Il LiDAR nella stratificazione tematica dei soprassuoli forestali: applicazioni in Trentino

Antonio Floris (*), Fabrizio Clementel (*), Claudia Farruggia (*), Gianfranco Scrinzi (*).

(*) Consiglio per la Ricerca in Agricoltura, Unità per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF). Piazza Nicolini, 6, loc. Villazzano – 38100 TRENTO. Tel. 0461 381113, Fax 0461 381131, e-mail: antonio.floris@entecra.it

Riassunto

Il LiDAR da piattaforma aerea si sta rapidamente diffondendo come una delle nuove tecnologie di telerilevamento più interessanti per il monitoraggio delle foreste, sia nella stima di variabili dendrometriche quantitative che nella classificazione tematica dei boschi.

In questo contributo vengono illustrate, con casi di studio riferiti a soprassuoli forestali del Trentino, alcune tecniche di elaborazione automatica basate sull'ideazione e l'impiego di indici derivati dall'altezza delle chiome arboree in grado di apportare informazione significativa ai fini della classificazione tematica di popolamenti forestali. Viene quindi evidenziato il contributo che il dato LiDAR, opportunamente elaborato, può fornire soprattutto se affiancato alla foto-interpretazione tradizionale di immagini. Gli esiti di tali procedure si sostanziano nella produzione di layer GIS che possono essere impiegati per classificare i compartimenti forestali (sotto il profilo di parametri quali la densità e la struttura) nell'ambito delle attività di pianificazione e gestione.

I risultati di questa sperimentazione si connotano per l'immediato contenuto operativo, e confermano l'utilità del LiDAR per il monitoraggio delle risorse forestali anche a fronte di costi che appaiono competitivi rispetto a quelli dei metodi tradizionali attuati mediante sopralluoghi al suolo più o meno supportati dalla fotointerpretazione di immagini.

Abstract: Classifying forest structure by means of LiDAR data. Applications in Trentino (Italy).

Airborne Laser Scanning (LiDAR) is rapidly becoming one of the most interesting remote sensing techniques to collect information about forests, both in estimating volume and other quantitative variables, and in classifying forest stands for their structure and typology.

In this paper the contribution of LiDAR data to forest photo-interpretation, together with some processing techniques to calculate indexes of vertical and horizontal structure of forest stands, are reported. The outcome of these procedures are GIS layers which can be used to classify forest compartments for planning and management purposes.

Although still experimental, results of such activities have a strong operative content and confirm LiDAR usefulness for monitoring forest resources at competitive costs with respect to traditional methods which require expensive field surveys.

1 Introduzione

Negli ultimi anni l'utilizzo di dati LiDAR si sta significativamente diffondendo per ricavare informazioni sull'articolazione verticale dei soprassuoli forestali. Dettagli sulla tecnologia LiDAR possono essere reperiti nei contributi di numerosi Autori nel volume curato da Crosilla e Galetto (2003), mentre per approfondimenti sul suo impiego in ambito forestale si rimanda, nell'ambito della vasta letteratura nazionale e internazionale disponibile sull'argomento, a Renslow et al., 2000; Dubayah e Drake, 2001; Barilotti et al., 2005; Gobakken e Naesset, 2005; Packalén e Maltamo, 2006; Abramo et al., 2007; Corona e Fattorini, 2008.

La ricerca recente si è orientata soprattutto su metodi e tecniche per stimare con dati LiDAR alcune variabili quantitative di notevole interesse (numero di alberi, volume legnoso, biomassa ecc…), con approcci sia di tipo *single tree based* (stima di parametri di singoli alberi, Andersen et al., 2001; Barilotti et al., 2005) che *area based* (stima dei parametri su collettivi di alberi, Corona et al., 2008; Corona e Fattorini, 2008). Meno esplorate sembrano invece essere le potenzialità del LiDAR nella descrizione tematica dei boschi anche finalizzata alla stratificazione ai fini dell'impiego di tecniche di campionamento al suolo come metodo inventariale e cioè alla suddivisione della proprietà boschiva in unità spaziali omogenee per alcuni caratteri, aspetti sui quali si sono concentrati gli obiettivi di questo studio.

