

MISURAZIONE AUTOMATICA DI SINGOLI ALBERI ATTRAVERSO ANALISI MORFOLOGICHE SU DATI LASER SCANNING

Andrea BARILOTTI (*), Sheera TURCO (**), Rossano CIAMPALINI (***)

(*) Dipartimento di Georisorse e Territorio, Università degli Studi di Udine, via del Cotonificio 114 – 33100 UDINE
tel. +39 0432 558708, fax +39 0432 558700, e-mail: andreabarilotti@libero.it

(**) Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali, Università degli Studi di Udine, via delle Scienze 208 – 33100
UDINE, tel. +39 0432 558653, fax +39 0432 558603, e-mail: turco@uniud.it

(***) Dipartimento di Scienza del Suolo e Nutrizione della Pianta, Università di Firenze, piazzale Cascine 15 – 50144
FIRENZE, tel. +39 055-3288398, e-mail: rossano.ciampalini@unifi.it

Sommario

La stesura di inventari forestali e di piani di assestamento richiede informazioni dettagliate sulle singole caratteristiche degli alberi (altezza, diametro, specie, volume e condizioni). In particolare l'altezza predominante e la densità dei fusti rappresentano due variabili critiche. Lo sviluppo di una nuova tecnologia di rilevamento come il laser scanner (LiDAR) può essere utile per la determinazione automatica di alcuni parametri forestali su vaste aree. Lo scopo di questo lavoro è sviluppare una metodologia per l'individuazione automatica dei singoli alberi da scansioni LiDAR. L'area di studio comprende alcuni settori montani del Friuli Venezia Giulia caratterizzati prevalentemente da boschi di conifere (peccete, piceo-abietti), boschi di latifoglie (faggete e aceri-frassineti) e boschi misti (piceo-faggeti). Il metodo proposto si basa sull'analisi morfologica dei modelli di superficie arborea effettuata in ambiente *Open GIS GRASS*. La cosiddetta trasformazione *Top Hat* permette di evidenziare gli apici delle chiome che, attraverso un successivo filtro gerarchico (*rank*), sono classificati in base alla loro altezza relativa. Una trasformazione binaria elimina il "rumore" costituito dai pixel di rango inferiore e permette di visualizzare una mappa dei singoli alberi che possono così essere conteggiati. I risultati sono stati validati con i dati rilevati in situ su alcuni boschi di conifere e latifoglie. La metodologia mette in evidenza una buona correlazione tra dati sintetici e dati reali in particolar modo nelle aree a conifere*.

Abstract

Forest inventory needs detailed informations on individual tree characteristics (height, diameter, species, volume and condition). In particular, predominant height and stem density are critical variables. The development of a new monitoring technology such as laser scanner (LiDAR) is very useful for the automatic determination of forestry parameters on large scale. The aim of this study is to develop and test methods for automated detection of individual tree from LiDAR data. The study sites are located in mountainous areas of Friuli Venezia Giulia. Coniferous forest dominates the study area in the north while deciduous mixed forest dominates the north-east area.

The methodology is based on morphological analysis of canopy surface models in Open source environment by GIS GRASS. The top-hat transformation isolate the apexes of individual tree crowns and then a rank filter is used to classify each point using its relative height. A binary transformation is carried out in order to remove noise and extract single trees (stem number). The results are validated by ground truth data in coniferous forest and deciduous mixed forest. The method shows good relationship between synthetic data and field data almost in coniferous forest.

* La ricerca rientra nell'ambito delle attività previste dal 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" svolto dall'Università di Udine in collaborazione con il Geodetski Inštitut Slovenije di Lubiana.

INTRODUZIONE

La redazione di un piano di assestamento forestale prevede operazioni di campagna rilevanti e dispendiose in termini di tempi/operatore (es. cavallettamento totale). Alcune proprietà dei singoli alberi sono particolarmente indicative delle caratteristiche e dello stato evolutivo del bosco. In particolare la densità del popolamento, la distribuzione relativa e l'altezza della vegetazione sono variabili ecologiche descrittive fondamentali.

La disponibilità di immagini digitali ad alta risoluzione ha determinato un crescente interesse nello sviluppo di algoritmi per l'identificazione di tali parametri in modo speditivo su vaste aree boscate.

Per quanto riguarda la stima del numero di alberi, uno dei metodi più utilizzati è quello sviluppato dal Canadian Forest Service (Gougeon, 1998) che si basa sull'analisi dei massimi locali di intensità a partire da immagini telerilevate.

