

## **Applicazione di tecniche di rilievo LIDAR ed aerofotogrammetriche a supporto della stima della vulnerabilità sismica nelle aree urbanizzate**

Flavio BORFECCHIA (\*), Antonio Bruno DELLA ROCCA (\*), Luigi DE CECCO (\*), Sandro MARTINI (\*), Maurizio POLLINO (\*), Carmine PASCALE (\*\*), Franco COREN (\*\*\*)

(\*) ENEA - Dipartimento ACS - Unità Osservazione della Terra e Sistemi Informativi Territoriali

C.R. Casaccia, Via Anguillarese 301 - 00123 Roma

Tel.: 06.3048.6042 - Fax: 06.3048.6038 - e-mail: borfecchia@casaccia.enea.it

(\*\*) Consorzio T.R.E – Tecnologie innovative per il recupero edilizio

Via D. Giustino 3/a - 80125 Napoli

Tel.: 081.7256215- Fax.: 081.7256306 - e-mail: carmine.pascale@consorziotre.it

(\*\*\*) OGS - Ist. Naz. di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - Dip. di Geofisica della Litosfera, soc. Cons.

A.R.L. Heliogs, Borgo Grotta Gigante 42/c - 34010 Sgonico (TS)

Tel.: 040.21401 - Fax.: 040.327521

### **Riassunto**

Le attività qui descritte ricadono nell'ambito del progetto TELLUS-STABILITA ("Sperimentazione di prodotti e tecniche innovative e sviluppo di nuove tecnologie per la protezione dell'ambiente costruito civile dal danno legato a sollecitazioni dinamiche ambientali ed in particolare sismiche"), e riguardano lo sviluppo di metodi di elaborazione di dati aerospaziali acquisiti da satellite e/o piattaforme aeree per la caratterizzazione di aree urbanizzate del comune di Avellino, scelte sulla base della loro rappresentatività, per quanto riguarda il rischio sismico. Le metodologie implementate si basano su aerofotogrammetria digitale ed elaborazione di dati telerilevati iper/multi spettrali e *laser-ranging* (LIDAR), acquisiti opportunamente. Esse, oltre alla ricostruzione 3D degli edifici presenti, hanno permesso una zonizzazione efficace delle aree di studio, finalizzata a migliorare la stima della vulnerabilità sismica a livello urbano. Il progetto ha incluso un rilievo su tutto il territorio comunale tramite LIDAR *Optech ALTM 3100*, installato su elicottero, che elaborato ed integrato con prodotti analoghi ottenuti per via aerofotogrammetrica ha consentito di ricavare, ad adeguata risoluzione, sia il DEM del suolo che le altimetrie in corrispondenza degli edifici. I dati LIDAR, opportunamente elaborati, oltre a consentire una migliore definizione plano altimetrica degli edifici, sono stati utilizzati sia per la caratterizzazione delle coperture che per l'individuazione della distribuzione della vegetazione nelle aree d'interesse. I dati telerilevati (satellite ed elipiattaforma) unitamente a quelli di calibrazione a terra debitamente pre-elaborati, sono stati impiegati per la produzione di mappe tematiche d'interesse attraverso avanzati algoritmi di classificazione (ad oggetti, *neural network...*), adeguati a gestire informazioni a tali risoluzioni (submetriche).

### **Abstract**

*This paper describes the methodologies implemented to support the 3-D characterisation of selected urban areas of Avellino (Southern Italy), using different data remotely acquired by means of aero spatial platforms. The R&S activities have been carried out in the framework of "TELLUS-STABILITA" Project, devoted to implementation of innovative techniques, products and new technologies to protect buildings, in municipal environment, against the damages from dynamic solicitations, in particular seismic. Project activities have been based on integration of digital aerofotogrammetry, iper-multispectral remote sensing and laser ranging (LIDAR) techniques. In addition to 3-D reconstruction (containing buildings geometrical parameters), test areas have been*

