

Laser scanner aereo per la stima della biomassa totale epigea di ecosistemi forestali

Gherardo Chirici (*), Matteo Mura (*), Daniela Tonti (*), Michele Minotti (*), Giovanni Lopez (*), Paolo Di Martino (*), Lorenzo Fattorini (**), Marco Marchetti (*)

(*) Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Contrada F.te Lappone snc, 86090, Pesche (IS). E-mail: gherardo.chirici@unimol.it

(**) Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Economia Politica e Statistica, P.zza S.Francesco, 7-8, 53100 Siena. E-mail: lorenzo.fattorini@unisi.it

Riassunto

La tecnologia ALS (*Airborne Laser Scanning*) consente la stima di parametri forestali biometrici utili a supportare la corretta impostazione delle più idonee forme di gestione e pianificazione territoriale.

Lo studio è stato in questo caso finalizzato alla stima della biomassa epigea totale in un'area di studio di oltre 36.000 ha nella Regione Molise. Nell'area di studio è stato realizzato un inventario forestale a due fasi con l'acquisizione della biomassa di tutte le componenti epigee della vegetazione in 62 aree di saggio.

A partire da dati ALS e da un'immagine telerilevata IRS LiSS-III sono state calcolate un totale di 48 metriche che sono state quindi utilizzate per impostare un modello di stima parametrico. I dati multispettrali non hanno però contribuito a migliorare la capacità predittiva del modello.

La stima della biomassa *model based* con dati ALS è risultata molto accurata, con un errore standard del 6,26%, quasi la metà dell'errore derivante da un tradizionale approccio *design based* basato su stimatori di Horvitz-Thompson.

Abstract

The ALS (*Airborne Laser Scanning*) technology allows the estimation of forest parameters useful to support the correct setting of the most appropriate forms of management and land planning.

The study was in this case aimed at estimating the total aboveground biomass in a study area of more than 36,000 ha in the Molise Region. In a two phases forest inventory the above-ground biomass of all the vegetation components was acquired in 62 plots.

Starting from ALS data and a multispectral LiSS IRS-III imagery we calculated a total of 48 metrics that were then used to set up a parametric estimation model. The multispectral data in this regard have not helped to improve the predictive ability of the model.

The model-based estimate of biomass with ALS data was very accurate, with a standard error of 6.26%, almost half of the error resulting from a traditional design based approach based on Horvitz-Thompson estimators.

Introduzione

La tecnologia ALS (*Airborne Laser Scanning*) permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie misurando il tempo trascorso fra l'emissione di un impulso laser e la ricezione del segnale retrodiffuso (eco). L'impulso laser è un fascio coerente di energia (in genere emessa nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso) che viene inviato da uno strumento LiDAR (*Light Detection and Ranging*) montato a bordo di un vettore aereo. Gli echi degli impulsi laser vengono georeferenziati tramite posizionamento satellitare dell'aeromobile costituendo nuvole di punti vettoriali di cui è

nota la posizione geografica nello spazio. Ogni eco contiene numerose informazioni accessorie tra cui l'intensità, l'ora in cui è stato emesso e l'angolo di scansione del sensore.

La tecnica ALS è utilizzata in modo sempre più diffuso nello studio delle risorse forestali per ottenere informazioni dirette, con alto grado di accuratezza, sulla struttura verticale e orizzontale della vegetazione (Montaghi et al. 2012). Sviluppando sulla base di dati ALS appositi modelli predittivi si possono stimare variabili biofisiche quali l'area basimetrica, il diametro medio, il grado di copertura, il LAI (*Leaf Area Index*), la provvigione legnosa e la biomassa (Corona et al., 2012).

Nell'area di studio in Regione Molise sono in corso una serie di sperimentazioni da parte dell'Università degli Studi del Molise volte alla messa a punto di metodi parametrici e non-parametrici per la stima "in continuo" di variabili forestali quali la provvigione legnosa e la biomassa totale epigea ponendo a confronto l'uso di diverse tecniche di elaborazione degli echi ALS, eventualmente fusi con informazioni telerilevate da sensori ottici.

