

ANALISI COMPARATIVA DI METODI PARAMETRICI E NON PARAMETRICI PER LA SPAZIALIZZAZIONE DI ATTRIBUTI FORESTALI ATTRAVERSO IMMAGINI TELERILEVATE

Ugo CHIAVETTA , Gherardo CHIRICI, Marco MARCHETTI, Marco OTTAVIANO

Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università del Molise, Contrada Fonte Lappone, Isernia – 86090 Pesche, email: ecogeofofor@unimol.it

Riassunto

La gestione degli ambienti naturali e semi-naturali esige una specifica attività di monitoraggio volta all'acquisizione di una serie di parametri quali-quantitativi di supporto alla identificazioni delle più idonee scelte gestionali.

In particolare gli ecosistemi forestali, per il loro prezioso valore multifunzionale, formalmente riconosciuto in ambito nazionale e internazionale, necessitano di un complesso e crescente insieme di informazioni descrittive. Agli attributi classici, quali provvigione e area basimetrica, se ne sono aggiunti altri connessi ad aspetti più ecologici e ambientali. Gli inventari forestali, per la loro natura campionaria, forniscono informazioni precise ma spazialmente non continue di tali attributi. Una gestione forestale sostenibile non può invece prescindere dalla strutturazione territoriale e spazialmente continua di tali dati. Negli ultimi anni numerose esperienze scientifiche hanno indirizzato la ricerca verso lo studio delle possibili relazioni tra dati rilevati a terra e dati acquisiti da immagini satellitari multispettrali. La modellizzazione di tali relazioni permette di estendere i dati inventariali acquisiti a terra anche a porzioni di territorio esterne al campione acquisito. In questo lavoro sono posti a confronto metodologie di spazializzazione di dati inventariali tramite approccio parametrico e non parametrico. In particolare sono presentati e discussi i risultati ottenuti nella spazializzazione di attributi biometrici forestali acquisiti su base inventariale nella Comunità Montana "Alto Molise" - IS tramite immagini SPOT 5 e Landsat 7 ETM+ utilizzando sia un modello regressivo lineare multivariato, sia un classificatore basato sull'algoritmo di *k-Nearest Neighbor*.

Abstract

Natural and semi-natural ecosystems management needs specific monitoring activities in order to assess qualitative and quantitative parameters useful to support decision-making processes.

Forest ecosystems, due to their specific multifunctional relevance, also stated by international processes, needs an increasing amount of geographically continuous information. Ecological and environmental variables have to be included in monitoring activities together with traditional ones, such as wood biomass, basal area and tree density. Forest inventories, since are based on sample based, are able to provide spatially non-continuous information.

In the last decade research activities focused on the possible relationship between field data and remote sensed information acquired by satellite multispectral imagery. Such relationships are frequently too quick to be modeled with parametric regressive approaches. In such a context non-parametric methods are preferred.

The present paper deals on the comparison between accuracy performances of parametric and non-parametric methods for spatialising traditional forest variables (basal area, growing stock and number of trees). Field data were acquired in the forest inventory of Comunità Montana "Alto

Molise" (IS) remotely sensed data are SPOT5 and Landsat 7 ETM+ imagery. Tested methods are a traditional parametric linear regressions and a non-parametric *k*-Nearest Neighbor algorithm.

Introduzione

A seguito delle Conferenze Ministeriali sulla protezione delle foreste (Strasburgo, 1990; Helsinki, 1993; Lisbona 1998, Vienna, 2003) gran parte delle nazioni europee si sono impegnate a collaborare nella raccolta di dati e nella produzione di rapporti periodici per la valutazione del livello di Gestione Forestale Sostenibile (GFS). Anche negli incontri dell'*Intergovernmental Panel on Forests* (IPF) del *Committee for Sustainable Development* (Helsinki, 1996; New York, 1997; Ginevra, 1998) è stata ripetutamente sottolineata la necessità di un'adeguata valorizzazione delle potenzialità offerte dalle tecnologie informative (quali *remote sensing*, *GIS*, *on-line information systems*) per ottenere e distribuire informazioni sugli aspetti e sui fattori chiave della gestione forestale.

