

DELINEAZIONE AUTOMATICA DELLE CHIOME IN DIVERSE TIPOLOGIE FORESTALI ATTRAVERSO ANALISI DI DATI LiDAR

Andrea BARILOTTI, Francesco SEPIC

Dipartimento di Georisorse e Territorio, Università degli Studi di Udine, via del Cotonificio 114 – 33100 UDINE
tel. +39 0432 558708, e-mail: andrea.barilotti@uniud.it; sepic@dimi.uniud.it; <http://geomatica.uniud.it>

Sommario

Il monitoraggio degli ecosistemi forestali rappresenta un argomento di grande attualità nell'ambito della gestione sostenibile delle risorse boschive. Una conoscenza dettagliata della struttura dei singoli individui arborei è necessaria per la caratterizzazione della vegetazione in termini di proprietà, stato evolutivo e contenuto in biomassa. La determinazione di tali parametri su vaste aree risulta critica dal momento che richiede operazioni di campagna rilevanti in termini di tempi/operatore e di costi. In questo contesto, la tecnica di scansione aerea con strumentazione laser (LiDAR) risulta particolarmente promettente perché consente di rilevare direttamente, attraverso il campionamento di un elevato numero di punti sulla superficie arborea, la struttura tridimensionale della vegetazione.

In questo lavoro viene proposto un metodo per la delineazione automatica delle chiome a partire da dati LiDAR a densità medio-bassa. L'area di studio è localizzata in alcuni settori montani della Regione Friuli Venezia Giulia costituiti prevalentemente da boschi di conifere (piceo-abieti) e boschi di latifoglie (faggete) in cui la densità di popolamento raggiunge valori significativi.

Il metodo, sviluppato in ambiente *Open Source*, prevede una prima individuazione automatica degli elementi apicali (singoli alberi) attraverso operazioni di analisi morfologica sui Modelli Digitali di Superficie LiDAR. E' poi applicato un algoritmo di segmentazione che, a partire dagli apici, suddivide i dati grezzi in sottoinsiemi di punti appartenenti alle singole chiome. Quest'ultime sono successivamente modellate utilizzando circonferenze centrate nel baricentro geometrico della distribuzione di punti. I risultati sono stati validati con i dati rilevati in situ mediante strumentazione topografica all'interno di alcuni transeetti campione. Il confronto evidenzia una buona correlazione tra valori calcolati e dati reali in particolar modo nelle aree a conifere.

Abstract

Monitoring of the forestry ecosystem is a current topic in the wooded resources sustainability debate. To characterize the vegetation from an ecological state and biomass content point of view, a detailed knowledge of the single tree population is needed. The assessment of such parameters is critical in terms of operational field survey and time-operator. In this context, aerial laser scanning (LiDAR) is a promising survey technique for forestry inventories because of its capacity to directly assess the three dimensional structure of the forest due to the high point number of sampling per surface.

A method to automatically detect the tree crowns shape is presented in this paper. The study site is located in mountainous parts of Friuli Venezia Giulia characterized by coniferous forests (piceo-abies) and mixed (coniferous and broad-leaved) forests with a high population density. The method, developed in an open source environment, is based on mathematical morphology operations that assess the cartographical position of the trees, as well as the height of the trees.

Starting from the single trees, a segmentation algorithm makes it possible to classify the laser point data as a subset of crown points. Afterwards, the crowns are delineated by circular polygons centred on the geometric laser point barycentre.

The results have been validated using total topographic station data surveyed in situ, within some forestry sample plots. The work shows a high correlation between plot data and laser scanning extracted data, particularly in the coniferous areas.

1. Introduzione

L'aspetto informatico riveste un ruolo di primaria importanza nel settore del rilievo laser: il trattamento dei dati e lo sviluppo di algoritmi innovativi per il filtraggio, la classificazione e la modellazione dei dati LiDAR in ambito forestale costituiscono argomenti di ricerca in continua evoluzione. Seguendo l'approccio presentato da alcuni autori (Hyypä et al., 2005) la determinazione su vaste aree di parametri quali la densità dei popolamenti forestali e la forma delle chiome può essere realizzata mediante integrazione tra dati LiDAR (Light Detection And Ranging) rasterizzati e immagini aree ad alta risoluzione. Altri autori pongono l'accento sui vantaggi di un'analisi diretta della nube di punti evitando interpolazioni su griglie di dati (Tiede et al., 2005).