2 Materiali e metodi

Il Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento, con la consulenza scientifica del CRA-MPF di Trento, ha da tempo avviato una profonda revisione di metodi della pianificazione forestale aziendale per superare alcuni limiti informativi e connessi ai costi di realizzazione dell'impianto metodologico finora in uso. (Wolyinski et al., 2008). L'attività sperimentale connessa a questo processo di revisione investe sia aspetti metodologici che tecnologici (Scrinzi et al., 2008). Nell'ambito di questi ultimi, notevole importanza viene data al contributo che tematismi elaborati a partire da dati LiDAR possono fornire alla stratificazione tipologico-strutturale dei soprassuoli boscati, durante la redazione dei piani di assestamento. La ripartizione di una proprietà assestata in unità spaziali omogenee (sotto il profilo del contenuto forestale) ne facilita la gestione selvicolturale e ottimizza la stima delle variabili quantitative permettendo di ricorrere alla pratica statistica del campionamento stratificato.
Dal 2007 in Trentino è stato possibile fruire, per scopi di monitoraggio forestale, di dati LiDAR inizialmente rilevati per altre finalità, in particolare per la produzione di un DTM ad alta risoluzione e accuratezza. Le attività sperimentali di seguito descritte sono state concentrate nella Foresta demaniale provinciale di Cadino (Val di Fiemme) che nel 2008 e 2009 è stata sottoposta a revisione del piano economico forestale come primo terreno di sperimentazione dei metodi di realizzazione dei piani di assestamento con le metodologie di cui si è fatto cenno in precedenza. La presa LiDAR è avvenuta con un volo effettuato nella stagione invernale 2006-2007 le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1 – Metadati della presa LIDAR nell'area studio di Cadino

Sensore	Optech ALTM 3033
Velivolo	Aeromobile con sistema di posizionamento APPLANIX 510
Altezza di volo	3000 m
Frequenza impulsi	33 KHz
Densità punti	0,48 p/m^2 (distanza media tra punti 1,45 m)
Precisione altimetrica	20-30 cm (variabile tra zone di fondovalle e altre), a 1 σ
Numero echi	2 (*first* e *last*)
Epoca di volo	Novembre 2006

Dai dati LiDAR nativi sono stati prodotti il DSM, il DTM e calcolato il Modello Digitale delle Chiome (*Crown Height Model* o CHM), tutti a risoluzione spaziale 1 m. Il volo è stato fatto in periodo invernale in quanto lo strato arboreo era considerato come un'interferenza nell'acquisizione del DTM. Per questa sperimentazione sono stati messi a disposizione dal Servizio Foreste e Fauna della P.A.T. i tematismi di base già elaborati (DTM, DSM, CHM), mentre non si è potuto disporre dei dati laser nativi in formato *.las*.
Sebbene il periodo invernale non sia certo ottimale per osservare il pieno sviluppo delle chiome arboree, la forte prevalenza di formazioni di conifere (che mantengono praticamente la chioma in

periodo invernale) nel territorio considerato rende questi dati LiDAR ben utilizzabili per le specifiche finalità della sperimentazione.

2.1 Il LIDAR come ausilio alla fotointerpretazione

L'impiego più immediato e diretto del CHM (quale dato non ulteriormente elaborato fornito dai dati nativi LiDAR) è di notevole ausilio alla fotointerpretazione soggettiva sintetica, pratica tuttora piuttosto diffusa in campo forestale perché la variabilità degli ambienti boschivi, anche su estensioni relativamente piccole, nonché la loro tendenza a formare *pattern* di una certa complessità rendono problematica la classificazione automatica su immagini. Il CHM (discretizzato in un ragionevole numero di classi rappresentate da altrettanti colori o toni di grigio), fornendo al fotointerprete l'immediata percezione dell'altezza delle chiome arboree (e della distribuzione locale di tale dato), è di grande aiuto per individuare popolamenti boschivi a diverso stadio di sviluppo (classe cronologica, densità e struttura).

Attraverso la sovrapposizione a video del CHM (eventualmente in semi-trasparenza) sulla ortofoto digitale, combinata all'operazione di *blinking* (accensione e spegnimento in rapida successione del layer derivato da LiDAR), il fotointerprete riesce ad attuare valutazioni di sintesi (notevolmente potenziate dal dato quantitativo di altezza delle chiome fornito dal CHM) su classe cronologica, densità e struttura dei popolamenti, delimitandoli quindi in poligoni omogenei, con eventuale assegnazione di etichette provvisorie di "strato". L'informazione sulla composizione specifica deriva naturalmente dall'interpretazione cromatica e di tessitura dall'ortofoto, supportata dalla conoscenza diretta del territorio ed eventualmente da *layer* GIS ancillari dedicati.

