

Tecniche per l'estrazione automatica di edifici da nuvole di punti con software proprietari ed open source

Alessandro Lambertini ^(a), Elisa Pastorello ^(a), Gabriele Bitelli ^(a)

^(a) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali - DICAM, Università di Bologna
 Viale del Risorgimento 2, 40136 Bologna, +39 051 2093109
 e-mail: alessandro.lambertini@unibo.it, elisa.pastorello@studio.unibo.it, gabriele.bitelli@unibo.it

Sommario

Le tecniche e le procedure di estrazione automatica e semi-automatica di informazioni a partire da dati telerilevati sono in continua evoluzione, in seguito ad un grande interesse scientifico e commerciale. Oggetto della presente sperimentazione sono diversi algoritmi, implementati in altrettanti software proprietari ed open source, in grado di rilevare le geometrie di edifici all'interno di nuvole di punti. Tali dati possono essere acquisiti da strumentazione aerea LiDAR o processati per via fotogrammetrica. I software confrontati in questo lavoro prevedono differenti flussi di lavoro in quanto strutturati per rispondere a diverse esigenze nell'ambito dell'elaborazione di dati geo-spaziali. Tale confronto per l'estrazione e la classificazione di informazioni tematiche si è svolto con GRASS GIS, ENVI LiDAR e LAStools. Le procedure sono state testate con un dataset comune ed i risultati sono analizzati come cartografia numerica in ambiente GIS. Ulteriori considerazioni vengono effettuate per valutare le diverse funzionalità dei software, confrontandone le prestazioni e le caratteristiche peculiari.

Abstract

New techniques and procedures for automatic and semi-automatic extraction of information from remote sensing data are increasingly developed, following a great scientific and commercial interest. Several algorithms are subjects for the experimentation here described and they are implemented in different software, proprietary or open source, able to detect the geometry of buildings inside a point cloud. This kind of data can be acquired from aerial LiDAR or photogrammetric survey. The software here compared perform different workflow, being structured to meet different needs in processing of geospatial data. The comparison for the extraction and classification of thematic information among GRASS GIS, ENVI LiDAR and LAStools. The procedures have been tested with a common dataset and the results are analyzed in a GIS environment. Additional considerations are carried out to evaluate different software functionality, comparing its performance and features.

Introduzione

L'analisi di dati telerilevati, nella forma di nuvole di punti, è determinante in diversi settori scientifici ed ha notevoli risvolti pratici. Attualmente tali dati possono essere trattati secondo molteplici flussi di lavoro, utilizzando differenti software strutturati per rispondere a diverse esigenze nell'ambito dell'elaborazione di dati geografici.

Oggi sono sempre più numerosi gli applicativi che hanno introdotto, tra le proprie funzionalità, la possibilità di elaborare dati nella forma di nuvole di punti, ognuno con differenti approcci ed obiettivi, focalizzandosi su diverse tipologie di analisi. La maggior parte di questi applicativi consente agli utenti di analizzare ed elaborare nuvole di punti attraverso procedure basate su algoritmi di filtraggio sviluppati e consolidati nel corso degli ultimi decenni (Sithole e Vosselman, 2004).

A livello globale, sempre più entità pubbliche (Africani et al., 2013) e private stanno acquisendo, processando e distribuendo dati nella forma di nuvola di punti, aumentando anno dopo anno le possibilità di analisi del territorio, anche sotto forma di preziose serie storiche avendo a disposizione acquisizioni ripetute nella stessa area in successivi intervalli di tempo. Una delle maggiori sfide rimane la gestione di queste grandi moli di dati, creati acquisendo miliardi di punti su ampie porzioni di territorio. Allo stesso modo è diventato impraticabile analizzare tali quantità di dati sotto la costante supervisione di un operatore. Risulta di conseguenza fondamentale l'utilizzo di automatismi per processare e classificare le nuvole di punti.

Dati e software

I dati utilizzati per la sperimentazione in oggetto sono stati acquisiti nell'area urbana della città di Vaihingen, in Germania. Si tratta di un set di dati appositamente realizzato con l'obiettivo di creare un *benchmark* comune per valutare diversi algoritmi per l'elaborazione di dati acquisiti da sensori aerei, all'interno dell'iniziativa "ISPRS Test Project on Urban Classification and 3D Building Reconstruction" (Rottensteiner et al., 2012). Tali dati vengono resi disponibili alla comunità scientifica attraverso l'apposito sito web in formato LAS.

