

INTEGRAZIONE DEI DATI LASER SCAN E IPERSPETTRALI PER LA STIMA DI PARAMETRI STRUTTURALI E FUNZIONALI DELLA VEGETAZIONE

Alfredo Altobelli (*), Franco Coren (**), Paolo Sterzai (**), Rossella Napolitano (*)

(*) Dipartimento di Biologia – Università di Trieste – Via Weiss, 2 - 34127 Trieste
tel. 040-5583862, e-mail altobell@units.it

(**) Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale – Borgo Grotta Gigante, 42/c – 34010 Trieste
tel. 040-21401, e-mail fcoren@ogs.trieste.it

Abstract: L'obiettivo della ricerca descritta in questo lavoro è lo studio di alcuni parametri strutturali e funzionali della vegetazione tramite l'integrazione di dati LIDAR (laser detection and ranging) e MIVIS. I dati registrati dal sensore ottico iperspettrale MIVIS sono stati utilizzati per calcolare l'indice di vegetazione NDVI correlato alla copertura vegetale e alla quantità di biomassa verde presente. I dati ottenuti dal sensore laser LIDAR sono serviti per produrre il modello digitale del terreno (DTM) e per analizzare la struttura verticale della vegetazione.

INTRODUZIONE

I modelli digitali del terreno (DTM o DEM) permettono di estrarre le caratteristiche fisiche del terreno quali elevazione, pendenza ed esposizione fondamentali negli studi di idrologia e dell'ambiente in generale, sia naturale che antropico. I metodi per creare il DTM includono (1) misurazioni *in situ* usando strumenti a terra (compreso il Global Positioning System), (2) tecniche di fotogrammetria basate su foto aeree stereoscopiche, (3) interferometria SAR (synthetic aperture radar) e (4) tecniche LIDAR (laser detection and ranging) (Raber *et al.*, 2002).

Il sistema aviotrasportato LIDAR presenta un'accuratezza verticale molto elevata dell'ordine del centimetro (Hodgson and Bresnahan, 2004) e viene utilizzato a livello di microtopografia del paesaggio (Rango *et al.*, 2000).

Le caratteristiche di penetrazione del Laser, in alternativa ai sensori ottici ad alta risoluzione, permettono inoltre di analizzare la struttura fisica degli ecosistemi (Lefsky *et al.*, 2002).

Il LIDAR permette infatti di estrarre diverse informazioni relative alle caratteristiche strutturali e funzionali della vegetazione, come ad esempio l'altezza degli alberi (Popescu and Wynne, 2004; Hudak *et al.*, 2002).

L'altezza degli alberi rappresenta un parametro fondamentale nell'inventario forestale per la stima del volume legnoso, della potenzialità del sito e per la programmazione dei trattamenti selvicolturali (Popescu and Wynne, 2004).

Il sistema a scansione MIVIS capostipite di una nuova generazione di sensori iperspettrali, opera con un'elevata risoluzione spaziale e spettrale (Lechi, 2002). Tale sistema permette la mappatura ad alta risoluzione spaziale di habitat vegetazionali (Ferrarini *et al.*, 2000).

L'elevata risposta spettrale consente inoltre la stima di parametri strutturali della vegetazione, fpar e LAI, e di parametri funzionali quali ad esempio: produttività primaria lorda, temperatura superficiale fogliare e contenuto d'acqua fogliare. Una prima e importante informazione sulla distribuzione spaziale della vegetazione e sulla sua densità viene fornita dagli indici di vegetazione, quali l'NDVI (uno degli indici più utilizzati).

MATERIALI E METODI

Area di studio

L'area di studio si trova sul Carso triestino. L'altopiano supera appena con qualche suo rilievo i 600 m s.l.m.; l'elemento geomorfologico caratterizzante l'area è rappresentato dalle doline, le tipiche depressioni carsiche. La vegetazione dell'area è l'*Ostrya-Quercetum pubescentis*, che attualmente deriva in buona parte da fenomeni dinamici di incespugliamento delle originarie aree a pascolo, per questo motivo la si trova in diversi stadi evolutivi che vanno da una rada boscaglia a boschi piuttosto evoluti. Le formazioni boschive sono rappresentate dal carpino nero (*Ostrya carpinifolia*),

la roverella (*Quercus pubescens*), l'orniello (*Fraxinus ornus*), e gli aceri (*Acer monspessolanum*, *Acer campestre*).

