

Valutazione di dati LIDAR per la stima di parametri dendrometrici in soprassuoli coetanei di pino domestico

Lorenzo Bottai (*), Lorenzo Arcidiaco (*), Marta Chiesi (**), Fabio Maselli (**)

(*) Consorzio Lamma, Tel. +39 055 4483035, Fax +39 055 444083, bottai@lamma.rete.toscana.it

(**) CNR IBIMET, Tel. +39 055 5226024, Fax+39 055 444083, maselli@ibimet.cnr.it

Riassunto

Negli ultimi anni la tecnologia LiDAR (*Light Detection And Rating*) è stata sempre più applicata per lo studio dei parametri biometrici che caratterizzano i soprassuoli forestali (es. altezza delle piante, forma delle chiome, stima della biomassa dei soprassuoli, etc.). Nell'ambito di questo lavoro viene descritta una tecnica di stima delle altezze degli alberi e della forma delle rispettive chiome, di popolamenti di pino domestico (*Pinus pinea* L.), che caratterizzano il PARCO REGIONALE DI MIGLIARINO, SAN ROSSORE, MASSACIUCCOLI. In particolare, lo scopo principale del lavoro è stato quello di sviluppare una metodologia che, partendo dai dati XYZ, permetta di determinare l'altezza e forma della proiezione orizzontale della chioma di ogni singolo albero. Questo lavoro si è basato sullo sviluppo di una procedura innovativa che a partire dalle immagini dei massimi dei due ritorni (*pulse*) ha permesso di generare il *Digital Surface Model* (DSM). Il relativo *Digital Terrain Model* (DTM) è stato generato a partire dai valori minimi dei punti codificati "2".

Abstract

During the last few years LiDAR (*Light Detection And Rating*) data has been used to study forest biometric parameters (e.g. tree height, crown shape, forest biomass, etc.). In the current paper a methodology was developed to estimate tree height and crown shape of pine trees (*Pinus pinea* L.) situated within the Natural Park of San Rossore. In particular, the main aim was to develop a methodology that, starting from XYZ data, is capable of determining height and crown shape of each single tree. This activity is based on the development of an innovative procedure to create the *Digital Surface Model* (DSM) using the maxima of the two-pulse images; the *Digital Terrain Model* (DTM) was then created based on the minima of the second pulse.

Introduzione

Negli ultimi anni numerosi sono state le applicazioni in ambito topografico e di rilievo a terra attraverso l'utilizzo di telerilevamento attivo con *Laser scanner*. In particolare i rilievi LiDAR si sono sviluppati anche in campo ambientale ed in particolare nel settore forestale dove si sta rilevando un ottimo strumento per l'analisi e l'individuazione di parametri forestali (es. area basimetrica, altezza delle piante e volume) (PIROTTI *et al.*, 2012; MASELLI *et al.*, 2011). Tali parametri sono fondamentali per la caratterizzazione dei soprassuoli forestali in termini di stock di carbonio.

Il presente lavoro ha avuto come obiettivo quello di definire una procedura che, a partire dai dati LiDAR di tipo XYZ, permetta di determinare in maniera automatica altezza e forma della proiezione orizzontale della chioma di ogni singolo albero, previo calcolo del DSM (*Digital Surface Model*) a partire dai dati puntuali in formato XYZ.

Area di studio

L'algoritmo viene applicato all'interno di un popolamento coetaneo a pino domestico (*Pinus pinea* L.) che ricade all'interno del vasto territorio del Parco Regionale di San Rossore (43.6-43.8° N, 10.4-10.6° E). Si tratta di una zona costiera pianeggiante appartenente alla fascia del *Lauretum* (*sensu* Pavari). Il clima è caratterizzato da estati calde e siccitose e da inverni mitigati dalla presenza del mare; la temperatura media annua è, infatti, intorno ai 14.8°C e la piovosità, di circa 900 mm, è distribuita con due massimi (uno primaverile ed uno autunnale).