La pianificazione di una gestione effettivamente sostenibile degli ecosistemi forestali necessita, infatti, di una mole di informazioni territoriali di elevato dettaglio che, nella maggior parte dei casi, viene derivata tramite metodi di rilievo a terra. I nuovi strumenti di *earth observation*, integrati con avanzate tecniche di modellizzazione spaziale e a tecniche di rilevamento di informazioni a terra su base campionaria, possono fornire una vasta gamma di informazioni, con livelli di risoluzione spaziale, tematica e temporale assai diversificati (Barbati et al., 2000; Chirici et al., 2002; Chirici e Corona, 2006)

I parametri forestali a livello di popolamento, come area basimetrica, provvigione e densità, sono essenziali per supportare le scelte di gestione forestale orientate ai paradigmi della sostenibilità e della multifunzionalità (Lu et al, 2004). L'inventariazione tradizionale di questi parametri attraverso il rilievo in campo è oneroso. In questi casi il telerilevamento può costituire uno strumento utile per ridurre la mole di informazioni da raccogliere a terra o per aumentare l'accuratezza delle stime (per esempio come fonte informativa utile alla stratificazione in campo inventariale) o per estendere spazialmente le stime anche al di fuori delle unità campionarie (spazializzazione).

Recentemente molte ricerche hanno posto l'attenzione sull'analisi delle relazioni tra risposte spettrali e parametri forestali attraverso metodi parametrici di tipo regressivo o con metodi non parametrici quali *k*-Nearest Neighbor o reti neurali (Franco-Lopez et al., 2001; De Wasseige e Defourny, 2002; Cohen et al., 2003; Drake et al., 2002, 2003; Foody et al., 2003).

Il presente lavoro ha lo scopo di illustrare il confronto tra approcci diversi nella spazializzazione degli attributi forestali acquisiti con approccio inventariale attraverso l'uso di algoritmi parametrici e non-parametrici applicati ad immagini satellitari SPOT5 e Landsat 7 ETM+.

Area di studio

Il lavoro è svolto nei boschi della Comunità Montana Alto Molise in provincia di Isernia. In tale area ricadono i territori di 12 comuni per una superficie complessiva di circa 40000 ha.

Il territorio in esame presenta un'orografia non eccessivamente accidentata con altitudini che vanno dagli 800 ai 1746 m s.l.m. di Monte Campo.

Il clima dell'Alto Molise è caratterizzato dalla quasi totale assenza di mesi secchi, la temperatura media annua è di 8-10°C, con una piovosità pari a 900-1100 mm annui.

Le caratteristiche fitoclimatiche e geomorfologiche assieme a un'intensa utilizzazione delle risorse forestali hanno contribuito alla creazione in quest'area di un mosaico articolato di tipologie forestali e di uso del suolo. I boschi prevalenti nell'area di studio sono: faggete, abetine (per lo più miste a cerro e faggio), querceti misti a prevalenza di cerro, querceti misti di caducifoglie mesofile, querceti termofili a prevalenza di roverella e rimboschimenti di pino nero.

Materiali e metodi

I dati rilevati provengono da un inventario forestale realizzato nell'area di studio attraverso la collaborazione tra Ministero per la Tutela dell'Ambiente e del Territorio, l'Istituto Nazionale di

Economia Agraria e il Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio dell'Università del Molise.

Il disegno campionario è di tipo sistematico non allineato: le unità campionarie sono posizionate casualmente all'interno della maglia quadrata di 1 km di lato.

I rilievi a terra sono stati realizzati in un'area di saggio di forma circolare con un raggio di 15 m per ogni unità campionaria. In formazioni forestali prevalentemente governate a ceduo la misurazione degli attributi dei soli polloni è avvenuta in una sotto-area circolare avente raggio di 7,5 m.

Il centro di ogni area di saggio è stato georeferenziato in campo con GPS attraverso il metodo della correzione differenziale e le coordinate corrette sono state inserite in un database geografico.

Per ogni pianta di ogni area di saggio è stato misurato il diametro e ne è stata rilevata la specie.

L'altezza è stata misurata su un decimo delle piante cavallettate. Per ogni unità campionaria sono stati derivati i valori di densità (in termini di numero di alberi a ettaro), area basimetrica e provvigione legnosa (Tabella 1). Per la densità dei cedui è stata considerata la somma di matricine e polloni. Per il calcolo della provvigione sono state costruite le curve ipsometriche raggruppando le specie in conformità con le tipologie forestali dell'Inventario Forestale Nazionale del 1985 (IFNI 1985). Le curve ipsometriche sono state utilizzate per derivare l'altezza di ogni singola pianta al fine di applicare le tavole di cubatura a doppia entrata di IFNI 85.

