

3D MODELLING DA DATI LIDAR

Sebastiano ACKERMANN (*), Domenico MIELE (**),
Mariasosaria RIZZARDI (***), Salvatore TROISI (****)

Dipartimento di Scienze Applicate, Università degli studi di Napoli “Parthenope”,
Centro Direzionale - Isola C4, 80143, Napoli

(*) sebastiano.ackermann@uniparthenope.it, (**) domenico.miele@gmail.com,
(***) mariasosaria.rizzardi@uniparthenope.it, (****) salvatore.troisi@uniparthenope.it

SOMMARIO

In questo articolo si espongono le principali tecniche utilizzate nella messa a punto di un software implementato in ambiente MATLAB[®], denominato LAIM Modeler, il cui scopo è quello di creare in modo automatico modelli di edifici da dati LIDAR. Tali dati necessitano di un preventivo filtraggio che separi dalla nuvola di punti quelli non appartenenti al terreno. Il metodo sfrutta le relazioni di adiacenza dei triangoli di strutture TIN costruite in seguito ad un processo di segmentazione che individua automaticamente i vari edifici. I triangoli dei TIN sono quindi raggruppati mediante l'analisi di alcune proprietà per identificare le singole falde dei tetti che saranno approssimate da piani. Le intersezioni tra i vari piani individuano le linee di displuvio e compluvio che, insieme alle linee di gronda, completano la ricostruzione del singolo edificio. Non è richiesta alcuna preventiva conoscenza delle falde dei tetti ma si limitano ad un massimo di otto i rispettivi orientamenti significativi.

SUMMARY

This work deals with the main techniques used in a development of a software implemented in MATLAB[®], called LAIM Modeler, whose scope is that one to automatically model buildings from LIDAR data. Such data need a previous filtering to distinguish the points not belonging to the ground from the entire point cloud. The used method takes advantage of the adjacency relations in the triangles of TIN structures constructed by a segmentation process that distinguishes the buildings automatically. The triangles of the TIN are grouped by means of the analysis of some their property in order to identify the single faces of the roofs that are approximated by planes. The intersections among planes characterize the compluvia and hip lines that, together with the eaves lines, complete the reconstruction of the single building. No preventive acquaintance of roof faces is demanded but we limit the number of plane orientations to a maximum of eight.

INTRODUZIONE

Diffusosi sensibilmente negli ultimi anni, il LIDAR è ormai considerato uno strumento più che valido sia dagli enti di ricerca sia dalle aziende che operano nell'ambito del rilievo e rappresentazione del territorio. La recente produzione di sensori LIDAR più perfezionati, in grado di acquisire un maggior numero di punti a parità di tempo rispetto ai primi sensori prodotti, e a densità superiore (con miglioramenti anche dal punto di vista della produttività), ha dato vita a studi mirati su numerose applicazioni dei dati rilevati oltre alla semplice visualizzazione dei punti acquisiti: si va quindi dalla generazione di modelli digitali di superficie dettagliati (DSM), ai più laboriosi modelli digitali del terreno (DTM) anche ad alta densità (DDTM), senza contare le numerose applicazioni possibili se si entra nella sfera applicativa del laser scanning terrestre. La generazione di modelli dettagliati di edifici, in particolar modo nelle zone ad alta concentrazione di edificato urbano, è una delle realtà resasi possibile a seguito di questi miglioramenti che col tempo ha suscitato interessi in molti altri

ambiti (reti di telecomunicazioni, pianificazione urbana, GIS, progettazione piani di evacuazione, ecc.). Data la mole di dati da trattare, molti sono i gruppi di ricerca che stanno puntando alla realizzazione di algoritmi per il trattamento automatico o semi-automatico dei punti rilevati, benché le difficoltà per ottenere modelli quanto più simili alla realtà sono notevoli.

Il software sperimentale proposto, partendo da un TIN *Delaunay* iniziale generato sui punti LIDAR (preventivamente classificati), costruisce modelli di edifici basandosi solo su parametri di segmentazione decisi dall'utente durante l'elaborazione.

