tònneri, poggianti sulle rocce del basamento paleozoico, sino alla costa centro-orientale dell'Isola caratterizzata dalla presenza di promontori rocciosi granitici (Capo Bellavista) e da ampi litorali sabbiosi, dune e stagni di retrospiaggia. La tratta offre una sequenza dinamica di vedute panoramiche di territori impervi e nascosti di suggestiva bellezza con una ben marcata identità paesaggistica. Al ricco patrimonio geologico si associa una elevata densità di siti archeologici e di aree naturali di rilevante pregio (Valle del Flumendosa, Montarbu di Seui, territorio dell'istituendo Parco dei Tacchi, Lago dell'Alto Flumendosa, etc.). Principale sintesi espressiva del lavoro è una Carta di interesse naturalistico, geoturistico e culturale, elaborata in ambiente GIS, dei territori attraversati dal Trenino verde con l'ubicazione dei geoiti, dei geomorfositi e degli altri principali siti di interesse naturalistico, culturale e paesaggistico. Per facilitare la lettura e la comprensione del paesaggio da parte dei visitatori ed evidenziarne i connotati d'insieme è stata anche predisposta, a livello esemplificativo, una rappresentazione tridimensionale ottenuta dal DTM della Regione Sardegna con drappeggio delle ortofoto digitali a colori dell'area. Tale Carta, di cui si presentano qui i contenuti ed alcuni stralci, con la relativa dettagliata legenda, vuole essere uno strumento conoscitivo e promozionale delle risorse naturali e culturali presenti in questo settore della Sardegna e rappresenta la base di riferimento per la gestione consapevole, la tutela e la valorizzazione del patrimonio ambientale e culturale del territorio.

Abstract

The historic railway now called "Trenino verde", with its 159 km is, in its kind, the longest in Italy. The route Mandas-Arbatax crosses the territory of Trexenta, Barbagia of Seulo and Ogliastra, historical-geographical regions of central-eastern Sardinia, of great geological and geomorphological interest but also environmental and landscape. The route travels across from the hills of Upper Trexenta, modeled on marly-aranaceous ground of Miocene, to the carbonatic plateau of Mesozoic Tacchi or Tonneri, resting on the rocks of Paleozoic basement, and up to the central eastern coast of Sardinia, characterized by the presence of rocky promontory of granite (Capo Bellavista), wide sandy beaches, dunes and ponds backshore.

The route offers a dynamic sequence of views of inaccessible and hidden areas of outstanding beauty. The rich geological heritage is combined with a high density of archaeological sites and natural areas of significant value. The most relevant synthesis of the work is a Map of natural,

geoturistic and cultural interest, drawn up in a GIS environment, that shows the areas crossed by the Trenino verde with the location of the geosites, the geomorphosites and other major sites of natural, cultural and landscape interest. To facilitate the reading and the understanding of the landscape by visitors and to highlight the characteristics of the whole, a three-dimensional representation has also been set up. The 3D image is obtained from the DTM of the Sardinia Region whit drape of digital color aerial photos. This Map, which we have here the contents and some excerpts, with its detailed legend, intended as a tool for understanding and promotion of natural and cultural resources in this area of Sardinia and it is the basis for the informed management, protection and enhancement of natural and cultural heritage of the territory.

Introduzione

Il Trenino verde è la linea ferrata costruita in Sardegna a partire dalla fine dell'800 per collegare l'entroterra alle principali città e alla costa. Il nome è la sintesi di due caratteristiche: lo scartamento ridotto del binario (950 mm) e il verde dei boschi e della macchia mediterranea dell'interno montano della Sardegna che tale ferrovia permette di attraversare (Pilia,1994).

Il settore centro-orientale dell'Isola è percorso da una dalle tratte del Trenino Verde, la "Mandas-Arbatax", servizio turistico offerto dalle Ferrovie della Sardegna (ora ARST S.p.A.) a partire dal 1997, anno in cui la linea venne chiusa al servizio ferroviario ordinario (Boccone, 2001). La linea sfrutta il percorso ferroviario storico per attraversare, in 159 km, una grande diversità di paesaggi e permette di godere di un vasto patrimonio archeologico ed ambientale e di numerosi geositi e geomorfositi che conferiscono al paesaggio una rilevante geodiversità (Di Gregorio, 2009).

La rete ferroviaria che collega Mandas ad Arbatax, infatti, passando attraverso valli ed altopiani e oltrepassando profonde gole e valichi, percorre territori difficilmente raggiungibili con altri mezzi, consentendo in questo modo al visitatore di conoscere paesaggi pressochè incontaminati e nascosti della Sardegna nei quali gli elementi naturali si fondono armoniosamente con le originali testimonianze umane.

Lo scopo della Carta di interesse naturalistico, geoturistico e culturale proposta in questo lavoro è quello di fornire uno strumento scientifico che sia utile ai non esperti del settore per percorrere e conoscere un'area di grande interesse paesaggistico e ambientale dalle notevoli potenzialità (Liberatoscioli, 2011). Inoltre, lo strumento proposto vuole essere un contributo al rilancio economico e sociale delle zone interne della Sardegna.

Paesaggio, valenze geologiche e geomorfologiche e beni naturali e culturali lungo il percorso Mandas-Arbatax

Dopo l'importante centro agricolo di *Mandas*, nell'Alta Trexenta, con numerosi siti di interesse archeologico e storico-architettonico, si procede verso la Valle del Flumendosa lungo un paesaggio collinare dominato dalla macchia mediterranea, da campi di foraggere, da vigneti e uliveti e da tavolati basaltici e altopiani calcareo-dolomitici.

Nei pressi della stazione di *Orroli* è degno di rilievo il Nuraghe Arrubiu, uno dei complessi più importanti e meglio conservati dell'Isola. Il paese è circondato da altopiani basaltici, come il "Taccu Idda" e il "Pranu e Muru" dai quali si domina un vasto orizzonte esteso a gran parte della Sardegna centro-meridionale. In territorio di Orroli inoltre, poco lontano dalla strada ferrata, si può osservare la vasta distesa del Lago artificiale Mulargia, alimentato dal Fiume Flumendosa. Tale bacino, navigabile con battelli turistici, è stato istituito come Riserva Naturale dalla Legge Regionale 31/89 "Norme per l'istituzione e la gestione dei parchi, delle riserve e dei monumenti naturali, nonché delle aree di particolare rilevanza naturalistica e ambientale".

Risalendo il paesaggio collinare, si raggiunge la stazione di *Nurri*, ai piedi del Monte Pizziogu, antico vulcano che diede origine alle lave basaltiche che ricoprono l'altopiano di Pranu e Muru. Nel territorio di Nurri da segnalare ancora diverse *domus de janas* (grotte scavate nella pietra in epoca neolitica ed usate come tombe, denominate localmente "case delle fate"), la necropoli di Canali Scuriosu, vari nuraghi e le rovine della città romana di Biora.

La ferrovia inizia la discesa che, attraversando campi di grano e pascoli, conduce verso la vallata del Flumendosa dominata dall'abitato di *Villanovatulo*. Qui, poi, attraversa il ramo interno del Lago del Medio Flumendosa nel quale si specchiano i versanti boscosi della valle.
Poco dopo risale sino alla remota stazione collinare di *Betilli* (518 m) da dove è possibile osservare l'omonima foresta ma anche percorrere un suggestivo sentiero che porta sino al lago. Vicino alla casa cantoniera è da segnalare la presenza di una voragine di 40 metri, la *Fussa 'e Melianas*, impostata nelle assise carbonatiche del Giurese del Tacco di Sadali.
In territorio di *Esterzili*, ormai in piena Barbagia di Seulo, si può osservare sulla destra l'imponente mole del Monte Santa Vittoria (1212 m), Biotopo di rilevante interesse vegetazionale, che rappresenta un edificio vulcanico di età caledoniana (Paleozoico inferiore) costituito da vulcaniti metamorfosate. Ai piedi di questo possente rilievo gli affluenti del Flumendosa hanno scavato profonde e suggestive valli incassate, mentre sulla sommità dei rilievi o sul bordo dell'altopiano che forma il Tacco di Sadali, che corre lungo il tratto mediano del fiume, sono presenti numerosi monumenti archeologici di grande interesse (menhir, *domus de janas*, nuraghi) che consentono di ricostruire un chiaro assetto insediativo delle genti preistoriche della regione.
Sullo stesso altopiano di *Sadali* (700 m) meritano di essere visitate le cascate “Su Stampu de Su Tùrrunu” (Area di rilevante interesse naturalistico istituita dalla Legge Regionale 31/89) formate dal Riu Turnu che, attraverso un inghiottitoio di grande diametro, dopo un percorso sotterraneo, sbocca in cascata sul bordo della parete calcareo-dolomitica del Tacco. Un'altra meta di particolare interesse è la grotta de “Is Janas” (la grotta delle fate) ornata da spettacolari concrezioni di calcare, il cui accesso è localizzato in una rigogliosa foresta di lecci a qualche chilometro dall’abitato di Sadali. Si attraversa quindi il territorio di Seulo, sul bordo di altopiani calcarei nei quali si alternano boschi di leccio, roverelle e filliree secolari. Si procede poi sopra gli 800 metri verso l'abitato di *Seui*, in un territorio modellato su rocce arenaceo-scistose, con la presenza di rigogliose foreste di leccio e castagno, sino a raggiungere la massima quota (890 m). Prima di entrare nell'abitato si può osservare la laveria della vecchia miniera di antracite di Corongiu, facente parte del Parco geominerario storico ed ambientale della Sardegna riconosciuto dall’Unesco. Poco oltre il territorio cambia nuovamente aspetto: si ripresentano i tratti maestosi dei Tacchi o Tònneri di grande interesse paesaggistico, con cornici scoscese, torrioni calcarei e cascate effimere di grande suggestione. Tra i Tacchi va citato il rilievo testimone "Perda Liana" (1293 m), che è tra i monumenti naturali (L.R. 31/89) più conosciuti nell'Isola e, per la posizione dominante in cui sorge, è visibile da grandi distanze. Nell'area dei Tacchi d'Ogliastra, inoltre, è tutt'ora in atto il processo istitutivo di un Parco naturale. Sempre nel territorio di Seui, intorno alla Foresta demaniale di Montarbu, la ferrovia costeggia la falesia calcareo-dolomitica rosata del Tonneri, ove non mancano straordinarie testimonianze nuragiche, come il complesso del Nuraghe Ardasai.



Figura 1. Casello numero 88 tra Sadali e Seui lungo il tracciato Mandas-Arbatax (foto di Felice Di Gregorio).



Figura 2. Il suggestivo complesso archeologico di Nuraghe Ardasai con sullo sfondo i rilievi del Gennargentu (foto di Felice Di Gregorio).

Dalla fermata di *San Gerolamo* attraverso sentieri boscosi si può visitare la Foresta demaniale di Montarbu (2700 ha circa), in territorio di Ussassai e Seui. Nella zona, ricca di endemismi di grande rilievo scientifico e naturalistico, diversi sentieri si snodano all'interno di boschi naturali di leccio puri e misti a carpino nei quali spiccano esemplari monumentali di leccio; il più grande e famoso di questi è conosciuto come s'Ilixi 'e Canali, di 25 metri d'altezza.
La strada ferrata prosegue attraversando l'ardito ponte di San Gerolamo, vero monumento di archeologia industriale; è il più alto di tutta la tratta e sotto di esso scorre l'omonimo fiume.



Figura 3. Il caratteristico ponte di San Gerolamo, interessante esempio di archeologia industriale (foto di Giorgio Altieri).



Figura 4. Scorcio di paesaggio lungo la ferrovia Mandax-Arbatax nel territorio dei "Tacchi d'Ogliastra" (foto di Giorgio Altieri).

Sempre intorno agli 800 metri, dopo la fermata di *Niala,* si incontra la stazione di *Ussassai*, nel cui territorio vi è la fortezza naturale "Su Casteddu" dai particolari pinnacoli lavorati dall'acqua e dal vento. In territorio di Ussassai sono da segnalare diversi percorsi naturalistici e non mancano i nuraghi (Nuraghe Pranu, Nuragheddu, etc.). Nei pressi di Osini vale la pena visitare la Scala di San Giorgio, monumento naturale regionale localizzato in corrispondenza di una gola delimitata da alte pareti di natura calcareo-dolomitica e attraversata da una stretta strada asfaltata che conduce sino all'altopiano sovrastante ricco di resti archeologici.
La ferrovia attraversa poi i versanti meridionali della catena montuosa più alta della Sardegna, il Gennargentu (individuato dalla Direttiva Habitat 92/43/CEE come SIC - Sito di Importanza Comunitaria per la tutela di habitat e specie elencati dalla Direttiva), arriva alla stazione di *Gairo Taquisara*. La strada ferrata procede ancora sui bordi del Lago dell'Alto Flumendosa su un paesaggio modellato in rocce arenaceo-scistose e granitiche dell'antico penepiano del Permo-Trias tra boschi di lecci e macchia mediterranea sino alla stazione di *Villagrande Strisaili,* dalla quale si può accedere al lago. Nei pressi del piccolo abitato, oltre al paesaggio naturale, meritano attenzione diverse *domus de janas*, tombe dei giganti e menhir. Si percorre il SIC di modeste dimensioni "Rio Sicaderba" caratterizzato dalla presenza di ontaneti ad *Alnus glutinosa* e si raggiunge la stazione di *Arzana* da dove si vede, per la prima volta, il mare della costa orientale dell'Isola. Nei dintorni di Arzana vi sono nuraghi ben conservati (Aredobba, Piscina Niedda), *domus de janas* e la tomba dei giganti Sa Fussa de Su Gigante.
Poi la ferrovia inizia la repentina discesa verso il mare. Superata la stazione di *Lanusei* si arriva a quella di *Elini-Ilbono* (472 m), in terreno granitico, e si procede in pianura fino a *Tortolì* (15 m) con sullo sfondo il movimentato panorama della costa d'Ogliastra. Di grande rilievo il patrimonio archeologico della cittadina che comprende complessi prenuragici, tra cui il menhir Perda Longa ("pietra lunga"), uno dei più interessanti rinvenuti in Sardegna e alcune testimonianze nuragiche. Il viaggio termina arrivando al capolinea nel porto di *Arbatax*, da dove è possibile ammirare straordinari scogli rossi che rappresentano la parte emergente di un poderoso filone di porfido che dai rilievi interni si spinge sino al mare. A sud dell'abitato si trova infine il SIC "Lido di Orrì" che presenta una morfologia tipica degli ambienti costieri mediterranei.

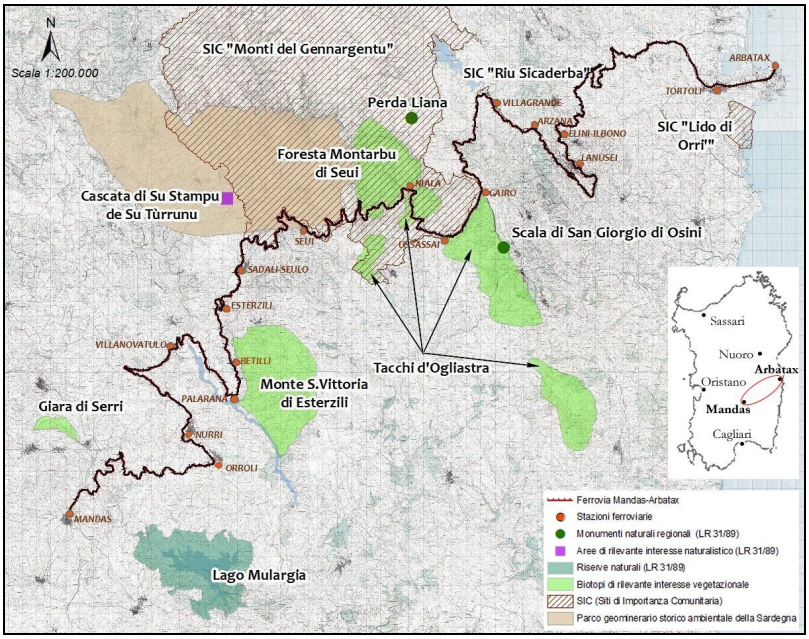


Figura 5. Inquadramento delle principali Aree naturali soggette a tutela e dei Monumenti naturali regionali istituiti lungo il percorso del Trenino Verde.

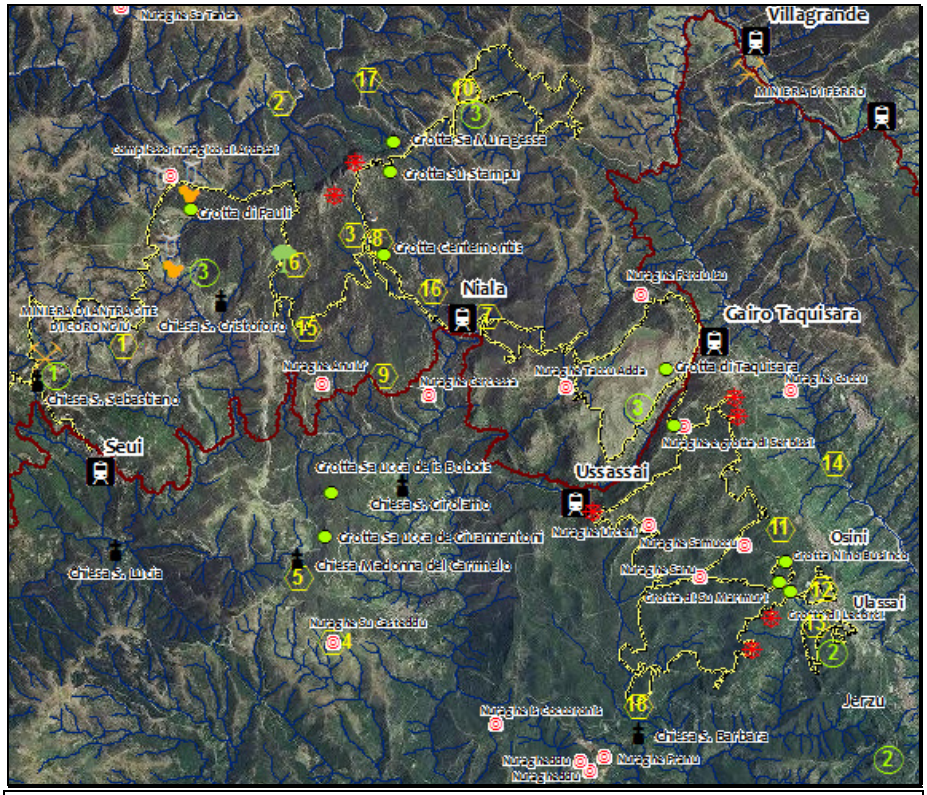
Carta di interesse naturalistico, geoturistico e culturale e immagine 3D del territorio

In Figura 6 è riportato uno stralcio della Carta di interesse naturalistico, geoturistico e culturale in scala 1:50.000, elaborata in ambiente ESRI ArcGIS su ortofoto a colori del 2006 della Regione Sardegna, nei territori che il Trenino verde attraversa tra le stazioni di Seui e Villagrande Strisaili, nel paesaggio dei Tacchi.

La Carta rappresenta con una simbologia semplice ma efficace i principali beni naturali (tra cui 3 geositi e 18 geomorfositi), storico-culturali e di interesse giacimentologico e alcune indicazioni turistiche rilevanti come i sentieri escursionistici (tracciati dall'Ente foreste della Sardegna) e un insieme di punti panoramici.

La rappresentazione tramite l'immagine tridimensionale del terreno (fig. 7) è stata elaborata a partire dal database della Regione Sardegna impiegando le curve di livello quotate a passo 10 m, estrapolate dalla Carta Tecnica Regionale. Utilizzando gli applicativi ArcScene si è ottenuto un TIN (Triangulated Irregular Network) al quale è stata assegnata una leggera esagerazione verticale per le altimetrie, in modo da ottenere una maggiore evidenza delle morfologie dell'area. Sul modello così ottenuto sono state spalmate le ortofoto a colori relative all'anno 2006 rendendo ancora più realistica la rappresentazione.

L'area dei Tacchi presenta delle morfologie pseudo-tabulari, dettate dai complessi costituiti da rocce calcareo dolomitiche che poggiano sul cosiddetto penepiano post-ercinico e dalle sottostanti litologie scistose paleozoiche. Queste ultime hanno una funzione predominante nei processi evolutivi poiché essendo maggiormente erodibili creano uno scalzamento alla base dei tacchi, con conseguenti processi franosi per ribaltamento e di crollo. L'area di Ussassai è pertanto caratterizzata dall'apertura della valle del Rio Flumineddu, impostata su faglie con direzione nord-ovest sud-est sulle litologie scistose paleozoiche. La medesima orientazione presenta la valle del Rio Pardu, alla quale fanno da cornice i comuni di Osini, Gairo e Jerzu.



BENI NATURALI

- Geositi
- Geomorfositi
- Grotte turistiche
- Alberi monumentali

BENI STORICO-CULTURALI

- Nuraghi
- Villaggi nuragici
- Tombe dei giganti
- Chiese campestri

BENI DI INTERESSE GIACIMENTOLOGICO

- Miniera abbandonata di antracite
- Miniera abbandonata di ferro

- Punti panoramici
- Sentieri (Ente Foreste)
- Idrografia
- Ferrovia Mandas-Arbatax
- Stazioni

GEOMORFOSITI	
1	**Monte Taddì**, domo vulcanico (Seui)
2	**Meandri incastrati del Flumendosa** (Seui, Arzana)
3	**Su Linnarbu**, dolina (Seui)
4	**Su Casteddu**, bastione calcareo-dolomtico (Ussassai)
5	**Arcuerì**, bastione calcareo-dolomitico (Seui)
6	**Monti Longu**, torrione calcareo-dolomitico (Seui)
7	**Piscina Sa Taula**, con concrezioni calcaree "a vela" (Ussassai)
8	**Arcu su Linnarbu**, arco naturale di roccia calcareo-dolomitica (Seui)
9	**Colonna di Santu Perdu**, torrione calcareo-dolomitico (Seui)
10	**Tacco Perda Liana** (Gairo)
11	**Scala di San Giorgio**, gola con pareti rocciose calcareo-dolomitiche (Osini)
12	**Tacco Bruncu Pranedda** (Ulassai)
13	**Tacco Tisiddu** (Ulassai)
14	**Valle del Rio Pardu** (Gairo, Osini, etc.)
15	**Cascata di Middai** (Seui)
16	**Cascate di Is Terrasmalas** (Seui)
17	**Cascata di Bau de Cinisu** (Seui)
18	**Cascata di Lequarci** (Ulassai)

GEOSITI	
1	**Sequenze stratigrafiche del Permiano**
2	**Affioramenti del Ferro dei Tacchi**
3	**Sequenze giurassiche dei Tacchi**

Figura 6. Stralcio della Carta di interesse naturalistico, geoturistico e culturale con la relativa legenda.

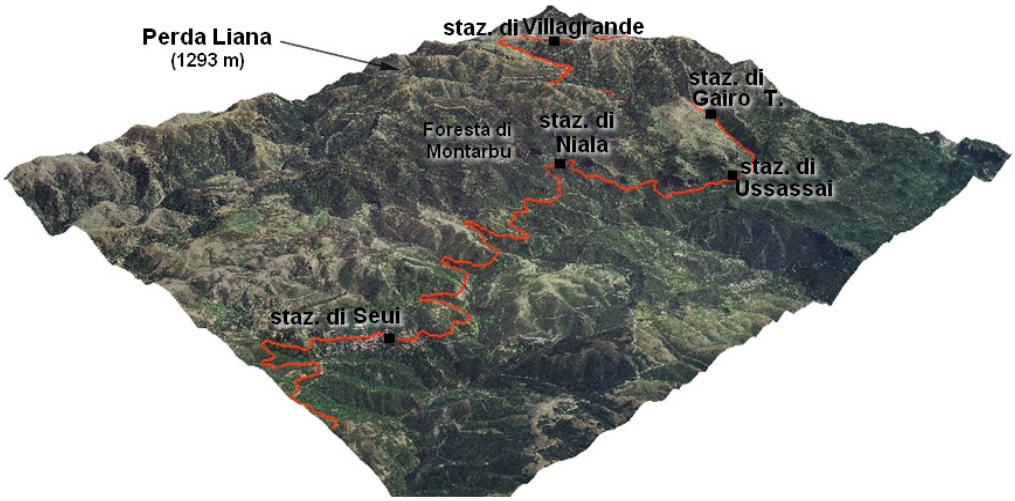


Figura 7. Modello Digitale del Terreno con drappeggio dell'ortofoto relativa all'anno 2006 che mostra il movimentato paesaggio collinare e montuoso lungo il percorso della ferrovia.



Figura 8. Il Monumento naturale regionale Perda Liana è uno dei geomorfositi di maggiore risalto lungo il percorso del Trenino Verde (foto di Felice Di Gregorio).

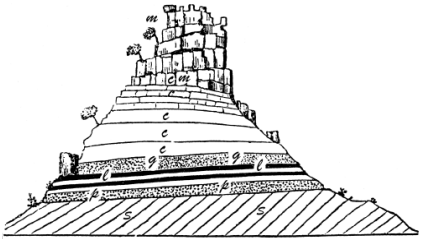


Figura 9. Litografia con rappresentazione delle sequenze geologiche del Giurassico di Perda Liana, tratto da "Itinerario nell'Isola di Sardegna vol.II", Alberto Della Marmora (1860).

Conclusioni

La Carta di interesse naturalistico, geoturistico e culturale e l'elaborazione tridimensionale proposta facilitano la conoscenza e il riconoscimento del valore di molteplicità del paesaggio attraversato dalla tratta del Trenino Verde "Mandas-Arbatax". Questo percorso può rappresentare per la Regione Sardegna un importante attrattore dei flussi turistici in quanto più di tanti altri permette di conoscere i diversi aspetti del paesaggio interno e costiero dell'Isola (geositi, geomorfositi, geodiversità,

geoparchi, SIC, aree di interesse naturalistico, siti archeologici, beni storico-architettonici) e favorisce la connessione dei piccoli centri montani dell'interno con le aree costiere interessate dal turismo balneare. La proposta si inquadra come un classico esempio di turismo sostenibile mirato alla diversificazione dell'offerta turistica ed all'ampliamento della stagione marino-balneare che consente di sostenere l'economia dei piccoli comuni dell'interno mitigandone il fenomeno dello spopolamento e di contenere, nel contempo, la pressione sul territorio costiero.
Il lavoro svolto mette in risalto il grande valore del paesaggio e del patrimonio geologico e culturale in territori ancora poco conosciuti e pone le basi per futuri progetti di valorizzazione turistica.

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (2009), "Il paesaggio naturale ed umano dei Tacchi d'Ogliastra", *Atti Convegno – Ulassai 5-6 maggio 2007*, a cura di Felice Di Gregorio, Edizioni AV, Cagliari, 1-287.

Barca S., Costamagna L.G. (2009), "Il paesaggio geologico dei Tacchi: evoluzione stratigrafica e paleoambientale del Giurassico della Sardegna centro-orientale", *Il paesaggio naturale ed umano dei Tacchi d'Ogliastra", Atti Convegno – Ulassai 5-6 maggio 2007,* 17-27.

Barca S., Di Gregorio F., (1991), "Proposta metodologica per il rilevamento dei monumenti geologici e geomorfologici", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 83: 25-31.

Boccone A. (2001), Il trenino verde della Sardegna: Arbatax, Mandas, Sorgono, Zonza Editori, Sestu, 1-95.

Carmignani L., Costagliola C., Gattiglio M., Leglise H., Oggiano G., Mascia M., Naud G., Pertusati P.C. (1982), "Lineamenti geologici della bassa valle del Flumendosa (Sardegna sud-orientale)", *Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo*, Società Geologica Italiana, Roma, 95-107.

Di Gregorio F. (2009), "Geositi, geomorfositi, geodiversità e geoconservazione: nuove tematiche e nuove risorse nel paesaggio dei Tacchi", *Il paesaggio naturale ed umano dei Tacchi d'Ogliastra", Atti Convegno – Ulassai 5-6 maggio 2007*, 67-91.

De Waele J., Di Gregorio F., Follesa R., Piras G. (2005), "Geosites and landscape evolution of the "Tacchi": an example from central-East Sardinia"*, Il Quaternario*, 18(1): 211-220.

Ibba B., De Waele J., Di Gregorio F. (2009), "La carta delle Unità di paesaggio e dei Beni naturali e culturali dei Tacchi d'Ogliastra (Ogliastra, Sardegna centro-orientale)", *Il paesaggio naturale ed umano dei Tacchi d'Ogliastra", Atti Convegno – Ulassai 5-6 maggio 2007*, 199-223.

Liberatoscioli E., Castaldini D., Conventi M., Coratza P. (2011), "Elaborazioni GIS 3D per la lettura del territorio: un esempio per la Riserva Naturale delle Salse di Nirano (Appennino Modenese)", *Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA - Reggia di Colorno 15-18 novembre 2011,* 1409-1417.

Panizza M., Piacente S., (1989), "Cultura del paesaggio e offerta turistica", *Atti Convegno "Turismo e ambiente nella società post-industriale*, Milano, 641-645.

Pertusati P.C., Sarria E., Cherchi G.P., Carmignani L., Barca S., Benedetti M., Chighine G., Cincotti F., Oggiano G., Ulzega A., Orrù P., Pintus C. (2002), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 541, Jerzu,* Serv. Geol. d'It., Roma.

Pilia F. (1994), *Il trenino verde della Sardegna: un secolo di storia tra pionieri, banditi, letterati e turisti,* Editore Silvana, Cinisello Balsamo, 1-222.

Il laser scanner terrestre per il rilevamento e la modellazione di zone "instabili": il versante sottostante il Tempio di Giunone (Agrigento)

Fabio Di Salvo, Mauro Lo Brutto

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali, Università di Palermo
Viale delle Scienze, Ed. 8, 90128 Palermo
e-mail {fabio.disalvo, mauro.lobrutto}@unipa.it

Riassunto
Lo studio descrive le operazioni del rilevamento laser scanner terrestre del versante sottostante il Tempio di Giunone nella Valle dei Templi di Agrigento. Il versante è caratterizzato dalla presenza di grossi blocchi rocciosi che si sono staccati dal basamento sommitale sul quale è costruito il Tempio; tale condizione evidenzia una situazione di generale "instabilità" che potrebbe nel tempo mettere a rischio le strutture archeologiche a causa di successivi distacchi.
Il lavoro è stato principalmente finalizzato alla verifica dell'utilizzo delle tecniche laser scanning per la produzione di informazioni metriche utili per l'interpretazione geologica dei fenomeni in atto e per le analisi geotecniche.
Il modello tridimensionale prodotto ha consentito un'accurata valutazione dei volumi e delle giaciture dei blocchi instabili ed è risultato particolarmente utile per lo studio geologico del versante anche in relazione a successive operazioni di monitoraggio o di integrazione con altre tecniche di rilievo.

Abstract
The study describes the terrestrial laser scanning survey concerning the slope below the Temple of Juno inside the Park of the Valley of the Temples in Agrigento. The slope is characterized by the presence of some large rocky blocks, that have been broken away from the summit stand, where the Temple is built; this circumstance causes a situation of general "instability" with a high risk level for the archaeological structures due to subsequent detachments.
The work was primarily aimed at the verification of the use of laser scanning techniques for the production of metric information useful for interpretation of geological phenomena and for geotechnical analysis.
The final three-dimensional model has allowed an accurate evaluation of volumes and positions of unstable blocks and was particularly useful for the geological studying in relation to subsequent monitoring or integration with other survey techniques.

Introduzione
Il rilievo di versanti e pareti rocciose con tecniche geomatiche rappresenta un importante supporto per studi di carattere geotecnico e geo-strutturale finalizzati alla progettazione di interventi di messa in sicurezza e di protezione di strutture antropiche e/o paesaggistiche. Tra le varie tecniche disponibili il rilievo laser scanner terrestre risulta una delle più efficaci e rapide per l'acquisizione di informazioni metriche tridimensionali con un elevato livello di dettaglio anche in aree molto estese. In particolare, molti laser scanner moderni hanno raggiunto portate che possono arrivare sino ad alcuni chilometri, consentendo l'esecuzione di rilievi in zone difficilmente raggiungibili. Gli esempi applicativi che negli ultimi anni si sono basati sull'uso di tale tecnologia sono numerosi e hanno riguardato studi per l'analisi di deformazioni e spostamenti (Scaioni, Alba, 2010), per la

ricostruzione geo-strutturale (Ferrero et al., 2011), per la modellizzazione tridimensionale di pareti rocciose e cave (Barbarella et al., 2009). In particolare, l'uso di modelli digitali 3D in ambito geologico come base per effettuare analisi e confronti di carattere geotecnico è sicuramente particolarmente vantaggioso sia per ricavare dimensioni e giaciture (Marsico et al., 2009) che linee di discontinuità (Slob et al., 2004).
Un aspetto particolarmente rilevante è inoltre dato dalla possibilità di integrare i dati ottenuti dal rilievo laser con quelli ricavati da altre tecniche di rilievo, in particolare fotogrammetria e interferometria SAR. Sempre più spesso infatti si ricorre al supporto di modelli provenienti da dati laser scanner per effettuare confronti di tipo metrico o per mappare aree nelle quali sono state individuate situazioni di criticità (Mazzanti et al., 2009).
Il lavoro svolto è stato finalizzato all'impiego delle tecniche laser scanning per il rilievo di un versante "instabile". In particolare, l'area oggetto di indagine si trova all'interno della zona archeologica della Valle dei Templi di Agrigento, a ridosso del noto Tempio di Giunone. Si tratta di un versante caratterizzato da un costone calcarenitico, su cui è costruito il Tempio, e da terreni detritici di copertura sul quale sono presenti numerosi blocchi e frammenti rocciosi staccatisi dalla parte sommitale del costone (Fig. 1).



Figura 1. Il versante roccioso sottostante il Tempio di Giunone.

Per il rilievo è stato utilizzato un laser scanner a tempo di volo *Riegl VZ400*, dotato di tecnologia denominata *Full Wave Form*, che consente attraverso l'analisi digitale del segnale laser di discriminare gli echi del segnale di ritorno, con il vantaggio pratico di penetrare la vegetazione e arrivare ad acquisire gli effettivi punti appartenenti al terreno e/o a superfici continue sottostanti.
Il lavoro ha consentito di valutare le potenzialità della tecnologia *Full Wave Form,* di definire quale fosse la metodologia più utile nella fase di elaborazione al fine di velocizzare le singole operazioni di *editing* e di ottenere dei modelli realmente utili ad un'indagine di tipo geotecnico. Attraverso un preciso *workflow* operativo è stato possibile ricavare un modello geometrico multi-risoluzione e scomposto in più parti, dal quale poter estrarre primitive bidimensionali (curve di livello e sezioni verticali) e ottenere una base per calcoli su volumetrie, giaciture e distanze fra gli elementi. La condizione di ricorrere ad una scomposizione dei dati iniziali, e dunque del modello finale, è risultata la più conveniente per provare a ricostruire l'evoluzione e le dinamiche meccaniche di distacco dei blocchi rocciosi dalla parte sommitale del costone.

Acquisizione dei dati
Il rilievo è stato condotto nell'arco di un giorno e mezzo utilizzando un laser scanner a tempo di volo *Riegl VZ400* capace di una portata massima di 600 m, una velocità di acquisizione fino a 125.000 punti al secondo e una risoluzione massima di 5 mm alla distanza di 100 m. Come già

evidenziato precedentemente, lo strumento impiegato è dotato di tecnologia *Full Wave Form* che consente di poter suddividere per ogni segnale laser di andata più echi di ritorno, cioè più punti per singola misurazione, incluso l'eco finale che rappresenta l'ultimo punto rilevato dallo strumento. Attraverso tale sistema è possibile ottenere più dati da una singola misurazione e soprattutto individuare più facilmente i punti che fanno parte del terreno o di superfici rocciose al di sotto di strati di vegetazione. La tecnologia *Full Wave Form*, presente in questa particolare tipologia di scanner, rappresenta un'evoluzione del sistema *multi-target* già impiegato sugli scanner aviotrasportati (Doneus et al., 2009; Pfennigbauer, Ullrich, 2009).
L'area rilevata è stata oggetto di una copertura molto ampia effettuata da più posizioni di scansione su tutto il versante. In totale sono state effettuate diciassette scansioni da quattordici punti stazione differenti, impostando lo strumento con risoluzioni di acquisizioni variabili da 2 cm a 10 cm alla distanza di 100 m. Sin dall'inizio è apparso chiaro che acquisizioni da sole zone esterne sarebbero risultate insufficienti a coprire interamente le zone d'ombra generate dai blocchi ed ottenere un buon livello di dettaglio. Sono state quindi effettuate sei scansioni dalla parte bassa del versante per avere una copertura d'insieme e altre otto dalla parte più alta, in modo da "coprire" totalmente i blocchi affioranti e il costone (Fig. 2). Tra queste alcune sono state anche effettuata al di sopra del costone roccioso, sul pianoro sul quale è impostato il Tempio di Giunone. L'elevato numero di scansioni ha consentito di ottenere una copertura pressoché completa del sito, superando quasi tutte le ostruzioni presenti.

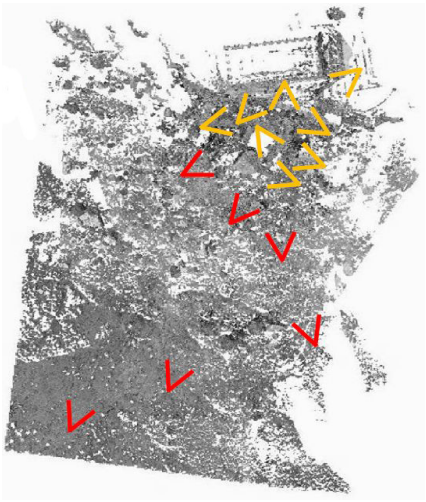


Figura 2. Schema dei punti stazione delle scansioni laser (in rosso le posizioni di scansione della parte bassa, in giallo quelle eseguite dalla parte più alta del versante).

Durante le operazioni di rilievo sono stati posizionati un numero congruo di target cilindrici retroriflettenti visibili da più punti stazione da utilizzare per la successive fasi di registrazione delle varie scansioni.
Per potere inquadrare cartograficamente il rilievo sono stati eseguiti due rilievi GNSS in modalità RTK rispettivamente da due vertici di riferimento precedentemente determinati rispetto alla stazione permanente di Agrigento appartenente alla rete GNSS dell'Università di Palermo. Il rilievo GNSS ha consentito di calcolare le coordinate dei target nel sistema cartografico UTM-ETRF2000.
La scelta di georiferire i dati è stata dettata dall'obbiettivo sia di inquadrare cartograficamente il rilievo che di ottenere dei dati confrontabili con quelli eventualmente ottenuti in rilievi successivi; in questo modo sarà possibile utilizzare il rilievo anche per studi e analisi sull'evoluzione dell'area o per il monitoraggio di ulteriori fenomeni di crollo o di avanzamento di blocchi rocciosi.

Metodologia di lavoro

L'elaborazione ha seguito una precisa metodologia, in parte legata alle usuali operazioni di *editing* tipiche della gestione di dati laser scanner e in parte dipendente dagli obiettivi finali del lavoro, cioè la creazione di modelli geometrici di supporto per indagini di tipo geotecnico.

Per il processamento delle "nuvole di punti" e per le successive operazioni di modellazione si è optato per l'uso del software della Riegl *Riscan Pro*, compatibile con lo strumento utilizzato; per alcune operazioni di modellazione, in particolare per la ricostruzione ad alta risoluzione dei blocchi rocciosi e del costone, si è preferito utilizzare il software *Geomagic Studio*.

Lo schema di lavoro è stato impostato su una sequenza di operazioni ben precise, distinguibili in una fase iniziale di registrazione, georeferenziazione e filtraggio delle singole scansioni (attraverso la classificazione dei punti resa possibile dalla tecnologia *Full Wave Form* dello scanner) e una successiva fase di unione di tutte le scansioni in un'unica "nuvola di punti" seguita dalla sua scomposizione in gruppi omogenei di dati, distinti in base alle caratteristiche geomorfologiche del sito (blocchi rocciosi, costone e versante). Da questo momento in poi sono state impiegate delle procedure differenziate sui singoli gruppi in modo da ottenere modelli geometrici parziali a differente risoluzione. Alla fine le singole parti sono state ricomposte e gestite su un unico modello.

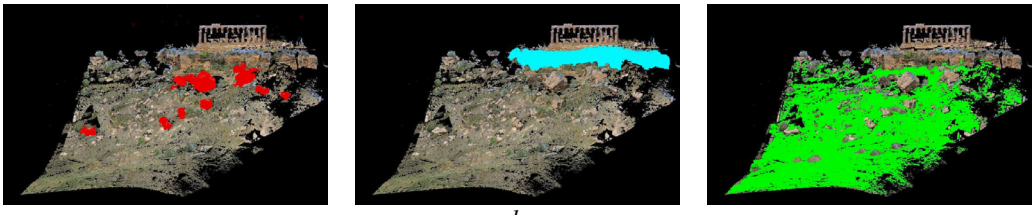
Processamento dei dati

Una prima procedura di allineamento delle scansioni è stata eseguita mediante riconoscimento automatico dei target, alla quale è seguita l'applicazione iterativa di una procedura automatica denominata "*Multistation Adjustment*" basata sull'algoritmo di allineamento ICP. Le scansioni sono state allineate rispetto ad un sistema di riferimento arbitrario coincidente con il sistema di riferimento della prima posizione di scansione. A partire dalle coordinate ricavate dal rilievo GNSS si è quindi eseguita una georeferenziazione di tutte le scansioni nel sistema UTM-ETRF2000.

