

DEFINIZIONE AUTOMATICA DA RILIEVI LIDAR DI ATTRIBUTI GEOMETRICI PER IL GIS 3D URBANO

Barbara FICO, Alberto BEINAT

Dipartimento di Georisorse e Territorio, Università di Udine, via Cotonificio 114 - 33100 UDINE
tel. 0432 558716-558719, fax 0432 558700, e-mail: barbara-fico@libero.it, alberto.beinat@uniud.it
<http://geomatica.uniud.it>

Riassunto*

Si descrive una procedura per aggiornare ed estendere un SIT 2D urbano esistente, ricavando mediante l'uso di funzioni disponibili in ambiente GIS, attributi geometrici 3D di interesse urbanistico, desumendoli in modo automatico da rilievi LiDAR opportunamente classificati.

Si illustra inoltre come sul dato LiDAR si possa costruire un supporto tridimensionale, il 3D *city model*, da integrare al SIT 2D, che permetta di navigare in un ambiente virtuale e di interrogare la banca dati aggiornata selezionando oggetti 3D.

Abstract

We describe a procedure to update and extend an existing urban 2D GIS, that automatically extracts, by way of ordinary functions available in the GIS software, 3D geometrical attributes of urbanistic interest from LiDAR survey data properly classified.

We show as well, how a tri-dimensional support for a urban GIS, i.e. a 3D city model, can be developed from LiDAR data, and can be integrated into an existing 2D GIS, in order to navigate in a virtual environment and to query the updated databases by pointing and selecting 3D objects.

1. Introduzione

A causa della crescente complessità del territorio, per un'ottimale rappresentazione e gestione dello stesso sono necessarie oggi informazioni di diversa natura e livello di dettaglio, talvolta rappresentabili solo in un dominio 3D (Barrile e Cotroneo, 2006). La reperibilità di informazioni che rispondano a queste nuove esigenze del territorio è tutt'oggi un problema per il quale la tecnica della scansione laser (LiDAR) da aeromobile si propone come possibile soluzione. Il LiDAR infatti consente di acquisire rapidamente e su vasta scala dati tridimensionali di elevata precisione, dai quali sono desumibili gli attributi geometrici che definiscono oggetti territoriali anche di natura complessa (gli edifici per esempio). Questa tecnologia permette quindi di fornire un supporto 3D alla rappresentazione del territorio, perché dai dati LiDAR non solo si possono ricavare informazioni di natura puntuale, ma è anche possibile ricostruire un modello 3D degli oggetti tridimensionali che costituiscono il territorio stesso. In questo modo, attraverso l'utilizzo della tecnica *laserscanning* aerea, si hanno a disposizione informazioni tridimensionali dettagliate, che possono essere integrabili a banche dati digitali 2D esistenti consentendone l'aggiornamento. Inoltre, grazie al supporto 3D fornito dal LiDAR, queste banche dati aggiornate sono visualizzabili e gestibili in uno scenario tridimensionale, interrogabile e navigabile dall'utente interessato.

* Il presente lavoro di ricerca si è svolto nell'ambito delle attività previste dal progetto EU INTERREG IIIA Phare/CBC Italia-Slovenia "Ricomposizione della cartografia catastale e integrazione della cartografia tecnica regionale numerica per i sistemi informativi territoriali degli enti locali mediante sperimentazione di nuove tecnologie di rilevamento" svolto dall'Università di Udine (<http://geomatica.uniud.it>) in collaborazione con il Geodetski Inštitut Slovenije di Lubiana.

2. Descrizione dei dati

2.1 Dati esistente

Il Comune di Gorizia ha reso disponibile per questa sperimentazione il SIT della città, composto da una parte descrittiva (il *database*) e una posizionale (gli elaborati grafici).

Il *database* è suddiviso in tre tabelle:

1. edifici, che riporta attributi geometrici ed alfanumerici di ogni edificio;
2. civici, contenente i numeri civici e il nome delle vie;
3. zone, che definisce i codici delle zone PRG a cui può appartenere ciascun edificio.

Ad ogni tabella del *database* è associato un file vettoriale in formato MicroStation™ .dgn in cui sono memorizzate forma e posizione dei diversi oggetti territoriali (punti per i numeri civici, poligoni per gli edifici e le zone). Ciascun oggetto è identificato da un indice univoco (ID) che consente di risalire a tutte le informazioni presenti nelle relative tabelle del *database*. Tutti gli elaborati grafici sono stati realizzati sulla stessa base cartografica, la CTRN del Friuli Venezia Giulia in scala 1:5000, che rappresenta quindi la struttura 2D portante per il collegamento e l'integrazione di ulteriori informazioni georiferite.

