

# Nuove proposte per la classificazione pixel oriented di immagini multispettrali

Gianluca TRAMONTANA (\*), Pierluigi PORTA(\*\*), Claudio BELLI(\*\*), Dario PAPALE (\*).

(\*) DISAFRI (Dipartimento scienze dell'ambiente forestale e delle sue risorse), Università della Tuscia  
darpap@unitus.it

(\*\*) Terrasystem s.r.l, Via Pacinotti n.55 (VT), 0761250626 info@terrasystem.it, c.belli@terrasystem.it

## Riassunto

La classificazione *supervised pixel-oriented* di immagini multispettrali costituisce un valido mezzo per la produzione di cartografie tematiche. Spesso però, la distinzione di alcune classi, quali le colture arboree dalla vegetazione naturale, è fortemente condizionata dalla similarità spettrale nonché dalla mancanza di un'informazione sulla distribuzione spaziale. Indici di vegetazione multitemporali, ed immagini elaborate con algoritmi MCE (*Multi criteria evaluation*), hanno consentito di rendere più separabili le colture di nocciolo dalla vegetazione naturale, grazie all'introduzione di informazioni spettrali legate al ritmo fenologico della coltura ed alla sua localizzazione spaziale potenziale, consentendo un miglioramento della classificazione.

## Abstract

*Classification of multispectral images is a powerful tool for thematic mapping production. Distinction of objects, like vegetation type to arboreal plantation, is difficult in supervised pixel-oriented classification, for spectral signature similarity. Multitemporal vegetation indexes, and simple algorithm Multi criteria evaluation, could improve supervised classification, introducing spectral separability information of coltures, in relation to different phenology, and spatial potential presence of objects.*

## Introduzione

La classificazione *supervised pixel-oriented* di immagini multispettrali costituisce un valido mezzo per la produzione di cartografie tematiche; tuttavia i risultati ottenuti utilizzando classificatori che lavorano sia con algoritmi su base statistica parametrica, sia su base non parametrica come le reti neurali artificiali, possono essere affetti da una certa imprecisione condizionata dalla similarità spettrale degli oggetti classificati, ed alla presenza di pixel isolati mal classificati. Per contro i metodi *object-oriented*, in genere più precisi, richiedono *software* specifici, tecnici ben specializzati e preparati, immagini ad alta risoluzione spaziale ed una consistente quantità di dati ancillari, in grado di fornire una certa completezza di informazione sulle classi di uso del suolo. Tali informazioni sono spesso difficili da reperire su vasti comprensori e per particolari aree del pianeta. Relativamente alle classificazioni *pixel-oriented*, applicate per l'individuazione delle colture arboree, caratterizzate da specifiche proprietà fenologiche e da un forte legame con le condizioni stazionali, risultati interessanti, sono stati ottenuti impiegando indici di vegetazione multitemporali e semplici algoritmi MCE (*Multi criteria evaluation*). Si presenta in questo elaborato, un caso di studio che si inserisce nell'ambito di un progetto di Mappatura dei noccioli nel nord della Turchia, lungo la costa del Mar Nero.

## I sistemi di supporto alle decisioni, criteri, e aggregazione.

La teoria delle decisioni, consiste nello studio di logiche, tecniche e modelli, finalizzati a guidare gli operatori verso una scelta razionale, su base numerica, tra diverse alternative. Per ciò che riguarda le elaborazioni GIS, l'analisi decisionale trova applicazione nella pianificazione e gestione delle risorse territoriali, nella soluzione di problemi di conflittualità ambientale o nella rappresentazione

dei caratteri spaziali dei fenomeni socio-economici. La base necessaria per effettuare una decisione è rappresentata dall'insieme dei criteri, attraverso i quali è possibile descrivere un oggetto, in funzione di un obiettivo. In ambiente GIS i criteri vengono valutati mediante funzioni *fuzzy*, le quali, applicate ai *layers* in *input*, ne trasformano i valori originari in altri di appartenenza all'obiettivo, restituiti su una scala limitata e continua compresa tra 0 e 1, oppure a mezzo di maschere *Booleane*.

