

## Utilizzo del telerilevamento per l'analisi della biodiversità strutturale: il caso studio della Riserva Forestale di Clöise (Asiago, VI)

Marco Sambugaro (\*), Cristiana Colpi (\*), Raffaella Marzano (\*\*), Marco Pellegrini (\*),  
Francesco Pirotti (\*), Emanuele Lingua (\*)

(\*). Dip. TESAF, Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)

(\*\*) Dip. DISAFA, Università degli Studi di Torino, Via L. da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO)

### Riassunto

La Riserva Forestale denominata "Bosco Testimone delle Clöise" è localizzata sull'Altopiano dei Sette Comuni (Asiago, VI) su un'estensione di circa 17 ha occupati da un abieteto esomesalpico montano lasciato a libera evoluzione da oltre 60 anni. Nel 2009 è stata insediata all'interno della riserva un'area di monitoraggio permanente di 1 ettaro per l'analisi della struttura e delle dinamiche forestali in assenza di significativo disturbo antropico. Nel Luglio 2012 tutta la riserva forestale è stata coperta da un volo LiDAR nell'ambito del Progetto Alpine Space NEWFOR.

Nel contributo vengono presentati i primi risultati dell'utilizzo della tecnologia LiDAR per l'analisi della biodiversità strutturale del popolamento forestale ottenuti comparando i dati rilevati in campo (posizione, altezza, specie, area di insidenza della chioma) con le medesime informazioni derivate dal CHM. I rilievi di campo hanno evidenziato un buon livello di biodiversità strutturale del soprassuolo, sebbene sia ancora evidente l'influenza dei passati trattamenti selvicolturali. La validazione con i dati di verità a terra dell'area permanente ha evidenziato una buona corrispondenza per quanto riguarda l'utilizzo del dato LiDAR per l'estrazione di informazioni sullo strato dominante, mentre problematiche sono state riscontrate per quanto riguarda l'analisi della vegetazione negli strati più bassi del soprassuolo.

### Abstract

The Forest Reserve called "Clöise" is located on the Asiago Plateau (VI). It has an extension of about 17 ha, occupied by a mixed forest with Spruce (*Picea abies*) Fir (*Abies alba*) and Beech (*Fagus sylvatica*) and without cutting activities since 60 years. In 2009 a permanent monitoring area of 1 hectare was established within the reserve with the aim of analyzing the structure and the forest dynamics without significant human disturbance. In July 2012 the entire forest reserve was covered by a LiDAR survey within the Alpine Space Project NEWFOR (NEW technologies for a better mountain forest timber mobilization).

In the present work the preliminary results of the use of LiDAR technology for the analysis of structural biodiversity of the forest are presented. The data obtained from field measurements (position, height, species, canopy projection) have been used to validate the same information extracted from the CHM. The field surveys show a good level of structural biodiversity even if the influence of past silvicultural treatments is still evident. The validation of the data extracted from LiDAR with the ground truth showed a good correspondence for what concerns the extraction of information regarding the dominant trees while problems have been encountered for the analysis of the undergrowth.

### Introduzione

La riserva forestale integrale del "Bosco Testimone delle Clöise" è costituita dalle particelle D116 e D117 del complesso assestamentale del Comune di Asiago (VI) per una superficie totale di circa 17