Un grande vantaggio pratico del LiDAR è l'indifferenza alle zone in ombra, problema che spesso affligge le immagini rilevate da sensori ottici, riducendo notevolmente le situazioni di interpretazione incerta o impossibile (Figura 2).

Si consideri anche che un altro prodotto seminativo dei dati LiDAR quale il DTM, richiamato all'occorrenza in visibilità dell'operatore, evidenzia in maniera molto evidente e precisa gli oggetti territoriali extraforestali (viabilità, fabbricati, altra infrastrutturazione, ecc.) fornendo esso stesso, anche isolatamente, notevoli elementi di contestualizzazione nella digitalizzazione delle aree boschive omogenee.

Nel caso della revisione del piano di assestamento della Foresta di Cadino, tale impiego immediato del CHM e del DTM ha significativamente potenziato le indicazioni derivanti dall'ortofotocarta ai fini della "stratificazione" tematica della foresta, fornendo un supporto di oggettivazione quantitativa determinante (altezza dei soggetti arborei e sua variabilità locale). Per la Foresta di Cadino e per le operazioni di revisione del rispettivo Piano di assestamento la stratificazione tematica è stata eseguita mediante l'approccio descritto in questo paragrafo dal momento che quello descritto più avanti era ancora in corso di ideazione ed elaborazione. Tuttavia il prodotto tematico risultante è stato poi coinvolto e in certa misura "verificato" proprio mediante l'approccio descritto in seguito.

2.2 Elaborazioni di dati LIDAR per la classificazione tematica automatica dei soprassuoli forestali

Un livello superiore di impiego dei dati LiDAR e del CHM in particolare, ha riguardato, nel caso della Foresta di Cadino, l'elaborazione automatica e la produzione di *layer* monotematici su alcuni parametri dei soprassuoli destinati a supportare direttamente indirettamente l'assestatore nella stratificazione dei soprassuoli in aree omogenee. Tali *layer* GIS sono stati elaborati con operatori focali di Map Algebra (matrici "di esplorazione" o "a scorrimento") utilizzando funzioni normalmente presenti in quasi tutti gli applicativi GIS più recenti.

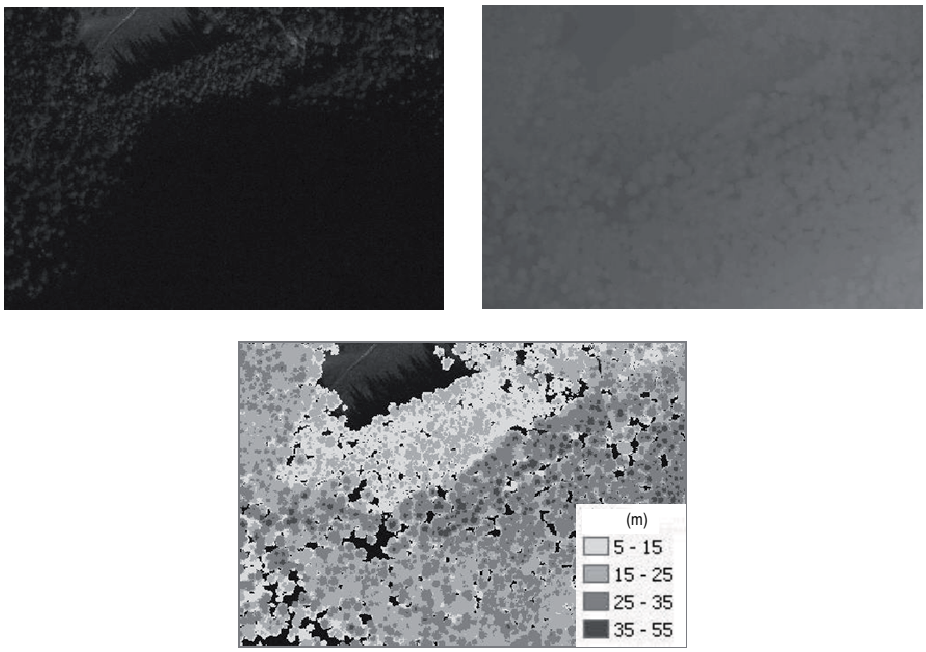

Figura 2 – Particolare dell'ortofoto digitale (in alto a sinistra), del DSM (in alto a destra) e del CHM (in basso) in cui sono apprezzabili le differenze fra bosco giovane (grigio chiaro) e adulto (più scuro) anche nelle zone in ombra.