In particolare, la nuvola di punti analizzata in questo articolo è stata acquisita con laser scanner aviotrasportato Leica ALS50. L'intera area oggetto del test è contenuta in 5 strisciate (Figura 1) acquisite il 21 agosto 2008 con un volo a circa 500 metri di quota relativa sulla città. Il risultato è una nuvola di punti con una densità media di quasi 7 punti per m², con una punta minima di 4 punti per m² nelle aree dove non vi è sovrapposizione tra strisciate adiacenti. Tali strisciate sono state elaborate a priori risolvendo gli errori sistematici di georeferenziazione.

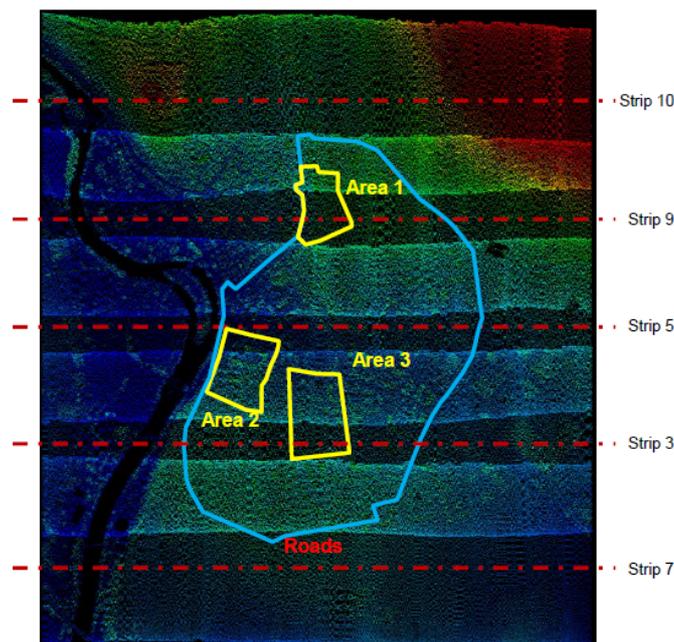


Figura 1 – Vista d'insieme delle strisciate acquisite con strumentazione laser scanner nell'area test della città di Vaihingen, Germania (Rottensteiner et al., 2012)

L'area rilevata è a sua volta suddivisa in tre porzioni più ridotte, oggetto di test, che presentano diverse caratteristiche (Figura 2). L'area "1" si trova nel cuore della città ed è caratterizzata da una serie di edifici storici, ravvicinati tra loro e costituiti da geometrie complesse. L'area "2" è invece caratterizzata da alcuni elevati condomini residenziali, circondati da vegetazione. L'area "3" è anch'essa residenziale e comprende invece edifici di dimensioni più compatte, ben distanziati tra loro, ma ugualmente circondati da vegetazione.



Figura 2 – Un dettaglio per ognuna delle aree selezionate nella città di Vaihigen, da sinistra a destra: Area 1, Area 2, Area 3 (Rottensteiner et al., 2012)

La sperimentazione effettuata ha coinvolto alcuni pacchetti software che consentono agli utenti di eseguire una classificazione di dati LiDAR. Tra quelli commercialmente disponibili al momento della stesura dell'articolo, open source o proprietari, ne sono stati selezionati tre con caratteristiche differenti. Ognuno degli applicativi scelti è specializzato in un diverso ambito, per il trattamento di diversi dati geo-spaziali.

- *GRASS GIS* (Neteler et al., 2012), noto software open source sviluppato a partire dal 1982, possiede tutte le caratteristiche di un applicativo GIS, con la più recente introduzione di specifici algoritmi per il trattamento di dati LiDAR.
- *LAStools* (Isenburg, 2016), nasce nell'ultimo decennio come originale raccolta di algoritmi specialistici ad alta efficienza focalizzati esclusivamente sull'elaborazione di dati LiDAR.
- *ENVI LiDAR* (Harris Geospatial Solutions, 2016), applicazione recentemente inserita come modulo all'interno della piattaforma ENVI, nota per l'elaborazione di immagini telerilevate, è un applicativo dedicato specificamente all'elaborazione di nuvole di punti (Figura 3) con la possibilità di generare, a partire da queste, modelli schematici vettoriali in tre dimensioni.