ettari. La foresta di Clöise è destinata a riserva forestale integrale dal 1996 in seguito all'approvazione del Piano Regolatore Generale del Comune di Asiago. Successivamente la riserva è stata inserita tra gli ambiti da tutelare come "Riserve Speciali Integrali" dal Piano di Assetto del Territorio adottato dall'Amministrazione nel 2011. Dal 2000 la riserva di Clöise è inoltre stata riconosciuta e inserita nella pianificazione forestale comunale. A riguardo, il Piano di Riassetto Forestale del Comune di Asiago (2000 - 2009) prevede che la superficie sia "assegnata a riserva forestale integrale, per cui non sono previsti interventi sul soprassuolo forestale". Tali prescrizioni rimangono sostanzialmente invariate nel nuovo Piano di Riassetto Forestale in fase di elaborazione. L'istituzione della riserva forestale integrale di Clöise è motivata dalla presenza in questa località di un abieteto misto disetaneo, che dopo diversi decenni di abbandono colturale ha sviluppato delle caratteristiche compositive e strutturali naturaliformi. L'interesse della riserva è quindi lasciare alla libera evoluzione naturale un lembo di foresta produttiva invecchiata, entro cui poter svolgere ricerca ecologica e attività di educazione ambientale. Dalla sua istituzione, la riserva di Clöise è stata oggetto di studi di carattere pedologico (Regnoli, 1996), micologico e fitosanitario (Sella, 2008) e strutturale (Sambugaro, 2008; Colpi et al., 2010; Sambugaro, 2010). L'area della riserva è inclusa all'interno del test site del Dipartimento TeSAF dell'Università di Padova nell'ambito del progetto Alpine Space – NEWFOR (Lingua et al., 2012). Nell'ambito di questo progetto è stato effettuato un volo LiDAR di dettaglio su una superficie forestale di circa 50 km<sup>2</sup>, includente la riserva integrale di Clöise. La presenza dell'area di monitoraggio permanente all'interno della riserva rappresenta un'ottima opportunità di ricerca per quanto riguarda il confronto tra i dati telerilevati e i dati misurati a terra. Inoltre, il rilievo LiDAR dell'intera superficie della riserva di Clöise consentirà nuovi sviluppi riguardanti l'analisi e il monitoraggio della struttura forestale.

### **Area di studio**

La località Clöise è situata a pochi chilometri dal centro di Asiago, su un ondulato versante nord-orientale che dalla cima di Monte Sprunch (1339 m s.l.m.) scende verso la località Turcio (1087 m s.l.m.). La morfologia del territorio è caratterizzata da un complesso sistema di dossi e impluvi con versanti che scendono, a tratti ripidi, lungo le varie esposizioni. Il substrato geologico prevalente nell'area della riserva è quello dei Calcari Grigi (Giurassico Inferiore), unità stratigrafica che affiora estesamente nell'Altopiano settentrionale e meridionale e poggia sulla Dolomia Principale (Triassico). La geomorfologia è caratterizzata dalla presenza diffusa di massi affioranti e, più limitatamente, da forme di carsismo superficiale definite comunemente campi solcati (*karren*). Gli eventi disastrosi della Grande Guerra sono tuttora testimoniati dalla presenza di trincee e gallerie sotto la copertura forestale. Studi pedologici condotti nella riserva di Clöise hanno rilevato la presenza di Umbri Eutric Cambisol sotto abieteto (Regnoli, 1996). Riguardo agli aspetti climatici, il territorio dell'Altopiano dei Sette Comuni rientra nella variante esomesalpica della regione forestale esalpica. La temperatura media annua per la stazione di Asiago è di 7,6 °C con media annua minima di 2,5 °C e massima di 10,6 °C. Il regime pluviometrico è suboceanico, con precipitazione media annua di 1504 mm di pioggia.

La riserva di Clöise è costituita da un bosco misto pluristratificato di abete bianco, abete rosso e faggio ascrivibile al tipo forestale dell'abieteto esomesalpico montano. Si stima che il popolamento forestale non sia interessato da utilizzazioni significative da oltre sessant'anni. Il settore centro-settentrionale della riserva è edificato da una fustaia mista disetanea con statura reale (Susmel, 1980) di 34 – 35 m, mentre lungo l'esposizione meridionale s'insedia una perticaia a tratti irregolare di abete bianco e abete rosso con faggio minoritario. Il passato governo a ceduo del faggio è tuttora riscontrabile nella riserva dalla presenza di vecchie ceppaie costituite da numerosi polloni di piccola e media dimensione. Il faggio è tuttavia presente anche con soggetti di origine gamica che, con altezze di 28 – 30 m, raggiungono lo strato dominante del soprassuolo. Nella riserva la rinnovazione naturale delle tre specie arboree principali si manifesta in piccoli aggregati diffusi sotto la copertura forestale. La presenza di altre latifoglie oltre il faggio (sorbo degli uccellatori, acero di monte) è

sporadica. In seguito all'interruzione delle utilizzazioni si osserva attualmente un certo accumulo di necromassa legnosa in forma di alberi morti in piedi (*snags*), fusti atterrati (*logs*), ceppaie (*stumps*) e in generale di *coarse woody debris* (CWD).