Il CHM, che originariamente presentava una risoluzione spaziale di 1 m e conteneva valori significativi a partire da altezze dello strato vegetale di 2 m, è stato inizialmente "degradato" a una risoluzione di 3 m attribuendo al pixel di 3x3 il valore *mediano* tra i nove della matrice originaria. Tale pre-elaborazione è stata eseguita per ridurre il "rumore" mantenendo al contempo un valore di altezza realmente presente (aspetto non salvaguardato dalla media). Successivamente tutti i pixel 3x3 m aventi valore di altezza inferiore a 6 metri sono stati posti a zero ("assenza di copertura significativa") allo scopo di escludere dalle successive elaborazioni le componenti erbacea e arbustiva nonché la rinnovazione arborea non ancora affermata. Questa soglia potrebbe peraltro essere adattata di volta in volta alla realtà forestale locale del contesto di analisi. Per quanto riguarda la matrice di esplorazione, è stata scelta per tutte le elaborazioni la stessa dimensione di 5x5 pixel (ciascuno di 3x3m), corrispondente a 15x15 m di intorno analizzato.
Sulla base di tale layer di elaborazione finale del CHM con risoluzione 3x3 (che quindi va ritenuto un prodotto di rielaborazione per passi successivi del CHM iniziale) sono stati prodotti successivamente i seguenti layer monotematici derivati.
Layer *Copertura delle chiome*: è stata elaborata assegnando al pixel centrale il rapporto normalizzato (0-1 oppure 0-100) tra la somma di pixel con copertura significativa e il numero totale di pixel della matrice di esplorazione. Il dato numerico normalizzato è stato successivamente trasformato in classi di copertura per una migliore leggibilità (Figura 3), adottando la classificazione solitamente utilizzata nei piani di assestamento in Trentino:

- non bosco fino al 20% di copertura significativa;
- copertura scarsa 20-50 %;
- copertura media 50-80 %;
- copertura elevata oltre 80 %.

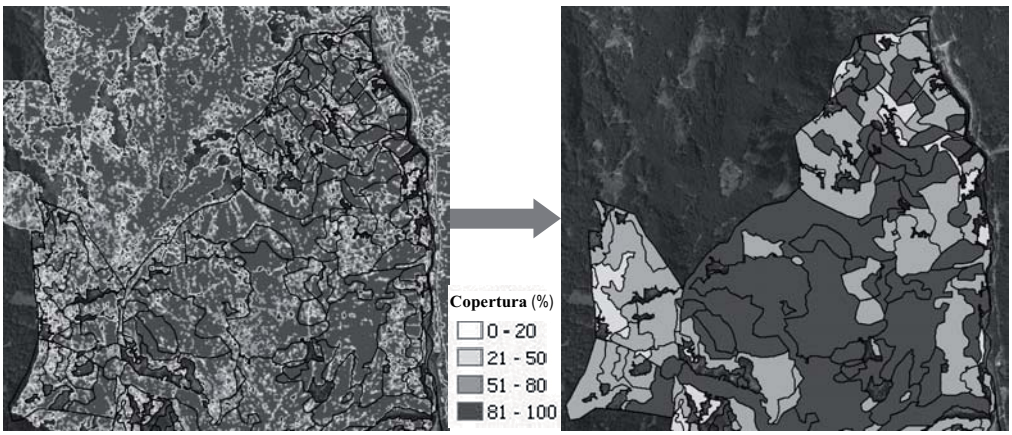

Figura 3 – Indice di copertura delle chiome in formato raster (a sinistra) e Carta vettoriale delle chiome (a destra), con valore medio di copertura calcolato da dati LiDAR per ciascuno dei poligoni omogenei costituenti le unità descrittive.

