

Stima operativa di parametri dendrometrici forestali con riprese LiDAR invernali a bassa risoluzione

Fabrizio Clementel (*), Giacomo Colle (**), Claudia Farruggia (*), Antonio Floris (*), Gianfranco Scrinzi (*), Chiara Torresan (*)

(*) 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

(**) F360 s.r.l., spin off con il sostegno del CRA. Piazza Nicolini, 6, loc. Villazzano – 38100 TRENTO
Tel. 0461 381119, Fax 0461 381131, e-mail: f360@f360.it

Riassunto

Vengono illustrati modalità ed esiti di una sperimentazione avente l'obiettivo di verificare l'idoneità di riprese LiDAR invernali e a bassa risoluzione, non espressamente realizzate per scopi forestali, nella messa a punto di modelli di stima dei principali parametri dendrometrici forestali (volume legnoso, area basimetrica). A tal fine sono stati elaborati dati provenienti da due riprese LiDAR, con caratteristiche tecniche molto diverse, realizzate su una stessa area forestale del Trentino (Foresta di Paneveggio). Il modello messo a punto è stato poi applicato in un altro scenario forestale (Foresta Demaniale di Cadino) e integrato con dati al suolo provenienti da inventario assestamentale per campionamento. I modelli di stima prodotti, sebbene caratterizzati da performance statistiche apparentemente non elevate, hanno consentito di ottenere stime con errori contenuti, applicabili alle tipiche compartimentazioni in uso nella pianificazione forestale (particelle forestali, comprese, strati), con il vantaggio di ottenere anche una mappatura e una spazializzazione a livello sub-particellare del volume legnoso dei popolamenti, informazione molto importante per la pianificazione degli interventi selvicolturali da realizzare in foresta.

Abstract: The influence of different LiDAR characteristics in modeling forest parameters

The main purpose of the research here described is to verify whether low resolution LiDAR data, not forest-specific, can be used to carry out statistical models for estimating timber volume.

LiDAR data with different characteristics, and taken in different seasons (winter and summer) on the same forest area (Foresta di Paneveggio, Trentino, Italy), were processed, and an estimation model using winter low-resolution data was performed. Such model was then applied to a different territory, having similar forest characteristics. Moreover, LiDAR and ground data, surveyed during the management plan inventory, were integrated.

The final models allow to obtain good volume estimates with fair precision if applied on the typical forest units (forest compartments, strata), and can produce detailed timber volume maps, very useful when planning forestry interventions.

1 Introduzione

L'importante contributo che il LiDAR aereo può fornire nella modellizzazione tridimensionale dei soprassuoli forestali e nella stima delle loro principali variabili dendrometriche e strutturali ha prodotto una vasta letteratura in ambito nazionale e internazionale, di cui si riportano solo alcuni esempi (Dubaya e Drake, 2001; Abramo et al., 2007; Barilotti et al., 2005; Corona e Fattorini, 2008).

Quasi tutti gli studi realizzati con finalità di ricerca forestale hanno però fatto uso di riprese LiDAR dedicate e con requisiti tecnici ottimali (elevate risoluzioni, aree di calibrazione al suolo ampie e ben georeferenziate), aventi costi notevoli e spesso non compatibili con le risorse ordinariamente a disposizione della pianificazione e gestione forestale.

Questo studio si è posto pertanto l'obiettivo di verificare se dati LiDAR di minore qualità, come quelli più frequentemente disponibili su ampie superfici, determinino impatti critici sulla possibilità di costruire modelli di stima inventariale LiDAR di sufficiente attendibilità non tanto a livello puntuale ma quando i modelli costruiti a partire da tali dati vengono impiegati nelle stime di comparto assestamentale oppure di strato tematico. Anche per quanto attiene le aree di saggio per le calibrazioni al suolo sono stati considerati dati di stima dendrometrica derivanti da contesti ordinari quali l'inventariazione assestamentale per campionamento basata su rilievi relascopici, e quindi raccolti su unità campionarie di ridotta estensione e con georeferenziazione GPS non particolarmente precisa.

Vengono presentati metodi e risultati di alcune esperienze pratiche su questi temi realizzate in Trentino, in aree forestali per le quali erano disponibili riprese con caratteristiche afferenti ad entrambi i tipi citati¹.