Parte delle attività di ricerca svolte all'interno del progetto INTERREG IIIA Phare/CBC Italia-Slovenia "Ricomposizione della cartografia catastale e integrazione della cartografia tecnica regionale numerica per i Sistemi Informativi Territoriali degli enti locali mediante sperimentazione di nuove tecnologie di rilevamento" in corso di svolgimento presso l'Università di Udine in collaborazione con il Geodetski Inštitut Slovenije di Lubiana, hanno riguardato l'utilizzo di dati LiDAR in ambito forestale.

In questo contesto, particolare attenzione è stata volta allo sviluppo di metodologie informatiche e di algoritmi utili per l'estrazione automatica dei parametri che caratterizzano la struttura tridimensionale dei singoli alberi. Il substrato informatico sul quale sono stati condotti gli esperimenti è costituito da un software per la gestione dei dati LiDAR, sviluppato ad hoc in ambiente Linux (Beinat, Sepic, 2005), sulla base del quale è stato implementato un *tool* specifico di algoritmi che permettono:

- il posizionamento, conteggio e calcolo delle altezze dei singoli alberi;
- la delineazione delle chiome e stima delle rispettive profondità d'inserzione.

I dati estratti ed organizzati in un Sistema Informativo Geografico consentono la realizzazione di un database legato alla struttura tridimensionale delle superfici forestali.

2. Materiali

Le aree d'indagine ricadono in alcuni settori montani della Regione Friuli Venezia Giulia, caratterizzati rispettivamente da boschi di conifere e boschi misti con latifoglie. All'interno di tali aree è stata eseguita una campagna di misure in campo che ha permesso di ottenere dati dettagliati circa le caratteristiche biofisiche e strutturali dei rispettivi boschi (Tabella 1).

Transetti		Caratteristiche delle aree saggio								Caratteristiche dati LIDAR		
		Data rilievo	Altitudine (slm)	Pendenza (gradi)	Tipologia	Struttura	Area di saggio	Alberi presenti	Alberi/ettaro	Periodo acquisizione	Impulsi	Densità punti
1	VBA	ago-06	780	Sub-pianeggiante	Pecceta	Monopiano	raggio=12 m	50	1110	giu-06	Multipulse	5 pt/m2
2	MBA	ago-06	785	30 - 35	Piceo-faggeta	Monopiano	raggio=12 m	28	630	giu-06	Multipulse	6 pt/m2
3	MBB	ago-06	785	5	Piceo-abieto	Monopiano	raggio=12 m	69	1533	giu-06	Multipulse	7 pt/m2
4	MBC	set-06	700	5	Pecceta	Monopiano	raggio=25 m	26	577	giu-06	Multipulse	10 pt/m2
5	MBD	set-06	750	15	Piceo-abieto	Monopiano	raggio=12 m	91	470	giu-06	Multipulse	12 pt/m2
6	FOA	set-06	950	Sub-pianeggiante	Piceo-faggeta	Monopiano	raggio=12 m	30	670	nov-03	First & Last	2 pt/m2
7	FOB	set-06	950	Sub-pianeggiante	Piceo-faggeta	Monopiano	raggio=12 m	24	540	nov-03	First & Last	2 pt/m2
8	PRA	set-06	800	Sub-pianeggiante	Pecceta	Monopiano	raggio=12 m	38	840	nov-03	First & Last	1,5 pt/m2
9	PRB	set-06	800	Sub-pianeggiante	Pecceta	Monopiano	raggio=12 m	34	760	nov-03	First & Last	1,5 pt/m2

Tabella 1 – Riepilogo delle caratteristiche strutturali delle aree saggio e dei corrispondenti dati LiDAR utilizzati per le sperimentazioni

L'elevato grado di precisione ed affidabilità dei dati raccolti è garantito dall'utilizzo congiunto di strumentazione topografica e GPS con la quale sono stati georeferenziati 9 transetti circolari di raggio variabile tra i 12 ed i 25 metri. Per ognuno di essi è stata rilevata la posizione cartografica di tutti gli alberi con diametro superiore ai 5 cm nonché l'estensione delle chiome attraverso l'individuazione di quattro punti proiettati a terra per ogni albero. E' stato inoltre misurato il diametro dei fusti mediante cavallettamento totale. In Tabella 1 sono riportati in modo sintetico alcuni i dati riguardanti la tipologia e la struttura dei boschi in esame.