Prima di procedere all'unione di tutte le scansioni, è stata eseguita una prima ed importante fase di eliminazione manuale dei punti non pertinenti, vale a dire quei punti appartenenti in maniera abbastanza evidente alla vegetazione o esterni alla zona di studio. Successivamente, sfruttando la capacità dello strumento di distinguere in vari echi le riflessione registrate, è stato possibile identificare quattro categorie di punti o *target* distinti in: *single, first, other, last*. I punti effettivamente utilizzabili ai fini della modellazione sono quelli appartenenti al cosiddetto gruppo dei *single target*, composti da punti che hanno fornito un singolo eco di ritorno (blocchi e pareti rocciose, manufatti architettonici, ecc…) e quelli classificati come *last target*, cioè punti che rappresentano l'ultimo eco rilevato all'interno di un segnale scomposto in più echi di ritorno e che presumibilmente appartengono al terreno o ad una superficie compatta che si trova al di sotto di uno strato di vegetazione. All'interno delle categorie *first* e *other target* rientrano invece tutti quegli echi intermedi che si verificano quando il raggio laser subisce più riflessioni. A differenza di quello che avviene negli strumenti aviotrasportati dove vengono registrati un numero minimo di riflessioni multiple (in genere 5) ma viene anche eseguita una classificazione delle riflessioni (primo impulso, secondo impulso, ecc.) che può anche essere utilizzata per discriminare varie tipologie di oggetti (edifici, vegetazione, ecc.), negli strumenti con tecnologia *Full Wave Form*, a parte il primo impulso, non è possibile suddividere le riflessioni multiple, classificate invece all'interno di un'unica categoria. Per tale motivo i punti appartenenti alle categorie *first* e *other target* sono stati genericamente classificati come "vegetazione" e non utilizzati per le operazioni di modellazione. L'operazione di differenziazione degli echi è stata applicata singolarmente su tutte le scansioni.

L'unione di tutte le scansioni ha generato una "nuvola di punti" con oltre 72 milioni di punti. Tale quantità risulta eccessiva ai fini di un'elaborazione speditiva; un numero di punti elevato induce a problemi in fase di elaborazione per via di file troppo "grandi" e difficilmente gestibili. Inoltre, la densità dei punti risulta in molte zone sovradimensionata per la ricostruzione tridimensionale del sito. In considerazione dell'opportunità di poter ottenere risoluzioni differenziate, a secondo l'importanza attribuita alle singole zone presenti nell'area, l'intera "nuvola di punti" è stata

suddivisa in tre distinti gruppi: un gruppo di punti appartenenti ai soli blocchi rocciosi, un altro relativo al costone e infine un gruppo contenente i punti appartenenti al versante (Fig. 3).
Per ogni gruppo sono state previste differenti risoluzioni finali e diverse procedure di modellazione, in modo da ottenere dei modelli parziali a diversa risoluzione esplorabili e utilizzabili sia singolarmente che tramite procedure di ri-assemblaggio in ulteriori modelli geometrici complessivi.



a *b* *c*

Figura 3. Suddivisione della "nuvola di punti" unita in tre gruppi di dati: (a) blocchi rocciosi, (b) costone, (c) versante.

Modellazione
Le operazioni di modellazione sono state condotte singolarmente per i tre gruppi di dati individuati.
Per quanto riguarda i blocchi rocciosi sono state eseguite alcune operazioni supplementari di filtraggio per eliminare eventuali elementi disconnessi, incongruenze e piccole aree con vegetazione residua. L'eliminazione è avvenuta mediante *editing* semi-automatico, con individuazione manuale di quelle aree con presenza di criticità e applicazione di specifici filtri iterativi basati sul riconoscimento di punti ad elevata deviazione. I singoli elementi, così filtrati, sono stati infine ricampionati con una risoluzione di 2 cm, in modo da preservarne il più possibile i dettagli. Dai dati ricampionati sono state create delle singole *mesh* ad alta risoluzione tramite il software *Geomagic Studio* (Fig. 4). Il problema più evidente di tale operazione consiste nell'impossibilità di ottenere superfici perfettamente continue, soprattutto nella parte inferiore dei blocchi rocciosi, quella a contatto con il terreno. Non avendo informazioni sulla reale conformazione dei blocchi nelle parti non affioranti si è scelto di chiudere la parti inferiori con piani o superfici geometriche approssimative. Tale semplificazione sicuramente introduce una approssimazione nella stima dei volumi che però è stata ritenuta trascurabile ai fini delle successive analisi geotecniche.

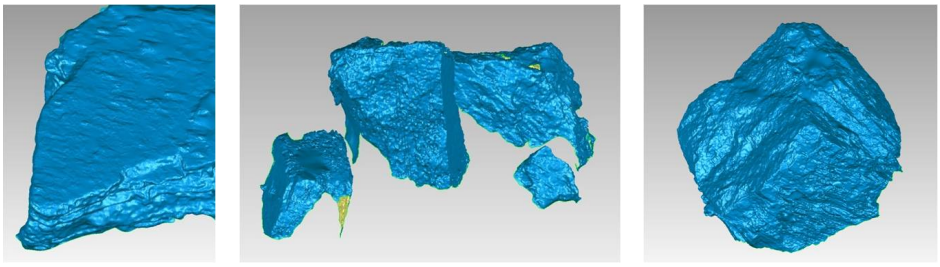


Figura 4. Esempi di modelli tridimensionali ad alta risoluzione dei blocchi rocciosi.

Il costone roccioso è stato modellato con una procedura analoga. Tuttavia, le operazioni di filtraggio sono state più impegnative per via della presenza di zone con vegetazione molto fitta, in cui la sola differenziazione degli echi non è stata sufficiente per discriminare correttamente i punti della parete. Come risultato è stata ottenuta una "nuvola" con zone caratterizzate da vistosi "vuoti" o con bassa densità di punti, solo in parte colmata dalla successiva operazione di triangolazione. Anche in questo caso i punti relativi al costone sono stati ricampionati con passo a 2 cm, in modo da mantenere i dettagli morfologici più significativi. In alcune zone non particolarmente estese e con

pochi punti, non sufficienti per una ricostruzione automatica della *mesh*, si è intervenuto con una fase di *editing* per ricostruire con le procedure a disposizione nel software utilizzato la superficie della parete (Fig. 5).

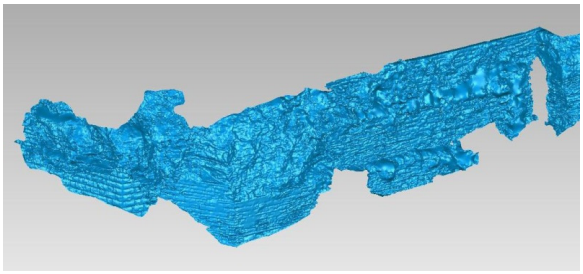


Figura 5. Modello tridimensionale del costone.

Per la modellazione del versante si è scelto di utilizzare la "nuvola di punti" iniziale, cioè completa dei blocchi e del costone, e di ricampionarla secondo una procedura di tipo *octree* per uniformare il dato ed eliminare ulteriori punti non pertinenti (Girardeau-Montaut et al., 2005).
Successivamente i punti sono stati ulteriormente filtrati attraverso una procedura iterativa, presente nel software *Riscan Pro*, denominata "*Terrain Filter"*, mediante la quale è possibile in modo del tutto automatico estrarre ed eliminare con elevata precisione ulteriori punti appartenenti alla vegetazione e ad elementi estranei o con inclinazione eccessiva (Axelsson, 2000).
I punti depurati dalla vegetazione, dai blocchi affioranti e da altri elementi estranei, sono stati utilizzati per la ricostruzione del DTM (*Digital Terrain Model*) dell'area con una risoluzione di 20 cm.
La creazione del modello tridimensionale complessivo del sito è stata ottenuta attraverso la ricollocazione delle *mesh* dei singoli elementi (blocchi e costone) sul DTM del versante (Fig. 6). Il modello risultante può a buon ragione definirsi "per parti", essendo i vari gruppi di oggetti distinguibili e selezionabili gli uni dagli altri. Si è scelto infatti di mantenere separate le varie entità, in modo da gestire più facilmente il modello, attivando o disattivando i singoli elementi quando necessario e mantenendo le risoluzioni originarie, con l'obbiettivo di facilitare le successive operazioni di estrazione di informazioni metriche (distanze, volumi) e generazione di primitive geometriche (curve di livello e sezioni verticali).

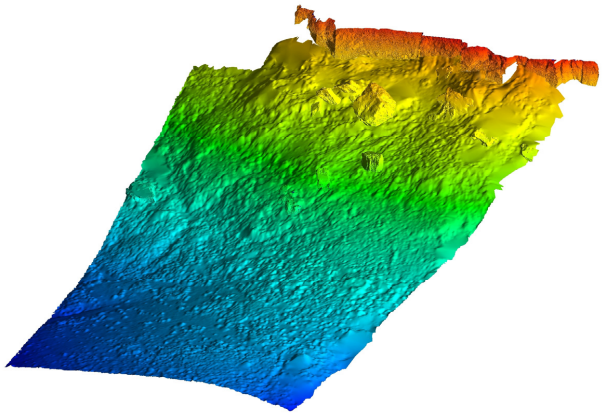
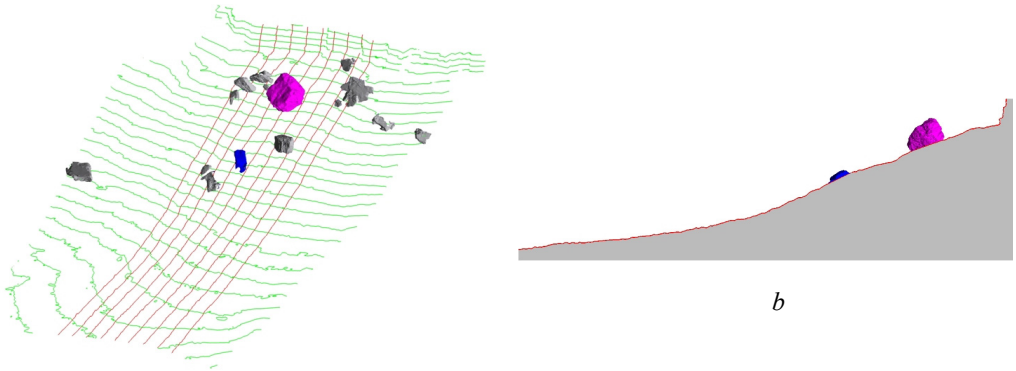


Figura 6. Modello tridimensionale complessivo dell'area, ottenuto dalla ricollocazione delle mesh dei blocchi e del costone sul DTM del versante.

Estrazione di informazioni metriche

La ricostruzione dettagliata dei blocchi rocciosi ha permesso di classificare e di calcolare in modo molto accurato la volumetria e la posizione, rispetto al costone roccioso, di ogni singolo blocco. I volumi seppur relativi alle sole parti affioranti risultano di notevole interesse per quantificare in via ipotetica la volumetria dell'originario costone, attraverso il ricorso a ipotesi ricostruttive di tipo geo-evolutivo. Il calcolo dei volumi dei singoli blocchi è stato effettuato su versioni decimate delle *mesh* ad alta risoluzione; tale scelta è stata preferita in quanto una decimazione anche spinta (fino al 5% del dato di partenza) è perfettamente tollerabile con le precisioni solitamente raggiungibili in questo tipo di analisi ed è inoltre compatibile per la gestione in qualsiasi ambiente CAD.

Dal modello complessivo sono state estratte inoltre alcune primitive geometriche, curve di livello e sezioni verticali, per le quali è possibile impostare qualsiasi tipo di passo a seconda delle finalità dell'analisi. La possibilità di selezionare individualmente i blocchi permette inoltre di effettuare delle analisi parziali riguardanti i soli elementi geologici di interesse (Fig. 7).



a *b*

Figura 7. (a) Vista assonometrica delle curve di livello, delle sezioni verticali e delle mesh dei singoli blocchi; (b) Estrazione di una sezione verticale passante per due blocchi rocciosi.

Conclusioni

Il lavoro è stato condotto per la realizzazione di un modello tridimensionale facilmente gestibile del versante sottostante il Tempio di Giunone, con un risoluzione compatibile per analisi di dettaglio. La creazione di un modello suddiviso in gruppi di dati a diversa risoluzione ha consentito una più facile gestione dei dati metrici e ha fornito la possibilità di individuare e selezionare esclusivamente le entità di interesse. Inoltre, il modello ottenuto è risultato idoneo a costituire un sistema per l'estrapolazione di svariate informazioni geometriche, per scopi geotecnici. La possibilità di ricavare le sezioni di interesse lungo qualsiasi giacitura può agevolare infatti l'interpretazione delle dinamiche di distacco dei vari blocchi rocciosi, permettendo inoltre di valutare delle ipotesi sulla possibile evoluzione del fenomeno. Inoltre, il rilievo e la successiva elaborazione sono stati organizzati in modo da permettere un confronto con dati provenienti da successive campagne di monitoraggio o dall'integrazione con altre tecniche di indagine, come supporto ad ulteriori studi ed approfondimenti. Alcune criticità sono state riscontrate nelle operazioni di *editing*, che sono risultate particolarmente onerose dal punto di vista dei tempi di calcolo (soprattutto se confrontate rispetto alla "veloce" fase di acquisizione), nella difficoltà nell'uso di più software e nell'interscambio dei dati. La necessità di ricorrere a semplificazioni in aree con assenza parziale o totale di dati utili, costituisce inoltre una limitazione nel livello di dettaglio raggiungibile, che può risultare tuttavia relativamente trascurabili nell'ambito dell'interpretazione di fenomeni geologici e di verifiche geotecniche.

Ringraziamenti
Si ringraziano l'Ente Parco Archeologico e Paesaggistico della Valle dei Templi di Agrigento, in particolare il dott. Giuseppe Presti, per la disponibilità ad accedere nell'area oggetto di rilievo, e la ditta Microgeo s.r.l. per il supporto tecnico.

Bibliografia
Axelsson P. (2000), "DEM generation from Laser Scanner Data using adaptive TIN Models", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33 B4/1: 110-117.
Barbarella M., Gandolfi S., De Giglio M., Meffe A. (2009), "Il rilievo laser scanner per il monitoraggio di cave", *Atti 13ª Conferenza Nazionale ASITA*, 1-4 dicembre 2009, Bari, 263-268.
Doneus M., Pfennigbauer M., Studnicka N., Ullrichb A. (2009), "Terrestrial waveform laser scanning for documentation of cultural heritage",*Atti 22° Simposio Internazionale CIPA*, 11-15 ottobre 2009, Kyoto.
Ferrero A.M., Migliazza M., Roncella R., Rabbi E. (2011), "Rock slopes risk assessment based on advanced geo structural survey techniques", *Landslides*, vol. 8: 221-231.
Girardeau-Montaut D., Roux M., Marc R., Thibault G. (2005), "Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner*"*, *ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005"*, 12-14 settembre 2005, Enschede, 30-35.
Marsico A., Pignatelli C., Piscitelli A., Mastronuzzi G., Pennetta L. (2009), "Rilievo con laser scanner e ricostruzione 3D di blocchi accumulati da eventi estremi in Italia Meridionale", *Atti 13ª Conferenza Nazionale ASITA*, 1-4 dicembre 2009, Bari, 1377-1384.
Mazzanti P., Moretti S., Tripoli O., Cipriani I., Carraro C., Sascor E., D'Aria D., Giudici D. (2009), "Analisi combinata Laser Scanner ed Interferometria SAR Terrestre per l'analisi dei crolli in roccia: un caso di studio nella città di Bolzano", *Atti 13ª Conferenza Nazionale ASITA*, 1-4 dicembre 2009, Bari, 1417-1422.
Pfennigbauer, M., Ullrich, A., (2009). "Three-dimensional laser scanners with echo digitization", *Atti SPIE "Laser Radar Technology and Applications XIII"*, 6950.
Scaioni M., Alba M. (2010), "Understanding changes and deformations on multi temporal rock face point clouds", in: Paparoditis N., Pierrot-Deseilligny M., Mallet C., Tournaire O. (Eds), *Atti IAPRS Vol. XXXVIII Part 3A*, 1-3 settembre 2010, Saint-Mandé, 67-72.
Slob S., Hack R., Van Knappen B., Kemeny J. (2004), "Automated identification and characterization of discontinuity sets in outcropping rock masses using 3D terrestrial laser scan survey techiniques", *Atti EUROCK 2004 & 53nd Geomechanics Colloquium*, 7-9 ottobre 2004, Salisburgo, 439-443.

Un geodatabase per i beni culturali ed ambientali del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga

Andrea Di Somma

CNR, Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali
Via Salaria Km. 29,300, c.p.10, 0016 Monterotondo St., Roma.
Tel. +390690672400, E-mail: andrea.disomma@itabc.cnr.it
AGAT, Associazione Geografica per l'Ambiente e il Territorio
Via Mario Guattari 60, 00172 Roma, E-mail: info@agatweb.it

Riassunto
Lo scopo del seguente lavoro è la costruzione di un GeoDataBase relativo ai beni culturali ed ambientali del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga attraverso un sistema informativo geografico. In particolare si propone l'attivazione di un webgis integrato, contenente le informazioni relative ai beni culturali ed ambientali del territorio del Parco.
Il lavoro è organizzato in tre fasi: nella prima fase è stato necessario eseguire un'analisi bibliografica ed inventariale per identificare le evidenze culturali ed ambientali del Parco. È stata poi determinata una tassonomia, articolata in sette categorie e ventitré sotto categorie, sulla base delle direttive dei vari consigli d'Europa riguardanti il patrimonio culturale che si sono susseguiti dagli anni Sessanta ad oggi e sulle raccomandazioni internazionali dell'UNESCO. Nella seconda fase sono stati rilevati sul campo i beni inizialmente inventariati e, una volta riconosciuti, è avvenuta la creazione del GDB e l'assegnazione della categoria tassonomica di appartenenza ad ogni singolo elemento; infine i beni sono stati rappresentati cartograficamente. L'ultima fase prevedrà un ulteriore sviluppo di questo sistema, ovvero la costituzione di un servizio webgis che consentirà una condivisione pubblica di tutte le informazioni del GDB.

Abstract
The aim of this study is to create a GeoDataBase related to the environmental and historical heritage of Gran Sasso and Monti della Laga National Park through a Geographical Information System and to promote the activation of an integrated webgis which will contain noteworthy information about the Park's natural heritage.
The study has been divided into three phases: for the first phase, in order to spot the Park's peculiarities, it was necessary to make a bibliographic and stock-list analysis of the Park which lead to classification of seven categories and twenty-three under-categories taxonomy, based on data Unesco international advises as well as from the EU's guidelines over Europe's cultural heritage from the 60's to these days. During the second phase, all the stock-listed materials have been detected and it was possible to build a GDB and to allocate the correct taxonomy to each element which have been then represented on cartographic graph. The third phase foresees a further development of such system in the form of a webgis system which will enable to publically share all the GDB data.

Area di studio

Il Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, riconosciuto a livello internazionale come "monumento europeo alla biodiversità" (www.gransassolagapark.it), si estende per oltre 140.000

ettari[1] ospitando 2.364 specie di piante[2] e numerose specie animali[3], alcune delle quali in pericolo di estinzione e incluse nella Lista rossa IUCN[4] (Tammaro et al., 1995).
Il territorio del Parco è situato nell'Italia centrale: gran parte del territorio ricade amministrativamente nella settore settentrionale della Regione Abruzzo e, solo in parte, nell'estremità meridionale della Regione Marche e nell'estremità orientale della Regione Lazio. Oltre le tre regioni, il Parco comprende anche cinque province[5] e 44 comuni (Piano del Parco, 2004). Insieme al Parco Nazionale dei Monti Sibillini, al Parco Nazionale della Majella e al Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise, forma una "dorsale ecologica" di aree protette che determinano una varietà di ecosistemi e paesaggi davvero unica nel contesto europeo (Figura 1 sx).
Il Parco è caratterizzato dalla presenza di tre catene montuose: la dorsale dei Monti Gemelli[6], situati nel settore nord orientale del Parco; i Monti della Laga che, a differenza dei rilievi circostanti formati in prevalenza da calcari, dolomie e altre rocce carbonatiche, sono costituiti da rocce a basso livello di permeabilità come arenarie e marne che favoriscono il deflusso superficiale delle acque (Guarrera e Tammaro, 1992); la catena del Gran Sasso, che limita a sud le due catene sopra descritte, si caratterizza per la presenza della vetta più alta dell'Appennino, il Corno Grande, che raggiunge i 2.912 metri. Su questa catena è inoltre presente l'unico ghiacciaio appenninico, il Calderone, il più meridionale d'Europa (www.gransassolagapark.it).

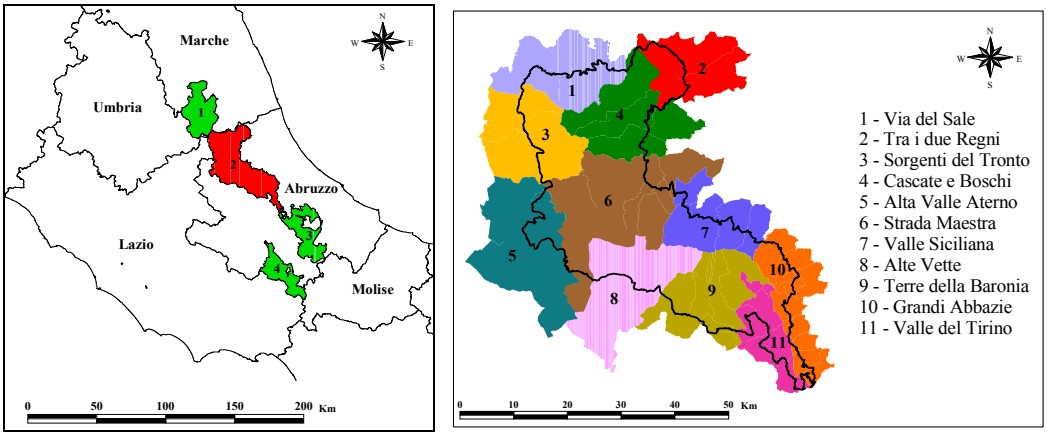


Figura 1. A sx: inquadramento geografico dell'area di studio. 1: Parco Nazionale dei Monti Sibillini; 2: Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga; 3: Parco Nazionale della Majella. 4: Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise. Fonte dati: Elaborazione propria.
A dx: gli undici distretti del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga. Fonte dati: Elaborazione propria.

A causa della vastità e della diversità paesaggistica dell'area protetta, l'Ente Parco ha proposto una suddivisione interna in undici distretti ambientali turistico-culturali (Figura 1 dx). I distretti sono stati concepiti per una fruizione del territorio in sintonia con le sue qualità ambientali e paesaggistiche (www.gransassolagapark.it). Essi sono infatti delle aree omogenee nelle quali è

[1] È il terzo Parco nazionale per estensione, dopo il Parco nazionale del Cilento e Vallo di Diano e il Parco nazionale del Pollino.
[2] Di cui 139 endemiche italiane e 12 endemiche del Parco. Sono inoltre presenti 51 emergenze floristiche, 59 orchidee spontanee e 2 piante carnivore (www.gransassolagapark.it).
[3] 6 coppie di aquile reali, 150 cervi, 420 camosci appenninici (animale simbolo del parco) e 80 lupi. Le praterie d'altitudine costituiscono l'habitat della Vipera ursinii, che nel Parco ha la più consistente popolazione italiana (www.gransassolagapark.it).
[4] International Union for Conservation of Nature.
[5] Ascoli Piceno, L'Aquila, Pescara, Rieti e Teramo.
[6] Montagna dei Fiori e Montagna di Campli.

possibile operare degli interventi di valorizzazione delle risorse ambientali e culturali in funzione delle strutture economiche e sociali presenti sul territorio[7]. Gli undici distretti sono i seguenti:
Via del Sale: distretto che si sviluppa lungo la Via Salaria;
Tra i due Regni: terra di confine tra lo Stato Pontificio e il Regno di Napoli;
Sorgenti del Tronto: ambienti naturali modellati dalle acque del Tronto;
Cascate e Boschi: in omaggio ai numerosi corsi d'acqua e alle faggete della Laga;
Alta Valle Aterno: la vallata originata dal fiume che ha le sue sorgenti nei Monti della Laga;
Strada Maestra: segue il tracciato della Strada Statale 80, la quale ricalca l'antica Via Caecilia;
Valle Siciliana: i territori dell'antico feudo della famiglia dei Mendoza;
Alte vette: il cuore selvaggio del Parco, punto di partenza per le alte vette d'Abruzzo;
Terre della Baronia: terre che nel basso Medioevo appartennero alla Baronia di Carapelle;
Grandi Abbazie: ove sono ubicate alcune delle più importanti abbazie benedettine;
Valle del Tirino: distretto ritagliato intorno al tracciato del fiume omonimo.

Metodologia

In una prima fase i beni sono stati inventariati su base documentaria, bibliografica e sitografica, raccogliendo informazioni provenienti dal Piano del Parco, dal sito internet ufficiale www.gransassolagapark.it, dalla sezione cultura del sito internet della Regione Abruzzo www.cultura.regione.abruzzo.it, dal Manuale italiano di interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/CEE (Biondi e Blasi, 2009), dalla carta italiana del rischio culturale[8] e dai siti internet delle regioni, delle province e dei comuni del Parco. Successivamente si è reso necessario nominare una tassonomia per i beni selezionati al fine di inquadrare la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio culturale e naturale dell'area di studio. Attraverso le raccomandazioni internazionali dell'UNESCO e le indicazioni provenienti dai Council of Europe sui beni culturali[9], dall'ICCD[10], e dall'ICOM[11], si è giunti ad una proposta tassonomica articolata in sette categorie e ventitré sotto categorie (Tabella 1).

Categorie	Sottocategorie
Monumenti ambientali	Beni abiotici (geologia e geomorfologia); Beni biotici (flora, fauna ed habitat); Beni antropici.
Beni archeologici	Archeologia preistorica; Archeologia classica; Archeologia medievale; Archeologia industriale.
Beni urbanistici	Centri storici; Insediamenti isolati e rurali; Quartieri urbani antichi; Altri insediamenti urbanistici.
Beni architettonici	Architettura civile; Architettura religiosa, Architettura difensiva; Architettura del lavoro; Altre opere architettoniche.
Beni demoetnoantropologici	Beni materiali; Beni immateriali.
Beni museali	Musei; Centri culturali; Centri di raccolta.
Beni archivistici	Archivi; Biblioteche.

Tabella 1. Tassonomia dei beni culturali ed ambientali del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga. Elaborazione propria.

La catalogazione è il presupposto fondamentale per la tutela e la valorizzazione del patrimonio culturale (Cicerchia, 2002). Le attività di censimento e documentazione consentono, sulla base di standard e metodologie condivise a livello nazionale, di ricostruire l'identità e la valenza dei beni,

[7] La distrettualizzazione permette all'Ente Parco di stipulare accordi di partenariato con gli Enti sovraordinati provinciali e regionali, consentendo di operare anche al di fuori del perimetro dell'area protetta, ma comunque all'interno dei comuni del Parco (www.gransassolagapark.it).
[8] Realizzata dall'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro, afferito al Ministero per i Beni e le Attività Culturali. La carta è consultabile al sito internet www.cartadelrischio.it.
[9] Sono stati visionati e presi in considerazione i documenti provenienti dai Consigli del 1999 e del 2009.
[10] Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali.
[11] International Council Of Museum.

collocandole nel contesto delle relazioni storiche, logiche e spaziali (www.iccd.beniculturali.it). I GDB permettono di collegare le diverse cartografie con canali comunicativi alternativi quali file di testo, immagini, riproduzioni audio e video, consentendo l'effettuazione di riferimenti interni tra la sezione grafica e quella informativa degli attributi (Consorti e Matani, 2008).
Il GDB oggetto di questo studio contiene informazioni dinamiche ed interattive e possiede una struttura facilmente aggiornabile in qualsiasi momento. Ad ogni record sono associate:

- indicazioni geografiche riferite alla localizzazione di ogni singolo bene: provincia, comune e distretto di appartenenza;
- categorizzazione e sottocategorizzazione di ogni singolo bene;
- informazioni di base provenienti dai siti internet istituzionali di riferimento[12];
- video realizzati da amministratori locali e membri degli uffici tecnici degli Enti prestabiliti (Ufficio del Parco, Regioni, Province e Comuni) caricati sul sito www.youtube.com;
- immagini originali dei beni culturali ed ambientali del Parco facenti parte dell'archivio fotografico dell'AGAT[13].

Terminata la compilazione del GDB si è provveduto ad una verifica[14] del materiale inventariato attraverso un censimento diretto: in questo tipo di ricerca il lavoro sul campo è fonte di conoscenza diretta (Massimo et al., 2005), poiché permette di effettuare comparazioni con altre fonti indirette e di andare alla scoperta di informazioni inedite.
Attraverso *batchgeo*, un tool gratuito per realizzare mappe di google con indicatori di località multipli, sono stati rappresentati cartograficamente i beni del Parco. Direttamente dall'interfaccia di Google Maps è possibile individuare le evidenze culturali dell'area di studio ed interagire direttamente con gli attributi alfanumerici e multimediali di ogni singolo bene.

Risultati

La ricerca ha portato all'individuazione di 629 beni culturali ed ambientali situati all'interno del Parco e nelle aree al di fuori del suo perimetro che rientrano però nel processo di distrettualizzazione (Figura 1 dx). È possibile notare dalla Figura 2 come si registri una discreta omogeneità riguardante la presenza di beni tra gli undici distretti del Parco, con un concentramento maggiore nei distretti Strada Maestra, Grandi Abbazie e Terre della Baronia.
La categorizzazione ha messo in risalto le principali tipologie di beni presenti all'interno del Parco, creando una struttura che ha permesso di organizzare le risorse culturali presenti in quest'area che, dal termine del dominio romano in Italia, è stata sempre un territorio marginale e di confine, stretta tra lo Stato della Chiesa e i domini bizantini, successivamente estremità meridionale del Ducato di Spoleto ed infine posta a delimitare a settentrione il Regno normanno, quindi angioino, aragonese e borbonico (Burri e Centofanti, 2002). L'evidente caratterizzazione montana, dovuta alla presenza delle catene del Gran Sasso, dei Monti della Laga e dei Monti Gemelli, non ha impedito a questo territorio di essere frequentato ed occupato dalle varie dominazioni che si sono succedute. L'area di più intensa occupazione umana rimane quella meridionale, dove le condizioni climatiche ed ambientali sono più favorevoli all'insediamento (Tammaro et al., 1995).
Oltre il 46% dei beni sono architettonici, il 65% dei quali rientrano nella sottocategoria "Architettura religiosa": chiese, monasteri, abbazie ed eremi costituiscono gran parte del patrimonio culturale di questa zona, a testimonianza della cultura sacrale che ha saputo rinnovarsi nei secoli nonostante molte di queste strutture siano andate distrutte o danneggiate da guerre, invasioni e terremoti. Esemplari eccellenti sono la Chiesa dell'Icona Passatora ad Amatrice, nella frazione di Retrosi, la Chiesa di S.Pietro ad Oratorium nel comune di Capestrano e la Chiesa di S.Maria Assunta di Assergi. Come detto precedentemente sono 44 i comuni che gravitano sul Parco e che, complessivamente, ospitano 369 località abitate (Piano del Parco, 2004): tra le principali opere di

[12] In particolare www.gransassolagapark.it e www.cultura.regione.abruzzo.it.
[13] Associazione Geografica per l'Ambiente e il Territorio.
[14] Ancora in corso di svolgimento. Attualmente sono stati verificati 307 beni culturali ed ambientali su 629 totali.

architettura civile sono da segnalare il Palazzo del Parlamento e la Casa del Farmacista di Campli, il Palazzo del Podestà con la Torre Civica di Accumoli e il Palazzo del Capitano a Castevecchio Calvisio. Simbolo dell'architettura difensiva del Parco è senza dubbio Rocca Calascio, il castello più alto d'Italia, che aveva la funzione di torre di avvistamento (Damiani e Marramà, 2005).

Distretto	N. Beni
Via del Sale	35
Tra i due Regni	41
Sorgenti del Tronto	59
Cascate e Boschi	67
Alta Valle Aterno	55
Strada Maestra	77
Valle Siciliana	50
Alte Vette	21
Terre della Baronia	75
Grandi Abbazie	77
Valle del Tirino	42
Beni di più distretti	30
Totale	**629**

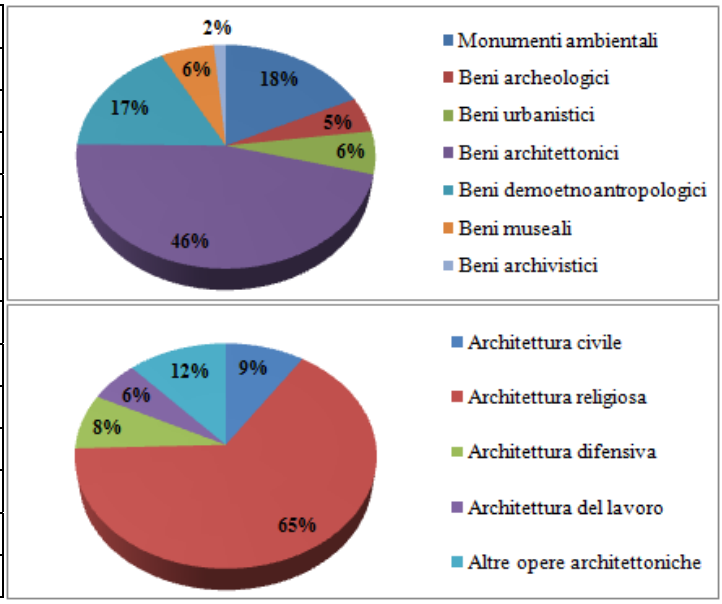


Figura 2. Beni culturali ed ambientali negli undici distretti del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga; in alto a dx: categorie dei beni culturali ed ambientali presenti nell'area di studio - valori espressi in percentuale; in basso a dx: sottocategorie dei beni architettonici presenti nell'area di studio - valori espressi in percentuale. Fonte dati: Elaborazione propria.

Habitat prioritari[15], SIC, ZPS, zone umide, cascate, foreste, grotte e torbiere[16] costituiscono il 18% dei beni considerati e formano il patrimonio naturale del Parco. La diversità geomorfologica è caratterizzata principalmente dai due ambienti di sedimentazione che nel Mesozoico hanno preso forma secondo i domini paleogeografici del "bacino" nella zona settentrionale del Parco e della "piattaforma" in quella meridionale (Burri e Centofanti, 2002). Il patrimonio idrogeologico è costituito dalle numerose sorgenti che popolano i Monti della Laga, mentre nell'area permeabile del Gran Sasso le acque di precipitazione si infiltrano, alimentando le falde sotterranee. L'ambiente vegetazionale si manifesta attraverso le 2.364 specie che sono state censite fino ad oggi: le specie endemiche costituiscono il 6% della flora del Gran Sasso e l'8% di quella della Laga (Biondi et al., 2002); i piani collinari sono dominati dai querceti di roverella (*Quercus pubescens*) e cerro (*Quercus cerris*); i piani montani sono costituiti da boschi di faggio (*Fagus sylvatica*) e di abete bianco (*Abies alba*); i piani subalpini ospitano numerosi esemplari di mirtillo nero (*Vaccinium myrtyllus*) e ginepro nano (*Juniperus communis* subsp. *alpina*); i piani alpini sono popolati da piante erbacee, tra tutte l'adonide curvata (*Adonis distorta*), definita dal botanico del XIX secolo Emile Levier "la bella delle belle" (Burri e Centofanti, 2002).

[15] Sono così chiamati gli habitat naturali che rischiano di scomparire dal territorio europeo, per la cui conservazione la Comunità ha una responsabilità particolare a causa dell'importanza della parte della loro area di distribuzione naturale compresa nel territorio europeo (Biondi e Blasi, 2009).

[16] A causa dell'escavazione della torba e della successiva realizzazione del lago, è andata quasi del tutto scomparendo la Torbiera di Campotosto, che all'inizio del XX secolo era la più grande torbiera dell'Appennino.

Una novità di questi ultimi anni, in questione di catalogazione di beni culturali, introdotta in prima istanza dall'ICCD (Vecco, 2011), è l'inserimento dei beni demoetnoantropologici materiali ed immateriali (www.iccd.beniculturali.it). La Conferenza Generale dell'UNESCO[17], riunitasi a Parigi il 17 ottobre 2003 nella sua 32ª edizione, considera l'interdipendenza tra patrimonio culturale tangibile e patrimonio culturale immateriale, mettendo in atto misure a favore della salvaguardia di quest'ultimo attraverso la trasmissione fra le generazioni, l'identificazione, la documentazione e la preservazione dei luoghi, dell'ambiente naturale e del paesaggio culturale e sociale che ha prodotto e che produce il bene in oggetto (www.unesco.beniculturali.it). Nel GDB sono stati pertanto inserite una serie di feste patronali, religiose e popolari, rievocazioni storiche, processioni, manifestazioni di canto a braccio e una ricetta culinaria[18].



Figura 3. Panoramica di alcuni beni culturali ed ambientali del Parco. Foto di Angelo Ferrari. In alto a sx: Rocca Calascio; in alto a dx: il massiccio del Gran Sasso; in basso a sx: il ghiacciaio del Calderone; in basso a dx: la Chiesa dell'Icona Passatora.

Conclusioni

Attualmente sono state completate le prime due fasi del lavoro: terminata la ricerca bibliografica e la composizione tassonomica è stato realizzato il GDB sui beni culturali ed ambientali del Parco. Lo sviluppo futuro del progetto consisterà nella condivisione pubblica dei dati elaborati con questa ricerca attraverso la funzione "i miei luoghi" del servizio di web mapping Google Maps. La divulgazione dei beni culturali attraverso i moderni strumenti multimediali si presenta come una delle sfide più interessanti in ambito di nuove tecnologie (Consorti e Matani, 2008). Una comunicazione più diretta, semplice ed efficace è il modo migliore per facilitare la comprensione e la conoscenza del patrimonio culturale**.**

[17] The Convention for Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage, ratificata dall'Italia il 27 settembre 2007.
[18] L'antica ricetta degli spaghetti all'amatriciana.

Bibliografia

Alesi A., Calibani M., Palermi A. (2005), *Monti della Laga – Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga – Le più belle escursioni*, Società Editrice Ricerche, Ascoli Piceno

Alessandrini, A. (1978), "I Monti della Laga", *Natura e Montagna,* 25: 37-45

Biondi, E.; Blasi, C. (2009), *Manuale italiano di interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/CEE*, Società Botanica Italiana e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Burri, E., Centofanti, M. (2002), *Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga*, Carsa Edizioni, Pescara

Biondi E., Allegrezza M., Taffetani F., Ballelli S., Zuccarello V. (2002), "Excursion to the National Park of Gran Sasso and Monti della Laga", *Fitosociologia*, 39 (1) suppl. 3: 43-90

Cicerchia A. (2002), *Il bellissimo vecchio. Argomenti per una geografia del patrimonio culturale*, Franco Angeli, Roma

Consiglio Direttivo dell'Ente Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga (2004), *Piano del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga*

Consorti V., Matani L. (2008), "L'integrazione su base geografica dei beni culturali nell'ambito della comunicazione multimediale", *Atti 12° Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila 21-24 ottobre 2008*: 821-826

Consorti V., Di Renzo F., Matani L. (2008), "Sistemi per la documentazione e gestione dei beni culturali in ambito web-gis", *Atti 12° Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila 21-24 ottobre 2008*: 833-838

Council of Europe (1999), *Core data standard for archaeological sites and monuments*, Council of Europe Publishing, Strasbourg

Council of Europe (2009), *Guidance on inventory and documentation of the cultural heritage*, Council of Europe Publishing, Strasbourg

Damiani G., Marramà B. (2005), *Civiltà della montagna. Il Parco nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga negli scatti di inizio Novecento di G. Marramà*, Ricerche&Redazioni, Teramo

Guarrera P., Tammaro F. (1992), "Aspetti naturalistici dei Monti della Laga e di altri territori montani circostanti", in: *La Valle dell'Alto Vomano ed i Monti della Laga*, Cassa di Risparmio di Teramo, 40-63

Latini M. (2000), *Abruzzo, le vie della transumanza*, Carsa Edizioni, Pescara

Massimo D.E., Barbalace A., Castagnella A.R., Mercuri A., Vescio M. (2005), "Contabilità e valutazione dei beni culturali e ambientali. Case study e recenti innovazioni", *Atti 9ª Conferenza Nazionale ASITA, Catania 15-18 novembre 2005*

Massimo D.E., Barbalace A., Mercuri A., Castagnella A.R., Vescio M. (2005), "Valutazione in remoto dei beni culturali e ambientali con l'ausilio del webgis" *Atti 9ª Conferenza Nazionale ASITA, Catania 15-18 novembre 2005*

Plini P., De Santis V., Di Franco S., Salvatori R., Tondi G. (2008), "Integrazione tramite GIS e WEBGIS di Dati Ambientali e Risorse Territoriali nel Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga", *Atti 12° Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila 21-24 ottobre 2008*: 1663-1668

Tammaro F., Frattaroli A.R., Pirone G. (1995), "Il Parco Nazionale del Gran Sasso e dei Monti della Laga", *Natura e Montagna*, 3/4: 25-44

Vecco M. (2011), *L'evoluzione del concetto di patrimonio culturale*, Franco Angeli, Roma

Sitografia

www.abruzzo.beniculturali.it
www.abruzzoturismo.it
www.auaa.it
www.beniculturali.it
www.cai.it
www.cartadelrischio.it
www.comuni-italiani.it
www.cultura.regione.abruzzo.it
www.galappenninoteramano.it
www.gransassolagapark.it
www.gransassoweb.it
www.iccd.beniculturali.it
www.lagagransasso.it
www.lazioturismo.it
www.parks.it
www.provincia.ap.it
www.provincia.laquila.it
www.provincia.pescara.it
www.provincia.rieti.it
www.provincia.teramo.it
www.regione.abruzzo.it
www.regione.lazio.it
www.regione.marche.it
www.turismo.marche.it
www.unesco.beniculturali.it
www.verdelaga.org
www.visitabruzzo.altervista.org
www.youtube.com

Un atlante delle trasformazioni del paesaggio toscano. La valorizzazione del patrimonio dei rilievi aerofotografici storici

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

Centro Interuniversitario di Scienze del Territorio (CIST: Università degli Studi di Firenze, Università di Pisa, Università degli Studi di Siena, Scuola Normale Superiore, Scuola Superiore Sant'Anna),
email micheleercolini@yahoo.it

Riassunto
Il contributo presenta un'indagine sui processi di trasformazione del territorio realizzata a partire dal confronto dei rilievi aerofotografici (soglie temporali 1954/1978/1996/2010) disponibili nel SIT della Regione Toscana e nel contesto delle attività di revisione del Piano Paesaggistico regionale (attualmente in corso). Il lavoro riflette sui temi che caratterizzano le qualità fondative e identitarie della struttura paesaggistica della Toscana, focalizzando l'attenzione su quello che "si è perso", si "sta perdendo", "potrebbe accadere". Tenendo questo obiettivo sullo sfondo, il contributo presenta l'esperienza di valorizzazione, a fini analitici e comunicativi, del patrimonio dei materiali aerofotografici storici conservati negli archivi istituzionali.