Le doline costituiscono un ambiente a sé, che si sottrae al grande clima generale. I versanti sud esposti a nord sono generalmente ricoperti dal fitto bosco che, rinserra i margini della dolina. Il soprassuolo arboreo è costituito quasi esclusivamente dal carpino bianco (*Carpinus betulus*), dal nocciolo (*Corylus avellana*), dalla rovere (*Quercus petraea*) e dal tiglio selvatico (*Tilia cordata*) (Poldini *et al.*, 1984).

Sensori laser LIDAR e ottico MIVIS

La ricerca descritta in questo lavoro è nata dalla collaborazione tra il Dipartimento di Biologia, l'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale e la Direzione Regionale delle Foreste e della Caccia del Friuli Venezia Giulia.

Gli strumenti utilizzati in questo lavoro, i sensori LIDAR e MIVIS, sono rispettivamente montati a bordo di un elicottero e di un aeromobile.

Il sistema LIDAR (Campbell, 2002; Jensen, 2000) utilizzato è un laser scan prodotto dalla Optech ALTM 3033 che consente di effettuare misurazioni sino ad una quota massima operativa di 3000 metri AGL (above ground level) alla frequenza di 33.000 kHz ovvero 66.000 punti al secondo, con una densità media di 4-5 punti al m². Il sistema è dotato di una piattaforma inerziale costituita da giroscopi di tipo LRG (laser ring gyroscope) che integrati al GPS di bordo consente la determinazione del vettore di stato e del vettore di orientamento con una elevatissima precisione.

L'intero sistema è montato a bordo di un elicottero modello Aerospaziale AS350, mezzo che consente una elevatissima flessibilità operativa. Lo strumento permette di ottenere rilievi topografici del terreno in maniera estensiva con una accuratezza verticale assoluta superiore ai 15 cm, ed una accuratezza planimetrica variabile a seconda della quota di acquisizione, compresa mediamente fra 10 e 80 cm.

Il sistema ALTM 3033 (figura 1) è costituito dal un insieme di quattro componenti principali: un laser (1064 nm - infrarosso vicino), un sistema di misura inerziale, un sistema di navigazione e posizionamento basato su GPS ed una unità di controllo centrale montato a bordo di un aeromobile. Il laser emette brevi impulsi verso uno specchio oscillante che riflette gli stessi in senso ortogonale alla direzione di avanzamento dell'aeromobile effettuando così la scansione del terreno sottostante.



Figura 1. Sistema ALTM 3033 munito di sensore laser LIDAR

Il laser acquisisce la posizione (ed il valore di ampiezza di riflessione) del primo e dell'ultimo impulso riflesso dal suolo. L'insieme dei dati relativi al primo impulso descrive un modello di terreno relativo a tutti gli elementi riflettenti presenti nell'area di scansione del terreno; risultano pertanto presenti tutte le aree vegetate e gli elementi antropici, l'ultima riflessione è quella generalmente associabile al terreno.

Mediante classificazione del dato laser vengono quindi generati modelli digitali del terreno e di superfici vegetate, consentendo di ottenere misure dirette di altezza delle piante.

Il sistema a scansione MIVIS è stato montato a bordo di una piattaforma aerea CASA 212/C.

Il MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) è un radiometro a specchio rotante costituito da 4 spettrometri che riprendono simultaneamente la radiazione proveniente dalla superficie terrestre nelle lunghezze d'onda del visibile (17 bande), dell'infrarosso vicino (11 bande), dell'infrarosso medio (64 bande), e dell'infrarosso termico (10 bande), per un totale di 102 canali. La sua risoluzione al suolo varia in funzione della quota di volo e può spingersi fino a 3 metri, nel nostro caso è stata pari a 4 metri.