Nella stessa tabella sono mostrate inoltre le caratteristiche dei rilievi LiDAR utilizzati nel lavoro. I primi 5 subset (5 - 12 pts/m²) sono stati acquisiti con uno strumento in grado di registrare multiriflessioni sotto chioma. Gli ultimi 4 subset (a bassa densità, 1.5 - 2 pts/m²) derivano invece dalla registrazione del primo e dell'ultimo impulso riflesso.

3. Metodi

La procedura è costituita da una serie di elaborazioni e di trasformazioni sui dati laser grezzi che possono essere ricondotte schematicamente ai due seguenti aspetti metodologici:

1. Applicazione di algoritmi di morfologia matematica per l'individuazione degli apici delle chiome (descritti estesamente in Barilotti et al. 2005);
2. Individuazione dei punti laser appartenenti alle singole chiome mediante un algoritmo di *clustering* (raggruppamento).

3.1 Posizione degli alberi

Il metodo proposto per l'individuazione degli alberi si basa sull'analisi morfologica della distribuzione dei punti laser. A tal scopo è stato implementato l'algoritmo *Top Hat* la cui formulazione è relativa alla teoria dell'elaborazione di immagini esplicitata da Serra (1982). Si tratta di una funzione matematica d'elaborazione di immagini che, indipendentemente dalla natura dell'immagine stessa, permette di estrarre gli elementi di picco nella scala dei valori rappresentata (Andersen et al. 2001, Barilotti et al. 2005).

Estendendo il concetto di *Top Hat* direttamente ai dati vettoriali, l'approccio seguito consente di individuare gli elementi morfologici che costituiscono la sommità della chioma direttamente sulla nube di punti del DSM LiDAR (Digital Surface Model). L'applicazione di un successivo filtro gerarchico *rank* permette di identificare i massimi locali all'interno dei punti classificati come "top". Si ottiene così la posizione nello spazio (x,y,z) degli apici direttamente sul laser (classificazione). Si assume che le coordinate x,y di tali apici corrispondano alla posizione planimetrica dei singoli alberi.

Il filtraggio dei punti terreno e la successiva classificazione della vegetazione non è una procedura necessaria per l'applicazione degli algoritmi di analisi morfologica, ma si rende comunque indispensabile per il calcolo delle altezze degli alberi.

In fase di *pre-processing* dei dati è stato implementato un algoritmo che elimina dal dataset i punti (terreno e non) che derivano dalle riflessioni del segnale laser all'interno della chioma. L'algoritmo esegue una prima triangolazione di tutti i punti escludendo poi dal conteggio i vertici dei triangoli la cui differenza di quota è superiore ad un valore soglia (da definire in funzione dell'altezza minima del bosco). Ciò consente di determinare un Modello Digitale di Superficie corretto, perché privo di triangolazioni all'interno delle chiome.

In alcuni casi, per la presenza di piccole variazioni di quota tra punti contigui appartenenti ad una stessa chioma, può essere marcato più di un apice per ogni albero reale. Per minimizzare questo tipo d'errore è stato introdotto un algoritmo di controllo che identifica e corregge gli apici erroneamente classificati (spesso localizzati ai bordi della chioma). L'algoritmo analizza le quote di ogni apice rispetto alle quote dei punti laser vicini, utilizzando un opportuno raggio di ricerca. Se all'interno della finestra esplorativa c'è un punto a quota maggiore, questo assume il rango di apice. La procedura prosegue iterativamente fino alla convergenza e la conseguente individuazione dell'apice corretto più vicino.

L'altezza degli alberi è calcolata infine come differenza tra il valore z dei punti marcati e la quota del terreno corrispondente. In congruenza con le definizioni di bosco indicate dagli "Inventari Nazionali delle Foreste" è possibile escludere dal conteggio quegli alberi la cui altezza è inferiore ad una certa soglia (es: 2 metri).