*classified in order to support a better estimation of seismic vulnerability at urban level. In this framework, data acquired by LIDAR Optech ALTM 3100 have allowed to obtain both the ground DEM and the buildings heights over entire administrative area of municipality of Avellino. Then, LIDAR data have been integrated with those derived from digital aerophotogrammetric techniques on areas previously selected. In addition to the improved 3-D definition of buildings, the remotely sensed data were used to characterise the roof type and the localisation of urban vegetation within the test areas. The integrated use of various information, coming from different remote/proximal sensing techniques (LIDAR, photographic and iper/multispectral acquisitions, etc...) have been processed using suitable classification algorithms (object oriented, neural network,...) in order to produce useful thematic maps.*

## **Introduzione**

Come riportato da recenti analisi di pubblico dominio, ormai più del 50% della popolazione mondiale vive in agglomerati urbani che crescendo, spesso senza appropriata pianificazione, aumentano la loro densità di popolazione e la loro complessità in termini di tecniche costruttive, interconnessioni ai servizi fondamentali, dislocazione delle risorse e reti di collegamento.

In questo contesto, l'approfondimento dell'analisi dei rischi connessi ad eventi catastrofici di origine naturale od antropica, finalizzata alla minimizzazione dei danni alle persone e cose e supportata dall'integrazione di varie tecnologie di monitoraggio innovative è raccomandata, soprattutto per quelle zone urbane già interessate in passato da tali eventi. Tra questo tipo di eventi rientrano i terremoti, responsabili di danneggiamenti estensivi e gravi in aree densamente urbanizzate, con notevoli perdite di vite umane, dovute anche alla scarsa stabilità ed affidabilità degli edifici, realizzati con inadeguate tecniche costruttive unite sovente anche ad una scarsa conoscenza delle caratteristiche di stabilità e propagazione sismica locali dei suoli.

Tenendo conto quindi che gli edifici costituiscono, soprattutto a livello urbano, gli elementi prevalenti, questo lavoro, partendo anche dai risultati delle numerose esperienze di studio nel settore, è mirato alla messa a punto di metodi finalizzati a ricavare estensivamente e con adeguato livello di automazione alcune delle loro caratteristiche salienti dal punto di vista della vulnerabilità ad eventi sismici, a partire da dati aerospaziali. In primis, tra le caratteristiche d'interesse vi sono quelle geometriche tridimensionali (altezza, area ed articolazione dei corpi di fabbrica) che, unitamente a quelle strutturali (cemento armato, muratura, ecc...) ed alle proprietà locali dei suoli su cui insistono le fondazioni, determinano la risposta ad una sollecitazione tellurica, con eventuali danni conseguenti.

Sebbene le moderne metodologie per la pianificazione urbana, unitamente all'evoluzione delle tecniche costruttive, abbiano diminuito la vulnerabilità sismica delle nuove costruzioni, è necessario uno sforzo per quanto riguarda la caratterizzazione dell'ampio patrimonio edilizio esistente a livello nazionale. L'obiettivo è quello di giungere ad una migliore pianificazione e ad una eventuale mitigazione dei danni in caso di eventi sismici, la cui probabilità in Italia, specialmente in alcune zone, è piuttosto elevata. Le moderne tecnologie di osservazione satellitare ed aerea forniscono ormai una sorgente insostituibile di dati relativi alla superficie terrestre in grado di garantire informazioni caratterizzate da ampia copertura spaziale e da ripetibilità nel tempo: tali requisiti sono necessari per il tempestivo e l'efficace monitoraggio di ampie regioni a scale globali, regionali e locali. In questo contesto, tra gli obiettivi principali del Progetto TELLUS-STABILITÀ, finanziato dal MUR, figura l'individuazione, l'implementazione e la messa a punto e sperimentazione di strumenti e metodologie che consentano una caratterizzazione adeguata dell'ambiente costruito e siano di supporto per una rapida individuazione delle aree o delle strutture a rischio per quanto riguarda le sollecitazioni dinamiche ambientali e in particolar modo sismiche. Tali attività di sviluppo ed assimilazione di tecnologie innovative sono rivolte anche ad integrare ed ampliare l'offerta tecnologica del Consorzio T.R.E. riguardo agli strumenti di supporto alla diagnosi e alla valutazione dello stato di fatto di edifici e comparti urbani in campo civile, ed in altre attività istituzionali similari. In particolare, le principali attività di analisi e ricerca, di questa sezione, sono