Questi tre software, confrontati nel presente lavoro, sono stati appositamente selezionati per valutare i diversi approcci alla classificazione di dati LiDAR, in particolare con l'obiettivo finale di estrarre da questi le geometrie relative agli edifici in ambito urbano.

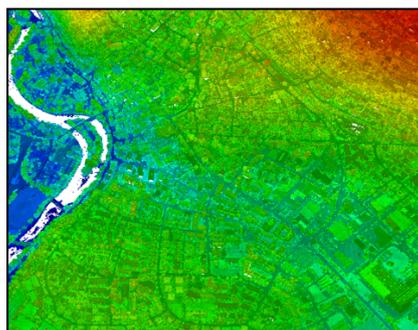


Figura 3 – Panoramica della nuvola di punti acquisita per la città di Vaihigen (intensità di risposta dell'impulso laser in scala di grigi, quota relativa in tonalità dal blu al rosso)

In dettaglio, utilizzando *GRASS GIS*, successivamente alla fase di importazione dati, si sono eseguiti alcuni passaggi per elaborare la nuvola di punti ed estrarne le geometrie appartenenti ad edifici. Occorre sottolineare che, trattandosi propriamente di un applicativo GIS, l'introduzione di funzionalità per il trattamento di nuvole di punti rappresenta un'appendice del software e non lo scopo principale. Questo consente comunque all'utente di inserire all'interno del flusso di lavoro, previo trattamento opportuno con una serie di procedure atte a conformare i dati, rilievi acquisiti in formati LiDAR standard come LAS, elaborando quindi il dataset così caricato come un consueto

layer vettoriale in formato puntuale. Il primo successivo passaggio, tramite il comando *v.outlier*, consente di rimuovere eventuale rumore generato da errori grossolani, presente all'interno della nuvola di punti. I parametri per questo passaggio sono ottenuti da studi sperimentali (Brovelli et al., 2004). In seguito il comando *v.lidar.edgedetection* rileva il confine degli oggetti presenti nella nuvola di punti. Le soglie sono appositamente definite in base al contesto di analisi ed il risultato è una suddivisione della nuvola di punti in diverse categorie: terreno, confine e ignoto. Tutte le variabili sono state stressate per valutarne l'impatto sul risultato fino a qui elaborato (Figura 4).

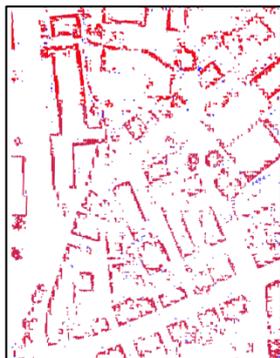


Figura 4 – Confronto in GRASS GIS tra alcuni dei diversi parametri, evidenziati in una differente colorazione, per la definizione del confine degli oggetti presenti nella nuvola di punti

Successivamente viene utilizzato il modulo *v.lidar.growing* per identificare l'area interna di ogni oggetto, di cui si è definito il perimetro al passaggio precedente. Il risultato è classificato in quattro categorie, differenziando i punti terreno da quelli appartenenti ad oggetti, a loro volta suddivisi in impulso singolo ed impulso multiplo. In conclusione l'ultimo passaggio prevede l'utilizzo del comando *v.lidar.correction* per estrarre oggetti come edifici.

Con il pacchetto software LAStools è stato possibile testare lo stesso dataset, caricandone le informazioni seguendo la procedura di seguito descritta. La prima operazione viene eseguita attraverso l'applicativo *lasground* per definire il modello digitale del terreno nella zona di interesse, dividendo la nuvola di punti in due categorie: punti appartenenti al terreno e punti non appartenenti al terreno, secondo alcuni parametri definibili in base al contesto. Successivamente l'applicativo *lasheight* consente di eliminare alcuni *outlier* al di fuori di un intervallo di quote relativo al terreno. In seguito, *lasclassify* effettua una classificazione direttamente sulla nuvola di punti, ottenuta dai precedenti passaggi, distinguendo i punti appartenenti ad edifici e vegetazione (Figura 5). In conclusione, vengono generati i poligoni che identificano i perimetri degli edifici attraverso l'applicativo *lasboundary* che consente di identificare, tramite un algoritmo *concave hull*, le isole in cui i punti della nuvola sono raggruppati.

