

## Generazione di mappe forestali mediante sistemi integrati di telerilevamento

Franco COREN (\*), Adolfo FAIDIGA (\*\*\*), Alessandro PAVAN(\*), Carla PIETRAPEROSA (\*\*), Paolo STERZAI (\*)

(\*) INOGS – Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Borgo Grotta gigante 42/C, 34010 Sgonico, Trieste, tel: 040 21401, fax: 040 327307, e-mail: [fcoren@inogs.it](mailto:fcoren@inogs.it)

(\*\*) CNR-IMAA – Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, 85050 Tito Scalo, Potenza, tel: 0971 427111, fax: 0971 427271, e-mail: [pietra@imaa.cnr.it](mailto:pietra@imaa.cnr.it)

(\*\*\*) Corpo Forestale dello Stato – Ufficio Territoriale per la Biodiversità di Tarvisio

### Riassunto

Il censimento forestale è stato da sempre condotto mediante misure *in situ* con un rilevante dispendio di risorse. L'introduzione di sistemi di telerilevamento, sia radiometrici che dimensionali, ha reso possibile operare a risoluzioni decimetriche su ampie superfici, mediante algoritmi che non solo determinano la posizione dei singoli, ma anche la loro altezza e specie.

Una via intrapresa recentemente è rappresentata dalla possibilità di aumentare la quantità di informazione proveniente dal sistema *laser* mediante integrazione con dati iperspettrali.

Il problema dell'identificazione degli alberi è stato affrontato da diversi autori ed è stato parzialmente risolto su aree a forestazione omogenea e prevalentemente piane; tipicamente in piantagioni. Diversa è la situazione in ambiti forestali, caratterizzati da specie miste e territori con variazioni altimetriche del suolo importanti. Questo lavoro è volto allo sviluppo di procedure ed algoritmi da applicare in maniera efficiente al censimento forestale.

Una volta determinate le coordinate dei singoli alberi, l'analisi dei dati iperspettrali permette di distinguere le varie specie.

I risultati preliminari indicano che la realizzazione di un censimento forestale mediante analisi di dati integrati provenienti da sensori dimensionali e radiometrici è non solo possibile, ma anche molto efficiente. Dall'esperienza effettuata i prodotti realizzati si collocano sufficientemente bene all'interno delle tolleranze e delle caratteristiche richieste per questo tipo di analisi.

### Abstract

*Forestry investigations have always been performed through measurements on site with large resource demands. The introduction of new systems of remote sensing, both radiometric and dimensional, has brought up the possibility to operate with decimetrical resolutions on large areas with algorithms that not only provide the location of the single tree, but also informations as height and species.*

*In the last years, to improve and increase the data supplied by laser measurements, these values have been integrated with the data obtained through the hyperspectral system.*

*Many authors have been concerned with methods to identify the different species of trees. The problems have been in part resolved for areas with a homogeneous vegetation e mainly flat terrain. A solution for areas where the forestry is various and there are height levels in the territory is still under investigation.*

*The purpose of this project is to identify and develop new procedures and algorithms related to forestry investigations that allow to locate the coordinates of the single trees and identify the tree species through the analysis of the hyperspectral data. Preliminary tests have demonstrated that the integration of data obtained from dimensional and radiometric sensors consents to perform a forestry investigation with high efficiencies. The results achieved till so far have proved that the algorithms are able to provide data with characteristics and tolerances required to these types of analysis.*

## **Premessa**

In data 30 settembre 2005, è stata effettuata una campagna di acquisizione, volta allo studio ed analisi delle problematiche ed applicazioni dei dati *laser* a scansione in aree di montagna. A questo scopo, è stato acquisito un *dataset* sperimentale mediante misure *laser* a scansione, ortofoto e dati iperspettrali.

Lo studio si è sviluppato nell'ambito di una fascia di territorio di estensione 3000 x 1000 metri circa, in un'area specifica posta in prossimità del paese di Valbruna (Tarvisio). L'area ha un assetto morfologico di tipo montano che in quest'area è caratterizzato da topografie accidentate e versanti mediamente ripidi.