Abstract
This paper presents an investigation into processes of territory transformation made from the comparison of historical and contemporary aerial surveys (1954/1978/1996/2010) available in the Geographic Information System of Tuscany Regional Administration. This experience has been designed during the review of the Regional Landscape Plan (currently in progress). The work reflects on landscape values and identity of Tuscany, focusing on what "got lost", "is being lost", "could happen." Keeping this goal in the background, this paper presents the experience of exploitation, for analytical and communicative reasons, of historical aerial photographs institutional archives.

Premessa

Paesaggio patrimonio collettivo, paesaggio testimone della nostra identità, paesaggio tutelato dalla nostra Costituzione. Paesaggio dinamico. Paesaggio e (nel bene e nel male) le sue trasformazioni. Paesaggio mutato, spesso stravolto da azioni che si sovrappongono a esso. Leggi e norme hanno accompagnato, permesso, condizionato le trasformazioni. Entro questo quadro, "la nostra sensibilità sulla gestione, conservazione e progettazione del paesaggio si è evoluta [...], e molte iniziative sono state intraprese verso una più responsabile e consapevole visione di questa risorsa. […] Il paesaggio di oggi è il risultato di azioni materiali e immateriali, di quotidiano e di cultura - di eccezionalità e di abbandono - […], di fenomeni di trasformazione, politiche e opere che lo hanno - nel bene e nel male - fortemente segnato" (AA.VV., 2011). [fabio.luc1]

Inquadramento normativo

Convenzione Europea del Paesaggio (CEP, 2000) e Relazione paesaggistica (DPCM, 2005) rappresentano i provvedimenti più sensibili e vicini alla questione paesaggio/trasformazioni.
Già nel "Preambolo" della CEP (ratificata dal Parlamento italiano nel 2006) si afferma e si prende atto "che le evoluzioni delle tecniche di produzione agricola, forestale, industriale […] e delle prassi in

materia di pianificazione territoriale, urbanistica, trasporti, reti, turismo e svaghi e, più generalmente, i cambiamenti economici mondiali continuano, in molti casi, ad *accelerare le trasformazioni dei paesaggi*" (CEP, 2000).
Il paesaggio (la sua salvaguardia, gestione e pianificazione) è inteso dalla CEP "quale risorsa, una risorsa preziosa, in quanto trasformabile ma non rinnovabile e come tale da proteggere nella sua evoluzione sia attraverso l'individuazione degli obiettivi di qualità specifici che segnano il rapporto fra territorio ed aspirazioni degli abitanti sia attraverso l'applicazione dei principi di compatibilità (morfologia, storia, mantenimento, conservazione ecc.) e di sostenibilità (rapporto fra le attività attuali e la loro evoluzione) che regolano e condizionano i cambiamenti" (Zoppi, 2007).
Le azioni promosse dalla Convenzione europea sono volte, in particolare, a *«orientare» ed «armonizzare»* le trasformazioni, «così da garantire il governo del paesaggio in una prospettiva di sviluppo sostenibile», attuando una politica di «gestione dei paesaggi». La "Gestione dei paesaggi" riguarda i provvedimenti presi per "*accompagnare le trasformazioni* provocate dalle esigenze economiche, sociali o ambientali. Tali provvedimenti potranno riguardare l'organizzazione dei paesaggi o gli elementi che li compongono. Mirano a garantire la cura costante di un paesaggio e a vigilare affinché evolva in modo armonioso, allo scopo di soddisfare i fabbisogni economici e sociali" (CEP, Relazione esplicativa, 2000).
La CEP, in materia di processi trasformazione, non nega "che in certi casi l'esigenza della conservazione possa e debba prevalere sulle prospettive di trasformazione, però presuppone che la conservazione sia una scelta (che naturalmente può essere l'unica ragionevole, in certe circostanze) e non un ineluttabile ed eterno destino intrinseco alla natura di certi luoghi" (Sorace, 2007).
In altre parole, con la Convenzione europea (e, ancor prima, con la Carta di Napoli del 1999) emerge e si concretizza un comune principio ispiratore: la volontà di *non inserire le trasformazioni ma di progettarle.*
Siamo di fronte ad "un radicale cambiamento nelle politiche di gestione e di governo del paesaggio, che non può banalmente ridursi a un auspicio affidato, il più delle volte, alle sensibilità dei progettisti. Si tratta di un cambiamento richiesto da una legge dello Stato italiano: il DPCM 12 dicembre 2005, 'Relazione Paesaggistica'. In particolare, la Relazione esplicativa allegata al DPCM (a cura di Anna di Bene e Lionella Scazzosi) dovrebbe essere considerata uno dei (pochi) testi […] indispensabili per qualsiasi amministrazione impegnata nel governo dei propri paesaggi (a tutte le scale e per tutti i tipi di intervento).
La Relazione Paesaggistica - afferma in proposito Roberto Cecchi - obbliga a riflettere sulla necessità di progettare senza sovrapporsi in modo acritico, e talvolta brutale, a quell'insieme di natura e storia che nel tempo ha prodotto quello che oggi chiamiamo paesaggio. […] La riflessione di Daniele Iacovone si sofferma sull'obiettivo chiave della legge: fornire elementi precisi e dettagliati utili alla determinazione ed alla valutazione oggettiva del progetto, […] impegnando-sensibilizzando i progettisti che intervengono nelle trasformazioni del paesaggio a considerarlo parte di un insieme, la tessera di un mosaico più vasto, patrimonio collettivo, elemento chiave del nostro benessere e della nostra identità, oltre che una risorsa ricca di potenzialità per un durevole sviluppo economico e fruitivo. Un progetto di paesaggio realizzato secondo i principi richiamati dalla Relazione, prosegue Giancarlo Poli, *non dovrebbe richiedere interventi di mitigazione o di mascheramento* in quanto concepito e realizzato come elemento funzionale alla definizione di nuove identità locali, riferimenti fisici e significati culturali che costantemente si determinano e si affermano nel tempo. La Relazione Paesaggistica - osserva Biagio Municchi - dovrebbe essere utilizzata per garantire la *qualità e la coerenza delle trasformazioni paesaggistiche* che dovrebbero non sottrarre ma aggiungere valore all'ambito tutelato. […] È opportuno rammentare che al di là di tale strumento, il conseguimento della qualità e della coerenza delle trasformazioni dipende dal semplice rispetto del principio della regola d'arte, che ha fondamentalmente e storicamente creato i valori paesaggistici che oggi noi tuteliamo.
La forza innovativa della Relazione Paesaggistica non sta tanto nel rappresentare uno strumento

operativo e di supporto per rispondere (per lo più pedissequamente, come purtroppo avviene oggi) all'iter burocratico dell'autorizzazione, ma va ad inserirsi all'interno del più complesso processo di rinnovamento (culturale e metodologico) della progettazione e della valutazione degli interventi, richiamando un'idea di paesaggio condivisa e trasversale alle politiche e alle discipline di settore ed estesa, concretamente, all'intero territorio secondo i principi dello sviluppo sostenibile e della Convenzione europea" (Ercolini, 2012).

Per un Atlante delle dinamiche di trasformazione: la metodologia

Riferirci al paesaggio "non è certamente l'unico modo di guardare alle trasformazioni in un paese, ma è un modo estremamente carico di significati" (Turri, 1990).

Condividendo tale assunto, il contributo presenta un'indagine sui processi di trasformazione del territorio realizzata a partire dalla valorizzazione dei rilievi aerofotografici (soglie temporali 1954/1978/1996/2010) disponibili nel SIT della Regione Toscana e nel contesto delle attività di revisione del Piano Paesaggistico regionale (attualmente in corso). Le fonti informative utilizzate sono quattro e coprono un intervallo temporale di oltre 50 anni, permettendo di documentare con grande precisione la transizione dagli assetti insediativi tipici della Toscana rurale della metà del XX secolo a quelli che definiscono i caratteri della contemporaneità postindustriale, passando dalla fase della impetuosa crescita urbana degli anni '60 e '70 del Novecento.

Le quattro soglie cronologiche utilizzate fanno riferimento al ricco repertorio aerofotografico regionale. La prima, il 1954, costituisce un'importantissima "istantanea" del paesaggio della Toscana nell'immediato dopoguerra, ed è rappresentata dal volo G.A.I. (Gruppo Aerofotogrammetrico Italiano). La seconda soglia è costituita dai rilievi fotografici del volo del 1978, con cui è stata realizzata la Carta dell'Uso del Suolo della Regione Toscana pubblicata nel 1985. Entrambi questi voli (1954, 1978) sono stati sottoposti ad un processo di ortorettifica (curato, per la prima fonte, dal Laboratorio LaRIST dell'Università di Firenze) che ne consente adesso un più accurato confronto con le ortofotocarte realizzate negli anni successivi. Le altre due soglie fanno riferimento al volo del 1996, che fa parte delle riprese con cui è stata realizzata per lotti la nuova CTR 1:10.000 di tipo numerico, e al volo ARTEA del 2010.

Il lavoro riflette sui temi che caratterizzano le qualità fondative e identitarie della struttura paesaggistica della Toscana, focalizzando l'attenzione su quello che *"si è perso", "si sta perdendo", "potrebbe accadere"*. La ricerca affronta la questione strategica delle dinamiche di trasformazione non solo e non tanto per arrivare ad una valutazione delle conseguenze (esprimendo un giudizio in termini di criticità e valori), ma per comprendere, far comprendere in quale direzione il paesaggio si sta muovendo. Capire come sta cambiando "il linguaggio del territorio" è determinante anche e soprattutto nella gestione e progettazione dei processi di trasformazione, in quanto consente di decifrare "l'alfabeto del paesaggio [così da decodificare] quali sono i segni che attengono ai vari fenomeni, quali le tracce dei passati assetti, naturali e umani, o gli indizi dello sviluppo e dell'assetto futuro" (Romani, 1994).

Tenendo questo obiettivo sullo sfondo, il contributo descrive l'esperienza di valorizzazione, a fini analitici e comunicativi, del patrimonio di rilievi aerofotografici storici conservati dalla Regione Toscana.

La metodologia elaborata si fonda sull'individuazione di 3 tipologie di dinamiche:

- **Dinamiche "consolidate"** inerenti processi di trasformazione tipici (piuttosto frequenti negli Ambiti di cui la Regione Toscana si compone), che ci mostrano *indizi dello sviluppo e dell'assetto passato.* Alcuni esempi: il pascolo abbandonato che si trasforma in bosco; il degrado e l'abbandono dei terrazzamenti; la scomparsa del reticolo idraulico minore; la semplificazione della maglia agraria; la crescente conurbazione dei paesaggi costieri; eccetera.
- **Dinamiche dei nuovi paesaggi**, che ci raccontano tendenze evolutive recenti, utili per comprendere gli *indizi dello sviluppo e del potenziale assetto futuro.* Alcuni esempi: i "paesaggi dell'energia" (eolico, fotovoltaico); i "paesaggi del turismo" (villaggi vacanze, porti turistici,

eccetera); i "paesaggi rigenerati" (recupero, riqualificazione, rivalorizzazione di paesaggi degradati); eccetera.
- **Dinamiche di continuità**, che hanno garantito, fin dal 1954 (prima soglia temporale di riferimento), una significativa quanto strategica salvaguardia dei valori paesistici, ambientali e storico-culturali caratterizzanti la struttura identitaria dell'ambito indagato.
In casi particolari, la metodologia prevede una lettura delle dinamiche di trasformazione con una visione di area vasta ("sguardo d'insieme"), indispensabile per porre in evidenza tendenze evolutive più complesse, che si articolano/si esprimono su una porzione di territorio molto ampia (esempio: l'evoluzione della piana Firenze-Prato-Pistoia, eccetera).
Per ogni dinamica individuata sono infine definiti: (i) il luogo con relativo toponimo; (ii) il "contesto paesistico" (paesaggio costiero; paesaggio di pianura; paesaggio fluviale, eccetera); (iii) un "titolo" che identifica/sintetizza la natura/tipologia della dinamica (esempio: "paesaggi dell'energia", "tourism/scape", eccetera); (iv) uno schema con localizzazione della dinamica all'interno dell'ambito; (v) scala e fonti delle foto aeree.
Per ogni Ambito di paesaggio è poi elaborata una scheda introduttiva in cui si descrivono e localizzano le dinamiche indagate all'interno dell'ambito (figura 1).

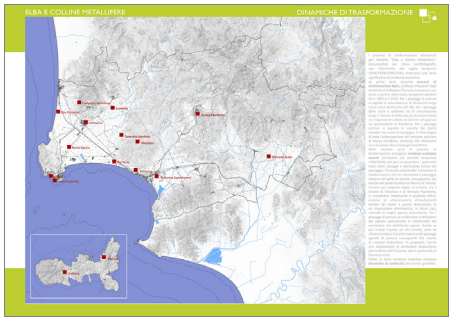


Figura 1. Per ogni ambito di paesaggio è elaborata una scheda introduttiva in cui si descrivono e localizzano le dinamiche indagate all'interno dell'ambito.

Per un Atlante delle dinamiche di trasformazione: un esempio di applicazione
I processi di trasformazione selezionati per l'Ambito "Elba e Colline Metallifere", documentati nei rilievi aerofotografici con riferimento alle soglie temporali 1954/1978/1996/2010, mostrano un sistema complesso di tendenze evolutive.
La prima serie racconta *processi di trasformazione tipici*, piuttosto frequenti negli Ambiti di cui la Regione Toscana si compone, con avvio a partire dalla fascia temporale databile tra il 1954 e il 1978. Per i paesaggi di pianura si segnala, ad esempio, la conurbazione di Venturina lungo l'asse viario dell'Aurelia (SP 39). Per i paesaggi della costa è evidente sia la conurbazione lungo il litorale di Follonica (in direzione Nord, figura 2, a destra) sia l'espansione urbana di Salivoli, sviluppatasi sul promontorio di Piombino. Per i paesaggi collinari si segnala la crescita dei bacini estrattivi dei monti di Campiglia. È infine da segnalare l'urbanizzazione del versante collinare di Massa Marittima (figura 2, a sinistra), dinamica che ritroviamo sia a Suvereto che a Campiglia Marittima.
Con la seconda serie di processi di trasformazione emergono *tendenze evolutive recenti* (comprese nel periodo temporale 1996/2010) utili per comprendere i potenziali indizi dello sviluppo e dell'assetto futuro del paesaggio. Tra quelle selezionate: il processo di trasformazione del paesaggio costiero del golfo di Salivoli, conseguente alla nascita del porto turistico di Marina di Salivoli (figura 3, a destra). Sempre per esigenze legate al turismo, tra il litorale di Follonica e la ferrovia Pisa-Roma, si riscontrano interessanti e diffusi processi di urbanizzazione di insediamenti turistici (di medie e grandi dimensioni), la cui disposizione planimetrica, in alcuni casi, riprende la maglia

agraria preesistente (figura 3, a sinistra). Per i paesaggi di pianura va evidenziata la diffusione del vigneto specializzato in sostituzione del seminativo e/o dell'oliveto sparso. Anche se più limitati rispetto ad altri Ambiti, sono da rilevarsi processi di trasformazione dei paesaggi agricoli di pianura conseguenti alla nascita di impianti fotovoltaici. In proposito, merita una segnalazione la particolare disposizione planimetrica (esagonale) dell'impianto sito in prossimità di Sticciano scalo.
Infine, la terza tendenza evolutiva interessa *dinamiche di continuità* che hanno garantito, fin dal 1954, una significativa quanto strategica salvaguardia/persistenza dei valori paesistici, ambientali e storico-culturali caratterizzanti la struttura identitaria dell'ambito. Tra queste: il paesaggio boschivo di Montioni (Parco e riserva naturale); i paesaggi delle pinete marittime lungo la costa di S. Vincenzo ("Riva degli Etruschi") e Follonica; il paesaggio di alto valore ambientale, storico-culturale ed archeologico del promontorio di Populonia (dominante il Golfo di Baratti); i paesaggi della bonifica nella valle del fiume Cornia (a prevalente carattere di seminativo, cui si affiancano colture intensive a frutteto e vigneto), con relativo reticolo idraulico minore e appoderamenti; i paesaggi dell'oliveto, spesso disposti su terrazzamenti, lungo i versanti collinari di Suvereto, Campiglia Marittima e Scarlino.

Conclusioni

L'esperienza presentata individua una modalità di lettura e valorizzazione a fini analitici e comunicativi del patrimonio di rilievi aerofotografici storici archiviati nella banca dati della Regione Toscana. In questa direzione il lavoro finalizzato alla lettura delle dinamiche di trasformazione del paesaggio, oltre ad aver focalizzato l'attenzione su quello che *"si è perso", "si sta perdendo", "potrebbe accadere",* si è rilevato un interessante percorso in quello che costituisce un patrimonio storico che diventa non più soltanto specialistico, ma anche culturale.

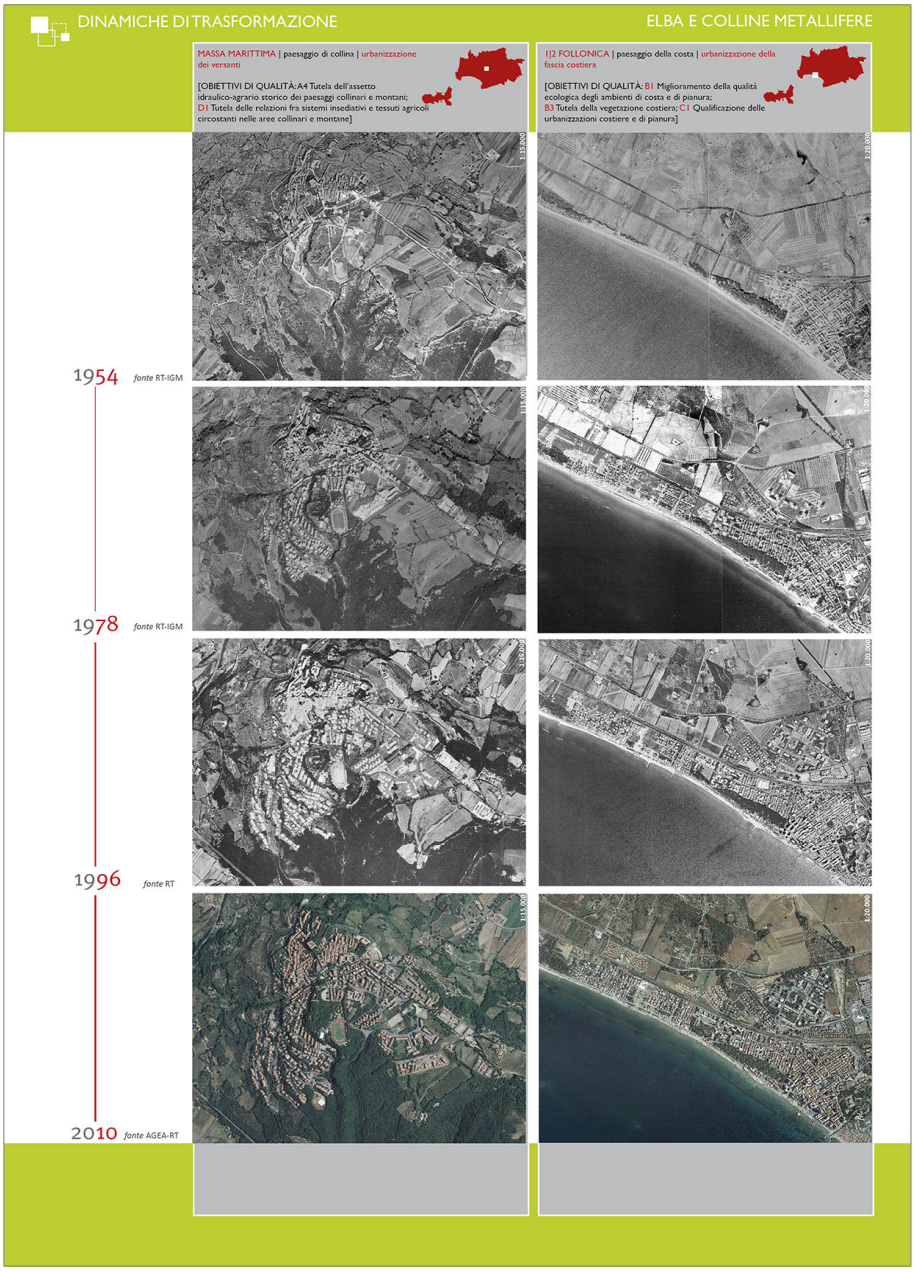


Figura 2. Massa Marittima | paesaggio di collina | urbanizzazione dei versanti (colonna a sinistra); Follonica | paesaggio della costa | urbanizzazione della fascia costiera (colonna a destra).

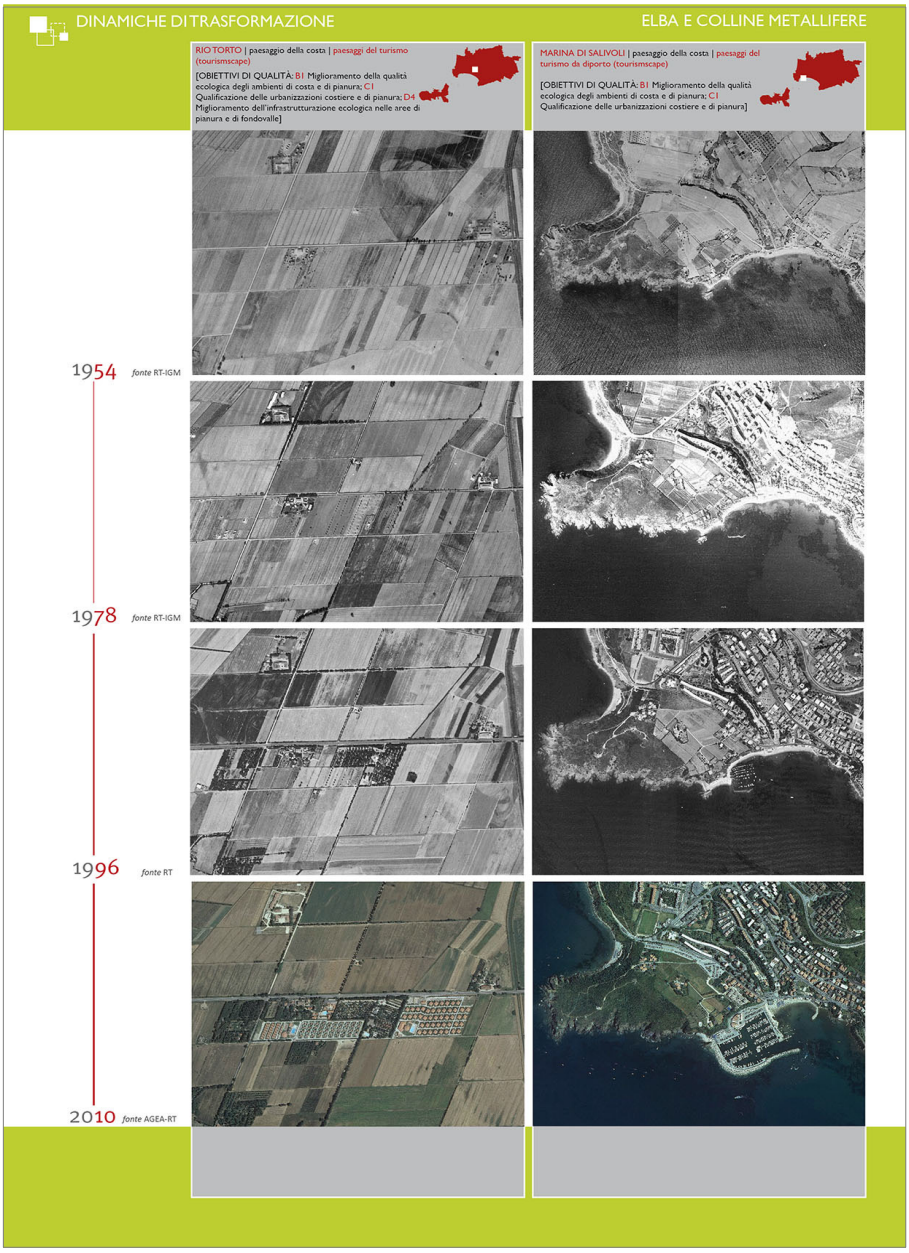


Figura 3. Rio Torto | paesaggio della costa | paesaggi del turismo – tourism/scape (colonna a sinistra); Marina di Salivoli | paesaggio della costa | paesaggi del turismo da diporto – tourism/scape (colonna a destra).

Bibliografia

AA.VV. (2011), "Sguardi sul paesaggio italiano tra conservazione, trasformazione e progetto in 150 anni di storia". Report di presentazione del Convegno "Paesaggio 150", Reggio Calabria

Convenzione Europea del Paesaggio (2000), Firenze

Convenzione Europea del Paesaggio, "Relazione esplicativa" (2000), Firenze

Di Bene A., Scazzosi L., a cura di (2006), *La Relazione Paesaggistica. Finalità e contenuti*, Gangemi, Roma

Ercolini M., a cura di (2012), *Acqua! Luoghi | Paesaggi | Territori*, Aracne, Roma

Ercolini M., Campus E. (2011), *Progettare il paesaggio per sistemi di relazioni*, Editrice Taphros Olbia

Ercolini M. (2007), *Il paesaggio (e la sua difesa) nella legislazione italiana dei primi del Novecento: origini, principi, protagonisti*, in Ferrara G., Rizzo G. G., Zoppi M. (a cura di), "Paesaggio. Didattica, ricerche e progetti", Firenze University Press, Firenze

Romani V. (1994), *Il paesaggio. Teoria e pianificazione*, Franco Angeli, Milano

Sorace D. (2007), *Paesaggio e paesaggi della Convenzione europea*, in Cartei G.F. (a cura di), "Convenzione Europea del Paesaggio e Governo del territorio", Il Mulino, Bologna

Turri E., (1990), *Semiologia del paesaggio italiano*, Longanesi e C., Milano

Zoppi M. (2007), *La via italiana all'Architettura del Paesaggio: dal Convegno di Bagni di Lucca alla Convenzione Europea dell'anno 2000,* in Ferrara G., Rizzo G. G., Zoppi M., (a cura di), "Paesaggio. Didattica, ricerche e progetti", Firenze University Press, Firenze

Analisi dell'erosione costiera nel delta del Po dal 1933 al 2008 mediante aero-fotogrammetria multi-temporale

Massimo Fabris (*), Vladimiro Achilli (*), Maurizio De Gennaro (**),
Andrea Menin (*), Antonio Zampieri (**)

(*) Laboratorio di Rilevamento e Geomatica, DICEA, Università di Padova, Via Marzolo 9, 35131 Padova,
Tel. 049-8271614, Fax 049-8275582, e-mail: massimo.fabris@unipd.it
(**) UP SIT e Cartografia, Regione del Veneto, Calle Priuli 99, Cannaregio, 30121 Venezia

Riassunto
Nel lavoro vengono analizzate le variazioni planimetriche della fascia costiera del delta del Po da Porto Caleri (Rovigo) al Lido di Volano (Ferrara)**;** lo studio è stato effettuato mediante rilievi aero-fotogrammetrici multi-temporali realizzati nel 1933, 1944, 1955, 1977, 1999 e 2008, alcuni dei quali con copertura parziale. Tale lavoro è stato realizzato nell'ambito dei progetti di ricerca RAMWASS (Risk Assessment Model of the Water-Sediment-Soil), PRIN 2008 "WEBGIS e fotogrammetria digitale multi-temporale d'archivio per il riconoscimento e l'analisi dei rischi territoriali e ambientali" ed una convenzione con la Regione Veneto ("Studio e verifica delle reti geodetiche regionali").

Abstract
In this paper planimetric deformation of the Po delta coast from Porto Caleri (Rovigo) to Lido di Volano (Ferrara) were analyzed; the study was performed by means of multi-temporal aerial-photogrammetric surveys acquired in 1933, 1944, 1955, 1977, 1999 and 2008: unfortunately, some surveys were characterized by partial coverage. The work was carried out in the field of research project RAMWASS (Risk Assessment Model of the Water-Sediment-Soil), PRIN 2008 "WEBGIS and archival multi-temporal digital photogrammetry for the recognition and analysis of environmental risks" and Veneto Region project ("Study and control of the regional geodetic networks").

Introduzione

Utilizzando rilievi aerofotogrammetrici acquisiti sulle stesse zone in tempi successivi è possibile applicare i principi della fotogrammetria digitale aerea multi-temporale: il confronto tra modelli digitali del terreno, ad alta risoluzione e precisione, ottenuti da rilievi effettuati periodicamente su aree caratterizzate da variazioni morfologiche, fornisce una stima delle deformazioni delle superfici generate valutandone aree e/o volumi coinvolti.
Le deformazioni di aree instabili possono anche essere valutate nell'arco degli ultimi 70-80 anni utilizzando immagini fotogrammetriche d'archivio con conseguenti grandi vantaggi per la ricostruzione delle variazioni morfologiche del passato (Chandler, Cooper, 1988a; Chandler, Cooper, 1988b; Chandler, Brunsden, 1995; Fabris et al., 2008).
Combinando la fotogrammetria digitale multi-temporale con quella d'archivio è possibile realizzare accurati monitoraggi di aree in deformazione. Numerose applicazioni sono state effettuate nell'ambito del monitoraggio di fenomeni franosi, aree vulcaniche e ghiacciai (Kääb et al., 1997; Kääb, 2000; Bitelli et al., 2004; Walstra et al., 2004; Baldi et al., 2005; Chandler et al., 2007; Baldi et al., 2008a; Baldi et al., 2008b; Fabris et al., 2011; Marsella et al., 2012).

Nel caso di variazioni di quota contenute, se le scale dei rilievi aero-fotogrammetrici sono molto piccole (come spesso accade con immagini d'archivio), l'errore in quota risulta piuttosto rilevante: in queste situazioni conviene separare il problema planimetrico da quello altimetrico, affrontando quest'ultimo con metodologie geodetiche che garantiscono maggiori precisioni.
In questo lavoro viene affrontata la problematica relativa allo studio delle variazioni planimetriche della linea di costa mediante l'elaborazione di rilievi aero-fotogrammetrici effettuati sull'area costiera del delta del Po nel 1933, 1944, 1955, 1977, 1999 e 2008.

Problematiche del delta del Po
Come noto, l'area del delta ha subito il fenomeno della subsidenza con valori di abbassamento medio del territorio di oltre due metri e picchi di tre metri e mezzo nel periodo dal 1940 al 1980. Le cause della subsidenza nel delta del Po sono sia di origine naturale che antropica: quelle naturali derivano dall'abbassamento del suolo causato dal costipamento degli strati litologici di un territorio "giovane" e dall'ossidazione delle torbe; le cause antropiche riguardano invece il prosciugamento delle aree umide, la bonifica dei terreni e, soprattutto, l'estrazione di acque metanifere che ha interessato il territorio con massima intensità dagli anni '40 al 1961, quando lo Stato impose la sospensione dell'attività estrattiva nel territorio deltizio.
Le conseguenze della subsidenza sono state devastanti: l'abbassamento del piano campagna ha portato la soggiacenza del territorio deltizio rispetto al livello dei fiumi e del mare mediamente a 2 metri, rendendo necessari interventi di rialzo e ringrosso delle arginature di difesa sia dai fiumi che dal mare. La subsidenza ha inoltre trascinato verso il basso i corpi arginali diminuendo e, talvolta, annullando i franchi di sicurezza. L'abbassamento disomogeneo ha quindi modificato profondamente il sistema di scolo della rete idraulica minore portando all'inversione delle pendenze e rendendo sostanzialmente inutilizzabili i manufatti. L'abbassamento della quota di fondo dei rami terminali dei fiumi ha incrementato il fenomeno della risalita del cuneo salino per decine di chilometri dalla foce rendendo inutilizzabili le derivazioni d'acqua sia a fini irrigui che idropotabili.
La subsidenza ha inoltre comportato la scomparsa degli elementi morfologici litoranei propria degli ambienti umidi e lagunari e la variazione della linea di costa con perdita di vastissime aree di importanza comunitaria (SIC, ZPS, IBA) e rientranti nel Parco Regionale Veneto del Delta del Po.
Il monitoraggio costante e continuo delle variazioni plano-altimetriche nell'area deltizia appare pertanto essenziale per la progettazione e la realizzazione degli interventi funzionali alla difesa del territorio anche sulla base di dati recenti che confermano come il fenomeno della subsidenza, anche se con valori minori rispetto al passato, sia ancora in atto (Macini et al., 2006; Menin et al., 2008; Schrefler et al., 2009a; Schrefler et al., 2009b; Baldi et al., 2009).
In questo contesto si inquadra il lavoro svolto utilizzando la fotogrammetria digitale aerea multi-temporale e d'archivio (Fabris et al., 2012).

Caratteristiche dei rilievi aero-fotogrammetrici
I sei rilievi aero-fotogrammetrici considerati in questo studio sono stati utilizzati per la stima delle variazioni della linea di costa; quindi sono state considerate solo le strisciate in prossimità della fascia costiera da Porto Caleri (Rovigo) al Lido di Volano (Ferrara): sfortunatamente per alcuni rilievi la copertura risulta parziale (figura 1).
Le caratteristiche principali sono le seguenti:

- Rilievo effettuato nel 1933: si tratta di 10 strisciate con complessive 108 immagini. La scansione è stata effettuata con scanner fotogrammetrico a 1200 dpi e la scala media risulta di 1:20000;
- Rilievo effettuato nel 1944: volo RAF costituito da 8 strisciate e 57 fotogrammi complessivi in scala media 1:25000. Anche in questo caso la scansione è stata effettuata con risoluzione di 1200 dpi;
- Rilievo effettuato tra il 1 giugno ed il 22 luglio del 1955: volo GAI costituito da 8 strisciate e 33 fotogrammi in scala media 1:35000;

- Rilievo effettuato il 10 ottobre del 1977: volo costituito da 8 strisciate e 32 fotogrammi in scala media 1:30000;
- Rilievo effettuato il 10 settembre 1999: volo costituito da 5 strisciate e 24 fotogrammi in scala media 1:34000;
- Rilievo effettuato tra il 21 ed il 22 agosto 2008: volo costituito da 14 strisciate e 125 immagini in scala media 1:16000.

Solo i rilievi più recenti (1955, 1977, 1999 e 2008) hanno copertura stereoscopica (3D), mentre quelli meno recenti, sono stati utilizzati per la generazione del fotopiano corrispondente (2D).
Le diapositive dei voli dal 1955 al 1999 sono state rasterizzate mediante lo scanner fotogrammetrico Wehrli Raster Master RM2 con dimensione del pixel di 24 µm, ottenendo una risoluzione a terra non superiore ad 80 cm per il volo più alto.

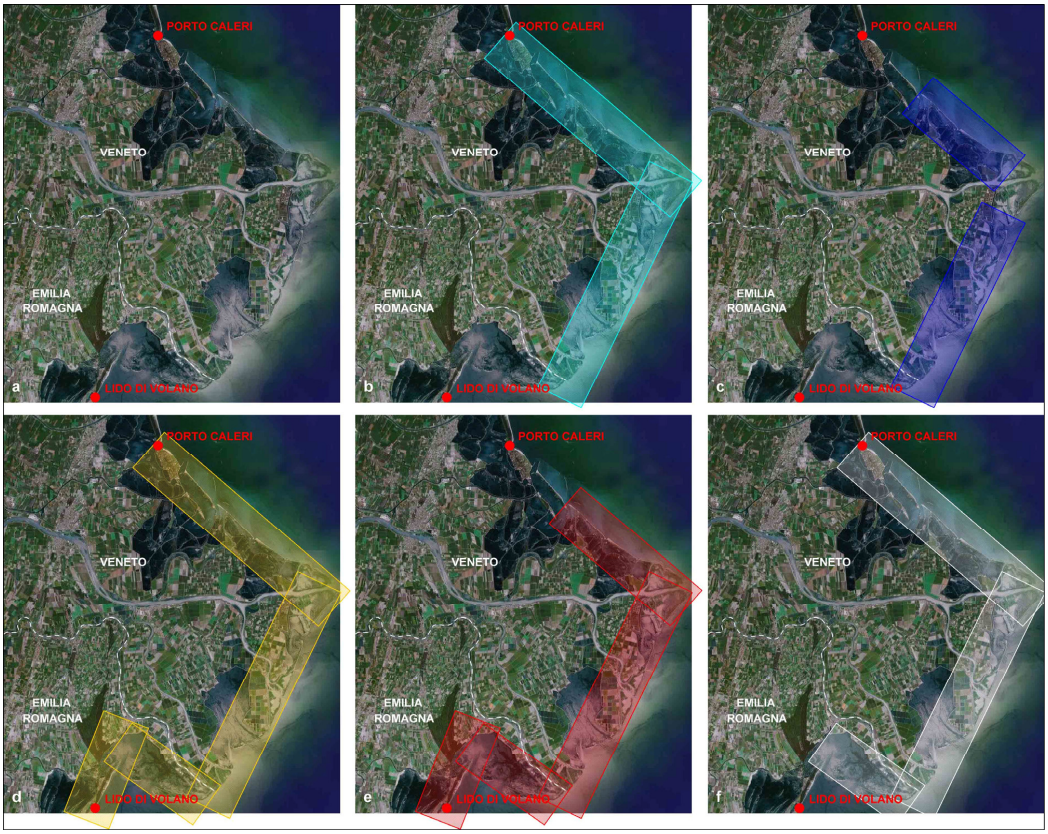


Figura 1. Copertura dei rilievi aero-fotogrammetrici utilizzati in questo studio: a) Delta del Po; b) 1933; c) 1944; d) 1955, 1977; e) 1999; f) 2008.

I punti fotografici d'appoggio

Il rilievo dei punti fotografici d'appoggio (Ground Control Points – GCP), necessario per l'orientamento delle immagini fotogrammetriche, è stato effettuato nel febbraio 2008 mediante la metodologia GPS in modalità statica: sono stati misurati punti naturali ben visibili sulle immagini, localizzati in aree presumibilmente stabili e riconosciuti durante il rilievo.
Per l'esecuzione delle misure sono stati utilizzati 3 ricevitori GPS Leica System 1200 acquisendo dati con passo di campionamento di 15 secondi e tempi di misura non inferiori a 45 minuti; come

master di riferimento sono stati considerati alcuni vertici della rete GPS della Regione Veneto, a sua volta inquadrata nelle reti nazionali ed internazionali mediante le stazioni permanenti ASI. Complessivamente sono stati misurati 40 punti naturali uniformemente distribuiti sulle strisciate e scelti in modo da avere almeno 6 punti fotografici d'appoggio per ogni strisciata (naturalmente alcuni vertici erano visibili anche su 2 strisciate). L'elaborazione dei dati GPS è stata realizzata con il software Leica Geo Office.

Generazione dei modelli fotogrammetrici ed estrazione delle ortofoto

L'orientamento esterno delle immagini fotogrammetriche dei rilievi del 1955, 1977, 1999 e 2008 è stato effettuato mediante il software Socet Set (SoftCopy Exploitation Tool Set) v. 5.4, ottenendo residui di orientamento compatibili con la scala delle immagini e la precisione dei punti d'appoggio. Per quanto riguarda invece i rilievi del 1933 e 1944, rinunciando alla tridimensionalità (in quanto la copertura stereoscopica risultava parziale), la georeferenziazione e mosaicatura delle immagini è stata effettuata mediante l'utilizzo del software ZMap per l'estrazione del fotopiano dell'area costiera.

I GCP ottenuti dal rilievo GPS erano insufficienti per l'orientamento dei rilievi meno recenti (1933 e 1944) in quanto i punti naturali, misurati nel 2008, non erano visibili sulle immagini "storiche". I punti noti sono stati quindi misurati sul modello fotogrammetrico del 1955, a sua volta orientato in modo rigoroso: sono stati scelti principalmente spigoli di edifici visibili sulla serie multi-temporale e misurate le loro coordinate sul modello fotogrammetrico del 1955 ottenendo in questo modo il trasferimento dei punti d'appoggio.

Da ciascuno dei rilievi aero-fotogrammetrici sono state prodotte le rispettive ortofoto con dimensione massima del pixel a terra di 1.5 m.

Il confronto diretto tra le ortofoto prodotte permette di ottenere una visualizzazione immediata delle aree che, maggiormente, hanno subito variazioni. Come nel caso del bacino "Bonelli Levante" dove "a causa del persistente fenomeno di subsidenza del territorio e della furiosa mareggiata del 10 novembre 1957, il bacino Bonelli Levante fu abbandonato" (Colombo, Tosini, 2009). In figura 2 l'evento viene intercettato nel confronto tra l'ortofoto del 1955 e quella del 1977.

Restituzione della linea di costa

Per i rilievi più recenti, con copertura stereoscopica, la restituzione al tratto della linea di costa è stata effettuata sulla base dell'altezza di marea: infatti, per poter confrontare tra loro restituzioni che si riferiscono a differenti periodi e valutare avanzamenti o arretramenti della linea di costa, è necessario riferirsi allo stesso valore "zero". Questo è particolarmente importante nelle zone pianeggianti come l'area del delta del Po, dove anche piccoli valori di alta marea possono coprire vaste aree: in questo caso, confrontando le restituzioni realizzate nel passaggio terra-mare, indipendentemente dall'altezza di marea, si produrrebbero variazioni scorrette in quanto riferite a "quote" diverse.

Lo studio è stato effettuato considerando il valore di altezza della marea durante l'acquisizione delle immagini: i dati, forniti dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), sono stati utilizzati per depurare le restituzioni dai differenti valori di marea.

In particolare, sono state considerate le stazioni mareografiche di Ravenna e Venezia (le più vicine all'area del delta del Po con dati d'archivio) mediando i dati disponibili.

