

FILTRAGGIO DATI LASER SCANNING

Fabio MENNA °, Salvatore TROISI °

°Dipartimento di Scienze Applicate, Università degli Studi Parthenope di Napoli,
Via A. De Gasperi, 5, 80133 Napoli, tel. 081-5476606, fax 081-5512330
e-mail salvatore.troisi@uniparthenope.it
menna_fabio@libero.it

Riassunto

In questo lavoro sono trattate le problematiche relative al filtraggio di dati laser per l'individuazione delle varie classi di appartenenza delle eco registrate. Viene inoltre presentato un software sviluppato in proprio, denominato LAIM, nel quale è stato implementato un nuovo algoritmo di filtraggio dei punti appartenenti al terreno che può essere visto come una variante di quello proposto da Axelsson e utilizzato nel software *Terrascan*. In tale software, sviluppato in ambiente MATLAB®, sono stati creati alcuni applicativi che consentono di effettuare operazioni di modellazione solida utilizzando immagini provenienti sia dalla camera generalmente associata al laser che da sensori diversi.

Summary

In this paper the problems relative to filtering laser data in the investigation of the different classes of the echoes are discussed.

A new software, named LAIM, which makes use of a new filtering algorithm for the points belonging to the ground is also presented; such algorithm can be seen as a variation of the one proposed by Axelsson and used in *Terrascan* software.

In this software, developed within the MATLAB® environment, we have implemented some tools which allow for 3D modelling operations using digital images either provided by cameras generally mounted on the laser equipment or from different sensors.

Introduzione

La tecnica di rilievo mediante sistemi a scansione laser è molto recente. Introdotta da poco più di dieci anni, ha trovato subito applicazione in molteplici settori che vanno, per citarne soltanto qualcuno, dal rilevamento territoriale, all'architettura, all'industria, alla medicina. I grandi vantaggi offerti da tale sistema di rilievo, affidabile, estremamente rapido e dai costi di produzione assai limitati, si scontrano però con gli inevitabili difetti tipici dei sistemi di rilevamento completamente automatico: l'estrema rapidità di preparazione e acquisizione dei dati laser (fino a decine di milioni di punti in pochi minuti), comporta la necessità di strumenti di controllo e correzione a posteriori di elevata affidabilità.

La fase di post processamento dei dati è quindi quella che richiede in assoluto il maggior tempo nell'intero flusso di produzione, con rapporti temporali tra acquisizione ed elaborazione di circa 1/30 (De Joinville et al., 2003). Si rendono necessarie ed indispensabili quindi tecniche di automazione che permettano quanto più possibile di velocizzare il flusso di lavoro garantendo al tempo stesso la validità geometrica dei dati. Allo stato attuale la fase di post processing prevede riconoscimento e classificazione semiautomatica dei punti rilevati e correzioni interattive dei dati con l'ausilio di stazioni fotogrammetriche digitali.

Post processamento: filtraggio dei dati laser

Negli ultimi anni sono stati sviluppati numerosi algoritmi per l'estrazione di oggetti e forme dal terreno a partire da nuvole di punti rilevati con laser scanners aerotrasportati. Tutti si dimostrano molto validi in terreni morfologicamente semplici ma presentano numerosi problemi in aree urbane densamente edificate e in terreni con fitta vegetazione (Sithole G. et al., 2004). In molti casi i filtri implementati possono operare soltanto dopo aver eliminato gli *outliers*, ovvero gli errori grossolani dovuti ad un'errata misura della distanza conseguente ad esempio a multiriflessioni. I *database* di punti rilevati con i sistemi laser sono spesso costituiti da diversi milioni di punti, per tale motivo tra i principali problemi da affrontare in fase di progettazione di un software per dati laser vi sono sicuramente la gestione della memoria e la velocità di calcolo.

