

REALIZZAZIONE DELLA MAPPA DELLE FORESTE SULL'AREA ALPINA CON IMMAGINI SATELLITARI MODIS

Mariella ANGIULLI (*), Giovanna OBER (**), Maria Lucia TAMPELLINI (**)

(*) Libero Professionista, mariella.angiulli@alice.it

(**) Carlo Gavazzi Space SpA, Via Gallarate 150, 20151 Milano

Riassunto

Nell'ambito del progetto EO-HYDRO (ESA-EOMD) per il monitoraggio della copertura nevosa a 250 m mediante immagini satellitari sull'area alpina, è stata realizzata una classificazione delle foreste, a partire da immagini satellitari MODIS (MOD09GQK) a due canali, rosso (R) ed il vicino infrarosso (NIR). Caratterizzare correttamente la copertura arborea è fondamentale se lo scopo è quello di individuare la neve anche al di sotto delle aree ricoperte a foresta. Infatti nelle aree ricoperte da foreste non decidue il contributo radiometrico della neve che si deposita sul terreno, mascherato dal contributo della vegetazione, è minore rispetto a quello che si rileva su aree ricoperte da vegetazione arborea decidua.

Ad eccezione della Svizzera, sulle Alpi era già disponibile la classificazione CORINE Land Cover, ma non risultava abbastanza accurata rispetto allo scopo. Ne è scaturita la necessità di una classificazione *ad hoc*. Essa mira ad individuare tre classi, conifere, latifoglie e misti, mediante l'utilizzo di immagini dello stesso tipo di quelle in input all'algoritmo di monitoraggio della copertura nevosa.

La discriminazione delle specie arboree è avvenuta utilizzando tecniche multitemporali, sfruttando lo sfasamento delle fasi fenologiche dei diversi tipi di copertura dall'inizio della primavera (marzo) alla fine dell'estate (settembre). Su base statistica sono state individuate delle soglie sui valori dell'indice NDVI dei mesi di aprile, giugno e settembre e sulle singole bande R e NIR di giugno e settembre e delle bande R e NIR di marzo.

La classificazione è stata validata mediante matrici di confusione, utilizzando come verità a terra immagini ad alta risoluzione SPOT e ASTER, con un'accuratezza pari all'83%.

Abstract

In the context of the EO-HYDRO Project (ESA-EOMD) for snow cover monitoring with the resolution of 250 m through satellite imagery over the alpine area, a forest classification has been carried out. It has been achieved with MODIS (MOD09GQK) satellite images in two channels, red (R) and near-infrared (NIR). In order to detect snow underneath the forests, it is fundamental realizing an accurate characterization of forest cover. In fact the snow radiometric contribute from the areas covered by non-deciduous trees, which is masked by vegetation, is slighter than the contribute from the areas covered by deciduous trees. With the exception of Switzerland, over the alpine area the CORINE Land Cover Map was already available, but it was not adequate for the purposes. Therefore, a new *ad hoc* classification has been carried out. It aims at the characterization of the three cover classes, coniferous forests, broadleaf deciduous forests and mixed forests, through the same source imagery that EO-HYDRO algorithm uses as input for snow cover monitoring.

Multitemporal techniques have been used for the arboreal species discrimination, as the three different vegetation covers have a phenologic phase displacement from the beginning of the spring (March) till the end of the summer (September). Some threshold values, about NDVI index of April, June and September, R and NIR bands of June and September, and R and NIR bands of

March, have been found out with a statistic criterion. These threshold values have been then implemented in a decision tree.

The classification has been validated through confusion matrices. Some high resolution SPOT and ASTER images have been considered as ground truth and the accuracy is about 83%.

Introduzione

Lo scopo di questo lavoro è la produzione di una mappa delle foreste dell'area alpina, funzionale alla classificazione della copertura nevosa per le Alpi. Attualmente questa mappa è impiegata nell'algoritmo per la generazione del prodotto di classificazione dell'area innevata a 250 m di risoluzione, sviluppato nell'ambito del progetto EO-Hydro (www.eohydro.com) (Tampellini et al. 2005).