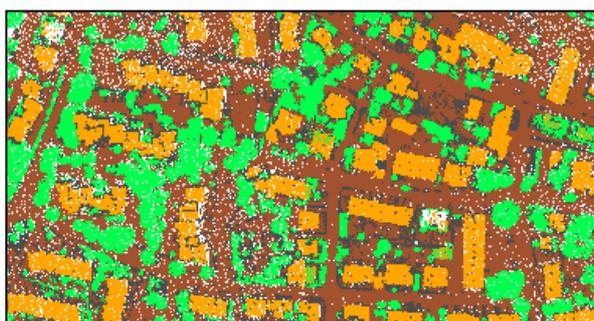


Figura 5 – Esempio di classificazione della nuvola di punti in LAStools (arancione: edifici; verde: vegetazione; marrone: terreno)

Utilizzando il modulo ENVI LiDAR, all'interno della piattaforma ENVI, è stato possibile caricare i dati ed impostare alcuni parametri. Il primo riguarda la definizione dell'area minima da individuare all'interno della nuvola di punti per definire la superficie della copertura di ogni edificio. Ulteriormente, dopo aver anche in questo caso definito un modello digitale del terreno, vengono filtrati tutti i punti che si trovano ad una quota relativa al terreno eccessivamente ridotta per risultare appartenenti ad una copertura di edificio. Inoltre viene anche definita la soglia relativa all'inter distanza massima tra punti adiacenti, che giacciono nello stesso piano di ogni falda di copertura. Allo stesso modo un'ultima soglia riguarda la tolleranza massima consentita per rappresentare le superfici piane come tali. Di conseguenza le superfici che presentano una curvatura verranno rappresentate come una successione di aree semplificate piane. Ulteriori variabili riguardano la migliore definizione e analisi della vegetazione, non oggetto di questo lavoro. Il risultato finale, in questo caso, non è solamente la rappresentazione dell'impronta al piede dell'edificio, ovvero del suo ingombro complessivo, ma consiste anche in una più completa rappresentazione tridimensionale delle falde di copertura di ogni struttura, orientate e dimensionate opportunamente secondo le informazioni contenute nella nuvola di punti originalmente acquisita (Figura 6).

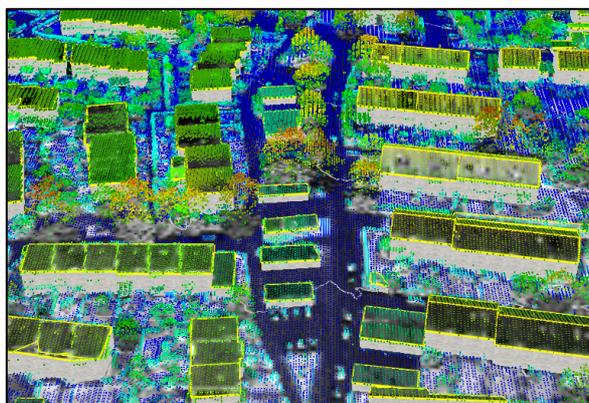


Figura 6 – Visualizzazione tridimensionale degli edifici estratti con ENVI LiDAR

Risultati e discussione

I risultati sono stati analizzati sotto forma di cartografia numerica in ambiente GIS. In una prima analisi qualitativa, si è potuto osservare come in alcuni casi siano state prodotte differenti geometrie dello stesso edificio, in particolare evidenziando come alcuni algoritmi producano un perimetro delle coperture non corretto nelle circostanze più critiche come quelle di immediata vicinanza ad alta vegetazione, oppure quando la geometria dell'edificio risulta più complessa.

Un ulteriore approfondimento nel confronto tra le diverse procedure è stato effettuato considerando il numero di edifici correttamente riconosciuti per la maggioranza della propria superficie nelle diverse aree analizzate per la città di Vaihingen: L'area "1" acquisita sul centro storico (27 edifici), l'area "2" residenziale con strutture elevate (9 edifici) e l'area "3", anch'essa residenziale, ma caratterizzata da edifici ben distanziati di dimensioni compatte (40 edifici). Allo stesso modo si sono quantificati anche gli edifici ricostruiti solo parzialmente e quelli invece non riconosciuti o la cui superficie è stata erroneamente sovrastimata (Tabella 1).