Allo stato attuale il miglior software commerciale che rispetta questi requisiti è il *Terrascan* della *Terrasolid* che lavora in ambiente Microstation. Tra le numerose procedure di filtraggio attuabili, la più importante risulta sicuramente il filtro *Ground* che permette di individuare i punti appartenenti o meno al terreno e fornire quindi un DTM della zona rilevata. L'algoritmo utilizzato dal software si ispira alla densificazione progressiva di TIN proposto da Axelsson (1999) che parte da una triangolazione su alcuni punti di cui è certa l'appartenenza al terreno (*seed points*); il TIN iniziale è quindi a maglie molto ampie e può unire anche punti molto lontani tra loro. Ogni punto del database è sottoposto ad un test per verificare la sua appartenenza al terreno: viene idealmente unito ai tre *seed points* più vicini formando così un tetraedro irregolare (fig. 1). Affinché il punto in esame sia classificato come *Ground* è necessario che nel suddetto tetraedro si verifichino tre condizioni:

- gli angoli formati dagli spigoli con il triangolo di base non superino il valore dell'*iteration angle*;
- la sua altezza non superi l'*iteration distance*.
- le tre facce laterali non abbiano una pendenza superiore a quella inizialmente prefissata.

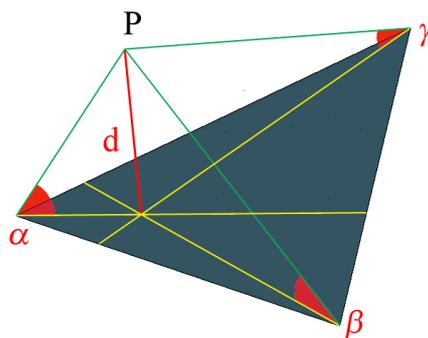


Figura 1- Schema geometrico del filtro di Axelsson

L'algoritmo è iterativo: una volta verificate le soglie per tutti i punti (eccetto i *seed points*) e individuati quelli appartenenti al terreno, viene costruito un nuovo TIN in cui i punti seme sono costituiti dai precedenti più i punti *Ground* appena classificati; il ciclo si arresta quando non vi sono più nuovi punti aggiunti oppure quando i triangoli del TIN divengono di dimensioni inferiori a un determinato valore soglia scelto dall'utente.

La selezione dei punti seme nel software *Terrascan* avviene in automatico individuando i punti di quota più bassa all'interno delle celle di un grid le cui dimensioni (*max building size*) devono essere tali che nessuna cella sia contenuta completamente in un edificio o altri elementi antropici; in tal modo si suppone che i punti con quota più bassa appartengano sicuramente al terreno. Risulta

quindi necessaria la preventiva rimozione dei punti erroneamente rilevati a quota più bassa, denominati *low-point*.

Il software fornisce generalmente buoni risultati anche se fortemente variabili in dipendenza della scelta dei parametri di filtraggio; ciò che invece non risulta sempre opportuno è la selezione automatica dei punti seme e l'impossibilità di una loro verifica manuale. In linea di massima l'eliminazione dei *low-points* tramite filtro dedicato permette di individuare correttamente in automatico i punti seme, ma vi sono alcuni casi in cui questa fallisce. In figura 2 è rappresentato un modello TIN di una porzione di dati laser di città in una zona in cui è stato aperto un cantiere. E' visibile lungo il perimetro un fossato profondo all'incirca sei metri. I punti rilevati mostrano una configurazione tipica dei *low-point* anche se in realtà si tratta di punti fisici realmente esistenti; la loro eliminazione dall'insieme dei seed points si rende comunque necessaria pena l'inevitabile scelta di alcuni di questi come punti seme in quanto a quota inferiore rispetto ai circostanti.