Per la determinazione dell'estensione del manto nevoso si deve considerare che la risposta spettrale delle foreste, registrata da un sensore satellitare, varia a seconda della presenza o meno di neve sul terreno, del tipo di foresta (per es. conifere, latifoglie o foreste miste) e del loro stadio fenologico nell'ambito la stagione vegetativa. Particolarmente importante è la discriminazione tra conifere, latifoglie e foreste miste. La neve che si deposita sulle foreste rimane solo per breve tempo sui rami degli alberi, ricade poi a terra al di sotto della chioma arborea. Il contributo radiometrico della neve al di sotto degli alberi è pertanto parzialmente mascherato dalla chioma. Tale mascheramento è diverso a seconda del tipo forestale. Infatti la chioma delle conifere è costituita da rami e fitte foglie aghiformi, mentre la chioma di latifoglie, d'inverno, è costituita solo da rami nudi completamente privi di foglie. Pertanto il segnale della neve al di sotto delle conifere registrato dal sensore satellitare è inferiore di quello della neve al di sotto delle foreste di latifoglie. Le foreste miste avranno naturalmente un comportamento intermedio tra quello delle conifere e delle latifoglie.

Le mappe di uso del suolo attualmente disponibili, come CORINE Land Cover 2000 (Büttner *et al.*, 2004), non potevano essere impiegate, perché non risultavano abbastanza accurate o complete (la Svizzera è esclusa dal programma CORINE). Si è evidenziata quindi la necessità di realizzare una nuova mappa delle foreste su tutte le Alpi generata *ad hoc*. Questa è stata elaborata a partire da immagini MODIS MOD09GQK, immagini di input anche dell'algoritmo di monitoraggio della copertura nevosa.

La discriminazione delle tre tipologie forestali considerate è possibile sfruttando lo sfasamento temporale delle loro fasi fenologiche. Infatti, mentre le latifoglie degli ambienti alpini sono caratterizzate da alberi caducifoglie che hanno il massimo rigoglio nei mesi estivi, le conifere, nella grande maggioranza dei casi, sono alberi sempreverdi, pur con l'eccezione del genere *Larix*, che perde le foglie in autunno. I boschi misti, per definizione composti in parte di latifoglie ed in parte di conifere, hanno un comportamento intermedio. Incrociando quindi le informazioni sulle fasi fenologiche, con le informazioni ottenute dal satellite, quali l'indice di vegetazione (NDVI) e la risposta spettrale, è stato possibile discriminare questi tre tipi di copertura del suolo.

Dataset di immagini utilizzato

Uno studio multitemporale basato sull'indice di vegetazione NDVI comporta la necessità di disporre di un *dataset* distribuito nell'arco dell'anno, in modo da cogliere le variazioni fenologiche stagionali della vegetazione esaminata (FAO FRA 2000 *Programme Staff*, 2000; Spanner *et al.*, 1990). Tuttavia, nei mesi invernali, alle latitudini delle Alpi, il sole troppo basso sull'orizzonte lascia i versanti esposti a Nord e a Ovest poco illuminati (effetto topografico). Spesso su tali aree non arriva sufficiente segnale al sensore nel canale del rosso, che rende impossibile calcolare l'indice NDVI. Per questo motivo sono state utilizzate prevalentemente immagini primaverili-estive. Le immagini utilizzate sono MODIS MOD09 (Surface reflectance - stima della riflettanza spettrale superficiale) per le bande centrate in 638 nm e 858 nm. Per ridurre l'effetto della copertura nuvolosa sono state realizzate delle *composite*, combinando l'informazione provenienti da immagini riprese nello stesso periodo dell'anno in un'unica immagine. Le immagini utilizzate in ordine cronologico secondo i mesi dell'anno sono qui elencate:

- *composite* 16 marzo 2004 e 23 marzo 2003;
- *composite* 1, 8 e 13 aprile 2003 operazione effettuata per ridurre la copertura nuvolosa.
- *composite* 17 giugno 2002 e 22 giugno 2003;
- *composite* 15 e 17 settembre 2003.