Nel presente lavoro sono esposti i primi risultati di una sperimentazione avente come obiettivo la stima della biomassa epigea totale di formazioni forestali tramite l'integrazione di dati ALS e immagini telerilevate IRS LiSS-III.

Materiali e metodi

Area di studio

L'area test è situata nella parte sud-ovest della Regione Molise per un'estensione di 36.380 ha. La superficie forestale nell'area di studio, sulla base della locale carta forestale in scala 1:10.000 (Chirici et al., 2011), è pari a 21.437 ha. Il paesaggio è dominato da boschi di cerro (*Quercus cerris*), roverella (*Quercus pubescens*) e carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) con presenza di faggete, leccete e formazioni riparie.

Dati a terra

Nell'area di studio è stato realizzato un inventario forestale a due fasi basato su un campionamento sistematico non allineato su 368 celle esagonali di 1 km². La definizione di bosco è quella adottata dall'Inventario Forestale Nazionale (INFC, 2007). In prima fase i 368 punti selezionati casualmente in ogni esagono sono stati classificati in bosco e non-bosco sulla base di una coperta ortofotografica ADS40. Nella seconda fase dell'inventario dei 197 punti risultati in bosco è stato estratto un campione casuale di 62 che sono stati visitati in campagna (Figura 1).

Nell'intorno dei 62 punti di seconda fase è stata realizzata un'unità di saggio circolare di 13 m di raggio in cui è stato realizzata la misura di diametro (cavallettamento) e altezza degli individui arborei. All'interno delle aree sono state inoltre realizzate 4 aree quadrate di 1 m x 1 m in cui è stata raccolta tutta la biomassa erbacea, arbustiva, dei piccoli alberi non inclusi nel cavallettamento e della rinnovazione. Il materiale asportato è stato quindi essiccato e pesato. Per gli alberi si è provveduto alla stima del volume di massa legnosa tramite tavole di cubatura a doppia entrata (Castellani et al., 1984) che è stata quindi convertita in biomassa tramite appositi fattori di espansione (Federici et al., 2008). Per ognuna delle 62 unità di campionamento si è ottenuto il totale della biomassa di tutte le componenti epigee della vegetazione.

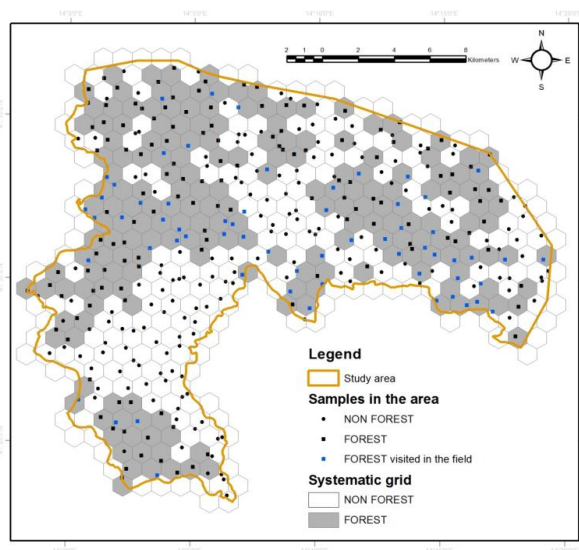


Figura 1. Disegno campionario dell'inventario forestale realizzato nell'area di studio.

Dati telerilevati

Il dataset ALS utilizzato in questo studio è stato acquisito nel giugno del 2010 con sensore LiDAR Optech Gemini montato su aeromobile Partenavia P68.

L'acquisizione è avvenuta con angolo di scansione massimo di 15°, frequenza di 70 KHz e una densità media effettiva di 3,5 punti/m².