Il rilievo è stato pianificato accuratamente sia per quanto concerne le caratteristiche della costellazione satellitare, che per quanto concerne i parametri di acquisizione che hanno permesso di ottenere una densità media di punti al suolo superiore a 3.

La copertura vegetale dell'area, per quanto riguarda le specie di alto fusto, è prevalentemente costituita da abeti bianchi e rossi e faggi. Sono state analizzate 2 zone, di cui erano disponibili i valori percentuali delle specie arboree presenti circa 15 anni fa, che sono stati confrontati con quelli ottenuti con il metodo presentato.

## **Strumentazione**

Il sistema utilizzato per la scansione laser è un *ALTM3100* prodotto dalla *Optech* e costituito da un *laser* operante nell'infrarosso vicino ( $\lambda=1063\text{ nm}$ ) che invia impulsi di luce alla frequenza di 100 KHz.

L'intero sistema è montato rigidamente su un aereomobile, la cui posizione viene determinata mediante soluzione *GPS* (*Global Position System*). La traiettoria del sistema è stata calcolata mediante la combinazione fra un sistema inerziale ed un *GPS* operante in doppia frequenza. L'impiego del sistema inerziale, costituito da tre accelerometri e tre giroscopi laser, consente di risolvere la posizione e l'assetto dell'aeromobile con una frequenza di 200 Hz, mentre l'uso del *GPS* consente di annullare la deriva inerziale che è funzione del tempo (Mostafa et al., 2001).

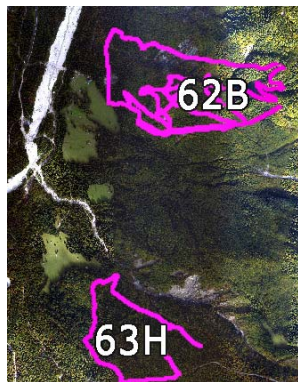
Per il rilievo iperspettrale è stato utilizzato un sensore *AISA Eagle 1K*. Si tratta di un sistema a scansione *pushbroom*, costituito da un sensore iperspettrale, interfacciato con un sensore *GPS/INS Applanix* e un'unità di acquisizione dati implementata in un *pc*. Il sensore è in grado di acquisire qualsiasi combinazione di banda (*range* tra 400 e 1000 nm), da poche bande multispettrali all'intero *dataset* iperspettrale. È possibile configurare un desiderato numero di bande e un'individuale larghezza di banda per ogni banda in volo tramite il software di acquisizione. L'*AISA Eagle 1K* effettua una scansione di tipo *pushbroom*, cioè utilizza un insieme lineare di rivelatori *CCD* allineati su una barretta che effettua l'esplorazione della scena trasversalmente alla direzione del moto della piattaforma. Ognuna delle linee di scansione corrisponde ad una sottile striscia di territorio. Ad ognuno dei rivelatori della barretta corrisponderà un *pixel* della striscia a terra.

## Acquisizione dei dati

Il rilievo laser è stato pianificato accuratamente, sia per quanto concerne le caratteristiche della costellazione satellitare, che per quanto concerne i parametri di acquisizione che hanno permesso di ottenere una densità media di punti al suolo superiore a 3. Tale dato è di fondamentale importanza per un rilievo di questo genere, in quanto dà la possibilità di creare un modello di superficie molto accurato su cui effettuare le analisi.

L'acquisizione iperspettrale è stata effettuata sfruttando l'intero spettro disponibile dello strumento, programmando la registrazione di immagini spettrali a 126 bande di circa 4,5 nm ciascuna. La risoluzione al suolo del dato iperspettrale è di circa un metro.