La disponibilità di dati LiDAR (Light Detection and Ranging) offre nuove possibilità nelle indagini in campo forestale in quanto permette di misurare direttamente la struttura tridimensionale del bosco.

Attraverso un rilievo laser scanning gli elementi presenti sulla superficie terrestre sono restituiti sottoforma di "nube georeferenziata di punti". In particolare, il bosco ed i singoli alberi che lo costituiscono sono il risultato del campionamento discreto della chioma fogliare. L'elevata densità di punti per unità di superficie, definita in fase di commissione del rilievo, determina una copertura pressoché omogenea del territorio.

Negli ultimi anni sono stati valutati molti metodi per la caratterizzazione dei popolamenti forestali a partire da dati laser scanning (Morsdorf et al., 2003).

In questo lavoro, viene presentato un metodo per l'estrazione automatica del numero di alberi.

Una sequenza specifica di trasformazioni morfologiche sui Modelli Digitali di Superficie (DSM) LiDAR può essere usata per isolare i singoli alberi che compongono la superficie boscata. A tal scopo è stato implementato in ambiente *OpenSource GrassGIS* (Neteler e Mitašova, 2004) l'algoritmo *Top Hat* (Ciampalini, in press), una funzione matematica di elaborazione di immagini che permette di estrarre gli elementi di picco nella scala dei valori rappresentata. Originariamente quest'algoritmo è stato sviluppato per l'analisi di immagini binarie bidimensionali (Andersen, 2001); successivamente la teoria della matematica morfologica è stata estesa alle immagini in scala di grigi tridimensionali come ad esempio i Modelli Digitali del Terreno (DTM). In questo caso la trasformazione *Top Hat* permette di effettuare un'analisi della morfologia del paesaggio in modo da mettere in evidenza le strutture del rilievo (Schmidt and Hewitt, 2004).

Le aree d'indagine ricadono in due settori montani della regione Friuli Venezia Giulia caratterizzati rispettivamente da boschi di conifere (peccete e piceo-abbieti di Pramodio - Alpi Carniche) e boschi di latifoglie (faggete e aceri-frassineti, località Taipana – Prealpi Giulie).

I dati di partenza provengono dalle scansioni LiDAR effettuate nell'ambito del progetto INTERREG IIIA, in collaborazione con OGS di Trieste, dalla società Helica di Amaro (UD) mediante un sistema Optech ALTM 3033 installato su elicottero. Lo strumento misura le

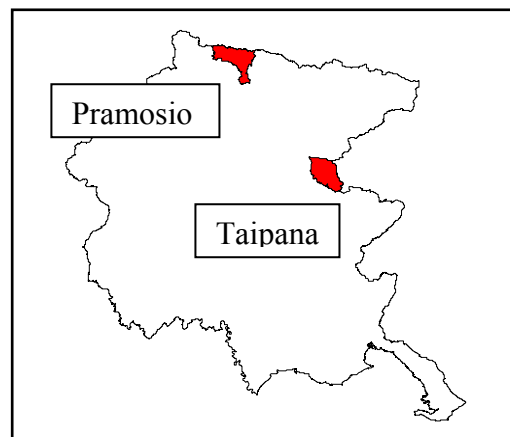


Figura 1 - Area di studio

METADATA	<i>Pramodio</i>	<i>Taipana</i>
<i>Data rilievo</i>	09/2003	07/2004
<i>Area acquisita</i>	21 Km ²	16 Km ²
<i>N° punti/m²</i>	~ 2	~ 4.3

Tabella 1 - Metadati dei rilievi LiDAR

coordinate x, y, z (in WGS84) e le relative intensità di riflessione di due echi di ritorno per ogni impulso emesso dal telemetro laser (first & last pulse). I metadati relativi al rilievo sono riportati in Tabella 1.

All'interno delle 2 aree sono stati georeferenziati 16 transetti con dimensione 20 x 20 metri e 2 transetti da 100 x 100 metri mediante strumentazione topografica e dGPS. Per ognuno di essi sono stati rilevati il numero e la posizione relativa dei singoli alberi.

ANALISI MORFOLOGICHE SU DSM LiDAR

L'applicazione del filtro *Top Hat* implica l'utilizzo di un Modello Digitale di Superficie di tipo raster, formato cioè da una matrice di pixel georeferiti per ciascuno dei quali la quota rappresenta un attributo associato. Dalla nube di punti delle scansioni LiDAR (raw data) è stato generato un Modello Digitale di Superficie in formato TIN (Triangulated Irregular Network) con il metodo di Delaunay. Il modello è stato convertito a formato raster (geotiff) con celle di 1m x 1m (esempio in Fig. 3a).