I dati sono stati filtrati, classificati in *ground/non ground* e vi è stata quindi calcolata l'altezza rispetto al terreno. Da tale informazione tramite interpolazione con *Triangulated Irregular Network* si è generato un modello digitale delle chiome (*Canopy Height Model – CHM*) con passo di 1 metro (Figura 2).

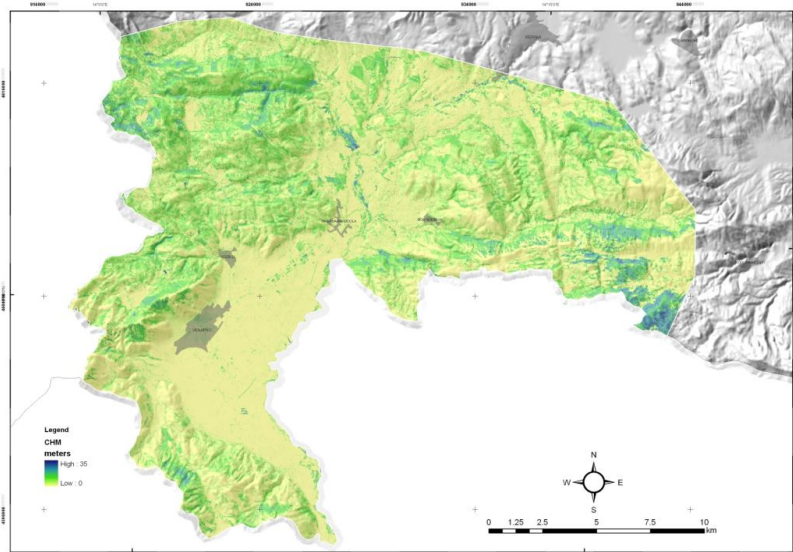


Figura 2. Canopy Height Model dell'area di studio.

Con la stessa risoluzione è stata generata un'immagine raster con il numero di impulsi totali normalizzata sul numero di strisciate e una dell'intensità media degli impulsi.

Per l'area di studio è stata acquisita una copertura *cloud free* IRS LiSS-III del giugno 2006 costituita da quattro bande spettrali (tra 0,52 e 1,70 μm) con risoluzione geometrica nominale di 20 m.

Metodi

Per ognuna delle 62 unità di campionamento di seconda fase dell'inventario forestale sono state estratte 48 metriche (minimo, massimo, somma, media, range, deviazione standard) calcolate a partire dal CHM, dal CHM escludendo i valori inferiori a 2 m, dall'immagine con il numero di impulsi LiDAR, da quella dell'intensità degli impulsi LiDAR e dalle quattro bande dell'immagine IRS.

La banca dati in tal modo generata è stata utilizzata prima per studiare la relazione univariata tra la variabile dipendente (la biomassa totale epigea a ettaro) e ognuna delle 48 metriche. Successivamente tramite approccio *forward stepwise* è stato individuato il miglior modello multiregressivo che permettesse la stima della biomassa a partire dalle metriche disponibili. Per le metriche che sono entrate nel modello multiregressivo come variabili indipendenti è stata generata una mappa raster per l'area di bosco inclusa nell'area di studio con un passo di 23 x 23 m. Tale risoluzione è stata scelta in modo da ottenere una superficie dei pixel il più prossima possibile a quella delle aree di saggio realizzate a terra. L'equazione del modello multiregressivo è stata quindi applicata a tutti i 405.233 pixel di 23 x 23 m di bosco nell'area di studio generando una stima *model based* della biomassa totale epigea.

Sulla base dei soli dati rilevati a terra è stata calcolata la stima *design based* della biomassa totale e media. Le due stime sono state quindi poste a confronto.