Metodologia di indagine e procedura

I classificatori *supervised* classici richiedono la determinazione a priori del numero di classi e delle aree di training sull'immagine. Questa operazione è molto difficoltosa da effettuare su immagini a bassa risoluzione e su una regione molto vasta e variegata come quella alpina (Regione Piemonte, 1998). Per superare il problema si è scelto di utilizzare per la classificazione un albero decisionale, costruito per il riconoscimento dei tre differenti tipi di vegetazione oggetto dell'indagine (Running et al., 1995). L'albero è costituito da un insieme di regole che definiscono come assegnare i pixel alle classi. Questo classificatore partiziona ricorsivamente lo spazio delle caratteristiche in sottoinsiemi sempre più omogenei, utilizzando un insieme di regole decisionali. L'albero è composto da una radice che rappresenta l'intero dataset, dall'insieme dei nodi interni (regole decisionali) ed da un insieme di nodi terminali (foglie). Ogni elemento viene etichettato in base al nodo terminale in cui cade (Lotsch, 1996).

La logica seguita per la classificazione si basa sull'analisi della risposta spettrale e dell'andamento fenologico dei tre tipi di vegetazione indagati. Gli attributi fondamentali per il riconoscimento delle tre famiglie sono: la permanenza della biomassa, la longevità e tipo di foglie. Permanenza e longevità sono state indagate attraverso l'analisi delle variazioni dell'indice NDVI, mentre la tipologia delle foglie è stata studiata considerando la riflettanza delle bande del rosso e dell'infrarosso MODIS. Le regole decisionali sono state poste attraverso un'analisi statistica effettuata sui valori delle immagini MODIS, utilizzando campioni selezionati con l'ausilio di immagini satellitari ad alta risoluzione SPOT 5 e foto aeree.

Nella determinazione delle regole hanno giocato un ruolo fondamentale i fattori climatici. Infatti la presenza di neve nelle immagini primaverili e il differente stadio fenologico raggiunto dallo stesso tipo di vegetazione in base a differenti altitudini e latitudini hanno imposto la scelta di differenziare le regole decisionali non solo in base alla tipologia di vegetazione, ma anche in base ai fattori climatici.