Sono state analizzate 2 zone, evidenziate nella *figura 1*, di cui erano disponibili i valori percentuali delle specie arboree presenti circa 15 anni fa, che sono stati confrontati con quelli ottenuti con il metodo presentato. Questi valori sono riassunti nella *tabella 2*.



|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| 62B | <i>Faggio</i>      | 91% |
|     | <i>Abete rosso</i> | 9%  |

|     |                     |     |
|-----|---------------------|-----|
| 63H | <i>Faggio</i>       | 43% |
|     | <i>Abete bianco</i> | 3%  |
|     | <i>Abete rosso</i>  | 54% |

*Figura 1 – Area oggetto dello studio*

*Tabella 2 – Dati esistenti di popolazione*

## Elaborazione dei dati

L'elaborazione del dato *laser* prevede dapprima la fusione dei dati *gps* aerei e dell'antenna a terra, per la determinazione della traiettoria dell'aeromobile. Mediante il *software Realm 3.5*, a partire dalle informazioni relative alla traiettoria, si ottiene il dato in output, consistente in una nuvola di punti recanti informazioni sulle coordinate, intensità e tempo *gps* di riflessione del segnale, (Kraus K., Pfeifer N., 1998). La nuvola di punti, viene quindi classificata, per separare quelli ricadenti sul terreno, da quelli ricadenti sulle superfici elevate, come alberi ed abitazioni.

Il dato iperspettrale, invece, prevede innanzitutto una correzione di tipo radiometrico, per ottenere dei valori di radiometria, in base ai dati di calibrazione del sensore (Spectral Imaging Ltd., 2005). In seguito, i dati calibrati vengono fusi con la traiettoria, per effettuare la georettifica (Schläpfer D., 2005).

Successivamente è stato utilizzato un programma implementato dal gruppo *CARS*, per effettuare in maniera automatica il conteggio degli alberi presenti nella zona. È stato quindi possibile assegnare ad ogni albero individuato una classe di appartenenza, ovvero una specie arborea derivante dalla classificazione delle immagini iperspettrali.

## Classificazione del dato laser

I dati *laser* sono stati classificati, per separare i punti ricadenti al suolo (*ground*) da quelli ricadenti sulla vegetazione e ricavare così dei modelli di superficie. La separazione dei punti *laser* avviene

mediante algoritmi consolidati (Axelsson P., 2000), che permettono di ottenere con molta precisione dei modelli digitali del terreno (DTM) e delle superfici arboree (DSM). La sovrapposizione di questi modelli e la loro sottrazione (DSM-DTM) fornisce una mappa delle altezze della vegetazione, calcolata su una griglia regolare con maglia  $1 \times 1$  m.

In figura 4 è riportato un esempio di tale rappresentazione, in cui si distinguono alberi con altezza fino a 40 m circa. La figura 3, invece, mostra il modello DSM della particella denominata 63H.

