

# Estrazione e Ricostruzione 3D Automatica di Edifici da Dati Laser a Scansione

Nicola CREATI(\*), Paolo STERZAI(\*) & Franco COREN(\*)

(\*)Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, OGS, Borgo Grotta Gigante 42/c, 34010 Sgonico (TS)  
ncreati@inogs.it; psterzai@inogs.it; fcoren@inogs.it

## Riassunto

La ricerca di metodi per la creazione rapida di modelli digitali tridimensionali di centri abitati sta subendo un notevole sviluppo grazie alla possibilità di utilizzo di questi prodotti nelle operazioni di pianificazione territoriale urbanistica e ambientale. Non esistono metodi di vettorializzazione tridimensionale perfettamente funzionanti ma solo delle metodologie sperimentali i cui risultati sono notevolmente influenzati dalla complessità degli edifici. In questo lavoro viene proposto un approccio che sfrutta vincoli geometrici e algoritmi già noti nell'*image vision* per definire la pianta degli edifici e creare dei semplici modelli poliedrici a partire da dati laser a scansione. Mentre la vettorializzazione delle piante degli edifici dà ottimi risultati anche nel caso di geometrie complesse per la creazione di modelli tridimensionali i risultati sono buoni solo per geometrie semplici. Edifici con una distribuzione statistica delle superfici che li costituiscono complicata sono di rado correttamente rappresentati. Inoltre mentre l'analisi bidimensionale può sopperire ad eventuali errori nel laser e alla presenza di oggetti che mascherano o interagiscono con la geometria degli edifici l'analisi 3D è molto influenzata dalla densità e distribuzione delle misure laser. In ogni modo il risultato finale apre spazio ad ulteriori sviluppi futuri.

## Abstract

The need of 3D city model for urban and environment planning pushes the development of new improved automatic methods able to extract and reconstruct features from laser scanner data. There are not any methods able to do this task but only many experimental approaches whose results are strongly influenced by the buildings complexity. In this work a method that uses recent knowledges from image vision and some well known geometric constraints is developed to extract the geometric boundaries of buildings and create approximated 3d polyhedral models. This method works very well for buildings borders while a full 3d reconstruction is only possible for plain geometry and if the data are dense and well distributed. The statistics of the buildings planes strongly affects the final results. Anyway the final results are a good starting point for further researches.

## Introduzione

La richiesta di modelli tridimensionali dei centri abitati ha ricevuto un notevole incremento negli ultimi anni grazie all'elevata densità di misure, precisione e facilità di acquisizione offerte da dati laser a scansione. La conoscenza accurata di un modello tridimensionale degli abitati ha numerose applicazioni che spaziano dal turismo, il marketing, la pianificazione urbana ed architettonica, l'inquinamento acustico ed ambientale, etc. L'analisi dei dati laser a scansione e la successiva fase di ricostruzione degli elementi tridimensionali a terra (strade, edifici, ecc.) è generalmente eseguita a mano da un operatore. In passato sono stati proposti metodi di analisi semiautomatica a partire da immagini aeree o dati di fotogrammetria (Ameri, 2000; Baillard et al., 1999). Questi metodi però non hanno la densità e l'accuratezza offerta dal laser a scansione e pertanto il mercato oggi è orientato verso un utilizzo massiccio dei dati laser. Le metodologie sviluppate negli ultimi anni nel campo della ricostruzione tridimensionale degli edifici fanno largo uso di tutte le recenti conoscenze sviluppate nel campo dell'*image vision*.

Dato che un edificio è costituito da superfici regolari la ricostruzione tridimensionale di un oggetto a partire da dati laser dipende dalla capacità della metodologia utilizzata nel riconoscere piani e superfici. Uno degli approcci seguiti si basa sulla parametrizzazione di primitive (Brenner et al., 1998) che però riducono il livello di dettaglio degli edifici causando una eccessiva semplificazione del poliedro rispetto alla sua forma originale. Un altro metodo è incentrato sull'individuazione dei piani e le loro relazioni geometriche per ottenere un modello poliedrico finale (Rottensteiner et al., 2005; Vosselman, 1999). Questo approccio è il più diffuso ma non è esente da problemi dato che la qualità finale del prodotto è influenzata dalla complessità dell'edificio e dalla conoscenza più o meno precisa che si ha della sua pianta. Spesso le piante degli edifici sono già note (Vosselman, 1999), alternativamente si regolarizzano i bordi esterni dei piani che definiscono gli edifici ricostruiti (Rottensteiner et al., 2005).