Layer *Vuoti (zone prive di copertura boschiva)*: a tutti i pixel aventi valore di altezza superiore a 5 metri è stato assegnato valore 1, producendo un *layer* binario (0 = pixel/"non albero", 1 = pixel/"albero"). Poiché evidentemente un albero isolato non costituisce un bosco, né una piccola discontinuità della copertura arborea può ritenersi area non boscata, per l'individuazione dei "vuoti" finale è stata ulteriormente introdotta una regola di contiguità spaziale su una superficie minima: in pratica è stato classificato "bosco" (valore 1) qualsiasi pixel che, nell'ambito della zona di esplorazione della matrice, fosse circondato da almeno il 20% di pixel/albero. Tutti gli altri pixel sono stati classificati "non bosco" (valore 0).
Il layer raster così prodotto è stato successivamente convertito in formato vettoriale, generando poligoni "bosco" e "vuoto" di diverse dimensioni. Sono poi stati "filtrati" i poligoni "vuoto" di dimensioni inferiori a 2000 m^2, considerati come possibili azzeramenti locali di copertura compatibili con la presenza di bosco (eventualmente rado) piuttosto che veri e propri "vuoti", aggregando tali elementi ai poligoni omogenei di bosco (derivanti dalla stratificazione operativa dall'assestatore attuata con l'approccio di cui al paragrafo 2.1) adiacenti (Figura 4).

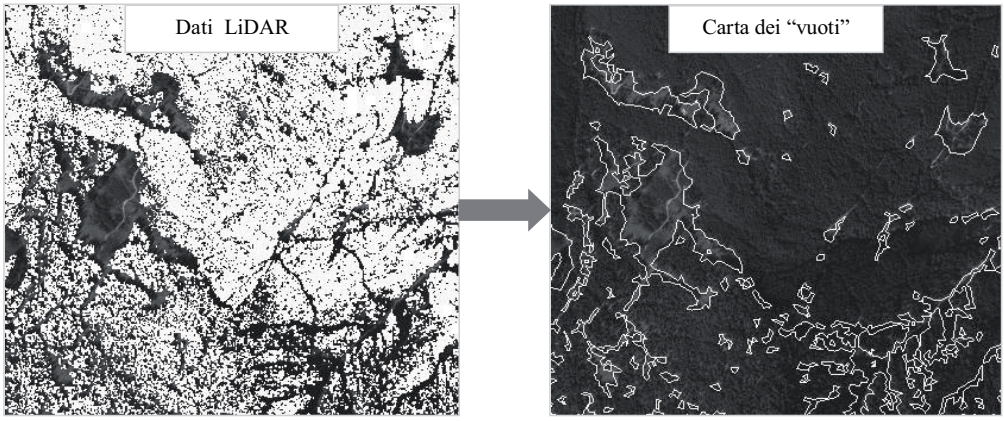

Figura 4 – Dal layer LiDAR dei pixel "bosco" (raster binario, a sinistra) è stata elaborata la carta dei Vuoti (vettoriale, a destra).

Layer *Altezza media (dei popolamenti boscati)*: sul CHM trasformato finale con risoluzione 3x3 m è stato intanto effettuato uno *smoothing*, assegnando a ciascun pixel il valore medio della rispettiva matrice di esplorazione di 3x3 pixel (15x15 m). Successivamente si è operata sul layer risultante una riclassificazione dei pixel avendo l'accortezza di adottare classi di altezza che interpretassero gli stadi di sviluppo (noti anche come "tipi strutturali") dell'area forestale considerata (Figura 5). Per il piano della Foresta Demaniale di Cadino, a forte prevalenza di abete rosso con presenza di abete bianco e larice, è risultata congruente la seguente classificazione:

- Hmedia 6-12 m spessine;
- Hmedia 12-20 m perticaie;
- Hmedia 20-30 m fustaie adulte;
- Hmedia oltre 30 m fustaie mature e stramature.

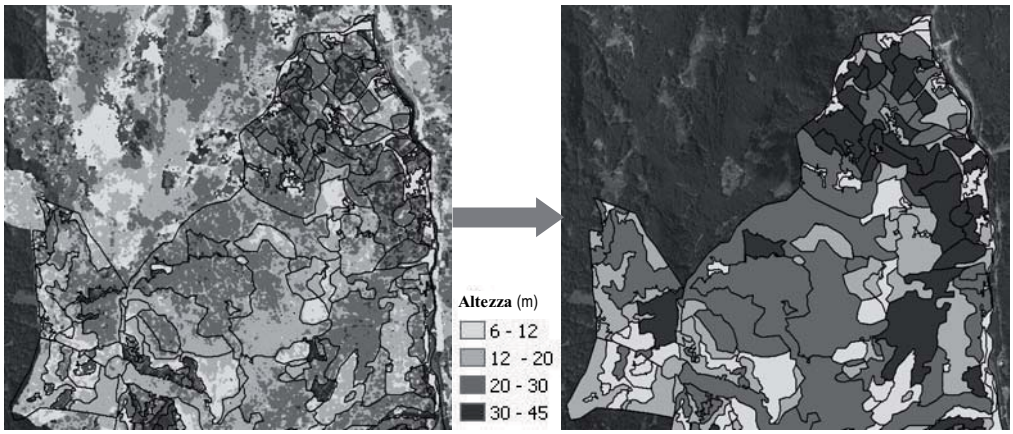

Figura 5 – Carta dell'Altezza Media dei soprassuoli: a sinistra in formato raster, a destra in formato vettoriale con valori mediati all'interno di ciascuna unità descrittiva.