La formulazione matematica della *Top Hat* è relativa alla teoria dell'elaborazione di immagini esplicitata da Serra (1982, 1988) ed è considerata una funzione a soglia di adattamento, in quanto il risultato della trasformazione è un'immagine priva di livelli di *background* locale.

Si consideri $f(x)$ il valore di grigio del generico pixel x di un punto localizzato in u con $f(X)$ corrispondente al valore della trasformata dell'intera matrice X . Si definisce λ l'elemento strutturale geometrico ovvero la dimensione della matrice esplorativa centrata in x e si operano le trasformazioni *Erosion* [1] e *Dilatation* [2] (Rodriguez et al., 2002):

$$Erosion: E^\lambda f(X) = \inf \{f(u) : u \in \lambda_x\} \quad [1]$$

$$Dilation: D^\lambda f(X) = \sup \{f(u) : u \in \lambda_x\} \quad [2]$$

si definiscono quindi le funzioni *Opening* [3] e *Closing* [4]:

$$Opening: O^\lambda f(X) = D^\lambda (E^\lambda f(X)) \quad [3]$$

$$Closing: C^\lambda f(X) = E^\lambda (D^\lambda f(X)) \quad [4]$$

Le funzioni *Opening* e *Closing*, che sono alla base della trasformata *Top Hat*, sono comunemente utilizzate per identificare le zone rispettivamente chiare e scure, estremi nella scala di valori dell'immagine; l'estrazione viene effettuata in base alle dimensioni della componente λ utilizzata.

Si procede quindi alla separazione degli elementi *Top* [5] e *Bottom* [6], ovvero all'identificazione di sommità e valli per differenza dalla superficie originaria.

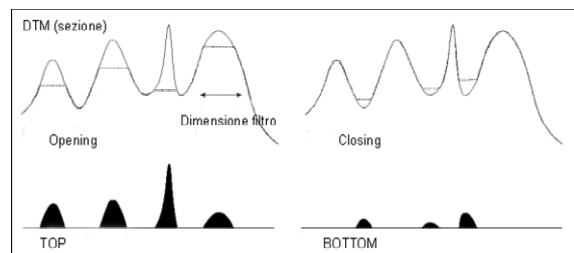


Figura 2 - Schema di applicazione dei filtri opening e closing con estrazione di top e bottom (da Schmidt e Hewitt, 2004)

$$TOP = \{x : f(x) - O^\lambda(X)\} \quad [5]$$

$$BOTTOM = \{x : f(x) - C^\lambda(X)\} \quad [6]$$

Soltanto gli elementi dell'immagine più marcati, con dimensioni maggiori dell'elemento strutturale λ , sono conservati.

Nella verifica sperimentale, la trasformazione *Top Hat* è stata utilizzata per l'estrazione delle figure di picco (Top) con una dimensione della matrice esplorativa (λ) di 3x3 in modo da ottimizzare l'individuazione dei massimi locali costituiti dagli elementi apicali arborei.

L'applicazione di un successivo filtro gerarchico *rank* permette di riclassificare il modello ottenuto attribuendo ai pixel un valore compreso tra 1 e 9, dove i picchi assumono valore 1 (pixel blu in Fig. 3c).

Infine una trasformazione binaria fornisce la posizione nel piano degli elementi apicali e ne permette il conteggio automatico (Fig. 3d).