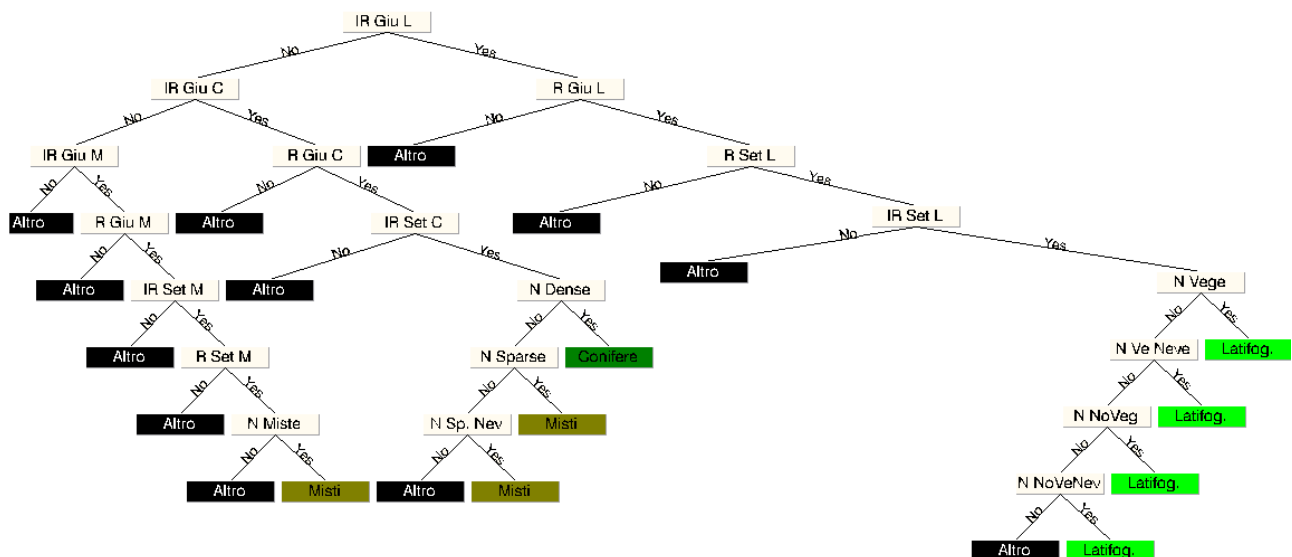


Figura 1: Albero delle decisioni

Le etichette dei nodi decisionali dell'albero sono state composte in base al tipo di decisione applicata. R ed IR indicano le bande dell'immagine MODIS del rosso e l'infrarosso topograficamente corrette, seguite dall'indicazione sul mese dell'anno a cui si riferiscono e dalla prima lettera della classe a cui sono dedicate. La lettera N indica che la decisione di base sull'analisi multi-temporale dell'indice di vegetazione.

Le conifere hanno un comportamento fenologico costante nell'intero arco dell'anno (ad esclusione del larice). Per questa classe sono stati individuati tre macro comportamenti rispetto alla neve che si rispecchiano nell'albero delle decisioni in tre foglie terminali. Le conifere dense, a predominanza di abeti, mascherano in maniera importante il contributo radiometrico della neve e sono state raggruppate in un'unica foglia etichettata conifere. Le conifere a matrice meno fitta o a predominanza di larici mascherano molto meno la presenza di neve. In questo caso sono state definite due foglie nell'albero decisionale: una in presenza di neve e una in assenza. Queste foglie sono state etichettate misti ad assegnate alla classe foreste miste, poiché nella classificazione funzionale il comportamento di queste foglie può essere assimilato a quello delle foreste miste.

La classe latifoglie presenta un andamento fenologico che raggiunge il valore massimo nel periodo estivo e due minimi stagionali tra fine marzo-primi di aprile e tra ottobre ed i primi di dicembre. Il preciso posizionamento dei minimi è influenzato dalla latitudine ed altitudine della vegetazione. Inoltre in questo periodo dell'anno ad altitudini elevate e nella fascia alpina austriaca e svizzera, è presente una vasta copertura nevosa. Il contributo spettrale della neve sottostante le foreste di latifoglie risulta molto evidente. Pertanto in questa classe sono stati individuati quattro macro comportamenti in base allo stadio fenologico (latifolia con presenza di foglie) ed alla presenza di neve che sono rappresentati da quattro foglie terminali nell'albero decisionale. In questa classe sono stati inclusi i frutteti che hanno un comportamento assimilabile alle latifoglie.

La classe misti è costituita da foreste di conifere e latifoglie, è presenta un comportamento intermedio tra queste due classi.

Dall'analisi statistica svolta risulta che l'andamento degli indici NDVI di giugno e settembre è particolarmente significativo. Mediamente le latifoglie, rispetto alle conifere, hanno un indice NDVI più alto in giugno e confrontabile in settembre. A settembre si verifica un generale spostamento verso il basso dei valori di riflettanza ed un avvicinamento dei valori per le tre classi. Le foreste miste hanno un comportamento intermedio. La discriminazione tra conifere dense e meno dense è stata effettuata mediante il valore nell'indice NDVI di aprile. Mentre per le conifere dense il valore di NDVI è alto, in presenza di una matrice meno fitta di alberi, la componente di riflettanza predominante che arriva al sensore deriva dalla neve e fa calare il valore di indice NDVI in aprile fino a valori vicini allo zero.