All'interno del Parco il pino domestico è presente sia in popolamenti monopiani, dell'età di circa 110-120 anni, dove esso occupa interamente il piano dominante; sia in formazioni biplane o disetaneiformi, dove il pino interessa prevalentemente il piano dominante, mentre quello secondario è caratterizzato dalla presenza del leccio (*Quercus ilex* L.) e/o frassino ossifillo (*Fraxinus angustifolia* VAHL) alternato a pioppo nero (*Populus nigra* L.), carpino nero (*Ostrya carpinifolia* SCOP.), ornello (*Fraxinus ornus* L.) e farnia (*Quercus robur* L.) (DREAM, 2003).

Dati di studio

I parametri dendrometrici relativi alle singole particelle del Parco sono stati ricavati dal piano di gestione forestale della pineta (DREAM, 2003). In particolare, per ogni particella a pino domestico, erano disponibili le seguenti informazioni: specie, età, altezza media e dominante, diametro medio, volume ed incremento.

Le immagini LiDAR sono state ottenute dagli archivi di Regione Toscana e realizzati in occasione del "PIANO STRAORDINARIO DI TELERILEVAMENTO AMBIENTALE" (PST-A). Questo ha previsto l'acquisizione di tutta la linea di costa italiana con un buffer di 800 m verso l'interno, di tutte le aste fluviali di I, II e III ordine con un buffer di 700 m. Le riprese su la Regione Toscana sono state eseguite nel mese di maggio del 2009, con pianificazione del volo realizzata in modo tale da ottenere una densità di punti al suolo di circa 0.8 – 1 punti al mq relativamente alla costa e 1,5 punti a mq sulle aree interne. I dati sono costituiti essenzialmente da punti a terra che oltre ad avere le coordinate della posizione riportano la quota a terra, l'intensità e il tipo di ritorno (*ground*, *no-ground*). Poiché lo strumento acquisisce la posizione di molteplici impulsi, l'insieme dei punti viene anche chiamata "nuvola di punti" che sulla base delle informazioni registrate ci consente di attribuire ad ogni elemento rilevato un significato fisico ben preciso. Nel nostro caso il *pre-processing* operato sui dati grezzi ci consente di avere il segnale classificato come 1 e 2; rispettivamente *ground* e *no-ground*.

Metodologia sviluppata

I dati LiDAR disponibili per l'area di studio sono costituiti da 29 file forniti in formato XYZ che contengono le informazioni relative alle coordinate dei punti (espresse in latitudine e longitudine riferite all'ellissoide WGS 84), altezza, intensità e tipo di ritorno. Ai fini del presente lavoro si è provveduto a realizzare dei programmi in linguaggio PYTHON che hanno permesso di: 1) analizzare i dati "grezzi" XYZ; 2) derivare una immagine digitale relativa al DSM ed una relativa al DTM; 3) analizzare ed elaborare il DSM al fine di ricavarne i dati di altezza e forma della chioma. La metodologia qui esposta è schematizzata in Figura 1.

A partire dai dati grezzi disponibili, che costituiscono le "nuvole di punti" (Figura 2) dei dati LiDAR, si è proceduto a generare immagini DSM (Figura 3) e DTM, aventi risoluzione a terra pari ad 1 metro in coordinate piane (UTM32 WGS84 EPSG:32632).

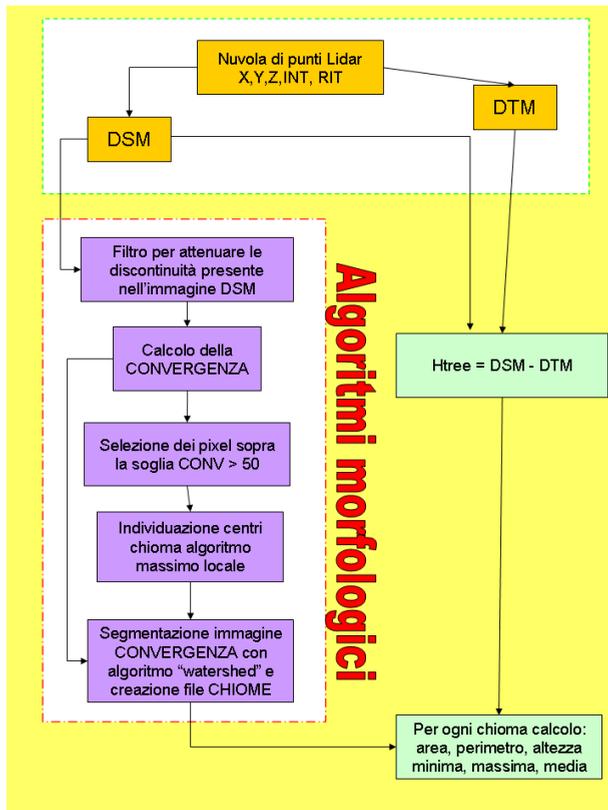


Figura 1. Schema della procedura adottata per l'elaborazione dei dati LiDAR originali.