3.2 Definizione delle chiome

Allo scopo di identificare le singole chiome è stato implementato un apposito algoritmo di *region growing* che, a partire dagli apici precedentemente identificati, raggruppa e classifica i punti vegetazione (*cluster analysis*) secondo criteri di appartenenza ai singoli alberi. Vengono di seguito illustrati i principi utili alla fase di segmentazione:

- Quando uno stesso punto è attribuito a più apici lo si associa a quello che si trova planimetricamente più vicino;
- Se i punti localizzati nelle vicinanze presentano una differenza di quota entro una soglia prefissata, questi sono marcati come appartenenti ad uno stesso *cluster*;
- Per ogni punto apice si applicata iterativamente la stessa procedura.

Le chiome sono delineate attraverso circonferenze i cui parametri (centro e raggio) derivano dall'analisi delle coordinate planimetriche dei punti appartenenti ai singoli *cluster* secondo l'equazione [1]:

$$r = [(x_{\text{Max}} - x_{\text{min}}) + (y_{\text{Max}} - y_{\text{min}})] / 4 \quad [1]$$

Si tratta quindi di un raggio medio, calcolato lungo le direzioni x e y della distribuzione. Si assume come centro della chioma il baricentro geometrico della distribuzione di punti (nella maggior parte dei casi il centro della circonferenza non corrisponde alle coordinate del rispettivo apice).

E' inoltre possibile fornire stime di profondità d'inserzione delle chiome ottenibili in termini di differenza tra quota massima e quota minima dei singoli raggruppamenti di punti.

4. Analisi dei risultati

I risultati sperimentali, prodotti seguendo lo schema metodologico mostrato sopra, sono stati integrati in un GIS allo scopo di realizzare una banca dati d'interesse forestale.

Il risultato finale delle elaborazioni consiste dunque in una coppia di shape file per ogni dataset in ingresso (es. VBA_trees, VBA_crowns), contenenti rispettivamente:

- Posizione cartografica stimata e altezze degli alberi presenti nel dataset (es. in Fig. 2a);
- Area delle chiome (es. in Fig. 2c) e stima delle rispettive profondità d'inserzione.

Il metodo è stato applicato in modalità automatica, indipendente dalla tipologia di bosco e dalle caratteristiche dei dati LiDAR a disposizione, utilizzando gli stessi parametri in input (è possibile in ogni caso definire ed ottimizzare tali parametri in funzione delle variabili citate).

La successione d'immagini in figura 2 mostra i risultati delle elaborazioni condotte. In figura 2a (transecto n°5) gli alberi estratti da dati LiDAR (cerchi in giallo) sono sovrapposti agli alberi rilevati in campo (triangoli in verde): si può osservare un'elevata corrispondenza tra i dati sia in termini di numerosità di alberi conteggiati che di precisione nel posizionamento cartografico.

In tabella 3 sono mostrati il numero di alberi estratti dai dati laser ed il numero di alberi rilevati in campo nelle 9 aree campione. In tabella sono considerati "dominati" quegli alberi il cui diametro del fusto è significativamente inferiore ai circostanti e, in ogni caso, quegli individui la cui chioma non raggiunge la parte esterna del bosco. Inoltre, sono considerati "falsi positivi" quegli apici che presentano una distanza superiore ad 1 metro rispetto agli alberi reali; questa tipologia di errore è generalmente contenuta in tutti i dataset e può essere ulteriormente ridotta applicando parametri più restrittivi negli algoritmi di analisi morfologica.

Le percentuali di alberi totali computati variano in modo significativo in dipendenza della struttura dei diversi boschi esaminati. Boschi in cui la densità di popolamento è molto elevata e vi è una forte rinnovazione per la presenza di individui di piccola taglia mettono in luce una certa difficoltà del-