Tabella 1. Elenco degli attributi oggetto dell'elaborazione, valori medi, range di variazione e variabilità.

Attributo	Unità di misura	N AdS	Minimo	Massimo	Media	Deviazione Standard
Densità delle piante arboree	n/ha	99	14	11558	1986.3739	2234.2737
Provvigione per ettaro	m ³ /ha	99	0.6726	1317.6658	187.9134	183.5734
Area Basimetrica per ettaro	m ² /ha	99	0.3111	160.2956	23.6839	20.2346

N AdS = numerosità delle aree di saggio; # = conteggio.

La base di dati utilizzata in questo lavoro è costituita complessivamente da 99 unità campionarie tutte rilevate nella primavera-estate del 2005 (Figura 1).

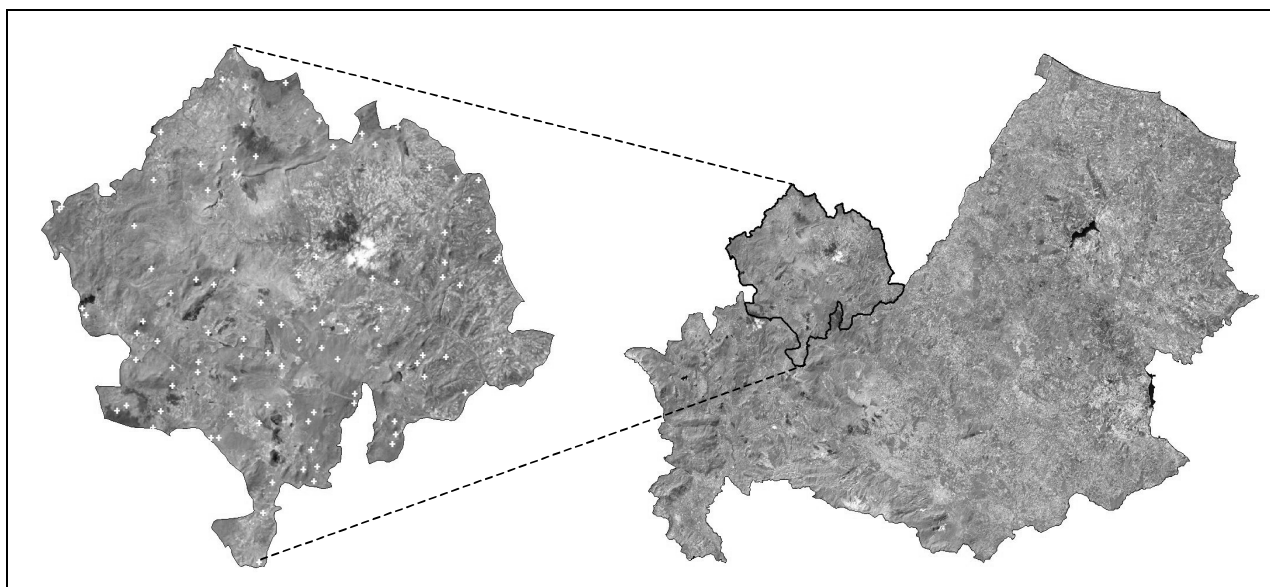


Figura 1: area di studio sulla base dell'immagine Landsat 453 con la dislocazione dei 99 punti inventariali utilizzati nella sperimentazione.

Per l'area di studio è stata acquisita un'immagine SPOT5 del 24/06/2003 e una Landsat 7 ETM+ del 18/08/2000.

Delle immagini ortorectificate sono state utilizzate tutte le bande tranne il canale termico Landsat. Per ognuno dei 99 punti inventariali sono state estratte le medie dei valori di *digital number* dei pixel delle bande delle due immagini per un intorno geografico quadrato intorno al punto inventariale avente lato pari a 30, 150 e 210 metri. E' stata inoltre testata l'estrazione dei valori del solo pixel corrispondente alla coordinata acquisita con GPS.

Si sono quindi generati due set di dati in forma di matrici una per i dati Landsat e una per i dati SPOT. Entrambi i set sono costituiti da 99 righe (una per ognuna delle unità campionarie) e hanno tre colonne per ognuna delle variabili dipendenti indagate (densità, area basimetrica e provvigione). La matrice per i dati Landsat ha poi 24 colonne per le variabili indipendenti costituite da ognuna delle 6 bande multispettrali utilizzate e per ognuna delle 4 modalità di estrazione delle firme spettrali testate. La matrice dei dati SPOT ha invece 16 colonne (4 bande per 4 modalità di estrazione).