state dedicate allo sviluppo di metodi di elaborazione di dati aerospaziali acquisiti da satellite e/o piattaforme aeree per ottenere informazioni d'interesse relative alle aree urbanizzate, scelte sulla base della loro rappresentatività per quanto riguarda il rischio sismico.

A tal fine sono state implementate procedure per elaborare riprese aree stereoscopiche con tecniche aerofotogrammetriche digitali, caratterizzate da un elevato livello di automatismo ed adeguatamente ottimizzate, in modo da ottenere vari parametri geometrici di edifici presenti nelle aree urbane rappresentative e preventivamente selezionate (Pollino et al., 2005). Tali risultati sono stati verificati, affinati ed integrati adeguatamente con quelli derivati dall'elaborazione di dati LIDAR acquisiti appositamente su tutto il territorio comunale per una efficace ricostruzione 3D del tessuto urbano delle aree d'interesse. Tale struttura 3D urbana ha costituito l'ossatura per la progettazione e la realizzazione di una base dati, in cui sono riportati, per ogni singolo edificio appartenente all'area di indagine, tutti i parametri ricavati ed integrati da ulteriori dati acquisiti con rilevamenti campionari in sito (Della Rocca et al., 2002). In questa fase, in aggiunta alle informazioni di tipo

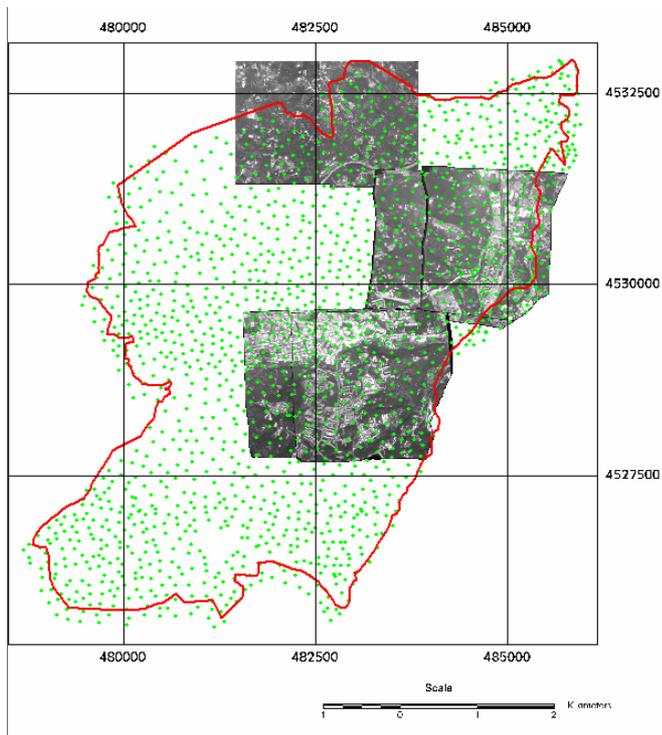


Fig. 1 - Comune di Avellino: sovrapposizione delle ortoimmagini delle aree di test con i confini comunali e punti quotati del terreno da cartografia 1:5000 (2005)

preposti di individuare le zone della città o le tipologie strutturali più "vulnerabili" dal punto di vista della sicurezza e consentiranno la definizione di misure atte a ridurre gli effetti di un eventuale sisma (Kolbe et al., 2006).