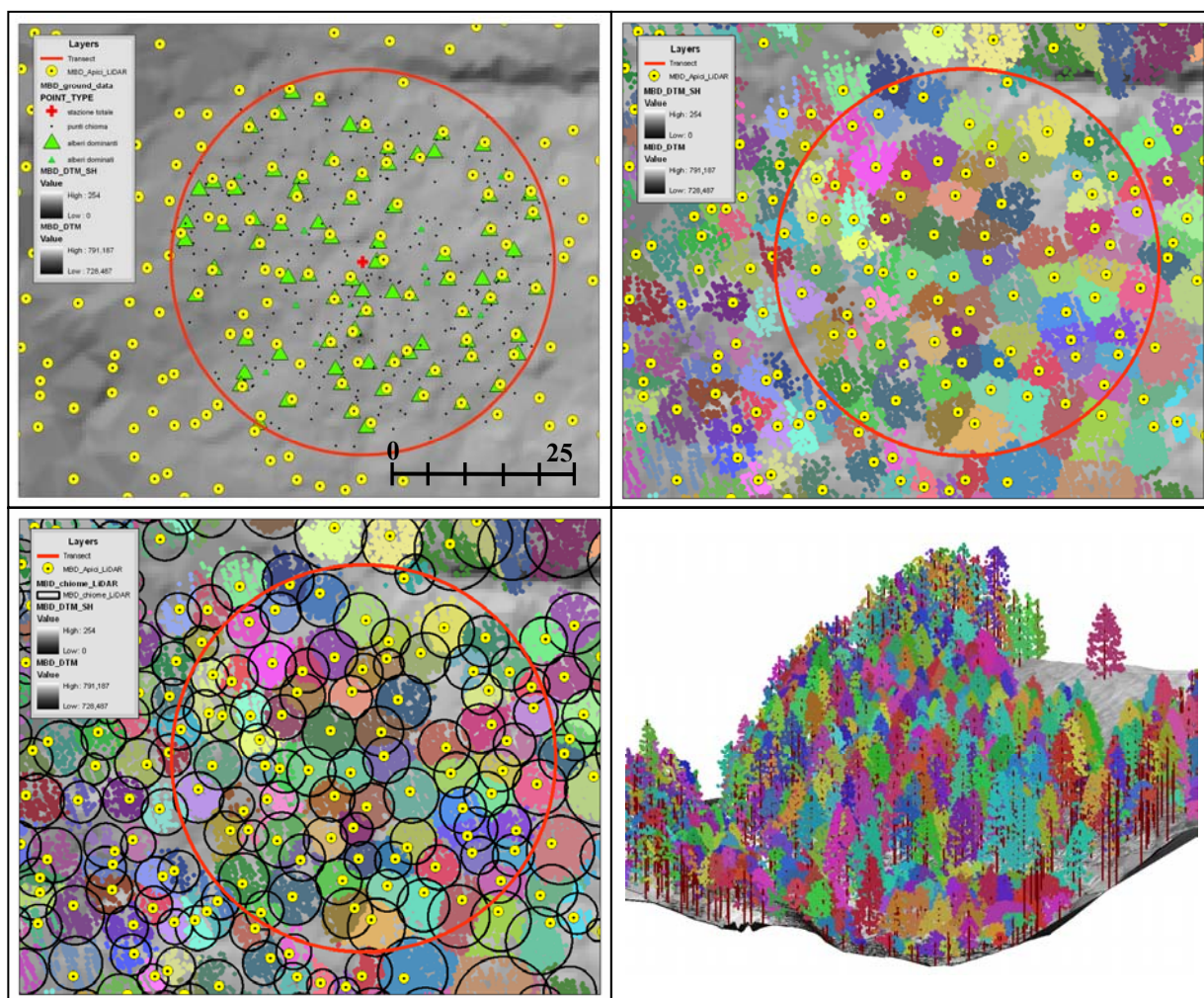


Figura 2 - Esempio di estrazione degli alberi e delineazione delle chiome da rilievo LiDAR:
a) sovrapposizione tra dati reali e dati estratti da LiDAR; b) clusterizzazione della nube di punti; c) delineazione delle chiome; d) visualizzazione del bosco in 3D.

l'approccio morfologico, ma più in generale della tecnologia laser, nel caratterizzarne il popolamento. Al contrario, le performance del metodo sembrano migliorare notevolmente qualora si considerino esclusivamente gli alberi dominanti (che rappresentano la parte più interessante della foresta da un punto di vista di “contenuto in biomassa epigea”). In questo caso, le percentuali raggiungono valori molto elevati nei boschi di conifere (80-90%) ed in ogni caso superiori al 60%. Il valore di altezza degli alberi è calcolato sulla base della quota massima degli apici. Per quanto riguarda questo parametro, quindi, il metodo non introduce sottostime rilevanti, possibili seguendo approcci basati sull'interpolazione dei dati su griglie raster (Barilotti et al. 2006).

