

Filtraggio della vegetazione da nuvole di punti con camera NIR a basso costo

Mario Alba, Luigi Barazzetti, Fabio Roncoroni, Marco Scaioni

Politecnico di Milano, Via Marco D'Oggiono 18/A 23900 Lecco, 0341 488779
(mario.alba, luigi.barazzetti, fabio.roncoroni, marco.scaioni)@polimi.it

Riassunto

In alcune applicazioni inerenti il monitoraggio di pareti rocciose con terrestre laser scanning (*TLS*) la presenza di vegetazione sulla superficie non permette di misurare correttamente le deformazioni delle stesse e risulta quindi necessario provvederne l'eliminazione attraverso l'utilizzo di alcune tecniche di filtraggio. La complessità morfologica delle pareti in roccia non permette di ottenere risultati soddisfacenti con gli algoritmi comunemente utilizzati in applicazioni *ALS* (Airborne Laser Scanning). Per tale ragione è stato progettato un sistema per il riconoscimento automatico della vegetazione tramite una camera ad alta definizione capace di misurare l'infrarosso vicino (*NIR*). La scelta della camera, influenzata da fattori tecnici economici, è ricaduta sull'utilizzo di una macchina reflex digitale, che è stata modificata per permetterle di acquisire anche la banda *NIR*. Nell'articolo verranno descritte le operazioni atte alla modifica della camera, le procedure di calibrazione attuate e gli algoritmi elaborati al fine di creare una maschera di filtraggio. Infine il sistema hardware e software è stato testato su un caso reale al fine di validare i risultati.

Abstract

In some applications relating to the monitoring of rockface by *TLS*, the vegetation on the surface to survey does not allow to detect correctly the deformations. Usually the vegetation can be removed by using some filtering techniques, but the morphological complexity of the rockface does not provide satisfactory results with the algorithms commonly used in *ALS* (Airborne Laser Scanning) applications. For this reason a system for automatic recognition of vegetation by a *NIR* (near infrared) camera was designed. The choice of the camera type has been influenced by economic and technical factors but finally a *SLR* digital camera has been used. The camera was modified in order to acquire also the *NIR* channel. In the paper we would like to give a presentation of camera changes, calibration and filter algorithms used. Finally both hardware and software systems have been applied on a real case in order to validate the results.

Introduzione

Un problema ricorrente nell'analisi di pareti in roccia è la presenza di aree con vegetazione che non ne permettono la corretta acquisizione della superficie. Questo si riflette negativamente sia nelle applicazioni finalizzate alla modellazione geometrica delle pareti, sia nell'analisi geomorfologica (Azzoni et al. 1995) laddove tali aree non possono essere modellate correttamente. Nelle applicazioni di monitoraggio, tale problema rappresenta una criticità ancora maggiore per il fatto che la vegetazione può cambiare la propria forma in modo sensibile tra le diverse stagioni, influenzando talvolta anche la georeferenziazione.

Il problema del filtraggio della vegetazione è un tema ampiamente trattato in letteratura, in particolare per la creazione di modelli digitali del terreno (*DTM*) e per la segmentazione dei dati *LiDAR* acquisiti da piattaforma aerea (*ALS - Airborne Laser Scanning*). I metodi proposti in letteratura sono molteplici e l'attuale ricerca ha come obiettivo la completa automazione degli stessi

(Vosselman e Maas, 2001, Forlani e Nardinocchi, 2007). Il filtraggio dei dati *LiDAR* aerei è principalmente basato sulla possibilità di rilevare per ogni singolo impulso emesso differenti risposte del segnale laser riflesso (*multiple echoes*). In questo modo, come si può osservare in figura 1, quando un punto dispone di una risposta singola viene normalmente classificato come terreno o edificio. Quando invece possiede una risposta multipla, esso può essere classificato come vegetazione. Ovviamente questa analisi che qui è descritta in principio, è in realtà implementata in modo più raffinato in quanto tiene conto anche del comportamento dei punti vicini, del rumore, dell'intensità, ecc.. Tuttavia in linea generale consente:

- di filtrare la vegetazione per ricavare il DTM;
- analizzare i parametri caratterizzanti la vegetazione, in particolar modo per quanto concerne le foreste (ad esempio valutare lo spessore della biomassa vegetale Hyypä et al. 2005, o stimare il numero di alberi Barilotti et al. 2007).

