

Applicazioni laser scanner per l'ambiente forestale

Francesco Pirotti, Stefano Grigolato, Emanuele Lingua, Tommaso Sitzia, Paolo Tarolli

Dipartimento del Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TESAF) – Università degli Studi di Padova
Viale dell'Università 16 – 35020 Legnaro (PD)

e-mail: (francesco.pirotti,stefano.grigolato,emanuele.lingua,tommaso.sitzia,paolo.tarolli)@unipd.it

Sommario

Le informazioni potenzialmente ottenibili tramite elaborazioni di dati *laser scanner* in ambiente forestale fanno di questa tecnologia uno strumento estremamente utile per la gestione delle aree boscate. In particolare è ben documentato che sono stimabili parametri forestali a livello di popolamento, particella e singolo albero, oltre che informazioni dendrometriche, mediante l'utilizzo di rilievi laser scanner a diversa scala. I modelli ad alta risoluzione della superficie delle chiome e del terreno ottenibili, come anche le informazioni sulla struttura tra le due superfici, possibile grazie alla penetrabilità del segnale laser, concorrono a fornire un dato di alto valore anche per studi idrologici, per l'estrazione di elementi infrastrutturali di interesse per l'accessibilità, per analisi dei disturbi e per valutazioni di carattere ecologico.

La disponibilità di informazioni accurate e distribuite su questi aspetti più agevola l'attività di pianificazione forestale in termini di efficienza e accuratezza. L'utilizzo corretto del laser scanner per stimare queste informazioni porta a notevoli vantaggi per i tempi di rilievo, la quantità e la copertura del dato, considerando che l'alternativa è quella di eseguire dei rilievi sul campo per aree campione. In questa nota si riportano degli esempi applicativi da progetti in essere presso il Dipartimento del Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università degli Studi di Padova.

Abstract

Potential forest-related information which can be obtained from processing laser scanner data make this technology extremely useful for management and assessment of forests. It is thoroughly documented in recent literature how specific forest characteristics can be estimated at stand, plot and single tree level using laser scanner surveys at corresponding scales. The high resolution models of the canopy surface and of the bare earth (terrain), and also the information obtained of the structure of the volume between these two surfaces, concur towards a more complete source of information not only for direct forestry applications, but also for other closely related fields such as hydrological processes, infrastructures, forest disturbances and ecological evaluations.

Having accurate and spatially distributed information over the above mentioned aspects give land assessment and management added value data to work with. Correct utilization of laser scanner data can estimate many characteristics usually obtained by ground surveys. Ground-plots require significant expenditure in terms of human effort, economical investment and can be distributed on large areas only in a limited number. The following paper shows the efforts which are being undertaken by the Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry at the University of Padua towards testing laser scanner applications in forested environments.

Introduzione

I sensori *laser scanner* registrano la posizione di un elevato numero di punti campionati sulle superfici che vengono intercettate dall'impulso laser. Mediante calcoli sul tempo di volo o con altre tecniche di analisi delle geometrie o del segnale, viene misurata la distanza tra sensore e punto campionato. A seconda delle caratteristiche del sensore, della velocità del vettore e della distanza sensore-oggetto i punti possono avere maggiore o minore densità, rappresentando quindi l'oggetto con maggiore o minore accuratezza.

Nel caso di superfici coperte da bosco il laser scanner presenta vantaggi che lo rendono particolarmente adatto allo studio della vegetazione e dei fenomeni ad essa collegati. L'impulso viene riflesso dalla superficie della vegetazione a seconda del tipo di bosco e della sua struttura. Un corretto rilievo laser scanner da aereo può dare informazioni anche sulla superficie del terreno sotto copertura, fornendo quindi informazioni importanti per tutto quello che riguarda gli elementi appartenenti al terreno come la pendenza, la curvatura, la presenza di viabilità e quant'altro. Questi elementi sono fondamentali per valutazioni di tipo idrogeologico e per valutazioni sulla viabilità ai fini della meccanizzazione di eventuali operazioni in bosco. Non solo vengono forniti dei dati sulla superficie della chioma e del terreno sotto copertura, ma l'impulso può fornire informazioni di ritorno anche sulla struttura della chioma tra queste due superfici. Questa parte di informazioni possono essere utilizzate per ottenere modelli della struttura forestale, finanche alla modellazione ed alla estrazione di informazioni da singolo albero.