I valori dei dati per i canali dall'1 al 92 (visibile, NIR, SWIR) sono stati misurati come radianze al sensore espresse in $W\ cm^{-2}\ sr^{-1}\ nm^{-1}$. Per registrarli in 2 bytes i valori di radianza sono stati moltiplicati per il fattore 10^9 . I dati per i canali dal 93 al 102 sono espressi in temperatura al sensore ($^{\circ}C$). Per registrare i dati in 2 bytes, i valori di temperatura sono stati moltiplicati per il fattore 10.

I dati radiometrici acquisiti dal MIVIS permettono quindi di calcolare l'indice di vegetazione NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ad una risoluzione spaziale molto elevata, nel nostro caso 4 metri. L'indice NDVI misura la biomassa verde presente in un pixel sfruttando la differenza tra la bassa riflettanza del rosso (correlata con l'assorbimento della clorofilla) e l'alta risposta nell'infrarosso vicino (legata alla densità della vegetazione). In generale gli indici di vegetazione forniscono una prima e importante indicazione sulla distribuzione spaziale della vegetazione e sulla sua densità. La combinazione delle informazioni spettrali del MIVIS con quelle strutturali del LIDAR ha permesso quindi una prima analisi delle vegetazione boschiva basata su due parametri fondamentali: altezza della vegetazione e densità della biomassa verde.

RISULTATI

In figura 2 viene riportato il modello digitale del terreno ottenuto tramite elaborazione dei dati LIDAR. I dati puntiformi del laser sono stati interpolati e ricampionati alla risoluzione spaziale del MIVIS (4 metri). Si nota chiaramente la presenza nell'area esaminata della dolina, in particolare della Dolina dei Caprioli (Prosecco) le cui dimensioni sono notevoli: lunghezza 500, larghezza 375 e profondità 50 metri. Appaiono comunque ben visibili anche le doline di neoformazione a testimonianza del notevole dettaglio topografico ricavabile dai dati laser.

In figura 3 viene riportata la superficie vegetata relativa all'area esaminata. La zona centrale delle doline presenta zone prive di vegetazione, con ristagno d'acqua nella Dolina dei Caprioli, e zone ricoperte da vegetazione erbacea. Le specie arboree di altezza maggiore le ritroviamo lungo i margini delle doline mentre poi tutta l'area risulta ricoperta da una boscaglia rada, più o meno discontinua, che localmente può anche infittirsi, ma che comunque è sempre costituita da essenze povere, di portamento piuttosto alto-arbustivo che arboreo.

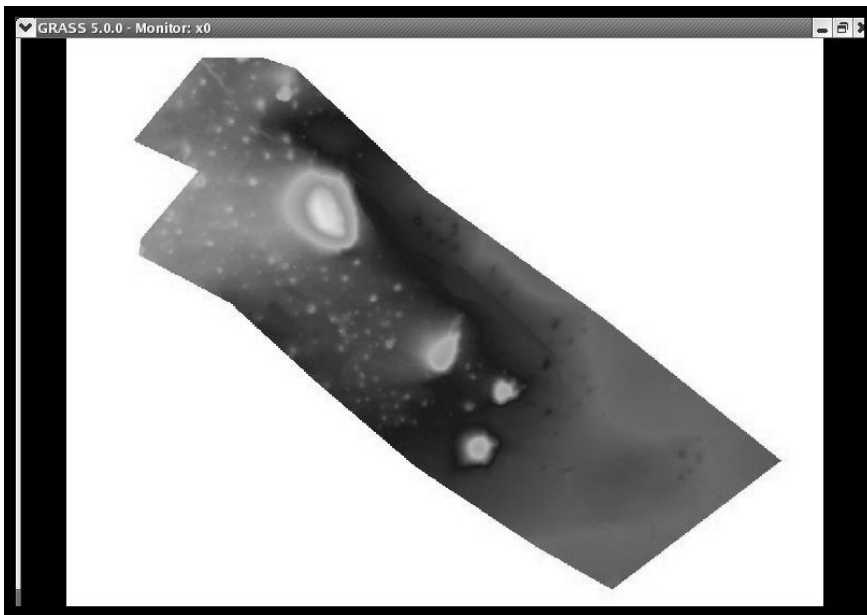


Figura 2, DEM ottenuto dalla classificazione dei dati LIDAR. In chiaro sono visibili le doline, comprese quelle di neoformazione.