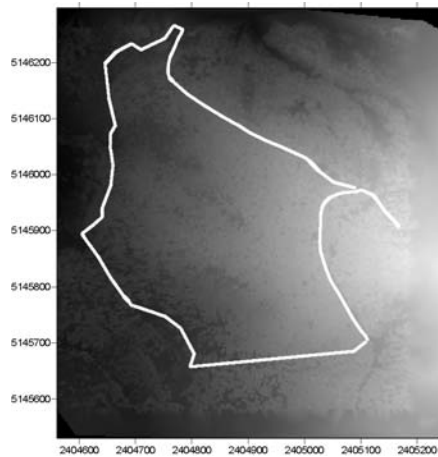


Figura 3 – DSM da Laser Scan

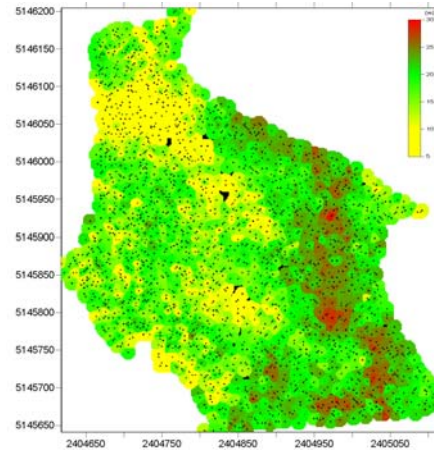


Figura 4 – Mappa delle altezze

Il gruppo CARS ha inoltre sviluppato una serie di algoritmi specifici, basati su analisi di massimo locale del DSM ed integrati con filtri morfologici, atti all'identificazione della posizione degli alberi. L'analisi dei massimi locali presenta molte difficoltà, dovute principalmente alla sovrastima del numero di picchi. Il problema si è risolto considerando dei raggi di ricerca diversi a seconda dell'altezza rilevata dell'albero. In letteratura (Chen et al., 2006) si è dimostrato che esiste una correlazione non lineare tra l'altezza dell'albero e la larghezza della corona:

$$\text{Crown size} = 1.7425 \times (\text{Tree height})^{0.5566} \quad [1]$$

Questa relazione è stata utilizzata per limitare il raggio di ricerca dei massimi locali.

### Classificazione del dato iperspettrale

La classificazione del dato iperspettrale prevede dapprima il *training* del programma, ovvero l'assegnazione di alcune regioni di interesse (ROI). In questo modo, il programma utilizzato per la classificazione (ENVI – RSI) crea un insieme di *pixel* sul quale calcolare la firma spettrale, da confrontare con gli altri *pixel* dell'immagine (RSI, 2003). L'algoritmo utilizzato per la classificazione è il SAM (*Spectral Angle Mapper*). Questo algoritmo confronta gli angoli tra lo spettro campione, ricavato dalla ROI, e gli spettri ricavati nel resto dell'immagine.

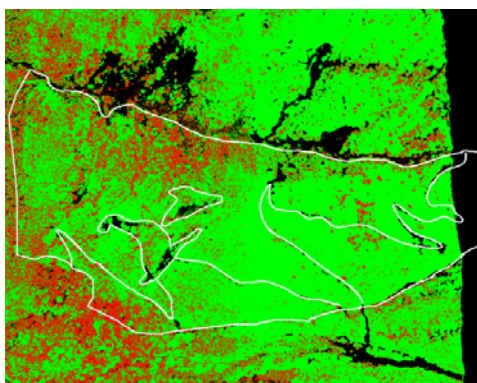


Figura 5 – Classificazione particella 62B

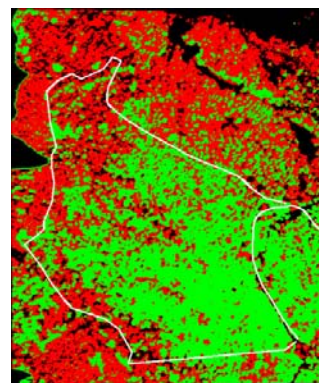


Figura 6 - Classificazione particella 63H

Nelle due immagini precedenti sono visualizzati due risultati di tale classificazione, per quanto riguarda le particelle 62B e 63H. In verde sono rappresentati gli alberi identificati come faggi, mentre in rosso quelli distinti come abeti rossi. Le zone nere rappresentano *pixel* non classificati, come ad esempio radure, rocce o zone molto ombrose. Inoltre, data la scarsa presenza della specie abete bianco, nelle particelle considerate, non è stato possibile apprezzarne la percentuale.

Infine, la sovrapposizione delle coordinate che individuano i singoli alberi, permette di effettuare una analisi statistica sulle specie presenti, assegnando a ciascun albero una specie estratta dalla classificazione del dato iperspettrale.