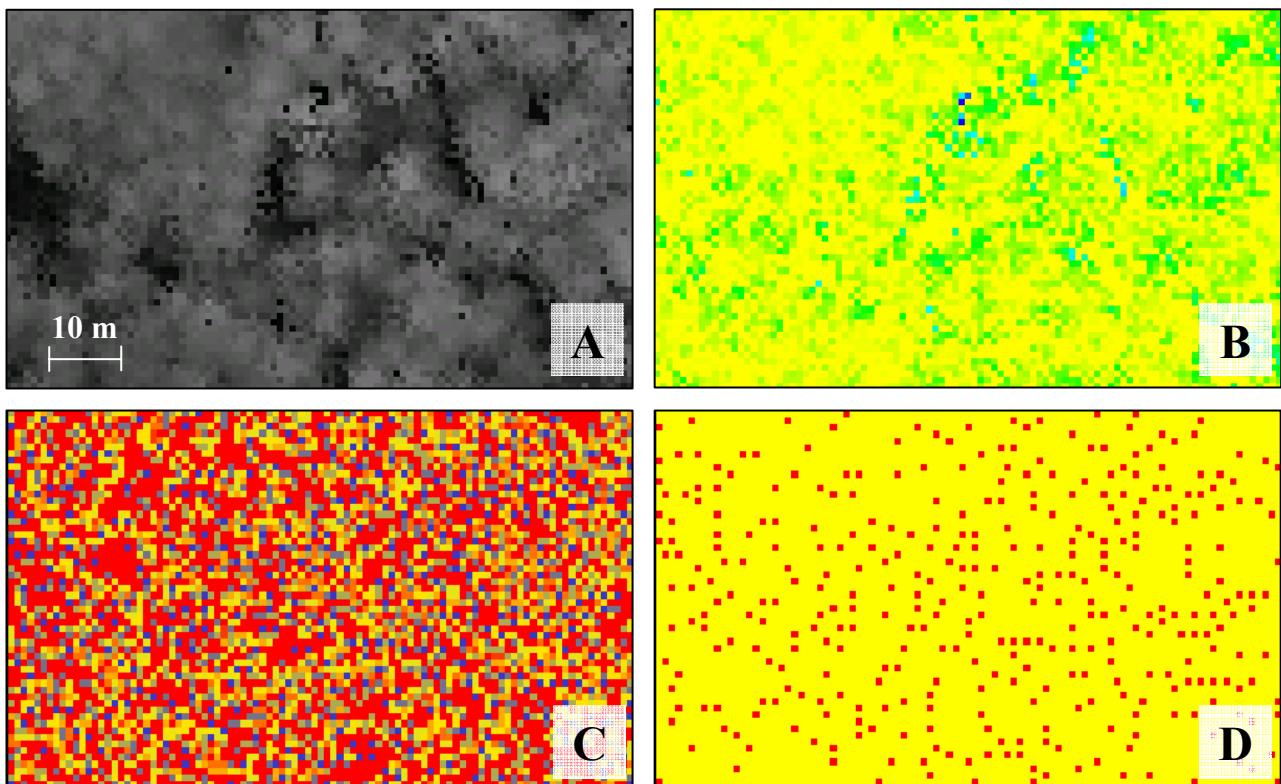


Figura 3 - Esempio di estrazione degli alberi dal rilievo LiDAR su un'area a conifere
a) DSM, b) trasformazione TopHat, c) filtro rank, d) trasformazione binaria.

ANALISI DEI RISULTATI

In Tabella 2 sono riportati i dati raccolti in campo nelle due aree studio sui singoli transetti ed i rispettivi valori stimati attraverso la procedura sopra descritta.

Tutti i transetti hanno dimensioni di 400 m² ad eccezione del n°11 e del n°15 (10.000 m²).

Per semplificare la lettura dei dati, il numero di alberi è stato riferito alla stessa unità di superficie (1 ettaro).

Il confronto sui transetti nell'area a conifere evidenzia i seguenti aspetti:

- l'errore è sempre inferiore al 20% tranne nel transetto n°10 e n°13, per i quali la densità di popolamento è particolarmente elevata;
- nel transetto n° 11 (1 ettaro) l'errore diventa minimo (< 1%);
- sommando il numero di alberi contati per ogni transetto (952) e confrontando questo valore con quello stimato (924), si registra una differenza di 28 alberi su un totale di 1,48 ettari campionati.

Il confronto sui transetti nell'area a latifoglie mostra invece una marcata sottostima del numero di alberi estratti mediante la procedura *Top Hat*.