2.2 Dati LiDAR

I dati LiDAR provengono da un rilievo da aeromobile effettuato con un sistema Optech ALTM 3033 su Gorizia. Mediante 14 strisciate incrociate, effettuate con densità media di 7 pti/mq, è stata rilevata un'area di 1,67 kmq, consentendo una precisione altimetrica di circa 20 cm. La disposizione delle strisciate ha permesso di ridurre le occlusioni prospettiche e di ottenere una densità media complessiva di 15 p.ti/mq. Le coordinate dei punti laser sono state ricavate integrando le misure di distanza del telemetro *laser* con le informazioni sulla posizione e sull'assetto del velivolo derivanti dall'accoppiamento dei dati GPS e del sensore inerziale di bordo. La georeferenziazione iniziale dei punti LiDAR, per la componente planimetrica, è avvenuta nel sistema nazionale Gauss-Boaga, mediante una trasformazione a 7 parametri. Per l'altimetria si sono conservate le quote ellissoidiche WGS84 originarie.

I dati rilevati, classificati ed elaborati secondo la procedura descritta in Crosilla, Visintini e Fico (2004), hanno permesso di ricostruire con elevata precisione metrica il DTM (*Digital Terrain Model*), il DEM (*Digital Elevation Model*), e parte dell'edificato di Gorizia (355 edifici), ottenendo così un 3D *city model*, metricamente corretto e di notevole livello di dettaglio (Figura 1).

I DTM e DEM *laser* mettono a disposizione innumerevoli informazioni tridimensionali georeferenziate, agevolmente integrabili nei SIT, e possono essere utilizzati per ricavare attributi geometrici relativi ad oggetti territoriali. Il 3D *city model*, costituisce invece un ottimo supporto 3D per la rappresentazione e consultazione di tutte le informazioni riferibili agli edifici, rendendo possibile una gestione corretta, non solo delle piante, ma anche delle quote e delle volumetrie dell'edificato urbano.

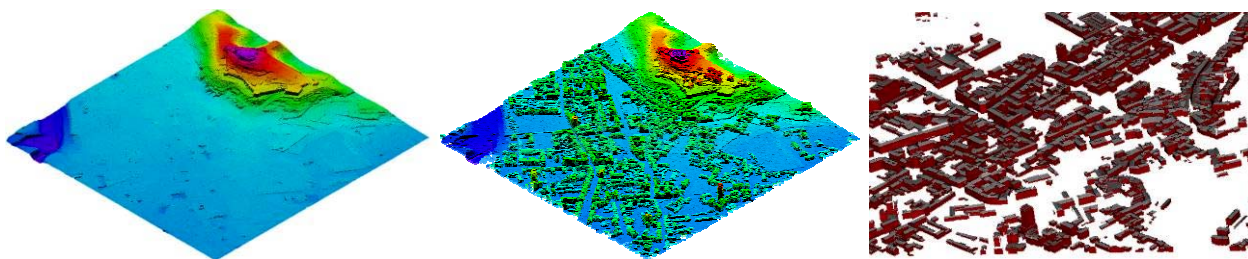


Figura 1. DTM, DEM e 3D city model ricavati dal rilievo LiDAR sulla città di Gorizia

3. Realizzazione di un GIS 3D urbano

La procedura seguita per realizzare il GIS 3D di Gorizia può essere schematicamente suddivisa in due fasi: dapprima tutte le informazioni geometriche desumibili automaticamente da dati e modelli LiDAR sono state integrate nel SIT 2D esistente; successivamente il *database* così esteso, contenente informazioni LiDAR e non, è stato associato al modello 3D dell'edificato ottenuto da

LiDAR, passando così dallo spazio bidimensionale della cartografia a quello tridimensionale del 3D *city model* di Gorizia.

3.1 Integrazione di dati alla cartografia 2D

Come impostazione operativa, per il supporto dei file di tipo vettoriale è stato utilizzato il formato ArcGis™ .shp. Il generico *shape* file è costituito infatti da una componente grafica alla quale è possibile associare una serie di attributi editabili e facilmente gestibili in qualsiasi ambiente GIS. Inoltre, nella conversione da .dgn a .shp si conservano tutti gli attributi già annessi agli oggetti vettoriali, sia geometrici (aree, perimetri) che alfanumerici (identificativi). I file .dgn appartenenti al SIT della città sono stati quindi trasformati in *shape* file e, grazie agli ID conservati nella conversione, a ciascuna entità è stato possibile associare gli attributi contenuti nelle relative tabelle del *database* esistente, per mezzo di una semplice operazione di unione basata sulla corrispondenza tra indici.