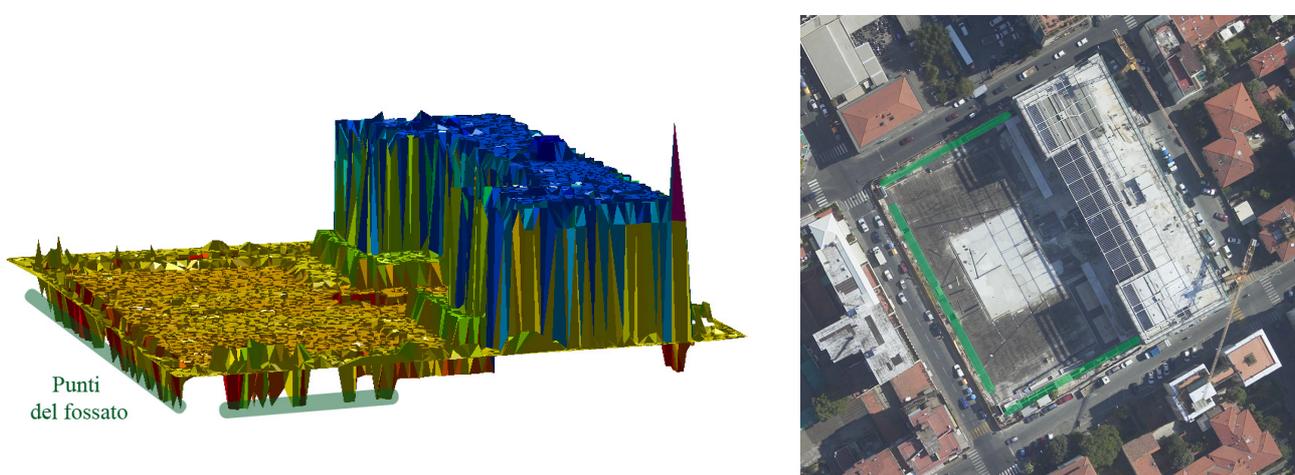


Figura 2- Modello TIN della zona del cantiere e rispettiva immagine fotografica scattata durante la scansione laser con le aree del fossato evidenziate.

In tali casi una preventiva analisi dei dati tramite visualizzazione grafica dei punti può essere utile all'individuazione di zone critiche da trattare in maniera isolata.

Un'ulteriore considerazione riguarda l'algoritmo di Axelsson che, a nostro parere, esamina in maniera disomogenea i punti da classificare. Si osservi la figura 3 dove è mostrato uno dei triangoli del TIN dei possibili punti seme in una zona a terrazzamenti; posto che le pendenze delle tre facce del tetraedro siano pari o inferiori alla massima pendenza soglia, i punti che soddisfano i criteri d'accettazione sono tutti quelli contenuti nel tetraedro. I punti interni al tetraedro più vicini ai vertici sono in quantità inferiore rispetto a quelli più lontani; ciò si traduce nel fatto che ad ogni iterazione sono aggiunti sicuramente più punti appartenenti alle zone centrali del triangolo di base che alle zone più vicine ai vertici. Le zone centrali dei triangoli di base dovrebbero a nostro avviso essere escluse dai criteri d'accettazione quando i punti superano una certa distanza dai vertici; in un intorno di questi, infatti, le quote dei punti sono molto prossime tra loro seguendo l'andamento naturale del terreno, mentre all'interno del triangolo, superata una certa distanza, la morfologia del terreno risulta ancora ignota.

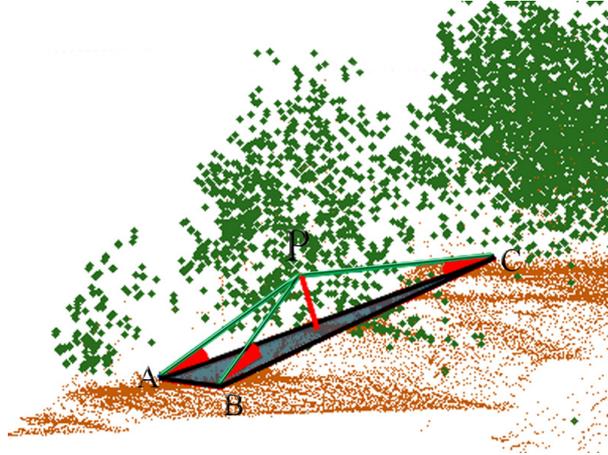


Figura 3 – Possibile errata classificazione di un punto con l’algoritmo di Axelsson

Nell’esempio mostrato nella figura, anche se il punto P non dovesse rispettare le tre soglie, vi sono sicuramente altri punti dell’albero per i quali saranno verificate perché il triangolo interseca la sua chioma ($[a, b, g, d] \cong 0$). Ciò si traduce in un errato inserimento di tali punti nella classe Ground.

Un nuovo software per il filtraggio e la gestione di dati laser

Di particolare aiuto nella fase di post processamento dei dati laser risultano informazioni aggiuntive a quelle geometriche quali l’analisi radiometrica della risposta e l’utilizzo di immagini digitali che, grazie al loro contenuto informativo, apportano un contributo fondamentale per la corretta elaborazione dei dati o per una loro verifica.

A tal proposito è stato sviluppato in ambiente MATLAB[®] un software sperimentale denominato **LAIM** (LAsEr IMmagini) per l’integrazione dei dati *laser scanning* sia ALS (Airborne Laser Scanning, a multipla o singola eco), che TLS (Terrestrial Laser Scanning) con immagini provenienti da sorgenti anche eterogenee tra loro.