Risultati

Lo studio delle relazioni lineari univariate delle diverse metriche hanno confermato l'elevata correlazione esistente tra i dati CHM derivanti da ALS e la biomassa epigea. Nel caso di studio è risultata più elevata la correlazione con il CHM totale (R di 0,78) rispetto a quella esistente con i valori superiori a 2 m. Il numero di impulsi è risultata una metrica scarsamente significativa (R di 0,44), al pari dei dati delle bande IRS (R tra 0,45 e 0,21). I valori d'intensità sono invece risultati ancora afflitti da una pesante disturbo dovuto alle caratteristiche delle strisciate e dell'angolo di scansione relativo all'orografia del terreno (Figura 3).

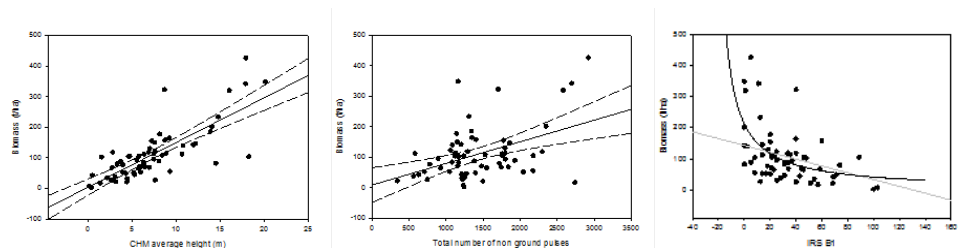


Figura 3. Esempio dello studio della relazione univariata tra la biomassa e alcune delle metriche estratte dai dati telerilevati (da sinistra media da CHM, totale dal numero di impulsi, banda 1 IRS LiSS-III).

L'approccio *stepwise* ha generato un'equazione del tipo:

$$\hat{y}_i = 9.6389 \cdot x_{i1}^{0.9251} \cdot x_{i2}^{0.5664} \quad (\text{Eq. 1})$$

Dove x_1 è l'altezza media da CHM e x_2 è il numero medio di impulsi. Il modello ha $R = 0,811$.

L'applicazione del modello in Eq. 1 ai 405.233 pixel dell'area di studio ha portato a una stima *model based* della biomassa epigea totale pari a 2.147.030 tonnellate, pari a una media di 100,16 t/ha con un errore standard del 6,26% (Figura 4).

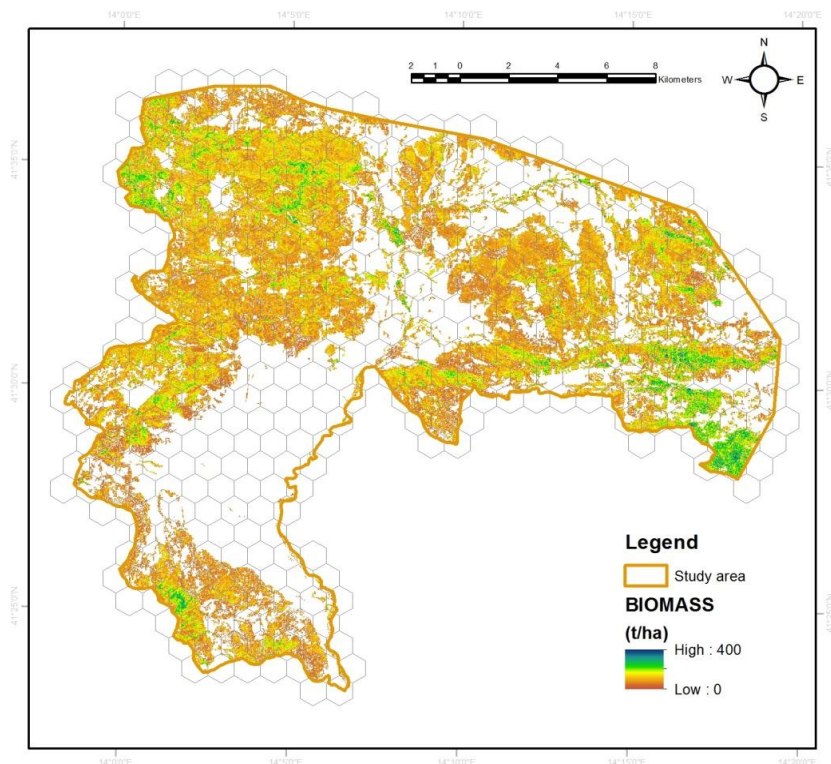


Figura 4. Stima con approccio parametrico della biomassa nell'area di studio.