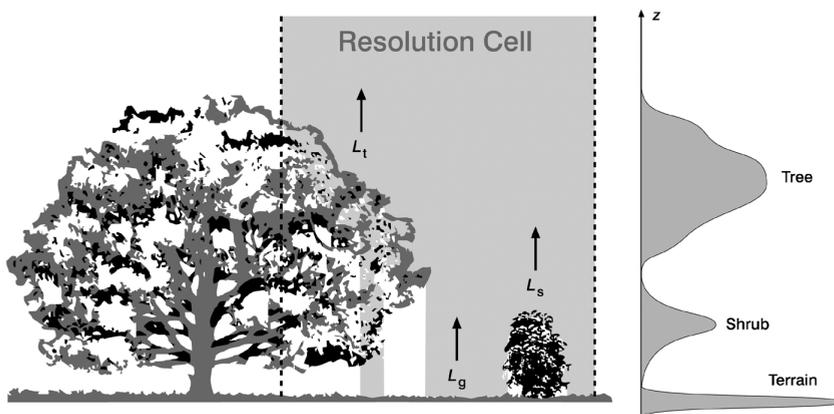


Figura 1 – Sulla destra diagramma che riceve un full-waveform ALS per la situazione descritta sulla destra.

La registrazione delle risposte multiple, prerogativa di tutti i sensori *LiDAR* utilizzati nella pratica *ALS*, è invece ancora indisponibile nella grande maggioranza degli strumenti *TLS*, sebbene sarà implementata in futuro anche in questi ultimi. A conferma di questo, alcuni scanner di ultimissima generazione come il *RIEGL VZ 400* (Riegl, 2010) consentono già questa modalità di acquisizione. Tuttavia, lo strumento *Riegl LMS-Z420i* utilizzato nella sperimentazione descritta (peraltro come la maggioranza di quelli attualmente in commercio) non dispone di questa opzione. In ogni caso, quando si incontra uno strato di vegetazione molto fitto il laser non riesce a penetrarlo e risulta necessario utilizzare metodi di filtraggio della vegetazione. I metodi più comuni sfruttano la ridondanza delle informazioni contenute nella nuvola di punti e la tipica geometria di accrescimento della vegetazione sul terreno, in direzione sostanzialmente perpendicolare alla superficie topografica. Nel caso delle pareti rocciose purtroppo la geometria di accrescimento è completamente diversa e risulta la causa principale della scarsa efficienza dei metodi di filtraggio. Essendo la parete verticale, la crescita degli arbusti avviene in direzione parallela e spesso è molto vicina alla superficie della stessa, quindi difficilmente identificabile. Per tale ragione è stato progettato un sistema per il riconoscimento automatico della vegetazione tramite camere ad alta definizione capaci di acquisire immagini nella lunghezza d'onda dell'infrarosso vicino (*NIR - Near Infrared*).