Ad oggi esistono sensori laser con caratteristiche diverse. A seconda del tipo di rilievo vediamo sensori a terra, aerotrasportati ed anche inseriti in satelliti in orbita. Negli ultimi due casi si fa riferimento solitamente a sensori *lidar* (da *light detection and ranging*) Il sensore può registrare ritorni discreti (si parla quindi di lidar a ritorni discreti) oppure una digitalizzazione dell'intero segnale di ritorno (*lidar full-waveform*). A seconda di come è impostato il sensore è possibile avere un impulso con impronta piccola (minore di 1 m) o grande (maggiore di 1 m). Le modalità di rilievo e la correlazione con caratteristiche forestali differiscono a seconda del tipo di sensore utilizzato e della densità di punti ottenuta (Dubayah e Drake 2000). Le variabili stimate possono essere a livello di popolamento forestale (Næsset 2004), di particella o anche di singolo albero (Barilotti 2007; Reitberger 2009).

Laser scanner applicato all'asestamento forestale

Le caratteristiche utili alle valutazioni per la gestione del bosco vengono solitamente rilevate mediante campionamenti accuratamente pianificati per essere rappresentativi dell'area di studio. Molte di queste caratteristiche possono essere stimate utilizzando rilievi da laser scanner sia da terra che da aeromobile/satellite a seconda di quali siano le caratteristiche che si vuole misurare sia quale sia la scala di lavoro.

Il laser scanner terrestre permette di ottenere modelli molto accurati su aree limitate dalla densità del bosco e dal numero di stazioni scansionate. Un singolo albero di particolare interesse può essere modellato accuratamente eseguendo un'accurata scansione da diversi angoli per avere la definizione necessaria per stimare il volume delle sue componenti epigee, oppure un gruppo di alberi circostante una stazione può essere rilevato stimando la posizione, la densità della copertura della chioma ed ancora parametrizzarne il volume (figura 1). Si possono ottenere dati di interesse dendrometrico elaborando la nuvola di punti mediante software di tipo statistico quali R (R, 2010) o direttamente sul modello (figura 1).



Figura 1 – Parti di elaborazione da laser scanner terrestre; A. il rilievo dell'area; B. inquadramento dell'elemento di interesse; C. misure dirette; D. dettaglio.

L'obiettivo dei lavori in corso è quello di automatizzare l'estrazione delle informazioni dendrometriche tramite *fitting* di tronchi di cono previa una eliminazione degli elementi non appartenenti alle parti di interesse (ad esempio le foglie). La modellazione viene fatta tramite moduli presenti nel software R, che contribuiscono in modo fondamentale a fornire le funzioni di base necessarie per la creazione dei modelli geometrici.

Il rilievo da aeromobile o da vettore orbitante permette di coprire aree molto grandi di territorio con definizioni variabili a seconda dell'impostazione della frequenza di impulso emesso, della velocità del vettore e della quota di volo. I sensori utilizzati possono registrare ritorni discreti oppure digitalizzare tutto l'impulso di ritorno (*full-waveform*) fornendo all'operatore dati molto interessanti per lo studio della struttura del bosco. In tutti e due i casi l'aspetto fondamentale è la possibilità di ottenere informazioni geometriche che comprendono la superficie della chioma, il volume dalla superficie al terreno, e la superficie del terreno (vedi figura 2 e 3).

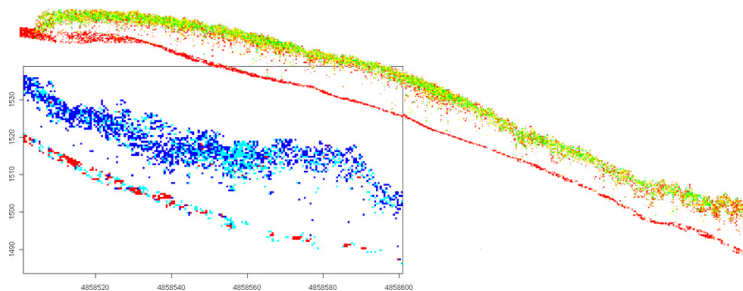


Figura 2 – Esempio di due profili ottenuti da ALS con ritorno discreto ad alta densità di punti.

