

LIDAR e Fotogrammetria Digitale

verso una nuova integrazione

di Fulvio Rinaudo e Francesco Nex

In tutte le applicazioni del rilievo metrico la tecnica LIDAR e la Fotogrammetria Digitale giocano ormai un ruolo quasi esclusivo. Gli efficienti servizi forniti dalle reti di stazioni permanenti e dalle piattaforme GNSS/IMU hanno consentito una rapida diffusione e una affidabilità mai raggiunta per altre tecniche di rilievo in ambito territoriale, così come pure nelle applicazioni terrestri quali il rilievo architettonico o il monitoraggio di fenomeni naturali, ove sono stati sostituiti quasi integralmente gli approcci tradizionali del rilievo topografico terrestre.

La tecnica LIDAR e la Fotogrammetria Digitale dimostrano indubbi vantaggi rispetto alle altre disponibili (GNSS e topografia terrestre) tra cui il limitato tempo necessario per l'acquisizione dei dati primari, la possibilità di documentare in modo oggettivo la situazione complessiva dell'oggetto del rilievo in un determinato istante di tempo e di estrarre le informazioni metriche anche in tempi diversi a seconda delle necessità.

Non stupisce quindi che le Società produttrici di strumenti di acquisizione e di software di elaborazione investano molte energie nello sviluppo di soluzioni sempre più efficaci in termini economici e prestazionali. Praticamente ogni anno vengono proposte nuove camere digitali e strumenti LIDAR sia per applicazioni aeree sia terrestri che offrono risposte sempre più vicine alle reali esigenze degli utenti e dei misuratori: minori costi di investimento, stabilità metrica dei sensori di acquisizione, maggior maneggevolezza, ecc.

Dal punto di vista del trattamento dei dati si assiste alla ricerca di integrazioni sempre più spinte tra le due tecniche. Questa tendenza è facilmente giustificabile considerando pregi e difetti delle due tecniche.

Il dato LiDAR e il dato fotogrammetrico: potenzialità e problemi

La tecnica LIDAR prevede la misura della forma e delle dimensioni di un oggetto rilevando un numero elevato di punti per ogni secondo di acquisizione. Le tecniche multi-eco e quelle di analisi della forma completa dell'onda riflessa consentono di discriminare, ove possibile, oggetti posti a diversi livelli rispetto al terreno lungo la direzione di misura della distanza. Il recente annuncio di uno strumento LiDAR aereo in grado di lavorare a 500 kHz apre ancora di più la strada verso una produzione standard di modelli digitali densi anche da quote relative di volo elevate mantenendo densità di acquisizione di parecchie decine di punti per ogni metro quadrato di superficie. Nonostante ciò il maggior ostacolo ad un utilizzo proficuo e completo di questa grande densità di informazioni è legato alla impossibilità di ottenere con il medesimo strumento informazioni

radiometriche (colore) per poter associare ad ogni punto il corretto significato descrittivo (tetto, terreno, vegetazione, ecc.).

La tecnica fotogrammetrica, basata sull'utilizzo di immagini di geometria interna nota, consente una facile interpretazione del significato dei punti visibili su una coppia di immagini e di essi consente di estrarre con relativa semplicità le coordinate spaziali sia con procedure manuali assistite, sia con procedure automatiche di autocorrelazione che hanno come risultato una nuvola di punti paragonabile a quelle ottenute dal LiDAR. Tuttavia le tecniche di autocorrelazione, seppur notevolmente migliorate negli ultimi anni grazie all'impiego di un numero di immagini superiore al minimo necessario da un punto di vista geometrico e all'utilizzo di particolari filtri che consentono di esaltare le particolarità radiometriche delle immagini utili a migliorare i risultati dell'autocorrelazione, generano nuvole di punti fortemente degradate da un numero non trascurabile di errori grossolani e di zone non descritte per l'assenza di tessitura radiometrica degli oggetti. Questi effetti si manifestano soprattutto nei rilievi aerei dei centri urbani e in molti dei rilievi terrestri dove le forme particolarmente complesse degli edifici mettono in seria difficoltà le soluzioni offerte. Solo l'intervento di un operatore con operazioni di restituzione diretta consente di risolvere in modo affidabile le ambiguità e le carenze di informazioni metriche lasciate dalle tecniche di autocorrelazione. Sia la tecnica LiDAR sia quella fotogrammetrica richiedono comunque un pesante intervento di editing che, opportunamente guidato da un operatore esperto, consente di passare dai punti acquisiti alla vera descrizione metrica tridimensionale dell'oggetto rilevato. Nel caso del trattamento di dati fotogrammetrici mediante restituzione diretta, l'operatore seleziona i punti ritenuti utili alla descrizione della forma e delle dimensioni dell'oggetto assistito da poche procedure automatiche che alleggeriscono in modo non significativo la pesantezza di questa operazione. Nel caso del trattamento di nuvole di punti, siano esse derivate da autocorrelazione di immagini digitali o da acquisizioni LiDAR, l'operatore può usufruire di un numero notevole di procedure