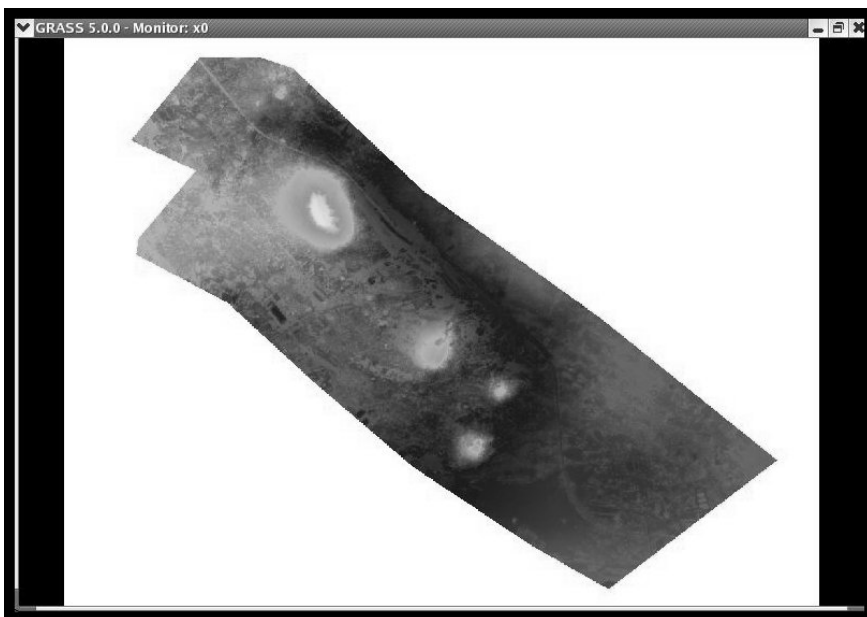


Figura 3. Superficie vegetata ottenuta dalla classificazione dei dati LIDAR. In chiaro lo strato erbaceo, le tonalità più scure rappresentano gli alberi con altezze maggiori.

In figura 4 viene riportato un grafico ottenuto dalla combinazione dei dati LIDAR con i dati MIVIS. I dati di NDVI ottenuti dal sensore ottico, correlati alla quantità di biomassa verde, sono stati sovrapposti alla mappa con la superficie vegetata (dati LIDAR). Utilizzando le statistiche relative alle due mappe è stato possibile produrre un grafico con la distribuzione (%) verticale della biomassa verde. Logicamente da tale calcolo sono stati esclusi tutti i pixel non vegetati. La percentuale maggiore della biomassa si trova tra i 4-5 metri, rappresentata da specie alto-arbustive appartenenti alla boscaglia carsica.