Il software permette di effettuare una serie di operazioni tra cui:

- Separazione delle eco.
- Individuazione degli errori grossolani (*outliers*).
- Classificazione dei punti in appartenenti e non al terreno.
- Visualizzazioni surf, mesh e TIN di superfici con colorazioni delle facce proporzionali all’intensità di risposta o alla quota.
- Generazione di ortofoto 3D (TIN e Grid) partendo sia da ortofoto 2D che da immagini provenienti da camere metriche o amatoriali.
- Allineamento e georeferenziazione di strisciate.
- Sovrapposizione delle classi di punti sulle immagini.

L’individuazione degli *outliers* in LAIM avviene verificando delle soglie geometriche di scostamento verticale da superfici polinomiali fino al terzo ordine stimate ai minimi quadrati all’interno di celle di indicizzazione dei punti di dimensioni stabilite dall’operatore. Il criterio utilizzato per l’individuazione dei punti appartenenti al terreno parte dal presupposto che nell’intorno dei punti seme, le quote del terreno subiscano variazioni di quota (positive e negative) contenute in un range scelto dall’utente; possibili oggetti come alberi, automobili, muretti, case ecc. interrompono la continuità della superficie ideale del terreno provocando brusche variazioni di quota. L’intorno dei punti seme è costituito da un settore circolare di raggio *d-piana* sul piano

individuato dai tre vertici del triangolo, mentre il criterio d'accettazione è costituito dalla soglia normale *d-normale*: il filtro classifica *Ground* tutti i punti racchiusi dai tre prismi rossi in figura 4.

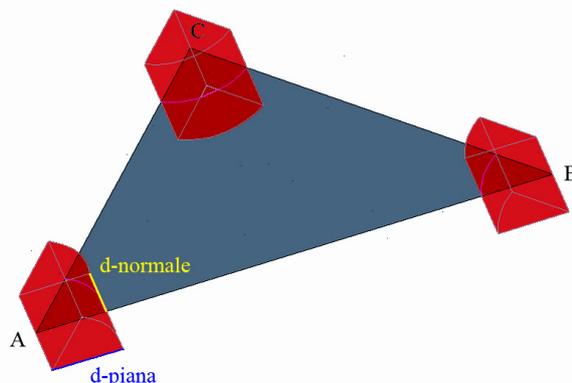


Figura 4- Zone di analisi per l'appartenenza alla classe *Ground* secondo l'algoritmo implementato in LAIM

Anche in questo filtro interviene il parametro pendenza ma, a differenza del filtro di Axelsson, viene applicato al solo triangolo di base. L'algoritmo verifica le soglie per ogni triangolo aggiungendo nuovi punti e saltando l'analisi dei triangoli con pendenza maggiore di quella prefissata. La selezione dei punti seme può avvenire in maniera automatica immettendo il valore del massimo ingombro lineare del più grande edificio esistente oppure in modalità manuale navigando nel modello di punti e selezionando quelli di cui è certa l'appartenenza al terreno (strade, piazze) o ancora integrando i due metodi, rimuovendo eventualmente i *seed points* selezionati in maniera errata dall'algoritmo di ricerca automatica.

In questi casi risultano utili alcuni applicativi presenti nel software che permettono di generare superfici TIN o GRID o ancora, se sono presenti delle immagini, generare ortofoto 3D con le quali esplorare il modello e selezionare direttamente su di esso i *seed points*.

Per testare la validità degli algoritmi progettati ed implementati in LAIM sono state effettuate alcune applicazioni sperimentali sia su dati laser in zone urbane densamente edificate, sia in zone montuose con fitta vegetazione; i risultati conseguiti sono stati messi a confronto con quelli ottenuti con il software *Terrascan*.

Vengono qui di seguito mostrati i risultati in termini numerici e grafici di una classificazione di dati laser di città in cui è presente il cantiere rappresentato in figura 2. I risultati sono confrontati nella tabella 5 e nelle figure 6-7.

<i>Densità di 0.3 punti/m²</i>			
LAIM		TERRASCAN	
<i>Parametri di filtraggio</i>			
<i>Max building size</i>	30	<i>Max building size</i>	30
<i>d-piana</i>	15	<i>Iteration angle</i>	85
<i>d-normale</i>	0.25	<i>Iteration distance</i>	0.25
<i>Pendenza max</i>	85	<i>Pendenza max</i>	85
<i>Risultati classificazione</i>			
<i>Low-points</i>	43	<i>Low-points</i>	31
<i>Ground</i>	34248	<i>Ground</i>	33063
<i>No Ground</i>	72872	<i>No Ground</i>	74069

Tabella 5-Risultati numerici delle classificazioni conseguite in LAIM e Terrascan.