di segmentazione e modellazione automatiche o semi-automatiche che richiedono comunque adattamenti al particolare oggetto rilevato che solo un operatore esperto può testare e validare. Oggetti morfologicamente complessi quali i centri urbani e gli edifici richiedono lunghi tempi di elaborazione di grandi moli di dati riducendo in molti casi il vantaggio legato alla rapidità di acquisizione dei dati primari (le nuvole di punti). Analoghi problemi insorgono quando si richiedono, oltre ai modelli tridimensionali, anche tipi di rappresentazione bidimensionali quali planimetrie, elevati e sezioni.

Integrazione LiDAR e fotogrammetria digitale: lo stato dell'arte

Fin dalle prime applicazioni dei dati LiDAR al rilievo di ambiti territoriali e di oggetti architettonici si è cercato di porre rimedio ai limiti mostrati dalle due tecniche cercando possibili strade di integrazione.

Il primo risultato è rappresentato dall'associare ai dati LiDAR un'immagine orientata nel medesimo sistema di coordinate della nuvola di punti acquisita. In questo modo l'operatore viene guidato nel lavoro di interpretazione delle nuvole di punti dalle informazioni estraibili da una fotointerpretazione: l'operatore inseguendo una linea sull'immagine (un ciglio di strada, una linea di gronda di un tetto, ecc.) associa le informazioni metriche derivate dalla nuvola di punti. In questo modo si rende possibile la corretta interpretazione dal significato reale dei punti rilevati ma non si risolve il problema del rilievo delle linee di discontinuità altimetrica (le *breakline*) che continuano a subire effetti di "arrotondamento" che diminuiscono solo aumentando notevolmente la densità dei punti. Per facilitare questa integrazione i sistemi di acquisizione LiDAR sono oggi tutti dotati di camere digitali integrate per garantire l'acquisizione contemporanea di immagine e relative nuvole di punti in modo da evitare disallineamenti tra i contenuti geometrici delle due diverse sorgenti di informazione. In alcuni casi, specie per le applicazioni aeree, alcuni programmi consentono la gestione integrata di immagini stereoscopiche e delle relative nuvole di punti derivanti dal LiDAR: l'operatore può alternare la restituzione diretta delle *breakline* ad operazioni automatiche di segmentazione e modellazione guidate nelle zone ad andamento regolare comprese tra le linee di discontinuità definite in precedenza.

La letteratura scientifica di settore presenta diverse soluzioni elaborate negli ultimi anni che prevedono automatismi sempre maggiori e soluzioni possibili solitamente giustificate ed adattate a specifici ambiti applicativi.

In tutte queste soluzioni, alcune delle quali sono state inserite con successo in programmi professionali di gestione dei dati LiDAR, la strada intrapresa è sempre "a senso unico": si cerca di migliorare il trattamento del dato fotogrammetrico dopo aver acquisito un'informazione approssimata dal dato LiDAR oppure si cerca di superare i limiti del dato LiDAR dopo aver acquisito alcune informazioni dal dato fotogrammetrico.