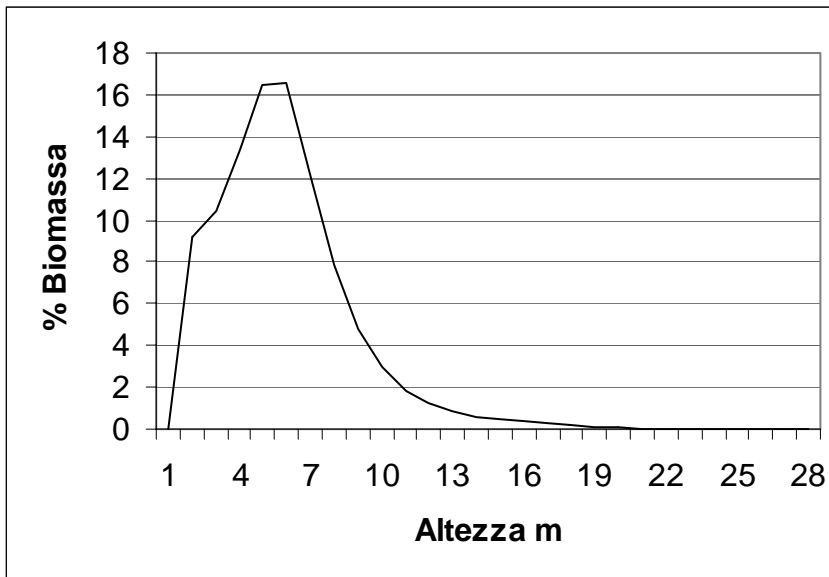


Figura 4. Distribuzione verticale della biomassa verde (%) dell'area esaminata ottenuta combinando i dati MIVIS (NDVI) con i dati LIDAR (altezza vegetazione).

In figura 5 è visibile il transetto che è stato utilizzato per estrarre i grafici riportati in figura 6. Il transetto attraversa trasversalmente la Dolina dei Caprioli ed è servito per analizzare la conformazione verticale del suolo della vegetazione (dati LIDAR) con i valori di NDVI (dati MIVIS).

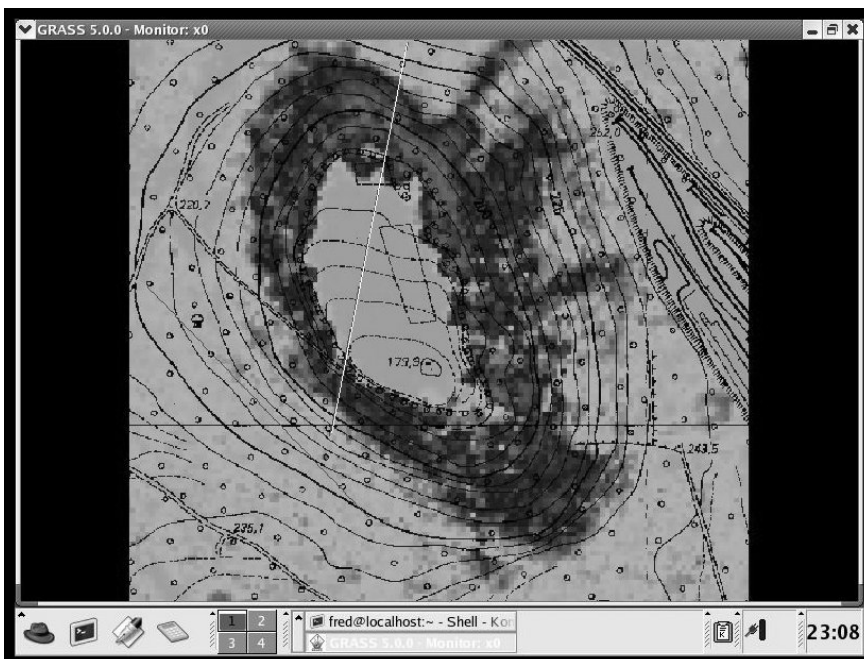


Figura 5. Particolare della superficie vegetata della dolina con sovrapposto il transetto (in bianco) e la Carta Tecnica Regionale (1:5000).