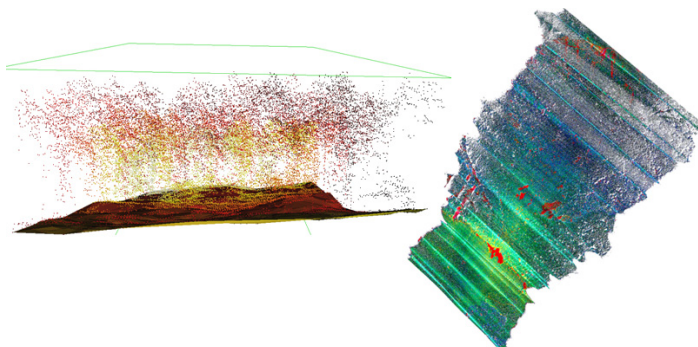


Figura 3 – Esempio di ALS full-waveform; a sinistra un dettaglio dei punti ottenuti, a destra una tematizzazione della densità della chioma.

L'elaborazione dei dati full-waveform rispetto a quelli da ritorno discrete richiede dei passaggi in più in quanto i punti nello spazio vanno estratti dalla forma d'onda mediante l'applicazione di filtri per diminuire il rumore e modelli Gaussiani per rappresentare (Chauve et al. 2007) il picco creato dalla superficie riflettente. Il numero di punti dipende dalla modalità di estrazione dalla forma d'onda. Possono essere anche elaborate le forme d'onda direttamente ottenendo informazioni da indici ottenuti da rapporti di forma all'interno dell'onda. In questa direzione si sta lavorando per considerare quali siano i metodi migliori e meno onerosi – dal punto di vista di complessità e tempi di calcolo – per estrarre informazioni utili per stimare la biomassa, la densità del popolamento, e la distribuzione delle altezze.

Laser scanner applicato all'ecologia forestale

Il lidar è uno strumento in grado di misurare diversi parametri della struttura degli habitat forestali, attività finora possibile solo attraverso rilevamenti in campo. Per questo motivo, il suo utilizzo nel campo dell'analisi ecologica degli ecosistemi risulta di notevole utilità specialmente considerato a scala di paesaggio. La copertura arborea, la densità e continuità della chioma sono fattori importanti per valutare la qualità dell'habitat ed il dato lidar rende possibile arricchire le informazioni strutturali con quelle di composizione, specialmente se utilizzato insieme ad immagini multispettrali.

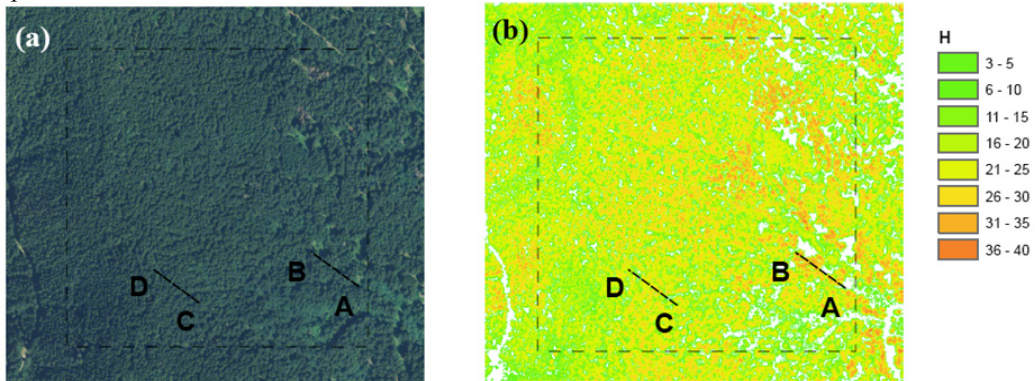


Figura 4 – Indice di diversità orizzontale della struttura arborea da CHM derivato da lidar.