In questo lavoro è proposto un metodo capace di ricostruire edifici tridimensionali mediante l'utilizzo di algoritmi basati sull'*image vision* e semplici vincoli geometrici. L'approccio che si propone è costituito da due parti principali. Nella prima fase vengono delineati i bordi degli edifici e quindi la pianta dei medesimi è vettorializzata. Nella seconda fase sono individuate le falde dei tetti, le relazioni geometriche tra di esse e ricostruiti dei semplici modelli poliedrici.

### **Definizione dei Bordi degli Edifici**

Inizialmente i dati laser sono classificati per isolare i punti che ricadono sugli edifici mediante l'utilizzo del software commerciale *TerraScan<sup>TM</sup>* sviluppato dalla *TerraSolid* (TerraSolid, 2001) che dispone di un ottimo algoritmo di classificazione (Figura 1).

La nuvola dei punti degli edifici è trasformata in una griglia regolare con un passo che tiene conto della distribuzione e densità delle misure al fine di riempire eventuali buchi ed irregolarità all'interno e lungo i bordi degli edifici. In questa fase gli edifici la cui estensione è inferiore ad una certa soglia, in genere 25 m<sup>2</sup>, vengono eliminati. La griglia viene poi convertita in una immagine binaria per l'applicazione di algoritmi di estrazione di elementi molto efficienti su immagini di questo tipo.



Figura 1 – Dataset di esempio con ortofoto e punti laser ricadenti sugli edifici classificati utilizzando il software commerciale TerraScan™ della Terrasolid (Terrasolid, 2001).

Tutti gli elementi dell'immagine creata vengono pertanto individuati mediante *labelling* e analizzati singolarmente. Per ciascun edificio (Figura 2a) viene estratta la catena di pixel (Figura 2b) che ne definisce il bordo che viene memorizzato come *chain-code* (Gonzalez et al., 2002). Questo algoritmo associa ad ogni pixel un valore nel range 0-7 in base alla posizione che avrà in una catena ordinata in senso orario o antiorario il pixel successivo. A valori pari corrispondono variazioni angolari di  $0^\circ$  o  $90^\circ$  mentre agli spostamenti diagonali sono assegnati valori dispari. In questo modo è possibile avere un'idea del grado di irregolarità del bordo di ciascun edificio ed effettuare una correzione

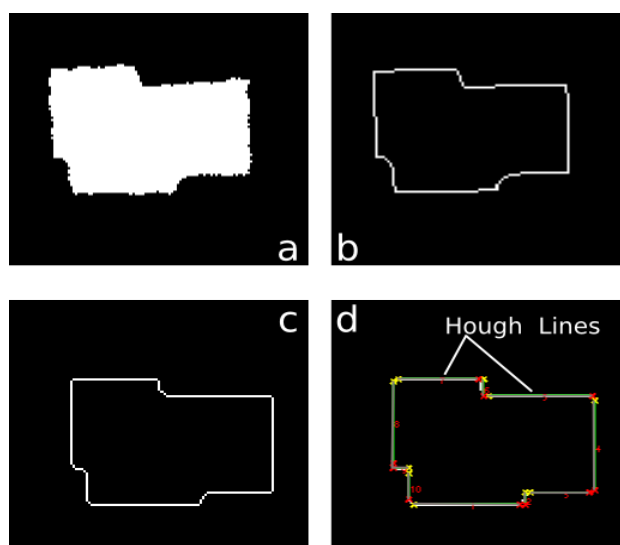


Figura 2 – Esempio di processing per l'estrazione della pianta di un edificio. a) Edificio grigliato e convertito in una immagine binaria. b) Estrazione del contorno raw. c) Bordo filtrato dove sono state eliminate le irregolarità e spigolosità. d) Esempio di linee estratte utilizzando la trasformata di Hough.

E' stato pertanto scritto un algoritmo che partendo dai pixel del bordo li converte in *chain-code* e riduce le irregolarità e spigolosità. Il risultato che si ottiene è un bordo molto regolare e rettilineo (Figura 2c) che facilita la fase successiva di vettorializzazione. Il contorno filtrato è successivamente analizzato utilizzando la trasformata di *Hough* (Gonzalez et al., 2002) che permette l'estrazione di linee rette da immagini binarie (Figura 2d).