Successivamente ai poligoni-edificio del file *edifici.shp* sono state associate le informazioni relative ai civici e alla zonizzazione, definendo così il singolo edificio come unità di strutturazione per il GIS. Per assegnare ad ogni edificio il codice della corrispondente zona PRG è stata eseguita un'operazione di unione basata sulla posizione spaziale delle entità da relazionare: ad ogni poligono-edificio sono state aggiunte le colonne di attributi del poligono-zona che lo conteneva completamente. Tale operazione è risultata piuttosto semplice ed immediata perché ogni edificio appartiene ad un'unica zona sulla base del PRG. Questo è dovuto anche al fatto che le zonizzazioni sono realizzate su base cartografica, per cui non vi possono essere casi in cui un poligono edificio intersechi due o più poligoni-zona.

Per i civici, si è proceduto invece in modo diverso, in quanto ad ogni edificio possono essere attribuiti più numeri civici. Innanzitutto, ai punti del file *civici.shp* è stato assegnato, con un'operazione di unione spaziale, l'ID del poligono-edificio in cui ricadevano o che intersecavano. Successivamente ai poligoni-edificio è stato unito l'attributo del numero civico con una procedura di unione basata sulla corrispondenza tra indici, instaurata con la precedente operazione. Ogni *record* della nuova colonna annessa al *database* del file *edifici.shp* contiene la somma dei numeri civici (separati da “;”) che presentano lo stesso ID del relativo poligono-edificio.

Integrate le informazioni grafiche e alfanumeriche del SIT in un unico *shape* file, si è proceduto quindi all'individuazione degli attributi geometrici 3D ricavabili automaticamente dai dati LiDAR.

Considerata la natura del dato LiDAR, ovvero nuvole di punti georiferite che descrivono in modo discreto la superficie degli oggetti rilevati, le informazioni più facilmente derivabili sono sicuramente quelle di tipo puntuale e di natura altimetrica, come la quota al piede e le quote di gronda e di colmo di ciascun edificio. Queste informazioni potrebbero essere estratte direttamente da DTM e DEM, ma a causa delle difficoltà computazionali incontrate nella gestione dei corrispondenti file vettoriali, è stato necessario trasformarli in formato raster. Ogni pixel dei raster DTM e DEM presenta come attributo la quota media dei punti in esso contenuti e ha una dimensione di 25x25 cm², scelta in funzione della densità media dei punti LiDAR.

La procedura attuata per il calcolo delle quote consiste in un'analisi di tipo statistico condotta per zone delimitate dai singoli poligoni edifici del file *edifici.shp*. Ad ogni zona compete un insieme di pixel appartenente allo specifico raster e per ciascun insieme è possibile calcolare automaticamente un insieme di parametri statistici standard (media, massimo, minimo, deviazione standard, ecc..).

A partire dal DTM raster, per ogni insieme di pixel delimitato da un poligono-edificio, è stato calcolato il valore medio dell'attributo quota, poi assegnato al poligono stesso come quota media al piede. Dal DEM raster, invece, per ogni insieme di pixel delimitato sempre da un poligono-edificio, sono stati calcolati il valore massimo, il minimo e la media di quota che rappresentano rispettivamente la quota di colmo, la quota di gronda e la quota media del relativo edificio.

L'automazione del procedimento è risultata essere fortemente influenzata da alcuni fattori, quali:

- il non perfetto allineamento planimetrico tra rilievo LiDAR e cartografia;
- la presenza di edifici con parti aggettanti su edifici adiacenti (es. balconi e sporti di gronda);
- la natura discreta del dato LiDAR che ostacola la delimitazione precisa dei singoli edifici.

