

Utilizzo di dati satellitari a media risoluzione per la definizione del grado di copertura in ambienti forestali.

(¹) Fabio Giannetti, (¹) Alessandro Canavesio.

(¹) I.P.L.A. S.p.A., C.so Casale 476, 10132, Torino; tel. 011/89.98.933, fax 011/89.89.333, e-mail: giannetti@ipla.org

Riassunto

In ambito forestale la definizione di bosco è basata su alcuni parametri fondamentali fra i quali il grado di copertura delle chiome, per il quale viene fissata una soglia minima superata la quale la copertura può essere considerata bosco. Al fine di identificare tale soglia ci si pone l'obiettivo di sperimentare l'utilizzo di semplici strumenti basati su dati satellitari con l'intento di automatizzare il processo. Nel presente lavoro sono stati utilizzati indici di vegetazione derivati da immagini Landsat ed è stata verificata la correlazione rispetto al grado di copertura fotointerpretato in una serie di punti di controllo. I risultati preliminari ottenuti sono stati quindi stratificati per categoria forestale, forma di governo e stadio di sviluppo del popolamento. Benché tale metodo non abbia portato a correlazioni particolarmente significative si ritiene interessante procedere con ulteriori sviluppi della ricerca.

Abstract

The definition of forest is based on some significant parameters among which a minimal threshold of crown cover is always required. The present research aims at verifying the possible use of satellite images for the quantification of the crown cover density. Vegetation indexes calculated from Landsat images were then correlated to crown cover data derived by aerial photographs interpretation. The preliminary results were then stratified with reference to dominant forest category, stands age and management form. Even if first outputs showed that the retrieved correlations are not particularly significant, can be interesting to go further with the research.

Introduzione

Nelle definizioni di bosco a livello nazionale e internazionale le soglie riguardanti il grado di copertura arborea sono parametri fondamentali per separare gli ambienti forestali dal restante territorio. Ad esempio la definizione proposta dal FAO Forest Resource Assessment del 2000 e utilizzata nell'ambito del recente Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC) fa riferimento ad una soglia di copertura minima del 10% per il bosco e del 5% per le altre aree boscate. La metodologia utilizzata per la realizzazione dell'inventario si è avvalsa di una tecnica mista basata su fotointerpretazione di fotografie aeree per la stima della copertura e la discriminazione dunque delle aree boscate.

In letteratura è possibile trovare numerose applicazioni dei dati telerilevati a questo scopo (Carreiras et al., 2006). In particolare è stata dimostrata l'esistenza di una correlazione tra indici di vegetazione, in particolare dell'NDVI, con la densità di copertura (Cook et al., 1989). I problemi principali per il loro utilizzo si pongono in relazione alla saturazione dell'NDVI mediamente verificata al di sopra del 50% e alla possibilità di ottenere una correlazione sufficiente al fine di spazializzare la variabile (Duncan et al., 1993). Le tecniche utilizzate si basano in genere sulla regressione statistica tra i valori dell'attributo analizzato e le variabili ausiliarie derivate da immagini telerilevate. Nel caso in cui l'analisi è relativa ad un'unica variabile, ad esempio un indice di vegetazione, si ottiene una regressione semplice e per avere risultati di una certa precisione si

richiede di ottenere una correlazione abbastanza stretta (Coefficiente di correlazione di Pearson $> 0,7$) con un campione di una certa numerosità ed almeno superiore a 30 (Chirici e Corona, 2006). In questo lavoro abbiamo sperimentato l'uso di due indici NDVI (Rouse et al., 1974) e NDI (McNairn e Protz, 1993) ricavati da immagini Landsat 7 di tre diverse fasi stagionali. Abbiamo quindi analizzato le correlazioni risultanti tra i valori degli indici stimati su di un intorno dei punti di campionamento e il valore di copertura arborea determinato tramite fotointerpretazione considerando sullo stesso intorno.