L'insieme delle linee estratte è sottoposto poi ad una fase di correzione geometrica basata sulle loro relazioni angolari. I vertici del poligono descritto dall'insieme di linee sono individuati mediante una semplice intersezione tra linee. L'algoritmo permette di individuare nella fase finale la presenza di lati non riconosciuti dalla trasformata di *Hough* e unire segmenti adiacenti che descrivono lo stesso lato. Il risultato finale è pertanto un insieme di punti che rappresentano i vertici della pianta di un edificio. Mediante questa procedura è possibile ricostruire la geometria di edifici molto complessi sia in presenza di contorni irregolari dovuti ad errori del laser (es. zone d'ombra ) sia nei casi in cui una parte del bordo è stata oscurata dalla presenza di vegetazione (Figure 3).

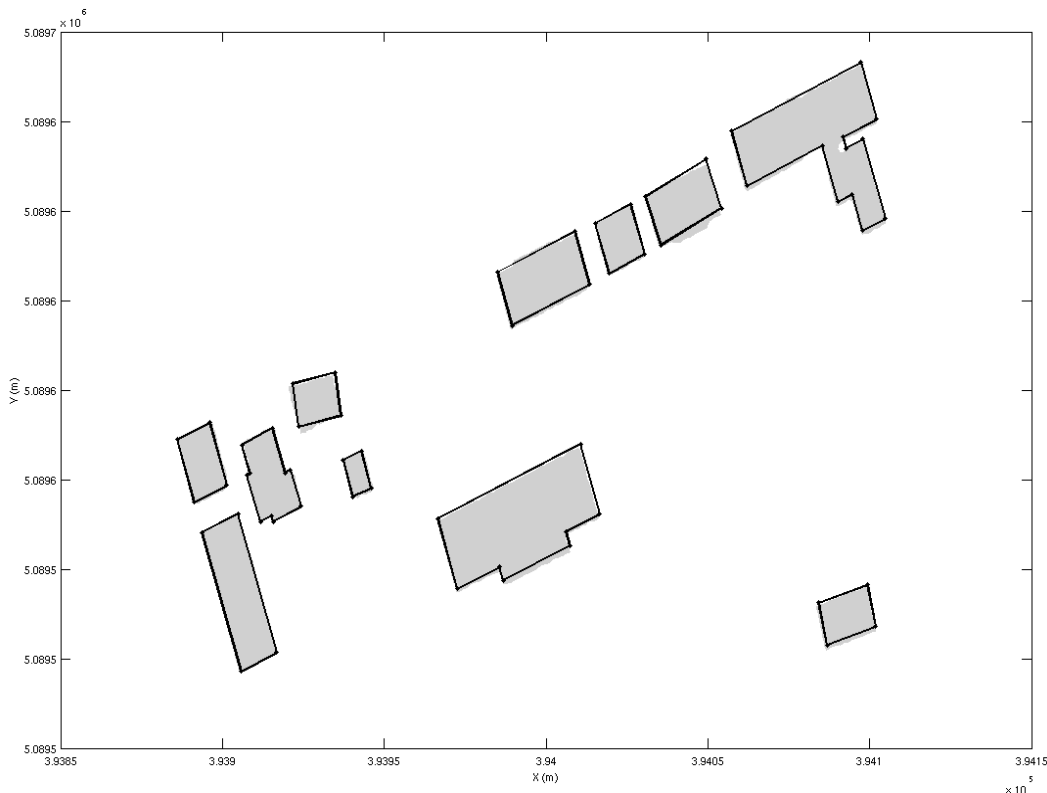
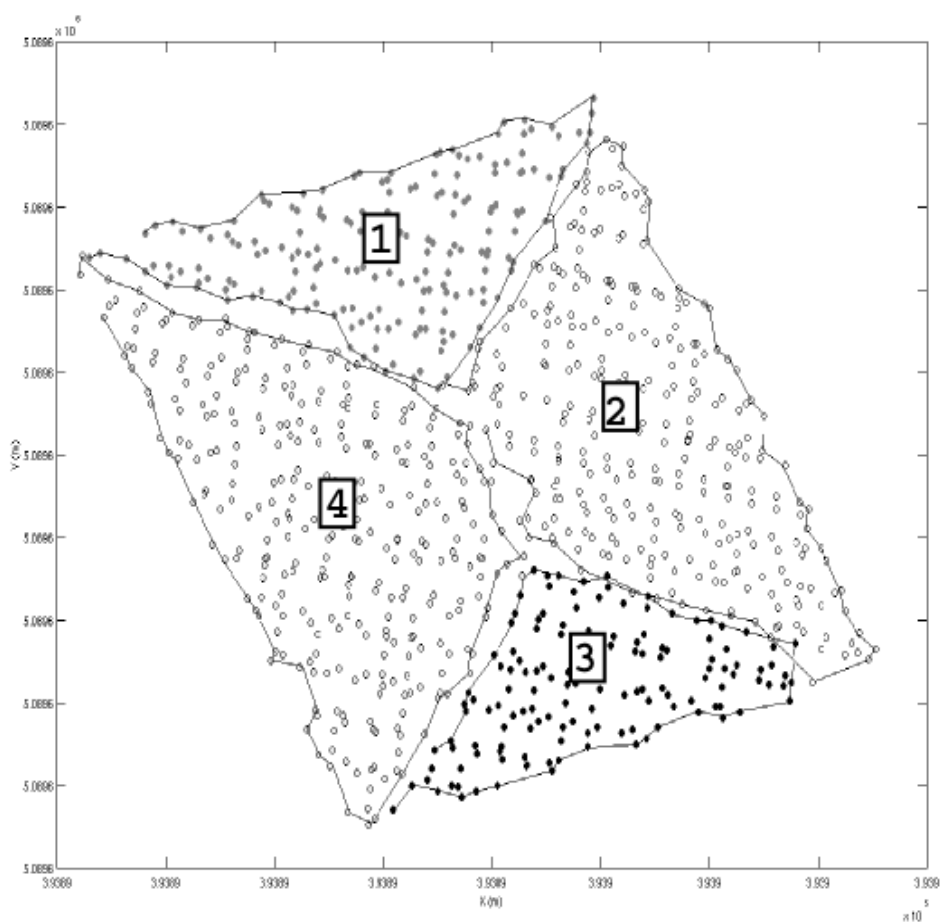