L'infrarosso vicino è la radiazione elettromagnetica con una frequenza inferiore a quella della luce visibile, ma maggiore di quella della radiazione termica. La radiazione *NIR* ha una lunghezza d'onda compresa tra 750-1400 nm ed i fenomeni associati sono essenzialmente assimilabili a quelli della luce, anche se la risposta dei materiali alla luce visibile non è per nulla indicativa di quella alla

luce infrarossa. Le immagini *NIR* sono utilizzate per il riconoscimento dello strato vegetativo, tecnica che ormai è ampiamente consolidata nelle comuni pratiche di telerilevamento. Dallo studio del comportamento spettrale della vegetazione sono state definite una serie di relazioni quantitative fra dati telerilevati e i parametri della vegetazione mediante indici che si basano sul rapporto tra le bande tipiche di assorbimento e riflessione. Queste relazioni algebriche, indicate come indici di vegetazione, si basano soprattutto sulle lunghezze d'onda del rosso e del *NIR* e sono principalmente correlate alla quantità di biomassa vegetale e alla concentrazione di clorofilla presente in esse. Nel corso degli anni sono stati proposti diversi indici di vegetazione che non risulta il caso di esaminare in modo specifico, ma si rimanda il lettore a Carlson, and Ripley 1997 per gli approfondimenti. Proprio questa consolidata tecnica nel riconoscimento della vegetazione è stata di ispirazione per la progettazione di questa metodologia. L'obiettivo finale è quello di riuscire a discriminare ed eliminare dalla nuvola di punti tutti le zone coperte dalla vegetazione attraverso un processo rapido ed altamente automatizzato, il quale non richieda successive operazioni di filtraggio. Nei paragrafi seguenti verranno descritte le operazioni effettuate per la creazione e la calibrazione della camera *NIR* impiegata, nonché gli algoritmi sperimentati per la segmentazione della vegetazione.

Creazione di una camera *NIR* a basso costo

In commercio esiste una vasta gamma di sensori che permettono l'acquisizione di immagini *NIR* in funzione della lunghezza d'onda che si vuole acquisire e della risoluzione del sensore. La scelta della camera da utilizzare è stata influenzata da diversi fattori: in primis, la risoluzione del sensore, che accompagnata dall'utilizzo di ottiche intercambiabili dovrebbe garantire l'acquisizione di immagini con risoluzione prossima a quella di scansione del laser; secondariamente, la camera dovrebbe garantire una facile integrazione dei suoi dati con il sistema laser scanning; infine, ma non per importanza, l'economicità della camera. Per queste ragioni la scelta è ricaduta sull'utilizzo di comune reflex digitale, che è stata modificata per permetterle di acquisire anche la banda *NIR*.

Le fotocamere digitali sono generalmente caratterizzate da sensori *CCD* dotati di una risposta spettrale molto ampia, su tutto il visibile e l'infrarosso vicino. Le case costruttrici per evitare l'acquisizione del *NIR* e migliorare la qualità dei colori introducono davanti al sensore due differenti filtri. Il primo è costituito in realtà da una serie di microfiltri colorati alternati (*RGB*), ognuno dei quali è posizionato davanti a ogni singolo pixel. Il segnale che incide su questo è dunque relativo solo al colore corrispondente al microfiltro. Ciò in realtà comporta una perdita di risoluzione, perché pur essendo i pixel di dimensioni variabili da $2 \times 10 \mu\text{m}$ a seconda delle camere, il segnale viene interpolato in quanto il colore rosso è composto solo da un quarto dei pixel reali, al pari del blu, mentre i sensori *CCD* sensibili al verde costituiscono complessivamente la metà dei pixel totali (filtro di Bayer). Al di sopra della matrice colorata è disposto un filtro spaziale che causa una leggera sfocatura dell'immagine. In questo modo i pixel colorati anche se sono disposti in punti diversi del piano focale, campionano i medesimi punti dell'immagine.

Il secondo filtro serve per ridurre l'effetto della componente infrarossa del segnale ed è posto davanti al sensore. Gli obiettivi fotografici sono composti da lenti che non permettono la corretta messa a fuoco di tutte le lunghezze d'onda contemporaneamente. Ciò comporta una perdita di definizione in quanto sul sensore arrivano sia le frequenze a fuoco sia quelle non a fuoco. Per ridurre questo problema viene posto davanti al sensore stesso un filtro che blocca la componente infrarossa dello spettro. Questo filtro, a differenza di quello del colore, può essere sostituito.