### Dati utilizzati ed aree d'interesse

Le attività di progetto hanno riguardato l'intero territorio comunale di Avellino mentre alcune analisi di dettaglio, in particolare quelle riguardanti la messa a punto ed i test delle metodologie aerofotogrammetriche, si sono focalizzate su specifiche aree campione rappresentative del tessuto urbano esistente. Nell'ambito di un accordo quadro stipulato con l'Amministrazione comunale di Avellino, sono state acquisite varie cartografie comunali e coperture aerofotogrammetriche relative alle aree di test. Le cartografie vettoriali ottenute sono a scala 1:2000 ed 1:5000 e si riferiscono a 3 diversi anni: 1997, 2003 e 2005.

geometrico tridimensionale suddette, sono stati utilizzati dati multi/iperspettrali ripresi da piattaforme aerospaziali con caratteristiche di risoluzione geometrica e radiometrica/spettrale adeguate, ed elaborati per fornire idoneo supporto ad una zonizzazione più mirata delle aree d'interesse.

Per le elaborazioni sono state implementate metodologie basate su tecniche GIS ed algoritmi di segmentazione, stima e classificazione, calibrati tramite i rilievi "in situ". Le informazioni geometrico/strutturali degli edifici e del suolo su cui poggiano, unitamente a quelle generali della tessitura urbana e zonizzazione costituiscono un insieme di informazioni, che potrà essere utilizzato quale punto di partenza per simulazioni matematiche del comportamento dei comparti territoriali soggetti ad eccitazioni ambientali di tipo dinamico.

Le metodologie implementate risulteranno di valido ausilio anche a livello di previsione di scenari di rischio e di pianificazione di interventi di emergenza. I risultati ottenuti permetteranno agli organi amministrativi

In Fig. 1 è riportata una mappa, contenente i confini comunali di Avellino unitamente alla copertura di punti quotati al suolo derivata dalle attività di elaborazione descritte nei paragrafi successivi. Insieme a questi elementi cartografici vettoriali la figura riporta anche le ortoimmagini delle tre aree di test individuate per l'estrazione dei relativi DEM. Per quanto attiene la selezione delle aree di test, sulle quali sono state poi condotte le attività di ricerca, la procedura seguita ha previsto una analisi del territorio finalizzata alla conoscenza delle tipologie e delle epoche costruttive relative al patrimonio edificato. In seguito, è stata esaminata la documentazione tecnica resa disponibile dal Comune di Avellino, in particolare le foto aeree, la carta tecnica comunale e le analisi geologico-geotecniche disponibili.

La finalità principale del progetto è la “protezione dell’ambiente costruito civile dal danno legato a sollecitazioni dinamiche ambientali e in particolare sismiche”; per tale motivo si è individuata la tipologia costruttiva che, nel territorio comunale in esame, è sembrata più esposta: si tratta degli edifici in C.A. costruiti nel secondo dopoguerra e prima della redazione di specifiche norme per le costruzioni in zona sismica.



Fig. 2.a - Ambito 1: Ferrovia



Fig. 2.b - Ambito 2: S. Tommaso

L’analisi del territorio e della documentazione tecnica disponibile ha guidato la scelta su due aree di test specifiche, la prima a ridosso della stazione ferroviaria (Fig. 2.a) e la seconda sita nel quartiere di S. Tommaso (Fig. 2.b), rispettivamente la seconda e terza a partire dall’alto in Fig. 1. Per quanto attiene la copertura aerofotogrammetrica utilizzata per l’estrazione del DEM sulle aree d’interesse essa è stata acquisita a fine 1997, con volo ad un’altezza media di 1700 m, a scala fotografica 1:7500 e con camera RC10, di cui era disponibile il certificato e relativi parametri di calibrazione. Non è stato possibile utilizzare aerofoto più recenti poiché non disponibili presso il Comune.