In tutti questi casi, si introducono errori quasi esclusivamente nel calcolo delle quote di gronda. In particolare, il disallineamento tra dato cartografico e LiDAR ha comportato errori nella definizione dell'insieme di pixel da analizzare, talvolta escludendo parte dei pixel appartenenti al bordo del tetto, talvolta inglobando punti-terreno all'interno di questi (Figura 2, a destra). Nella situazione di edifici adiacenti, invece, non è sempre stato possibile isolare e distinguere correttamente i pixel del DEM relativi ad un edificio e si sono verificati casi in cui ad uno di questi è stata attribuita la quota di gronda dell'edificio vicino, soprattutto là dove vi siano salti netti di quota tra le falde (Figura 2, a sinistra). Infine, siccome il rilievo LiDAR non definisce il contorno dell'edificio, spesso all'interno dell'insieme di pixel DEM sono rientrati anche punti terreno, pur essendo corretto l'allineamento planimetrico tra cartografia e dati LiDAR, e la quota di gronda, essendo il valore minimo, è stata calcolata automaticamente uguale a quella al piede (Figura 3).

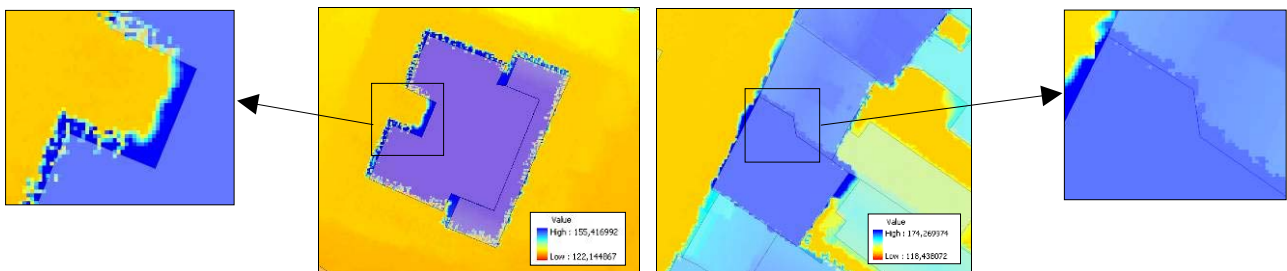


Figura 2. A sinistra, un esempio di non allineamento tra rilievo laser e cartografia; a destra, il problema dovuto alla sovrapposizione tra edifici.

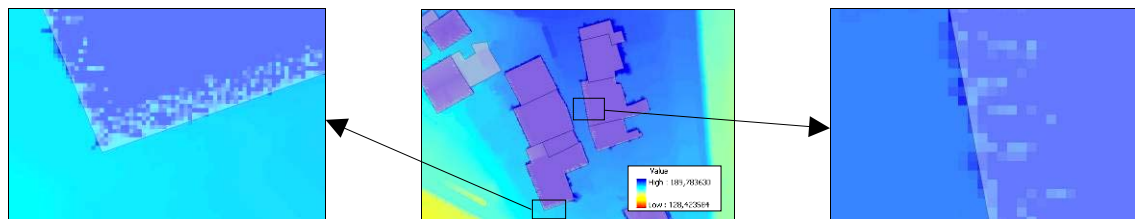


Figura 3. Esempi di pixel terreno inglobati nel contorno dell'edificio nell'insieme di pixel DEM.

Il primo problema può essere risolto imponendo un allineamento tra i baricentri delle planimetrie LiDAR e cartografiche, mentre per gli altri due tipi di errore si può procedere confrontando la quota di gronda rispettivamente con la quota media e con la quota al piede dell'edificio. In questa sperimentazione, la quota di gronda è stata considerata errata se presentava una differenza inferiore a 2 m rispetto alla quota al piede o maggiore di 2 m rispetto alla quota media dell'edificio. In entrambi i casi, si è proceduto individuando attraverso il raster DEM il valore corretto.

Altri importati attributi geometrici deducibili da dati LIDAR sono il perimetro di base, l'area e il volume di ogni edificio. Direttamente dal rilievo LiDAR è stato possibile ricostruire:

1. le falde del tetto, per interpolazione dei punti rilevati su di esse,
2. le pareti per estrusione del contorno delle falde ricostruite, fino ad incontrare il DTM *laser*
3. le impronte di base dell'edificio, dall'intersezione delle pareti con il DTM stesso.

Il risultato finale è un modello di edificio definito per superfici e memorizzato in un file vettoriale. L'area e il perimetro di base dei singoli edifici sono ricavabili immediatamente, essendo attributi geometrici già associati a ciascun poligono-impronta: è stato quindi sufficiente esportare in *shape* il file vettoriale relativo alle planimetrie 2D ricavate da LiDAR, conservando come attributi il valore di area e perimetro, ed effettuare un'operazione di unione con il file *edifici.shp*, basata sulla posizione spaziale delle entità in relazione. E' stato possibile calcolare automaticamente anche il baricentro delle singole planimetrie LiDAR e attribuirlo ai poligoni-edifici del file *edifici.shp* con un'ulteriore operazione di unione spaziale.