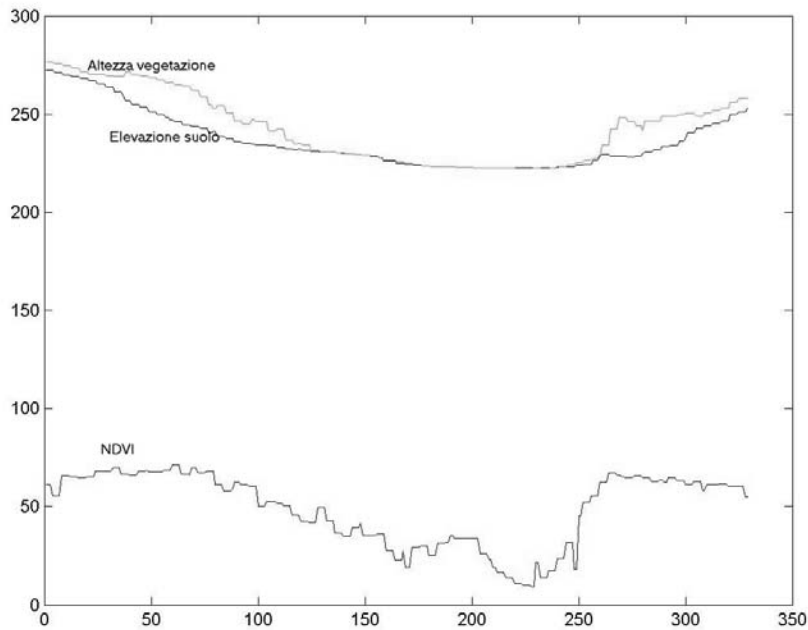


Figura 6. Integrazione delle informazioni LIDAR (altezza vegetazione, elevazione suolo) con i valori dell'NDVI ottenuto dai dati MIVIS, lungo il transetto.

CONCLUSIONE

I risultati di questa ricerca sono serviti per fare una prima valutazione delle possibilità offerte dai due nuovi sensori di ultima generazione il MIVIS e il LIDAR nei settori delle scienze forestali e dell'ecologia. I risultati dimostrano che l'integrazione dei due tipi di dati può tornare molto utile ad entrambi i settori. Per il settore forestale l'altezza degli alberi e la quantità di biomassa verde risultano essere due parametri fondamentali per la stima della biomassa legnosa. Parametro questo fondamentale per valutare la produttività dei boschi e per dirigere le pratiche selvicolturali. Dal punto di vista ecologico le informazioni dei due sensori sono molto utili nella caratterizzazione degli habitat vegetazionali, sia dal punto di vista spaziale (forma e distribuzione) che dal punto di vista strutturale (altezza delle specie, densità). Inoltre, nei modelli di assorbimento della CO₂ i due parametri altezza e densità della chioma arborea risultano essere due parametri indispensabili per la loro costruzione.

BIBLIOGRAFIA

Campbell J.B., 2002. *Introduction to Remote Sensing (Third edition)*, Taylor & Francis, 621 p.

Ferrarini A., Rossi P., Zaccarelli N., Zurlini., 2000. Mappatura ad Alta Risoluzione Spaziale di Habitat Vegetazionali CORINE Mediante Sensore Iperspettrale MIVIS. *Atti del X Congresso Nazionale della Società di Ecologia (S.It.E.)*.

Hodgson M. E. and Bresnahan P., 2004. Accuracy of Airborne Lidar-derived Elevation: Empirical Assessment and Error Budget. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70 (3):331-339.

Hudak A.T., Lefsky M.A., Cohen W.B. and Berterretche M., 2002. Integration of Lidar and Landsat ETM+ Data for Estimating and Mapping Forest Canopy Height. *Remote Sensing of Environment*, 82(2-3):397-416.

- Jensen J.R., 2000. *Remote Sensing of the Environment: An earth Resource Prerspective*, Prentice-Hall, 318 p.
- Lechi G., 2002. *Dispense del Corso di Telerilevamento*, Anno Accademico 2002-2003, Politecnico Milano, 355 p.
- Lefsky M.A., Cohen W.B., Parker G.G. and Harding D.J., 2002. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies. *Bioscience*, 52(1): 10-30.
- Poldini L., Gioitti G., Martini F. e Budin S., 1984. *Introduzione alla Flora e alla Vegetazione del Carso (Seconda edizione)*. Edizioni Lint Trieste, 304 p.
- Popescu S. C. and Wynne R. H., 2004. Seeing the Trees in the Forest: Using Lidar and Multispectral Data Fusion with Local Filtering and Variable Window Size foe Estimating Tree height. . *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70 (5):589-604.
- Raber J.R., Jensen J.R. and Schill S.R., 2002. Creation of Digital Terrain Models Using an Adaptive Lidar Vegetation Point Removal Process. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68 (12):1307-1315.
- Rango A., Chopping M., Ritchie J., Havstad K., Kustas W. and Scmugge T., 2000. Morphological Characteristics of Shrub Coppice Dunes in Desert Grasslands of Southern New Mexico derived from scanning Lidar. *Remote Sensing of the Environment*, 74:26-44.