Area di studio

L'area è localizzata sull'Appennino Piemontese, in particolare nel Parco Naturale regionale delle Capanne di Marcarolo, scelto per la presenza di una varietà di ambienti forestali di carattere appenninico e mediterraneo con caratteristiche e grado di copertura diversificati.

Il territorio oggetto di studio è caratterizzato prevalentemente dall'affioramento di rocce cristalline; comprende infatti ampie parti di basamento pre-cenozoico, rappresentato dal Gruppo di Voltri (rocce gabbriiche, serpentinitiche, calcescisti e prasiniti) e dalla Zona Sestri-Voltaggio (ofioliti). È importante notare che quest'ultima è associata alla cosiddetta "Linea Sestri-Voltaggio", fascio di lineamenti strutturali a carattere prevalentemente fragile con andamento circa N-S che convenzionalmente viene assunto come limite fra la catena alpina e la catena appenninica.

A livello di categorie forestali di riferimento si nota l'assoluta preponderanza dei querceti di rovere (60% della superficie forestale), prevalentemente nella loro forma tipica (75% dei querceti di rovere). Seguono i rimboschimenti, sia di pino nero sia di altre specie (8% e 7% della superficie forestale rispettivamente). I rimboschimenti sono stati eseguiti in epoche diverse, come risulta sia dai dati catastali (superfici già censite come pascoli, attualmente rimboschite) sia dai dati dell'inventario forestale. In misura minore sono presenti anche i castagneti (10%).

L'area è stata storicamente soggetta a diversi periodi di sfruttamento forestale. L'utilizzazione del bosco si è manifestata fin dal medioevo con carattere prevalentemente distruttivo con una conseguente contrazione della superficie boscata che raggiunse il massimo nel diciottesimo secolo. Al mutare delle tendenze socio-economiche, si verificò un'inversione di tendenza e la pastorizia terminò di essere il principale cespite di guadagno per molte popolazioni locali che si rivolsero ad altre attività, prevalentemente legate all'industria ed al commercio. La ridotta pressione antropica sulle formazioni boschive lentamente causò il riapproprio di molte aree abbandonate. Inoltre, a partire dagli anni venti, alcune porzioni di territorio, prevalentemente di origine demaniale, vennero destinate al rimboschimento. Il bosco infine, nonostante vi fossero già segni di spopolamento ed esodo verso la pianura, conobbe forti utilizzazioni nel periodo bellico e nel secondo dopoguerra. Attualmente il territorio rappresenta un ambiente di rilevante valore naturalistico, meritevole di tutela per la presenza di specie vegetali ed animali interessanti, sia a livello comunitario che regionale. L'elevato valore naturalistico mantenutosi nella valle è anche legato all'orografia tormentata, all'asprezza delle pendici ed al clima.

Attualmente nell'area è in fase di redazione il Piano Forestale Aziendale (PFA), che rappresenta l'evoluzione del Piano d'assessamento forestale di cui conserva tutte le caratteristiche prescritte dalle norme vigenti oltre ad approfondire ulteriori elementi conoscitivi finalizzati all'attuazione una gestione forestale sostenibile, in armonia con gli impegni internazionali e con il D.L. n. 227/01 recante "Indirizzi per la modernizzazione del settore forestale".

Materiali e Metodi

Nel presente lavoro è stato usato un data set di tre immagini satellitari Landsat ETM+, rispettivamente del 1 maggio 2000, 22 settembre 2000 e del 21 giugno 2001, al fine di evidenziare le diverse risposte fenologiche della vegetazione.

Le immagini Landsat TM sono state ortorettificate usando un DEM con una risoluzione di 50 m ed applicando un modello di correzione geometrica basato su un'equazione di collinearità. In seguito le tre immagini sono state co-registrate al fine di garantirne una perfetta sovrapposizione (De Natale et

al., 2005). Per ciascuna immagine sono stati quindi calcolati gli indici vegetazionali NDVI e NDI corrispondenti alla differenze normalizzate tra le bande 4 e 3 (Infrarosso vicino e rosso) per l'NDVI e tra le bande 4 e 5 (Infrarosso vicino e infrarosso a onde corte) nel caso dell'NDI.