L'appartenenza complessiva all'obiettivo, ovvero la disponibilità dell'obiettivo, viene determinata aggregando i criteri individuati a mezzo di combinazioni lineari ponderate, che tengono conto della relativa importanza dei criteri. In relazione alla numerosità dei criteri e degli obiettivi presi in considerazione, le procedure di valutazione possono essere monocriterio o multicriterio, monobiettivo, o multiobiettivo. Le procedure multicriterio sono le più frequenti, poiché un obiettivo è sempre legato ad una molteplicità di fattori agenti.

### **Materiali e metodi**

L'elaborato presenta il lavoro svolto su una parte dell'area complessivamente indagata, compresa tra i 29.8° e in 32.04° di longitudine est e i 40.4° ed i 41.54° di latitudine Nord. Le immagini utilizzate sono state:

- LANDSAT TM 5 acquisite il 01/07/2005, con una copertura nuvolosa del 10 %; costituiscono la base di riferimento della classificazione;
- Indici di vegetazione MODIS (prodotto Mod 13), con una risoluzione spaziale di 250 m, acquisiti nel periodo compreso tra gli anni 2003-2005; sono prodotti aggregati a partire da una base dati giornaliera; la periodicità del prodotto è di 16 giorni. Queste immagini, disponibili gratuitamente, sono state utilizzate per l'elaborazione multitemporale;
- DEM realizzato dalla NASA e dall'ente NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), ad una risoluzione spaziale di 90m.
- Immagini ad alta risoluzione consultabili gratuitamente on-line, sul portale *Google Earth*.

Per il campionamento dei punti a terra è stato utilizzato il GPS Mobile Mapper pro, con un errore di qualche metro in modalità *waas*, mentre per l'elaborazioni delle immagini sono stati utilizzati i software *PCI Geomatica 9.1*, *Idrisi Andes*, *Arcview Gis 3.1*, *ArcGis 9.1*, *Google Earth* e *TracMacker*.

### **Raccolta dati**

La raccolta dati su tutta l'area, si è svolta tra il 9/05/2006 ed il 30/05/2006; è stata caratterizzata dal rilievo GPS di *training-sites* e *test-sites*, e realizzazione di un relativo database; i punti campionati hanno riguardato siti a nocciolo ed ad altra classe di vegetazione (bosco di latifoglie, frutteti, agrario ecc.) e punti topografici, per un totale (su tutta l'area indagata) di 826 elementi campione; ad ogni punto sono state associate informazioni quali: quota, pendenza, esposizione, classe di uso del suolo, copertura della vegetazione, e nel caso specifico dei nocciolati dati culturali quali: il sesto d'impianto, il numero di polloni per pianta, l'età della coltura *etc*.

La base dati utilizzata per la classificazione, è stata ampliata a mezzo di un campionamento *random* di punti sul portale *Google-earth*, per un totale di circa 1000 elementi campione per l'elaborazione qui presentata (circa 2000 per tutta l'area).

### **Elaborazioni preliminari delle immagini.**

Le immagini LANDSAT sono state ortoproiettate nel sistema di riferimento UTM-36n con datum WGS84; la correzione geometrica è stata migliorata sulla base dei punti topografici raccolti a terra; è stata infine effettuata la correzione atmosferica applicando il metodo del *Dark Object*.

Gli indici NDVI Mod 13, sono stati proiettati nel sistema di riferimento scelto, con il software *MODIS reprojection tool* e mascherati per i valori anomali a mezzo dei codici binari *Quality-check* forniti dal produttore. È stata fatta un'analisi delle serie temporale degli indici NDVI estratti dai siti

puri alla risoluzione di 250 m, al fine di vedere se ed in quali periodi dell'anno il nocciolo risultava separabile dalle altre classi attraverso questo indice di vegetazione. Sono stati individuati tre periodi stagionali significativi, a partire dai giorni giuliani, 65, 225 e 305, per una durata di circa 30-45 giorni; per ognuna di queste tre finestre è stata calcolata un'immagine di sintesi corrispondente alla media delle immagini ricadenti nei suddetti intervalli temporali per gli anni disponibili nella serie. Le immagini risultanti sono state utilizzate nelle prove di classificazione multitemporale.