Nel caso di bassa marea sarà sufficiente che l'operatore restituisca (in stereoscopia) la curva di livello di valore zero sul modello fotogrammetrico; nel caso di alta marea, invece, la situazione risulta più complessa: nella fattispecie, sarà necessario estrapolare il modello digitale del terreno sotto la superficie del mare ed ottenere la curva di livello di valore zero dall'elaborazione dei dati (la precisione sarà tanto più scarsa quanto maggiore sarà il valore di alta marea).

Questo studio non è stato possibile realizzarlo per i rilievi meno recenti a causa della mancanza di dati sul valore della marea e della copertura stereoscopica (Fabris et al., 2012).

Confronto tra le restituzioni vettoriali della linea di costa

La verifica della stabilità del sistema di riferimento nella trattazione multi-temporale è stata effettuata confrontando le restituzioni al tratto dei limiti dei fiumi e degli edifici e le coordinate di circa 50 punti naturali ben visibili sui vari rilievi. I risultati, con le restituzioni pressoché coincidenti, hanno confermato la stabilità del sistema di riferimento permettendo, quindi, il confronto diretto tra le linee di costa (figura 3).

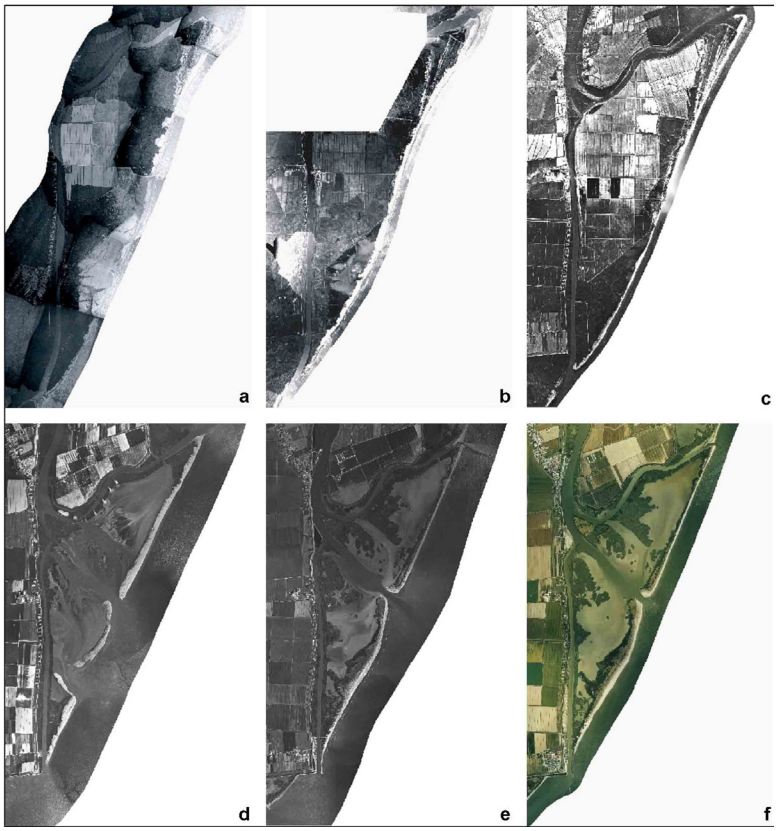


Figura 2. Ortofoto che evidenziano l'evoluzione del bacino Bonelli Levante: a) 1933; b) 1944; c) 1955; d) 1977; e) 1999; f) 2008; nel confronto 1955-1977 viene intercettato l'evento del 10 novembre 1957.

Nella figura 3 le restituzioni al tratto delle linee di costa e dei limiti dei principali corsi d'acqua dei rilievi del 1933, 1944, 1955, 1977 e 1999 sono state sovrapposte sull'ortofoto del 2008: nei dettagli A, B e C si nota come le variazioni siano piuttosto consistenti.

Nell'evoluzione multi-temporale dello studio è stato osservato un generale arretramento della linea di costa, probabilmente provocato non solo dalle dinamiche tipiche degli ecosistemi fluviali ma anche dagli interventi antropici.

L'arretramento più consistente è stato riscontrato soprattutto nel periodo 1955-1977, proprio in concomitanza con la fase più critica del fenomeno della subsidenza. Nell'ultimo periodo, invece, arretramenti e avanzamenti della linea di costa sembrano susseguirsi con più equilibrio.

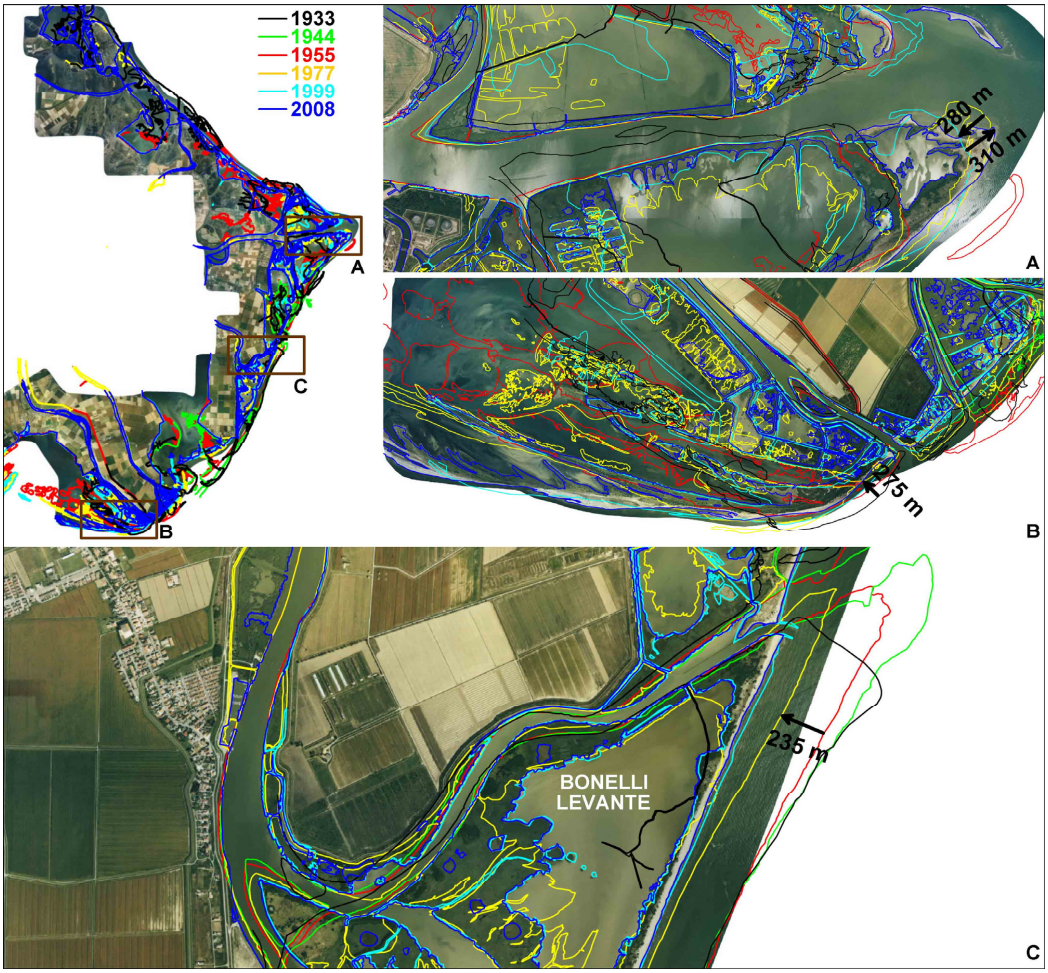


Figura 3. Restituzione al tratto delle linee di costa nei rilievi aero-fotogrammetrici del 1933, 1944, 1955, 1977 e 1999 sovrapposte sull'ortofoto del 2008.

Conclusioni

L'applicazione della fotogrammetria digitale aerea multi-temporale e d'archivio ha permesso di valutare le variazioni planimetriche della fascia costiera del delta del Po nel periodo dal 1943 al 2008.

I risultati ottenuti hanno evidenziato variazioni morfologiche contenute nel periodo 1933-1955 e più evidenti nel periodo 1955-1977, portando alla sommersione di una porzione di territorio pari a circa 30 milioni di m^2. Va sottolineato come gran parte della fascia costiera analizzata fosse zona lagunare e valliva; tuttavia, non mancano situazioni con edifici isolati che hanno visto la sommersione dell'area circostante. Nell'ultimo periodo (1977-2008), infine, le superfici emerse risultano paragonabili a quelle sommerse.

Tra le cause, devono essere considerate non solo le dinamiche tipiche degli ecosistemi fluviali, ma anche gli interventi antropici: l'effetto della subsidenza, provocato anche dalle estrazioni di gas che hanno avuto luogo dagli anni '40 al 1961, deve necessariamente correlarsi con le variazioni planimetriche della linea di costa e quindi con le porzioni sommerse che, maggiormente, si sono verificate dagli anni '50 agli anni '70.

Ringraziamenti
Il lavoro è stato svolto nell'ambito del Progetto di Ricerca RAMWASS (Risk Assessment Model of the WAter-Sediment-Soil (http://web.cimne.com/ramwass/) e del Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale - PRIN 2008 "WEBGIS e tecniche innovative di telerilevamento per la salvaguardia da rischi territoriali e ambientali", Coordinatore Nazionale Prof. R. Santamaria, presso l'Unità di Ricerca dell'Università di Padova.

Bibliografia
Baldi P, Fabris M, Marsella A, Monticelli R. (2005), "Monitoring the morphological evolution of the Sciara del Fuoco during the 2002-2003 Stromboli eruption using multi-temporal photogrammetry", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59 (4): 199-211
Baldi P, Coltelli M, Fabris M, Marsella M, Tommasi P. (2008a), "High precision photogrammetry for monitoring the evolution of Sciara del Fuoco after the 2002-2003 Stromboli eruption", *Bulletin of Volcanology*, 70: 703-715. DOI 10.1007/s00445-007-0162-1
Baldi P, Cenni N, Fabris M, Zanutta A. (2008b), "Kinematics of a landslide derived from archival photogrammetry and GPS data", *Geomorphology*, 102: 435-444. DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.04.027
Baldi P, Casula G, Cenni N, Loddo F, Pesci A. (2009), "GPS-based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy)", *Earth and Planetary Science Letters*, 288: 204-212. DOI:10.1016/j.epsl.2009.09.023
Bitelli G, Dubbini M, Zanutta A. (2004), "Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry techniques to monitor landslide bodies", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Organising Committee of the XXth International Congress for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, XXXV, B: 246-251
Chandler JH, Cooper M. (1988a), "Monitoring the development of landslides using archival photography and analytical photogrammetry", *Land Miner Surveying Royal Institution of Chartered Surveyors*, 6: 576-584
Chandler JH, Cooper M. (1988b), "The extraction of positional data from historical photographs and their application in geomorphology", *Photogrammetric Record*, 13 (73): 69-78
Chandler JH, Brunsden D. (1995), "Steady state behaviour of the Black Ven mudslide: the application of archival analytical photogrammetry to study of landform change", *Earth Surface Processes Landforms*, 20: 255-275
Chandler JH, Lane S, Walstra J. (2007), *Quantifying Landform Change*, in: Fryer J., Mitchell H., Chandler J.H. (eds.), Applications of 3D Measurement from Images, Whittles Publishing, Dunbeath, UK: 139-170
Colombo P, Tosini L. (2009), *Sessant'anni di bonifica nel delta del Po*, Edizione Papergraf S.p.a. ISBN: 978-88-87264-70-8
Fabris M, Achilli V, Bragagnolo D, De Gennaro M, Mavaracchio C, Menin A, Ricceri G, Zampieri A. (2008), "Fotogrammetria d'archivio e metodologie geodetiche per la definizione delle variazioni morfologiche del delta del Po", *Atti del Convegno Nazionale SIFET "La Topografia per le Opere di Ingegneria: Metodi, Strumenti ed Applicazioni"*, Giugno 18-20, 2008, Sorrento, Italia: 80-85. ISBN: 88-901939-8-0
Fabris M, Menin A, Achilli V. (2011), "Landslide displacement estimation by archival digital photogrammetry", *Italian Journal of Remote Sensing*, 43 (2): 23-30. DOI: 10.5721/ItJRS20114322
Fabris M, Achilli V, Bragagnolo D, Menin A, Targa G. (2012), "Fotogrammetria digitale multi-temporale d'archivio: applicazione alla fascia costiera del delta del Po", *Atti di un incontro informale per i 70 anni del Prof. Carlo Monti*, Maggio 3, 2012, Milano, Italia, su CD-Rom. ISBN: 978-88-905917-6-1
Kääb A, Haeberli W, Gudmundsson GH. (1997), "Analysing the creep of mountain permafrost using high precision aerial photogrammetry: 25 years of monitoring Gruben Rock glacier, Swiss Alps", *Permafrost and Periglacial Process*, 8: 409-426

Kääb A. (2000), "Photogrammetry for early recognition of high mountain hazards: new techniques and applications", *Physics and Chemistry of the Earth*, 25 (9): 765-770

Macini P, Mesini E, Salomoni VA, Schrefler BA. (2006), "Casing influence whilemeasuring in situ reservoir compaction", *J. Petrol. Sci. Eng.*, 50 (1, 16): 40-54

Marsella M, Baldi P, Coltelli M, Fabris M. (2012), "The morphological evolution of the Sciara del Fuoco since 1868: reconstructing the effusive activity at Stromboli volcano", *Bulletin of Volcanology*, 74: 231-248. DOI 10.1007/s00445-011-0516-6

Menin A, Salomoni VA, Santagiuliana R, Simoni L, Gens A, Schrefler B. (2008), "A mechanism contributing to subsidence above gas reservoirs and its application to a case study" *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, 9: 270-287. DOI: 10.1080/15502280802225234.

Schrefler BA, Ricceri G, Achilli V, Fabris M, Laloui L. (2009a), "Actual problems in the study of soil dynamics of the Upper Adriatic sea", *Rendiconti online della Società Geologica Italiana*, 9: 63-66. ISSN: 2035-8008

Schrefler BA, Ricceri G, Achilli V, Menin A, Salomoni VA. (2009b), "Ground displacement data around the city of Ravenna do not support uplifting Venice by water injection", *Terra Nova*, 21 (2): 144-150. DOI: 10.1111/j.1365-3121.2009.00867.x

Walstra J, Chandler JH, Dixon N, Dijkstra TA. (2004), *Extracting Landslide Movements from Historical Aerial Photographs*, in: Lacerda, W., Erlich, M., Fontoura, S.A.B., Sayao, A.S.F. (eds.), Landslides: Evaluation and Stabilization. Taylor & Francis, London: 843-850

Tecniche ottiche e laser per l'acquisizione di fratture ossee in ambito bioarcheologico

Emanuela Faresin (*), Matteo Turchetto (**), Giuseppe Salemi (*),
Gianmaria Concheri (**), Roberto Meneghello (**), Gianpaolo Savio (**),
Alessandro Canci (*), Luciano Salzani (***), Michele Cupitò (*)

(*) Università degli Studi di Padova, Dipartimento dei Beni Culturali (dBC), Palazzo Liviano, Piazza Capitaniato 7, 35139 Padova, Italy, Tel. 0498274592, e-mail: giuseppe.salemi@unipd.it
(**) Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale, Università degli Studi di Padova, Via Venezia 1, 35131 Padova, Italy
(***) Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto (SBAV), Italy

Riassunto
I vantaggi dei metodi di acquisizione non a contatto nel campo dei Beni Culturali sono numerosi: dalla generazione di un modello virtuale fotorealistico alla misurazione di particolari ad alta risoluzione in modo non invasivo.
In questo lavoro si documenta l'acquisizione ottica e *3D laser scanning* di una frattura perimortale su un cranio appartenente alla necropoli di Olmo di Nogara, datata tra la media e la recente età del Bronzo. Lo studio della frattura permette, in ambito bioarcheologico, di ricostruire lo stato di salute, le condizioni di vita e le cause della morte. Lo strumento utilizzato è l'OGP SmartScope Flash CNC 300, un sistema multisensore dotato di un tastatore a contatto, un sistema ottico con zoom elevato (30X – 600X) ed un singolo raggio laser coassiale che può acquisire in scansione continua lungo la superficie con una risoluzione di 0,5 µm. La frattura è stata rilevata sia con il laser coassiale che con il sensore ottico ed alcuni dettagli del tessuto osseo sono stati acquisiti ad elevato ingrandimento (33.4X e 88.3X). Le linee di acquisizione hanno reciprocamente una distanza di 0,05 mm ed ogni punto lungo la linea è stato acquisito ogni 0,05 mm. Le nuvole di punti generate sono state processate nell'ambiente di *Reverse Engineering* Geomagic Studio 12. È stato così possibile verificare la bontà di questo approccio basato sull'acquisizione multisensore; la *standard deviation 3D* è risultata essere di 0,029 mm.

Abstract
The advantages of no-contact methods of acquisition in the field of Cultural Heritage are numerous: from the generation of a photorealistic virtual model to the measurements of details.
In this paper the optical acquisition and the 3D laser scanning of a perimortal fracture of a skull, dated between the media and recent Bronze Age, are presented. This study allows, in the bioarchaeological context, to reconstruct the state of health, the living conditions and the causes of death.
The instrument used is the OGP SmartScope Flash CNC 300, a multisensor system equipped with a touch probe, a high zoom (30X-600X) optical system and a single coaxial laser beam able to acquire with a resolution of 0.5 µm. The fracture was analized with both laser and optical sensor; some details of bone tissue were aquired with high magnification (33.4X and 88.3X). The Reverse Engineering software Geomagic Studio 12 was used for the processing of the points clouds and the evaluation of quantitative parameters.

Introduzione

Gli studi in ambito bioarcheologico sulle fratture ossee mirano a contribuire alla ricostruzione dei contesti comportamentali ed ambientali delle civiltà del passato.
Queste analisi si sono concentrate sullo sviluppo di metodi per identificare l'agente responsabile della lesione proponendo diversi criteri per la distinzione (Bello, Soligno, 2008), (Dominguez-Rodrigo et al., 2009), (Lewis, 2008), (Smith et al., 2007).
Lo studio morfologico inizialmente si avvaleva della microscopia ottica, ma recentemente ha beneficiato dello sviluppo della microscopia ottica a scansione (SEM) (Greenfield, 2006) e della fotografia digitale (Gilbert, Richards, 2000).
In questo lavoro si presenta un metodo per l'analisi delle fratture ossee con l'utilizzo della ricostruzione tridimensionale della loro morfologia utilizzando differenti metodologie di acquisizione e verificando la bontà di un approccio multi sensore.

Inquadramento storico

Il cranio oggetto di studio proviene dalla necropoli di Olmo di Nogara, sito archeologico datato tra la media e recente età del Bronzo che si trova poche centinaia di metri ad ovest del centro abitato di Nogara a sud di Verona. La necropoli si trova presso la sponda destra del paleoalveo del Tartaro, su un lungo dosso sabbioso che ha direzione NW-SE. La posizione leggermente sopraelevata, con suoli asciutti e sciolti, è una delle motivazioni principali per cui la zona è stata scelta e frequentata in epoche diverse. Le notizie sui primi rinvenimenti sono poche e vaghe. Scrive Zorzi "Nel sepolcro di Nogara, in contrada Olmo, si rinvennero scheletri distesi in nuda terra, accompagnati da grandi e pesanti spilloni di bronzo a testa tronco-conica, incisi, e da qualche ago crinale più sottile e leggero, dello stesso metallo, a tre occhielli abbastanza comune nelle palafitte gardensi" (Cupitò, Leonardi, 2005). Il complesso archeologico è stato oggetto di indagini sistematiche a partire dal 1987 attraverso una campagna di scavi effettuati dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto.
Il complesso di Olmo di Nogara risulta particolarmente interessante poiché il campione antropologico restituito dal sepolcreto è uno dei più ampi e completi di tutta l'età del Bronzo italiana ed il materiale scheletrico è per la gran parte completo anatomicamente e in condizioni di conservazione eccellenti.
Il cranio proviene dalla tomba numero 38 (Figura 1): appartiene ad un giovane tra i 25 e i 35 anni; la lesione cranica si estende, attraversando obliquamente la sutura coronale, sull'osso frontale.
Date le sue caratteristiche morfologiche, si tratta dell'esito di un fendente inferto probabilmente dall'alto verso il basso e da destra verso sinistra. Si può ipotizzare che il colpo sia stato condotto da un soggetto destrimano posto in posizione elevata rispetto alla vittima.



Figura 1. Cranio numero 38; la frattura perimortale è marcata in rosso.

Strumentazione

Per l'acquisizione della frattura è stata utilizzata la macchina di misura a coordinate OGP SmartScope Flash CNC 300 (Figura 2).

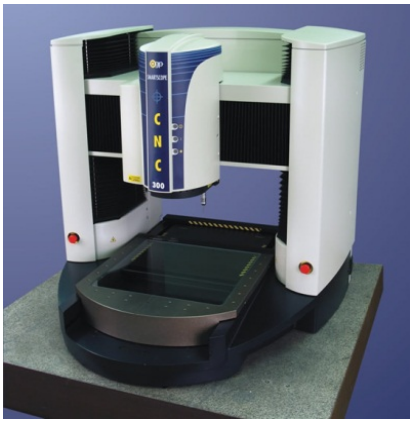


Figura 2. OGP SmartScope Flash CNC 300.

È un sistema multisensor che può essere configurato, a seconda delle esigenze dell'utente, equipaggiandolo con differenti tipologie di sistemi di acquisizione: ad immagine, TTL laser a triangolazione, a contatto. La struttura è di tipo a portale e tavola mobile con un volume di lavoro pari a 300 x 300 x 250 mm ed una gestione di oggetti fino a 30 kg di peso.

La precisione dichiarata è:

- nello spazio XYZ: E3 = (2,8 + 5L/1000) µm;
- nel piano XY: E2 = (1,8 + 5L/1000) µm;
- lungo l'asse Z: E1 = (2,5 + 5L/1000) µm.

La parte ottica che costituisce il sistema ha un *range* di ingrandimento da un minimo di 33.4X ad un massimo di 294X, valore che può essere ulteriormente aumentato mediante l'impiego di lenti ed obiettivi aggiuntivi. L'elemento sensibile è una telecamera CCD a risoluzione 768 x 494 pixel.

L'illuminazione è assicurata da tre sistemi che, grazie alle loro differenti caratteristiche, permettono di mettere in evidenza zone differenziate dell'oggetto in esame:

- *back lig*ht generata con un lampada a led verdi posizionata al di sotto del piano d'appoggio;
- luce a led bianca coassiale alla telecamera;
- sistema *smart ring* che emette una luce programmabile sia nella direzione che nell'angolo di incidenza (da 45° a 75° rispetto al piano) composto da sei anelli di led concentrici.

Il sistema laser si basa sulla tecnologia TTL (*Through The Lens*) ed è un sistema a triangolazione ottica con un *range* di messa a fuoco pari a 0,7 mm lungo l'asse Z che sfrutta la medesima lente del sistema ad immagine. Grazie ad un meccanismo di autofocus dinamico è possibile eseguire delle scansioni in modalità continua ottenendo una *range map* molto densa. In funzione della lente installata è possibile variare la distanza operativa lente – oggetto fino ad un massimo di 200 mm.

L'acquisizione a contatto avviene tramite la sonda prodotta dalla Renishaw, modello SP25M e può effettuare acquisizioni sia a punto singolo che in scansione continua; ciò è permesso dal trasduttore ottico presente all'interno del corpo della sonda che è costituito essenzialmente da due emettitori di infrarossi, due specchi e due sensori che rilevano il segnale emesso.

Tutto il sistema è gestito dal software proprietario MeasureMind 3D multisensor ed i dati ottenuti sono stati elaborati con l'ambiente di *Reverse Engineering* Geomagic Studio 12 / Qualify.

Acquisizione laser

Ai fini dell'acquisizione, l'asse X del sistema di riferimento della macchina è stato allineato lungo la dimensione principale della frattura e l'origine vicino all'inizio della stessa.
La frattura è stata acquisita eseguendo scansioni lineari lungo l'asse X del sistema di riferimento e le nuvole di punti sono state processate in Geomagic Studio 12 (Figura 3).
Il *pre processing* consiste nella riduzione del rumore; quindi la nuvola di punti viene triangolata generando una *mesh* poligonale (*Points – Wrap*).
Il primo step nel trattamento della *mesh* consiste nell'eliminazione delle facce anormali (*Polygons – Mesh Doctor*) e, successivamente, nel riempimento delle eventuali lacune introdotte durante l'acquisizione (*Polygons – Fill Holes*).

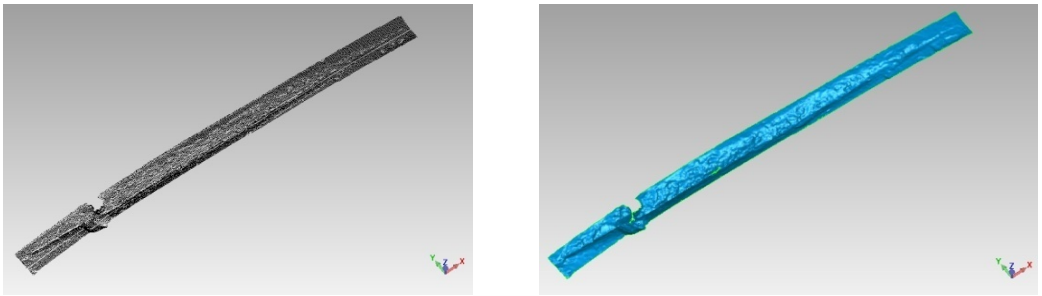


Figura 3. Nuvola di punti (a sinistra) e mesh (a destra) acquisita con il laser.

Acquisizione ad immagine

Per l'acquisizione ad immagine è stato utilizzato il comando *Softsectioner*: questa opzione di MeasureMind permette di valutare la coordinata Z di ciascun pixel del campo di vista della CCD.
Il sistema esegue un autofocus scansionando in un intervallo specifico e rilevando tutti i punti correttamente focalizzati; la densità dei punti acquisiti è definita in modo semiautomatico.
Anche in questo caso la nuvola di punti è stata esportata ed elaborata in Geomagic Studio 12 (Figura 4).

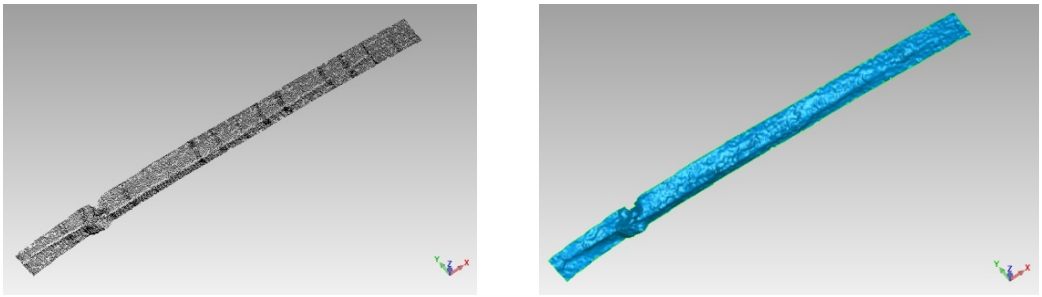


Figura 4. Nuvola di punti (a sinistra) e mesh (a destra) acquisita in modalità Softsectioner.

Elaborazione delle nuvola di punti.

La procedura dell'elaborazione delle nuvoli di punti prevede le seguenti fasi:

- filtraggio;
- *meshing*;
- correzione.

In via teorica, un dato tridimensionale, non dovrebbe mai essere filtrato in quanto si modificano le informazioni relative all'oggetto. Essendo però affette da errore dovuto alle proprietà ottiche degli strumenti di acquisizione (rumore), è necessario eliminarlo in modo tale da ottenere un modello coerente con il modello fisico reale.

È possibile filtrare in modo semi automatico questo errore andando ad eseguire un'analisi della superficie stessa ed individuando i punti che maggiormente si scostano da una superficie coerentemente costruita per *fitting*.

Il passaggio dalla nuvola grezza di punti 3D prodotta dallo strumento ad un reticolo di poligoni connessi tra di loro in cui vertici coincidono con i punti misurati (*mesh*) indicato con il termine *meshing*. In questa procedura automatica possono crearsi sporadiche connessioni anomale tra i poligoni. Per questo motivo è necessario eseguire un controllo con relativa correzione degli errori sulla *mesh* (Salemi et al., 2011).

I principali errori della *mesh* nella triangolazione sono:

- triangoli non *manifoald* (Figura 5 a): un triangolo condivide un lato più di una volta; le facce (V1 V2 V4), (V2 V4 V3) e (V2 V4 V5) condividono il lato (V2 V4).
- triangoli ridondanti (Figura 5 b): un vertice è condiviso da triangoli non connessi correttamente (V1 V2 V3).
- triangoli intersecati (Figura 5 c): un triangolo corretto interseca i triangoli limitrofi; il lato (V2 V3) della faccia (V1 V2 V3) è intersecato con il lato (V1 V4).
- facce instabili (Figura 5 d): i triangoli connessi presentano distorsioni della tipologia. Si possono avere triangoli con le normali invertite o triangoli con le facce invertite.

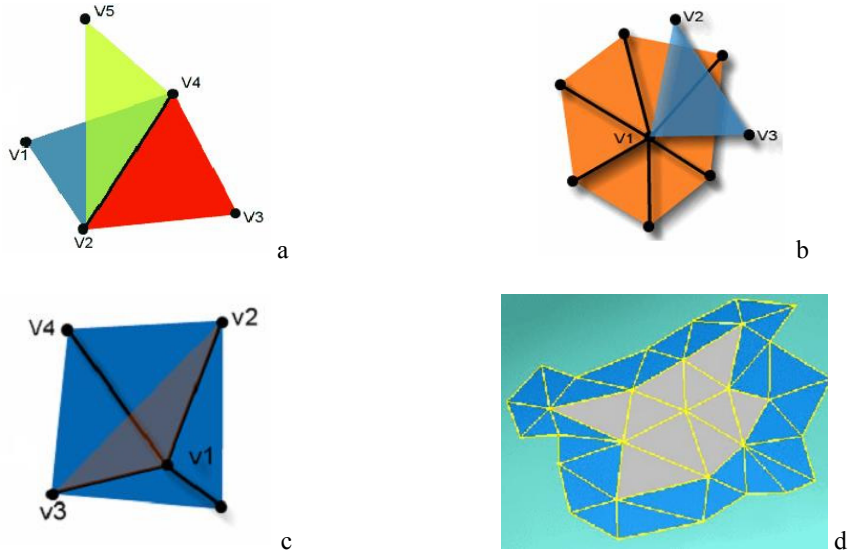


Figura 5. Principali errori della mesh. Triangoli non manifoald (a), triangoli ridondanti (b), triangoli intersecati (c), triangoli instabili (d), (AA. VV, 2006).

Deviation analysis

Le *mesh* acquisite con il sensore laser ed il sensore ottico sono state allineate (*Alignment – Global registration*) e confrontate (*Analysis – 3D Deviation*) al fine di determinare la differenza tra i due metodi di acquisizione (Figura 6).

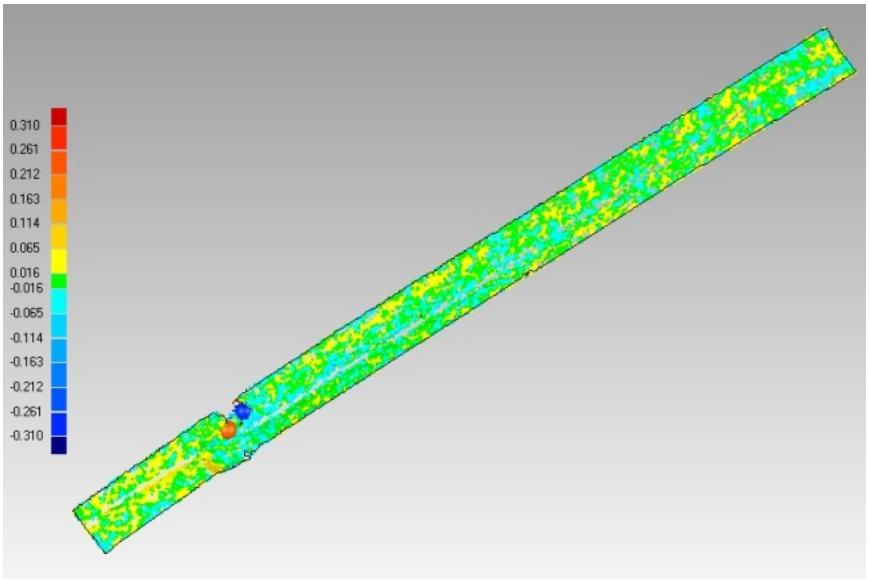


Figura 6. Deviation analysis.

La valutazione della distanza tra le *mesh* è rappresentata in un diagramma a colori dove si visualizzano le distanze calcolate in ciascun punto del modello in termini di differenza tra le coordinate dei punti corrispondenti. Ad ogni punto indagato è associato un colore che rappresenta il segno della distanza: positivo (tonalità del rosso) quando la prima superficie è esterna rispetto alla seconda, negativo (tonalità del blu) quando è interna. Dall'analisi eseguita, inoltre, è possibile ottenere i valori numerici della deviazione (Figura 7).

3D deviation		
Max (mm)	+ 0.240	- 0.310
Average (mm)	+ 0.022	- 0.022
Standard	0.029	
Max positive deviation		
X deviation (in mm)	0.027	
Y deviation (in mm)	0.238	
Z deviation (in mm)	- 0.017	
Max negative deviation		
X deviation (in mm)	-0.142	
Y deviation (in mm)	0.273	
Z deviation (in mm)	-0.036	

Figura 7. 3D deviation.

La *max positive* e la *max negative deviation*, sono localizzate nelle zone più deformate della frattura nelle quali sono presenti molti sottosquadri non acquisibili con il laser (Figura 8).

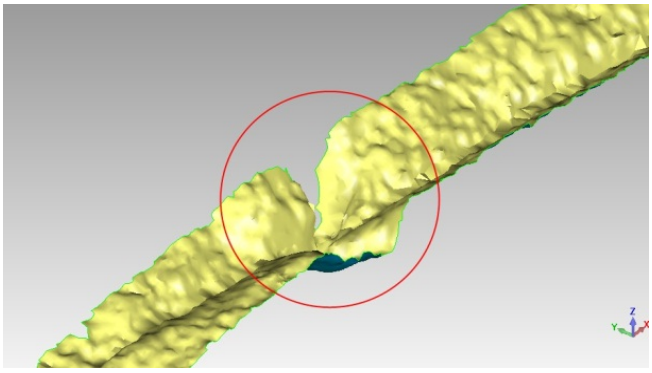


Figura 8. Regione deformata della frattura.

Acquisizione al microscopio

Per completare l'analisi della frattura, sono state acquisite otto immagini ad un ingrandimento di 33.4X utilizzate per creare una foto panoramica ad alta risoluzione nell'ambiente software di *image stiching* Autostich (Figura 9).

L'elevato ingrandimento del sistema ottico permette di osservare i microscopici dettagli del tessuto osseo: la porosità, non acquisibile con il sensore laser, è stata rilevata con ingrandimenti di 33.4X e 88.3X (Figura 10).

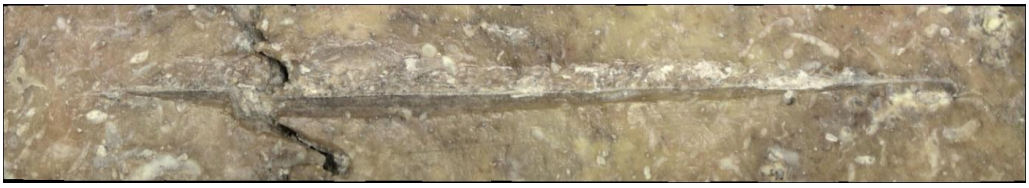


Figura 9. Foto panoramica ad alta risoluzione della frattura cranica.

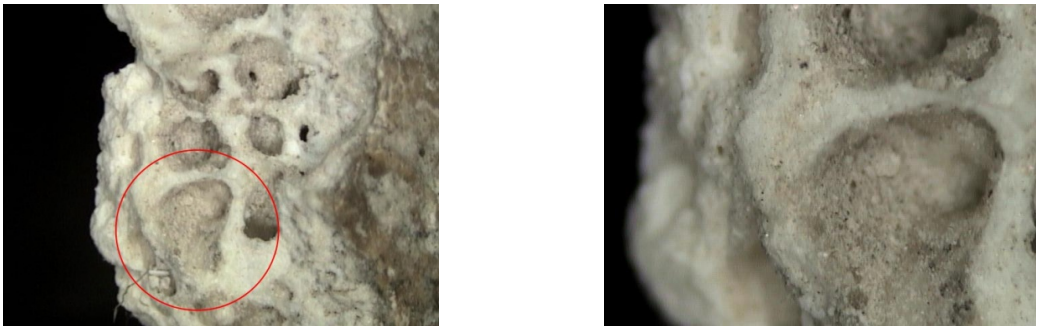


Figura 10. Porosità ossea con ingrandimento 33.4X (a sinistra) e 88.3X (a destra).

Conclusioni

Negli ultimi anni si sta assistendo ad un crescente interesse nell'ambito del trasferimento tecnologico dal campo industriale a quello del patrimonio culturale. In particolare, le tecnologie per il *Reverse Engineering* trovano sempre più applicazioni anche nell'ambito bioarcheologico.

Uno dei principali vantaggi legati all'applicazione di tali tecnologie in questo campo è la non invasività dei processi di rilievo che permettono di ottenere riproduzioni digitali ad altissima risoluzione preservandone l'integrità.

Nel caso di studio qui presentato, la superficie della frattura cranica è stata acquisita con differenti metodologie: laser, ad immagine ed al microscopio dimostrando che, l'impiego integrato di diverse tecnologie porta notevoli vantaggi nello studio morfologico, geometrico e metrico di fratture ossee.

Bibliografia

AA. VV. (2006), Rapidform ™ 2006 User Guide & Tutorial, 7-1, 7-2

Bello S. M., Soligno C. (2008), "A new method for the quantitative analysis of cutmark micromorphology", *Journal of Archaeological Science*, 35: 1542-1552

Cupitò M., Leonardi G. (2005), "*La necropoli dell'età del Bronzo all'Olmo di Nogara*", Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 488-491

Dominguez- Rodrigo M., De Juana S., Galan A. B., Rodriguez M. (2009), " A new protocol to differenziate trampling marks from butchery cut marks" *Journal of Archaeological Science*, 36: 2643-2654

Gilbert W. H., Richards G. D. (2000), "Digital Imaging of bone and tooth modification", *The Anatomical Record*, 261: 237-246

Greenfield H. J. (2006), "Slicing cut marks on animal bones: diagnostic for identifying stone tool type and raw material", *Journal of Field Archaeology*, 31: 147-163

Lewis J. E. (2008), "Identifying sword marks on bone: criteria for distinguishing between cut marks made by different classes of bladed weapons", *Journal of Archaeological Science*, 35: 2001-2008

Salemi G., Canci A., Salzani L., Cupitò M., Concheri G., Meneghello R., Savio G., Faresin E. (2011), "3D high resolution photo realistic models from a protohistoric burial sites (Olmo di Nogara, Italy), XXIII International CIPA Symposium

Smith M. J., Brickley M. B., Leach S. L. (2007), "Experimental evidence for lithic projectile injuries: improving identification of an under-recognised phenomenon", *Journal of Archaeological Science*, 34: 540-553

Semplificazione e ottimizzazione degli strumenti GIS per il governo del territorio

Michele Fioretto (*), Michele Allegrini (*), Federico Carollo (*)
Valter Strapazzon (**), Alberto Carretta (***),

(*) Epc srl (www.epcsrl.eu), Via prati 11, 36031 Dueville (VI), Tel. +390444169000, Fax 0444169099, e-mail info@epcsrl.eu; fioretto.michele@gmail.com
(**) Comune di Molvena, Via Roma 86, 36060 Molvena (VI), Tel. +390424410911, Fax 0424410920, e-mail utc@comune.molvena.vi.it
(***) Comune di Grisignano di Zocco, Via Celotto 1, 36040 Grisignano di Zocco (VI), Tel. +390444414001, Fax 0444414355, e-mail urbanistica@comune.grisignano.vi.it

Riassunto
CWG (**C**omuni **W**eb **G**is) rappresenta uno strumento webgis innovativo per la gestione delle banche dati territoriali Comunali. Il lavoro svolto si configura nell'ambito della divulgazione e pubblicazione di dati territoriali di elevata valenza urbanistica ed ambientale. Lo scopo del progetto ha riguardato la creazione e lo sviluppo di una applicazione web gis, dedicata al settore pubblico, utilizzando in particolare librerie open source in ottica di riduzione dei costi di impianto e di gestione del sistema informativo.
C.W.G. è un Sistema Informativo Territoriale di supporto alle decisioni per la pianificazione territoriale. L'applicazione consente la consultazione sia della cartografia catastale sia delle principali banche dati alfanumeriche comunali. C.W.G. integra le api di bing maps, google maps ed open street map. L'intento è stato quello di creare un sistema innovativo, semplice ed intuitivo, attraverso una grafica moderna, agile e di semplice utilizzo con funzioni di bidirezionalità (webgis ←→ gestionale alfanumerico) integrate in un'unica interfaccia utente.
Il lavoro ha visto l'acquisizione e standardizzazione della banche dati gis a seguito di rilievi in campo con l'ausilio di gps palmari. Il sistema è costituito da una architettura a moduli fruibili anche contemporaneamente senza conflitto fra le sessioni. Il lavoro ha visto l'implementazione dei seguenti moduli dedicati: Cartografia Comunale, Catasto, Civici, Generazione CDU, Verde Urbano, Illuminazione Pubblica, Rete Fognaria, Immobili, Segnaletica. Le tecnologie utilizzate per il lavoro sono state: asp.net, api openlayers modificate ed adattate, mapserver per la generazione delle mappe territoriali. I livelli informativi cartografici sono veicolati attraverso un sistema di cache innovativo che rende l'applicazione molto veloce e fluida. I livelli informativi dinamici sono gestiti con rdbms (PostgreSQL o Sql Server Express).