### Raccolta ed analisi dei dati

Nel 2008 all'interno della riserva di Clôise è stata realizzata una ricerca preliminare finalizzata ad analizzare la struttura del popolamento forestale e le interazioni spaziali esistenti tra alberi a livello intraspecifico e interspecifico (Sambugaro, 2008; Colpi et al., 2010). La raccolta dei dati strutturali è avvenuta all'interno di due aree di saggio quadrate di 2500 m<sup>2</sup> di superficie ciascuna originariamente realizzate nell'ambito di un programma di monitoraggio della biodiversità fungina (es. Sella, 2008). Gli interessanti risultati ottenuti da questa prima analisi strutturale hanno spinto il gruppo di ricerca ad approfondire l'indagine, realizzando nel 2009 un'area di monitoraggio permanente di un ettaro di superficie collocata all'interno della riserva (Sambugaro, 2010).

Il rilevamento dei dati all'interno dell'area di monitoraggio permanente ha riguardato gli alberi vivi (DBH  $\geq$  7,5 cm), gli alberi morti in piedi o snags (DBH  $\geq$  7,5 cm) e la rinnovazione arborea affermata (DBH  $<$  7,5 cm e altezza  $\geq$  50 cm). Per queste categorie sono stati rilevati i principali parametri dendrometrici riguardanti il fusto e la chioma ed è stato eseguito il rilevamento topografico delle posizioni dei singoli individui con lo scopo di realizzare una mappa del popolamento forestale ed eseguire l'analisi della struttura orizzontale. Gli alberi vivi e gli alberi morti in piedi sono stati inoltre identificati tramite targhette di plastica numerate per consentirne il riconoscimento negli inventari successivi.

L'analisi strutturale del popolamento forestale è stata articolata schematicamente nelle seguenti fasi:

- descrizione generale del popolamento forestale e calcolo dei principali parametri dendrometrici;
- analisi della stratificazione verticale tramite l'algoritmo proposto da Latham (Latham et al., 1998);
- analisi della struttura orizzontale e delle interazioni spaziali intraspecifiche e interspecifiche con tecniche di *Point Pattern Analysis* (PPA);
- analisi della diversità strutturale applicando l'indice THD, *Tree Height Diversity* (Kuuluvainen et al., 1996), l'indice TDD, *Tree Diameter Diversity* (Rouvinen, Kuuluvainen, 2005) e l'indice VE, *Vertical Evenness* (Neumann, Starlinger, 2001);
- analisi delle relazioni esistenti tra i principali parametri dendrometrici riguardanti il fusto e la chioma e delle variazioni di questi parametri tra gruppi diversi di alberi (tra strati di altezza, tra grandi gruppi diametrici, tra specie).

Nel Luglio 2012 tutta la riserva forestale è stata coperta da un volo LiDAR. Il sensore utilizzato per la raccolta del dato è stato un OPTECH ALTM 3100EA, la quota media di volo è stata 420 m e la densità media di punti risultante di 11 punti/m<sup>2</sup>.

La metodologia adottata per l'analisi del dato LiDAR ha seguito l'approccio comunemente usato nelle valutazioni di tipo *single-tree*, che utilizza come dato di base un modello digitale delle chiome (CHM) in formato raster, generato sottraendo al DSM (modello digitale delle superfici) il DTM (modello digitale del terreno), due modelli raster ottenuti direttamente dalla nuvola di punti.

La metodologia ha previsto dapprima una procedura di *smoothing* del CHM attraverso l'utilizzo di un filtro Kernel Gaussiano (Hyypä et al., 2001) in modo da regolarizzarne la superficie. Sul CHM filtrato è stato successivamente applicato un algoritmo di identificazione dei massimi locali (Koch et al., 2006) attraverso il quale sono stati estratti i punti corrispondenti agli apici degli alberi. Lo step successivo ha utilizzato un algoritmo di tipo *Watershed* per delineare le chiome utilizzando come *pour point* i singoli alberi precedentemente identificati.