### Costruzione ed aggregazione dei criteri nel sistema MCE.

Sono stati utilizzati per la definizione dei criteri: il modello digitale delle quote, delle pendenze, la distanza dal mare e l'indice di vegetazione NDVI. Lo scopo è stato quello di individuare, per ogni classe, l'area potenziale in funzione di uno o più fattori stazionali, e valutare, per pixel, il grado di appartenenza alla classe. L'analisi, condotta singolarmente per ogni classe, è risultata quindi multicriterio monobbiettivo. Per ogni classe di uso del suolo, relativamente ad ogni criterio, è stata determinata la distribuzione di frequenza relativa condizionata al fine di comprendere l'azione di ogni fattore sulla distribuzione dei siti; i criteri correlati sono stati elaborati con semplici algoritmi (Figure 2 e 3) per la costruzione dei *fuzzy-set* ed utilizzati per la definizione di maschere booleane. Ulteriori maschere sono state fotointerpretate dalle immagini *Google Earth*.

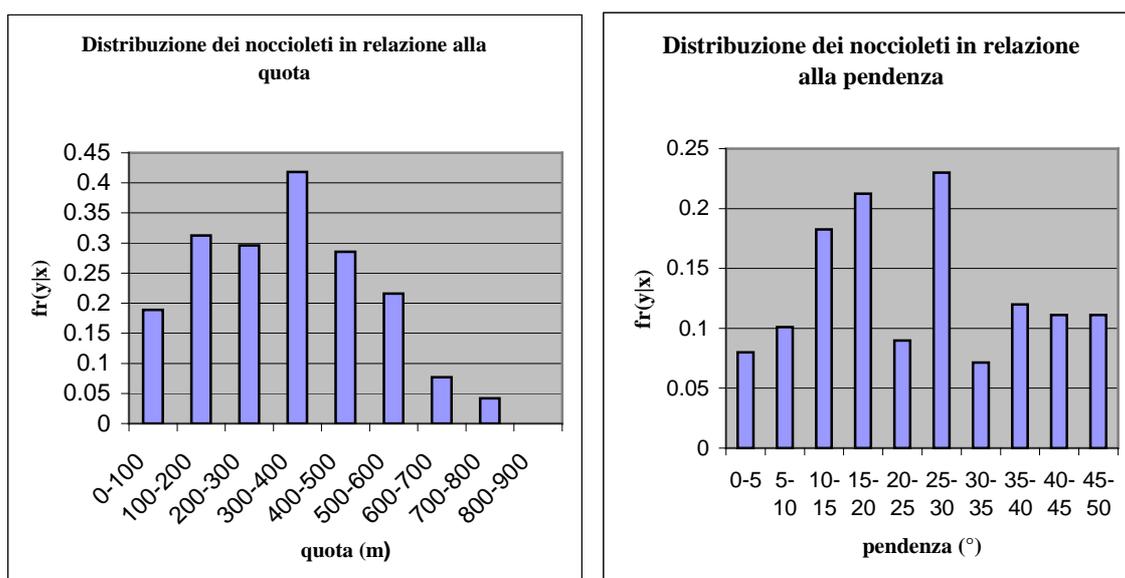


Figura 1: distribuzione dei siti a nocciolo in funzione delle quote e delle pendenze; quest'ultimo fattore risulta poco determinate nella distribuzione nocciolieti.

	Increasing		Decreasing
<i>Sigmoidal function</i>	$f(x) = \cos^2 \left\{ 1 - \left[ \frac{x-a}{b-a} \right] * \frac{\pi}{2} \right\}$ [1]		$f(x) = \cos^2 \left\{ \left[ \frac{x-c}{d-c} \right] * \frac{\pi}{2} \right\}$ [2]
<i>Esponential function</i>	$f(x) = \frac{1}{\left\{ 1 + \left[ \frac{x-b}{b-a} \right]^2 \right\}}$ [3]		$f(x) = \frac{1}{\left\{ 1 + \left[ \frac{x-c}{d-c} \right]^2 \right\}}$ [4]
<i>Linear function</i>	$f(x) = \frac{x-a}{b-a}$ [5]		$f(x) = \frac{x-a}{b-a}$ [6]