Qualora, oltre al primo ed ultimo impulso, necessari per la realizzazione del modello della chioma, il sensore registri anche quelli intermedi, è possibile ottenere anche indici di diversità verticale della struttura delle chiome che possono essere trattati come indici di qualità dell'habitat

Laser scanner impiegato per l'identificazione ed analisi delle forme morfologiche

La risoluzione di scala, per l'analisi ed interpretazione dei processi fisici che si manifestano in natura, si rivela un punto cruciale in quanto, a seconda della qualità di dettaglio quale vengono basate le analisi, un processo può essere più o meno correttamente rappresentato. La tecnologia lidar ha consentito un significativo miglioramento nel dettaglio e qualità dell'analisi della topografia delle superfici terrestri. Grazie ad essa è stato quindi possibile sviluppare una nuova generazione di modelli digitali del terreno (DTM) ad una risoluzione spaziale di gran lunga superiore a quella conseguita con tecniche tradizionali. La disponibilità di tali basi di dati apre prospettive finora inesplorate per il riconoscimento delle diverse tipologie morfologiche sia dei versanti che degli alvei torrentizi e fluviali fino a giungere alla possibilità di un'acquisizione a scala vasta di un dettaglio plani-altimetrico sino ad ora conseguibile solo mediante rilievo diretto in campo. Nei bacini montani, le caratteristiche topografiche dei versanti esercitano una forte influenza sui processi idrologici e geomorfologici legati alla formazione dei deflussi ed all'erosione. La possibilità di descrivere con elevata risoluzione ed accuratezza la superficie topografica riveste,

pertanto, notevole importanza ai fini dell'analisi di questi processi. In particolare la descrizione morfologica del sistema rete-versante rappresenta un campo di indagine dove le basi di dati topografiche ad elevata risoluzione hanno consentito progressi notevoli. Le due figure sotto riportate evidenziano le potenzialità di DTM ad elevata risoluzione di cella, derivati da dati laser scanner da aeromobile, nell'identificazione del reticolo idrografico (Pirotti e Tarolli, 2010). Dal DTM è stato derivato il raster della curvatura impiegato poi per l'estrazione del reticolo idrografico (figura 5).

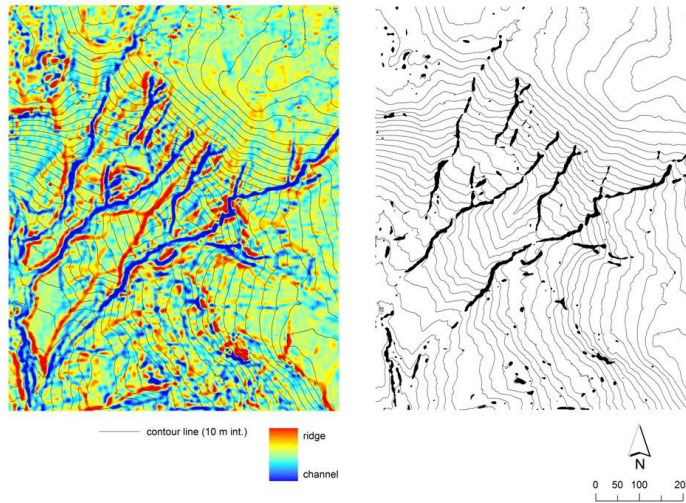


Figura 5 – Identificazione del reticolo idrografico da DTM ad alta risoluzione derivato da lidar.

Laser scanner applicato alle utilizzazioni forestali

Modelli digitali del terreno ad alta risoluzione ottenuti grazie a rilievi mediante laser scanner da aeromobile offrono ai tecnici e professionisti forestali la possibilità di eseguire analisi accurate nell'ambito della pianificazione delle utilizzazioni forestali. In particolare sono stati ottenuti risultati soddisfacenti nell'identificazione dei tracciati di nuove strade forestali e del miglioramento di quelle esistenti. Un rilievo lidar ad alta densità di punti permette di identificare la viabilità anche sotto copertura (White et al. 2010), evidenziando incongruenze con la cartografia corrente e rendendo semplice ed immediata l'eventuale operazione di aggiornamento e miglioramento della posizione degli elementi infrastrutturali (figura 6).