Per la sperimentazione è stata utilizzata una camera digitale Nikon D100, già in possesso dal nostro laboratorio, alla quale è stato sostituito il filtro infrarosso posto davanti al sensore con un filtro neutro che permette il passaggio sia delle frequenze visibili che quelle nel campo *NIR*. La selezione della lunghezza d'onda viene fatta attraverso l'uso di due differenti filtri posti davanti all'ottica della camera. Le operazioni di sostituzione (Figura 2) sono state effettuate direttamente secondo le indicazioni fornite da LifePixel (2010) ed il costo complessivo del sensore così ottenuto è risultato nell'ordine di poche centinaia di euro, ivi compreso il costo della camera.



Figura 2 – Alcune fasi della sostituzione del filtro NIR.

Calibrazione geometrica della camera NIR

Una volta sostituito il filtro e verificato il corretto funzionamento del sensore, è stata effettuata la calibrazione della stessa con un normale procedimento di calibrazione fotogrammetrica. La calibrazione della camera, necessaria per determinare i parametri di orientamento interno e i parametri di distorsione, è stata eseguita mediante i software commerciali Australis ver. 7 di Photometrix (Australia) e PhotoModeler ver. 6 di EOS Systems (Canada). In particolare, il poligono di calibrazione fornito da PhotoModeler è stato ripreso mediante un blocco di immagini ben distribuite spazialmente, delle quali alcune sono state acquisite ruotando la camera di $\pm 90^\circ$. Tramite il software è stato dunque possibile misurare per via automatica le coordinate immagine di ogni target immagini per ogni singola immagine. Tali valori sono poi stati esportati nel software Australis e si è proceduto alla calibrazione tramite una triangolazione fotogrammetrica col metodo delle stelle proiettive (*bundle adjustment*) a minimo vincolo (*free-network*). Tramite questo metodo è possibile rimuovere la deficienza di rango del sistema inserendo alcune equazioni di vincolo che condizionano la matrice normale del problema ai minimi quadrati (Mikhail, 1983). Il principale vantaggio implicato in esso risiede nella possibilità di non impiegare punti di appoggio, le cui coordinate potrebbero essere affette da errori che andrebbero a inficiare la qualità della calibrazione. Una volta calibrata la camera è stato calibrato anche il *mounting* della stessa, cioè il supporto che viene montato sopra il laser scanning per permette di orientare in maniera automatica la camera all'interno dell'*IRS* (*Intrinsic Reference System*) dello strumento *TLS*. Grazie a questo sistema di calibrazione risulta possibile associare l'informazione *RGB* o *NIR* fornita dalle immagini a ciascun punto della nuvola.

La calibrazione è stata eseguita utilizzando una procedura guidata fornita dal software RiscanPRO di Riegl. Questo prevede l'utilizzo di alcuni target retro-riflettenti (*RRT*) che devono essere acquisiti simultaneamente all'interno di una scansione e da una o più immagini, nel caso sia necessario inquadrare un oggetto di grandi dimensioni. Successivamente, gli *RRT* vengono identificati grazie al riconoscimento automatico degli stessi nella scansione e sulle immagini. Infine, dopo una verifica dei risultati, è necessario procedere manualmente all'accoppiamento di ogni singolo punto tra i due data-set. Ultimata questa operazione è possibile procedere con la stima ai minimi quadrati dei parametri di roto-traslazione tra i due sistemi di riferimento. Da esperienze precedenti si sono riscontrati alcuni errori di allineamento tra le immagini e la scansione nel caso la calibrazione sia

stata eseguita utilizzando una sola immagine, probabilmente a causa di un non perfetto allineamento del sensore sull'asse di rotazione dello strumento. Per tale ragione è stata effettuata una calibrazione utilizzando un poligono con *RRT* posti attorno allo strumento entro un campo a 360°. Ovviamente in questa configurazione i residui della stima sono maggiori, ma permettono un migliore allineamento delle immagini per tutti i valori degli angoli di acquisizione.