Figura 2: funzioni applicate per la costruzione dei fuzzy set

Classe	Criterio	Funzione	a	b	c	d
Agrario	Dem (m)	User defined				
Agrario	Slope (°)	Sigmoida symmetric	-20	2	3	20
Agrario	NDVI	Sigmoidal symmetric	80	140	150	240
Latifoglie	Dem (m)	Sigmoidal symmetric	-350	500	700	2000
Latifoglie	Slope (°)	Sigmoidal increasing	0	30	30	30
Latifoglie	NDVI	Linear increasing	120	255		
Conifere	Dem (m)	Sigmoidal symmetric	0	1600	1600	2500
Conifere	Slope (°)	Linear increasing	0	45	45	45
Conifere	NDVI	Sigmoidal symmetric l	120	200	200	250
Incolto	Dem (m)	Linear increasingr	0	2500		
Incolto	Slope (°)	User defined				
Incolto	NDVI	Sigmoidal symmetric	70	170	170	250
Nocciolo	Dem (m)	Sigmoidal symmetric	-350	250	350	1000
Nocciolo	NDVI	Sigmoidal symmetric	100	220	230	500
Pioppeto	Slope(°)	Esponential decreasing	0	5	5	5

Figura 3: Classi, criteri, funzioni e parametri applicati, relativamente ad ogni classe, per l'elaborazione dei fuzzy set. Per funzioni simmetriche, per  $x < a$ ,  $f(x) = 0$ , per  $a < x < b$ ,  $f(x) = \text{increasing}$ , per  $b < x < c$ ,  $f(x) = 1$ , per  $c < x < d$ ,  $f(x) = \text{decreasing}$ ; per  $x > d$ ,  $f(x) = 0$ .

Per ottenere le immagini finali di appartenenza (o di disponibilità) i *fuzzy-set* e le maschere booleane, sono stati aggregati per classe, mediante combinazioni lineari ponderate [7],

$$S = \sum_{i \in D} w_i x_i * \prod_{j \in K} C_j \quad [7]$$

in cui  $w_i$  è il peso attribuito al criterio  $i$ -esimo,  $x_i$  il valore standard dell'osservazione  $x$  per il criterio  $i$ -esimo,  $D$  il dominio dei criteri relativi all'obiettivo,  $S =$  disponibilità (per la classe),  $C_j =$  condizione booleana  $j$ -esima ( in genere 0 o 1),  $K =$  il dominio delle condizioni, per l'obiettivo, ottenendo così 6 immagini di disponibilità relative alle classi: Nocciolo, Agrario, Bosco di Latifoglie, Bosco di Conifere, Incolti e Pioppeti.

### Classificazione delle immagini

Sono state effettuate alcune prove di classificazione applicando l'algoritmo *hard* di massima verosimiglianza, utilizzando prima le sole bande Landsat, poi aggiungendo gli indici di vegetazione multitemporali, ed infine le immagini di disponibilità finali, elaborate al MCE. Si è testato anche un classificatore *soft* basato sul teorema di Bayes; in questo caso le ~~G~~gli output ottenuti al MCE sono stati inseriti come immagini di probabilità a priori.

### Risultati

In base alla valutazione numerica mediante matrici di confusione, risulta un generale miglioramento delle classificazione utilizzando gli indici di vegetazione multitemporali e le immagini elaborate con il MCE, rispetto alle prove effettuate solo su base LANDSAT (Figura 4); in particolare l'accuratezza, misurata attraverso l'indice KIA, passa da 0.59, per le classificazioni solo su base Landsat, a 0.65, inserendo gli indici NDVI multitemporali, fino ad un massimo di

0.88, utilizzando anche le immagini elaborate con gli algoritmi MCE. Relativamente alla classe nocciolo, è stato possibile raggiungere accuratze corrispondenti a 0.88 (per l'utente) e 0.86 (per il produttore). Anche il classificatore Bayesiano ha dato discreti risultati, con indice kia pari a 0.81, e valori di accuratezza per la classe nocciolo di 0.87 e 0.86. In base ad una valutazione visiva emerge un miglioramento relativo all'eliminazione di pixel isolati mal classificati presenti in maniera considerevole nella classificazione su base LANDSAT (Figura 6).