Plots	Alberi misurati in campo		Alberi calcolati da LiDAR		Alberi rilevati (%)	
	Rilevati ($\phi > 5\text{cm}$)	Dominati	Estratti	Falsi positivi	Totale	Alberi dominanti
VBA	50	14	23	0	46	64
MBA	28	9	19	6	68	68
MBB	69	37	19	0	28	59
MBC	26	5	17	0	65	81
MBD	91	11	77	4	85	91
FOA	30	10	19	1	63	90
FOB	24	8	15	3	63	75
PRB	38	5	21	3	55	55
PRC	34	5	27	6	79	72

Tabella 3 – Confronto tra dati rilevati in campo e corrispondenti valori estratti da rilievi LiDAR

La qualità dei valori espressi in termini di area delle chiome dipende sostanzialmente dalla validità delle stime di posizione e numerosità del popolamento. Il confronto qualitativo tra i valori puntuali di chioma misurati in campo ed i cluster laser mostra una buona aderenza delle chiome dominanti rispetto ai valori riportati nei plot. L'affidabilità della stima, che in generale migliora all'aumentare della densità di punti laser (2 pts/m² è il limite inferiore di densità utile per l'approccio morfologico descritto), è in ogni caso influenzata dalla restituzione di alberi "falsi positivi" i quali determinano una sub-segmentazione delle chiome.

Per quanto riguarda la stima della profondità di inserzione, non sono stati ancora condotti esperimenti diretti di confronto con i valori reali; l'applicazione della metodologia a scansioni registrate in modalità "multiple pulse" sembra comunque essere uno sviluppo tecnologico promettente per la determinazione di quest'ultimo parametro.

4. Conclusioni

In questo lavoro è stata sperimentata una metodologia innovativa d'elaborazione di dati laser scanning per la determinazione automatica delle chiome in popolamenti forestali in aree montane.

L'algoritmo *Top Hat*, implementato in ambiente *Open Source* su un apposito strumento informatico da noi sviluppato, è stato utilizzato per determinare la posizione nello spazio degli elementi apicali arborei a partire dai quali, attraverso un algoritmo di clusterizzazione, sono stati isolate e classificate le singole chiome. I risultati delle elaborazioni, opportunamente integrati in ambiente GIS, hanno consentito di costruire un database d'interesse forestale recante informazioni dettagliate sulla struttura tridimensionale degli alberi.

Un'apposita campagna di rilievo in aree saggio ha evidenziato elevate prestazioni del metodo per quanto riguarda la restituzione degli individui dominanti (principale fonte di biomassa forestale epigea), sia nei boschi di conifere che nei boschi misti.

Bibliografia

Andersen H.E., Reutebuch S.E., Schreuder G.F. (2001), "Automated Individual Tree Measurement through Morphological Analysis of a LIDAR-based Canopy Surface Model", *Proceedings of the first International Precision Forestry Cooperative Symposium*, Seattle, Washington.

Barilotti A., Turco S., Ciampalini R. (2005), "Misura automatica di singoli alberi attraverso analisi morfologiche su dati laser scanning", *Atti dell'8° Conferenza Nazionale ASITA*, Catania, 14-18 Dicembre, 2005.

Barilotti A., Beinat A., Fico B., Sossai E. (2006), "Produzione e verifica di rilievi LiDAR aerei su aree montane ricoperte da foresta", *Atti del Convegno Nazionale SIFET "Le nuove frontiere della rappresentazione 3D"*, Castellana Grotte (TA), 14-16 Giugno, 2006.

Beinat A., Sepic F. (2005), "Un programma per l'elaborazione di dati Lidar in ambiente Linux", *50° Convegno Nazionale della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, Mondello (PA), 29-30 Giugno, 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, September 12-14.

Serra J., (1982), "Image analysis and mathematical morphology 2", *Theoretical advances*, Academic press, London.

Tiede D., Hochleitner G., Blaschke T. (2005), "A full GIS-based workflow for tree identification and tree crown delineation using laser scanning", *IAPRS, Vol XXXVI, Part 3/W24*, Vienna, 29-30 August, 2005.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Dott.ssa Elena Abramo per il supporto fornito nella campagna di misure topografico-forestali.