IL SOFTWARE “LAIM-MODELER”

I primi risultati ottenuti con questo software, sviluppato interamente in ambiente MATLAB, sono stati presentati in un altro lavoro (Ackermann, et al., 2007); qui si richiamano brevemente le linee fondamentali del flusso di calcolo e alcune modifiche successivamente apportate anche al fine di migliorarne le prestazioni computazionali.

L'idea alla base dell'algoritmo di modellazione è che il tetto di un normale edificio può essere visto come un insieme di falde piane che intersecandosi individuano un insieme di linee fondamentali che costituiscono quello che potrebbe essere definito come lo *scheletro* della struttura che si sta modellando: le linee di colmo e, più in generale, le linee di compluvio e displuvio.

- Segmentazione

I piani delle falde sono determinati trattando solo i dati originali appartenenti agli edifici che devono essere isolati dal resto dei punti mediante un preventivo filtraggio a cui si delega il compito di classificare i punti in appartenenti e non appartenenti al terreno. Un DTM costruito mediante i punti classificati come appartenenti al terreno consente di calcolare la quota (relativa) dei punti restanti rispetto al modello; questo parametro è fondamentale per la fase di segmentazione.

L'import dei dati filtrati è seguito dalla costruzione di un TIN globale sugli stessi; un primo “sfoltimento” dei dati avviene mediante l'eliminazione di quei triangoli del TIN in cui quota relativa dei vertici (H_{rel-i}), lunghezza dei lati (l_{ij}) e pendenza (p) superano soglie prestabilite (fig. 1).

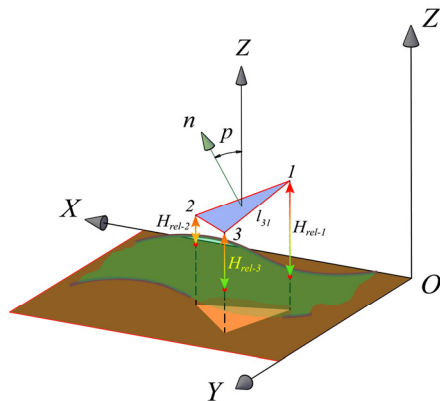


Figura 1 - Parametri di segmentazione del generico triangolo del TIN

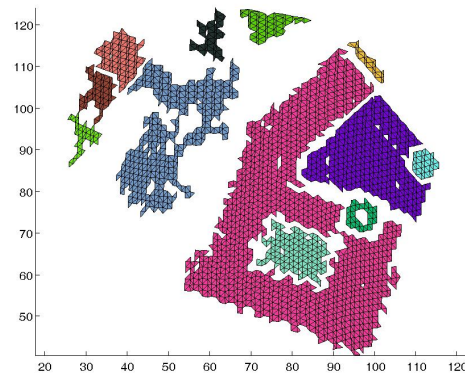


Figura 2 - Esempio di un raggruppamento: ogni colore identifica un gruppo

- Criteri di adiacenza

Un'adeguata scelta dei parametri di segmentazione fornisce, già in partenza, frammenti di TIN che con buona approssimazione rappresentano singoli edifici presenti nel set di dati: si eliminano punti del terreno o oggetti relativamente bassi (autovetture, cabine elettriche, ecc.), protuberanze sui tetti (comignoli, antenne, ecc.) ed eventuali *outliers* trascurati in fase di filtraggio. I triangoli rimasti vengono sottoposti ad una procedura denominata “*side-adjacency control*” che verifica, per ogni *i-esimo* triangolo, le possibili adiacenze, lungo i suoi tre lati, con i restanti $n-1$ triangoli, assegnando un codice numerico ad ognuno dei gruppi di triangoli tra loro adiacenti (fig. 2). Di questi gruppi viene poi calcolata l'area planimetrica per consentire l'eliminazione di quelli particolarmente picco-

li secondo una soglia stabilita dall'utente. Ogni gruppo così creato viene poi trattato singolarmente da qui in avanti.