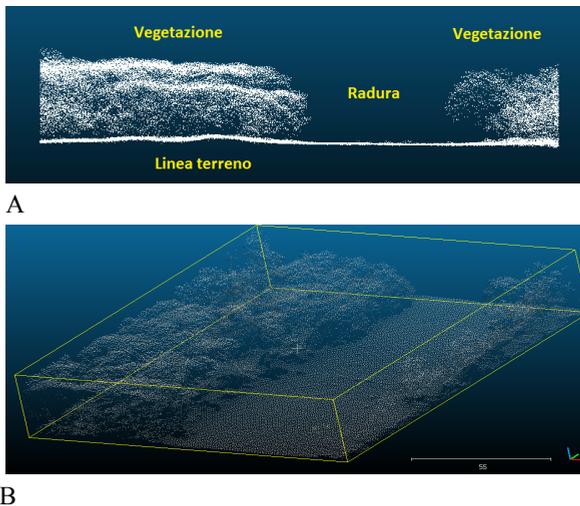
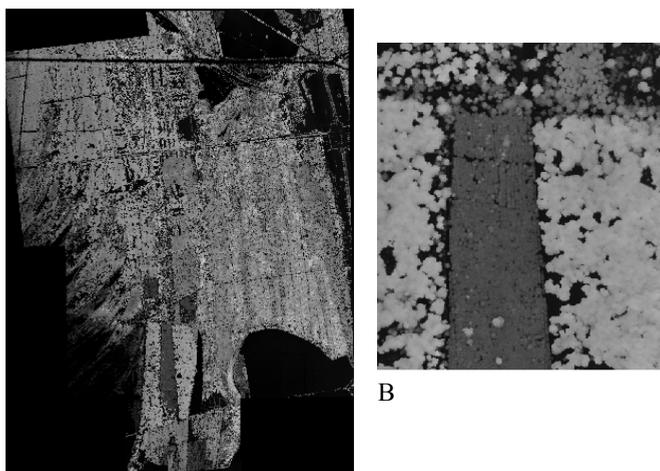


Figura 2. La "nuvola dei punti" nei dati grezzi: vista prospettica (a) e frontale (b).



A

B

Figura 3. Digital Surface Model (a) ed un suo particolare (b) nel quale sono evidenti le chiome dei singoli alberi.

Nello specifico, si è provveduto ad analizzare la lista dei file in formato ASCII; convertire le coordinate da LAT/LONG in coordinate piane UTM32; generare, per ogni file di partenza, due file in formato GEOTIFF; uno per ogni tipo di ritorno. Per ogni cella del *GRID* realizzato vengono calcolati: il numero dei punti grezzi che vi ricadono, il valore di altezza minimo, il valore di altezza massimo ed il valore medio.

Successivamente si è passati alla realizzazione del DSM che è servito come successivo input per la determinazione delle caratteristiche delle chiome dei soprassuoli presenti. Esso è stato generato a partire dalle immagini dei massimi dei due ritorni, le quali vengono elaborate e sulla base del confronto dei due pixel viene scelto quello con il valore maggiore. In questa fase è stata posta particolare attenzione sui pixel all'interno dei quali non ricadeva nessuna informazione (pixel con informazione "numero dei punti = 0"). Infatti, nonostante la densità media dichiarata nella meta informazione allegata sia di 0.8 punti/m², alcune aree sono risultate prive di informazioni ovvero non erano presenti punti grezzi. In questi casi, il valore dei pixel privi di "punti grezzi" è stato determinato effettuando un'interpolazione secondo il metodo dell'Inverso della Distanza (IDW).

Successivamente per evitare le discontinuità che si possono verificare all'interno delle aree boscate, i pixel che presentano una differenza rispetto al loro intorno superiore ad una certa soglia (che in questo caso è stata posta maggiore di 3 metri) viene sostituita con la media dei pixel dell'intorno.