Figura 3 – Esempio di vettorializzazione della pianta degli edifici di Figura 1.

### Estrazione delle falde e definizione di un modello poliedrico

I punti laser che definiscono gli edifici vengono ulteriormente ridotti prendendo in considerazione solo i punti che ricadono all'interno delle piante vettoriali precedentemente ricostruite. La ricostruzione della geometria tridimensionale degli edifici è spesso influenzata dalla presenza di salti di quota tra i piani che definiscono un edificio (*step-edge*). Per semplificare pertanto l'estrazione dei piani ciascun edificio viene suddiviso in blocchi separati da *step-edge* se questi sono presenti. Per ciascun edificio o blocco inizialmente sono classificati i punti che appartengono a diverse falde. La segmentazione viene effettuata mediante un algoritmo di *region-growing* che

lavora non su immagini ma su punti. Il metodo adottato si basa sull'individuazione di zone di di crescita iniziale (*seed*) e la loro successiva crescita aggiungendo man mano punti che soddisfano certi requisiti gemertici (Hoover et al., 1996). Nel caso delle falde, dato che possono essere descritte nello spazio da piani, la nuvola di punti è segmentata in un insieme di piani e dai punti che li definiscono (Figura 4). I punti segmentati di ogni falda subiscono un'operazione simile a quella già utilizzata per la vettorializzazione delle piante degli edifici. In questo caso il metodo utilizzato differisce leggermente perché occorre un'elevata precisione nell'estrazione dei bordi e le dimensioni delle falde sono molto minori rispetto a quelle degli edifici. Il bordo delle falde è estratto usando un algoritmo di *alpha-shape* (Edelsbrunner, 1994) bidimensionale che permette di isolare i punti che descrivono il contorno di ogni falda (Figura 4).