Un edificio può presentare sia piani inclinati (falde del tetto) sia piani orizzontali (terrazzi); si è quindi deciso di classificare i triangoli di un generico gruppo per pendenza: una soglia decisa dall'utente discrimina i triangoli orizzontali da quelli inclinati. Questi ultimi sono quindi sottoposti ad un'analisi statistica sull'*aspect*, che consente di estrarre gli orientamenti finali delle falde del tetto in esame e di classificare i triangoli in base all'*aspect*. Il criterio implementato per quest'analisi seleziona le mode significative di un istogramma di frequenza degli *aspect* fino ad un massimo di otto. Si rende necessario a questo punto riunire i triangoli in sottogruppi, all'interno del generico gruppo considerato, ognuno dei quali identificante una falda o un piano orizzontale univoco: viene perciò riapplicato il criterio di adiacenza per lati operando però localmente, ovvero orientamento per orientamento. Ciò significa che ogni sottogruppo sarà definito da triangoli non solo adiacenti tra loro ma anche appartenenti allo stesso orientamento.

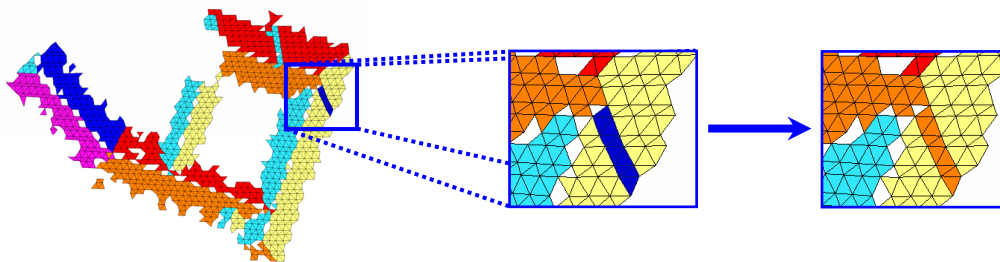


Figura 3 - Esempio di applicazione del metodo "point-adjacency control"

In presenza di dati disomogenei o a bassa densità, un'unica falda può risultare composta da più sottogruppi e quindi troppo frammentata; per ovviare a questo problema si è messo a punto un criterio denominato "point-adjacency control" che verifica l'adiacenza o meno dei sottogruppi di uno stesso orientamento dichiarandoli adiacenti qualora abbiano almeno un punto in comune (fig. 3). Si scartano infine i sottogruppi di area relativamente piccola che non danno un contributo significativo alla generazione del modello finale.

Anche in presenza di dati ad alta densità può presentarsi lo stesso tipo di problema, tuttavia il criterio di adiacenza per punti non è sufficiente. È stato quindi messo a punto un metodo di "smoothing" dei dati che riduce notevolmente la frammentazione durante la creazione dei sottogruppi. Il metodo consiste nel calcolare i baricentri di tutti i triangoli dei gruppi generando così dei TIN locali per i quali si applica la classificazione degli orientamenti (fig. 4).

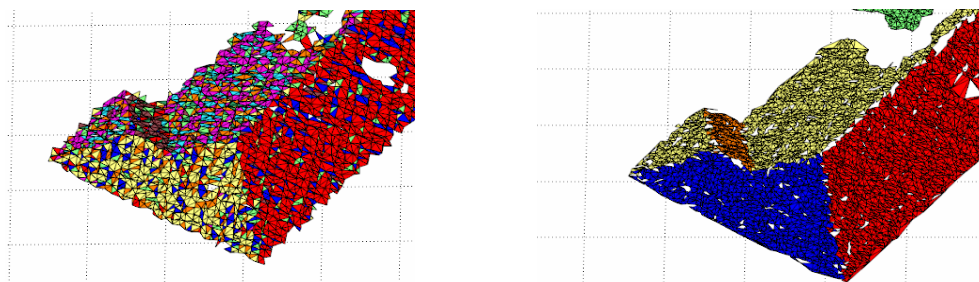


Figura 4 - Porzione di un tetto prima (sinistra) e dopo (destra) l'applicazione del filtro "smoothing"

- Elementi geometrici fondamentali

Il computo dei coefficienti del piano che rappresenta la falda si esegue mediante l'analisi delle componenti principali sui punti del sottogruppo dai quali vengono sottratti quelli distanti oltre una definita tolleranza mediante l'applicazione di due successive iterazioni. La presenza di tali punti non è dovuta soltanto all'incertezza nella misura della distanza del sistema laser ma può essere originata da sporgenze e/o rientranze sul tetto (comignoli, antenne, abbaini, ecc.).