Algoritmi di filtraggio e maschere di rimozione della vegetazione

Una volta predisposto il sensore *NIR* a basso costo sono state acquisite le immagini al fine di verificare il corretto funzionamento dello stesso e procedere all'analisi dei primi dati. Per testare la procedura di rimozione della vegetazione è stato utilizzato un laboratorio di campo presso una parete rocciosa, ricca di vegetazione, ubicata sul versante del monte Sasso di San Defendente in provincia di Lecco. A tal fine sono state acquisite, oltre ad una scansione laser scanning della parete, le immagini digitali tramite la camera coregistrata al *TLS* utilizzando per le medesime posizioni di presa due differenti filtri, il primo per acquisire semplici immagini *RGB* (tagliando la parte *NIR*) mentre il secondo *NIR* (rimuovendo la parte visibile).

L'algoritmo implementato ha lo scopo di creare una maschera di filtraggio che a partire dalle immagini *RGB* e *NIR* riesca a discriminare la vegetazione dal resto della parete. Successivamente, grazie ai parametri di rototraslazione tra il sistema di riferimento della camera e quello del *TLS* è possibile proiettare le immagini sulla nuvola di punti ed infine eliminare le zone riconosciute come vegetazione.

Per la creazione delle maschere di filtraggio sono stati analizzati diversi indici di vegetazione, ma quello più facilmente adattabile ed efficace è stato l'indice *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*). Quest'ultimo, ampiamente utilizzato in letteratura, sfrutta una combinazione del canale rosso (ρ_R) e di quello *NIR* (ρ_{NIR}), secondo la relazione seguente:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

Successivamente viene applicata una soglia sul valore di *NDVI*, in funzione della quale viene creata una maschera binaria sulla quale sono rappresentati i punti da rimuovere. Infine, per meglio definire i punti rilevati, vengono applicati due successivi filtri, il primo con lo scopo di chiudere eventuali buchi (*holes*) rimasti tra i punti di vegetazione selezionati, il secondo per eliminare i punti singoli dispersi considerati come outliers tramite l'applicazione di un filtro *mediano*. La maschera risultante, avendo le stesse dimensioni dell'immagine originale può essere facilmente sostituita a quest'ultima in modo da associarla alla scansione e poter eliminare i punti corrispondenti alla vegetazione. In figura 3 si riportano le immagini delle differenti fasi di processamento, dove in E viene rappresentato il risultato finale della nuvola di punti ripulita dalla vegetazione.

Conclusioni

La procedura sviluppata per la rimozione della vegetazione ha permesso di raggiungere i risultati attesi grazie all'utilizzo di una tecnologia *NIR* ben collaudata nelle comuni pratiche di telerilevamento. Il valore aggiunto di questa applicazione è sicuramente il basso costo di realizzazione dell'*hardware* pari a poche centinaia di euro. Mediante la procedura qui proposta è stato possibile eliminare l'effetto perturbativo della vegetazione e conseguentemente andare a misurare correttamente le deformazioni della parete con *TLS*, raggiungendo precisioni subcentimetriche (vedi Alba e Scaioni, 2010). La medesima metodologia potrebbe essere impiegata, con opportuni accorgimenti, anche in campo fotogrammetrico per l'analisi dello stato di salute degli edifici integrando le normali camere nel visibile con una camera termica.