Ciascuna matrice è stata separatamente analizzata attraverso due approcci, uno parametrico ed uno non-parametrico, al fine di studiare le relazioni tra le variabili dipendenti (separatamente i tre attributi forestali indagati) e quelle indipendenti (i valori spettrali estratti). Per l'approccio parametrico è stata usata una regressione lineare multivariata con metodo di selezione delle variabili indipendenti di tipo *backward*. Per l'approccio non parametrico è stato utilizzato un algoritmo *k-Nearest Neighbor* basato sulla distanza di *Mahalanobis* (Maselli et al., 2005; Travaglini et al., 2005).

Per la valutazione dell'accuratezza delle stime è stato scelto l'indice di correlazione lineare di Pearson (r). L'indice è calcolato, nel caso del modello parametrico, tra i valori veri misurati a terra nei 99 punti inventariali e le stime generate con i metodi testati. Nel caso del metodo non-parametrico l'indice di correlazione è calcolato attraverso il metodo *leave-one-out cross validation*.

Risultati e conclusioni

L'analisi dei risultati (Tabella 2) ha dimostrato una netta superiorità dell'approccio non-parametrico rispetto a quello parametrico, almeno per il set di dati disponibili e nelle condizioni presenti nell'area di studio. Le finestre di acquisizione dei dati spettrali che hanno permesso di ottenere i risultati migliori sono generalmente quelli basati su finestre di 90 x 90 metri o di 150 x 150 metri, sia per i dati SPOT che per quelli Landsat.

Le prove dimostrano una migliore accuratezza delle stime sulla base delle immagini Landsat rispetto a quanto ottenuto con i dati SPOT. Nonostante la distanza tra il rilievo e la data di acquisizione dell'immagine sia di 5 anni per il Landsat e di solo 2 anni per SPOT. Questo risultato è probabilmente legato al maggior numero di bande spettrali disponibili del dato Landsat rispetto a quello SPOT (e quindi di variabili indipendenti).

I risultati evidenziano inoltre, come atteso anche dall'analisi della letteratura, una più significativa relazione dei dati telerilevati con i valori di provvigione legnosa e, in seconda battuta di area basimetrica, rispetto ai valori di densità.

I risultati ottenuti dimostrano che il metodo *k-Nearest Neighbors* può essere operativamente utilizzato per la derivazione di variabili forestali sulla base di immagini telerilevate multispettrali.

È bene sottolineare che le prove effettuate sono solo dei test statistici preliminari a una vera e propria spazializzazione delle variabili stesse. Questa fase di test permette però di orientare il processo finale di spazializzazione che verrà realizzato su tutti i pixel dell'immagine. È plausibile comunque attendersi dalla validazione finale della spazializzazione valori di accuratezza prossimi a quelli qui presentati.

Nell'uso dei dati spazializzati con questi metodi è comunque importante sottolineare la necessità di evitare l'uso dei singoli valori stimati pixel per pixel, essi possono infatti essere affetti da errori di stima anche molto considerevoli. Tali stime potranno invece essere utilizzate per gruppi di pixel.

Tabella 2. Performance (espressa dall'indice di correlazione di Pearson) dei modelli parametrici e non-parametrici nella predizione delle diverse variabili forestali indagate. L'ampiezza della finestra di estrazione delle firme spettrali è espressa in pixel. Si noti che le immagine Landsat hanno pixel di 30 m e quelle SPOT di 10 m.