Una volta definita la giacitura dei piani delle falde ed una prima approssimazione del loro contorno mediante *Convex Hull* (il più piccolo poligono convesso contenente i punti del sottogruppo) si passa alla generazione del modello vero e proprio determinando i segmenti che identificano le linee di compluvio e displuvio del tetto, ovvero gli elementi che faranno parte dello *scheletro* dell'edificio.

Il processo per l'estrazione di queste linee avviene tramite due passi: uno che individua i vertici principali di convergenza delle linee mediante intersezione di terne di piani (si esclude questo passo qualora il tetto sia a due falde) e l'altro che determina gli estremi di un "opportuno" segmento staccato sulla retta intersezione di due piani; parte di questi estremi andranno poi a definire i punti liberi dello *scheletro*.

La procedura adottata per quest'ultimo passo viene di seguito descritta. È ben noto che l'equazione parametrica di una retta nello spazio affine si scrive:

$$P = P_0 + \rho S, \quad \rho \in \mathbb{R}$$

dove ρ è il parametro reale, P_0 è un punto particolare sulla retta (ottenuto intersecandola con uno dei piani coordinati) ed S è il vettore direzione della retta. Tra i vertici del *Convex Hull* di ciascuno dei due sottogruppi è possibile estrarre i punti la cui distanza dalla retta intersezione sia inferiore ad una soglia di tolleranza definita dall'utente. Proiettando tali punti ortogonalmente sulla retta si ottengono dei punti da cui si possono determinare i corrispondenti valori ρ_k del parametro ρ della retta e quindi calcolare

$$\rho_{min} = \min_k \rho_k, \quad \rho_{max} = \max_k \rho_k;$$

tali valori individuano così gli estremi dei segmenti staccati sulla retta da ciascun *Convex Hull*, mediante i quali è possibile individuare quello cercato. (fig. 5).

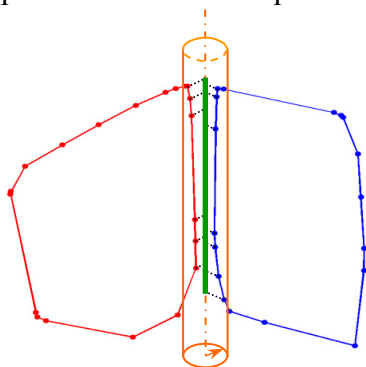


Figura 5 - Metodo per l'estrazione del segmento dalla retta intersezione

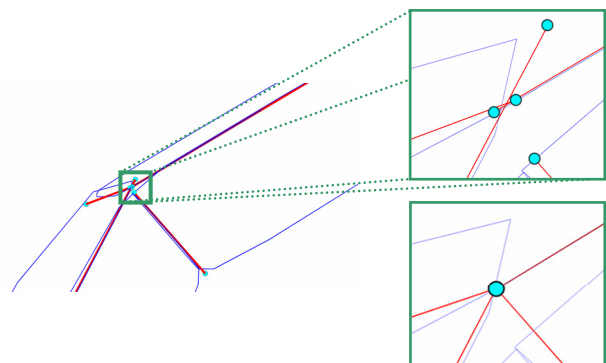


Figura 6 - Raggruppamento degli estremi delle linee di compluvio e/o displuvio

Le linee di compluvio e displuvio di un tetto sono tuttavia isolate l'una dall'altra poiché l'estrazione non avviene secondo un principio di *region growing*, per cui è necessario esaminare i segmenti di ogni tetto nel loro insieme e costruire una sorta di rete: gli estremi dei segmenti la cui mutua distanza è inferiore a una determinata soglia vengono perciò aggregati (fig. 6).

- Regolarizzazione delle linee di gronda

Dopo aver inserito nel singolo sottogruppo i segmenti dello *scheletro*, si passa alla fase di regolarizzazione dei lati esterni delle falde che rappresentano le linee di gronda degli edifici.