Come risultato finale della procedura (implementata in un tool utilizzando l'interfaccia *Model-Builder* di ArcGIS) sono stati ricavati i seguenti strati informativi: uno *shapefile* rappresentativo della localizzazione di tutti i singoli alberi presenti nell'area delineabili dal CHM comprensivi degli attributi di altezza e uno *shapefile* rappresentativo dell'area di insidenza della chioma di ciascun albero.

## Risultati

Il popolamento forestale analizzato è una fustaia mista pluristratificata con statura reale di 34 m composta in prevalenza da abete bianco e abete rosso con faggio minoritario (Figura 1). In seguito a oltre sessant'anni di libera evoluzione naturale il popolamento di Clöise ha sviluppato una complessità strutturale che è paragonabile a quella delle foreste naturali europee tipologicamente affini. Le principali caratteristiche strutturali naturaliformi che sono emerse dall'analisi sono così sintetizzabili:

- distribuzione diametrica caratteristica dei popolamenti disetanei (Figura 2);
- struttura verticale pluristratificata con rinnovazione naturale distribuita per piccoli aggregati;
- struttura orizzontale eterogenea con presenza di significative interazioni spaziali intraspecifiche e interspecifiche;
- elevata diversità diametrica e, in particolare, ipsometrica (Figura 3), sebbene a livello specifico sia stata riscontrata una minore diversità strutturale del faggio rispetto alle due conifere;
- buona resistenza meccanica complessiva del soprassuolo, con particolare riguardo agli alberi dominanti che si distinguono per i bassi valori del rapporto di snellezza e per le chiome profonde, ampie e simmetriche (Figura 4);
- mortalità naturale casualmente distribuita nello spazio e concentrata negli strati inferiori del popolamento; la mortalità inizia gradualmente a interessare anche gli strati intermedi e lo strato dominante.

Specie	Densità (alberi vivi/ha)	Area basimetrica (m <sup>2</sup> /ha)	Diametro medio (cm)	Altezza media (m)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	Rinnovazione (alberi/ha)	Snags (alberi/ha)	Volume Snags (m <sup>3</sup> /ha)
<i>Abies alba</i>	311	24,8	32	17	301,4	257	29	1,4
<i>Picea abies</i>	247	14,9	28	17	160,6	70	69	3,1
<i>Fagus sylvatica</i>	221	5,6	18	14	57,7	92	2	0,1
Tutte	779	45,3	27	16	519,7	419	100	4,6

Figura 1. Principali caratteristiche compositive e strutturali nell'area permanente di Clöise.

L'analisi strutturale ha considerato inoltre l'influenza di fondo del passato disturbo antropico (utilizzazioni, danni riconducibili alla Grande Guerra) nei confronti delle dinamiche che hanno definito la struttura attuale del popolamento forestale. Un fattore certamente influente è la relativa brevità del periodo entro cui il popolamento si è potuto evolvere naturalmente. La foresta di Clöise, infatti, non ha ancora sviluppato alcune caratteristiche strutturali che sono tipiche dello stadio di sviluppo stramaturato o vetusto (*aging phase*): presenza di alberi di dimensioni eccezionali, elevata quantità di biomassa degli alberi vivi, elevata quantità di necromassa legnosa in piedi e a terra. A livello specifico, l'intervento passato dell'uomo ha influenzato in particolar modo la struttura della componente di faggio. La ceduzione è ritenuta, infatti, la principale causa dell'attuale minore diversità strutturale di questa latifolia rispetto alle due conifere, in particolare per quanto riguarda la distribuzione diametrica. S'ipotizza che il proseguire dell'evoluzione naturale possa determinare un graduale incremento della diversità strutturale del faggio, considerata anche la buona capacità competitiva di questa specie nel piano montano della regione forestale esalpica. Indicazioni in tal senso derivano anche da alcuni risultati dell'analisi spaziale che suggeriscono per il faggio un ruolo di specie-chiave nei processi di rinnovazione naturale in atto nella riserva.