Classe	Massima verosimiglianza Landsat		Massima verosimiglianza Multitemporale		Massima verosimiglianza Mce e Multitemporale		Classificatore Bayesiano	
	Kia*	Kia**	Kia*	Kia**	Kia*	Kia**	Kia*	Kia**
Nocciolati	0.78	0.61	0.81	0.67	0.88	0.86	0.87	0.86
Latifoglie	0.64	0.57	0.70	0.59	0.86	0.78	0.83	0.80
Conifere	0.61	0.78	0.59	0.78	0.75	0.84	0.77	0.80
Incolti	0.25	0.47	0.43	0.72	0.98	0.93	1.00	0.86
Agrario	0.58	0.22	0.54	0.43	0.80	0.94	0.57	0.95
Frutteti	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00		0.00
Pioppeti	0.06	0.27	0.06	0.13	1.00	1.00	1.00	1.00
Prati	0.06	0.16	0.14	0.32	1.00	1.00	1.00	0.95
Urbano Suoli Nudi	0.86	0.94	0.83	0.94	0.98	0.98	0.96	0.94
Specchi d'Acqua	1.00	0.91	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	0.45
	Overall kappa 0.59		Overall kappa 0.65		Overall kappa 0.88		Overall kappa 0.81	

Figura 4: Confronto, tra le prove di classificazione mediante gli indici di accuratezza per l'utente\*, il produttore\*\*, e totale dell'immagine.

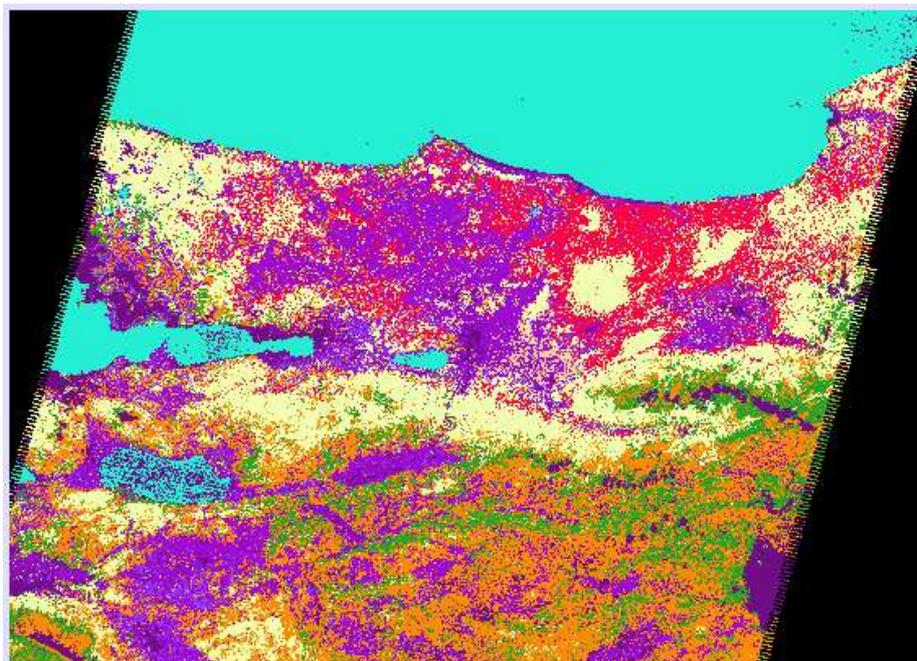


Figura 5: es di classificazione realizzata con l'ausilio dei sistemi MCE e indici di vegetazione multitemporali. La classe nocciolo è rappresentata in rosso.