I punti di campionamento necessari per le verifiche a terra fanno riferimento ai rilievi condotti nell'ambito di uno studio per l'inventario forestale regionale effettuato nella stessa stagione di ripresa delle immagini (2000-2001). I dati sono stati opportunamente integrati con altri rilevati da fotointerpretazione su punti estratti in maniera casuale. Il grado di copertura è stato stimato in un'area di raggio circolare di 30 metri centrata su ciascun punto. I punti sono stati poi stratificati secondo la categoria forestale, la forma di governo e lo stadio di sviluppo del popolamento derivati dalla carta forestale dell'area in oggetto, redatta nell'ambito del Piano Forestale Aziendale; anche se non coeva, tale informazione è comunque ritenuta di sufficiente precisione anche perché tali ambienti sono caratterizzati da suoli molto superficiali, con scarsa capacità di ritenuta idrica, poco fertili e conseguentemente con accrescimenti medi molto limitati. Si riporta, a titolo informativo, una tabella con le informazioni dendrometriche dei Querceti di rovere a *Physospermum cornubiense* dei substrati silicatici dell'Appennino presenti nell'area

Piante ad ettaro [n°/ha]	1102
Piante nate da seme o affrancate [%]	43
Polloni [%]	57
Numero ceppaie/ha	279,7
Area basimetrica [m ² /ha]	15,2
Diametro medio [cm]	13,3
Provvigione [m ³ /ha]	62,4
Provvigione delle piante da seme [%]	63
Provvigione delle piante da pollone [%]	37

Tabella 1 – parametri dei Querceti di rovere del Parco Naturale delle Capanne di Marcarolo

I dati forestali sono stati quindi correlati con i valori degli indici di vegetazione NDVI e NDI. I valori di questi ultimi sono stati mediati su tutti i pixel intercettati (per più del 50 % della superficie) dal cerchio di 30 metri utilizzato per l'analisi della copertura. L'associazione di questi valori con i parametri forestali è stata fatta con coefficienti di correlazione lineari, l'R² o coefficiente di determinazione, che misura la bontà dell'adattamento della regressione lineare stimata ai dati osservati e l'indice di Pearson, definito come la loro covarianza divisa per il prodotto delle deviazioni standard delle due variabili.

CAMPIONE/SOTTOCAMPIONE		N° Punti
Superficie boscata complessiva		200
Categoria forestale	Querceto di rovere	56
	Rimboschimento	37
Assetto	Ceduo	75
	Fustaia	36
	Senza gestione attiva	59
Stadio di sviluppo	Adulto/invecchiato	41
	Giovane	30

Tabella 2 – numero di punti utilizzati per l'analisi riferito ai diversi sottocampioni

Risultati

La tabella 3 mostra i risultati dei diversi indici rispetto alle date delle immagini ed alle stratificazioni previste. In prima analisi sono state considerate diverse categorie forestali, definite come unità puramente fisionomiche basate della dominanza di una o più specie costruttrici. L'assetto è invece definito in base alla prevalenza di piante da seme rispetto a quelle da pollone; aree non raggiungibili dall'uomo e con evidenti segni di abbandono da lungo periodo sono state classificate come "senza gestione attiva". Lo stadio di sviluppo è stato classificato sulla base di un accorpamento dei Tipi strutturali, che prevedono una analisi complessiva di assetto e stadio di sviluppo realizzata ai fini della redazione del PFA.