Layer *Scabrezza (o "rugosità") del piano superiore delle chiome*: analogamente a quello dell'altezza media è stato elaborato il *layer*, assegnando peraltro al pixel centrale della matrice di esplorazione di 3x3 pixel del CHM finale il valore di deviazione standard delle altezze presenti nella matrice stessa. Si è ritenuto infatti che il grado di variabilità delle altezze di alberi vicini possa aiutare a discriminare i popolamenti tendenzialmente monoplani da quelli tendenzialmente multiplani. Una possibile classificazione è la seguente:

- Scabrezza bassa (fino a 5 m): struttura tendenzialmente monoplana;
- Scabrezza elevata (oltre 5 m): struttura tendenzialmente multiplana.

3 Risultati

Sul versante della fotointerpretazione, la perlustrazione al suolo dei poligoni delimitati a video in ambiente GIS secondo l'approccio descritto al paragrafo 2.1 ha consentito di assegnare loro lo strato definitivo e, quando necessario, modificarne la geometria. I tecnici redattori del piano della Foresta di Cadino hanno riferito che quest'ultima operazione non è quasi mai stata necessaria, in quanto forma, dimensioni e posizione dei poligoni individuati a video quasi sempre coincidevano con quelle reali, controllate a terra con GPS e distanziometro Laser.

Per quanto riguarda le carte tematiche, il confronto fra la Carta della Copertura elaborata automaticamente e l'analoga classificazione operata indipendentemente dai tecnici tramite foto interpretazione tradizionale (potenziata dall'esame contestuale del CHM nativo) e sopralluoghi sul terreno ha mostrato un'ottima corrispondenza.

Anche alcune verifiche al suolo per validare la Carta dei Vuoti hanno confermato la corrispondenza posizionale e di dimensioni dei poligoni elaborati. La carta dei vuoti trova almeno due utilizzi immediati: i) fornisce al tecnico l'ubicazione delle aree da valutare in seguito quali radure, novelleti o superfici utilizzate, improduttivi ecc.; ii) consente di escludere aprioristicamente tali aree dalla semina di punti di campionamento con i quali verrà attuato l'inventario delle variabili dendrometriche quantitative, riducendo sia le perdite di tempo per raggiungere siti nei quali non occorrerebbe svolgere alcun rilevamento che la variabilità statistica dei dati quantitativi rilevati che, come noto, tende a innalzarsi significativamente quando nel campione sono presenti casi collocabili agli estremi della distribuzione (come i vuoti, appunto).
Esiti interlocutori si sono invece ottenuti nei tentativi di produrre automaticamente una carta delle strutture forestali: la carta dell'Altezza Media e quella della Scabrezza aiutano a orientare la classificazione ma non consentono di escludere, al momento, la valutazione esperta del tecnico, poiché esistono molte situazioni articolate e di transizione difficilmente modellizzabili con l'applicazione di indici di derivazione algebrica.
In questo tipo di elaborazioni appaiono senz'altro cruciali la risoluzione originaria del seminato LiDAR (è inutile e potenzialmente fuorviante adottare risoluzioni raster maggiori della densità originaria dei punti LiDAR) e la scelta delle dimensioni delle matrici di esplorazione che, condizionando la modellizzazione della superficie studiata (le chiome degli alberi, in questo caso) devono probabilmente essere adattate alle diverse caratteristiche compositivo-strutturali dei popolamenti considerati. A titolo di esempio, nella produzione della Carta dei Vuoti della Foresta di Cadino era stata inizialmente provata anche una matrice di esplorazione di 9x9 pixel, constatando visivamente che questa dimensione determinava una dilatazione del bosco (e speculare erosione dei vuoti) rispetto a quanto osservabile sulla ortofoto.