Abstract
CWG (**C**[Municipalities] **W**eb **G**IS) is a webgis innovative tool for Municipal landscape and environmental databases. The work carried out by our team is related to the disclosure and publication of relevant spatial data linked to urban and environmental management. The project's main focus has been the creation and development of a web gis application tailored for the public sector, in particular by using open source libraries in order to reduce the design and implementation processes' costs.
C.W.G. is a decision support system for the territorial planning. The application allows the consultation of both cadastral maps and the main municipal alphanumeric databases. C.W.G. integrates the bing maps, google maps and open street map api javascript. The main idea has been to create an innovative, simple and intuitive system provided with a modern, agile and easy to use

layout. It implements bi-directional features (webgis ←→ alphanumeric data) integrated into a single user interface.
The conducted work has included the acquisition and standardization of GIS databases as a result of field surveys with the help of GPS handhelds. The system consists of a modules-based architecture, usable even simultaneously without any conflict between sessions. The following tailored modules have been implemented during the work: Municipal Cartography, Cadastre, Civic address management, Generation CDU (Urban certificates), Green Urban management, public lighting management, sewers management, Buildings management, Road signs management. The applied technologies have been: asp.net, OpenLayers api modified, mapserver for territorial maps' generation. The cartographic information layers are conveyed through an innovative cache system that makes the application very fast and smooth. The dynamic layers are managed within a RDBMS (*PostgreSQL* o *SQL Server Express*).

Introduzione
I sistemi informativi territoriali sono una realtà diffusa e radicata nel territorio italiano sia in ambito pubblico che privato. Rappresentano, a nostro avviso, l'evoluzione digitale di una lunga tradizione di produzione di mappe cartacee.
I SIT hanno trovato una larga diffusione in varie discipline a partire dagli anni 60. Ricordiamo lo sviluppo dei file GBF-DIME da parte dell'ente americano *"US Census Bureau"* nel 1960 che ha segnato l'adozione su larga scala della cartografia digitale da parte del governo Americano. Questo sistema ha portato alla produzione dei file di censimento denominati TIGER che rappresentano uno dei più importanti dati socioeconomici territoriali attualmente in uso. Importante è stato il lavoro svolto nelle università americane nel corso degli anni 50-60 che ha portato alla nascita di uno fra i primi sistemi di mapping basato a griglie denominato SYMAP. Questo sistema è stato sviluppato presso il Laboratorio di Computer Grafica e di analisi spaziale presso la *Harvard Graduate School of Design* nel 1966, ed è stato ampiamente utilizzato come modello per i successivi sistemi informativi geografici commerciali come *M&S Computing* (oggi *Intergraph*) and *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*.
Oggi il termine SIT ha assunto le seguenti definizioni:

- "Il complesso di uomini, strumenti e procedure (spesso informali) che permettono l'acquisizione e la distribuzione dei dati nell'ambito dell'organizzazione e che li rendono disponibili, validandoli, nel momento in cui sono richiesti a chi ne ha la necessità per svolgere una qualsivoglia attività" Mogorovich (1988).
- "è un sistema composto da banche dati, hardware, software ed organizzazione che gestisce, elabora ed integra informazioni su una base spaziale o geografica", Barrett-Rumor 1993.

Entrambe le definizioni di cui sopra sono svincolate dal tipo di software utilizzato, ed ammettono la coesistenza di più tecnologie. Evidenziano in particolare il contesto organizzativo all'interno del quale si rende utilizzabile il sistema informativo stesso.
I webgis rappresentano invece una recente evoluzione dei sistemi geografici informativi, sono nati a partire dal 2000 e si distinguono dai SIT per le specifiche finalità di comunicazione e di condivisione delle informazioni veicolate agli utenti. Fino a poco tempo fa, i webgis rappresentavano un subset di informazioni gestite più compiutamente da un SIT tradizionale ed utilizzato da utenze stand-alone o in ambienti LAN. Ancor oggi, i sistemi webgis implementati presso gli enti pubblici, rimangono il più delle volte sistemi chiusi ed isolati, rappresentativi della sola realtà geografica per cui sono nati. Spesso risultano lacunosi per quanto riguarda le informazioni veicolate. Con CWG si è provato a realizzare un SIT completo via web (webgis) senza ricorrere all'utilizzo di plugin di terze parti, impiegando unicamente javascript (open source) ed html per la parte client rendendo il sistema aperto per la ricezione di altre sorgenti dati (mashup ed open data) ed in continuo spaziale con il territorio circostante (utilizzo delle api di open street map).

Il SIT è stato oggetto di un importante finanziamento da parte della Regione Veneto, Direzione Enti Locali attraverso i contributi messi a disposizione per i servizi associati tra comuni (L.R. n° 2 03/02/2006 art. 6 comma 1).

C.W.G. (Comuni Web Gis)

Visualizzazione, interrogazione e gestione delle banche dati cartografiche ed alfanumeriche sono le funzioni principali dell'applicazione CWG.

Il sistema è stato implementato secondo una logica a moduli tematici, di seguito sono elencati i principali:

- Catasto (gestione dei dati catastali sia del catasto geometrico sia del catasto alfanumerico)
- Civici (rilievo e gestione dei civici comunali e posizionamento corretto in cartografia)
- Generazione CDU (generazione del certificato di destinazione urbanistica con incrocio fra catasto geometrico e Piano Regolatore Generale)
- Illuminazione pubblica (rilievo e gestione della illuminazione pubblica – contatori e pali)
- Verde Urbano (rilievo e gestione del verde urbano gestito dal comune)
- Immobili (gestione dell'anagrafe immobiliare)
- Segnaletica stradale (rilievo e gestione della segnale stradale sia orizzontale sia verticale)

L'impostazione del webgis secondo una logica a moduli, deriva da uno studio effettuato per identificare la migliore organizzazione dei livelli tematici e delle funzionalità applicative al fine di ottenere una comprensione chiara ed immediata in favore di una buona usabilità del prodotto da parte dell'utente.

Secondo gli studi condotti da Denis Wood (1968), il numero di livelli informativi rappresentabili nelle mappe cartografiche, percepibili e comprensibili in modo ottimale dal cervello umano, sono circa 4. In base a quanto emerso da questi studi, sono stati riorganizzati e razionalizzati i layers gis rappresentabili nei moduli a disposizione, veicolando quindi una informazione puntuale, sintetica ed immediata.

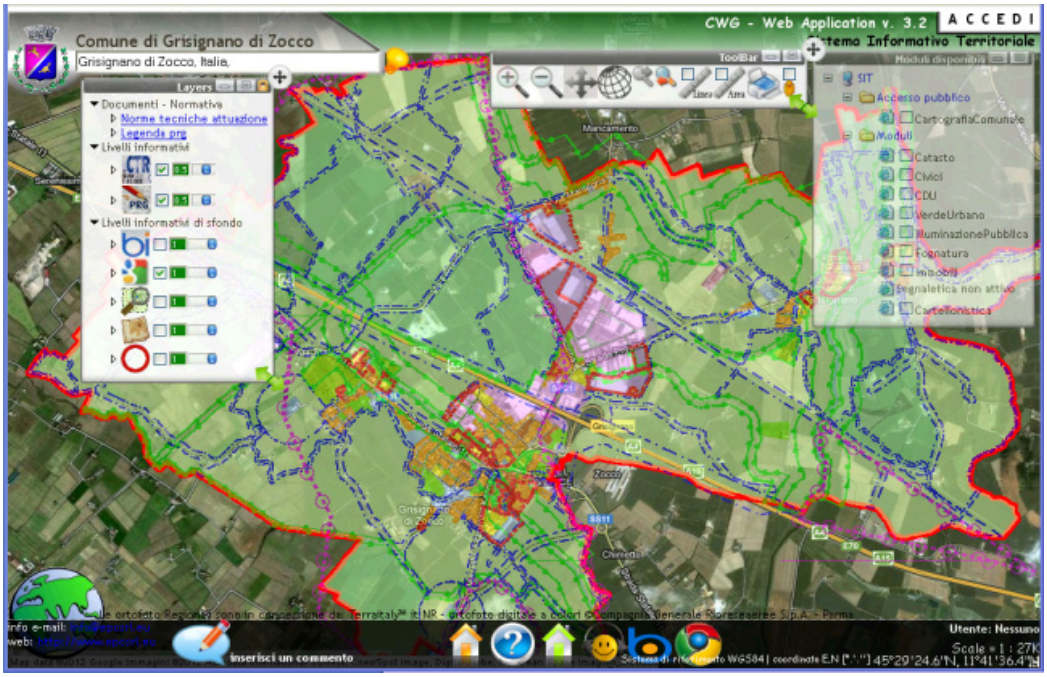


Figura 1. Interfaccia utente webgis C.W.G. (Comuni Web Gis).

Nella figura sottostante sono raffigurati i pannelli dei layers e dei moduli. I layers sono popolati dinamicamente in funzione del modulo selezionato. In questo modo, come detto precedentemente, l'utente è concentrato e focalizzato sull'informazione strettamente necessaria.



Figura 2. Pannello Layers e pannello Moduli. C.W.G. (Comuni Web Gis).

Di seguito sono descritti i moduli principali implementati nel sistema C.W.G.

Modulo Catasto:

Il modulo consente di consultare l'informazione del catasto geometrico e del catasto alfanumerico (visualizzazione dei titolari, particelle catasto urbano e catasto terreni, visure storiche, etc…). Il modulo implementa un pannello mobile a scomparsa e ridimensionabile permettendo la visione continua della cartografia come sfondo. Nella griglia al centro del pannello sono visualizzati i risultati delle ricerche effettuate dall'utente. La selezione dei records delle ricerche, consente di interrogare il dettaglio della posizione catastale, i dati storici, la selezione in mappa e l'esportazione in formato *.csv.

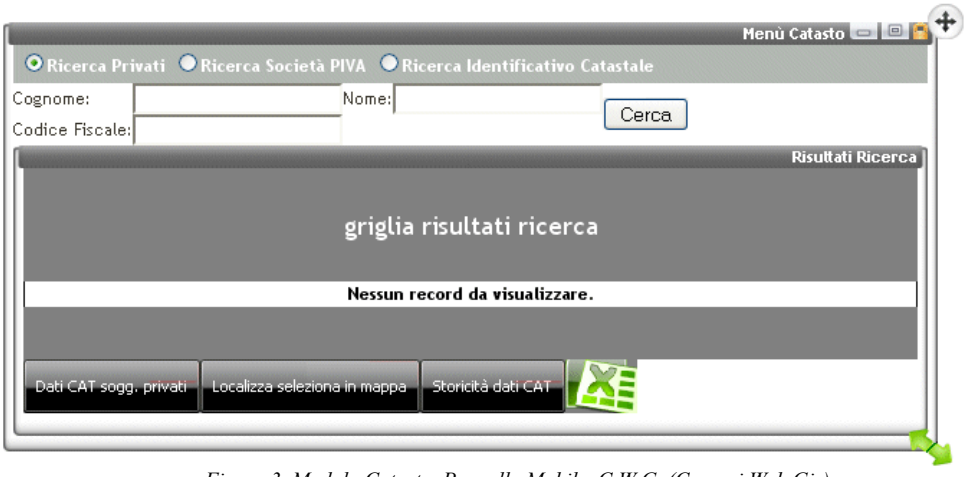


Figura 3. Modulo Catasto. Pannello Mobile. C.W.G. (Comuni Web Gis).

I dati del catasto terreni e dei fabbricati sono aggiornati con una frequenza trimestrale o mensile. In questo modo il dato gis del catasto geometrico è mantenuto allineato con la base dati alfanumerica dei censuari e con i dati delle pratiche edilizie.

Modulo civici:
Il modulo permette la consultazione dei civici che insistono nel territorio comunale. La base dati è stata implementata con rilievi in campo tramite GPS durante i quali sono state scattate le fotografie degli edifici.
I dati GPS sono stati successivamente inseriti nel webgis con il quale è possibile apportare modifiche (nuovi inserimenti, cancellazioni) utilizzando direttamente gli strumenti di editing che C.W.G. mette a disposizione. CWG implementa funzioni avanzate di editing quali: *snap, splitting, hole polygon, autocomplete etc….*

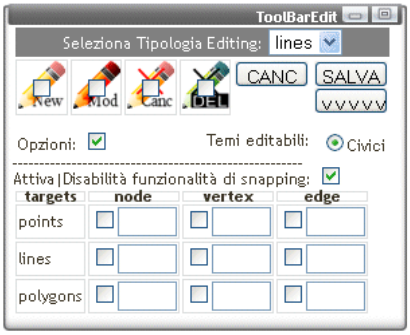


Figura 4. Toolbar editing. C.W.G. (Comuni Web Gis).

Modulo Immobili:
Questo modulo rappresenta il "cuore" del sistema webgis. Tramite selezione su mappa di un edificio è possibile accedere a tutte le informazioni associate quali:

- Dati catastali associati
- Interni
- Residenti
- Posizioni IMU, Tarsu
- Pratiche edilizie associate

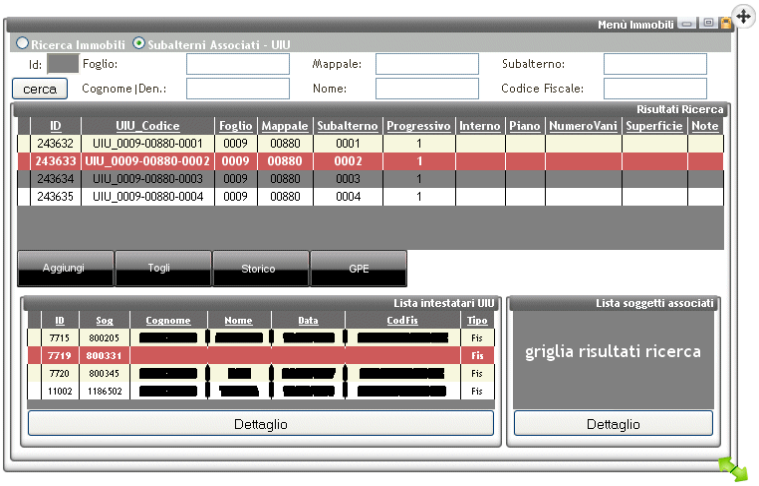


Figura 5. Modulo Immobili. C.W.G. (Comuni Web Gis).

Stampe:
All'interno di C.W.G. è stato implementato un sistema di stampe robusto ed efficiente. Le modalità di stampa sono due:

- stampa rapida con la quale il sistema consente di visualizzare a video solamente la mappa e i livelli gis attivi e quindi di stampare direttamente con la risoluzione video.
- Stampa avanzata (generazione di un *.pdf con template predefinito) nei seguenti formati: A4, A3, A1. E' possibile scegliere la scala (1:1000, 1:2000, etc.) ed è mantenuta la trasparenza dei livelli gis impostata nel webgis durante il processo di stampa. La risoluzione è elevata e varia da 300dpi a 600dpi.

Innovazione

Il sistema C.W.G. è stato progettato avendo come obiettivo principale le prestazioni e l'usabilità del sistema. Per ottenere questi risultati è stato progettato e sviluppato un sistema di caching dei *tiles* innovativo.

Il sistema che produce le mappe consiste in un server centrale che genera la *cache* (*on demand*) e da un processo che sincronizza i *tiles* creati (contenuto della *cache*) copiandoli o modificandoli nei server periferici. In questo modo, l'accesso ai *tiles* (da parte dei client) avviene su più server distribuendo il carico in modo uniforme ed efficiente garantendo tempi di accesso inferiori al secondo. Le immagini (*.png) sono generate utilizzando algoritmi di compressione efficienti utilizzando le *wavelets (https://graphics.stanford.edu/wikis/cs148-11-fall/Wavelet_Compression).* La soluzione risulta quindi scalabile ed adatta a realtà enterprise.

Sviluppi futuri

Sono in corso le seguenti modifiche evolutive:

- Sincronizzazione in tempo reale fra C.W.G e le banche dati in uso presso il comune quali: anagrafe, tributi, etc.. (ad oggi in modalità differita).
- Modifica dell'interfaccia utente per rendere il sistema compatibile con i dispositivi mobile ed in linea con gli standard implementati con l'htlm5 e css3.
- Implementazione di servizi OGC (WMS e WFS) aperti al pubblico e distribuzione dei livelli gis pubblici secondo standard Open Data.

Conclusioni

Il sistema è stato sviluppato con tecnologie innovative ed è in continua evoluzione in linea con la road map prestabilita e con i requisiti utente. Si ritiene che i tecnici comunali ed i cittadini, grazie a questo sistema, siano in grado di reperire le informazioni territoriali del Comune interessato in modo rapido, intuitivo ed efficiente.

Bibliografia

Wood D., John F., John Pickles (2008), "*The nature of maps*", University of Chicago Press, Chicago, 60-70.

Realizzazione di un WebGis a supporto della pianificazione urbana e territoriale per il Comune di Pomezia

Lorenza Fiumi, Stefano Tocci

CNR, Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, c/o Consorzio per l'Università di Pomezia, Via Pontina km. 31.400
00040 Pomezia, Roma, Italia, Tel. +39 06 9123680-9105444, Fax +39 06 91604179
Email: fiumi@iia.cnr.it; stefano.tocci85@gmail.com

Riassunto

Il progetto, frutto di una collaborazione tra l'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR e FBK (Fondazione Bruno Kessler) e finanziato dall'INAIL, ha come obiettivo lo sviluppo di una metodologia applicativa e riproducibile su vasta scala per la pianificazione urbanistica e territoriale in ambiente WebGIS, integrando dati telerilevati MIVIS *(Multispectral Infrared Visible Imaging Spectrometer)* con altri dati (cartografici, statistici, ambientali ecc.).
Il WebGIS denominato "*IST-Mapper*", attualmente in fase di realizzazione, è basato su tecnologie *Open Source* ed è strutturato a più livelli di consultazione, per ogni tipologia di utente, dagli Enti Pubblici preposti alla gestione del territorio fino ai liberi professionisti e cittadini.
Grazie ad una interfaccia *user-firendly*, una serie di funzioni specifiche ed una organizzazione dei dati in grandi tematiche, il progetto inoltre, ha come obiettivo il coinvolgimento del cittadino, il quale potrà partecipare attivamente consultando i dati ed immettendone di nuovi, costruendo modelli ed indicatori personalizzati, inviando foto, documenti e segnalazioni.
Le caratteristiche del sistema sono tali da renderlo un valido supporto alla pianificazione ambientale soprattutto verso alcune tematiche come la presenza di superfici in cemento-amianto o le industrie soggette a "rischio incidente rilevante" (D.Lgs. 334/99, Direttiva Seveso).

Abstract

This work, a collaboration between the Institute for Atmospheric Pollution of CNR and FBK (Bruno Kessler Foundation) and funded by INAIL, aims to develop an application methodology and reproducible on a large scale for the town and country planning in WebGIS environment, integrating remote sensing data MIVIS with other data (maps, statistical, environmental, etc..).
WebGIS called IST-Mapper, currently under construction, is based on Open Source technologies and is structured at multiple levels of consultation, so that it can be consumed by all types of users, from Public Bodies responsible for the management of territory up to the professionals and ordinary citizens.
Thanks to a user-frendly interface, a series of specific functions and a data organization in large issues, the project also aims to increase environmental awareness through the citizen involvement, which can actively participate consulting the data and entering new ones, building models and custom indicators, sending photos, documents and reports.
The characteristics of the system are such as to make it a valid support to environmental planning, especially towards some issues such as the presence of asbestos-cement surfaces, or industries subject to "major accident risk" (D.Lgs. 334/99, Seveso Directive).

Introduzione

Il progetto, finanziato dall'INAIL e denominato *"IST-Mapper"*, è tutt'ora in corso, ed ha come obiettivo lo sviluppo di un WebGIS, a supporto della gestione di banche dati in relazione alla pianificazione urbanistica e territoriale per aree interessate dalla presenza di insediamenti produttivi. Alla realizzazione del progetto, oltre all'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico (IIA), partecipa l'Unità Operativa Fondazione Bruno Kessler (FBK), con la seguente divisione delle attività:

- L' Unità Operativa IIA, oltre a svolgere il ruolo di coordinamento scientifico, ha elaborato i dati telerilevati MIVIS integrandoli ed organizzandoli con altri dati, cartografici, statistici, ecc.
- L'Unità Operativa FBK, ha provveduto alla realizzazione della piattaforma informatica, in grado di gestire, visualizzare ed utilizzare i dati del CNR.

Il sistema è basato su metodologie riproducibili su vasta scala, ed è stato progettato per un utilizzo in attività di valutazione ambientale, costruzione di scenari e *reporting* tecnici, applicazione di modelli di vulnerabilità ambientale, predisposizione di mappe di rischio e sviluppo di analisi comparative. Si tratta inoltre, di una piattaforma interamente basata su tecnologie *Open Source* e sull'utilizzo dei più recenti standard e modelli di interoperabilità del dato geografico, sia definiti dalla direttiva *Inspire* che dall'*Open Geospatial Consortium* (OCG).

In particolare, la struttura è stata progettata in modo da integrare in un unico sistema dati ambientali georiferiti e flussi di dati statistici relativi alle variabili socio-economiche del territorio indagato.

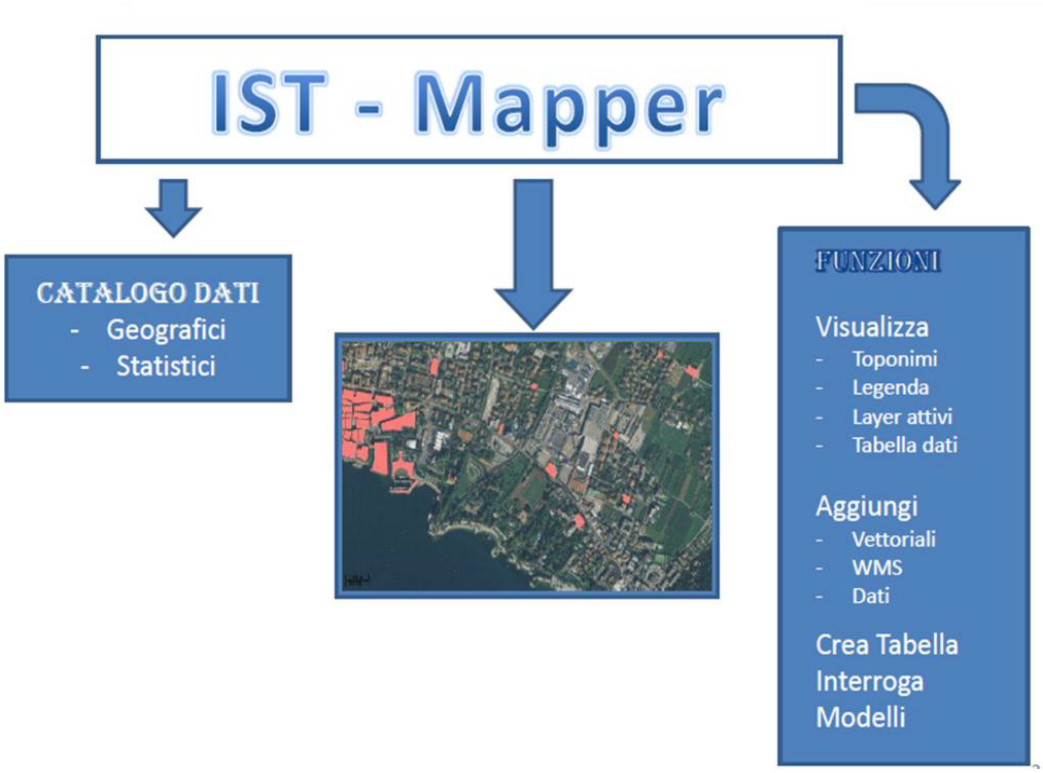


Figura 1. Schema strutturale del WebGis.

L'area di studio: il Comune di Pomezia

L'area di studio è stata scelta poiché caratterizzata dalla coesistenza di numerosi insediamenti produttivi, agglomerati urbani e zone agricole coltivate, nonché aree di ricezione turistica come la fascia costiera, aree soggette a vincolo ambientale ed aree archeologiche.

Il Comune di Pomezia rappresenta un valido banco di prova, vista la coesistenza all'interno del suo territorio di ambiti così diversi tali da rendere questo territorio particolarmente fragile dal punto di vista ambientale, e le cui criticità possono essere così riassunte:

- Forte antropizzazione diffusa su tutto il territorio, con una alta impermeabilizzazione.
- Elevato numero di insediamenti produttivi, ed in particolare presenza di attività catalogate come soggette al "Rischio incidente rilevante" secondo la direttiva "Seveso" (D.Lgs. 334/99).
- Presenza di vaste superfici in cemento-amianto (c-a). L'IIA recentemente ha realizzato la mappatura delle superfici in c-a di tutto il territorio della Regione Lazio, sulla base delle ultime disposizioni della L. 23/3/2001 n. 93 e del D. M. 18/3/2003 n. 101, la Regione Lazio. (Fiumi et al. 2005; Fiumi et al. 2005).
- Scarsa capacità attrattiva delle componenti naturali, turistiche e archeologiche del territorio, il quale presenta una naturalità piuttosto bassa, contrastata da un'antropizzazione diffusa e dall'abbandono pressoché totale delle aree archeologiche.
- Mancanza di comunicazione tra gli organi decisionali presenti sul territorio.
- Frammentarietà dei dati, molto spesso non disponibili a tutti o divulgati in formati e sistemi di riferimento diversi, in modo tale da non permettere un loro pieno utilizzo.

Materiali e Metodi

Per le elaborazioni e la costruzione del sistema, sono stati utilizzati i seguenti dati nel sistema di riferimento: UTM – WGS1984.

- CTR (Carta Tecnica Regionale) del 2004 scala 1:5000, fornita dalla Regione Lazio, nel formato *Geotiff*.
- CTR (Carta Tecnica Regionale) del 2004 scala 1:5.000, in formato vettoriale.
- Dati MIVIS, ripresi il 7 ottobre 2010, ore 12.52 ad una quota di 1500 metri, con un pixel di risoluzione 3x3m, in 5 strisciate mosaicate, dai quali sono stati elaborati ed estratti i seguenti tematismi:
    - Mappatura delle coperture in cemento-amianto (c-a).
    - Mappa delle temperature al suolo.
    - Mappa delle superfici impermeabili.
    - Caratterizzazione termica delle acque costiere.
- Dati relativi alle linee di costa medie, dal 1944 al 2005, forniti dalla Regione Lazio, in formato vettoriale lineare.
- Carta dell'uso del suolo, in formato vettoriale, classificata secondo il progetto *"Corine Land Cover"* al V livello di dettaglio, fornita dalla Regione Lazio.
- Dati ISTAT, in formato vettoriale, riferiti a sezioni di censimento, sulla popolazione residente al 2001.
- Dati ISTAT, in formato tabellare, di addetti e numero di imprese, al 2001.

L'ambiente di sviluppo del sistema è stato concepito con un approccio interamente Open Source. In particolare, la società FBK ha utilizzato:

- Sistema operativo: *Linux RedHat EL 2.6.18-92.1.18.el5 (64 bit).*
- Server dati geospaziali: *Geoserver.*
- Server database: *Postgresql* con estensione *Postgis*.
- Server web: *Apache.*
- Server statistico: *R con R server.*
- Programmi di sviluppo: *PHP e Java*

Per quanto riguarda la creazione, elaborazione e vestizione dei dati geografici, il CNR – IIA ha utilizzato i seguenti sotfware:

- *ESRI ArcGis 10*, per le elaborazioni in ambiente Gis.
- *ENVI 4.7*, sviluppatore: *Exelis Visual Information Solutions (Exelis VIS),* per l'elaborazione digitale delle immagini.
- *Atlas Styler 1.8*, Sviluppatore: *Geopublishing*, per la vestizione dei dati.

Caratteristiche del WebGis *"IST-Mapper"*

Al fine di realizzare un sistema fruibile sia dalle Pubbliche Amministrazioni che dai singoli cittadini, è stata concepita una interfaccia agevole e di facile intuizione, dotata di menù rapidi di accesso a dati geografici, dati statistici, indicatori. Per quanto riguarda le funzionalità implementate nel sistema, è possibile dividerle in base alle funzioni di utilizzo.

- Le funzioni di visualizzazione, oltre alle funzionalità tipiche degli strumenti Gis (zoom, pan, info), comprendono alcune funzioni specifiche:
  - Visualizza toponimo in funzione della scala presentata in mappa.
  - Visualizza legenda associata ai livelli geografici selezionati.
  - Layer attivi, per gestire la visualizzazione dei *layer*, comprendente le funzioni di "*ordina layer*", per gestire i livelli geografici selezionati, ed "*imposta opacità*", per variare l'opacità dei singoli livelli geografici rappresentati in mappa (anche raster), consentendo di vedere più *layer* sovrapposti in trasparenza.
  - Visualizza tabella.
- La funzione "Aggiungi dato" consente di importare nel sistema dati in diversi formati, e per questa finalità sono previste alcune funzioni specifiche:
  - *Importa Shape* vettoriali, consentendo la scelta personalizzata della vestizione.
  - *Importa wms.*
  - *Importa csv*.
- La funzione "Crea Tabella" permette una ulteriore personalizzazione, poiché consente di comporre una tabella di dati prelevandoli dall'elenco dei dati statistici presenti nel sistema.
- La funzione di "Interrogazione" (*Query layer*) consente di interrogare uno o più *layer* fra quelli attivi, nonché tutti gli attributi dei *layer* intersecati.
- La funzione "Modelli" rappresenta lo strumento più importante di personalizzazione da parte dell'utente, poiché consente di visualizzare ed elaborare i modelli presenti nel sistema (tra i quali, ad esempio, quelli relativi alla costruzione di indicatori semplici, a partire da dati predisposti), consentendo alla predisposizione di nuovi modelli. I nuovi *layer* creati consentiranno valutazioni specifiche e personalizzate.

Tramite un pannello di controllo, a disposizione del responsabile della gestione del sistema, potranno essere effettuare le operazioni più complesse, come caricare in modo definitivo livelli geografici e dati statistici, organizzare il catalogo dei dati e dei livelli geografici introducendo nuovi capitoli e paragrafi, e spostando nella corretta posizione i vari oggetti. Inoltre, tramite il pannello di controllo, il gestore potrà gestire le operazioni riguardanti le segnalazioni, i documenti e le foto inviate degli utenti via server o smartphone, selezionando l'attendibilità delle stesse.

Le principali funzioni operabili tramite il Pannello di controllo sono:

- Aggiungere nuovi dati statistici.
- Aggiungere dati a serie già presenti di dati statistici.
- Aggiungere nuovi rami in catalogo.
- Modificare l'ordine del catalogo e rimuovere elementi.
- Aggiungere nuovi livelli geografici con relativa vestizione.
- Aggiungere nuovi utenti del sistema con il proprio profilo.
- Inserire e modificare i metadati associati a livelli geografici o a dati statistici.
- Inserire foto o documenti associati ad un *layer* specifico.

Per consentire questo tipo di operazioni, è previsto un sistema di registrazione degli utenti, tramite il quale vengono accertati i dati dell'utente (verificandone i dati personali e l'attendibilità nel caso delle segnalazioni, per evitare i cosiddetti "segnalatori seriali") e successivamente vengono forniti un nome utente e *password*. Ogni utente attivato dal gestore, può in tal modo accreditarsi tramite opportuna procedura conservando solo i dati necessari per fornire il servizio, potendo così procedere alle operazioni necessarie.

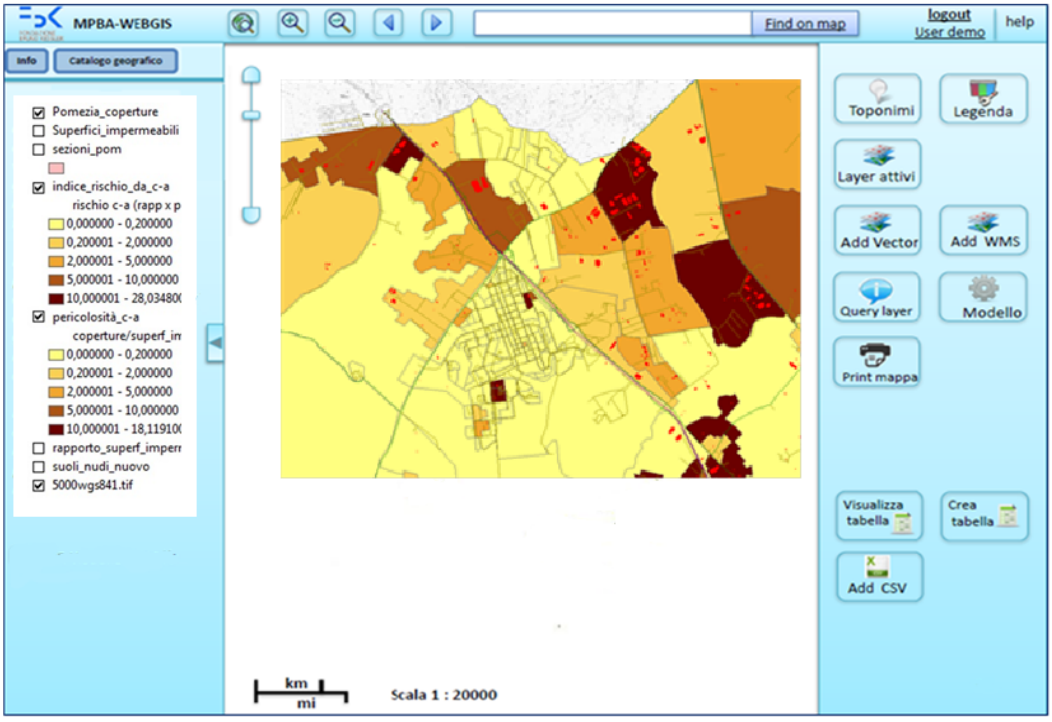


Figura 2. Interfaccia del WebGis.

La strutturazione della banca dati è stata ripartita in cinque gradi macro – tematiche, alle quali si aggiunge quella legata ai dati di base (CTR, dati statistici, ecc):

- Acqua (acque costiere, fossi, linee di costa ecc.).
- Antropizzazione (edificato, superfici impermeabilizzate, indici di antropizzazione, ecc.).
- Cemento-amianto (coperture in c-a, indice di rischio e di pericolosità da c-a, ecc.).
- Natura (uso del suolo, indice di naturalità, ecc).
- Rischio industriale (impianti a rischio incidente, addetti alle imprese, ecc.).
- Dati di Base (sezioni di censimento, infrastrutture, ecc.).

Per ogni tematica su indicata, sono stati integrati ai dati telerilevati MIVIS elaborati, i dati cartografici, statistici ed ambientali raccolti, sono stati così ottenuti una serie di indicatori ambientali riferiti a sezioni di censimento.

All'interno di ogni tematica, i dati sono ulteriormente suddivisi tra:

- Dati in formato *shapefile.*
- Indicatori ambientali.
- Documenti associati al tema (tabelle, schede informative, ecc.).
- Immagini tele rilevate elaborate.

Il WebGis è stato strutturato in modo tale da prevedere la caratterizzazione dei singoli *layer* (superfici in c-a, mappa delle temperature, ecc), con la possibilità di aggiungere e visualizzare altre variabili informative (distribuzione per popolazione, numero imprese ed addetti, ecc).
Inoltre, i livelli geografici, sono definiti tramite *Styled Layer Descriptor (SLD*) che costituisce il catalogo di base.
Il criterio giuda è stato quello di creare una sorta di interoperabilità, dunque facilitare l'interazione dei dati in sistemi differenti, nonché lo scambio e il riutilizzo anche fra sistemi informativi non omogenei in maniera più o meno completa e priva di errori con affidabilità e quindi, ottimizzando le risorse disponibili.

Risultati e discussioni
Il progetto *"IST-Mapper",* non ancora concluso, il cui termine è previsto per la fine dell'anno, ha come ambizione, oltre alla semplice raccolta e pubblicazione di dati ambientali, di descrivere lo sviluppo del territorio in maniera il più possibile completa, in ogni suo aspetto (Fiumi L., 2002).
Inoltre, un mix di tecniche permette al cittadino di partecipare attivamente al processo di gestione ambientale, consentendo l'inserimento di foto, documenti e la costruzione di indicatori personalizzati.
L'idea attorno alla quale ruota il progetto è quella che le informazioni relative al territorio provenienti dall'elaborazione del dato telerilevato MIVIS, associate alle telecomunicazioni (Internet, smartphone), sono in grado di produrre un valore aggiunto al processo di gestione territoriale. Questo grazie alla possibilità di fornire un quadro completo della realtà, tramite la divulgazione semplice e rapida delle informazioni, nonché attraverso mappe tematiche contenenti informazioni plurime che possano essere di supporto al processo decisionale. Ne deriva un nuovo modo di intendere la pianificazione, dove una fase è quella di conoscenza dei dati ambientali e dove le tecnologie per il rilevamento, l'interpretazione e la divulgazione dei dati assumono un peso determinante nei processi di partecipazione e pianificazione. In altri termini, al valore legato alla tecnologia dell'informazione, bisogna sommare quello legato alla gestione dell'ambiente consapevole e partecipata. Il progetto è dunque finalizzato a conseguire uno sviluppo sostenibile del territorio attraverso una pianificazione responsabile e condivisa, nella quale le tecnologie innovative semplificano e supportano l'effettiva partecipazione dei cittadini alla tutela dell'ambiente. (Spadoni M., 2009; Osservatorio Città Sostenibili, 2002).
Accanto a questi obiettivi di carattere generale, la progettazione del WebGis *"IST-Mapper"* è stata concepita e realizzata per raggiungere i seguenti risultati:

- Predisporre, per la prima volta a Pomezia, di uno strumento di analisi ambientale e territoriale dinamico ed aggiornabile, in grado di valutare l'efficacia delle azioni intraprese, con ricadute positive concretizzabili in azioni di supporto e pianificazione di programmi mirati ad interventi di recupero e tutela ambientale e in azioni legate ai rischi ambientali (Gomarasca M., 1997).
- Predisporre di uno strumento in grado di diffondere la conoscenza sulle questioni ambientali e, più in generale, sullo sviluppo sostenibile. Ad esempio, per quanto riguarda il tema del c-a, il sistema GIS permette di svolgere analisi e stime territoriali, nonché archiviazione e catalogazione dei dati ottenuti dall'elaborazione delle immagini MIVIS (Fiumi L., 2003; Atturo C, et al. 2006). Si prevede quindi che il sistema possa rappresentare un primo tentativo, ovviamente ancora in forma prototipale, per definire una procedura in grado di stimare e tematizzare sul territorio urbano la presenza di coperture in c-a a supporto delle autorità competenti (Fiumi, et al. 2004).
- Predisporre di uno strumento di conoscenza in grado di promuovere attivamente la partecipazione del pubblico alle decisioni riguardo ai temi ambientali. Il sistema di segnalazioni, invio foto e documenti, creazione di indicatori, nonché vestizione e tematizzazione dei dati propri o pubblicati, può facilmente agire sulla sensibilizzazione, coinvolgimento ed aumento dell'interesse verso le tematiche ambientali e territoriali. Da una

prima fase di sperimentazione si è potuti riscontrare un buon interesse da parte dei residenti del Comune, ed è prevista una fase di validazione dei risultati ottenuti attraverso la partecipazione e sperimentazione da parte degli studenti delle scuole superiori del Comune di Pomezia.

Conclusioni

I risultati ad oggi raggiunti nella realizzazione del WebGis *"IST-Mapper*", dimostrano che il sistema è in grado di gestire, organizzare ed elaborare dati territoriali con efficienza, definendosi come un elemento indispensabile per la corretta gestione di un territorio comunale, ancor di più nel caso di una realtà caratterizzata da grandi criticità ambientali come quella di Pomezia. Oltre che essere stato progettato per fornire un valido strumento agli organi competenti, il WebGis ha inoltre come principale ambizione quella di contribuire all'accrescimento della sensibilità ambientale e della partecipazione cittadina alle problematiche territoriali.

Bibliografia

Fiumi L. et al. (2004) "Indagine conoscitiva su alcuni fabbricati con coperture in cemento-amianto in località Magliana Roma" CNR IIA LARA –ISPESL DIL, *Monografico 2004 di Prevenzione Oggi*, Ed. Global Madia System.

Atturo C, et al. (2006) "Remote Sensing Detection Techniques for Brownfield identification and Monitoring by GIS tools", *The Sustainable City 2006, Fourth International Conference on Urban Regeneration and Sustainability*, 17-19 July 2006 Tallinn, Estonia.

Fiumi L. (2002) "Evaluation of Remote Sensing data for urban planning. Applicative examples on some Italian towns remotely sensed by means of MIVIS sensor". *XXX IAHS World Congress on Housing, 9-13 September 2002 Coimbra-Portugal*, pp.1045-1050

Fiumi L., (2003) "Sistemi Informativi a Supporto della Pianificazione Urbanistica" *Scienza & Business, Rivista Mensile di Innovazione Tecnologica, Metodologie e Ricerca al Servizio dell'Umanità*., n.3-4, 2003 pp.19-26.

Fiumi L., et al. (2005), "Mapping of the asbestos-cement by remote sensing and GIS", *Proceeding International Conference on "Asbestos Monitoring and Analytical Methods"*, AMAM 2005, ISBN 0-7803-7059-7, Venezia 5-7 Dicembre 2005, pag. 62-63

Fiumi L., et al. (2005), "Il telerilevamento iperspettrale e GIS per il monitoraggio delle coperture in cemento-amianto,. *MondoGis, Il mondo dei sistemi informativi geografici*, n. 44 settembre/ottobre 2004, ISSN 1128-8175, pp. 26-30

Gommarasca M. (1997) "Introduzione al telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole ambientali", *Ed. Arte Stampa Daverio*, Varese, pp. 3-79.

Osservatorio Città Sostenibili (2002), *"Indice del grado di naturalità del territorio.", OCS Doc. 2/2002, Dipartimento Interateneo Territorio del Politecnico e dell'Università di Torino, 31 Gennaio, 2002.*

Spadoni M. (2009) *Specifiche tecniche per le funzionalità del sistema informativo*. Con il contributo di: F. Bramerini, A. Lacchini, G. Naso, A. Pagliaroli. Progetto URBISIT, Report 4.3°

Stima di volumi legnosi forestali con dati fotogrammetrici telerilevati da UAV su piccole superfici: un caso di studio in Trentino

Antonio Floris (*), Fabrizio Clementel (*), Giacomo Colle (*), Francesco Gubert (**), Luca Bertoldi (**), Giorgio De Lorenzi (**)

(*) EFFETRESEIZERO s.r.l. spinoff del CRA, Piazza Nicolini 6, 38123 Trento, Tel. 0461 381119, info@f360.it
(**) CHARTAGENA s.r.l., Via Maccani 211, 38121 Trento, Tel. 329 6883866, info@chartagena.com

Riassunto

L'impiego di strumenti di remote sensing basati su piattaforme Unmanned Aerial Vehicle (UAV) per la stima dei parametri dendrometrici e delle caratteristiche tipologico-strutturali delle risorse forestali può rappresentare, in scenari di estensione contenuta, una promettente alternativa alle altre tecnologie aeree e satellitari.