CAMPIONE		MAGGIO				GIUGNO				SETTEMBRE			
		NDI		NDVI		NDI		NDVI		NDI		NDVI	
		P.	R ²	P.	R ²	P.	R ²	P.	R ²	P.	R ²	P.n	R ²
Superficie boscata complessiva		-0,513	0,263	0,471	0,222	-0,743	0,553	0,659	0,434	-0,736	0,638	0,679	0,548
categoria forestale	Querceto di rovere	-0,543	0,295	0,436	0,190	-0,799	0,639	0,718	0,515	-0,703	0,649	0,683	0,461
	Rimboschimento	-0,588	0,346	0,595	0,355	-0,711	0,506	0,626	0,392	-0,806	0,495	0,679	0,467
Assetto	Ceduo	-0,356	0,115	0,338	0,127	-0,421	0,177	0,226	0,051	-0,486	0,236	0,330	0,109
	Fustaia	-0,609	0,360	0,600	0,371	-0,719	0,518	0,628	0,394	-0,714	0,510	0,696	0,484
	Senza gestione	-0,632	0,400	0,532	0,283	-0,603	0,364	0,519	0,270	-0,616	0,379	0,505	0,255
Stadio di sviluppo	Adulto/invecchiato	-0,468	0,192	0,439	0,219	-0,684	0,195	0,441	0,468	-0,709	0,503	0,438	0,192
	Giovane	-0,513	0,263	0,632	0,399	-0,861	0,741	0,812	0,659	-0,866	0,749	0,831	0,690

Tabella 3- Indici di correlazione di Pearson (P.) e R² calcolati per date e per i diversi campioni

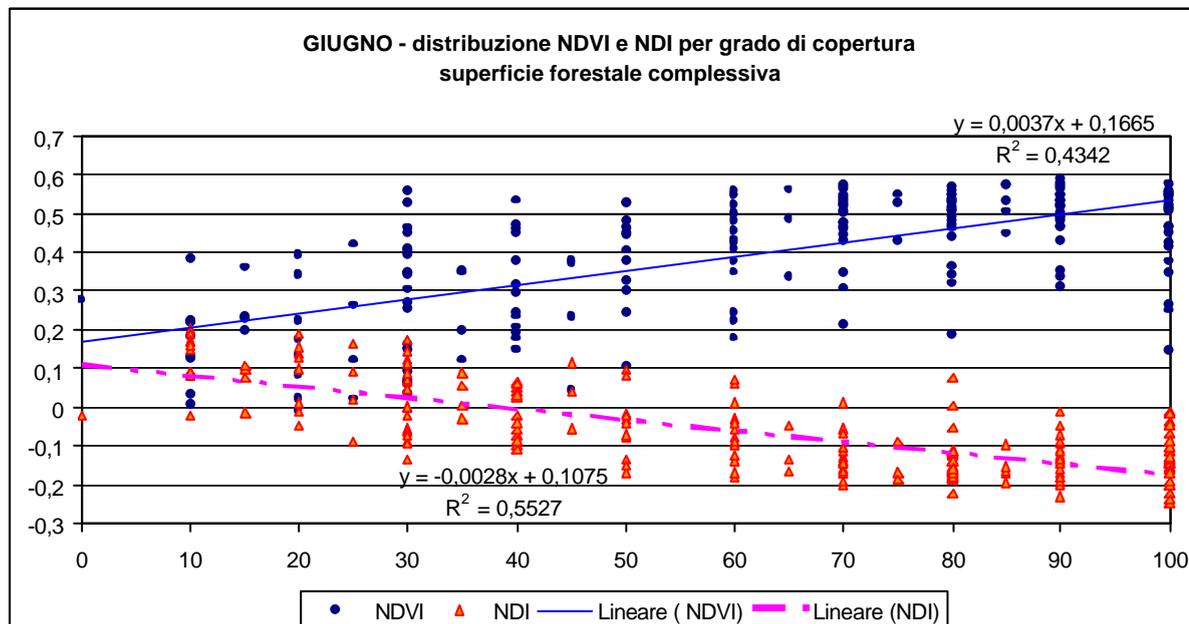


Figura 1: Andamento dei due indici NDVI e NDI con relativi parametri di correlazione lineare riferito a tutto il campione (Superficie boscata complessiva) per l'immagine di giugno 2001.

