

GIAN CARLO AVENA - FERNANDO FERRI - PATRIZIA PERONI

ANALISI DEL TERRITORIO MEDIANTE L'APPLICAZIONE DEI FUZZY SETS AI DATI LANDSAT TM

1. *Introduzione.* – La classificazione dei dati telerilevati, ovvero il riconoscimento automatico dei diversi tipi di copertura della superficie terrestre, è oggetto di svariate ricerche nell'ambito delle applicazioni del telerilevamento.

L'unità elementare di acquisizione del sensore Thematic Mapper (pixel) è un vettore 7-dimensionale che rappresenta una unità di superficie a terra di 30m x 30m, le cui componenti sono i valori di radianza nelle singole bande spettrali di scansione del sensore. Il sensore TM rileva in sette intervalli di lunghezza d'onda: tre nel visibile, TM1 (0,45-0,52 μm), TM2 (0,52-0,60 μm), TM3 (0,63-0,69 μm) e quattro nell'infrarosso, TM4 (0,76-0,90 μm), TM5 (1,55-1,75 μm), TM6 (10,40-12,50 μm) e TM7 (2,08-2,35 μm).

Lo spazio spettrale è costituito dai pixels dell'immagine considerata; pixels con comportamento spettrale simile definiscono le classi spettrali; a terra le unità di superficie definiscono le diverse classi di copertura. Una corretta classificazione divide lo spazio spettrale in classi rispondenti alle classi di copertura del suolo.

La divisione mediante la classica teoria degli insiemi, secondo la quale un elemento appartiene o non appartiene ad un dato insieme, conduce a una perdita di informazioni spettrali che riduce la qualità dell'analisi poiché spesso i limiti tra i diversi tipi di copertura non sono definiti e precisi.

Al fine di trattare in modo più realistico i dati telerilevati, alcuni autori hanno suggerito l'applicazione del concetto di appartenenza parziale della teoria dei *fuzzy sets* al processo di classificazione.

Wang (*Fuzzy Supervised...*, 1990; *Improving Remote Sensing...*, 1990) ha effettuato una classificazione con supervisione, di massima verosimiglianza, delle immagini MSS e TM sostituendo il vettore media e la matrice di covarianza con i corrispondenti parametri calcolati in modo fuzzy, al fine di realizzare una partizione fuzzy dello spazio spettrale. Poiché la classificazione di massima verosimiglianza fonda la sua regola decisionale sull'ipotesi della distribuzione normale dei dati relativi ad ogni classe, Foody (1992) ha pre-

ferito un approccio di tipo fuzzy applicando l'algoritmo FCM, Fuzzy c-Means, (Bezdek, 1981) a dati TM rilevati da aereo nell'analisi della variazione della vegetazione della brughiera in relazione al gradiente di umidità. Lo stesso algoritmo è stato utilizzato da Fisher e Pathirana (1990) nella classificazione di uso del suolo in un'area suburbana.

Nella presente ricerca l'algoritmo FCM è stato applicato al riconoscimento delle diverse tipologie di copertura presenti in una porzione di territorio dell'Appennino Centrale, utilizzando sia le bande spettrali TM che i risultati dell'analisi in componenti principali relative all'immagine considerata.

2. *Algoritmo di clustering.* – In questo paragrafo viene descritto l'algoritmo utilizzato. Si denota con $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ l'insieme ambiente, nel nostro caso l'insieme dei pixels. Un'assegnazione ad ogni elemento y_k di Y di un numero reale u_k , con $0 \leq u_k \leq 1$, detto grado o valore di appartenenza di y_k definisce un sottoinsieme fuzzy di Y . Una c-partizione fuzzy di Y è una famiglia costituita da c sottoinsiemi fuzzy, detti clusters, non vuoti di Y , che indicheremo con $Y_1, Y_2, \dots, Y_c$, la cui unione è Y , e che nella nostra applicazione sono costituiti dalle classi spettrali.

L'algoritmo di classificazione Fuzzy c-Means, brevemente FCM, di Bezdek, Ehrlich e Full (1984) per mezzo di un processo iterativo divide lo spazio spettrale in una c-partizione fuzzy ottimale poiché minimizza il funzionale degli errori:

$$J_m(U, v) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m \|y_k - v_i\|_A^2,$$

dove

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\} \subset R^n$ = l'insieme dei pixels;

c = il numero delle classi spettrali in Y ; $2 \leq c < N$;

n = il numero delle componenti (bande spettrali);

m = l'esponente-peso, $1 \leq m < \infty$;

U = la matrice di partizione fuzzy di Y , $U \subset M_{fc}$;

$v = (v_1, v_2, \dots, v_c)$ vettori dei centri delle classi spettrali;

$\| \cdot \|_A$ = norma indotta su R^n dalla matrice definita positiva A ;

A = matrice peso definita positiva d'ordine n .