Verso una completa integrazione LiDAR/Fotogrammetria digitale

Il Gruppo di ricerca di Geomatica del Politecnico di Torino ha esplorato negli ultimi anni una integrazione tra LiDAR e fotogrammetria digitale più completa mettendo come obiettivo non tanto il superamento dei limiti di una delle due tecniche di rilievo, quanto il raggiungimento del vero obiettivo di un'operazione di rilievo



Figura 1 – Esempio terrestre: estrazione automatica delle linee di discontinuità radiometrica.

metrico: la creazione automatica di un modello 3D affidabile e consistente.

Questo "cambio di prospettiva" ha portato a realizzare una serie di soluzioni software nelle quali un continuo scambio di informazioni tra fotogrammetria digitale e LiDAR consente di ottenere per successive approssimazioni modelli tridimensionali corretti e privi dei limiti dimostrati nelle soluzioni prima sinteticamente descritte. I principali risultati ottenuti, mostrati nel seguito in termini di prodotti del rilievo, consistono in una sensibile riduzione dei tempi di elaborazione nonché nel garantire un'autonomia fino ad ora mai raggiunta nei processi automatici di estrazione delle discontinuità geometriche da dati primari.

Per semplificare e consentire di apprezzare la dinamica della procedura ideata e testata su oggetti di diversa morfologia si può riassumere la strategia adottata nel seguente modo. La nuvola di punti LiDAR viene assunta come DSM approssimato dell'oggetto ed ereditata dal processo di autocorrelazione di una serie di immagini digitali (variabile da 3 a 5 per ogni porzione di oggetto considerata). L'autocorrelazione viene concentrata sulla definizione della posizione spaziali delle linee di discontinuità radiometrica presenti sulle immagini che nella maggior parte dei casi coincidono con le linee di discontinuità morfologica dell'oggetto. Tali linee vengono quindi validate nel loro vero significato geometrico (sono esse vere *breakline* oppure no?) grazie ad una verifica eseguita sui risultati della segmentazione eseguita sulla nuvola di punti LiDAR: le linee "fotogrammetriche" sono classificate come *breakline* solo se le superfici generate ai lati opposti della linea presa in esame presentano giaciture significativamente differenti nello spazio. Infine, rimosse le linee non morfologicamente significative si completa la modellazione tridimensionale utilizzando la nuvola di punti LiDAR e le *breakline* prima ottenute.

È ovvio che la fase di presa delle immagini e di acquisizione della nuvola di punti deve essere eseguita in modo tale da garantire il successo delle successive operazioni di trattamento: nel caso di rilievo terrestre tra le



Figura 2 – Esempio terrestre: effetto di "lisciatura" delle linee di discontinuità estratte.

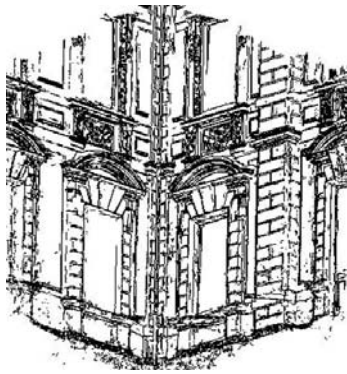


Figura 3 – Esempio terrestre: modello 3D delle linee di discontinuità dopo l'autocorrelazione multi-immagine.

immagini che parteciperanno all'estrazione geometrica delle linee di discontinuità radiometrica ne viene scelta una come "immagine di riferimento". L'acquisizione LiDAR viene eseguita approssimativamente nella stessa posizione di acquisizione dell'immagine di riferimento in modo da limitare al massimo le differenze tra i punti rilevati dal LiDAR e quelli fotografati (le zone occluse sono le stesse). Nelle applicazioni aeree è buona norma adottare ricoprimenti stereoscopici doppi sia in senso longitudinale (circa 80% nel caso di acquisizione di immagini a unica prospettiva centrale) che trasversale (circa 60% anche nel caso di acquisizione di immagini con camere push-broom).