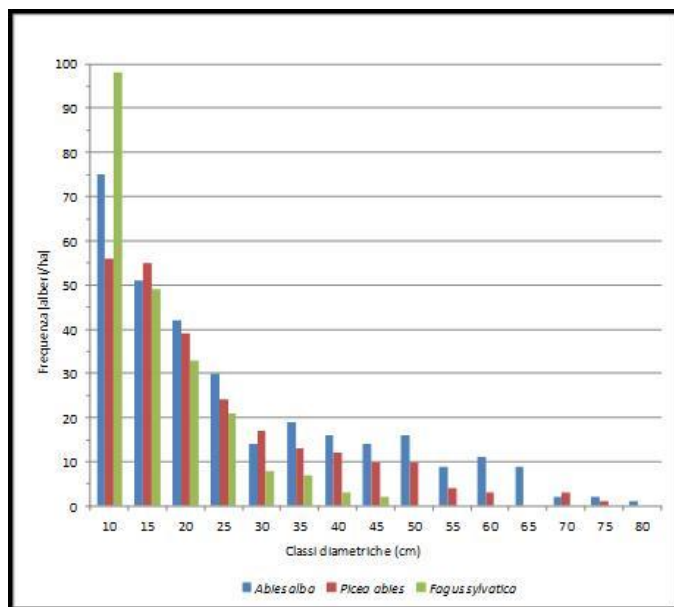


Figura 2. Distribuzione diametrica nell'area permanente di Clöise ( $DBH \geq 7,5$  cm, classi di ampiezza di 5 cm).

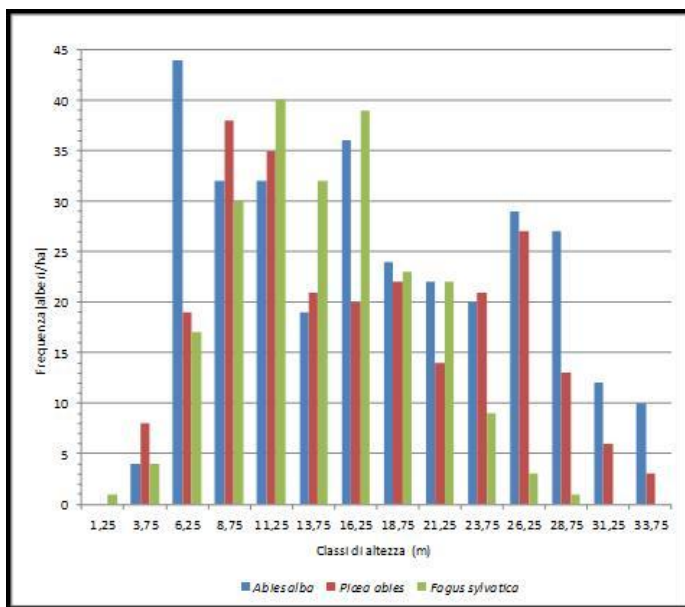


Figura 3. Struttura delle altezze nell'area permanente di Clöise ( $DBH \geq 7,5$  cm, classi di ampiezza di 2,5 m).

Specie	Densità (alberi/ha)	Diametro (cm)	Altezza (m)	Rapporto di snellezza	Altezza d'inserzione della chioma (m)	Profondità di chioma %	Area d'insidenza (m <sup>2</sup> )
<i>Abies alba</i>	96	49	27,9	60	9,8	64,4	50,2
<i>Picea abies</i>	66	43	26,8	65	9,8	63,2	39,5
<i>Fagus sylvatica</i>	11	34	24,7	77	6,5	73,8	71,3

Figura 4. Densità e valori medi dei principali parametri dendrometrici degli alberi dello strato dominante ( $H \geq 23$  m).

L'estrazione della posizione dei singoli alberi non ha prodotto dei risultati particolarmente soddisfacenti considerando tutti gli alberi del popolamento. Questo perché la struttura è multiplana (Figura 3) con diverse specie e chiome compenstrate, e le piante sono state rilevate a terra con una soglia abbastanza bassa ( $DBH \geq 7,5$  cm). Considerando invece il piano dominante, individuato secondo il metodo di Latham (Latham et al., 1998) nelle piante più alte di 23 m, l'estrazione dei parametri risulta migliore. Infatti l'altezza media delle piante risulta essere estratta con un errore relativo del 1,4% (Figura 5), con un valore che si discosta solo di 20 cm se si considera unicamente l'abete bianco.