Le piattaforme UAV presentano, ad oggi, limiti operativi e strumentali che è necessario saper gestire nel momento in cui si voglia utilizzarle per finalità operative di monitoraggio, tuttavia la loro costante e rapida evoluzione tecnologica lascia presupporre un loro sempre maggiore impiego su numerosi fronti, compreso quello forestale.

Il lavoro riporta gli esiti di un test svolto nella primavera del 2012 in Trentino, su un popolamento forestale esteso circa 8 ha. Sono stati messi a confronto due modelli digitali della superficie (DSM) derivanti il primo dal volo svolto con UAV dotato di fotocamera digitale ad alta risoluzione ed il secondo derivante da un volo LiDAR pre-esistente. Per ognuno dei DSM è stato costruito un modello digitale delle chiome (Canopy Height Model, CHM) con risoluzione geometrica di 1 m, ed elaborato un modello di stima regressiva del volume legnoso, calibrato con prove relascopiche al suolo. I risultati ottenuti sono stati comparati tra di loro e con le stime effettuate con soli rilievi al suolo nello stesso scenario.

Nel contributo vengono discusse le problematiche operative incontrate nel realizzare la missione di volo e di ripresa, le procedure di raccolta ed elaborazione dei dati, i risultati conseguiti e gli sviluppi futuri a breve-medio termine di questo tipo di applicazioni in ambito forestale.

Abstract

The use of remote sensing sensors based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) platforms to estimate dendrometric parameters and typological-structural characteristics of forest stands can represent, in small area scenarios, a promising alternative to airborne and satellite based technologies.

Today the UAV based platforms have operative and instrumental limits that have to be managed with high expertise to carry out an operative monitoring survey, by the way their fast and constant technological evolution allows to assume a progressive wider application of UAV in various sectors, among which forest monitoring.

This work describes the results of a test carried out in Trentino, Italy, in the spring of 2012 on a forest scenario 7 ha wide about. The Digital Surface Model (DSM) derived from the UAV high resolution orto-photo dataset has been compared with a pre-existing LiDAR DSM. For each of them a Canopy Height Model (CHM) with a resolution of 1 m has been computed and a statistical model to estimate timber volume has been studied. The results obtained have been compared between them and with the estimates obtained by a ground survey on the same area.

The article discuss the operative issues observed during the UAV flight on the forest scenario, the data collection, processing and analysis, the results obtained with the different platforms and

technologies. Some considerations about the presumable future expansion of this kind of platform in remote sensing forest applications are finally reported.

Introduzione

Nella caratterizzazione quali-quantitativa delle risorse forestali, da alcuni anni si sta sempre più diffondendo l'utilizzo del CHM (Canopy Height Model, modello digitale delle chiome) come piano informativo digitale, in formato raster, per la produzione da un lato di carte tematiche su aspetti strutturali dei popolamenti forestali (densità, classi di altezza, diversificazione verticale e orizzontale ecc…), dall'altro per l'elaborazione di modelli di stima di parametri dendrometrici, in particolare il volume legnoso e la biomassa, riferiti a unità di superficie o a specifici comparti.

Il Laser Scanning (o LiDAR), prevalentemente da piattaforma aerea, è la principale tecnologia usata per la produzione di CHM. Nelle applicazioni forestali si distingue solitamente fra modelli *area based*, nei quali i parametri derivati dai dati laser sono riferiti a collettivi forestali, e modelli *single tree based*, nei quali detti parametri o attributi sono riferiti a singoli alberi (Corona et al., 2011).

Il LiDAR per usi forestali presenta, oltre a una serie di indubbi vantaggi oggetto negli ultimi anni di numerosi studi (fra cui Naesset, 2004; Hollaus et al., 2007; Abramo et al., 2007; Corona e fattorini, 2008; Clementel et al., 2010; Floris et al., 2010; Torresan et al., 2012), alcuni limiti di uso che risiedono in particolare nella scarsa economicità in casso di missioni di volo su scenari di estensione contenuta e nel contrasto fra le epoche ideali di volo per la produzione di DTM (Digital Terrain Model) e di DSM (Digital Surface Model) nelle aree boscate, che sono rispettivamente l'inverno e l'estate (nel primo caso è bene che sia minima la copertura del manto vegetale, nel secondo caso è bene che sia massima).

Attualmente nel settore forestale si ovvia a tali limiti utilizzando il più possibile dati LiDAR rilevati per altri scopi (urbanistici, idro-geologici, di protezione civile ecc…), tollerando dei ragionevoli compromessi tra costi e requisiti qualitativi (risoluzione, accuratezza, epoca di rilievo).

Anche con queste strategie l'aggiornamento dei rilievi Laser Scanning è comunque, almeno finora, molto limitato, e dopo alcuni anni un modello digitale delle chiome si può ritenere non più al passo con le dinamiche della vegetazione.

Considerato che, al contrario, un DTM mantiene la propria validità per periodi di tempo molto più lunghi, la produzione di DSM da fotogrammetria con piattaforme Unmanned Aerial Vehicle (UAV) può rappresentare, in scenari di estensione contenuta, una promettente alternativa alle tecnologie LiDAR aeree e satellitari.

Fino a pochi anni fa, l'utilizzo di UAV, spesso definiti anche "droni", era ristretto al campo militare. Recentemente, grazie allo sviluppo e alla commercializzazione su ampia scala di piattaforme aeree a pilotaggio remoto e camere digitali DSRL, si sono aperte nuove frontiere nel campo delle applicazioni fotogrammetriche, quali Modelli Digitali della Superficie e Ortofotomosaici (Colomina et al., 2008; Eisenbeiss, 2009; Remondino et al., 2011).

L'attività svolta ha avuto l'obiettivo di verificare se opportune metodiche di utilizzo di dati telerilevati possano, anche su piccole estensioni sostituire o integrare le modalità tradizionali di rilevamento al suolo a supporto dell'inventariazione forestale su scala assestamentale. A tal fine sono state poste a confronto, in termini di accuratezza e su un'area studio di dimensioni ridotte, le stime di volume legnoso ottenibili con modelli di regressione costruiti su CHM prodotti con due metodi diversi: DSM fotogrammetrico rilevato da UAV e DSM da volo LiDAR invernale. In entrambi i casi è stato usato come riferimento altimetrico un DTM da LiDAR prodotto con il medesimo volo invernale. I modelli sono stati calibrati con uno stesso set di 30 aree relascopiche al suolo distribuite casualmente nell'area di studio.

Materiali e metodi

L'area prescelta per il test è situata nel comune di Fornace in località Pian del Gacc (5109723 N, 669750 E, UTM-WGS84), a pochi chilometri da Trento, a circa 1000 m di quota s.l.m.

Nell'area insiste la particella forestale n. 8 del Piano Economico Forestale del Comune di Fornace. La particella, che ha un'estensione di 7,82 ha, ospita un popolamento boscato a prevalenza di abete rosso, con presenza di pino silvestre e pino nero, larice e sporadiche latifoglie. Adiacente al bosco vi è una zona a prato idonea per il decollo e l'atterraggio del velivolo. Vi è inoltre dislocata una delle aree test del progetto TARGETSTARS per le analisi di performance di sistemi di radioposizionamento in foresta (Pompei et al., 2009), caratteristica che consente un ulteriore verifica sull'accuratezza dei GCP (Ground Control Point) utilizzati per la georeferenziazione dei dati telerilevati.
Valutate le dimensioni dell'area test, si è stabilito di utilizzare come piattaforma un multirotore a 6 eliche e motori *brushless* (esacottero) e come sensore una fotocamera Canon 550D opportunamente calibrata. Il multirotore è un mezzo elettrico, ecologico, silenzioso, flessibile e personalizzabile, dotato di un sistema automatico di posizionamento e stabilizzazione (GNSS /INS) che lo rende a tutti gli effetti una piattaforma inerziale (Figura 1). La Canon 550D è una delle camere in commercio con il miglior rapporto qualità/peso. Essa è infatti una camera DSRL con un sensore CMOS di 18.0 megapixel effettivi (5184 × 3456 pixel) che pesa solamente 530 g.



Figura 1. L'esacottero a terra e in volo.

Il giorno 22 marzo 2012 sono stati eseguiti tre voli fotogrammetrici, acquisendo un totale di 355 immagini.
Per coprire l'intera area di volo (circa 16 ettari), con l'obiettivo di ottenere una GSD (*Ground Sampling Distance*) al Nadir di circa 4 cm, si è scelto di volare a quota 150 m agl con un obiettivo a lunghezza focale 18 mm. Ogni singola immagine risulta così coprire un'area a terra di 185x125 m. Orientando la camera ortogonalmente alla direzione di volo, per avere una sovrapposizione media del 70% tra le singole immagini adiacenti, le linee di volo devono essere distanziate di 60 metri e tra uno scatto e l'altro il mezzo deve spostarsi al massimo di 38 metri. Il percorso di scansione totale nei tre voli effettuati è stato di circa 4200 metri lineari, percorsi in un tempo complessivo netto di volo di circa 21 minuti.
Allo scopo di georeferenziare i layer prodotti e stimare i relativi residui, si sono posizionati all'interno dell'area di volo 9 GCP di cui si sono rilevate le coordinate con GPS differenziale. I GCP sono stati materializzati sul terreno con appositi target posizionati in aree aperte (radure del bosco e prati circostanti) in modo da risultare visibili nel rilievo fotografico. Le coordinate di ciascun GCP sono state rilevate con stazionamenti di circa 15 minuti, in modalità *carrier phase* preferenzialmente, talvolta in modalità *code*. La strumentazione usata è una configurazione Trimble

composta da GPS Pathfinder ProXH, palmare Recon e software Terrasync (Figura 2). Le coordinate sono state successivamente sottoposte a correzione differenziale con sw Trimble Pathfinder Office, utilizzando la base del Catasto di Trento (TREN) della rete TPOS provinciale.



Figura 2. La configurazione GPS usata per il rilevamento dei GCP.

Le immagini sono state opportunamente processate utilizzando algoritmi di *keypoint detection* (Lowe, 2004) e *bundle adjustment* (Triggs et al. 1999). Si sono così ottenuti un DSM ed un ortofotomosaico, che coprono un'area di 16 ettari, alla risoluzione di 5 cm/pixel (Figura 3). Confrontando la locazione dei target visibili nelle immagini del modello con le misurazioni a terra (GCP), l'errore totale (XYZ) medio sulla georeferenziazione è risultato essere di 0,201 m, nel dettaglio $RSME_x$=0,064, $RSME_y$=0,108 $RSME_z$=0,155 rispettivamente.
Il DSM è stato successivamente degradato alla stessa risoluzione spaziale (1 m/pixel) dell'analogo layer derivato da LiDAR con il quale sarebbe stato confrontato.
Adottando la procedura di elaborazione descritta da Floris et al. (2009), eseguibile in ambiente ESRI ArcGIS 9, sono stati prodotti un CHM UAV e un CHM LiDAR, usando in entrambi i casi il DTM derivante da un volo LiDAR che la Provincia Autonoma di Trento ha realizzato nell'inverno 2006-2007 (per i metadati di tale missione si rimanda a Clementel et al., 2012). Il valore medio di altezza è di 20,34 m per il CHM LiDAR e di 20,29 m per il CHM fotogrammetrico UAV: la differenza è molto contenuta (0,05 m), però la deviazione standard delle differenze locali è piuttosto alta (6,73 m), e ciò indica che localmente fra i due layer possono verificarsi differenze consistenti, specialmente nelle aree a basso contrasto (presenza di ombre). Questa problematica, segnalata anche da altri autori (Breidenbach e Rasmus, 2012), sembra essere dovuta agli algoritmi di interpolazione che, in assenza del dato, lo interpolano con quelli vicini. Talora questo metodo conduce all'attribuzione di valori di altezza elevati anche in presenza di terreno nudo o vegetazione molto bassa. Nel caso specifico, inoltre, gioca sicuramente un ruolo la differenza temporale fra i due voli (2007 per il LiDAR, 2012 per il volo UAV), peraltro in parte compensata dalla presenza di schianti avvenuti nell'inverno 2008-2009 per cause meteorologiche.
Da entrambi i layer è stata elaborata la variabile *Hsum*, che consiste nella sommatoria delle altezze, attribuita a ciascun pixel e riferita a un determinato intorno di analisi individuato da una matrice di esplorazione.
Hsum è stata usata come variabile indipendente di un modello di regressione lineare avente formulazione generale

$$V = a + b \times Hsum$$

Dove *V* (variabile dipendente stimata dal modello) è il volume legnoso, in metri cubi, riferito ai fusti con diametro ≥ 17,5 cm. Per mettere a punto il modello di regressione, la variabile *V* è stata calcolata su un campione di 30 punti individuati casualmente all'interno della particella forestale e rilevati tramite esecuzione di Prove di Numerazione Angolare (PNA) con relascopio elettronico Criterion Laser Technology. Come è noto, con le PNA si misura la variabile dendrometrica area basimetrica ad ettaro (G/ha) riferita al punto campione. Sia i rilievi in campo che le successive misurazioni per il passaggio da G/ha a *V* sono stati eseguiti secondo metodi e procedure previsti dalla Nuova Pianificazione Forestale Aziendale Trentina (NPFAT, Scrinzi et al., 2011) adottando i modelli dendrometrici MPF (Scrinzi et al., 2010).
Per ottenere la massima congruenza tra variabile indipendente *Hsum* e variabile dipendente *V*, è necessario che esse siano spazialmente sincrone e osservate sulla stessa area. Per questo motivo i punti campione sono stati reperiti al suolo con navigazione da posizione media assistita da GPS, e per le matrici di esplorazione sulle quali calcolare *Hsum* è stato adottato un raggio di 13 m, corrispondente a una dimensione di 531 m^2, assimilabile a quella esplorata generalmente da una PNA.
Per la validazione del modello è stato usato il test statistico *k-fold cross validation*, (Witten e Frank, 2005): in pratica la regressione è stata "addestrata" su 16 sotto-insiemi diversi dell'intero campione, di 15 osservazioni ciascuno, e validata sulle restanti 15 osservazioni non usate per l'addestramento.
Applicando a ciascun pixel la funzione del modello di regressione prescelto è stata prodotta, con procedure GIS, la carta del volume ad ettaro dell'area di studio (Figura 3).

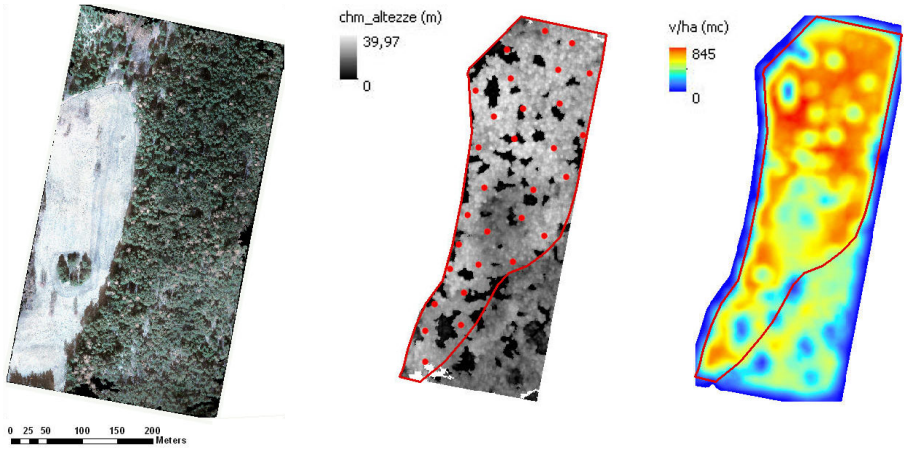


Figura 3. Layer prodotti con le elaborazioni: ortofotomosaico, CHM con i confini di particella e i punti di campionamento, carta del volume legnoso.

Risultati
I grafici in figura 4 illustrano la correlazione fra le due variabili e i parametri dei rispettivi modelli di regressione. La tabella 5 riporta invece gli esiti della *cross-validation*.
Pur con una performance statistica non brillante del modello di regressione (r^2 = 0,375), su un volume medio del popolamento forestale pari a 599 m^3/ha (dato stimato con i soli rilievi al suolo e preso a riferimento), le differenze con segno fra valori stimati con il modello di regressione da CHM fotogrammetrico e valori misurati al suolo sono molto contenute: 2,3%, -0,1% e 7,0% rispettivamente media, minima e massima; vi è in pratica una lieve sovrastima. L'RMSE è pari a 21,4 m^3/ha.

Per quanto riguarda invece l'analogo modello costruito su CHM LiDAR, la differenza media con segno fra valori misurati al suolo e valori stimati è pari al 3,7% (minima 0,04%, massima 8,9%).

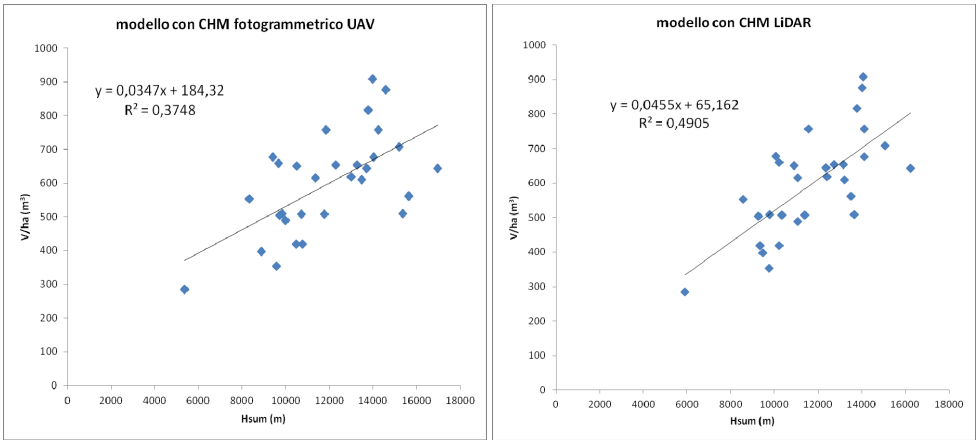


Figura 4. Modelli di regressione per la stima del volume legnoso con i due tipi di CHM.

Tabella 5. Dati utilizzati per la k-fold cross-validation.

Caso	V/ha PNA (m^3)	V/ha UAV (m^3)	V/ha LiDAR (m^3)	diff % UAV-PNA	diff % LiDAR-PNA
1	599	604	610	0,80%	1,73%
2	612	622	634	1,50%	3,47%
3	609	628	640	2,97%	4,93%
4	608	651	662	7,03%	8,85%
5	618	600	615	-2,89%	-0,47%
6	617	609	617	-1,32%	-0,04%
7	597	631	638	5,61%	6,81%
8	607	615	622	1,36%	2,45%
9	597	593	598	-0,63%	0,19%
10	594	613	622	3,09%	4,65%
11	590	614	623	4,01%	5,54%
12	589	616	629	4,66%	6,79%
13	596	595	604	-0,18%	1,23%
14	572	608	606	6,25%	5,99%
15	584	607	614	4,08%	5,20%
16	597	596	606	-0,10%	1,58%
Medie	**599**	**613**	**621**	**2,26%**	**3,68%**

Conclusioni

Il caso di studio presentato in questo lavoro ha permesso di valutare l'efficacia di un rilievo fotogrammetrico basato su UAV per la stima dei volumi legnosi forestali in scenari di piccole superfici e, contestualmente, di considerare il potenziale supporto delle piattaforme basate su UAV per l'inventariazione forestale su scala assestamentale.

Il DSM rilevato attraverso la piattaforma UAV ed i modelli costruiti per le stime dendrometriche delle masse legnose sono risultati comparabili con quelli derivanti da piattaforma LiDAR ottenuti attraverso analoghi modelli di stima; la lieve sovrastima del dato, legata probabilmente anche alla difficoltà insita nel rilievo fotogrammetrico di gestire le zone in ombra o a scarso contrasto, rimane comunque un aspetto da approfondire nell'ottica di un impiego operativo del dato UAV. La necessità di un DTM a buona risoluzione per la costruzione del CHM da UAV, costituisce inoltre una limitazione all'impiego di tali modelli, anche se è opportuno rilevare come sia ormai sempre più diffusa la presenza di DTM LiDAR pubblici, almeno nel contesto italiano.

Ulteriori approfondimenti sono di certo da sviluppare nella direzione di impiegare il DSM prodotto dal volo UAV alla sua effettiva risoluzione, di gran lunga superiore rispetto a quella degradata a 1 m impiegata in questi primi modelli, e nell'affinamento dei protocolli di calibrazione per contenere ed ottimizzare i rilievi da eseguire al suolo.

La restituzione di un DSM e, contestualmente, di un ortofotomosaico ad altissima risoluzione dell'area interessata dal volo UAV ha di certo interessanti prospettive per finalità legate alla pianificazione forestale quali la stratificazione tematica o strutturale, ma anche per la progettazione di lavori forestali o la valutazione di zone soggette ad operazioni di taglio o investite da eventi naturali quali schianti o incendi; prospettive che sono legate anche alla flessibilità di impiego del mezzo, alla rapidità di approntamento del volo e soprattutto alla possibilità di impiego dell'UAV su aree di intervento di dimensioni anche piccole.

I voli con Copter, come quello qui analizzato, hanno estensione ottimale in alcune decine di ettari, ma sono già realizzabili, e sono in pianificazione da parte del gruppo di lavoro, nuovi test con velivoli ad ala fissa in grado di coprire efficientemente estensioni più ampie, nell'ordine delle centinaia di ettari.

In termini di prospettiva è, quindi, da considerare come la rapidissima evoluzione delle piattaforme UAV permetterà probabilmente di allargare gli scenari nei quali il loro impiego potrà essere una valida soluzione per qualità e tipologia del dato restituito in rapporto al costo, soprattutto laddove vi sarà esigenza di operatività immediata e di tempistiche di rilievo brevi.

Bibliografia

Abramo E., Barilotti A., Sepic F. (2007). Dalla dendrometria diametrica alla dendrometria ipsometrica: stima del volume degli alberi da rilievi laser-scanning. *Foresta@* 4 (4), pp. 373-385.

Breidenbach J., Rasmus A. (2012). Small area estimation of forest attributes in the Norwegian National Forest Inventory. *Eur J Forest Res*(2012) 131:1255-1267. doi 10.1007/s10342-012-0596-7

Clementel F., Colle G., Farruggia C., Floris A., Scrinzi G., Torresan C. (2010). Stima operativa di parametri dendrometrici forestali con riprese LiDAR invernali a bassa risoluzione. *Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA* - Brescia 9-12 novembre 2010, pp. 625-630.

Clementel F., Colle G., Farruggia C., Floris A., Scrinzi G., Torresan C. (2012). Estimating forest timber volume by means of "low-cost" LiDAR data. *Italian Journal of Remote Sensing* - 2012, 44 (1): doi: 10.5721/ItJRS201244110. pp. 125-140.

Colomina, I., Aigner, E., Agea, A., Pereira, M., Vitoria, T., Jarauta, R., Pascual, J., Ventura, J., Sastre, J., Brechbühler de Pinho, G., Derani, A., Hasegawa, J. (2007). The uVISION project for helicopter-UAV photogrammetry and remote-sensing. *Proceedings of the 7th International Geomatic Week, Barcelona, Spain.*

Corona P., Fattorini L., (2008). Area-based lidar-assisted estimation of forest standing volume. *Canadian Journal of Forest Research*. 38, pp. 2911-2916

Corona, P., Marchetti, M., Scrinzi, G., Torresan, C. (2011). Stato dell'arte delle applicazioni laser scanning aereo a supporto della gestione delle risorse forestali in Italia. *Atti 15ª Conferenza Nazionale ASITA* – Reggio di Colorno, 15-18 novembre 2011. pp. 1627-1632.

Eisenbeiss, H., (2009). *UAV photogrammetry.* Diss. ETH No. 18515, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Mitteilungen Nr.105, pp. 235.

Floris, A., Clementel, F., Farruggia, C., Scrinzi, G. (2009). Il LiDAR nella stratificazione tematica dei soprassuoli forestali: applicazioni in Trentino. *Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA* – Bari, 1-4 dicembre 2009, pp. 1063-1070.

Floris A., Clementel F., Farruggia C., Scrinzi G. (2010). Stima su base LiDAR delle provvigioni legnose forestali: uno studio per la Foresta di Paneveggio. *Rivista Italiana di Telerilevamento* - 2010, 42 (3). pp. 15-32.

Grenzdörffer, G.J., Engel, A. and Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *IAPRS&SIS, Vol. 37(B1), Beijing, China,* pp. 1207-1213.

Hollaus M., Wagner W., Maier B., Schadauer K. (2007). Airborne Laser Scanning of Forest Stem Volume in a Mountainous Environment. *Sensor-MDPI,* 7, pp. 1559-1577.

Lowe D.G. (2004), Distinctive Image Features from Scale Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision,* 60, 2 pp. 1-28.

Naesset, E. (2004). Practical large-scale forest stand inventory using small-footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research,* 19, pp. 164–179.

Pompei E., Clementel F., Colle G., Floris A., Galvagni D., Librandi I., Marzullo L., Piccoli D., Scrinzi G. (2009). Sistema di valutazione e certificazione delle performance di precisione delle tecnologie di rilievo satellitare in dotazione al Corpo Forestale dello Stato in presenza di copertura forestale. *Atti 13ª Conferenza Nazionale ASITA* – Bari, 1-4 dicembre 2009. 9p. 1627-1632.

Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling – current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011*

Scrinzi G., Galvagni D., Marzullo L. (2010). *I nuovi modelli dendrometrici per la stima delle masse assestamentali in Provincia di Trento.* Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna, Trento, 95 pp. ISBN 978-88-7702-271-4

Scrinzi G., Clementel F., Colle G., Farruggia C., Floris A., Torresan C. (2011). *L'inventario dendrometrico dei complessi assestamentali nella nuova pianificazione forestale aziendale trentina (NPFAT).* Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna, Trento. 105 pp. ISBN 978-88-7702-322-3

Torresan C., Clementel F., Floris A., Scrinzi G. (2012). LiDAR e stima del volume legnoso: un confronto con il cavallettamento totale a livello particellare. *Sherwood - Foreste ed alberi oggi* 2 (18) n 181, pp. 25-29.

Triggs B., McLauchlan P. and Hartley R. and Fitzgibbon A. (1999). "Bundle Adjustment — A Modern Synthesis". *ICCV '99: Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms. Springer-Verlag.* pp. 298–372. doi:10.1007/3-540-44480-7_21. ISBN 3-540-67973-1.

Witten I.H., Frank E. (2005). Data mining: practical machine learning tools and techniques. *Morgan Kaufmann, San Francisco (CA).* XXXI: 525. ISBN 0-12-088407-0.

Applicazioni GIS a servizio dei cittadini per migliorare la raccolta differenziata in Provincia di Torino

Agata Fortunato (*), Giorgio Gollo (*), Sonia Migliore (*), Marco Pizzolato (*), Emanuela Sarzotti (*), Andrea Ballocca (**), Stefano Giorgi (**), Elena Bon (**)

(*) Provincia di Torino, Ufficio Ciclo Integrato Rifiuti, Corso Inghilterra 7, 10138 Torino, Tel. 011 8616834, Fax 011-8616730, raccoltadifferenziata@provincia.torino.it
(**) CSI Piemonte, Direzione Territorio e Ambiente, Corso Tazzoli 215/12, 10137 Torino, Tel. 011-8613248, andrea.ballocca@csi.it, stefano.giorgi@csi.it

Riassunto

La Provincia di Torino, nell'ambito delle politiche volte alla riduzione dei rifiuti ed al miglioramento della raccolta differenziata previste dal Programma Provinciale di Gestione dei Rifiuti, ha lanciato, in collaborazione con ATO Rifiuti e i Consorzi di gestione, una complessa campagna di sensibilizzazione rivolta ai cittadini dal titolo "Beato chi la fa. Bene.".
Come previsto tra le varie azioni della campagna è stato predisposto, in collaborazione con il CSI Piemonte, un portale *web* dedicato (www.beataladifferenziata.it) che contiene informazioni complete ed esaustive sul ciclo dei rifiuti e supporta la corretta scelta da parte dei cittadini del luogo in cui conferire le varie tipologie di rifiuto.
A questo scopo sono in corso di implementazione due applicazioni GIS sperimentali per *web* e *smartphone* che partendo dal tipo di rifiuto e dal luogo in cui ci si trova indichino il cassonetto e/o l'ecocentro più vicino in cui conferirlo.
La realizzazione di tali applicazioni richiede di affrontare alcune problematiche relative alla qualità delle basi dati georiferite e alla scelta degli standard di interoperabilità più efficaci allo scopo.

Abstract

In according to the waste prevention and the separate collection quality improvement policies, planned by the Waste Management Provincial Programme, The Province of Turin is implementing an awareness big campaign addressed to the citizens, called "Blessed who does it. Well.", with the collaboration of the local waste management actors.
Between the campaign actions, a specific website, www.beataladifferenziata.it, realized by CSI Piemonte, has been implemented with all the information about the waste cycles and the correct separate collections to answer the question: which is the right bin for this type of garbage and where is the nearest one?
For this purpose, two GIS applications are being implemented, one for the website and another for the mobile devices, sharing the same dataset and services.
To achieve this objective it is essential to deal with the aspects of the dataset quality and the choice of the most proper technology applicable.

Le politiche di riduzione riuso e riciclo dei rifiuti della Provincia di Torino.

La riduzione della produzione di rifiuti è la priorità individuata dalla normativa europea e nazionale. Pur non essendo possibile la completa eliminazione dei rifiuti, risulta indispensabile prevenirne il più possibile la produzione, promuovendo un nuovo modello di sviluppo e di consumo sostenibile basato sulla sobrietà dei consumi e sul rispetto della natura.
Il raggiungimento di ambiziosi obiettivi di prevenzione è possibile solo attraverso un complesso sistema di azioni e buone pratiche.

Nell'ambito del Programma Provinciale di Gestione Rifiuti, approvato dal Consiglio provinciale nella seduta del 28 novembre 2006, con deliberazione 367482, sono previste azioni per la riduzione dei rifiuti e il miglioramento della raccolta differenziata. In particolare con la DGP 1534-47785 del 30 dicembre 2010, l'amministrazione provinciale ha previsto di sviluppare le seguenti linee di attività:

- promozione dell'autocompostaggio familiare (ca. 40.000 famiglie) e dell'autocompostaggio collettivo tramite progetti pilota quali l'attivazione di compostiere collettive semi-automatiche destinate ad assorbire il rifiuto organico prodotto da gruppi di utenze pari a 150-300 persone;
- promozione di consumi sostenibili ed educazione al consumo sostenibile;
- concorso a premi per i migliori 6 progetti di riduzione dei rifiuti presentati da Comuni;
- concorso a premi per i migliori 4 progetti di riduzione e raccolta differenziata dei rifiuti presentati da scuole del territorio provinciale (Provincia di Torino, 2010).

Mentre con riferimento all'obiettivo di mantenimento degli standard quali-quantitativi della raccolta differenziata nei territori dove questi siano già stati raggiunti e miglioramento quali-quantitativo negli altri casi, è stata prevista una campagna di comunicazione ai cittadini per il mantenimento dei buoni risultati raggiunti e il miglioramento della qualità e quantità della RD.

Beato chi la fa. Bene.

Nella provincia di Torino a partire dalla fine degli anni '90 si è dato significativo impulso alla raccolta differenziata su tutto il territorio, grazie anche ad un consistente impegno tecnico e finanziario. Il percorso avviato ha significato per il territorio provinciale il passaggio dal 18% di raccolta differenziata nel 2000 al 50% raggiunto già nel 2009, risultato che fra le province di dimensione similare è senza dubbio una particolare eccellenza. Il nuovo obiettivo ora è aumentare la raccolta differenziata e soprattutto migliorarne la qualità.

Infatti la credibilità del sistema di raccolta differenziata e delle aziende operanti nel settore è fondamentalmente basata sulla necessità di offrire garanzie circa il rispetto degli obiettivi non solo in termini di percentuali di rifiuti raccolti in modo differenziato, ma anche in termini di qualità del differenziato stesso. Si parla sempre troppo poco di qualità del raccolto e si dimentica che scarti troppo alti fanno raccogliere rifiuti e non materiale riciclabile; vi è dunque la necessità di affrontare tali problematiche con soluzioni che siano credibili a tutte le parti interessate, in primis i cittadini, parte attiva e determinante del processo di raccolta differenziata.

Il tema delle impurità è infatti spesso un problema ancora non ben risolto, che limita la qualità del materiale omogeneo (ad es. nel vetro si stimano intorno al 2-4%, nelle plastiche intorno al 10-15%, nella carta intorno al 5%). Questo porta a ridurre notevolmente il valore del materiale da riciclare e produce delle conseguenti diseconomie (si ricorda che gli stessi accordi CONAI prevedono differenti corrispettivi in base alla qualità del materiale consegnato). Si sconta sul tema ancora una scarsa sensibilizzazione e partecipazione dei cittadini (PPGR, 2006).

Proprio per questi motivi la Provincia di Torino ha deciso di lanciare nel 2012 una campagna di sensibilizzazione dei cittadini sul tema del miglioramento della qualità della raccolta differenziata.

La campagna, battezzata 'Beato chi la fa. Bene.", è finalizzata anche alla riduzione della produzione dei rifiuti oltre che all'aumento e al miglioramento della raccolta differenziata, e si articola infatti secondo il seguente schema:

- riduzione della produzione dei rifiuti;
- aumento della raccolta differenziata;
- miglioramento della qualità della raccolta differenziata ed in particolare miglioramento della qualità della:
  a. raccolta dei rifiuti organici;
  b. raccolta degli imballaggi in plastica;
  c. raccolta degli imballaggi metallici (frazione raccolta insieme al vetro o alla plastica a seconda dei territori);

d. raccolta degli imballaggi in vetro;
e. raccolta della carta e cartone;
f. raccolta del legno;
g. raccolta dei RAEE (Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche).



Figura 1. Home page del portale www.beataladifferenziata.it.

La campagna è stata progettata in modo partecipato e condiviso da parte di tutti i soggetti promotori: Provincia, Consorzi di bacino, ATO-R e CONAI.
La campagna si articola nella seguenti principali attività:

- incontri di concertazione e condivisione della campagna di sensibilizzazione con le amministrazioni locali e gli *stakeholders* del territorio. Gli incontri di concertazione sono importanti sia per il supporto alle attività logistiche sia come condivisione politica degli obiettivi e supporto alla campagna;
- *tour* sul territorio provinciale, nei comuni più virtuosi in termini di percentuale di raccolta differenziata raggiunta, per effettuare il *casting* per la scelta dei *testimonial* della campagna di affissioni;

- conferenza stampa di presentazione della campagna di sensibilizzazione;
- affissione dei manifesti (7 soggetti: organico, carta, plastica, vetro, metalli, legno, RAEE) in diversi formati (da 6x3 m a locandine);
- annunci su stampa nazionale locale;
- portale web dedicato www.beataladifferenziata.it (fig. 1);
- video esplicativi sulle filiere di riciclo/recupero (vetro, plastica, RAEE, carta, organico);
- realizzazione di *app* per *I-Phone* e *smartphone;*
- realizzazione e distribuzione di un vademecum con le regole per la corretta differenziazione dei singoli materiali;
- incontri con le scuole.

Dove lo butto?

Tra le azioni della campagna è stata prevista la realizzazione di strumenti informatici utili a guidare i cittadini al corretto conferimento dei rifiuti riciclabili.

In primo luogo è stato realizzato, con il supporto tecnico del CSI Piemonte, un portale *web* dedicato al tema del miglioramento della raccolta differenziata, www.beataladifferenziata.it, basato sulla piattaforma Joomla!. Ricco di informazioni e contenuti multimediali, il sito contiene in particolare il Dizionario dei rifiuti (fig. 2), un'applicazione che, partendo dall'oggetto di cui si ha la necessità di disfarsi, aiuta il cittadino a capire in quale tipo di struttura deve conferirlo (cassonetto dedicato o centro di raccolta) e lo guida attraverso una mappa geografica al punto più prossimo disponibile (fig. 3).

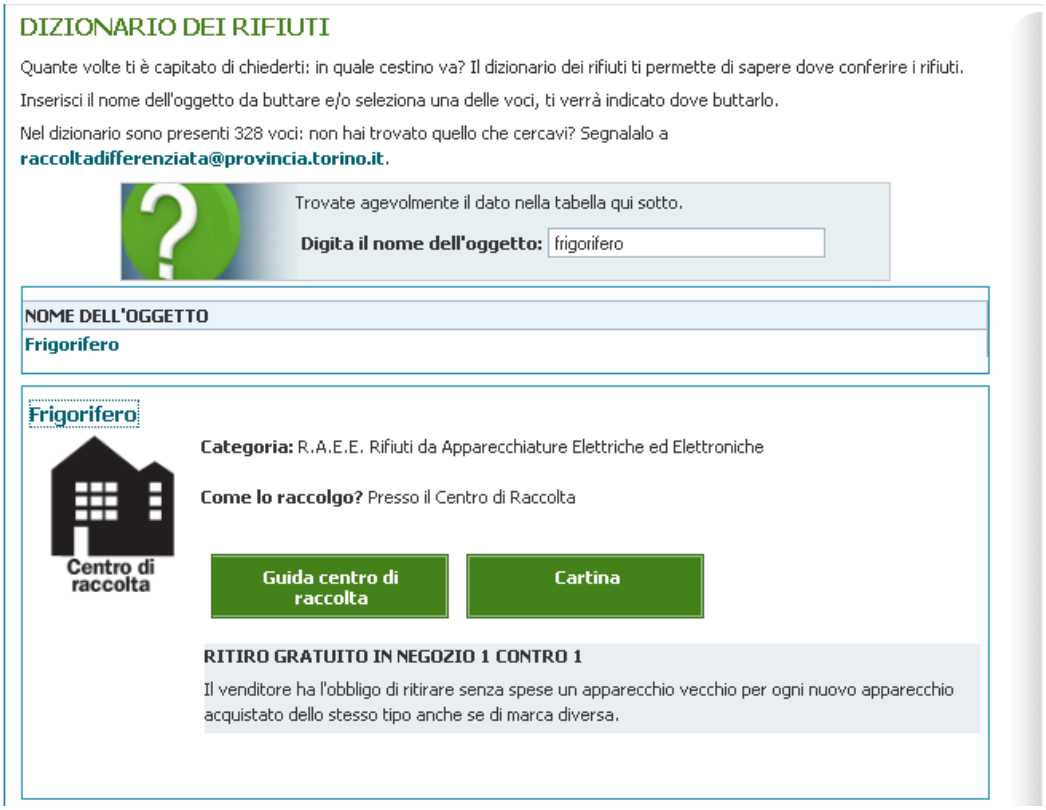


Figura 2. Il Dizionario dei rifiuti.

Lo sviluppo di analoga applicazione è prevista anche per *smartphone*, IOS e Android.
Grazie all'integrazione dei dati con le funzionalità GPS e le mappe disponibili sui dispositivi mobili, l'utente ha la possibilità di localizzare rispetto alla propria posizione il sito più vicino presso il quale conferire il tipo di rifiuto di cui ha la necessità di disfarsi. Riconosciuto l'oggetto attraverso il Dizionario dei rifiuti, l'utente viene direttamente condotto alla selezione cartografica dei siti corretti (cassonetti dedicati o centri di raccolta) presenti in un determinato raggio dalla propria posizione, il cui diametro può essere configurato dall'utente stesso.

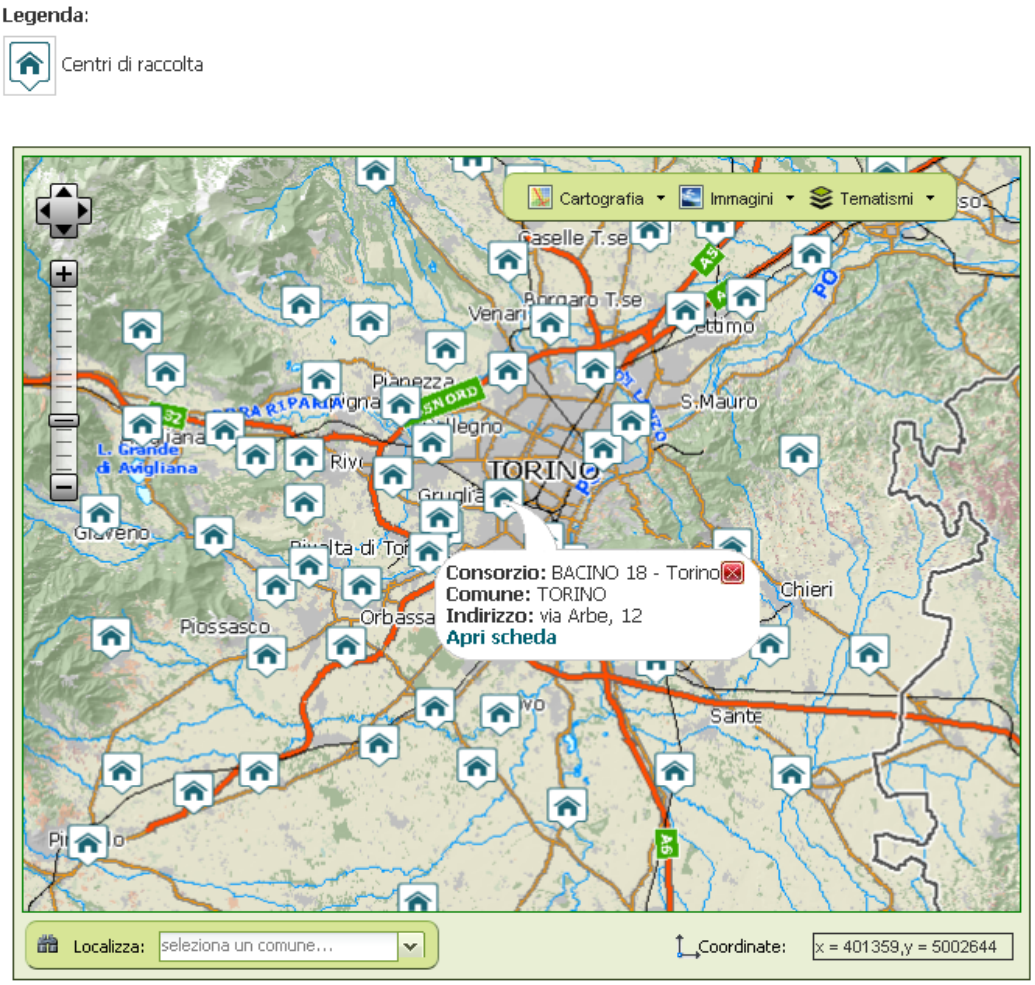


Figura 3. Mappa dei centri di raccolta dei rifiuti in Provincia di Torino.