Figura 4 – Esempio terrestre: filtratura delle linee di discontinuità con il modello LiDAR e selezione delle linee di discontinuità geometrica (break-line).

Per facilitare l'estrazione delle linee di discontinuità radiometrica, le immagini coinvolte nel processo vengono opportunamente filtrate con filtro di Wallis e dall'immagine di riferimento sono estratti i bordi radiometrici utilizzando l'operatore di Canny. Tali discontinuità vengono poi approssimate mediante una serie di punti dominanti connessi con segmenti di retta per le successive elaborazioni. I risultati del processo di autocorrelazione di tali linee vengono in seguito "lisciati" mediante una serie di algoritmi appositamente predisposti per consentire la necessaria semplificazione geometrica dei risultati in linee e curve regolari e l'altrettanto necessaria eliminazione automatica di errori grossolani residui.



Figura 5 - Esempio aereo: estrazione automatica delle linee di discontinuità radiometrica.

Nelle figure vengono mostrati rispettivamente i risultati ottenuti

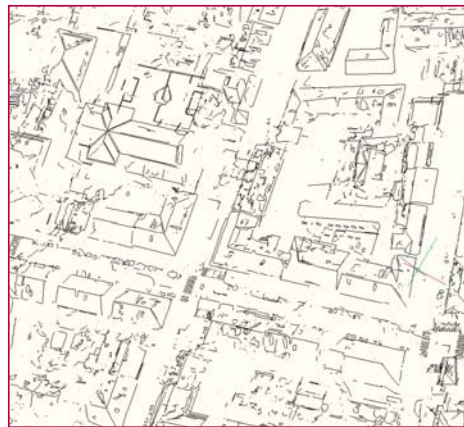


Figura 6 – Esempio aereo: modello 3D delle linee di discontinuità dopo l'autocorrelazione multi-immagine.

ti in un rilievo architettonico terrestre e in un rilievo di centro urbano.

L'esempio terrestre riguarda una porzione del Castello del Valentino a Torino (sede delle Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino). In questo caso sono state acquisite 5 immagini a partire dalle quali sono stati selezionati circa 135.000 "punti dominanti" per l'autocorrelazione che ha validato circa l'84% di tali punti. I punti eliminati durante il filtraggio finale sono limitati al 7% dei punti validati dall'autocorrelazione. La dettagliata

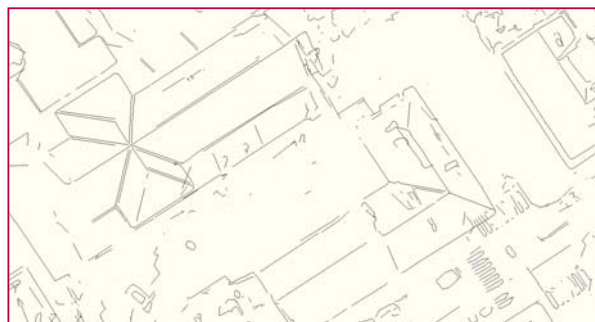


Figura 7 – Esempio aereo: filtratura delle linee di discontinuità con il modello LiDAR e selezione delle linee di discontinuità geometrica (break-line)

descrizione delle linee di discontinuità geometrica ottenuta al termine del processo consente di verificare la possibilità di produzione immediata di elaborati tridimensionali e bidimensionali immediatamente utilizzabili a fini pratici.

L'esempio aereo riguarda un'area del centro storico della Città di Torino. Il CSI Piemonte ha gentilmente concesso l'utilizzo di un volo fotogrammetrico e delle nuvole di punti acquisite con un volo LiDAR. L'area considerata è stata ripresa con camera digitale aerea Intergraph DMC: i 6 fotogrammi utilizzati hanno un ricoprimento longitudinale pari a circa il 60% e una risoluzione a terra variabile da 9 cm a 11 cm. Della nuvola di punti acquisita con uno strumento GEMINI 167kHz della Optech sono stati considerati solo i primi impulsi in modo da considerare la superficie visibile nelle immagini aeree. Nella porzione di centro urbano considerato sono stati estratti circa 190.000 punti dominanti: di questi l'81% è stato correttamente localizzato nello spazio cartografico dalle procedure di autocorrelazione multi-immagine. Le figure che seguono mostrano i risultati ottenuti al termine delle principali fasi della procedura.