2 Materiali e metodi

2.1 Caratteristiche tecniche delle riprese LiDAR utilizzate

Nella stagione invernale 2006-2007 la Provincia Autonoma di Trento ha realizzato una ripresa LiDAR su gran parte del territorio provinciale allo scopo di produrre un DTM ad alta risoluzione e accuratezza. Nell'estate del 2008 il Servizio Foreste e Fauna della stessa P.A.T. ha commissionato dei voli LiDAR espressamente finalizzati all'acquisizione di dati utili al monitoraggio forestale, su alcune aree forestali maggiormente rappresentative del territorio provinciale. Su tali aree sono stati realizzati anche rilievi dendrometrici al suolo, in un congruo numero di aree di saggio, per disporre di "verità a terra" sulle quali confrontare i dati LiDAR (Floris et al., 2010). Tale concomitanza ha reso disponibili, per questi scenari, due tipi di ripresa LiDAR alquanto differenti per caratteristiche tecniche, costi e potenzialità informative. I principali metadati dei due voli sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1 – Metadati delle prese LIDAR nelle aree coperte da entrambi i voli.

VOLO INVERNALE	
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
Precisione altimetrica	20-30 cm (variabile tra zone di fondovalle e altre), a 1 σ
Numero echi	2 (<i>first e last</i>)
Epoca di volo	Novembre 2006
VOLO ESTIVO	
Sensore	ALTM 3100C OPTTECH
Velivolo	Elicottero ECUREUIL AS 350 B2
Altezza di volo	1000 mt agl.
Frequenza impulsi	70000/sec. (70 KHz)
Densità punti	circa 5 p/m ²
Precisione altimetrica	20-30 cm (1 σ)
Numero echi	fino a 4 (a seconda del target)
Epoca di volo	16 luglio 2008

¹ Lo studio è stato realizzato con il finanziamento della Provincia Autonoma di Trento, nell'ambito della Convenzione di Ricerca RESIA2 con il CRA-MPF di Trento (responsabile del gruppo di ricerca G. Scrinzi). Responsabile del coordinamento di progetto per la PAT A. Wolynski.

Per entrambe le riprese sono stati elaborati i rispettivi Modelli di Altezza delle Chiome (arboree) – CHM – rappresentabili come matrici raster con risoluzione 1 m, gestibili in ambiente GIS e spazialmente sincrone. In un'area studio ampia circa 370 ettari, situata nella Foresta Demaniale di Paneveggio (Valle di Fiemme, Trentino orientale), è stato messo a punto un modello di stima del volume legnoso a partire dai dati LiDAR rilevati nell'estate 2008, cioè quella avente i migliori requisiti tecnici per finalità di monitoraggio forestale (Floris et al., 2010).

2.2 Il modello di passaggio da CHM invernale a CHM estivo

Un passo successivo della sperimentazione è stato la ricerca di correlazioni tra le riprese LiDAR invernale ed estiva, tali che fosse possibile realizzare un modello “estivo” per stimare i volumi legnosi a partire dal CHM invernale trasformato in CHM estivo, in scenari forestalmente simili, e dotati dei soli dati LiDAR invernali.

Sebbene nominalmente sincroni, i due layer CHM (invernale e estivo) presentavano uno sfasamento spaziale di alcuni metri, non sistematico, tra pixel omologhi. Per ridurre gli effetti di tale sfasamento non si sono confrontati i valori di altezza delle chiome tal quali, ma è stato invece elaborato con algoritmo focale di Map Algebra un layer contenente in ciascun pixel il valore medio di altezza delle chiome calcolato su una matrice locale quadrata avente dimensione 31 m. Per ragioni di ottimizzazione delle elaborazioni informatiche, nella costruzione del modello è stato utilizzato un campione di 5000 pixel estratti casualmente tra tutti quelli (oltre tre milioni) appartenenti a ciascuno dei due layer. Il modello ottenuto, riportato nel grafico in Figura 1, esprime $HMEAN_{est}$ (volo estivo) in funzione di $HMEAN_{inv}$ (volo invernale).

2.3 Trasferimento del modello “estivo” ad altro scenario forestale e integrazione con dati al suolo

Allo scopo di verificare l'attendibilità del modello “estivo” di Paneveggio (cioè altezze estive stimate a partire da quelle invernali) nella stima del volume legnoso, si è deciso di applicarlo ad un'altra area forestale, per la quale si disponeva del solo volo LiDAR invernale: la Foresta Demaniale di Cadino, anch'essa in Valle di Fiemme (Figura 2).