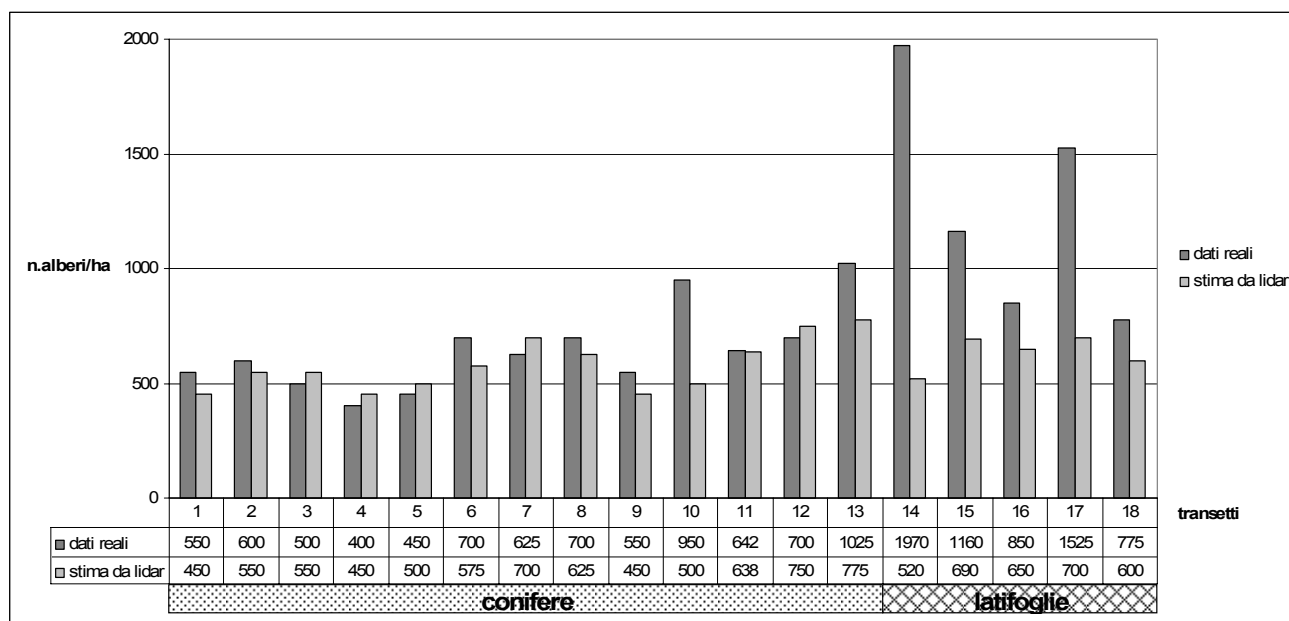


Tabella 2 - Confronto tra dati rilevati in campo e stime ottenute da dati LiDAR mediante l'algoritmo Top Hat

Considerata l'elevata corrispondenza tra dati reali e dati LiDAR nel caso delle conifere, è possibile utilizzare i punti che individuano la posizione dei singoli alberi come dato geometrico al quale associare ulteriori attributi caratterizzanti il bosco.

Ad esempio la Figura 4 rappresenta un modello tridimensionale della foresta di Pramosio realizzato a partire da dati laser scanning.