*Figura 4 – Esempio di segmentazione region-growing di un tetto costituito da quattro falde. Ad ogni falda sono assegnati punti diversi. Il contorno raw di ogni falda è ricavato a partire dalla nuvola di punti che la definisce applicando un algoritmo di alpha-shape in grado di estrarre i contorni di oggetti complessi.*

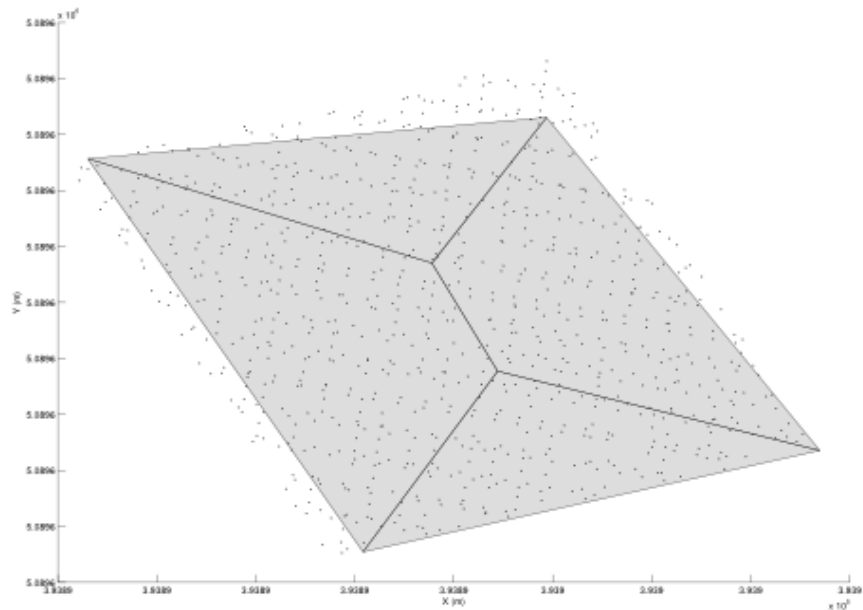


Figura 5 – Esempio di vettorializzazione delle falde di un tetto utilizzando la trasformata di Hough sul bordo di ciascuna falda estratto in Figura 4 e le relazioni geometriche tra le falde stesse.

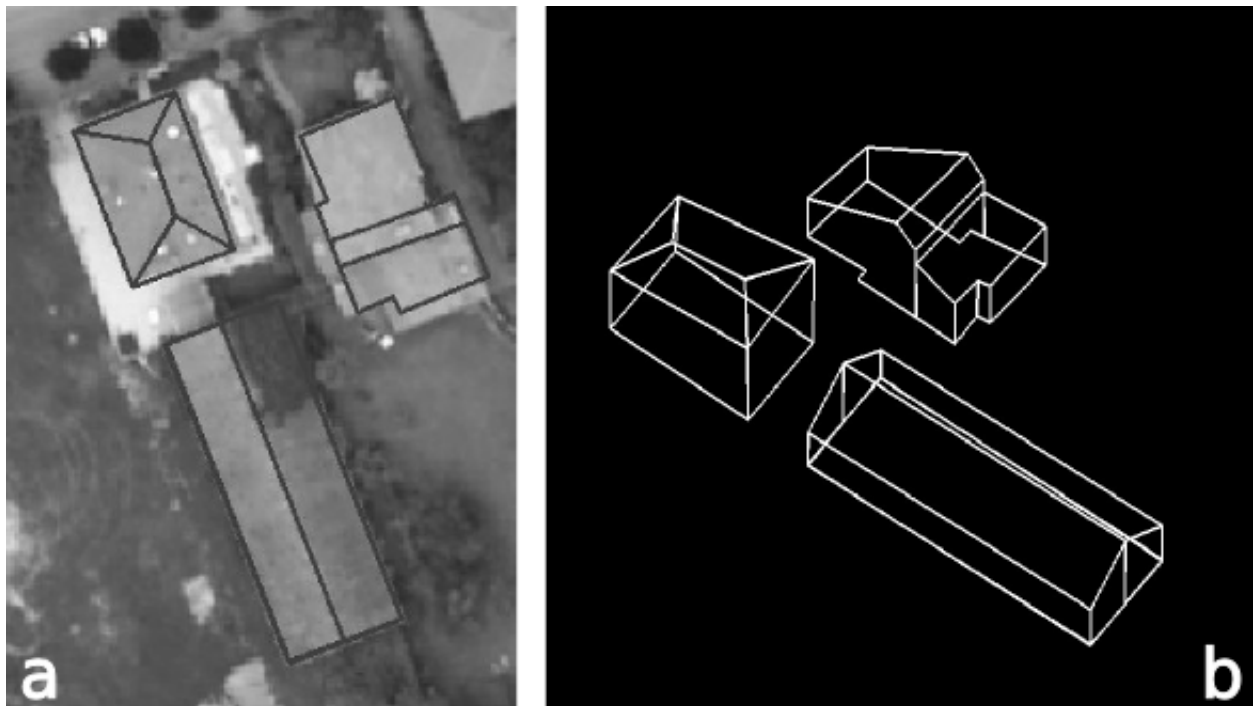


Figura 6 – a) Esempio di vettorializzazione delle falde. b) Modelli poliedrici grezzi degli edifici.