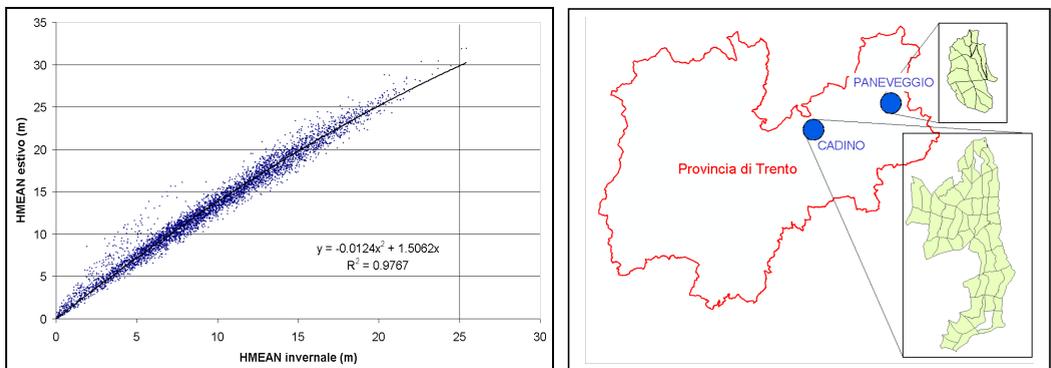


Figura 1 – Modello “di passaggio” dalla ripresa LiDAR estiva a quella invernale.

Figura 2 – Gli scenari di studio in Trentino.

Tale foresta ha caratteristiche territoriali e vegetazionali comparabili con quelle di Paneveggio (pecceta altimontana e subalpina di abete rosso quasi pura, a quote variabili fra i 1400 e i 1800 m s.l.m.).

Questa scelta è stata determinata anche dal fatto che nella Foresta di Cadino era in corso la revisione del Piano di Assesamento, quindi si poteva disporre di recenti dati dendrometrici rilevati

al suolo su una rete di aree di saggio relascopiche (circa 350) distribuite secondo un disegno di campionamento statistico casuale stratificato su una superficie di circa 900 ha. Per ciascuna area si dispone dei dati dendrometrici rilevati e rapportati alla superficie di un ettaro, in particolare area basimetrica ($G \text{ ha}^{-1}$) e volume dendrometrico ($V \text{ ha}^{-1}$).

Al layer CHM invernale di Cadino è stata applicata l'equazione di trasformazione del precedente modello di Paneveggio, ottenendo un CHM "estivo". In corrispondenza di ciascuna area di saggio, è stato calcolato sul layer CHM il parametro $\text{HMEAN}_{\text{est}_16}$: media delle altezze delle chiome in un intorno circolare del pixel avente raggio 16 m. Tale valore di raggio ha due requisiti positivi: coincide in pratica con il lato 31 m usato nel mettere a punto il modello di Paneveggio, ed esplora un'area corrispondente a quella mediamente considerata dalle aree di saggio relascopiche (le aree relascopiche, o *prove di numerazione angolare*, non sono a raggio fisso, ma esplorano superfici dinamicamente variabili a seconda delle dimensioni degli alberi circostanti, Bitterlich, 1984).

In questo modo si ottiene un set di circa 350 osservazioni, per ciascuna delle quali sono state considerate le due variabili $\text{HMEAN}_{\text{est}}$ (m, da LiDAR) e V ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, dai rilievi campionari al suolo).

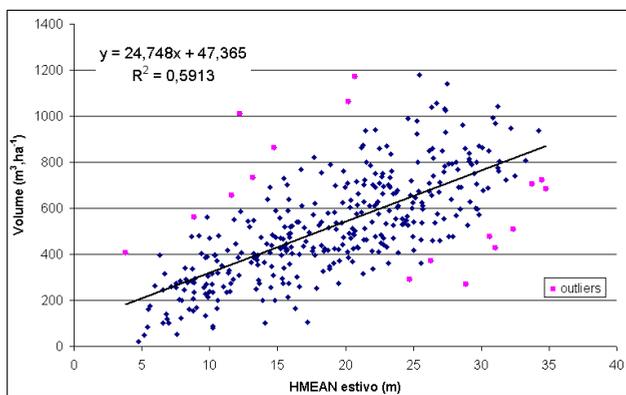


Figura 3 – Modello di regressione lineare del Volume dendrometrico ($V, \text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) su $\text{HMEAN}_{\text{est}}$.