4 Conclusioni

Il contributo che i dati LiDAR possono dare al monitoraggio delle risorse forestali è stato confermato anche dagli esiti della sperimentazione descritta. Esso è destinato a crescere con lo sviluppo di tecniche e procedure di elaborazione e con la progressiva diminuzione dei costi di ripresa, tuttora piuttosto elevati. Il LiDAR va peraltro visto non come un supporto sostitutivo, bensì integrativo degli altri dati telerilevati. Per ottenere migliori risultati nella produzione automatica di tematismi compositivo-strutturali è necessario da un lato integrare i dati LiDAR con dati multispettrali ad alta risoluzione che permettano di riconoscere le specie arboree principali o i gruppi di specie, dall'altro applicare metodi di classificazione *object-oriented* come il promettente *k-nearest neighbor* (Chirici e Corona, 2006).
Sopralluoghi e rilevamenti sul terreno, infine, possono essere ridotti e ottimizzati ma non vanno assolutamente emarginati dal processo conoscitivo, poiché forniscono informazioni e "punti di vista" difficilmente surrogabili con il telerilevamento.

Bibliografia

Abramo E., Barilotti A., Sepic F. (2007) – Dalla dendrometria diametrica alla dendrometria ipsometrica: stima del volume degli alberi da rilievi laser-scanning. *Foresta@* 4 (4): 373-385.
Barilotti A., Turco S., Napolitano R., Bressan E. (2005) – La tecnologia LiDAR per lo studio della biomassa negli ecosistemi forestali. *XV Congresso della Società Italiana di Ecologia*, Torino.
Chirici G., Corona P. (2006) – *Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione nel rilevamento delle risorse forestali.* Aracne editrice, pp. 186. ISBN 88-548-0338-3
Crosilla F. Galetto R., (a cura di) (2003) – *La tecnica del Laser Scanning. Teoria ed applicazioni.* CISM, Collana di Geodesia e Cartografia. 184 pp.
Corona P., Lamonaca A., Chirici G., Travaglini D., Marchetti M., Minari E., Montaghi A. (2008) – *Estimation of growing stock of broadleaved forests by airborne laser scanning.* Pp 39-44. In: Gianelle D., Travaglini D., Mason F., Minari E., Chirici G. & Chemini C. (eds.), *Canopy analysis*

and dynamics of a floodplain forest. Rapporti Scientifici, 3. Centro Nazionale per lo studio e la conservazione della Biodiversità Forestale – Bosco della Fontana. Cierre Grafica Editore, Verona.
Corona P., Fattorini L., 2008 – Area-based LiDAR-assisted estimation of forest standing volume. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 2911-2916
Dubayah R. O., Drake J. B. (2001) – LiDAR Remote Sensing for Forestry Applications. *www.geog.umd.edu*
Gobakken T., Naesset E. (2005) – Weibull and percentile models for LiDAR-based estimation of basal area distribution. *Scandinavian Journal of Forest Research.* 20: 490-502.
Packalén P., Maltamo M. (2006) – Predicting the Plot Volume by Tree Species Using Airborne Laser Scanning and Aerial Photographs. *Forest Science* 52(6), pp. 611-622.
Renslow M., Greenfield P., Guay T. (2000) – Evaluation of Multi-Return LIDAR for Forestry Applications. *Report prepared for The Inventory & Monitoring Steering Committee*, USDA Forest Service, San Dimas Technology & Development Center, CA.
Scrinzi G., Clementel F., Colle G., Floris A., Galvagni D., Gecele S., Marzullo L. (2008) – Soluzioni statistico-matematiche, informatiche e tecnologie per la nuova pianificazione forestale aziendale trentina. *Atti del III Convegno Nazionale di Selvicoltura.* Taormina, 15-19 ottobre 2008.
Wolynski A., Zanin M., Scrinzi G. (2008) – Revisione della pianificazione forestale in Trentino a cinquant'anni dall'adozione della Selvicoltura Naturalistica. *Atti del III Convegno Nazionale di Selvicoltura.* Taormina, 15-19 ottobre 2008.

Lo studio è stato realizzato con il finanziamento della Provincia Autonoma di Trento in convenzione con il CRA-MPF di Trento (responsabile del gruppo di ricerca G. Scrinzi, con il contributo scientifico dello stesso, di G. Colle, A. Floris, L. Marzullo, D. Galvagni, F. Clementel). Responsabile del coordinamento generale di progetto per la PAT A. Wolynski, coadiuvato da Massimo Miori e Angelo Carriero.