I punti del contorno sono successivamente trasformati in una immagine binaria ed i bordi vettorializzati mediante l'uso della trasformata di *Hough* (Figura 5). Un passaggio immediato da punti della falda ad immagine binaria riduce notevolmente la risoluzione delle falde causando una eccessiva semplificazione della geometria rendendo poi difficile la ricostruzione dell'oggetto

tridimensionale. I lati delle falde sono poi classificati in interni, esterni (coincidenti con i lati della pianta), di *step-edge* o di intersezione. In base a queste relazioni i piani delle falde sono intersecati, agganciati ai piani verticali dei muri perimetrali o agli *step-edge*. Il processo di classificazione degli spigoli è fondamentale per la ricostruzione del modello poliedrico. Piccole correzioni geometriche degli spigoli delle falde sono effettuate basandosi sulle relazioni angolari e la posizione reciproca di ogni piano di falda nel volume definito dall'edificio (Figura 6a).

## Conclusioni

E' stata presentata un esempio di metodologia capace di ricostruire la geometria tridimensionale di edifici utilizzando esclusivamente punti laser a scansione. Sia la planimetria degli edifici sia la geometria delle falde è delineata utilizzando semplici algoritmi di *image vision* e di geometria già ampiamente implementati in altre applicazioni. L'approccio proposto da buoni risultati se la nuvola di punti in esame ha una densità sufficiente a rappresentare i piani e le relazioni che intercorrono tra di loro. Se la densità dei punti è troppo bassa alcune relazioni geometriche possono essere perse o ambigue rendendo la ricostruzione poliedrica errata o impossibile. Infatti gli algoritmi sviluppati si basano esclusivamente sulla geometria descritta dai punti laser e non è in grado di estrapolare gli elementi che costituiscono un edificio se questi sono assenti o parziali. Errori nel laser o imperfezioni legate per esempio all'accostamento di alberi agli edifici generalmente non hanno grande effetto sul risultato finale. La complessità degli edifici influenza notevolmente l'esito di una vettorializzazione automatica in quanto questo metodo come altri non riesce a modellare ottimamente oggetti che hanno una distribuzione statistica dei piani molto complicata. Allo stato attuale il metodo proposto non è ancora in grado di effettuare una regolarizzazione finale sul modello poliedrico finale (Figura 6b). Un processo di editing manuale è sempre necessario in fase finale per correggere eventuali errori. Il confronto visivo tra il risultato finale e quello che si sarebbe ottenuto mediante una elaborazione manuale dimostra che il risultato ottenuto è un buon punto di partenza per lo sviluppo ulteriore di metodi di vettorializzazione automatica.

## Bibliografia

- Ameri B. (2000), *Automatic reconstruction and 3D reconstruction of buildings from digital imagery*, Tesi PhD, Università di Stuggart, 526 p.
- Baillard C., Schind C., Zisserman A., Fitzgibbon A. (1999), "Automatic line matching and 3D reconstruction of buildings from multiple views", *IAP*, 32.
- Brenner C., Haala N. (1998), "Rapid acquisition of virtual reality city models from multiple data sources", *ISPRS*, 32, 323-330.
- Edelsbrunner H., Mucke E.P. (1994), "Three-dimensional alpha shapes", *ACM Trans. Graphics*, 13, 43-72.
- Gonzalez R.C., Woods R.E. (1992), *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, New York, 716 p.
- Hoover A., Jean-Baptiste G., Jiang X., Flynn P., Bunke H., Goldgof D., Bowyer K., Eggert D., Fitzgibbon A., Fisher R. (1996), "An experimental comparison of range image segmentation algorithms", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, July 1996, 1-17.

Rottensteiner F., Trinder J., Clode S., Kubik K. (2005), “ Automated delineation of roof planes from lidar data”, *ISPRS*, 36, 221-226.

TerraSolid (2001), *TerraScan User's Guide*, 118 p. URL: <http://terrasolid.fi>.

Vosselman G. (1999), “Building reconstruction using planar faces in very high density height data”, *IAPRS*, 32, 87-92.