Metodo	Variabile dipendente	<i>k</i>	Satellite	Finestra estrazione firme (pixel)	<i>r</i>
Parametrico	Densità		Landsat	1x1	0,462
			Landsat	3x3	0,535
			Landsat	5x5	0,550
			Landsat	7x7	0,527
	Area Basimetrica		Landsat	1x1	0,494
			Landsat	3x3	0,564
			Landsat	5x5	0,538
			Landsat	7x7	0,529
	Provvigione		Landsat	1x1	0,576
			Landsat	3x3	0,584
			Landsat	5x5	0,639
			Landsat	7x7	0,632
	Densità		SPOT	3x3	0,379
			SPOT	9x9	0,466
			SPOT	15x15	0,489
			SPOT	21x21	0,455
	Area Basimetrica		SPOT	3x3	0,414
			SPOT	9x9	0,484
			SPOT	15x15	0,467
			SPOT	21x21	0,455
	Provvigione		SPOT	3x3	0,504
			SPOT	9x9	0,512
			SPOT	15x15	0,584
			SPOT	21x21	0,578
Non Parametrico	Densità	5	Landsat	1x1	0,640
		5	Landsat	3x3	0,708
		4	Landsat	5x5	0,675
		5	Landsat	7x7	0,675
	Area Basimetrica	5	Landsat	1x1	0,603
		4	Landsat	3x3	0,713
		4	Landsat	5x5	0,683
		4	Landsat	7x7	0,641
	Provvigione	4	Landsat	1x1	0,699
		4	Landsat	3x3	0,685
		4	Landsat	5x5	0,798
		4	Landsat	7x7	0,779
	Densità	5	SPOT	3x3	0,569
		4	SPOT	9x9	0,579
		5	SPOT	15x15	0,643
		4	SPOT	21x21	0,603
	Area Basimetrica	4	SPOT	3x3	0,568
		5	SPOT	9x9	0,658
		4	SPOT	15x15	0,592
		4	SPOT	21x21	0,558
	Provvigione	4	SPOT	3x3	0,696
		5	SPOT	9x9	0,699
		4	SPOT	15x15	0,686
		5	SPOT	21x21	0,712

Per esempio nell'ambito dei normali piani di gestione forestale è plausibile l'uso di questa metodologia per la derivazione di stime a livello di particelle forestali, almeno laddove queste abbiano ampiezze almeno dell'ordine dell'ettaro. In questi casi, laddove cioè i valori spazializzati delle variabili forestali siano utilizzate per aree e non per singoli pixel, sarà possibile accompagnare i valori stimati anche con i relativi stimatori di varianza.

Nonostante gli ampi spazi di miglioramento la metodologia appare comunque assai promettente per una sua applicazione operativa a supporto sia della pianificazione che della gestione forestale sostenibile.

Bibliografia

- Barbati A., Corona P., De Natale F., Tosi V., Marchetti M., 200. *Forest remote sensing in Italy in the framework of FRA2000*. In: Zawila-Niedzwiecki T., Branch M. (a cura di), Remote sensing and forest monitoring, EUR 19530, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg: 284-299.
- Chirici G., Corona P., 2006. *Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione nel rilevamento delle risorse forestali*. Aracne editrice, Roma.
- Chirici G., Corona P., Marchetti M., Ricotta C., Travaglini D., 2002. *Esperienze di ricerca sul monitoraggio mediante telerilevamento degli ecosistemi forestali a supporto di una gestione forestale sostenibile*. Rivista italiana di telerilevamento, 24: 69-79
- Cohen W. B., Maersperger T. K., Gower S. T., Turner D. P., 2003. *An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data*. Remote Sensing of Environment 84(4): 561-571.
- De Wasseige C., Defourny P., 2002. *Retrieval of tropical forest structure characteristics from bi-directional reflectance of SPOT images*. Remote Sensing of Environment 83: 362-375.
- Drake J. B., Dubayah R. O., Clark D. B., Knox R. G., Blair J. B., Hofton M. A., Chazdon R. L.; Weishampel J. F., Prince S., 2002. *Estimation of tropical forest structural characteristics using large-footprint lidar*. Remote Sensing of Environment 79(2-3): 305-319.
- Drake J. B., Knox R. G., Dubayah R. O., Clark D. B., Condit R., Blair J. B., Hofton M., 2003. *Above-ground biomass estimation in closed canopy Neotropical forests using lidar remote sensing: factors affecting the generality of relationships*. Global Ecology and Biogeography 12(2): 147-159.
- Foody G. M., Boyd D. S., Cutler M. E. J., 2003. *Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions*. Remote Sensing of Environment 85(4): 463-474.
- Franco-Lopez H., Ek A. R., Bauer M. E., 2001. *Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method*. Remote Sensing of Environment 77: 251-274.
- Franklin
- Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E., 2004. *Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin*. Forest Ecology and Management 198: 149-167.
- Maselli F., Chirici G., Bottai L., Corona P., Marchetti M., 2005. *Estimation of Mediterranean forest attributes by the application of k-nn classifiers to multitemporal Landsat ETM+ images*. International Journal of Remote Sensing, 26(17): 3781-3796.
- Travaglini D., Bertini R., Chirici G., 2005. *Uso di dati telerilevati multispettrali per la stima della massa legnosa tramite metodi di spazializzazione non-parametrici*. Atti della IX conferenza ASITA, 15-18 novembre 2005, Catania: 1963-1968.