Conclusioni

La procedura implementata è completamente automatica e può essere considerata altresì autonoma nel senso che i risultati finali ben descrivono la vera morfologia degli oggetti rilevati. Essa rappresenta un ulteriore passo verso sistemi di trattamento dei dati non più focalizzati sulla tecnica di acquisizione dei dati primari quanto sullo specifico problema che intendono risolvere. Maggiori e più promettenti integrazioni si potranno ottenere se e quando anche gli strumenti di acquisizione verranno integrati: la soluzione ideale sarebbe quella di disporre di camere in grado di registrare per ogni pixel dell'immagine digitale anche la distanza misurata lungo il raggio luminoso che genera l'immagine del punto.

Per ora sono in commercio sensori digitali in grado di registrare le distanze misurate su ogni pixel (camere ToF) e anche se oggi sono ancora limitate le prestazioni e quindi le possibilità applicative di sicuro rappresentano un ottimo segnale per la realizzazione di uno strumento integrato LiDAR-Fotogrammetrico che potrebbe garantire migliori risultati di quelli fino ad ora raggiunti.

Riferimenti

- Nex, F., [Multi-image matching and LiDAR data new integration approach], PhD Thesis, Politecnico di Torino, Torino (2010).
- Nex, F., Rinaudo, F., 2010. Photogrammetric and LiDAR integration for the cultural heritage metric surveys. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII, 2010
- Lingua A., Nex F., Rinaudo F., 2010. Integration of airborne laser scanner and multi-image techniques for map production. Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering, Vol. 7831, pp. 1 - 14, ISSN: 0277-786X.

Parole chiave

LIDAR, FOTOGRAMMETRIA DIGITALE, ORTOFOTO.

Abstract

LIDAR and Digital Photogrammetry towards a new integration

A new integration approach between digital photogrammetry and LiDAR is presented in this paper. Up to now LiDAR use some photogrammetric topics to manage point clouds and digital photogrammetry extract useful information from LiDAR data to produce traditional and accurate orthophoto. Considering that in traditional photogrammetric plotting the surveyor define the 3D location of the break-lines and add points just in those parts of the object where smooth surfaces can be defined, the proposed solution foresees a continuous exchange of information between those techniques in order to automatically extract the break-lines of the surveyed object. The final results is the complete break-lines 3D description and the point clouds portions useful to define smooth surfaces. At the end of the automatic procedure a complete 3D set of information is produced in order to build up the fine 3D model of the surveyed object.

Autori

FULVIO RINAUDO, FULVIO.RINAUDO@POLITO.IT

Professore associato di Geomatica presso il Politecnico di Torino, è co-chair del WGV/2 dell'ISPRS, membro dell'Executive Board del CIPA e presidente del Comitato Scientifico della SIFET. Autore di circa 200 pubblicazioni su riviste nazionali e internazionali svolge la sua attività di ricerca nei campi della Fotogrammetria Digitale e nell'integrazione delle tecniche di rilievo per la documentazione del patrimonio culturale

FRANCESCO NEX, FRANEX@FBK.EU

Dottore di Ricerca in Geomatica, è responsabile di un progetto di ricerca triennale "Marie Curie" presso la Fondazione Bruno Kessler di Trento. Si occupa dello sviluppo di algoritmi di fotogrammetria digitale per la restituzione automatica di oggetti di diversa natura con particolare riguardo all'integrazione tra fotogrammetria digitale e tecnica LiDAR.

GEOGRA

Scansioni 3D (laser scanner) •

Stereofotogrammetria •

Fotogrammetria •

Topografia •

Batimetria •

Rilievi tradizionali •

Elaborazioni informatiche •

via Indipendenza, 106
46028 Sermide, Mantova
tel. +39 0386.62628
fax +39 0386.960248

info@geogra.it • www.geogra.it