Il DTM è stato realizzato a seguito dell'elaborazione dal file raster dei secondi ritorni, prendendo il valore minimo. Nello specifico, e ai fini del presente lavoro, il DTM è stato generato direttamente dall'output della prima procedura, utilizzando l'immagine relativa al minimo dei punti codificati come "2". In questo caso molti pixel risultano privi di informazioni e solo per questi è stato adottato un metodo di interpolazione "SPLINE" in modo da eliminare pixel senza informazione.

Per il calcolo dell'altezza delle singole chiome è stata effettuata la differenza tra DSM e DTM che restituisce per ogni pixel l'altezza rispetto al suolo. Al fine di migliorare la qualità del DSM e rendere più continue e omogenee le variazioni di altezza nell'ambito della stessa chioma senza modificare il valore di altezza massima della stessa, si è provveduto ad applicare all'immagine un filtro di FOURIER di tipo gaussiano. Assumendo che il profilo del campo delle altezze di una ipotetica linea che attraversa un dato DSM possa essere rappresentata in termini di un singolo coefficiente a moltiplicato per una funzione $\sin(x)$ e $\cos(x)$, è possibile circoscrivere le alte

frequenze spaziali (repentini cambiamenti dei valori di altezze in brevi tratti) che possono essere eliminate, e in parte filtrate, individuandole nel corrispondente dominio delle frequenze; quest'ultimo desunto applicando una trasformata diretta di FOURIER. Così facendo è stato possibile preservare i valori di altezza alle basse frequenze spaziali che altrimenti verrebbero "compromesse" adottando i classici filtri spaziali.

Nello specifico l'immagine del DSM è stata convertita dal dominio spaziale al dominio delle frequenze applicando una FFT (trasformata veloce diretta di FOURIER). Ciò ha permesso di eliminare le repentine oscillazione di altezza che si registrano entro tratti brevi, applicando un filtro di tipo gaussiano a tutte le frequenze che presentarono un valore inferiore a 1.5m. In seguito l'immagine è stata riportata nel dominio spaziale ottenendo il DSM filtrato.

Al fine di ricavare parametri per la caratterizzazione dei soprassuoli forestali si è provveduto ad estrarre dalla coppia DSM e DTM i punti relativi ai singoli alberi e la geometria (in formato shape file) delle singole chiome derivando, con strumenti GIS, la loro superficie, il perimetro, il valore dell'altezza massima, minima e media.

La determinazione dei singoli punti rappresentanti i singoli alberi è stata basata sull'assunto che la chioma di soprassuolo di pino domestico è cupoliforme e di tipo irregolare, conseguentemente la distinzione tra una chioma e l'altra viene determinata attraverso un approccio di tipo morfologico.

In pratica utilizzando il DSM si determinano le situazioni di flesso e di massimo utilizzando l'algoritmo chiamato "INDICE DI CONVERGENZA". Esso viene calcolato come media delle differenze tra il valore di esposizione delle celle adiacenti e l'esposizione della cella centrale. In pratica l'indice è informativo di quanto le celle di confine, rispetto alla cella centrale in esame hanno il valore di esposizione (direzione della massima pendenza) rivolto verso di essa. L'indice assume valori compresi tra -90 (zone di flesso) e + 90 (zone di culmine) (Figura 4).

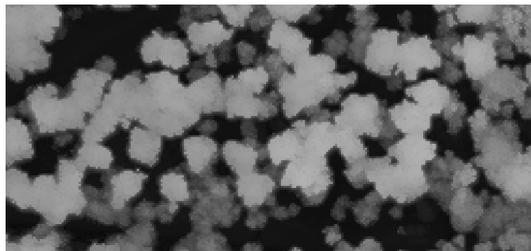


Figura 4. Particolare del DSM.

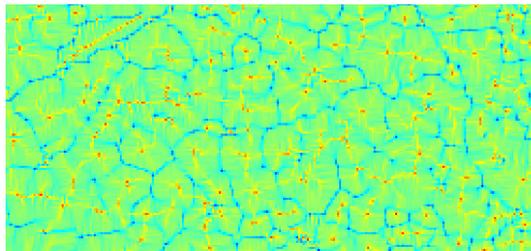


Figura 4b. Indice di Converggenza.