Il calcolo del volume da LiDAR è risultato invece laborioso, nonostante si avesse a disposizione il modello 3D di ciascun edificio. Come precedentemente accennato, questi non sono modelli solidi

ma semplicemente definiti da un insieme di superfici che non presentano alcuna relazione topologica tra di loro. Dal modello vettoriale dell'edificio ricostruito da LiDAR non è quindi stato possibile trarre automaticamente alcuna informazione di tipo volumetrico. Il volume di ogni edificio è stato pertanto calcolato non dal modello vettoriale, ma dai punti *laser* classificati.

Si è ricorsi alla definizione matematica di volume, come integrale definito tra due superfici - tetto e terreno per gli edifici - e, in forma discreta, come sommatoria di parallelepipedi infinitesimi, aventi come altezza la differenza di quota tra le due superfici. Per questo motivo si è creato un nuovo file raster i cui pixel avessero dimensione $25 \times 25 \text{ cm}^2$ e come attributo l'altezza dell'edificio ottenuta per differenza tra DEM e DTM. Il volume di ciascun edificio è stato quindi calcolato come:

$$V = \sum (A_i * h_i)$$

dove A_i e h_i sono rispettivamente area e attributo di altezza dell' i -esimo pixel del raster DEM-DTM che ricade all'interno del contorno dell'edificio analizzato. Essendo l'area uguale per ogni pixel ($A_i = 25 \times 25 \text{ cm}^2$), il volume è dato semplicemente da:

$$V = A * \sum h_i$$

Con un'analisi di tipo statistico condotta per zone delimitate dai poligoni-edifici del file *edifici.shp*, è stato possibile ricavare il valore $\sum h_i$, che moltiplicato per A ha fornito in maniera automatica il volume degli edifici. Anche in questo caso gli errori, seppur limitati, derivano dal disallineamento planimetrico tra cartografia e rilievo laser, e dalla sovrapposizione tra falde di edifici contigui. Per verificare l'affidabilità di questa grandezza derivata, è stato considerato un campione di 11 edifici per i quali area, perimetro e volume erano già noti in quanto misurati topograficamente (Crosilla et al. 2005). I test statistici non parametrici del Segno (+) e di Friedman hanno dimostrato che non esistono differenze significative tra i valori ricavati dal rilievo LiDAR e quelli ottenuti da misure topografiche.

3.2 Passaggio al GIS 3D

Fino a questo punto la base del SIT è rimasta la cartografia 2D, alla quale è stato associato un *database* opportunamente aggiornato con attributi geometrici definiti automaticamente da dati LiDAR. Il passo successivo è stato dotare il SIT di un supporto tridimensionale, costituito da entità che consentissero non solo di rappresentare il dato tridimensionalmente, ma anche di consultarlo mediante interrogazioni ed eventualmente di modificarlo. Per questo l'intero *database* è stato trasferito sul 3D *city model* ricavato dal rilievo LiDAR, ottenendo così un GIS con supporto 3D.

Come detto precedentemente, i modelli di edifici ricavati da LIDAR sono definiti da superfici tra le quali non sussiste alcuna relazione topologica. La ricostruzione di tali relazioni è un problema di non banale risoluzione, perchè prevede un'opportuna strutturazione del dato (Ammoscato et al., 2006). Poiché l'obiettivo del lavoro non è la risoluzione del problema topologico, ma l'individuazione di un'ottimale ed automatica fruizione del dato LiDAR così come questo è disponibile, si è pensato di legare il *database* al 3D *city model* sfruttando sia la sovrapposibilità tra la cartografia e il rilievo LiDAR, sia l'univocità degli ID dei singoli edifici. Nello specifico, dopo aver convertito il file .dxf del 3D *city model* in *shape*, con una *query* di posizionamento spaziale è stato associato ad ogni superficie che compone il singolo modello (falde, pareti o impronte di base), l'ID del poligono-edificio 2D in cui essa ricade. A causa della stretta vicinanza degli edifici, in alcuni casi è stato necessario verificare l'esito di tale operazione per evitare che vi fossero errori nell'attribuzione di indici. Il *database* è stato poi associato alle superfici dei modelli con un'operazione di unione basata sulla corrispondenza tra indici; in questo modo, navigando in un ambiente 3D virtuale, si può accedere a tutte le informazioni relative ad un singolo edificio interrogando una qualsiasi superficie ad esso appartenente (Figura 4).