Nei grafici sono riportati i due indici rispetto al grado di copertura, con le relative rette di regressione lineare ed i dati relativi a R^2 . Il dato di giugno, pur non essendo il migliore dal punto di vista del coefficiente R^2 , mostra comunque un valore del coefficiente di Pearson elevato (-0,743).

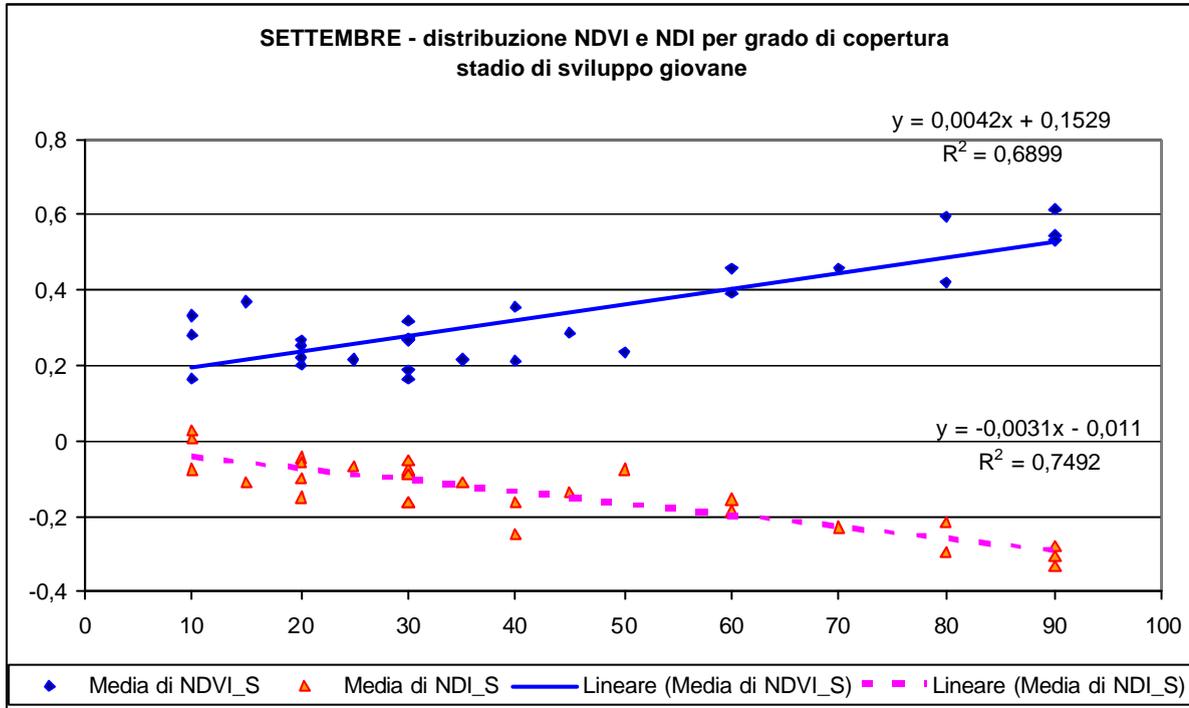


Figura 2: Andamento dei due indici NDVI e NDI con relativi parametri di correlazione lineare riferito al sottocampione di punti per lo stadio di sviluppo giovane dell'immagine di settembre.