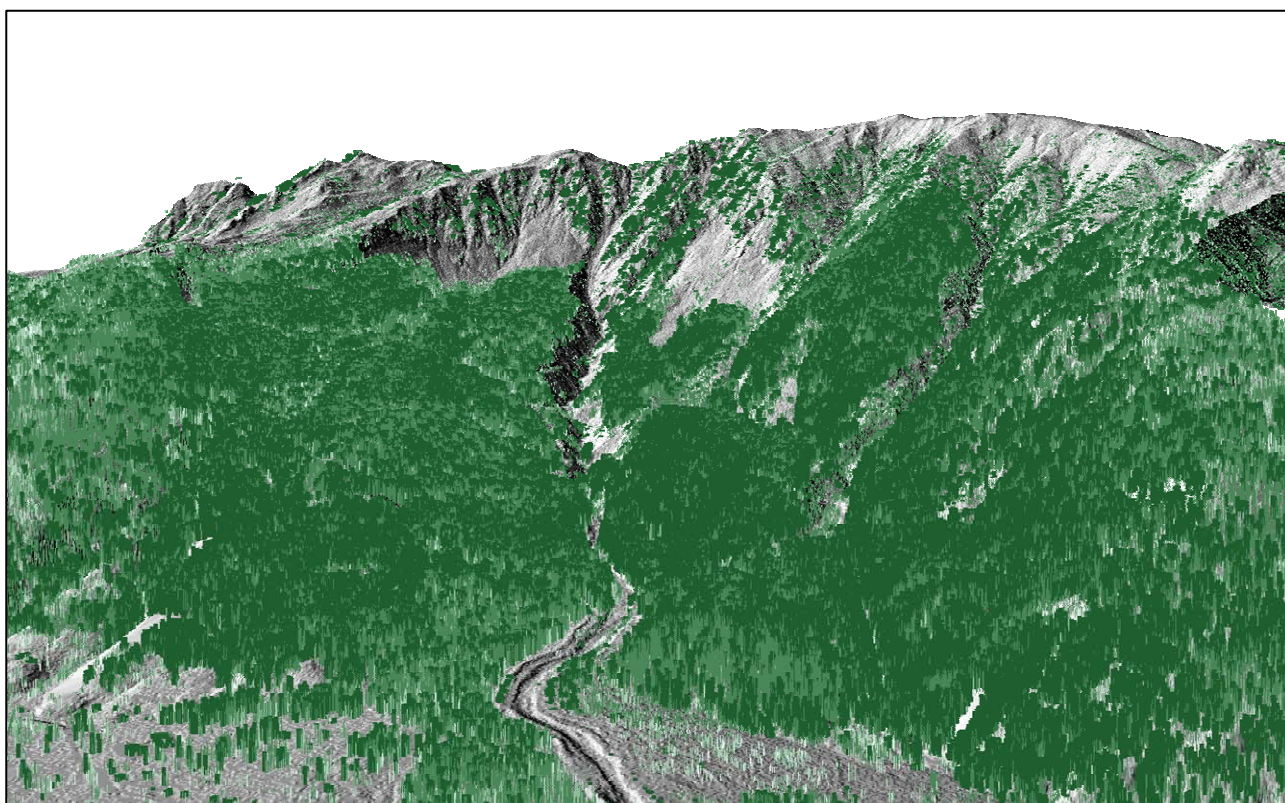


Figura 4 -Immagine 3D del bosco a conifere di Pramosio

Ad ogni punto (x,y) è stata attribuita la quota (z) sul DTM LiDAR e la corrispondente altezza dell'albero (differenza tra la quota del DSM e del DTM).

Si possono così ottenere automaticamente misure sui singoli alberi nonché utilizzare tali informazioni per derivare dei modelli tridimensionali (GIS-3D) descrittivi della foresta.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro aveva l'obiettivo di sperimentare una metodologia per l'estrazione automatica del numero di alberi a partire da rilievi laser scanning di densità medio-bassa.

L'algoritmo *Top Hat*, implementato in ambiente *OpenSource GrassGIS*, si è dimostrato un metodo efficace per l'estrazione di singoli alberi in aree a conifere.

Per questa tipologia di bosco si può infatti considerare un errore di circa 20 alberi per ettaro.

Nell'area a latifoglie il metodo non si è dimostrato altrettanto efficiente; la stima da LiDAR non mostra un sensibile adattamento ai dati reali.

Questo differente comportamento può essere spiegato analizzando la morfologia dei rispettivi modelli di superficie delle chiome: nel caso delle conifere si hanno dei picchi ben evidenti corrispondenti alle cime degli alberi, mentre nel caso delle latifoglie le chiome si intrecciano le une con le altre fino a formare una calotta unica in cui i singoli alberi sono difficilmente distinguibili.

La tecnologia LiDAR risulta essere quindi uno strumento utile per il monitoraggio della densità di popolamento e dell'altezza degli alberi su vaste aree a conifere nonché un metodo innovativo per l'aggiornamento dei piani di gestione forestale.

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.

Ciampalini R., (*in press*), "Applicazione della Top Hat function allo studio delle forme del paesaggio", *Geomatics Workbooks*, <http://geomatica.como.polimi.it>.

Morsdorf F., Meier E., Allgöwer B., Nüesch D., (2003), "Clustering in Airborne Laser Scanning Raw Data for Segmentation of Single Trees", *Proceedings of the ISPRS working group III/3 workshop 3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data*, Dresden, Germany.

Gougeon F.A., (1998), "Automatic individual tree crown delineation using a valley-following algorithm and a rulebase system", *Automated Interpretation of High Spatial Resolution Digital Imagery for Forestry*, pp. 11, Canadian Forest Service, Victoria, Canada.

Neteler M., Mitašova H., (2004), "Open Source GIS. A GRASS GIS Approach", *Kluwer Academic Publishers/Springer*, Boston, Dordrecht.

Rodriguez F., Courjauld E.M., Radè P., Darrozes J., (2002), "The Black Top Hat applied to a DEM : A tool to estimate recent incision in a mountainous watershed" (Estibère Watershed, Central Pyrenees), *Geophysical Research Letters*, Vol. 29(6).

Schmidt J., Hewitt A., (2004), "Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position", *Geoderma*. Vol.121, pp 3- 4, 243-256.

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

Serra J., (1988), "Image analysis and mathematical morphology", *Theoretical advances*, Academic press, London.