	Abies alba		Picea abies		Fagus sylvatica		Tutte	
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.
Altezza totale media								
Field	28.0	3.0	26.6	3.0	24.0	2.1	27.1	3.1
LAS	28.2	2.8	27.1	2.9	24.5	1.2	27.5	2.9
Eass	0.3	\	0.5	\	0.5	\	0.4	\
Erel%	0.9	\	1.8	\	2.1	\	1.4	\

Figura 5. Errori assoluti e relativi nell'estrazione dell'altezza media delle piante del piano dominante ( $H \geq 23$  m).

	Abies alba		Picea abies		Fagus sylvatica		Tutte	
	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.	media	dev.st.
Area di chioma media								
Field	51.0	18.4	38.8	17.0	79.1	42.3	48.03	22.671
LAS	57.5	26.8	39.7	19.2	42.1	22.3	49.22	25.111
Eass	6.5	\	0.9	\	37.0	\	1.2	\
Erel%	12.7	\	2.4	\	46.8	\	2.5	\

Figura 6. Errori assoluti e relativi nell'estrazione dell'area di insidenza delle chiome del piano dominante ( $H \geq 23$  m).



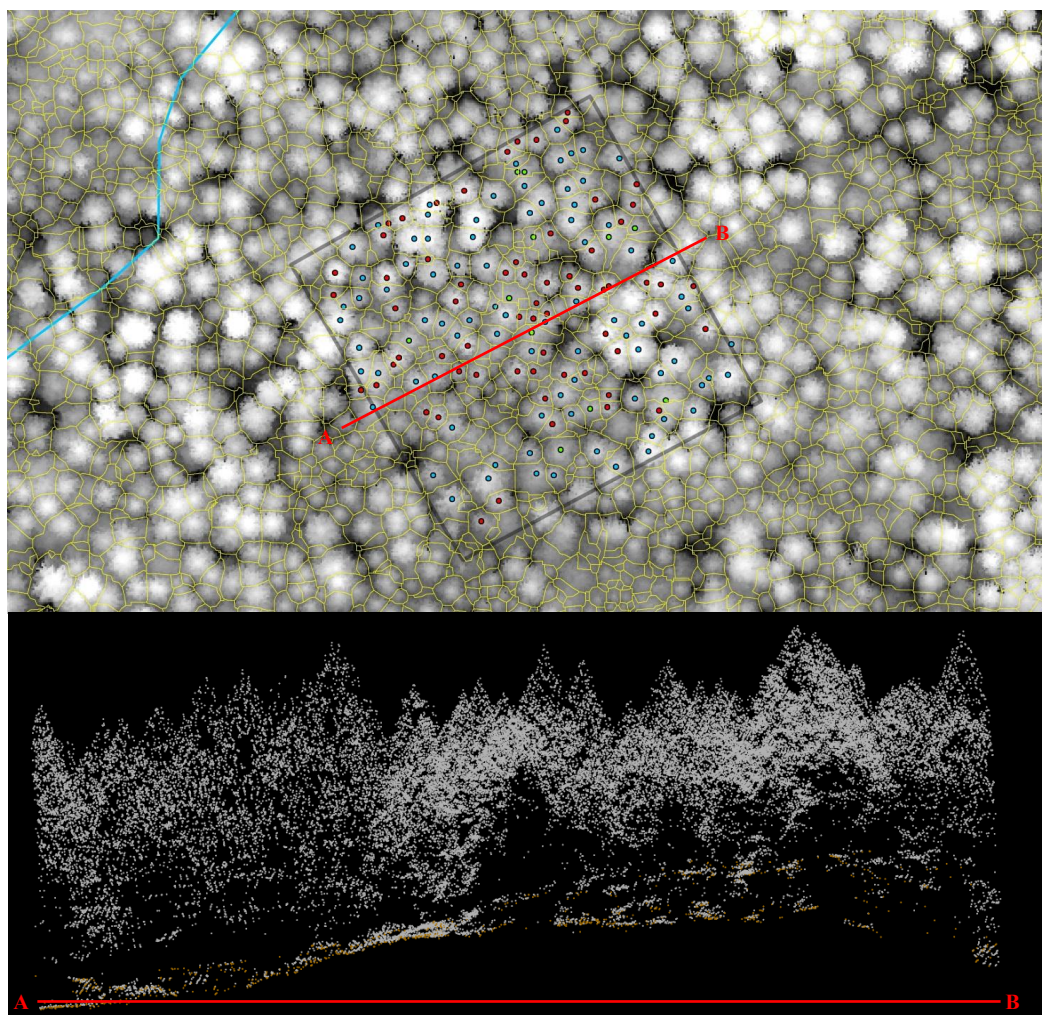


Figura 7. Estrazione dei singoli alberi e delle chiome del piano dominante all'interno dell'area di monitoraggio permanente (sopra) e visualizzazione del profilo A-B dalla nuvola di punti (sotto).

Anche l'area di insidenza della chioma viene delineata con buona approssimazione (figura 6) anche se si osserva una elevata differenza a livello di singole specie. In effetti la bontà dell'estrazione diminuisce col passare dall'abete rosso, caratterizzato da una chioma conica abbastanza regolare, all'abete bianco, per poi crollare considerando il faggio.

Con l'utilizzo del dato *full waveform* e le prossime analisi previste, si prevede di migliorare sensibilmente l'accuratezza dell'estrazione dei parametri anche per i piani intermedi e dominati.

### Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato finanziato e condotto nell'ambito del progetto NEWFOR (NEW technologies for a better mountain FOREst timber mobilization) all'interno del programma Spazio Alpino (2-3-2 FR).

## Bibliografia

- Colpi C, Sambugaro M, Lingua E. (2010), "The "Clöise" forest reserve (Veneto Region, North East Italy)", poster presentato alla *7th IUFRO International Conference on Uneven-aged Silviculture*, Ljubljana (Slovenia)