Software	GRASS GIS			LAStools			ENVI LiDAR		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Area analizzata									
Edifici corretti	51,9%	77,8%	57,5%	59,3%	100,0%	87,5%	59,3%	100,0%	77,5%
Edifici parziali	25,9%	11,1%	12,5%	33,3%	0,0%	2,5%	7,4%	0,0%	2,5%
Edifici errati	22,2%	11,1%	30,0%	7,4%	0,0%	10,0%	33,3%	0,0%	20,0%

Tabella 1 – Analisi quantitativa degli edifici ricostruiti a partire dalla nuvola di punti

Come è possibile notare dai risultati, vi è stata una migliore prestazione, in particolare nelle aree residenziali (“2” e “3”), da parte dei software specializzati nel trattamento dei dati LiDAR: LAStools e ENVI LiDAR. Ulteriori considerazioni riguardano le diverse funzionalità dei software. Sono state confrontate le prestazioni e le possibilità di intervento dell’utente nel selezionare gli opportuni parametri per l’elaborazione dei dati. I prodotti generati come output dai diversi applicativi differiscono per tipologia e finalità. Una peculiarità per il software ENVI LiDAR riguarda il maggiore controllo in fase di *Quality Assurance* che consente all’operatore di revisionare i risultati ottenuti dall’analisi automatica. In tutti i casi analizzati è stato comunque possibile esportare i poligoni vettoriali geo-riferiti che rappresentano le impronte al piede degli edifici, sovrapponibili ad altre informazioni cartografiche.

La sperimentazione è stata realizzata come metodologia per il confronto di software e procedure, alla ricerca di uno strumento che possa essere efficacemente inserito in un flusso di lavoro per l’analisi di grandi moli di dati. È stato possibile verificare che la procedura per l’estrazione automatica di edifici da nuvole di punti, con i software analizzati in questo lavoro, risulta praticabile per utenti con sufficiente esperienza nel trattamento di dati geografici. In particolare, risulta evidente che gli applicativi che consentono all’utente una interazione più immediata e semplificata, mostrano minori possibilità di configurazione delle analisi mediante parametri calibrati secondo le diverse necessità. In conclusione, vi è un concreto riscontro riguardante i software più specializzati che, lasciando all’utente maggiore possibilità di controllo sul risultato finale, richiedono una curva di apprendimento più ripida e di conseguenza una maggiore esperienza per portare a termine l’elaborazione in oggetto.

Conclusioni e lavori futuri

Nel presente lavoro si è potuto osservare e testare diversi algoritmi di estrazione automatica o semi-automatica di informazioni a partire da nuvole di punti tridimensionali. Tali algoritmi, implementati in software attualmente disponibili in commercio, consentono agli utenti di ottenere, tramite procedure con un diverso grado di complessità, risultati particolarmente soddisfacenti nella rappresentazione degli edifici presenti in aree complesse, come nel caso di un centro urbano. Successive elaborazioni prevedranno l’analisi di nuovi casi di studio e la volontà di stressare ulteriormente le peculiarità ed i limiti di ogni procedura qui rappresentata.

Bibliografia

- Africani, P., Bitelli, G., Lambertini, A., Minghetti, A., Paselli, E. (2013), “Integration of LiDAR data into a municipal GIS to study solar radiation”, *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XL-1/W1, 1–6. doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W1-1-2013
- Brovelli, M.A., Longoni, U.M., Cannata, M. (2009), “LiDAR data filtering and DTM interpolation within GRASS”, *Trans. GIS*, 8, 155–174. doi:10.1111/j.1467-9671.2004.00173.x
- Harris Geospatial Solutions (2016), “ENVI LiDAR”, *ottenuto da* <http://harrisgeospatial.com>
- Isenburg, M. (2016), “LAStools - efficient LiDAR processing software”, *ottenuto da* <http://rapidlasso.com/LAStools>
- Neteler, M., Bowman, M.H., Landa, M., Metz, M. (2012), “GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS”, *Environ. Model. Softw.*, 31, 124–130. doi:10.1016/j.envsoft.2011.11.014
- Rottensteiner, F., Sohn, G., Jung, J., Gerke, M., Baillard, C., Benitez, S., Breitkopf, U. (2012), “The ISPRS Benchmark on Urban Object Classification and 3D Building Reconstruction”, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, I-3, 293–298. doi:10.5194/isprsannals-I-3-293-2012
- Sithole, G., Vosselman, G. (2004), “Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds”, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 59, 85–101. doi:10.1016/j.isprsjprs.2004.05.004