Le aree di colore rosso (vedi figura) mettono in evidenza le parti sommitali delle cupole mentre quelle in blu le aree di flesso e di inversione della convessità e di conseguenza le aree di stacco tra una chioma e l'altra. I singoli punti rappresentanti le singole chiome vengono determinate elaborando tutti i pixel dell'Indice di Convergenza che superano una determinata soglia (posto maggiore di 50) secondo l'algoritmo di "massimo locale". In pratica viene riconosciuto il punto se l'Indice di Convergenza supera 50 e se questo risulta un massimo locale..

L'immagine relativa all'Indice di Convergenza, è stata successivamente processata con un algoritmo, anch'esso sviluppato in linguaggio PYTHON, basato sulla segmentazione delle immagini attraverso la tecnica di morfologia matematica, presente nelle librerie SCI-LAB e SCIKIT. Nello specifico si è proceduto a segmentare l'immagine secondo l'algoritmo "WATERSHED" che a partire dai punti di massimo locale utilizza lo stesso Indice di Convergenza per classificare ogni cella con il codice di appartenenza ad una singola chioma.

Risultati

In Figura 5 viene riportato il profilo altimetrico calcolato su DSM e DTM in sovrapposizione al relativo Indice di Convergenza.

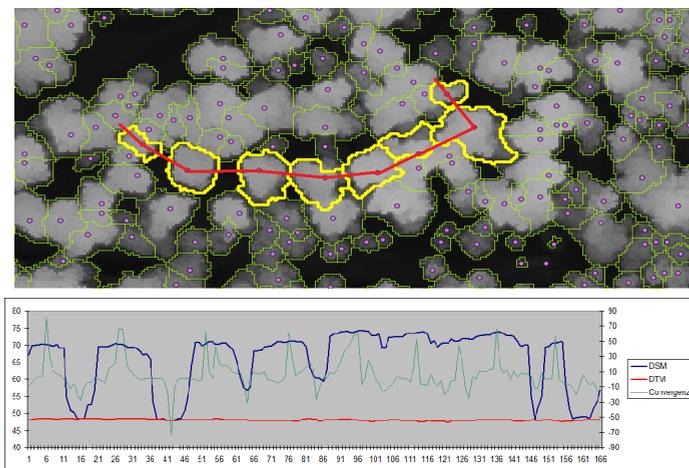


Figura 5. Esempio di sezione trasversale riferita alle elaborazioni dati LiDAR. In rosso la linea che rappresenta il terreno (DTM) in blu la linea che rappresenta le altezze massime del soprassuolo forestale e non (DSM) in verde l'andamento dell'Indice di Convergenza. Nel nostro caso la chioma viene selezionata quando l'indice supera il valore di 50.

Per una verifica della procedura utilizzata, sono stati confrontati i dati relativi al Piano Generale di Gestione Forestale, selezionando solamente i dati relativi ai popolamenti di pino domestico.

Dall'analisi dei risultati ottenuti si evince che esiste una buona correlazione tra il numero di piante rilevato in occasione della redazione del piano di gestione e il numero di piante stimato con il presente lavoro. In alcune particelle (n° 164, n° 145, n° 182, n° 186, n° 146, n° 162) la differenza è contenuta entro il 10%, e in un caso (Part. n° 164) il numero di piante è praticamente coincidente.

Di contro, in alcune particelle (n° 60, n° 159, n° 269) è stato osservato che un numero di piante stimato rispetto a quello rilevato differisce notevolmente, come nel caso della part. N° 60, dove si passa da un valore di 177 piante a 43. Ad una successiva analisi è risultato che, così come previsto anche dal piano di gestione, su queste particelle sono stati eseguiti degli interventi selvicolturali, consistenti in tagli di diradamento, tagli di rinnovazione e tagli culturali di carattere fitosanitario. A riprova di ciò, per alcune aree è stato effettuato anche un controllo visivo, confrontando le ortofoto

dell'anno 2010 con quelle degli anni passati (2007, 2003), che ha confermato una notevole differenza in termini di numero di piante.