Il contributo delle immagini di marzo è stato utile per eliminare i prati poiché in quella data era presente molta neve. Le zone a prato, risultando completamente innevate, rispondono con elevati valori della banda R. La banda relativa all'infrarosso è stata utilizzata inoltre per discriminare le aree coltivate dalle latifoglie nelle zone di pianura

Tutte queste informazioni sui valori di soglia sono state implementate nell'albero di decisione illustrato in figura 1.

Risultato

La mappa delle foreste ottenuta applicando la metodologia illustrata è riportata in Figura 2.

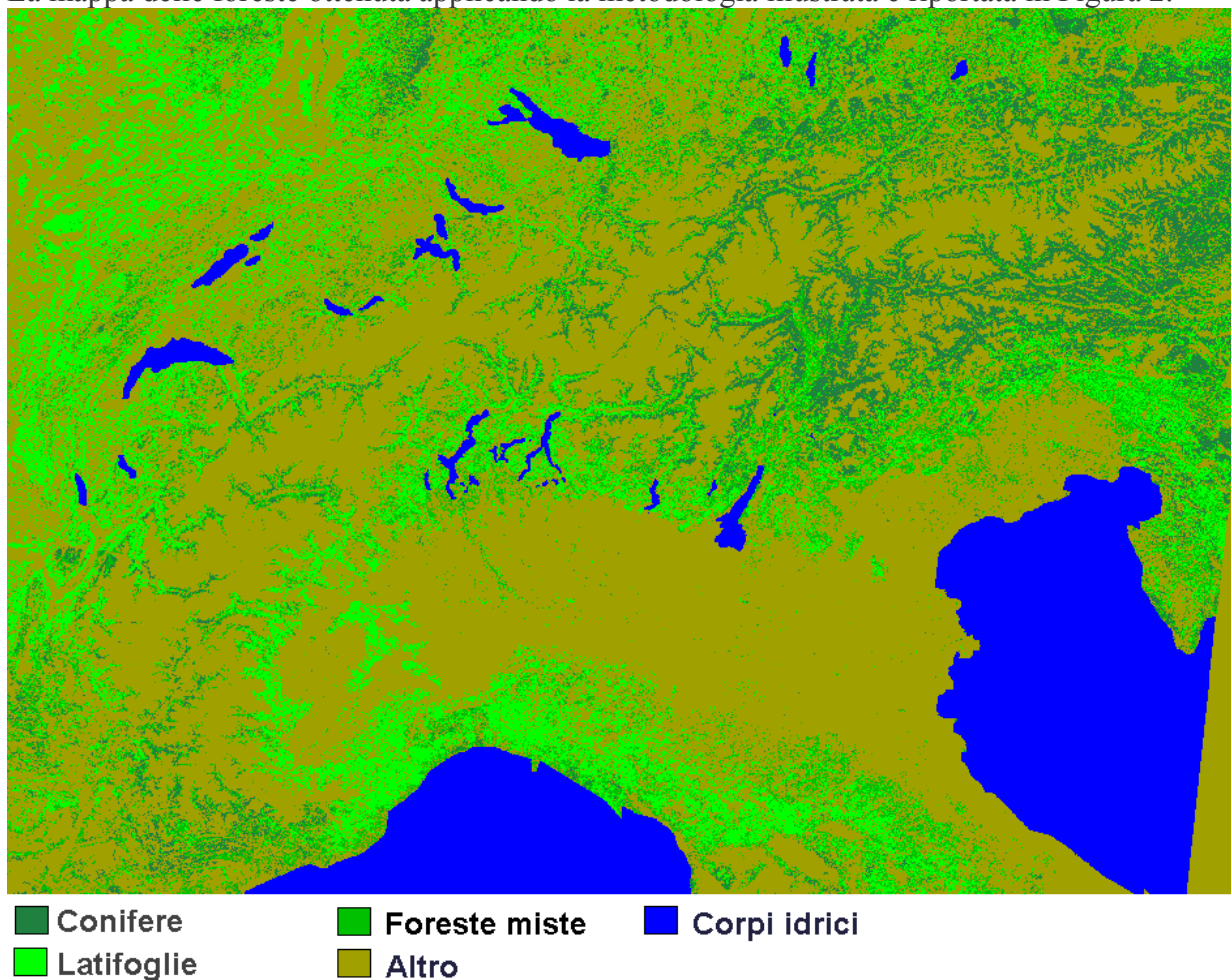


Figura 2: Mappa delle foreste

Validazione della mappa delle foreste

La mappa delle foreste ottenuta è stata validata utilizzando come verità a terra le seguenti immagini ad alta risoluzione:

- SPOT 5 del 5 Agosto 2005 sull'area del Trentino – Alto Adige zona molto ricca di conifere;

- ASTER del 23 marzo 2003 su parte della Valle d'Aosta e del Piemonte, zona particolarmente ricca di latifoglie

La validazione è stata effettuata selezionando campioni di conifere, latifoglie e bosco misto sull'immagine SPOT e ASTER per fotointerpretazione. L'accuratezza della classificazione, media per le due date, è stata pari all'83%. Gli errori di commissione ed omissione sulla classe conifere sono bassi in Trentino - Alto Adige, mentre sono più alti nella zona Piemontese dove la classe conifera è meno presente. Inoltre l'errore di commissione è principalmente con la classe misti che per sua natura può comprendere delle conifere. Gli errori di commissione ed omissione sui misti è più alto e ciò probabilmente a causa della natura composita di questa classe. In maniera speculare rispetto alle conifere, gli errori di commissione ed omissione relativi alle latifoglie sono più contenuti in Piemonte, dove la presenza di latifoglie è più significativa rispetto al Trentino – Alto Adige.

Conclusioni

Questo lavoro ha portato ad ottenere una classificazione delle foreste nell'area alpina funzionale alla generazione di mappe della copertura nevosa, realizzate all'interno del progetto EO-HYDRO (ESA-EOMD). Per la classificazione è stato applicato un albero delle decisioni, calibrato in base alla verità a terra ottenuta da immagini satellitari ad alta risoluzione o foto aeree. Sono state individuate tre classi di copertura: conifere, latifoglie e boschi misti. La classificazione è stata validata mediante matrici di confusione, utilizzando come verità a terra immagine ad alta risoluzione SPOT e ASTER. L'accuratezza media è stata dell'83%.

Bibliografia

- Büttner G., Feranec J., Jaffrain G., Mari L., Maucha G., Soukup T. (2004), "The european CORINE Land Cover 2000 project", *Proceedings of XXth Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 12-23 July 2004, Istanbul, Turkey*.
- FAO FRA 2000 Programme Staff (2000), "Forest Cover Mapping & Monitoring with NOAA-AVHRR & other Coarse Spatial Resolution Sensors", *Working Paper 29, Forest Resources Assessment Programme, Rome*.
- Lotsch A., (1996), "Biome level classification of land cover at continental scale using decision trees", *Thesis, Boston University*
- Regione Piemonte (1998), "Telerilevamento e analisi del Territorio – Ottenere informazioni sulla copertura delle terre con classificazione semi-automatica di immagini da satellite", *Quaderno realizzato a cura del Settore Sistema Informativo Territoriale e del CSI-Piemonte (<http://www.regione.piemonte.it/sit/quad/scarico/dwd/impa3.pdf>)*.
- Spanner M. A., Pierce L.L., Running S. W. and Peterson D. L. (1990), "The seasonality of AVHRR data of temperate coniferous forests: relationships with Leaf Area Index", *Remote Sens. Environ.*, 33 : 97-112.
- Running S. W., Loveland T. R., Pierce L. L., Nemani R. R., Hunt E. R., (1995), "A remote sensing classification logic for global land cover analysis", *Remote Sens. Environ.*, 51:39-48
- Tampellini L., Eikvil L., Malnes E., Ober G., Power D., Strozzi T., Vescovi F. D., Vincent., (2005), "EO-Hydro: Earth Observation Data for Hydropower Plant Management". *Proceedings to 31st ISRSE, St. Petersburg, Russia*.