L'approccio *design based* basato esclusivamente sui dati inventariali tramite stimatori di Horvitz-Thompson ha portato invece a una stima di 2.277.061 tonnellate (con una media di 111,62 t/ha) e un errore standard dell'11%.

Conclusioni

L'approccio realizzato nell'area di studio in Regione Molise ha permesso di confermare l'utilità dei dati ALS anche in ambiente Mediterraneo e temperato, in presenza di un complesso mosaico di tipologie forestale e forme di gestione.

L'applicazione di un modello parametrico non-lineare ha permesso di ottenere una stima spazialmente continua della biomassa totale epigea con un basso errore standard, sebbene questo non sia direttamente confrontabile con quello *design based* in quanto i due esprimono da due diverse fonti di variabilità. Nonostante la presenza dei dati multispettrali da satellite questi non sono stati utilizzati in quanto non hanno comportato alcun miglioramento alla stima basata esclusivamente sui dati ALS.

L'informazione disponibile in modo spazialmente continuo (*wall-to-wall*) permette la corretta impostazione di scelte di gestione forestale, anche in un'ottica di valorizzazione delle biomasse a fini energetici.

Ringraziamenti

Si ringraziano i Dott. Lorenzo Arcidiaco e Lorenzo Bottai del LAMMA – Regione Toscana per la collaborazione nella pre-elaborazione dei dati ALS e il Dr. Ronald McRoberts, US-Forest Service, per lo sviluppo del modello parametrico.

Studio realizzato nell'ambito del progetto ITALID "Impiego d'immagini LiDAR per lo studio dei soprassuoli forestali italiani". I dati LiDAR sono messi a disposizione nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A: Accordo di Programma tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), Presidenza del Consiglio dei Ministri -Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e Ministero della Difesa (MD) d'intesa con le Regioni e le Province Autonome).

Bibliografia

Castellani C., Scrinzi G., Tabacchi G., Tosi V. (1984). *Tavole di Cubatura a doppia entrata. Inventario Forestale Nazionale Italiano*. Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e l'Alpicoltura.

Chirici G., Di Martino P., Ottaviano M., Santopuoli G., Chiavetta U., Tonti D., Garfi V., Marchetti M. (2011). La carta forestale su basi tipologiche. In V. Garfi & M. Marchetti (Eds.), *Tipi forestali e preforestali della regione Molise* (pp. 145-152): Edizioni dell'Orso.

Corona P., Cartisano R., Salvati R., Chirici G., Floris A., Di Martino P., Marchetti M., Scrinzi G., Clementel F., Travaglini D., Torresan C. (2012). Airborne Laser Scanning to support forest resource management under alpine, temperate and Mediterranean environments in Italy. *European Journal of Remote Sensing*, 45: 27-37.

Federici S., Vitullo M., Tulipano S., De Lauretis R., Seufert G. (2008). An approach to estimate carbon stocks change in forest carbon pools under the UNFCCC: the Italian case. *iForest*, 1: 86-95

INFC (2007). *Le stime di superficie 2005 – Prima parte. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*. Ministero Agricoltura e Foreste, Corpo Forestale dello Stato. Disponibile on-line su www.infc.it

Montaghi A., Corona P., Dalponte M., Gianelle D., Chirici G., Olsson H. (2012). Airborne laser scanning of forest resources: an overview of research in Italy as a commentary case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 288: 288-300.