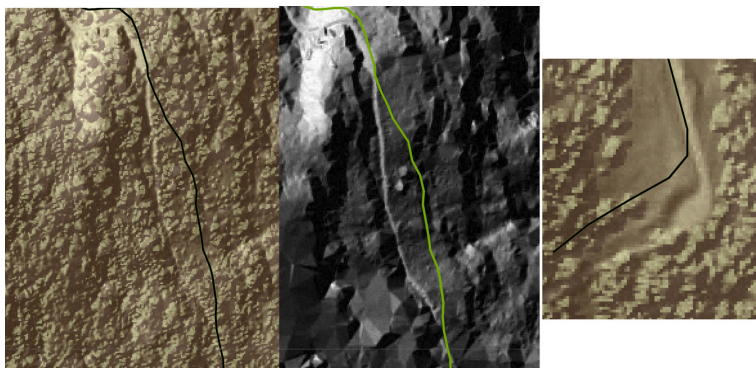


Figura 6 – Strade forestali dalla cartografia riportate sul DSM (sinistra e destra) e sul DTM (centro); si nota chiaramente la strada forestale reale.

Aruga et al. (2004) e Schiess (2005) hanno osservato come modelli del terreno con celle di risoluzione inferiore a 2 m offrono la possibilità di definire con buona precisione sia i tracciati delle strade quanto determinare i volumi di terra da movimentare. Lo stesso modello digitale risulta essere accurato nella determinazione dei corridoi e dei profili delle linee di gru a cavo con risoluzioni di 10 m o minori. E' anche interessante considerare la possibilità di integrare le informazioni relative alla morfologia del terreno con quelle del soprassuolo. Densità maggiori di 9 punti al metro quadrato possono stimare la struttura forestale evidenziando le piante adatte ad essere destinate a riti di estremità, ancoraggi o cavalletti (Grigolato 2009).

Riferimenti bibliografici

- Aruga K, Sessions J, Akay A. (2004), "Application of fan airborne laser scanner to forest road design with accurate earthwork volumes", *Journal of Forest Research*, 10: 113-123.
- Barilotti, A, Sepic F, Abramo, E, Crosilla, F. (2007), "Improving the morphological analysis for tree extraction: a dynamic approach to lidar data", *Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 36-3/W52, 26-31.
- Grigolato S. (2009), "Pianificazione delle utilizzazioni forestali. Speciale Lidar: tecnologia innovativa applicata al settore forestale", *Sherwood*, 156: 35-39.
- Chauve A, Mallet C, Bretar F, Durrieu S, Pierrot-Deseilligny M, Puech W. (2007), "Processing Full-Waveform Lidar Data: Modelling Raw Signals". Atti del convegno: Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, Finlandia, settembre 2007, pp. 102-108.
- Dubayah RO, Drake JB. (2000), "Lidar remote sensing for forestry", *Journal of Forestry*, 98:44-46.
- Næsset E. (2004), "Accuracy of forest inventory using airborne laser scanning: evaluating the first Nordic full-scale operational project", *Scan. J. For. Res.*, 19, 554-557.
- Pirotti F, Grigolato S, Lingua E, Sitzia T, Tarolli P. (2009), "Speciale Lidar: tecnologia innovativa applicata al settore forestale", *Sherwood*, 156: 1-39.
- Pirotti F, Tarolli P. (2010), "Suitability of LiDAR point density and derived landform curvature maps for channel network extraction", *Hydrological Processes*, 24, 1187-1197.
- Reitberger J, Schnorr C, Krzystek P, Stilla U (2009), "3D segmentation of single trees exploiting full waveform LIDAR data", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64: 561-574. - [doi:10.1016/j.isprsjprs.2009.04.002](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.04.002)
- R. (2010), *2010 The R Foundation for Statistical Computing*, ISBN 3-900051-07-0 (on line: <http://www.r-project.org/>)
- White R.A., Dietterick B.C., Mastin T., Strohman R. (2010). Forest Roads Mapped Using LiDAR in Steep Forested Terrain. *Remote Sens.* 2010, 2, 1120-1141; doi:10.3390/rs2041120