Il grafico in Figura 3 mostra l'andamento del Volume dendrometrico stimato con il campionamento mediante i modelli tariffari di cubatura in uso in Trentino (Scrini et al., 2010) in funzione del parametro LiDAR HMEAN. Con la funzionalità Perform Residual Analysis del software Statistica 7.1 (STATSOFT) sono stati individuati gli outliers di tipo 2σ (visibili in colore violetto nel grafico). Tali outliers dipendono probabilmente dalla non eccellente sincronizzazione spaziale fra pixel LiDAR e centri delle aree di saggio, individuati al suolo con procedure speditive di navigazione GPS. L'analisi di regressione lineare è stata eseguita escludendo tali punti.

2.4 Calibrazione del volume totale di campionamento col parametro K-LiDAR e spazializzazione dei volumi

I dati rilevati nell'inventario assestamentale forniscono un volume legnoso unitario e totale su tutta la proprietà assestata e per sottoinsiemi di tale area, quali gli strati tematici (aggregazioni forestali simili per composizione specifica e struttura). Con opportune elaborazioni GIS (overlay e algoritmi zonali di Map Algebra) è prassi comune ricavare il volume ad ettaro e totale per le tipiche unità gestionali, le particelle forestali. I dati medi, per strato, di partenza non consentono di spazializzare il volume su unità territoriali più piccole mantenendo una sufficiente precisione statistica. In assenza di dati LiDAR, quindi, sarebbe possibile assegnare a ciascuna particella solo i volumi medi dei diversi strati che insistono sulla particella stessa, ponderati per le rispettive superfici, ignorando forzatamente la variabilità esistente attorno a tali valori medi, che per strati molto articolati può essere elevata.

Per ovviare a questo limite è stato studiato un modello che sfruttasse il contributo del LiDAR, introducendo il parametro $K\text{-LiDAR} = \text{HMEAN di unità territoriale} / \text{HMEAN di strato}$. In questo modo al valore medio di HMEAN valido per tutto lo strato se ne sostituisce il valore locale. Moltiplicando il volume medio di strato (stimato dal campionamento al suolo) per questo coefficiente, si ottiene una stima più attendibile del volume legnoso effettivamente presente nel poligono di volta in volta considerato, sia che si tratti di nella particella forestale che di sub-unità di quest'ultima (ad esempio, le *unità forestali* secondo la definizione adottata nella nuova pianificazione trentina).

3 Risultati

Nel corso del lavoro sono stati messi a punto tre modelli principali:

- 1) Modello di passaggio da CHM invernale a CHM estivo;
- 2) Modello di stima dei volumi legnosi con CHM "estivo" (utilizzando come variabile dipendente i dati rilevati al suolo nelle aree relascopiche);
- 3) Modello di calibrazione locale dei volumi legnosi stimati dai rilievi al suolo, con il parametro $K\text{-LiDAR}$.

Per quanto riguarda il primo modello, l'ottima performance statistica deducibile dal valore di $R^2=0,977$ (Figura 1) è dovuta anche alle caratteristiche vegetazionali dell'area studiata: trattandosi di popolamenti composti quasi esclusivamente da conifere, abete rosso in particolare, la correlazione fra altezza dei popolamenti nella ripresa invernale e in quella estiva è elevatissima. I parametri del modello indicano che, come è logico attendersi, le altezze della ripresa estiva (peraltro successiva di oltre un anno rispetto a quella invernale) sono significativamente maggiori rispetto a quelle della ripresa invernale. I valori "anomali" visibili in grafico nella prima parte della distribuzione, tutti superiori alla curva perequatrice, sono dovuti ai soggetti di larice che, perdendo gli aghi in inverno, presentano un andamento della relazione diverso rispetto all'abete rosso.