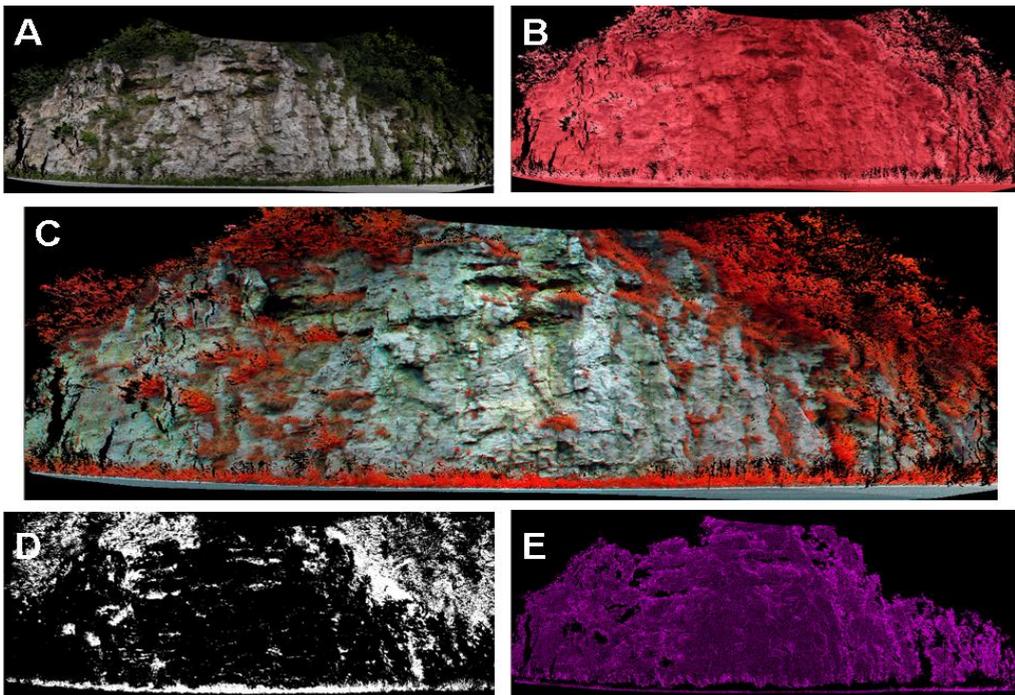


Figura 3 – Nuvola di punti con associata l'informazione: RGB (A); NIR (B); Falso colore (C), maschera NDVI (D). Infine in (E) la nuvola di punti senza la vegetazione.

Bibliografia

- Alba M., Scaioni M. 2010. Automatic detection of changes and deformations in rock faces by terrestrial laser scanning. IAPRSSIS, Vol XXXVIII, Part 5, Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, United Kingdom
- Azzoni et al., 2005 Azzoni, A., Barbera, G.L. and Zaninetti, A., 1995. Analysis and prediction of rockfalls using a mathematical model. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 32:709–724.
- Barilotti et al., 2007 Barilotti A, Sepic F, Abramo E, Crosilla F, 2007 – Improving the morphological analysis for tree extraction: a dynamic approach to lidar data. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007, Espoo 12-14 settembre 2007, Finland.
- TN Carlson, DA Ripley, 1997 On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index, Remote Sensing of Environment, - Elsevier
- Forlani e Nardinocchi, 2007. Adaptive filtering of aerial laser scanning data, Silvilaser 2007, Finland
- Hyypä et al., 2005 Hyypä, J., Mielonen, T., Hyypä, H., Maltamo, M., Yu, X., Honkavaara, E., Kaartinen, H., 2005. Using individual tree crown approach for forest volume extraction with aerial images and laser point clouds. ISPRS WG IIIA, V/3 Workshop “Laser scanning 2005”, Enschede, Sept. 12-14.
- lifepixel, 2009 <http://www.lifepixel.com> (ultimo accesso 30 Agosto 2010).
- Mikhail, 1983 Observations and Least Squares, Edward M. Mikhail (Author), 1983 Kraus, 2009 Karl Kraus, Photogrammetry 2^a edition, Editore: de Gruyter
- Vosselman and Maas, 2001. Adjustment and filtering of raw laser altimetry data. Proceedings of OEEPE workshop on airborne laserscanning and interferometric SAR for detailed digital elevation models, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. paper 5, 11 p.