- Hyypä J, Kelle O, Lehtikoinen M, Inkinen M. (2001), "A segmentation-based method to retrieve stem volume estimates from 3-D tree height models produced by laser scanners", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39: 969-975
- Koch B, Heyder U, Weinacker H. (2006), "Detection of individual tree crowns in airborne LiDAR data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72: 357-363
- Kuuluvainen T, Leinonen K, Nygren M, Penttinen A. (1996), "Statistical opportunities for comparing stand structural heterogeneity in managed and primeval forests: an example from boreal spruce forest in southern Finland", *Silva Fennica*, 30: 315-328
- Latham PA, Zuuring HR, Coble DW. (1998), "A method for quantifying vertical forest structure", *Forest Ecology and Management*, 104: 157-170
- Lingua E, Grigolato S, Pirotti F. (2012), "NEWFOR. Un progetto europeo dove il LiDAR è protagonista", *Sherwood*, 181: 21-24
- Neumann M, Starlinger F. (2001), "The significance of different indices for stand structure and diversity in forests", *Forest Ecology and Management*, 145: 91-106
- Regnoli S. (1996), "Studio pedologico e valutazione dell'attività biologica della componente umica in tre suoli dell'Altopiano di Asiago", Tesi di laurea. Università degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria, Dipartimento di Biotecnologie Agrarie.
- Rouvinen S, Kuuluvainen T. (2005), "Tree diameter distributions in natural and managed old *Pinus sylvestris*-dominated forests", *Forest Ecology and Management*, 208: 45-61
- Sambugaro M. (2008), "Le particelle forestali D116 e D117 a Clöise (Asiago, VI): un caso di "riserva forestale" nel Veneto", Tesi di laurea. Università degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali.
- Sambugaro M. (2010), "Analisi della struttura di un abieteto misto nella Riserva Forestale di Clöise (Asiago, VI)", Tesi di laurea. Università degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali.
- Sella A. (2008), "Biodiversità ed effetti del disturbo antropico in popolazioni macrofungine dei boschi dell'Altopiano dei Sette Comuni (Vicenza)", Tesi di laurea. Università degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali.
- Susmel L. (1980), *Normalizzazione delle foreste alpine*, Liviana Editrice, Padova.