Altre funzionalità dell'applicazione consentono di ricercare, su tracce alfanumeriche e/o per posizionamento geografico, l'elenco dei centri di raccolta presenti sul territorio, a prescindere dalla tipologia di rifiuto conferibile, e dei "punti riduci e riusa", ovvero distributori automatici e negozi presso i quali sia possibile acquistare prodotti privi di imballaggio o riciclati, classificati per tipologia di prodotto venduto (fig. 4).

Dati, servizi e architettura del sistema

I *dataset* geografici sui quali si basa l'applicazione del Dizionario dei rifiuti sono essenzialmente due: i cassonetti per la raccolta differenziata, distinti per frazione di rifiuto, e i centri di raccolta dei rifiuti. Il dato dei cassonetti, georiferiti sulla base dell'indirizzo e numero civico, è al momento disponibile solo per il Comune di Torino, ed è fornito da AMIAT S.p.A. la società che gestisce il servizio di raccolta rifiuti per la città. Non essendo esposti, al momento attuale, servizi di interoperabilità da parte del sistema informativo di AMIAT, il dato dei cassonetti viene integrato *off-line* nella base dati del sistema e aggiornato periodicamente.
Il dato dei centri di raccolta, localizzati anch'essi sulla base dell'indirizzo e numero civico con successiva verifica fotointerpretativa e, nei casi dubbi, confronto diretto con gli operatori delle società di gestione, copre tutto il territorio provinciale ed è gestito e aggiornato nell'ambito delle attività dell'Osservatorio Provinciale Rifiuti. Il dato è reso disponibile tramite servizi di interoperabilità esposti dall'infrastruttura del Sistema informativo territoriale e ambientale della Provincia di Torino gestita dal CSI Piemonte.
Sono inoltre stati georiferiti tramite indirizzo e numero civico, con successiva verifica tramite Street View di Google Maps, i "punti riduci e riusa", ottenendo un buon livello di precisione (fig. 4).

Uno dei principali requisiti richiesti all'infrastruttura è di permettere una gestione centralizzata dei dati consentendo la loro esposizione contemporanea a più *devices,* riducendo altresì al minimo l'onere di aggiornamento. Per ottenere tale risultato si è deciso di utilizzare un *web service* che accedendo ad un database centralizzato, potesse garantire buone prestazioni e flessibilità.
Tutti i dati geografici, relativi a centri di raccolta, cassonetti e 'punti riduci e riusa', opportunamente strutturati e organizzati, sono stati quindi centralizzati in un database geografico PostgreSQL.
Definiti opportunamente *template*s specifici per ogni dato, un apposito motore cartografico basato su MapServer è in grado di erogare diversi tipi di servizi fruibili con diversi strumenti a seconda delle esigenze.
Nel caso specifico il servizio eroga i dati in due formati differenti: GeoJSON e KML.
Il primo formato è stato scelto per la particolare compattezza. Il trasferimento dati verso dispositivi mobili è sempre un punto critico in termini di efficienza e in questo modo risulta essere piuttosto performante.
Il secondo formato invece è stato scelto per la grande diffusione e compatibilità con gli strumenti *web* più vari. La *web application* di rappresentazione del dato geografico, basata sulla libreria *open source* OpenLayers, visualizza nativamente tale formato limitando notevolmente le attività di sviluppo.
Nonostante l'uso di servizi "snelli" le problematiche maggiori restano comunque legate alla pesantezza dei dati in particolare al *dataset* dei cassonetti (dell'ordine delle decine di migliaia di punti).
Per limitare tali problemi sono stati introdotti filtri sulla tipologia di cassonetto, permettendo quindi di rappresentare contemporaneamente solo i cassonetti per la raccolta differenziata di una determinata tipologia di rifiuto. In aggiunta si è reso necessario l'introduzione di limiti di scala per la visualizzazione del dato geografico.
Sui dispositivi mobili vengono quindi visualizzati i dati relativi ad una determinata tipologia di rifiuto, al di sotto di una certa scala e in un intorno configurabile di metri rispetto alla posizione rilevata dal GPS.
Gli stessi criteri sono stati utilizzati per la *web application* utilizzando parametri meno stringenti e facendo riferimento alla posizione individuata tramite una ricerca per indirizzo.
I dati e i servizi opportunamente metadocumentati saranno resi disponibili anche tramite il Catalogo dei dati territoriali e ambientali della Provincia di Torino integrato nell'infrastruttura geografica regionale.

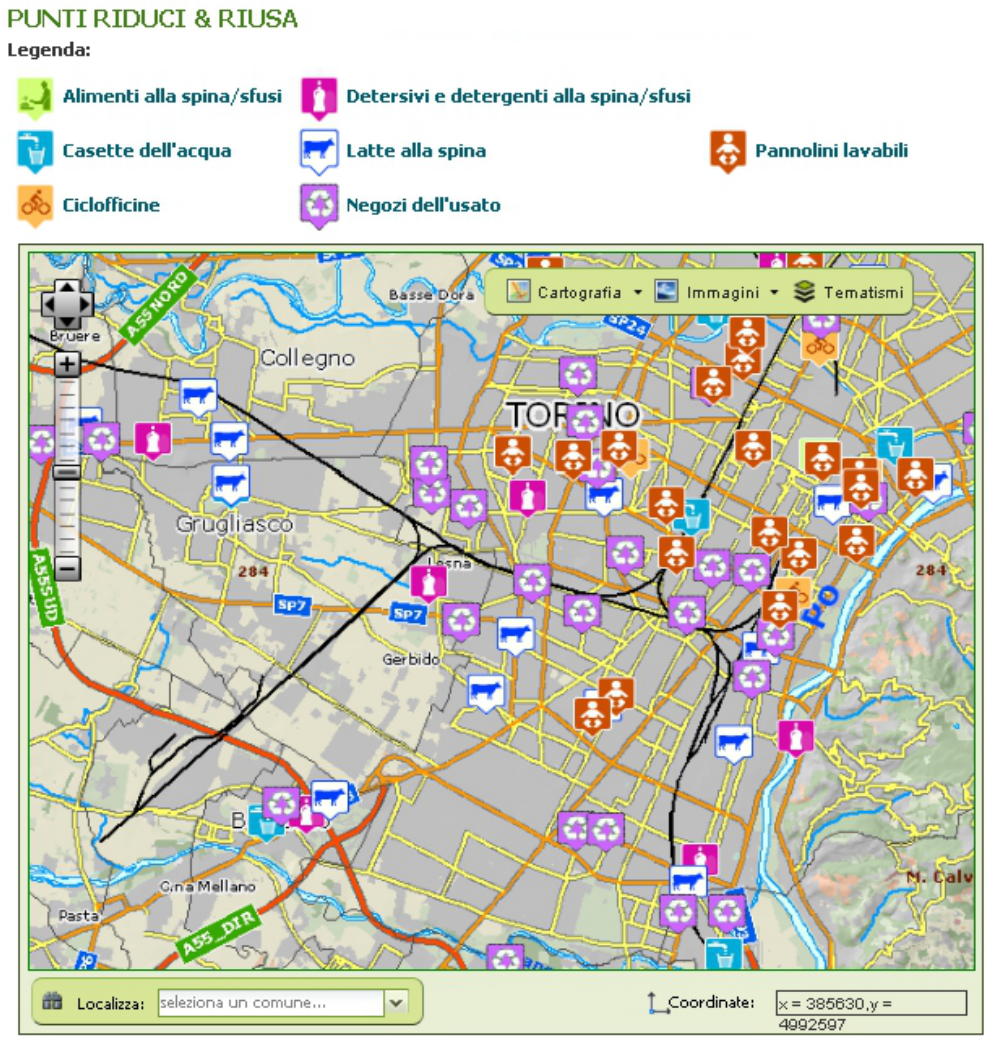


Figura 4. Mappa dei "punti riduci e riusa".

Primi risultati e prospettive

Dall'avvio della campagna, lanciata ufficialmente con la conferenza stampa tenutasi a Torino il 5 giugno 2012 nell'ambito della manifestazione Cinemambiente, il numero di visualizzazioni di pagina del portale www.beataladifferenziata.it, monitorato tramite Google Analytics, ammonta a circa 38.000, che corrisponde circa al doppio delle visualizzazioni di pagina della sezione rifiuti del sito ufficiale della Provincia nello stesso periodo, con un picco nei giorni del lancio e un naturale calo nei mesi di ferie estive (fig. 5). Nell'autunno è previsto un richiamo della campagna con una nuova tornata di affissioni, ci si aspetta pertanto un nuovo picco di accessi.

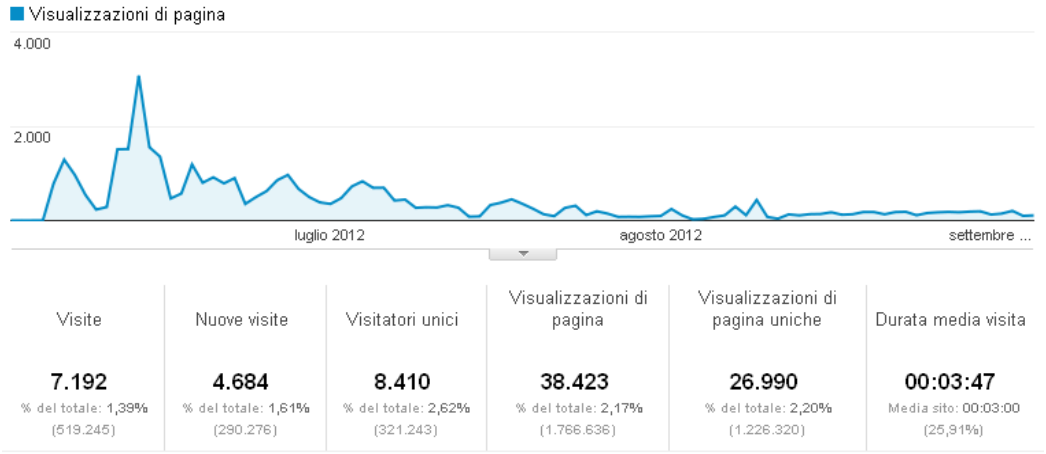


Figura 5. Monitoraggio accessi al portale www.beataladifferenziata.it.

Le pagine più visitate sono proprio quelle relative al Dizionario dei rifiuti (ca. 4.000 visualizzazioni) e alla mappa dei centri di raccolta (ca. 2.600), dimostrando quindi l'utilità degli strumenti predisposti su *web*. L'esigenza da parte della cittadinanza di avere maggiori informazioni sulla raccolta differenziata è dimostrata anche dalle numerose segnalazioni ricevute via mail all'indirizzo raccoltadifferenziata@provincia.torino.it (circa 50), parte delle quali con richieste di inserimento di nuove voci nel Dizionario che infatti si è arricchito di una ventina di voci dalla sua prima pubblicazione. L'applicazione per *smartphone,* il cui rilascio è previsto per l'autunno, costituisce un ulteriore strumento messo a disposizione dei cittadini per supportarli nell'impegnativo compito di effettuare una corretta raccolta differenziata.

Bibliografia

Provincia di Torino (2012), "Beato chi la fa. Bene", *www.beataladifferenziata.it*

Provincia di Torino (2011), *Rapporto sullo stato del sistema di gestione dei rifiuti – novembre 2011* *http://www.provincia.torino.gov.it/ambiente/rifiuti/osservatorio/rapp_oss_11*

Provincia di Torino (2010), *Azioni di sostegno alla raccolta differenziata e alla riduzione dei rifiuti.* Deliberazione di Giunta Provinciale 1534 – 47785/2010 del 30 dicembre 2010 *http://www.provincia.torino.gov.it/attiweb/giunta/2010/20101230/2010_47785.pdf*

Provincia di Torino (2006), *Programma Provinciale Di Gestione Dei Rifiuti*, approvato con deliberazione del Consiglio Provinciale n. 367482 del 28 novembre 2006, *http://www.provincia.torino.gov.it/ambiente/rifiuti/programmazione/ppgr2006*

Banche dati geoarcheologiche della laguna e della città di Venezia

L. Fozzati (*), P. Furlanetto (**), A. Bondesan (***)

(*) Soprintendenza per i Beni Archeologici del Friuli Venezia Giulia, Sede di Trieste, Viale Miramare 9, 34135 Trieste, Tel. 040 4261411, Fax 040 4261422, luigi.fozzati@beniculturali.it
(**) Akeo, Studi e indagini territoriali, Via Beato Pellegrino 65, 35137 Padova, 049 8711450, Fax 0498711450, paola.furlanetto@akeo.191.it
(***) Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze, Via Gradenigo 6, 35131 Padova (Italy), aldino.bondesan@unipd.it, +39-049-8274085, +39-0421-326532,

Riassunto
Attraverso un approccio intersciplinare che comprende archeologia, antropologia, geologia, geomorfologia, palinologia e archeozoologia e la cartografia storica sono state compilate le banche dati geografiche che contengono la descrizione delle emergenze archeologiche, dei contesti geomorfologici e dell'evoluzione geografica antica del comprensorio lagunare e della città di Venezia. La cartografia derivata, di tipo diacronico, consente la rappresentazione delle fasi evolutive antropiche e naturali dall'età dei primi insediamenti fino ai giorni nostri. I data set derivano dalle attività istituzionali durate circa vent' anni da parte dell'Ufficio Nausicaa (Soprintendenza per i Beni archeologici del Veneto) con oltre un migliaio di interventi in laguna, da circa ottocento siti archeologici identificati da E. Canal durante la sua pluridecennale attività di ricerca, dalle numerose ricerche di tipo cartografico condotte in ambito provinciale sia dagli Enti Locali che dall'Università di Padova e attraverso l'informatizzazione di tutti dati operata dal Consorzio Venezia Nuova.

Abstract
Geographic databases have been compiled through a multidisciplinary approach that includes archeology, geology, geomorphology and historical maps. They contain descriptions of archaeological sites, contexts and geomorphological evolution of the ancient geographical area of the lagoon and the city of Venice. The derived maps are diachronic and allows the representation of the human and natural evolutionary phases from the first settlements to the present day. The data set derives from institutional activities undertaken for more than a decade by Nausicaa wih more than a thousand of interventions in the lagoon, about eight hundred archaeological sites identified by E. Canal during his decades of research, numerous surveys and mapping conducted at provincial level both by local authorities and the University of Padua and through digital processing made by the Consorzio Venezia Nuova.

L'archeologia lagunare: storia degli studi

L'archeologia lagunare nasce soltanto alla metà del XVIII secolo. L'interesse tardivo per le epoche più antiche è dovuto soprattutto alla difficile lettura e interpretazione delle tracce antropiche in un ambiente anfibio, fortemente urbanizzato, come la Laguna di Venezia. Si tratta di un territorio dalla genesi ed evoluzione complesse, caratterizzato da subsidenza e soggetto a periodiche alternanze di aumento del livello marino e sommersione parziale delle terre e abbassamento del livello marino e conseguente emersione delle stesse. Alla difficoltà oggettiva di operare in un ambiente così complesso e del tutto particolare, si deve aggiungere anche la radicata convinzione - che tanto peserà e condizionerà gli studi fino agli anni 80 del XX secolo - che la laguna in epoca antica fosse

disabitata e morfologicamente simile all'attuale, e che la sua storia umana coincidesse con la storia della città di Venezia.
Nel 1761 Tommaso Temanza (1705-1781) pubblica quella che può essere considerata come la prima relazione scientifica di scavo di un edificio di epoca romana rinvenuto in un'area barenicola ai margini della Laguna, nell'area del Bondante (1756). Per la prima volta affronta anche gli aspetti morfologici ed elabora le prime ricostruzioni del paesaggio della laguna in epoca antica (1761). Tra la fine del 1700 e la metà del 1800 si occuperanno di archeologia lagunare a vario titolo Angelo Zendrini (1763-1849), Giovanni Davide Weber (1773-1847) e Giovanni Casoni (1783-1857). L'intensa attività di controllo in Laguna di Casoni, ingegnere della Marina, gli permise di scoprire e pubblicare, attraverso minuziose relazioni di scavo, che per la prima volta mettevano in relazione e comprendevano stratigrafie e dati archeologici, una nutrita serie di strutture e monumenti funerari che attribuì, non sempre correttamente, ad epoca romana e medievale. Il metodo e l'opera di ricerca, che si potrebbe definire sistematica *ante litteram*, di Casoni, verrà successivamente ripresa e discussa da due protagonisti dell'acceso dibattito sulla nascita "umana" della laguna: Giuseppe Marzemin (1876-1946), convinto assertore della sua romanità (1937) e Giovanni Brusin (1883-1976), funzionario della Soprintendenza, strenuo sostenitore con Forlati Tamaro (1956), di una laguna non abitata in epoca romana, che considerava di riporto i reperti ivi rinvenuti, probabilmente provenienti dall'area archeologica di Altino. È in questo contesto che a metà degli anni '60, comincia a operare Ernesto "Tito" Canal, a buon diritto riconosciuto come l'illuminato pioniere dell'archeologia veneziana, impegnato in una paziente e scrupolosa ricerca, raccolta e sistemazione di segni di una laguna antica, che spaziavano dall'archeologia, alla geomorfologia, alla geologia, alla cartografia storica. Per oltre 50 anni si è occupato di ricerche in laguna mettendo a punto strumenti mai utilizzati prima e, nelle vesti di Ispettore Onorario della Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto, ha identificato centinaia di siti (più di 800), effettuato oltre un migliaio di carotaggi, raccolto e consegnato alla medesima Soprintendenza migliaia di reperti (Canal, 1995; 1997). L'approccio multidisciplinare caratterizza l'opera monumentale sulle origini di Venezia di Wladimiro Dorigo (1983). Per la prima volta veniva data notizia, ma soprattutto credito, delle scoperte di Ernesto Canal. L'ipotesi avanzata da Dorigo di una laguna in età romana per gran parte emersa, fittamente abitata e centuriata ne mutò per sempre l'immagine, rivelando una "Venezia prima di Venezia", insospettata e fino ad allora insospettabile. Saranno molti gli oppositori, tutti eminenti studiosi, che rifiutarono, coerenti con le conoscenze di allora, l'ipotesi di una laguna diversa, emersa e in gran parte centuriata, rivendicando il ritorno a metodi di ricerca più tradizionali e la rilettura rigorosa delle fonti antiche (Bosio, 1983-84). L'opera di Dorigo diede avvio a un'altra stagione archeologica, diversa per metodo, strumenti e conoscenze: prima, con la nascita nel 1987 del Centro Tecnico per l'Archeologia Lagunare, poi, nel 1997, del Nucleo di Archeologia Umida Subacquea Italia Centro Alto Adriatico (Nausicaa), diretto da Luigi Fozzati, che promuoverà più di un migliaio tra scavi e sondaggi in Laguna, con il recupero di centinaia di migliaia di reperti (Fozzati et al., 1998; Fozzati, 2007; Fozzati, D'Agostino, 2001).

Le banche dati archeologiche

L'elaborazione della prima carta archeologica della laguna risale al 1996, a cura del Magistrato alle Acque - Consorzio Venezia Nuova - Servizio informativo, sotto la direzione scientifica della Soprintendenza ai Beni Archeologici del Veneto. Ad essa è associato, attraverso un GIS, il DB SITAR (Siti archeologici lagunari), collegato al software Cad Microstation, che gestisce carte vettoriali e immagini. Per ogni sito sono state compilate numerose maschere, relative agli aspetti archeologici, cartografici, geomorfologici e geologici. Sono 227 i siti riportati, di questi 165 identificati da Canal, 82 frutto di recenti sondaggi e scavi. Nel 2004 viene pubblicata la Carta geomorfologica della provincia di Venezia, che per la prima volta riporta, analizza, sottopone a revisione ed interpreta insieme, dati archeologici (100 i siti esaminati), cartografici e geomorfologici della Laguna (Bondesan, Meneghel, 2004; Bondesan et al, 2004, Carta

geomorfologica della provincia di Venezia. Area della Laguna di Venezia, scala 1: 50 000; Furlanetto, 2004). Durante l'elaborazione della Carta geomorfologica ha avuto inizio il Progetto Laguna Omnia, a cura di Paola Furlanetto, e realizzato dal Magistrato alle Acque – Consorzio Venezia Nuova – Servizio Informativo, sotto la direzione scientifica della Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto, che ha previsto la creazione di un data base, nato con l'intento di digitalizzare, riordinare, registrare e conservare la gran mole di documenti e informazioni inedite prodotte da Ernesto Canal in 50 anni di attività. Sono 400 circa i siti archeologici finora cartografati e inseriti in data base, 111 le tavole dei rilievi, centinaia le fotografie, 77 le radiodatazioni, un migliaio i carotaggi.

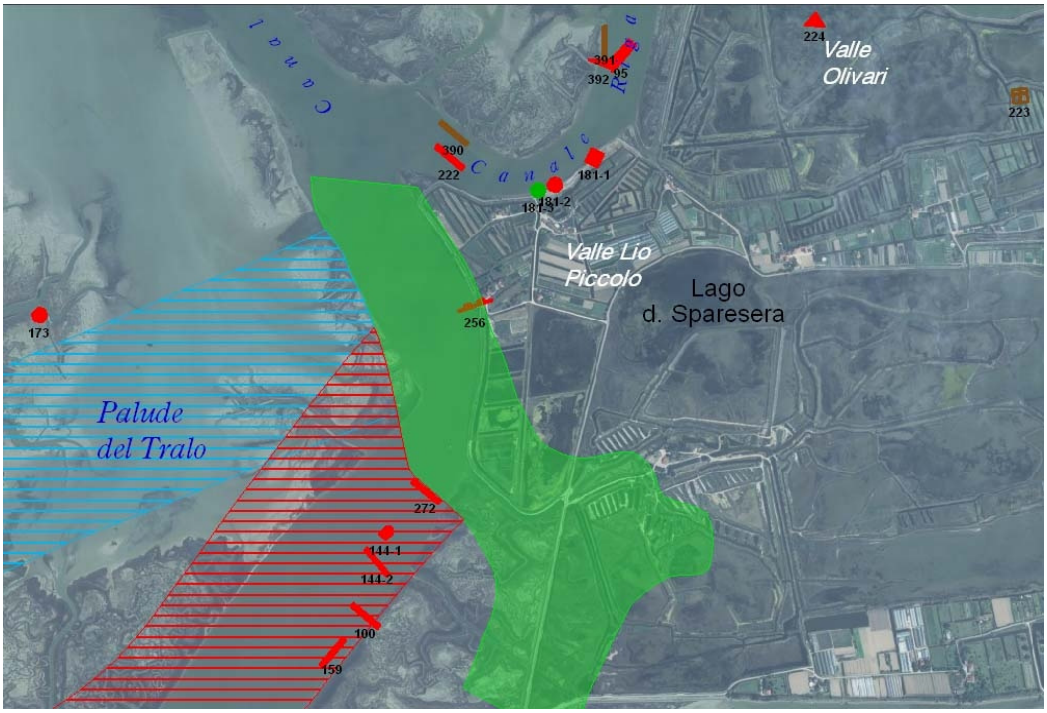


Figura 1. Antichi lidi (in celeste di epoca preromana; in rosso di epoca romana) desunti da indagine geomorfologica e siti archeologici di epoca romana nei pressi di Lio Piccolo.

I data base di cartografia storica e moderna, geomorfologici e paleoambientali

Il progetto Imago (*Image Map Archive Gis Oriented*) (2000-2011), finanziato dal Consorzio Venezia Nuova - Servizio Informativo - elaborato e diretto da Paola Furlanetto e Aldino Bondesan- è finalizzato alla creazione di un data base di carte storiche (circa 350) conservate all'Archivio di Stato di Venezia e alla ricostruzione cartografica diacronica dei cambiamenti che il territorio veneziano ha subito nel corso del XVI e XVII secolo (Furlanetto et al., 2004; Furlanetto, Primon, 2004; Furlanetto et al*.,* 2009; Bondesan, Furlanetto, 2012; Furlanetto, Bondesan, 2012; Furlanetto et al, 2012).

Sono ancora molti i fondi e i data base realizzati e/o conservati dal Consorzio Venezia Nuova – Servizio Informativo, relativi alla Laguna: i progetti Echos, geo - archeologico, e Clio, archeo - cartografico, che hanno visto coinvolti Archivio di Stato, Nausicaa e CNR; le raccolte delle foto aeree (strisciate dal 1996 al 1998) e satellitari (Landsat e Spot, e Ikonos, luglio 2007), le carte moderne, in formato digitale georiferito, tra le altre, quelle di Von Zach (1798-1805), Denaix, De Bernardi, del Lombardo Veneto, le Carte tecniche regionali e IGM.

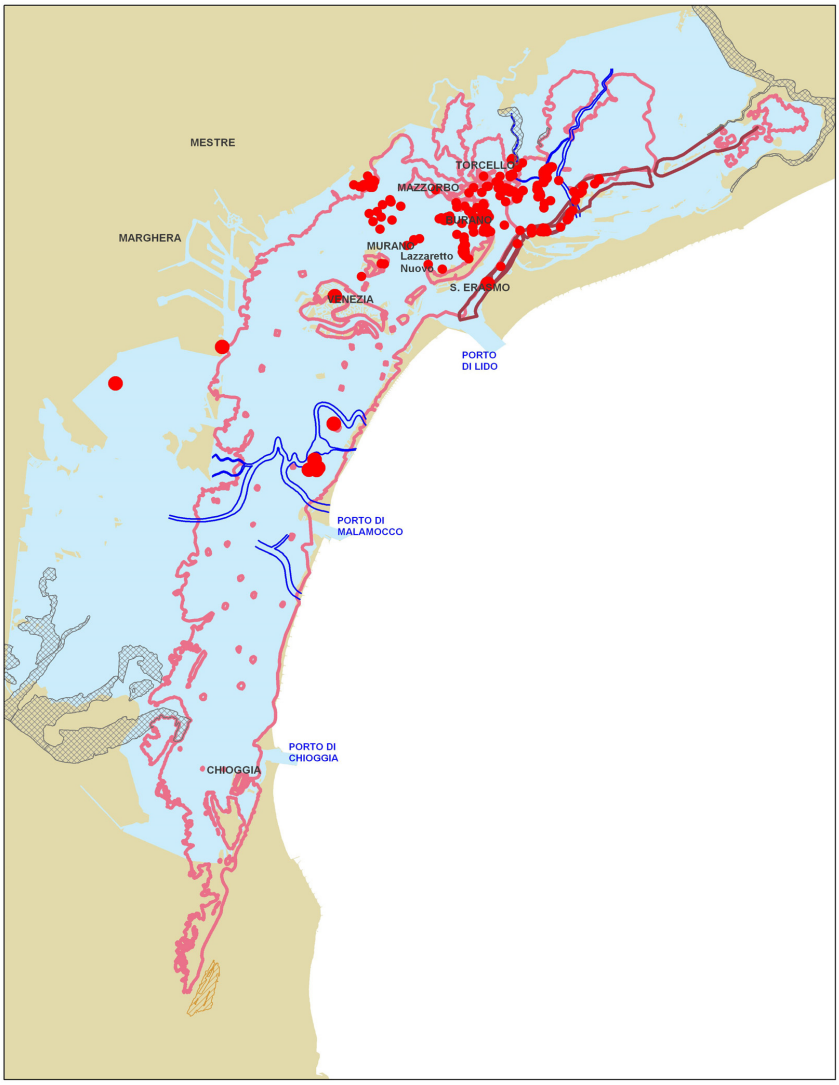


Figura 2. La laguna di Venezia in epoca romana. La linea rosa indica il margine interno lagunare, desunto da georeferenziazione e restituzione grafica delle carte storiche del XVI secolo, e le antiche linee di costa desunte da indagini geomorfologiche (Furlanetto et al., 2012).

Il progetto Archeomar

Un progetto attualmente in corso prevede la realizzazione di unico data base geoarcheologico della Laguna attraverso il completamento, la revisione e la riunificazione delle banche dati SITAR e Omnia Laguna e l'immissione di circa 1500 nuovi siti desunti da scavi e sondaggi recenti operati da Nausicaa negli ultimi venticinque anni. Una volta completata l'opera di raccolta e omogeneizzazione, tutti i dati verranno importati e confluiranno nel Progetto ARCHEOMAR, censimento dei beni archeologici sommersi, mari, fiumi, laghi e lagune d'Italia, progetto gestito e diretto dalla Ministero per i Beni e le Attività Culturali – Direzione Generale per le Antichità**.** Per le operazioni di spoglio dei dati pregressi sono state elaborate delle schede *ad hoc*, calibrate sulle esigenze tecniche del progetto, in modo da standardizzare tipologicamente e qualitativamente la

raccolta delle notizie necessarie al censimento del patrimonio archeologico subacqueo. Per ogni sito è stata inoltre realizzata una base di dati costituita da immagini, foto, filmati, schede documentali e ogni altra informazione ritenuta significativa per gli scopi del progetto: all'interno del GIS è possibile accedere a questi dati attraverso la consultazione degli allegati associati ad ogni sito.

L'approccio interdisciplinare: primi risultati

L'approccio multidisciplinare consente di elaborare una cartografia della Laguna di Venezia sempre più precisa ai fini della ricostruzione storico-geografica e del paesaggio. Le carte prodotte in occasione di lavori di impatto archeologico, ad esempio, possono utilizzare, confrontare e analizzare dati archeologici, geomorfologici, geologici e cartografici. Un ruolo importante nella costruzione delle carte di rischio archeologico ha assunto la cartografia storica cinquecentesca che riporta una laguna per molti aspetti simile a quella antica, e periodicamente, per gran parte emersa, come quella, ad esempio, di età romana (fig 2). Ai fini della tutela e salvaguardia lagunare si è rivelata molto utile anche la Carta delle erosioni e delle sedimentazioni (1970-2002), prodotta dal Consorzio Venezia Nuova – Servizio Informativo (Datei, Monsutti, 2010), che è stata messa a confronto con la carta dei siti archeologici, con la cartografia storica, con la carta geomorfologica, con le molte radiodatazioni e con gli studi sulle oscillazioni dei livelli marini curate dal CNR e da Ernesto Canal (Furlanetto et al., 2012). Il risultato è l'elaborazione di carte sincroniche, dal Mesolitico all'età medievale e moderna che, seppur a grandi linee, da una parte rivelano l'evoluzione della laguna, la sua estensione e il popolamento nelle varie epoche, dall'altra consentono, attraverso il confronto con le altre disponibili, di identificare le aree archeologiche attualmente più a rischio di erosione in Laguna (Furlanetto, 2012; Furlanetto e tal. 2012).

I dati geoarcheologici rivelano l'esistenza in età antica di una laguna estremamente dinamica sotto il profilo geomorfologico e antropico, con un bacino ristretto rispetto all'attuale e una linea di lidi arretrata, che alterna fasi regressive caratterizzate da terre emerse sempre più fittamente insediate, a fasi di ingressione marina con conseguente sommersione parziale e rarefazione antropica. Nel tempo si sono quindi succedute varie fasi di spostamento della linea di costa con variazioni anche importanti dell'estensione della Laguna e della posizione delle terre emerse (fig. 1). La colossale opera di allontanamento dei fiumi dalla laguna nel XVI e XVII secolo ha contribuito a generare profondi mutamenti della geografia lagunare ai quali si sono adattati gli abitanti, mentre in tempi a noi più vicini le opere di bonifica, l'escavo dei canali, la realizzazione di barene artificiali e gli interventi sui litorali hanno alterato in modo eclatante dinamiche e morfologie lagunari, innescando processi erosivi che hanno distrutto o stanno portando a distruzione gran parte del patrimonio archeologico lagunare.

Biliografia

Bondesan A., Meneghel M. (a cura di) (2004), *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 516 pp

Bondesan et al., (2004), Bondesan A., Meneghel M., Rosselli R. & Vitturi A., *Carta geomorfologica della provincia di Venezia. Edizione digitale alla scala 1:20.000.* CD-Rom allegato al testo *Geomorfologia della provincia di Venezia* - Magistrato alle Acque - Servizio Informativo, Padova.

Bondesan A., Furlanetto P. (2012), *The Artificial Fluvial Diversions in the Mainland of the Lagoon of Venice during the XVI and XVII Centuries inferred by historical cartography analysis*, Géomorfologie: rilief, processus, environments, 2, pp.175-200.

Bosio L. (1983-1984), *Note per una propedeutica allo studio storico della laguna veneta in età romana*, Atti dell'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, CXLII (1983-1984), pp. 95-126.

Canal E. (1995), *Le Venezie sommerse: quarant'anni di archeologia lagunare*, in Caniato G. , Turri E., Zanetti M. (a cura di), *La laguna di Venezia.* Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, pp.193-226.

Canal E. (1998), *Testimonianze archeologiche nella Laguna di Venezia - L'età antica*. Edizioni del Vento, Venezia, 91 pp.

Canal E. (2004), *Per una Venezia prima di Venezia: per una Carta Archeologica della laguna di Venezia,* in Bondesan A., Meneghel M., *Geomorfologia della provincia di Venezia*, Esedra, Padova, 363-366.
Datei S., Monsutti G. 2010 (a cura di), *Il servizio informativo. Conoscenza e gestione del territorio come risorsa condivisa,* Quaderni del Magistrato alle Acque di Venezia, Marsilio, Venezia, 139 pp.
Dorigo W., (1983), *Venezia. Origini, ipotesi e ricerche sulla formazione della città,* Electa , Venezia, 1-2-3, 775 pp.
Forlati Tamaro B. (1956), Pietre di Altino a Venezia, in Atti del convegno per il retroterra veneziano,13-15 novembre 1955, Venezia, p. 57
Fozzati L. et al (1998), Fozzati L., Arenoso Callipo C., D'Agostino M., *Archeologia delle acque nella laguna di Venezia,* in Volpe G. (a cura di), *Archeologia subacquea. Come opera l'archeologo sott'acqua. Storia delle acque,* VII ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia, Certosa di Pontignano Siena, 9-15 dicembre 1996, Edizioni all'insegna del giglio, pp.183-215
Fozzati L. (2007), *L'archeologia*, 839-856, in G. Distefano, *Atlante storico di Venezia*, Venezia, Supernova, pp. 839-856
Fozzati L., D'Agostino (2001), *La carta archeologica della laguna di venezia. Uno strumento di tutela preventiva e di pianificazione degli interventi di manutenzione*, in B. Amendola, *Carta Archeologica e pianificazione territoriale, Un problema politico e metodologico*, Incontro di Studi, Roma marzo 1997, Fratelli Palombi Editore, pp. 125-128
Furlanetto P. (2004), *L' archeologia*, in Bondesan A., Meneghel M. (a cura di), *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*, Esedra, Padova, pp. 84-97.
Furlanetto P. (2012), *Profilo storico*, in *Geoatlante della Provincia di Venezia, Note illustrative*, Arti grafiche Venete, Venezia, pp. 79-136
Furlanetto et al (2004), Furlanetto P., Bondesan A., Rosselli R., Pacquola S. & Rasador A. - *Progetto Imago: La banca dati della cartografia storica della laguna di Venezia realizzata dal Magistrato alle Acque*, "Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA", 14÷17 dicembre, Roma, pp.1005-1110.
Furlanetto et al (2009): Furlanetto P., Bondesan A., Levorato C., Rosselli R. & Bertani B.- *Progetto Imago: La ricostruzione della laguna e dell'entroterra veneziano attraverso l'impiego della cartografia storica*, Atti 13° Conferenza Nazionale ASITA, 1÷4 dicembre, Fiera del Levante, Bari, Poster
Furlanetto P., Bondesan A. (2012), *Il progetto Imago*, in *Geoatlante della Provincia di Venezia, Note illustrative*, Arti grafiche Venete, Venezia, 146 pp.
Furlanetto P. et al. (2012), Furlanetto P., Bondesan A., Fozzati L., Canal E., Rosselli R., Bertani B., *Siti archeologici a rischio di erosione nella Laguna di Venezia. Evoluzione geomorfologica e popolamento antico*, in "Geologia dell'ambiente", Atti del workschop Erosione costiera in siti di interesse archeologico, 2-3 ottobre Isola del Lazzaretto Nuovo, Venezia- Laguna nord, pp.41-46
Furlanetto P., Primon S. (2004), *La cartografia storica*, Bondesan A. & Meneghel M. (a cura di), *Geomorfologia della provincia di Venezia.* Esedra, Padova, 73-77.
Lizza A., *Storia dell'archeologia lagunare di Venezia. L'epoca moderna e contemporanea: Giovanni Casoni, G. Marino Urbani de Gheltof, Luigi Conton, Ernesto Canal*, Università di Venezia, Lettere e filosofia, a.a. 1997-1998
Marzemin G. (1937), *le origini romane di venezia*, Fantoni, Venezia
Temanza T., (1756) , *Zibaldone*, III, ms 888 sub i, Biblioteca del Seminario Patriarcale di Venezia.
Temanza T. (1761), *Dissertazione sopra l'antichissimo territorio di s. Ilario nella diocesi di Olivolo, in cui molte cose si toccano all'antico stato della Venezia marittima appartenenti*, Venezia, Pasquali
Urbani De Gheltof G. (1880-1881), *Preistoria di Venezia*. Bullettino di arti, industrie e curiosità veneziane, pp.132-144.

Indagini termografiche e trasformazioni architettoniche nelle chiese del centro storico e nel territorio di Siliqua (Sardegna sud-occidentale)

Paolo Frongia (*), Felice Di Gregorio (**), Giuseppe Piras (***)

(*) Dottorando in Difesa del Suolo, Vulnerabilità Ambientale e Protezione Idrogeologica, Università di Cagliari, pao.frongia1@studenti.unica.it
(**) Professore Associato di Geologia Ambientale, Dipartimento Scienze della Terra, Università di Cagliari, digregof@unica.it
(***) Dottore di Ricerca in Geografia Ambientale, Università di Cagliari, piras.giuseppe@tiscali.it

Riassunto
La termografia a raggi infrarossi, come noto, consente l'analisi strutturale di manufatti edilizi sulla base dell'individuazione di zone a differente temperatura e di possibili processi di scambio termico in stretta relazione con la risposta dei materiali utilizzati alle sollecitazioni termiche a cui sono interessati.
Le immagini termiche, soprattutto se acquisite mediante strumentazione caratterizzata da elevata risoluzione e sensibilità, consentono di mettere in evidenza, oltre alla presenza di anomalie legate a processi di alterazione e degradazione dei materiali utilizzati, eventuali trasformazioni architettoniche avvenute nella storia del manufatto e, in particolare, caratteri costruttivi originari nascosti da interventi posteriori.
Sulla base di questi presupposti, il metodo termografico è stato applicato per lo studio di alcuni tra gli edifici storico-religiosi presenti nel paese di Siliqua (Sardegna sud-occidentale): la Chiesa di San Giorgio, la Chiesa di Sant'Anna e la Chiesa di Santa Margherita. La ricerca, in particolare, ha consentito di mettere in evidenza la struttura e la tessitura muraria dei prospetti principali, oggi coperta dall'intonaco e, sulla base di documenti storici e delle immagini fotografiche del passato, tarare la risposta termica acquisita in base alle specifiche caratteristiche dei materiali utilizzati.
Per lo studio su edifici storici è stata condotta una campagna di indagini telemetriche non distruttive mediante l'utilizzo della *Termocamera IR Thermo Tracer TH9260 (NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd*) della quale si riportano nel prospetto seguente le principali caratteristiche operative.

Specification	
Measuring range	- 20 ~ 60 °C
Resolution	0.06 °C at 30°C (30Hz)
Spectral range	8 ~13 μm
I.F.O.V.	0.6 mrad
Field of view	21.7°(Horizontal) x 16.4°(Vertical)
Thermal image pixels	640 (H) x 480 (V)

Abstract
IR thermography, as known, allows the analysis of structural building elements on the basis of the identification of areas at different temperatures and possible heat transfer processes in close relationship with the response of the materials used to thermal stresses to which they are interested.
The thermal images, especially if acquired through instrumentation characterized by high resolution and sensitivity, allow to put in evidence, in addition to the presence of anomalies associated with processes of alteration and degradation of the materials used, any architectural transformations

occurred in the history of the article and, in particular, original characters constructive hidden by later interventions.
Based on these assumptions, the thermographic method has been applied to the study of some of the historical and religious buildings in the country of Siliqua (south-western Sardinia): the Church of San Giorgio, the Church of Sant'Anna and the Church of Santa Margherita. The research, in particular, has made it possible to highlight the structure and texture of the main elevations of walls, now covered by plaster, and, on the basis of historical documents and photographs of the past, adjust the thermal response acquired with the specific materials used.
For the study of historic buildings has been carried out non-destructive telemetry investigations through the use of Thermal Imaging Camera IR Thermo Tracer TH9260 (NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd) of which are shown in the table above the main operational characteristics.