Tale processo è realizzato sfruttando le caratteristiche della struttura TIN dei sottogruppi; i lati dei triangoli del TIN che non hanno adiacenze vengono denominati "lati di frontiera", frontiera che può essere sia "interna" che "esterna". Quella esterna presenta una conformazione irregolare che ne impedisce l'utilizzo diretto come linea di gronda ma viene sfruttata, insieme al *Convex Hull*, per determinare un contorno più regolare.

Due vertici adiacenti del *Convex Hull* individuano, insieme ai punti del tratto di frontiera compreso tra gli stessi vertici, un poligono di cui si calcola l'area; la si divide per il numero di vertici del poligono e il risultato fornisce un indice da utilizzare per decidere se ottimizzare il contorno del sottogruppo in quel tratto.

La predetta procedura può essere reiterata più volte per contorni più irregolari come quelli visualizzati nella figura 7 in cui si evidenziano i risultati dell'applicazione delle successive iterazioni dell'algoritmo di regolarizzazione per un sottogruppo relativo a dati LIDAR ad altissima densità.

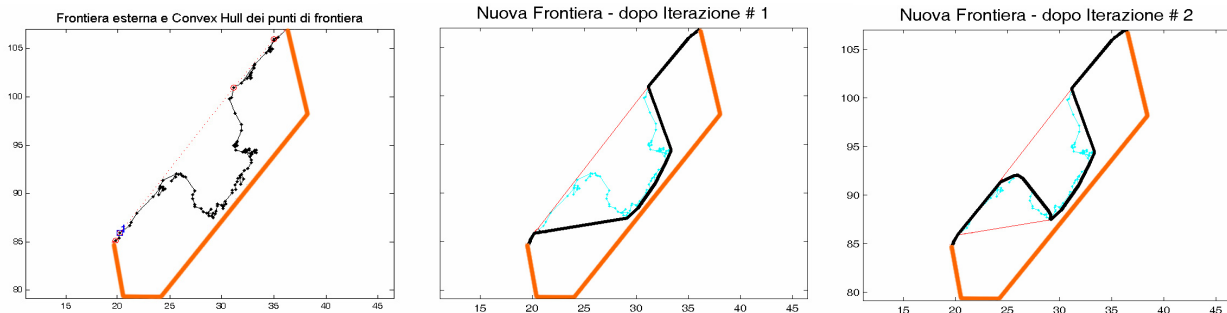


Figura 7 - Fasi del processo di regolarizzazione delle linee di gronda di un sottogruppo

La realizzazione del modello finale prevede la costruzione delle pareti verticali per ogni falda, anche per i lati interni, estese fino al terreno. L'assemblaggio dei modelli dei sottogruppi permette di ricostruire i modelli interi degli edifici presenti.

Si riporta in figura 8 il modello ricostruito in modo automatico del *Linden Museum* di Stoccarda. L'approssimazione del modello è dovuta alla bassa densità del rilievo LIDAR utilizzato per la sperimentazione.

Sono stati costruiti anche modelli di edifici con dati ad altissima densità che hanno prodotto risultati molto soddisfacenti qui non riportati per brevità.

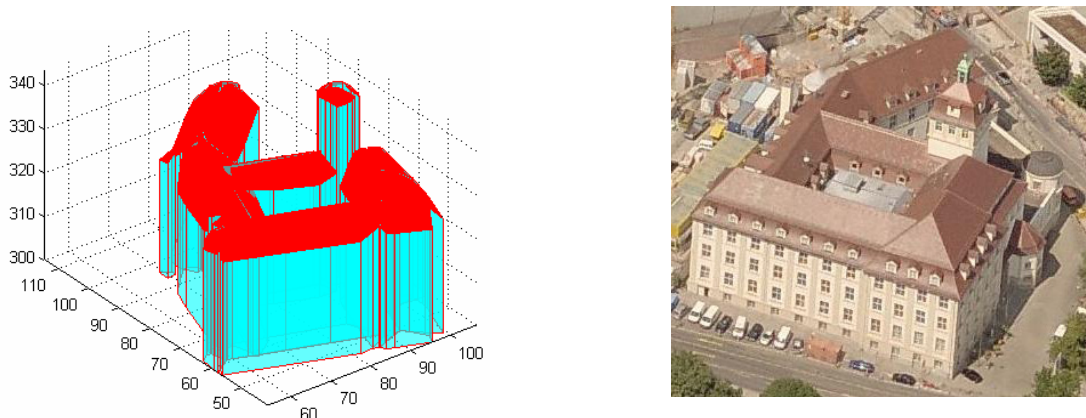


Figura 8 - Modello del Linden Museum di Stoccarda ottenuto con dati LIDAR a bassa densità e relativa immagine aerea