Discussione e conclusioni

I risultati ottenuti, ampiamente preliminari, mostrano innanzitutto una netta differenza in funzione della stagione di ripresa. In particolare l'immagine di inizio maggio risulta la peggiore e lo scarso esito è probabilmente da mettere in relazione con il fatto che la stagione vegetativa è in una fase troppo precoce. Inoltre è presumibile un influsso non secondario da parte dello strato erbaceo ed arbustivo, soprattutto nelle aree soggette a rimboschimento ove sono frequenti le fallanze e gli accrescimenti risultano molto stentati. La correlazione sul totale della superficie forestale risulta generalmente piuttosto bassa con un esito leggermente migliore per l'immagine di settembre rispetto al dato di giugno.

Tra gli indici utilizzati, DVI è sempre migliore di NDVI, sia per le diverse date che per i vari sottocampioni analizzati; da questo punto di vista sembra essere importante l'utilizzo della banda 5 nel dominio dell'infrarosso ad onde corte che si correla significativamente allo stato idrico delle coperture.

Per quanto riguarda i sottocampioni analizzati i migliori risultati in assoluto si ottengono sui popolamenti giovani mentre quando si tratta di boschi maturi, sia per fustaie sia per cedui che raggiungono coperture generalmente superiori al 50%, i coefficienti di correlazione descomponono.

Le correlazioni ottenute sono solo in parte incoraggianti ma si considera comunque che, in base a questi risultati preliminari, il metodo sia potenzialmente interessante soprattutto per un valutazione del grado di copertura nei cedui giovani in cui tale stima può avere applicazioni interessanti anche dal punto di vista della valutazione dell'assorbimento dell'anidride carbonica.

Le prospettive di prosecuzione della ricerca riguardano alcune possibili sperimentazioni quali ad esempio l'uso di altri dati satellitari a diversa risoluzione (Aster, Spot) e di indici di vegetazione diversi per la verifica della correlazione con il grado di copertura.

E' possibile anche verificare la correlazione non a livello di pixel ma attuando una segmentazione preliminare dell'immagine in aree di copertura forestale omogenea ed associando a ciascuna di questi oggetti i valori medi degli indici di vegetazione. Ulteriore possibilità è di impiegare uno strumento con logica di tipo fuzzy per classificare l'immagine in principali categorie di uso del suolo e di utilizzare quindi il grado di appartenenza alla classe bosco come stimatore del grado di copertura.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano Flora De Natale e Caterina Gagliano del CRA-ISAFa di Trento per la preziosa e paziente revisione del lavoro.

Bibliografia

- Carreiras João M.B., Pereira José M.C. and Pereira João S. (2006) "Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing". *Forest ecology and management*, Vol. 223, Marzo 226; pp. 45-53
- Chirici G. e Corona P. (2006) Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione nel rilevamento delle risorse forestali. *Aracne*: pp.186.
- Cook, E.A., Iverson, L.R., Graham, L.R., (1989) "Estimating forest productivity with Thematic Mapper and biogeographical data". *Remote Sensing of Environment*, 28, pp. 131-141.
- Duncan, J., D. Stow, J. Franklin, and A. Hope, (1993). "Assessing the relationship between spectral vegetation indices and shrub cover in the Jornada Basin, New Mexico", *Int. J. Remote Sensing*, 14(18):3395-3416.
- De Natale F., Floris A., Gasparini P., Scrinzi G., Tabacchi G., Tosi V., (2005) "The new italian national forest inventory: a multi-source and multi-resource survey". *Forest in the Balance: Linking Tradition and Technology*. XXII IUFRO World Congress, Brisbane 8-13th August 2005. *The International Forestry Review*, Vol 7(5), 2005: 194-195
http://www.isafa.it/scientifica/pubblicazioni/pu_infc/Correl.html#IUFRO
- McNairn, H. and Protz, R. (1993). Mapping corn residue cover on agricultural fields in Oxford County, Ontario, using Thematic Mapper. *Can. J. Remote Sens.* 19:152-159.
- Rouse J.W., R.H. Haas, J.A. Shell, D.W. Deering and J.C. Harlan (1974) Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Final Report, Type III, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 1974.