Le strutture architettoniche analizzate
Nel presente lavoro l'indagine termografica è stata applicata per lo studio di tre storici edifici religiosi ubicati nel centro storico e nel territorio di Siliqua (Sardegna sud-occidentale): la Chiesa di San Giorgio, la Chiesa di Sant'Anna e la Chiesa di Santa Margherita.
La parrocchiale di Siliqua, intitolata a San Giorgio martire, si trova nel centro storico del paese ed è costituita essenzialmente da navata unica con cappelle laterali. Studi storici hanno accertato una cronologia per la sua edificazione che oscilla tra la fine del XII - inizi XIII sec.; rispetto al primo impianto romanico, la chiesa ha subito diverse modifiche dell'assetto architettonico, fino ai lavori di restauro avvenuti nel 1984.
La Chiesa di Sant'Anna, considerata per tradizione la prima parrocchiale, ubicata anch'essa nel centro di Siliqua, è interamente concepita secondo lo schema gotico catalano, con un'unica navata e pianta a croce latina. La sua fondazione è fatta risalire a prima del 1481 sulla base di un documento che, datato in quell'anno, attesta i lavori di riedificazione di una chiesa preesistente completamente caduta in rovina. Anch'essa è stata interessata da modifiche strutturali ed architettoniche nel corso del tempo.
La Chiesa di Santa Margherita, ubicata nella campagna limitrofa al paese, presenta una navata unica e il tetto con intavolatura in legno e in tegole; anche dopo il restauro, avvenuto nel 1947, presenta le forme primarie gotico-catalane con facciata a terminale piano orlato di merlatura che, secondo le attestazioni storico-architettoniche, risale probabilmente al 1600.

Risultati delle indagini
Le indagini termografiche hanno consentito di individuare, coerentemente con la ricostruzione storica e documentale degli edifici considerati, la struttura e la tessitura del paramento murario relativo alla facciata principale, costituito essenzialmente da trovanti o conci più o meno squadrati in pietra, ma oggi rivestito da intonaco, nonché le modificazioni architettoniche intervenute rispetto all'impianto originario.
Nel caso della **Chiesa di San Giorgio**, in particolare, la mappa termica "a scacchiera", con zone relativamente più calde e più fredde, ha messo in risalto l'eterogeneità del materiale litoide utilizzato per l'edificazione della facciata principale, caratterizzata dall'alternanza, seppur senza una predefinita regolarità, di conci squadrati di media pezzatura, concorde con lo stile romanico del quale si rinvengono numerose testimonianze analoghe in Sardegna.
Documenti fotografici storici relativi alla facciata frontale e successivi alla rimozione dell'intonaco in occasione dei lavori di restauro avvenuti nel 1984, ha messo in esposizione l'antico paramento murario e il riconoscimento delle strutture relative al primo impianto dell'edificio nonché le modificazioni intervenute; tali immagini, messe a confronto con le mappe termografiche acquisite, hanno consentito, inoltre, di verificare e tarare la risposta termica dei diversi materiali litoidi utilizzati negli altri edifici studiati per le applicazioni analoghe.
In particolare, relativamente alla prima fase costruttiva, il basamento della chiesa, tenuto conto delle indicazioni storiche, è caratterizzato dall'uso del medesimo litotipo nello stesso filare; in

dettaglio i primi ordini in elevazione sono composti da tre filari in pietra dacitico-andesitica, verosimilmente ascrivibili all'Unità di Monte Sa Pibionada e piroclastici di Siliqua (Oligocene sup.; ISPRA - Servizio Geologico d'Italia; 2009), a cui si alternano un filare in arenarie della formazione del Cixerri (Eocene med.-sup. – Oligocene; Barca et al., 1973) e altri tre in calcare marnoso miocenico proveniente dalle colline di Cagliari ("Pietra cantone" Auct.; Fais et al., 2011).
Il profilo termico, indicato con Linea 2 in Figura 1-c, mette in evidenza i *pixel* isotermici, caratterizzati da basso DT, relativi all'allineamento basale costituito da litotipi essenzialmente dacitico-andesitici.
L'opera muraria sovrastante è, quindi, costituita da conci calcarei e dacitico-andesitici in alternanza non regolare, con disposizione a corsi orizzontali, come messo in evidenza nel profilo termico in Figura 1-c (Linea 1) tracciato nella mappa termica della facciata (Figura 1-a), caratterizzato dall'inversione dell'allineamento di *pixel* termici a picchi contrapposti con DT ben distinto.
L'analisi termografica consente, inoltre, di distinguere la facciata a due spioventi, costituita essenzialmente da conci dacitico-andesitici, coronata in sommità da un campanile a vela a due luci.
Il prospetto quadrato della facciata attuale è legato all'opera di sopraelevazione delle falde laterali mediante l'utilizzo di conci aventi pezzatura maggiore, prevalentemente di calcare compatto e calcare marnoso ("pietra forte" Auct. e "pietra cantone" Auct.; Fais et al., 2011) delle sequenze mioceniche delle colline di Cagliari, disposti sia in orizzontale sia in verticale.

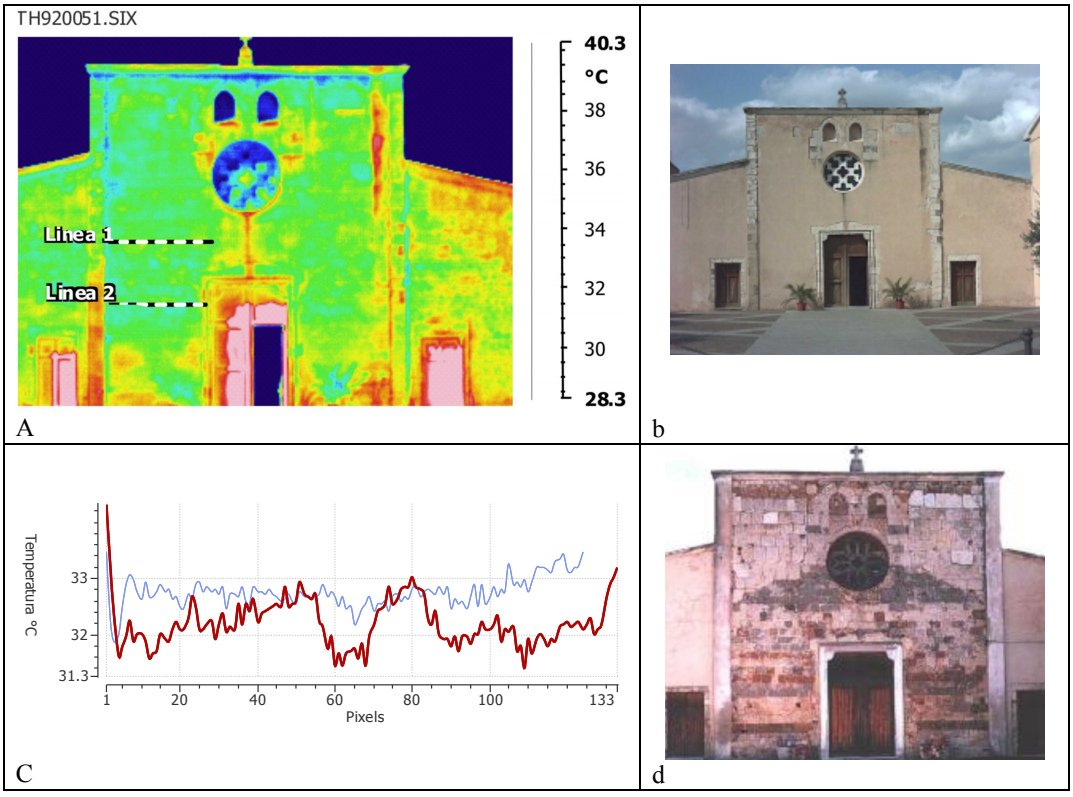


Figura 1. Chiesa di San Giorgio. Mappa e profili termici relativi alla Linea 1 (in rosso) e Linea 2 (in azzurro).

La mappa termica relativa alla facciata principale della **Chiesa di Sant'Anna** mette in evidenza, al di sotto dell'intonaco, la struttura e la tessitura originaria della facciata in pietra a opera incerta

(Figure 2-a), con trovanti di varie dimensioni e diverso litotipo, arrotondati o leggermente sbozzati, di natura alluvionale, come attestato dalla documentazione fotografica del recente passato (Figura 2-d). Il profilo termico lungo la Linea 1 (Figura 2-c), tracciato nella mappa termica della facciata (Figura 2-a), mette in evidenza la risposta termica caratterizzata, in questo caso, dall'allineamento di *pixel* termici a picchi contrapposti ad alta frequenza e con DT relativamente marcato.

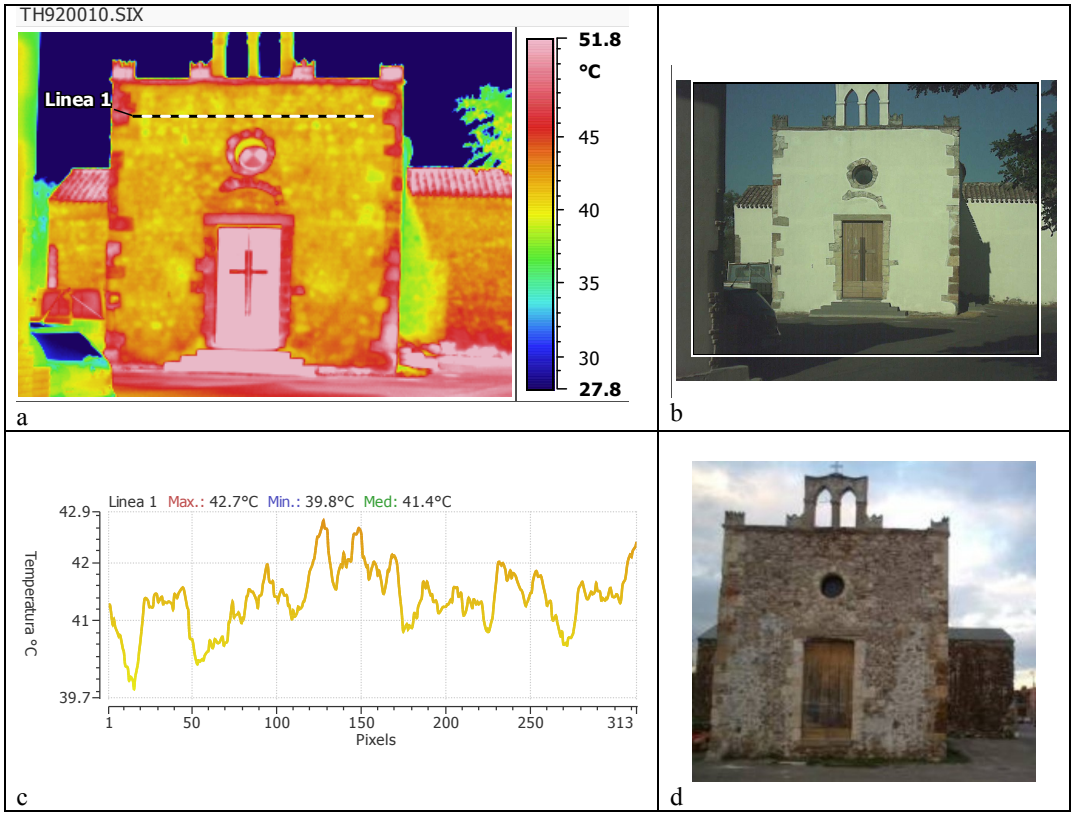


Figura 2. Chiesa di Sant'Anna. Mappa termica e profilo termico relativo lungo la Linea 1. A destra immagine prima e dopo il restauro della struttura.

Anche nel caso della **Chiesa di Santa Margherita** la struttura muraria ad opera incerta con trovanti lapidei poligenetici, di ambiente presumibilmente fluviale, ben visibile nei prospetti laterali e retrostante non intonacati (Figure 4 -b, 4-d), è stata messa in evidenza dalla mappatura termica acquisita nella facciata frontale (Figura 3-a), oggi mascherata dall'intonaco.
Il profilo termico di dettaglio effettuato nella facciata frontale (Figura 3-e), anche in questo caso, mette in evidenza l'allineamento di *pixel* termici a picchi contrapposti ad alta frequenza in risposta alla notevole variabilità dei materiali costituenti la struttura muraria, rappresentati da pietrame alluvionale poligenetico, ma con DT piuttosto attenuato. La risposta termica degli stessi materiali, esposti nei prospetti laterali e retrostante, denota, come visibile nel relativo profilo, DT più marcati (Figura 4-e). Il confronto tra le mappe termiche relative al prospetto frontale e quello laterale consente di comparare la distribuzione delle temperature sulla superficie dell'involucro; l'attenuazione delle differenze termiche nei due prospetti, in particolare, è correlabile alla presenza dello spesso e omogeneo intonaco di rivestimento oltre che alla diversa esposizione e all'irraggiamento dei due prospetti.

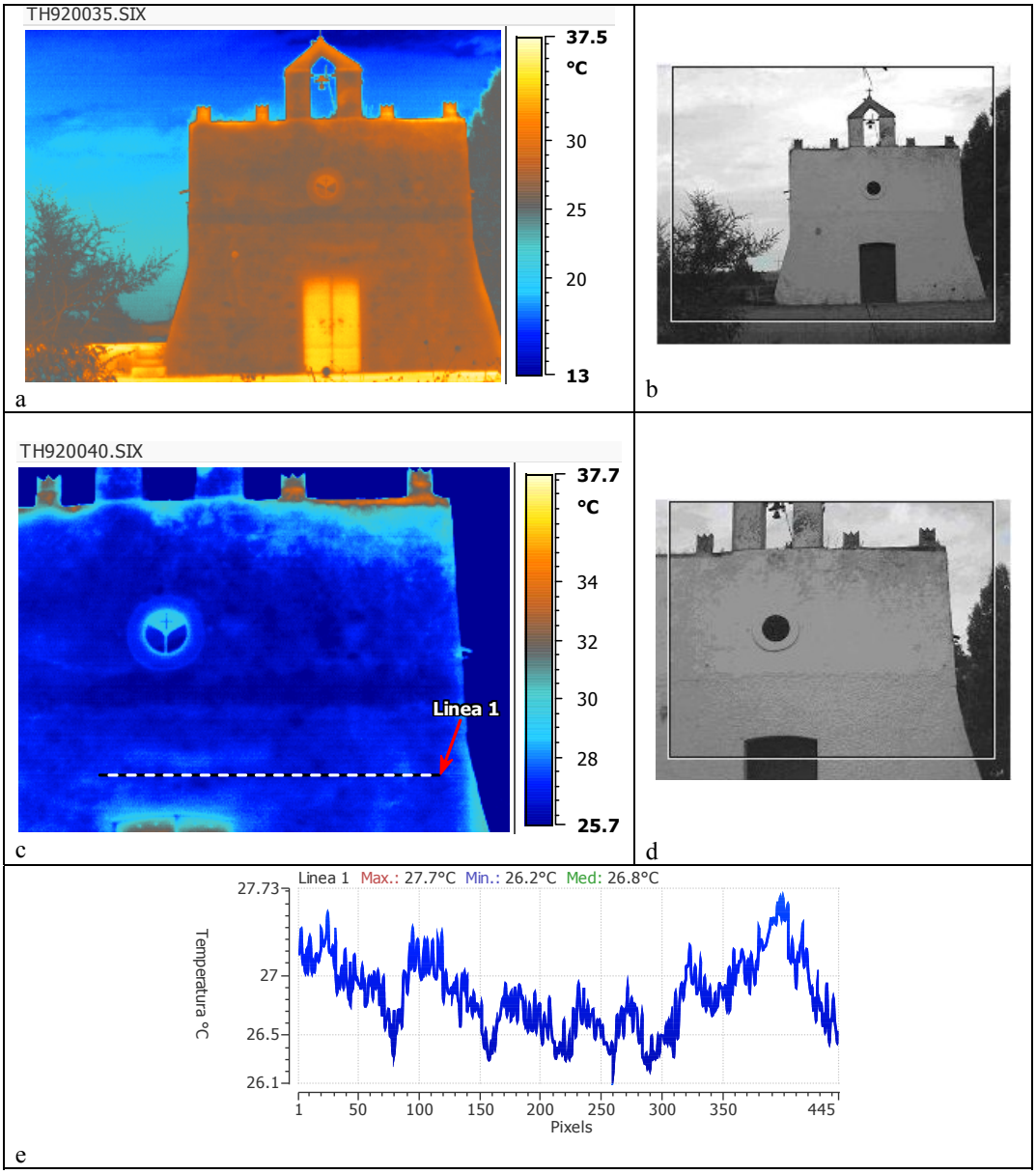


Figura 3. Prospetto frontale della Chiesa di Santa Margherita. Mappa e profilo termico relativo alla Linea 1.

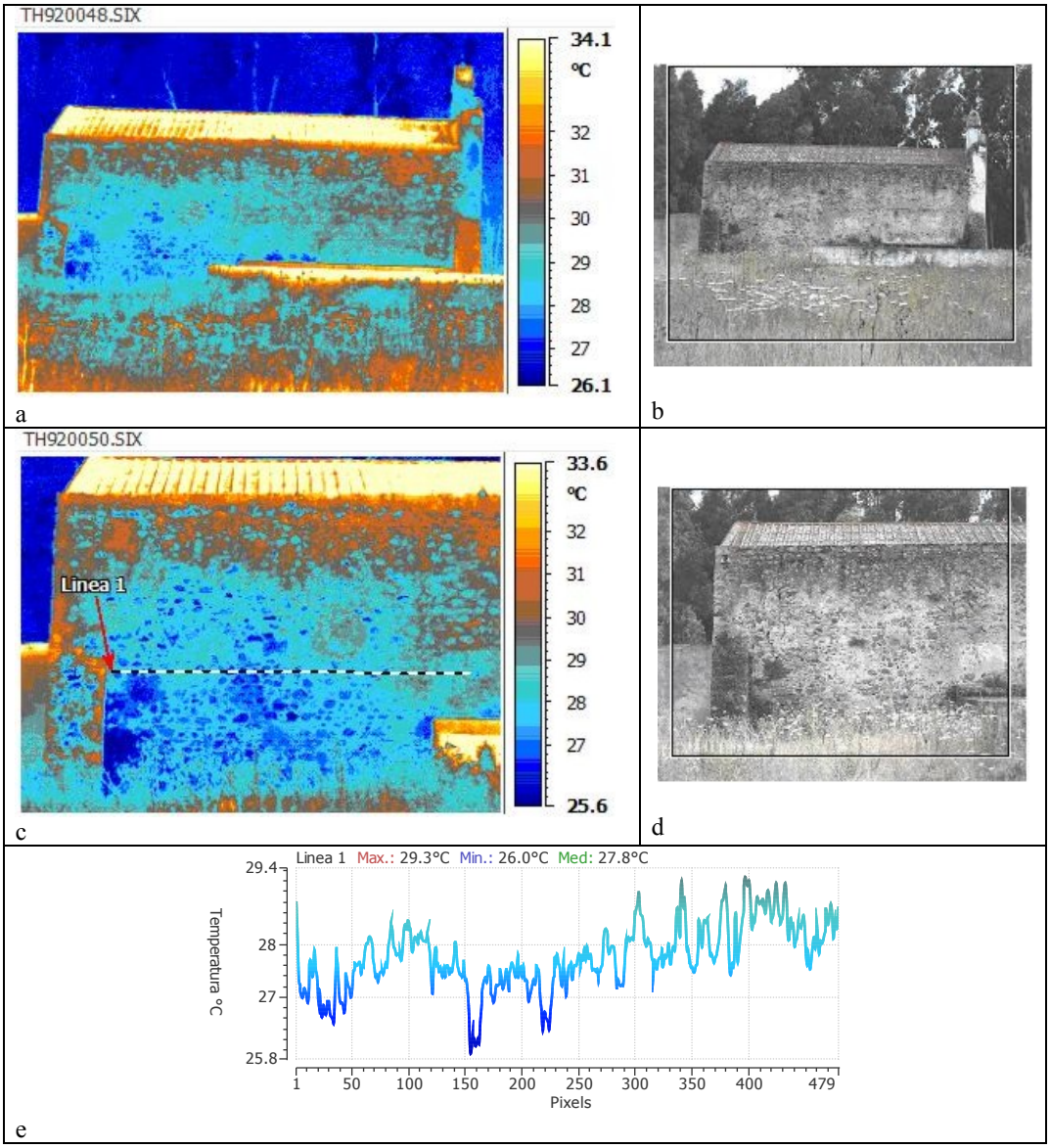


Figura 4. Mappa e profilo termico relativi al prospetto laterale della Chiesa di Santa Margherita.

Scheda tecnica relativa ai materiali da costruzione

I rilievi effettuati sugli edifici storico-religiosi considerati nel centro storico e nel territorio di Siliqua hanno permesso di riconoscere l'impiego dei materiali litoidi brevemente descritti nelle seguenti schede.

	*Arenarie della formazione del Cixerri* (Eocene med.-sup. - Oligocene). I conci sono costituiti da arenarie quarzoso-feldspatiche, di colore rossastro-ocra, a tessitura tipicamente clasto-sostenuta e, in subordine, matrice argillosa.
	*"Pietra forte" Auct., Calcari di Cagliari* (Tortoniano-Messiniano). Trattasi di blocchi ricavati da calcari biohermali e biostromali, biancastri, massivi, con contenuto in Ca-(Mg)CO_3 compreso tra 97-100%, classificabile come una biosparite – biolitite (Folk, 1980).
	*"Pietra cantone" Auct., Calcari di Cagliari* (Tortoniano). I blocchi da costruzione sono di natura calcareo marnoso-arenacea, di colore giallastro, con stratificazione irregolare e marcata bioturbazione, con contenuto in Ca-(Mg)CO_3 compreso tra 86-90%, classificabile come una biomicrite (Folk, 1980).
	*Daciti e andesiti di Monte Sa Pibionada, Auct. e piroclastici di Siliqua, Auct.* (Oligocene sup.). Si tratta di blocchi provenienti da rocce di origine vulcanica, a composizione da dacitica a quarzo-andesitica, con colori variabili dal grigio verde al violaceo al bruno, struttura e tessitura porfirica, nonché depositi di flusso piroclastico ed epiclastico.

Conclusioni

Le analisi termografiche eseguite presso le antiche chiese ubicate all'interno e nel territorio limitrofo l'abitato di Siliqua (Sardegna sud-occidentale) hanno consentito di mettere in evidenza, soprattutto relativamente alle facciate principali, la struttura e la tessitura muraria e i particolari costruttivi originari nascosti da rivestimenti successivi (intonaci) nonché appurare le trasformazioni architettoniche avvenute nel tempo rispetto all'impianto originario degli edifici, così come testimoniato anche dalla documentazione storica.

Le indagini hanno anche messo in evidenza le condizioni di conservazione dei materiali costruttivi, soprattutto al contatto con il terreno; in particolare, sono evidenti fenomeni di alterazione dei livelli litoidi basali, soprattutto della "pietra cantone" Auct. e delle arenarie del Cixerri, come denotano le manifestazioni di umidità, spesso evidenziate da distacchi e rigonfiamenti degli intonaci recenti, in conseguenza della risalita capillare.

Nell'insieme, viene ancora documentato che il metodo termografico costituisce un valido apporto conoscitivo non invasivo per la riscoperta dei caratteri originari di edifici di importanza storica e per lo studio delle trasformazioni avvenute nel tempo, rivestendo, pertanto, applicazione ottimale in tutti gli interventi nel campo dei beni culturali finalizzati alla conoscenza e alla salvaguardia delle architetture di interesse storico (Geraldi et al., 2008; Grinzato et al., 1982).

Lavoro realizzato presso il "Laboratorio di Geologia ambientale e termografia" del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Cagliari (Resp. Prof. Felice Di Gregorio)

Riferimenti bibliografici

Barca S., Maxia C., Palmerini V. (1973) "Sintesi sulle attuali conoscenze relative alla Formazione del Cixerri (Sardegna sud-occidentale)", *Boll. Serv. Geol. It.*, 44 (2): 307-318, Roma, Nuova Tecnica Grafica.

Fais S., Ferrara C., Frongia P., Ligas P., Piras G. (2011), "Digital processing of ir thermography and ultrasonic signals in the diagnostics of carbonate building materials", *16th Conference on Cultural Heritage and New Technologies, Poster Session,* Vienna, November 14-16 2011.

Folk R.L. (1980), *Petrology of sedimentary rocks*, Austin (Texas) U.S.A., Hemphill Publishing Co, 2nd edition: 184 pp.

Geraldi E., Gizzi F.T., Masini N. (2008), "Termografia all'infrarosso ed archeologia dell'architettura: alcuni esempi", *GNGTS- Atti del 22° Convegno Nazionale* /12.18.

Grinzato E., Vavilov V., Kauppinen T. (1998), "Quantitative infrared thermography in buildings", *Energy and Buildings*, 29: 1-9, Elsevier Science S.A., New York.

ISPRA - Servizio Geologico d' Italia (2009), *Nota illustrativa della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 556 "Assemini".*

www.comune.siliqua.ca (2012), Le Chiese.

Rapid mapping per l'analisi e la gestione del rischio radiologico generato da sorgenti orfane

Romeo Gallo (****), Paolo De Angelis (******), Nicola Gallo (*****),
Andrea Malizia (*), Andrea Fiduccia (**), Fabrizio D'Amico (*),
Roberto Fiorito (***), Antonio Gucciardino (*), Maria Richetta (*),
Carlo Bellecci (*) e Pasquale Gaudio (*)

(*) Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Rome "Tor Vergata", Via del Politecnico 1, 00133 Roma Italy, malizia@ing.uniroma2.it
(**) Intergraph Italia LLC, Via Sante Bargellini 4, 00157 Roma Italy, andrea.fiduccia@intergraph.com
(***) Department of Surgery, Faculty of Medicine and Surgery, University of Rome "Tor Vergata", Italy, fiorito@med.uniroma2.it
(****) Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Matera, Via Giuseppe Giglio 3, 75100 (MT), romeo.gallo@vigilfuoco.it
(*****) Software Developer, www.nicola.gallo.name
(******) Direzione dei Servizi di Sicurezza e Protezione Civile, Corpo dei Vigili del Fuoco, 00120 Stato Città del Vaticano, pdeangelis@vigilidelfuoco.va

Riassunto

Si definiscono "sorgenti orfane" quelle sorgenti radioattive che, nonostante i rigorosi inventari fisici e contabili previsti dalle normative nazionali ed internazionali, non risultano nelle registrazioni contabili e quindi di esse si è persa traccia.

Le Sorgenti Orfane sono un rilevante pericolo potenziale per la popolazione e per l'industria. Infatti se esse non sono riconosciute come sorgenti radioattive possono essere accidentalmente trattate come rottami metallici da riciclare presso le fonderie. Le cronache purtroppo riportano numerosi incidenti di questo tipo.

Il presente lavoro affronta la problematica dell'analisi delle sorgenti orfane ed in particolare affronta le problematiche di radioprotezione nel caso di ritrovamento e relativamente ai diversi aspetti della sicurezza ed in particolare:

- la sicurezza degli operatori;
- la sicurezza della popolazione esposta;
- l'individuazione delle aree di attenzione radiologica.

Particolare attenzione viene dedicata ai requirements in termini di modello teorico e di strumenti di supporto alle decisioni degli operatori preposti alla messa in sicurezza della sorgente.

La ricerca ha:

- definito il modello concettuale di uno Spatial Decision Support System orientato alla problematica del rischio radiologico individuando i requisiti sia della componente "mobile" che di quella di supporto ad una Sala Operativa;
- sviluppato il prototipo del software per il terminale per gli operatori sul campo che consente tramite accesso al web di effettuare la georeferenziazione speditiva della posizione della sorgente e dell'intensità di dose misurata ad una certa distanza dalla sorgente su cartografia disponibile in rete;
- sviluppato il prototipo delle componenti da Sala Operativa secondo il paradigma SOA (Service Oriented Architecture) che consente la fruibilità mediante web services OGC delle elaborazioni dell'SDSS all'interno della piattaforma Intergraph I^2RMS.

Nel paper, dopo aver definito le sorgenti orfane, si presentano alcuni ritrovamenti, si esaminano i parametri radiometrici fondamentali, si descrive l'architettura di sistema software e si presentano i primi risultati ottenuti con il prototipo sviluppato.

Abstract
In this paper the aspects and analysis of "orphan" radiological sources are reported. In particular the protection problems in case of finding and securing the radiological sources are analyzed with attention to the following aspects:

- Operators safety and security;
- Exposed population safety and security;
- The identification of dangerous areas to the managing and timing of rescue operations.

These points are also the main problems to be met by the persons in charge to decide on securing of the radiological source. In order to geo-referencing radiological risks data a customized software has been developed and it is described in this paper.
In this paper, after defining what does it means the term "orphan radiological source" and its characteristics, the authors examine the fundamental radiometric parameters.
These parameters have been integrated in a customized software that needs as input boundary conditions the dose rate measured at a certain distance from the source and a hardware access to the web and allows to perform a geo-referencing of radiological risks on maps available in the network.
A particular attention has been dedicated to the theoretical model and support tools for decision chosen for the operators responsible for the securing of the radiological source.
This research allows

- To define the conceptual model of a Spatial Decision Support System (SDSS) oriented to the problem of radiation hazard identifying the requirements of both the component "mobile" than to support a Control Room;
- To developed the prototype of the software for terminal operators in the field that allows access via the web to make geo-referencing expeditious source location and dose rate measured at a certain distance from the source of maps available online;
- To developed the prototype of the Operating Room components according to the paradigm SOA (Service Oriented Architecture), which allows usability through OGC web services within the platform of processing of SDSS Intergraph I^2RMS.

In the paper the fundamental radiometric parameters and the main protective measures are presented and then the architecture of the software system is described with a detailed analysis of the first results obtained with the software prototype developed in order to demonstrate that this tool allows the management of the radiological emergency by operators and in particular by decision makers simplifying the management of the safety and security operations.

Le sorgenti radioattive e gli incidenti relativi alle sorgenti "orfane"
Le sorgenti radioattive sono usate in tutto il mondo per numerose applicazioni, in particolare nell'industria, nella medicina e nella ricerca. I rischi collegati a tale utilizzo variano considerevolmente in funzione delle loro caratteristiche: attività, radionuclidi contenuti, modo di fabbricazione e altro (IAEA-TECDOC-1388 , 2004).
In caso di utilizzo convenzionale i rischi associati sono normalmente ben noti e le relative attività sono generalmente normate. Diverse sono, ovviamente, le problematiche concernenti sorgenti, cosiddette "orfane", che, per vari motivi, non sono sotto controllo. Tali sorgenti potrebbero essere ritrovate da persone (lavoratori o cittadini) ignare della loro natura e dei possibili rischi, che possono consistere anche in gravi lesioni da radiazioni che possono addirittura avere esito fatale.
Le sorgenti sigillate possono inoltre presentare particolari rischi a causa delle ridotte dimensioni, spesso inferiori a quelle di una penna, che non ne permettono una facile individuazione. Piuttosto frequente è il caso di sorgenti che, contenute in involucro di metallo, sono state raccolte da

rottamatori e portate in impianti siderurgici dove, a volte, sono state fuse con conseguenti problemi di contaminazione.
Le conseguenze sanitarie ed economiche di eventuali incidenti in cui siano coinvolte sorgenti di radiazioni non adeguatamente controllate possono essere particolarmente gravi. La relazione predisposta nel 1993 dal Comitato scientifico delle Nazioni Unite sugli effetti delle radiazioni atomiche (UNSCEAR) e altre pubblicazioni più recenti riferiscono di numerosi incidenti indicativi.
Secondo lo studio della Commissione Europea nell'UE ogni anno una settantina di sorgenti sfuggono ai controlli delle autorità.

Le principali grandezze dosimetriche
Le principali grandezze radiologiche, e in particolare quelle utili per il presente lavoro, sono comunemente distinte in:
- Grandezze di sorgente: Attività, Costante gamma;
- Grandezze di campo: Esposizione, Kerma;
- Grandezze di dose: Dose assorbita; Dose Equivalente; Dose Efficace.

Tra queste grandezze vi è una diretta relazione, per cui dalla conoscenza di alcuni dati è possibile ricavarne altri:

Sorgente ➔ Campo ➔ Dose

E' disponibile strumentazione idonea per rilevare la presenza di radiazioni, per compiere misurazioni di campo, di dose, e, se non noto, per individuare il tipo di radionuclide (Cazzoli S., Rossi E. et al., 2001).
Nel caso di intervento con presenza di sorgente orfana, verosimilmente si ha a che fare con una sorgente con caratteristiche non note.
L'esposizione esterna di un operatore può essere limitata osservando le seguenti regole:
- riducendo il tempo di irradiazione;
- aumentando la distanza dalla sorgente della radiazione ionizzante;
- impiegando uno schermo che riduca sensibilmente l'intensità del fascio di radiazioni.

Procedure di intervento con sorgente radioattiva sigillata
In un intervento con presenza di sorgente radioattiva sigillata, nell'immediato vi è l'esigenza di delimitare un'area oltre la quale deve essere tenuta la popolazione. Tale area deve avere dimensioni non inferiori a quelle della cosiddetta "zona di attenzione", così da garantire che al suo esterno non sia superato il valore limite di legge di 1 mSv di dose efficace. La zona di attenzione è quella per cui con una permanenza al suo confine per un tempo pari al tempo d'intervento si assume una dose efficace di 1 mSv.
La determinazione dell'ampiezza della zona di attenzione può essere compiuta analiticamente con i dati della sorgente, se noti, o a seguito di misure d'intensità di campo o di dose.
Nel secondo caso, con la conoscenza del valore dell'intensità di dose e della relativa distanza s'individua in modo univoco la curva intensità-distanza e pertanto è possibile pianificare l'intervento. E' consigliabile eseguire più calcoli con più misurazioni a varie distanze per "ammortizzare" errori di misura.
La formula di riferimento è la [2] per la cui derivazione rimandiamo a Malizia et al. 2012:

$$I_{E_2} = I_{E1} x \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad [2]$$

I_{E1} valore di intensità di dose efficace misurata alla distanza d_1
I_{E2} dose efficace alla distanza generica d_2
Da questa formula, fissando i valori di intensità di efficace di progetto per l'intervento è possibile ricavare le relative distanze, in particolare l'ampiezza della zona d'attenzione.

"Accelerating Smarter Decisions": le tecnologie geospaziali per aumentare la sicurezza nelle operazioni di salvataggio

Dall'analisi effettuata emerge chiaramente che il compito primario del soccorritore è di tutelare la popolazione dai rischi, derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti e quindi delimitare con prontezza la cosiddetta area di attenzione (operando nella maggiore sicurezza per se stesso) (Malizia et al., 2012).

E' possibile individuare, in maniera analitica, le dimensioni di tale area con celerità, ed eseguire calcoli sulle dosi assumibili da chi permane nell'area irradiata.

Uno dei problemi che si possono porre nell'immediato è quello dell'eventuale evacuazione di edifici o la chiusura di strade interessate dall'irraggiamento.

Si hanno quindi due necessità: individuare sul posto l'area effettivamente interessata e valutare la possibilità di spostare la sorgente di una distanza sufficiente ad evitare almeno l'evacuazione di edifici particolari, quali ad esempio strutture ospedaliere o permettere la riapertura di vie di comunicazione importanti. Tale compito si ritiene possa essere facilitato da una georeferenziazione dei risultati di calcolo.

Per questa ragione gli autori hanno realizzato un applicativo software, **GREAT - Georeferenced Radiological Evaluation & Analysis Tool**, interfacciato con le soluzioni Intergraph Geospatial per il caso di sorgente sconosciuta applicando le formule in precedenza illustrate, assumendo come ipotesi semplificativa che la sorgente sia puntiforme.Nella prima schermata del programma GREAT, "Calcoli", possono essere digitati i valori dell'intensità misurata in µSv/h, della distanza alla quale è stata eseguita la misurazione e del tempo stimato di intervento. L'inserimento di tale condizioni a contorno fa sì che il software possa calcolare i valori dell'ampiezza dell'area di attenzione per la popolazione, della distanza d'intervento e la distanza d'intervento per squadre speciali, e la distanza di attenzione per la popolazione nell'ipotesi di non rimozione (almeno in tempi brevi) della sorgente, convenzionalmente individuata per tempo di permanenza di 365 giorni.

Si passa, quindi, alla seconda schermata (Figura 1a), che sfrutta la cartografia on line di Microsoft Bing Maps. La visualizzazione delle varie aree di attenzione si può avere dopo aver individuato sulla mappa il punto in cui è ritrovata la sorgente oppure inserendo le coordinate di latitudine e longitudine. Il software genera immediatamente una mappa dell'area di evacuazione. Sono visibili quattro aree individuate da quattro circonferenze. La più grande rappresenta l'area di attenzione per la popolazione nell'ipotesi di non rimozione, poi vi sono l'area di attenzione per uno stabilito tempo di intervento e le aree di attenzione per le squadre di intervento ordinarie e speciali. Il codice sviluppato è un'applicazione web implentata nel framework Microsoft Silverlight in C# (C sharp). Per quanto riguarda la cartografia, è stato usato il controllo Microsoft Silverlight per Bing Map.

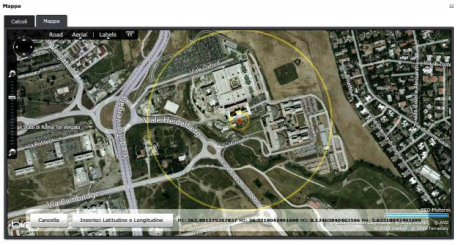


Figura 1a. GREAT Georeferenced Radiological Evaluation & Analysis Tool.

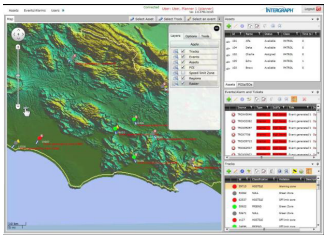


Figura 1b. Intergraph I²RMS.

GREAT è stato interfacciato con le soluzioni geospaziali della Intergraph Corp. per i Centri Operativi di Emergenza (Emergency Operations Centers-EOC) che sono addetti a coordinare diversi enti di risposta preposti agli interventi in caso di disastro o emergenza. Un EOC è dotato di un elevato numero di funzioni per la gestione della crisi ma anche per le operazioni di intervento routinarie consentendo un valido supporto anche a test e prove (Cassani et al., 2010). Tra le

soluzioni Intergraph per gli EOC si è scelto di testare il tool di Incident Command: **I²RMS (Incident & Resource Management System)**. Questo tool (Figura 1b), cuore di un EOC, è un sistema dotato di interfacce web che consente di visualizzare e gestire risorse in caso di emergenza. Il sistema I²RMS integra diverse componenti chiave tra le quali comunicazione wireless, Mappa Collaborativa e tools per il tracking real-time della posizione degli asset.
Ai fini della gestione delle emergenze territoriali è critico poter disporre rapidamente anche di output cartografici tradizionali da poter distribuire al personale sul campo. La soluzione Intergraph **GeoMedia Rapid Map** (Figura 2) consente di rispondere a tale requisito. Si tratta di un sistema client server basato su web services che consente di produrre, mediante un approccio basato su wizard – quindi gestibile da personale di sala operativa - cartografia secondo tagli e layout standard (ad es. quelli militari).
Tutte queste caratteristiche, unite alla capacità di interfacciarsi con il sistema per la georeferenziazione dei dati radiologici, consentono di ottimizzare la gestione dell'emergenza.

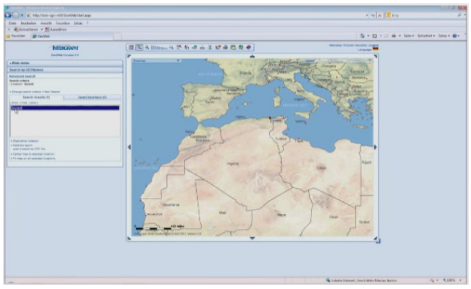


Figura 2. Intergraph GeoMedia Rapid Map Solution.

Conclusioni
Le sorgenti orfane costituiscono un potenziale pericolo per la popolazione. In caso di loro rinvenimento è importante, per poter prendere le necessarie misure di radioprotezione, quali l'evacuazione o la chiusura delle zone adiacenti, individuare con celerità le aree interessate dal rischio radiologico. L'utilizzo di un software georeferenziato rende di più semplice attuazione tale compito. É infatti evidente come un simile strumento, fornendo una visione d'insieme dello scenario ed in particolare delle aree interessate, può facilitare ai soccorritori, muniti di un palmare con accesso al web, o dotati di cartografia tradizionale in caso di interventi di maggior estensione e durata, le valutazioni per l'intervento. Anche l'individuazione di una diversa area in cui collocare in sicurezza, temporaneamente, la sorgente, risulta relativamente semplice e con possibilità di immediata verifica tramite il software.
Il programma può anche essere un utile ausilio per le ditte che si occupano di trasporto di sorgenti radioattive, con la possibilità di verificare, per il percorso previsto, le aree potenzialmente interessate a seguito di incidente con esposizione della sorgente.
Il programma, infine, può essere potenziato con una maschera per il caso di sorgente nota, per la quale sia conosciuto oltre al tipo di radionuclide il valore dell'attività, nonché con l'inserimento di altri campi per la valutazione di ulteriori elementi quali i valori delle dosi assunte da chi stazione all'interno del campo di radiazioni.

Bibliografia
Angus et al. (2000), Management and disposal of disused sealed radioactive sources in the European Union, EUR 1886, 2000
Cassani I., Fiduccia A., Malizia A., Mugavero R., Quarta A. M. (2010) Emergency Operation Center e protezione da eventi CBRN. Un Web-SDSS per le analisi di supporto alla gestione di

incidente ad un reattore nucleare, paper presentato alla XIV Conferenza Nazionale ASITA, Brescia, 9-12 novembre 2010.
Cazzoli S., Rossi E. et al. (2001). Guida alla stesura della relazione sulle esposizioni potenziali (art. 115-ter). Notiziario dell'Esperto Qualificato n. 60, pag. 39
IAEA TECDOC-1162 (2000). Generic procedures for Assessment and response during radiological Emergency
IAEA-TECDOC-1388 (2004) - Strengthening control over radioactive sources in authorized use and regaining control over orphan sources
ICRP Publication 72 (1996) Age – Dependent Doses to Members of the Public from Intake of radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, Annals of ICRP
Malizia A., Lupelli I., D'Amico F., Sassolini A., Fiduccia A., Quarta A. M., Fiorito R., Gucciardino A., Richetta M., Bellecci C. & Gaudio P. (2012) "Comparison of Software for Rescue Operation Planning During an Accident in a Nuclear Power Plant", Defence S&T Technical Bulletin, Bulletin Technical S&T Pertahanan, Vol.3, No.Bil. 1, Year 2012, ISSN 1985-6571, pag. 36-45
UNI 10897 (2001) - "Carichi di rottami metallici - Rilevazione di radionuclidi con X e gamma"