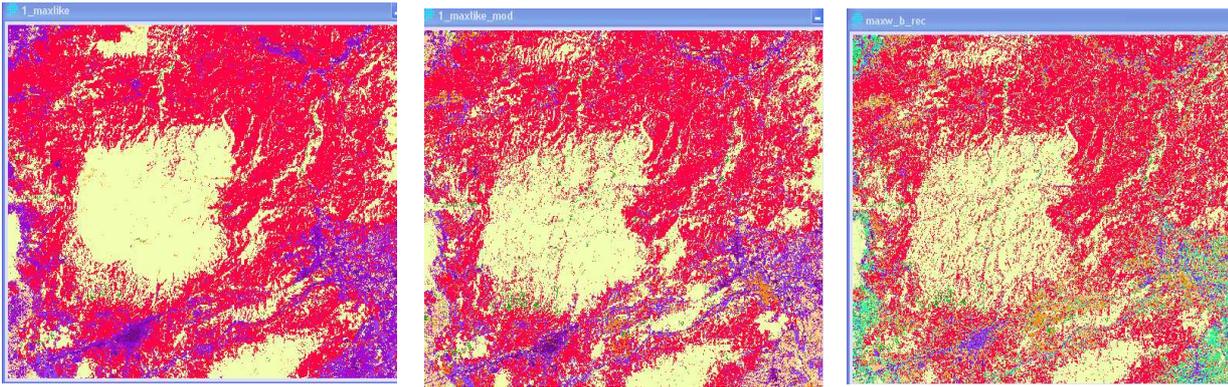


Figura 6: dettaglio di confronto visivo tra tre differenti classificazioni realizzate con l'algoritmo di massima verosimiglianza. A sinistra: l'immagine ottenuta con l'ausilio dell'analisi MCE e multitemporale; al centro: elaborazione con l'ausilio degli indici di vegetazione multitemporali; a destra: classificazione solo su base LANDSAT. In rosso è riportata la classe nocciolo. E' possibile notare la consistente riduzione di pixel isolati mal classificati.

## Conclusioni

Dal lavoro svolto si è visto come l'analisi MCE può costituire un mezzo semplice grazie al quale, anche con poche informazioni ancillari, si possono realizzare classificazioni di discreta qualità, in tempi relativamente brevi. Il miglioramento della classificazione ottenuto inserendo mappe di presenza potenziale delle classi può essere legato all'attenuazione dell'eterogeneità spettrale, tipica di categorie come l'agrario, con un'informazione spaziale, caratterizzata da una certa continuità, legata a fattori quali la biologia ed il *management* delle colture.

È comunque da sottolineare che i criteri elaborati su base numerica non sono sufficienti per ottenere dei buoni risultati e pertanto è necessario ricorrere alla digitalizzazione di maschere booleane basate sulla conoscenza della realtà a terra. In fase di validazione la matrice di confusione ha dato dei risultati molto incoraggianti, ma ulteriori verifiche a mezzo di un'analisi visiva denotano un certa generalizzazione delle classi, non emersa dall'analisi numerica.

Possibili miglioramenti dell'analisi multicriterio sono ottenibili inserendo altri strati informativi rilevanti, tra cui mappe di variabili meteo, strettamente legate alla biologia della coltura o della vegetazione naturale.

Relativamente alle elaborazioni multitemporali, dei miglioramenti si possono ottenere utilizzando immagini ad una risoluzione spaziale più accurata (es. LANDSAT o ASTER) acquisite nei periodi individuati dall'analisi delle serie temporali MODIS.

Interessanti sviluppi si potrebbero infine avere anche con l'impiego dei classificatori che si basano sulla conoscenza a priori, poiché i sistemi MCE, si prestano bene alla costruzione di mappe di probabilità, anche se i risultati sinora ottenuti suggeriscono la necessità di ulteriori affinamenti dell'analisi.

## Riferimenti bibliografici

- Burrough, P.A., 1989. Fuzzy Mathematical Methods for Soil Survey and Land Evaluation. *Journal of Soil Science* 40, p 477-492.
- J. Ronald Eastman, 2003. *IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing*, Clark Labs Clark University, p.145-184.
- Schmucker, K.J., 1982. *Fuzzy Sets, Natural Language Computations and Risk Analysis*. Computer Science Press, p.7.
- Scarelli A., 1997. *Modelli matematici nell'analisi multicriterio* edizioni Sette Città, Viterbo, 3-36.