Il rilievo LIDAR è caratterizzato da una copertura omogenea di almeno 4 punti per metro quadrato, in modo da essere idoneo sia per applicazioni di studio territoriale a scala comunale che per un’analisi dell’edificato a scale di maggiore dettaglio (Crosilla et al., 2007). Contemporaneamente al rilievo LIDAR è stata effettuata una ripresa iperspettrale con sistema *AISA Eagle* e il suo preprocessing geometrico e radiometrico (effetti atmosferici e calibrazione) successivo con generazione di un cubo di dati (formato ENVI) compatibile, geocodificato su DTM (*Digital Terrain Model*) o DSM (*Digital Surface Model*), con risoluzione spaziale di 1 metro. In contemporanea ai rilievi precedentemente citati, sull’intera area d’interesse è stata effettuata una acquisizione fotografica digitale, con immagini di dimensioni minime pari a 4000×4000 pixel e risoluzione di circa 20 cm/pixel. Sono state acquisite anche due recenti (2005-2006) coperture *Quick-Bird* d’archivio dell’intero territorio comunale, a risoluzione 0,6 m (pancromatico) e 2,5 m (multispettrale: R,G,B,NIR), l’una primaverile-estiva, l’altra invernale, per tener conto delle differenti coperture vegetative stagionali.

## Metodologie

Lo schema generale delle attività e delle metodologie implementate è riportato in Fig. 3. Come si vede l’obiettivo è quello di arrivare ad un City Data-Base (*Geodatabase*), basato sull’entità edificio, attraverso una fase di produzione della sua struttura di base (Basic DB) e di quella successiva

d'integrazione con specifiche informazioni relative sia all'ambiente edificato (*Surface/building data*) che al sottosuolo (*Sub-Surface data*). La fase finale è relativa allo sviluppo di eventuali applicazioni basate sul Geodatabase ottenuto (Kolbe et al., 2003).

Le fasi di produzione ed integrazione su cui si è focalizzato l'interesse del presente lavoro sono caratterizzate da varie tipologie di attività più elementari:

- sviluppo di metodologie di acquisizione;
- elaborazione delle varie tipologie di dati in input;
- integrazione tra tecnologie diverse per il trattamento d'informazioni territoriali sia in formato vettoriale (*layer GIS*, la cartografia vettoriale 2-D, nuvole di punti LIDAR...) che raster (DEM, DSM, coperture aerofotogrammetriche, immagini telerilevate iper/multi spettrali...);
- sviluppo e applicazione di algoritmi numerico-digitali specifici.