CONCLUSIONI

Uno dei punti critici del processo di elaborazione dei dati laser scanning da aeromobile è la fase della modellazione degli edifici, per la complessità delle forme dei tetti e per disturbi nei dati misurati dovuti alla presenza residua di vegetazione non perfettamente classificata.

L'aumento della densità dei dati favorisce il grado di dettaglio della modellazione ma introduce una complessità computazionale accresciuta per l'esecuzione della necessaria fase di *smoothing*.

Il processo iniziale della segmentazione è uno dei fattori che influenzano il risultato della modellazione insieme alla fase di regolarizzazione delle linee di gronda. In particolare le prime sono quelle che definiscono in modo automatico i gruppi di triangoli del TIN sui quali l'algoritmo opera la fase

della modellazione e la suddivisione del tetto nelle varie falde, la seconda invece influenza il grado di dettaglio dell'ingombro esterno dell'edificio, a sua volta dipendente dalla densità dei punti e dal risultato della segmentazione iniziale.

BIBLIOGRAFIA

Ackermann S., Miele D., Rizzardi M., Troisi S. (2007), "Modellazione automatica di edifici da dati lidar", *Atti del IV Convegno Nazionale Sifet, Arezzo, 27-29 Giugno 2007*, pp. 316-323

Beinat A., Sepic F. (2005), "Un programma per l'elaborazione di dati LIDAR in ambiente Linux", *Atti del II Convegno Nazionale Sifet, Palermo, Mondello, 29 Giugno - 01 Luglio 2005*

Crosilla F., Visintini D., Prearo G., Fico B. (2005), "Esperienze di filtraggio, classificazione, segmentazione e modellazione di dati spaziali da rilievo laser aereo", *Bollettino SIFET*, 1/2005, pp. 13-49

Crosilla F., Visintini D., Sepic F. (2005), "A segmentation procedure of lidar data by applying mixed parametric and nonparametric models", *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI, Part 3/W19, pp. 132-137

Forlani G., Nardinocchi C., Scaioni M., Zingaretti P. (2003), "Building reconstruction and visualization from LIDAR data", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV, Part 5/W12, pp. 151-156

Gross H., Thoennesen U., Hansen W.v. (2005), "3D-modeling of urban structures", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI, Part 3/W24, pp. 137-142

Hofmann A. D. (2004), "Analysis of Tin-structure Parameter Spaces in Airborne Laser Scanner Data for 3-d Building Model Generation". *XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey*

Menna F., Troisi S. (2007), "PBTIN: Prismatic Buffered TIN un algoritmo di filtraggio per dati ALS", *Bollettino SIFET*, 1/2007, pp. 67-87

Rottensteiner F., Briese Ch. (2003), "Automatic generation of building models from lidar data and the integration of aerial images", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Dresden, Germany, Vol. XXXIV, Part 3/W13

Rottensteiner F., Trinder J., Clode S., Kubik K. (2005), "Automated delineation of roof planes from lidar data", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Enschede, the Netherlands, Vol. XXXVI, Part 3/W19, pp. 221-226

Schwalbe E., Maas H.-G., Seidel F. (2005), "3D building model generation from airborne laser scanner data using 2D GIS data and orthogonal point cloud projections", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Enschede, the Netherlands, Vol. XXXVI, Part 3/W19, pp. 209-214

Vögtle T., Steinle E. (2000), "3D modelling of buildings using laser scanning and spectral information", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Amsterdam, Vol. XXXIII

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'Università di Udine per aver fornito i dati LIDAR ad alta densità relativi al progetto INTERREG IIIA Italia-Slovenia 2003-2006 "Ricomposizione della cartografia catastale e uso di nuove tecnologie per la realizzazione di basi di dati topografiche a grande scala in Friuli Venezia Giulia".