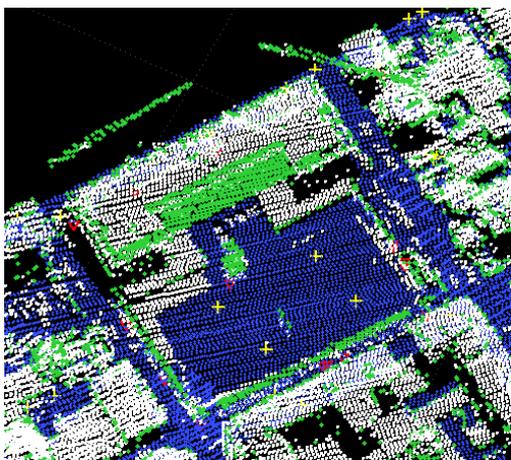


Figura 6-Classificazione dei punti in LAIM: in blu i punti Ground, in bianco gli edifici, in giallo i punti seme.

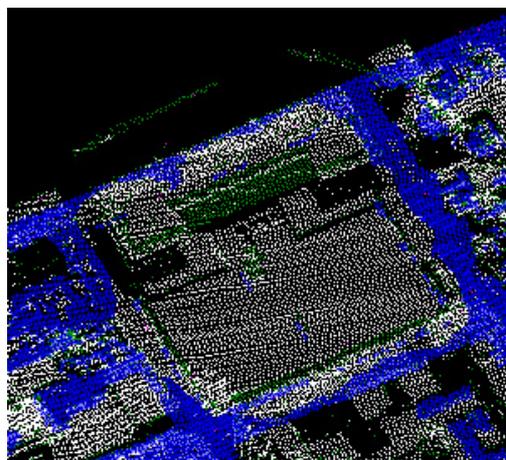


Figura 7-Classificazione dei punti in Terrascan: in blu i punti Ground, in bianco gli edifici.

Nell'area interna al cantiere il software *Terrascan* non è riuscito a classificare correttamente i punti appartenenti al terreno perché alcuni punti seme sono stati selezionati all'interno del fossato del cantiere. In LAIM invece, sono stati rimossi dal dataset di punti seme, quelli che l'algoritmo di selezione automatica aveva individuato tra i punti del fossato e poi, in modalità manuale, sono stati selezionati ulteriori *seed points* all'interno dell'area del cantiere come visibile in figura 6.

Conclusioni

La validità degli algoritmi progettati ed implementati nel software LAIM, è stata verificata sia visivamente, grazie alle numerosi funzioni grafiche disponibili, che numericamente tramite confronti effettuati con il software commerciale *Terrascan*.

L'integrazione con le immagini digitali risulta indispensabile per una scelta ottimale dei parametri di filtraggio.

Le imprecisioni riscontrate in alcune elaborazioni effettuate con il software commerciale *Terrascan* nella classificazione tramite filtro *Ground*, lascia comprendere quanto la fase di post-processamento dei dati ottenuti con la tecnica *laser scanning*, sia ancora in fase di sperimentazione. Nonostante ciò, i risultati ottenibili nelle più comuni situazioni dimostrano la validità degli attuali metodi di post-processamento automatico e semiautomatico.

Bibliografia

Axelsson P. (1999), "Processing of laser scanning data-algorithms and applications", *ISPRS Journal of Photogrammetry & remote Sensing*, vol. 54 July 1999, pp. 138-147.

De Joinville O., Saur S., Bretar F. (2003), "Le levé laser aéroporté : techniques, applications et recherche", *Bulletin d' Information de l' IGN n° 74* (2003/3).

Sithole G., Vosselman G. (2004), "Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds", *ISPRS Journal of Photogrammetry & remote Sensing*, vol. 59 (2004), pp. 85-101.

Fazio C. (2001), "Una procedura di classificazione ed editing di dati laser per l'ottenimento di DTM in versanti in frana con presenza di vegetazione", *Bollettino SIFET*, supplemento speciale al n.2/2001, Parma.