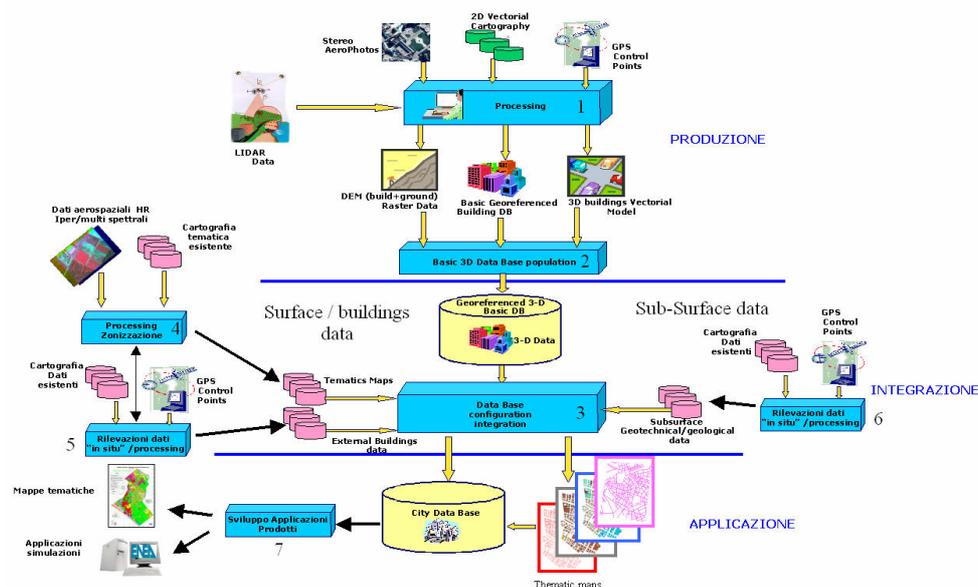


Fig. 3 - Schema generale delle attività di progetto

Essendo interessati alla caratterizzazione tridimensionale dell'edificato e del territorio dopo la conversione per il cambiamento di formato dalle originarie tavolette cartografiche in formato DWG sono stati selezionati i livelli corrispondenti alle poligonali degli edifici unitamente ai punti quotati sul terreno (Corongiu et al., 2006). Inoltre, laddove presenti, sono stati incluse le quote puntuali di gronda misurate manualmente durante il processo di stereorestituzione. La mosaicatura delle coperture sull'intero territorio comunale effettuata unitamente ad adeguate operazioni di *editing* sia per recuperare la continuità delle poligonali al confine tra le varie tavolette che per l'inserimento di nuovo edificato, ha consentito di produrre i *layer* di base con cui procedere alle analisi successive. Per gli ambiti relativi alle aree di test, si è proceduto quindi all'implementazione ed ottimizzazione delle metodologie di rilievo basate su tecniche aerofotogrammetriche digitali. I passi seguiti sono stati i seguenti: rasterizzazione dei fotogrammi; orientamento e triangolazione, supportata da idonei punti di riferimento a terra, rilevati anche con tecniche GPS; estrazione del DEM tramite stereocorrelazione automatica, ottimizzata utilizzando varie configurazioni di parametri (strategie) idonee per le diverse caratteristiche dell'ambiente urbanizzato. Tra i parametri ottimizzati sulle specifiche aree, rientrano quelli relativi alle dimensioni dei *kernel* utilizzati, agli intervalli del coefficiente di correlazione ed al filtraggio del DEM ottenuto (Della Rocca et al., 2005). I valori ottenuti da quest'ultimo in corrispondenza di ogni singolo edificio con operazioni GIS sono stati confrontati in termini di errore quadratico medio (RMSE) con quelli puntuali misurati a terra durante le campagne in sito e/o durante le operazioni di stereo restituzione manuale (quote di gronda). Per alcune strategie è stata adottata una modalità "adattiva" dei parametri, che permette di modulare dinamicamente gli stessi in funzione delle caratteristiche locali dell'area analizzata. La