L'analisi dei risultati della stima delle altezze ha presentato maggiori difficoltà in quanto nel piano di gestione sono state riportate solo le altezze, intese come altezze medie di diametro medio di particella, ricavate dalla curva ipsometrica generale costruita per il pino domestico. Dal confronto di queste altezze con quelle stimate si evince che le differenze, in termini percentuali, sono più marcate rispetto a quelle relative al numero di piante, anche se queste risultano essere sempre contenute entro il 20% (Figura 6).

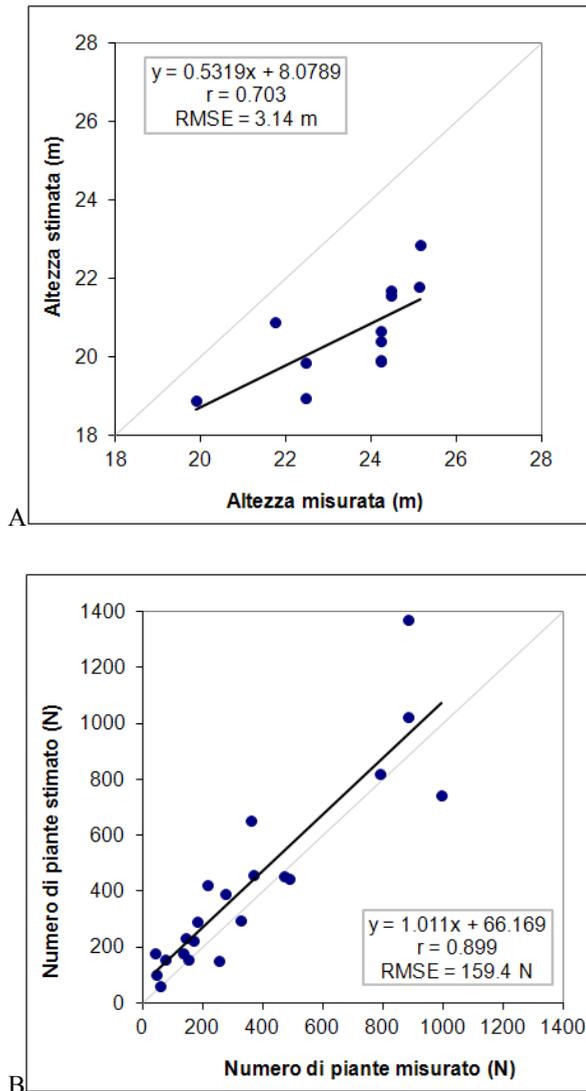


Figura 6. Altezza media (A) e numero di piante per particella (B) ricavate da dati LiDAR confrontate con quelle desunte dal piano di gestione della pineta ($N = 12$ per le altezze ed $N = 21$ per il numero di piante per particella).

Conclusioni

La metodologia sviluppata ha consentito di creare sia DTM che DSM della pineta oggetto di studio con elevato grado di dettaglio. A partire da questi, attraverso un'apposita procedura, è stato possibile stimare l'altezza delle piante di pino domestico presenti all'interno del Parco e identificare il numero di piante presenti all'interno di ciascuna particella. I risultati ottenuti sono stati validati con le informazioni desunte dal piano di assestamento forestale della pineta. Nonostante esso fosse riferito ad un periodo precedente rispetto alla data del volo LiDAR, l'accuratezza ottenuta è abbastanza soddisfacente. Si auspica che la metodologia qui adottata possa essere testata utilizzando dati Lidar che coprono aree più vaste per le quali siano disponibili dati biometrici altrettanto dettagliati.

Bibliografia

- DREAM ITALIA, 2003. *Piano Generale di Gestione Forestale della ex Tenuta Presidenziale di San Rossore*; manoscritto non pubblicato.
- KISS R., 2004 - "Determination of drainage network in digital elevation model, utilities and limitations", *Journal of Hungarian Geomathematics*, 2, 16-29.
- MASELLI, F., CHIESI, M., MONTAGHI A., PRANZINI E., 2011. "Use of ETM+ images to extend stem volume estimates obtained from LiDAR data". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, 662-671.
- PIROTTI F., GRIGOLATO S., LINGUA E., SITZIA T. AND TAROLLI P., 2012 - "Laser Scanner Applications in Forest and Environmental Science", *Italian Journal of Remote Sensing*, 44 (1), 109-123.