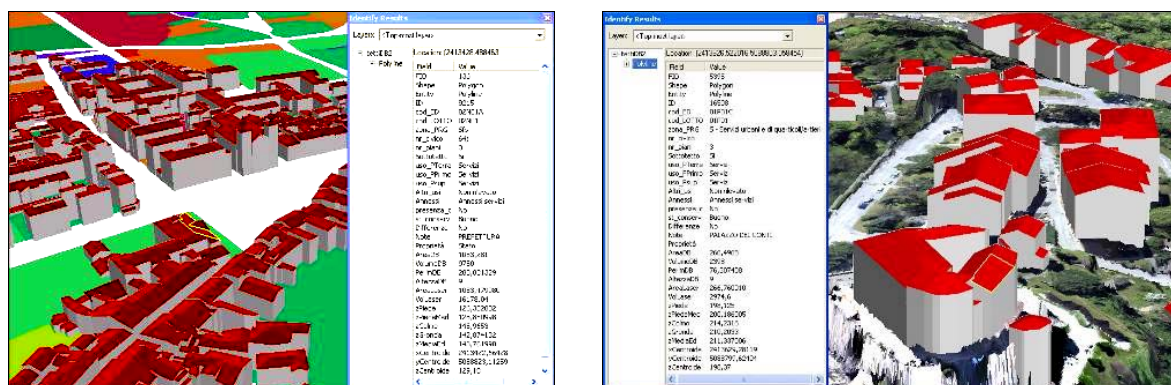


Figura 4. Esempi di interrogazioni al GIS 3D urbano di Gorizia

4. Risultati e conclusioni

La procedura descritta ha consentito di ampliare ed aggiornare un SIT 2D con informazioni 3D tratte da rilievi LiDAR. Parametri geometrici come le quote al piede, le quote di gronda e di colmo, le quote medie dell'edificio, sono risultati desumibili dal rilievo LiDAR e attribuibili alle entità corrispondenti in modo automatico. Oltre ad informazioni di tipo puntuale, è stato inoltre possibile ricavare da LiDAR, in modo affidabile, l'area, il perimetro e il volume di ciascun edificio analizzato. Disponendo dei parametri urbanistici, quali superficie territoriale (ST) e superficie fondiaria (SF), e utilizzando l'area come superficie utile lorda (SUL) e il volume (V) del database aggiornato mediante dati LiDAR, si possono calcolare automaticamente alcuni indici urbanistici ed edilizi, tra cui: indice di fabbricabilità (IT=V/ST), di utilizzazione territoriale (UT=SUL/ST), di fabbricabilità fondiaria (IF=V/SF) e di utilizzazione fondiaria (UF=SUL/SF).

Il dato LiDAR, unito all'elevato livello di automazione delle procedure per la definizione degli attributi geometrici di interesse urbanistico, si rivela una soluzione affidabile ed efficiente per l'aggiornamento e l'ampliamento della base dati dei sistemi informativi esistenti, e per la loro evoluzione nella direzione di una strutturazione tridimensionale.

Bibliografia

- Ammoscato A., Corsale R., Scianna A. (2006), "Cartografia numerica tridimensionale per GIS e WEB_GIS: verso la fruizione virtuale", *Atti del Convegno SIFET 2006, Castellaneta Marina (TA)*.
- Barrile V., Cotroneo F. (2006), "GIS modelling attraverso features 3D interrogabili", *Atti del Convegno SIFET 2006, Castellaneta Marina (TA)*.
- Crosilla F., Beinat A., Visintini D., Fico B., Sossai E. (2005), "Likelihood and accuracy analyses of 3D building models from airborne laser data", *Proceedings of the Italy-Canada Workshop 2005*".
- Crosilla F., Visintini D., Fico B. (2004), "Classificazione e modellazione solida dell'edificato urbano da rilievo laser aereo: prime applicazioni alla città di Gorizia", *Atti dell'VIII Conferenza Nazionale ASITA*, Roma, 1, 931-936
- Crosilla F., Visintini D., Prearo G., Fico B. (2005), "Esperienze di filtraggio, classificazione, segmentazione e modellazione di dati spaziali da rilievo laser aereo", *Bollettino della SIFET*, 1, 13-51.