Nel modello di stima dei volumi realizzato per la Foresta di Cadino (Figura 3), una possibile ragione del fatto che la variabilità statisticata spiegata dalla regressione sia piuttosto bassa ($R^2 = 0,59$) è che la variabile dipendente del modello, il volume dendrometrico da campionamento, è affetta a sua volta da un certo grado di incertezza in quanto rilevata con le citate aree relascopiche al suolo e successiva applicazione di modelli tariffari. Ciò nonostante, il confronto fra i volumi stimati con il modello $\text{LiDAR HMEAN}_{\text{est}}$ e quelli stimati con il campionamento al suolo mostra, a livello di particelle, esiti più che confortanti (Figura 4) con scostamenti medi con segno e senza segno di -356 m^3 (-5%) e 778 m^3 (11%), su una media del volume totale particellare di 6.686 m^3 . Gli stessi scostamenti percentuali si riscontrano sulla media del volume totale ad ettaro per l'intero piano di assestamento, pari a $396 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Il modello di calibrazione che utilizza il parametro $K\text{-LiDAR}$ (Figura 5) consente inoltre la produzione di "carte dei volumi" vettoriali a tre livelli di unità territoriali di riferimento: le tradizionali particelle forestali, le unità forestali (sotto-insiemi omogenei delle particelle) e gli strati tematici (aggregazioni sull'intero scenario considerato, omogenee per struttura e composizione).

4 Conclusioni

I risultati della sperimentazione qui illustrata indicano che la bassa risoluzione di una ripresa LiDAR (densità di echi per unità di superficie) non sembra essere, entro certi limiti, un ostacolo determinante per la stima di variabili dendrometriche a livello di collettivi arborei (con metodi *area based*). Riprese invernali, tipiche dei progetti finalizzati alla realizzazione di DTM, possono essere proficuamente utilizzate in ambito forestale per i boschi puri o quasi puri di conifere sempreverdi, che in alcune regioni italiane rappresentano una quota importante del territorio forestale. Molto più significativa appare invece l'influenza della stagione di ripresa nel caso di caducifoglie, che per stime affidabili dovrebbe coincidere con il massimo sviluppo vegetativo (Floris et al., 2009). L'opportuna integrazione di dati LiDAR e dati dendrometrici rilevati al suolo, infine, permette di unire il vantaggio della robustezza statistica delle stime di volume legnoso effettuate per

campionamento con l'elevata risoluzione del LiDAR e le possibilità di spazializzazione dell'informazione offerte da quest'ultimo supporto. Le carte dei volumi che risultano da tale integrazione sono estremamente utili nella localizzazione degli interventi selvicolturali.

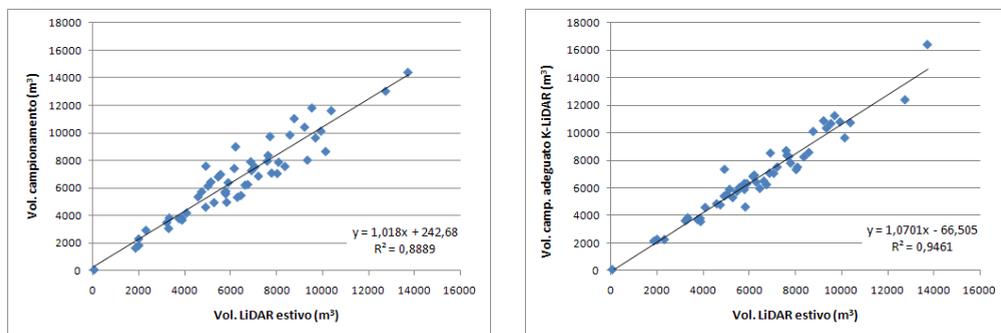


Figure 4 e 5– Modelli di regressione del volume legnoso particellare stimato con LiDAR estivo in funzione del volume da campionamento al suolo non ponderato (a sinistra) e ponderato con il parametro K-LiDAR (a destra).

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.
- Bitterlich W., 1984 – The relascope Idea. Relative measurements in Forestry. Commonwealth Agricultural Bureaux. ISBN 0-85198-539-4
- Corona P., Lamonaca A., Chirici G., Travaglini D., Marchetti M., Minari E., Montagni 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
- Floris A., Clementel F., Farruggia C., Scrinzi G., 2009 - Il LiDAR nella stratificazione tematica dei soprassuoli forestali: applicazioni in Trentino. Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, 1 – 4 dicembre 2009, Fiera del Levante Bari, pp. 1063-1070.
- Floris A., Clementel F., Farruggia C., Scrinzi G. (2010) – Stima su base LiDAR delle provvigioni legnose forestali: uno studio per la Foresta di Paneveggio. *Riv. Italiana di Telerilevamento*, 42 (3).
- 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.
- 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.