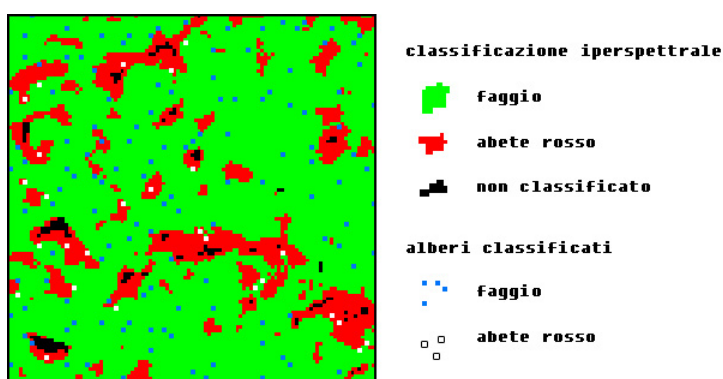


Figura 7 – Assegnazione della specie arborea, derivante dalla classificazione iperspettrale

I risultati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella, in cui sono riportati, oltre al conteggio degli alberi individuati, i valori percentuali relativi a ciascuna specie.

|     | <i>alberi</i> [#] | <i>Faggio</i> [#] | <i>Faggio</i> [%] | <i>Abete rosso</i> [#] | <i>Abete rosso</i> [%] |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|------------------------|
| 62B | 2747              | 1859              | 82                | 420                    | 18                     |
| 63H | 2357              | 1578              | 69                | 700                    | 31                     |

Tabella 8 – Risultati dell'analisi statistica

## Conclusioni

Il lavoro ha dimostrato che l'impiego del *laser* a scansione quale strumento di monitoraggio e censimento delle specie vegetali di alto fusto in aree montuose è estremamente efficace.

L'utilizzo del dato *laser* permette, tramite l'algoritmo del massimo locale, non solo di identificare la posizione dei singoli alberi, ma anche di determinarne l'altezza.

Gli sviluppi futuri di questo lavoro sono infatti orientati verso uno studio più approfondito della geometria complessiva degli alberi. Il riconoscimento dei singoli elementi può essere usato per determinare altri importanti parametri forestali, quali ad esempio la grandezza media della corona e il *Leaf Area Index (L.A.I.)*. Questi parametri telerilevati possono essere usati per la determinazione di modelli ambientali a partire dalle informazioni estrapolate dai singoli alberi (*Chen et al., 2006*).

Per quanto riguarda la classificazione, invece, si è visto come il dato iperspettrale unito ad un rilievo *laser scan* forniscano una suddivisione accettabile delle diverse specie boschive, sebbene non sempre sufficiente. D'altra parte, il riconoscimento delle relative specie boschive risulta difficile, sia per l'orografia del terreno, sia per la presenza delle zone d'ombra nelle immagini.

La soluzione a questo problema è sicuramente identificabile nella realizzazione di un'acquisizione iperspettrale anche nel campo dell'infrarosso e una sua successiva classificazione.

## Bibliografia

Moore I. D., Lewis A., Gallant J. C. (1993), *Terrain properties: Estimation Methods and Scale Effects, Modeling Change in Environmental Systems*.

RSI Research System (2003), *Accurate Easy to Use Image Analysis Software*.

Pitkänen J., Maltamo M., Hyypä J., Yu X. (2004), *Adaptive methods for individual tree detection on airborne laser based canopy height model*.

Schowengerdt R. A. (1983), *Techniques for image processing and classification in remote sensing, Academic press*.

Chen Q., Baldocchi D., Gong P., Kelly M. (2006), *Isolating Individual Trees in a Savana Woodland Using Small Footprint Lidar Data, PE&RS August 2006, 923-932*.

Mostafa M.M.R., Hutton J., Lithopoulos E. (2001), *Direct Georeferencing of Frame Imagery - An Error Budget. Proceedings, The Third International Mobile Mapping Symposium, Cairo, Egypt, January 3-5*.

Kraus K., Pfeifer N. (1998), *Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne laser Scanner data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol 53 No 4, pp 193-203*.

Axelsson P. (2000), *Dem generation from laser scanner data using adaptive TIN models. IAPRS, Vol. 33, Part 2*.

Spectral Imaging Ltd (2005), *AISA Eagle Data Processing Tool - Operating manual*.

Schläpfer D. (2005), *Parametrizing Geocoding user guide*.