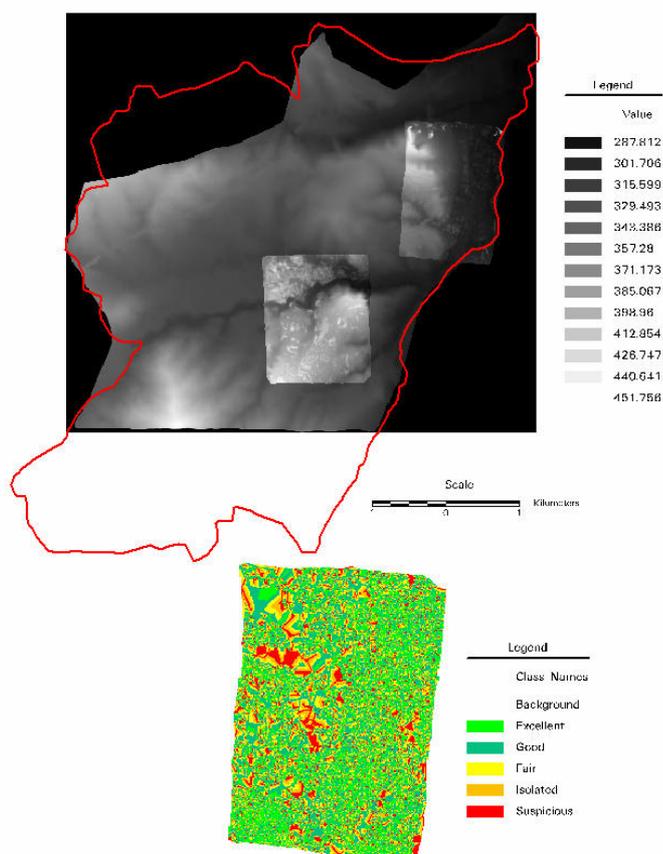


Fig. 4 - DEM (suolo+edifici) da tecniche aerofotogrammetriche delle 2 aree di test in sovrapposizione a quello del suolo, ottenuto per interpolazione. In basso, mappa di qualità del DEM estratto nell'area superiore

variazione dei parametri è stata effettuata in accordo con le strategie generali applicabili in aree urbanizzate a bassa (*Low*) ed ad alta (*High*) densità, mentre per i valori di confronto calcolati dal DEM per la poligonale di ogni singolo edificio ci si è avvalsi di combinazioni dei vari parametri statistici (massimo, media, deviazione standard...).

Nelle due aree di test il minimo RMSE è stato ottenuto utilizzando una strategia *Low-Urban* “adattiva” con i valori medi, risultati maggiormente rappresentativi delle quote di gronda misurate. Il rilievo LIDAR, utilizzato in modo integrato con le tecniche aerofotogrammetriche ha reso possibile un miglioramento notevole della precisione, con una diminuzione a valori submetrici dell'RMSE. La messa a punto e l'utilizzo di tecniche di filtraggio sui dati LIDAR a impulsi di ritorno multipli ha inoltre permesso la ricostruzione dell'andamento del suolo al di sotto della vegetazione e l'individuazione automatica degli edifici non presenti nelle cartografie utilizzate (Crosilla et al., 2007).

La caratterizzazione degli edifici presenti nelle aree d'interesse è stata supportata anche da rilievi a terra che, oltre a definire le tipologie costruttive hanno fornito informazioni sulle facciate integrando i rilievi aerospaziali con quelli fotografici diretti. Sono state, infine,

implementate tecniche automatiche di “drappaggio” sui modelli 3D (Pollino et al., 2002), per derivare - ove possibile - informazioni sulla configurazione strutturale degli edifici in C.A. (numero di telai e loro disposizione).

## Bibliografia

- Crosilla F., Visintini D., Prearo G., Fico B. (2007), “Esperienze di filtraggio, classificazione segmentazione e modellazione di dati spaziali da rilievo laser aereo”, *Bollettino SIFET*, 1/05: 13-51
- Corongiu M., Rossi M., Galetto R., Spalla A. (2006), “Cartografia numerica per i Database Topografici e il 3D city model dei centri storici”, *Bollettino SIFET*, 1/06: 45-68
- Kolbe T.H., Gröger G., Plümer L. (2006) “CityGML: Interoperable Access to 3D City Models” in *Geo-information for Disaster Management*, Ed. Springer Berlin Heidelberg, 883-899
- Pollino M., Della Rocca A.B., Pierazzi M. (2005), “Aerofotogrammetria, DEM e realtà virtuale: ricostruzione fotorealistica tridimensionale di edifici in aree urbane”, *Cartographica - Il notiziario dei dati geografici*, Ed. MondoGIS, n° 11: 7-10
- Kolbe T.H., Gröger G. (2003), “Towards unified 3D city models”, *Proceedings of the ISPRS Commission IV Joint Workshop on Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II*, Stuttgart, Germany, Stuttgart
- Della Rocca A.B., Borfecchia F., Pierazzi M., Pollino M., Barbato F., D'Amico M. (2002), “Dal rilievo aereo al VRML: fotogrammetria digitale e GIS per la generazione e la fruizione in rete di modelli 3D fotorealistici di aree urbane”, *ATTI 6<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA “Geomatica per l'ambiente, il territorio ed il patrimonio culturale”*, Volume II, 1017-1022