L'utente stabilisce il numero c di classi spettrali in cui l'ambiente Y deve essere suddiviso. L'algoritmo assegna ad ogni elemento y_k un valore di appartenenza u_{ik} alla classe fuzzy u_{ik} identificata, tale che:

$$0 \leq u_{ik} \leq 1,$$

$$\sum_{k=1}^N u_{ik} > 0,$$

$$\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1.$$

Un valore di u_{ik} vicino a zero indica che il pixel y_k non ha le caratteristiche della classe spettrale Y_i , viceversa un valore di u_{ik} prossimo ad uno denota un'alta probabilità di appartenenza ad Y_i .

L'algoritmo FCM, scegliendo i valori iniziali in modo random, definisce i centroidi dei fuzzy clusters secondo un processo iterativo che tende a stabilizzare il funzionale degli errori. L'esecuzione, oltre ad essere dispendiosa in tempo di CPU, soprattutto se il numero di pixels è elevato, non risponde in modo soddisfacente alle nostre aspettative, in quanto la definizione dei centroidi è influenzata dalla frequenza dei valori dei pixels. Pertanto l'algoritmo è stato opportunamente modificato in modo da predefinire i centroidi dei clusters in base ai valori medi di radianza delle singole classi spettrali. Tale modifica comporta il controllo della classificazione poiché ogni passaggio successivo definisce un cluster spettrale corrispondente ad una nota copertura del suolo.

3. *Descrizione dell'area di studio.* – Il territorio preso in esame si sviluppa in una porzione del bacino della media valle dell'Aterno, in provincia dell'Aquila, e si estende dalla confluenza del torrente Raio con il fiume Aterno in prossimità dell'Aquila, sino all'abitato di Villa Sant'Angelo. La valle attraversa l'area in direzione NO-SE e la suddivide in due settori geograficamente ben distinti: il settore sud-occidentale appartiene alla dorsale del gruppo di Monte Ocre (2204 m), che si snoda in direzione appenninica (NO-SE), mentre quello nord-orientale interessa le propaggini meridionali del massiccio del Gran Sasso. L'Aterno, a est dell'Aquila, ricevuto il contributo idrico del torrente Raiale, proveniente dalle pendici meridionali del Gran Sasso, scorre in un'ampia conca di depositi alluvionali e, in corrispondenza del rilievo calcareo di Monte Cerro (754 m) si divide in due rami per poi riunirsi nei pressi di Villa Sant'Angelo.

Il settore indagato, oggetto di uno studio di carattere generale da parte di Bosi e Bertini (1970), risulta caratterizzato dalla tipica serie stratigrafica laziale-abruzzese in facies di shelf, di soglia e di transizione esterna. I termini litologici più antichi, ascrivibili al Giurassico superiore-Cretaceo inferiore, sono costituiti da calcari organogeni (generalmente massicci), calcari micritici-biomicrocritici stratificati affioranti rispettivamente sui versanti orientali di Monte Cavalletto, Colle Pagliare e sulla sponda destra della valle tra Fossa ed il limite orientale dell'area. Gli unici affioramenti riferibili al Cretaceo superiore si rinvencono nelle zone di San Panfilo d'Ocre e Colle Croce di Picenze e sono caratterizzati da calcari con frammenti di rudiste in facies di transizione esterna verso l'ambiente pelagico.

Sulla dorsale che congiunge Poggio di Roio con Bagno Grande è presente un lembo di calcari a nummuliti e alveoline dell'Eocene. I litotipi miocenici, caratterizzati da calcari marnosi, brecce e puddinghe, sono distribuiti prevalentemente nel settore sud-occidentale del bacino.

I sedimenti quaternari sono tutti di ambiente continentale: i più antichi sono rappresentati da conglomerati terrazzati localizzati essenzialmente in sinistra idrografica. L'ampio fondovalle dell'Aterno è interessato da alluvioni recenti-at-

tuali prevalentemente sabbioso-ghiaiose e da conoidi di deiezione detritiche e torrentizie. Per ulteriori approfondimenti relativi alle successioni continentali della zona si rimanda allo studio di Bertini, Bosi e Galadini (1989).

Il territorio è caratterizzato da un clima temperato fresco con punte di continentalità poiché i rilievi montuosi costituiscono una barriera ai venti caldo-umidi provenienti dall'Adriatico (Pogliani e Di Gregorio, 1979; De Santis, 1979). L'osservazione dei dati climatici storici (1951-80) della stazione dell'Aquila consente di rilevare i forti contrasti termici stagionali: la temperatura media del mese più freddo (gennaio) è di 2,2 °C, mentre quella dei mesi più caldi (luglio e agosto) è di 21,7 °C. Anche le precipitazioni risentono dell'effetto orografico: il totale annuo è di soli 709 mm distribuiti in 91 giorni. Il regime pluviometrico presenta il massimo principale nei mesi novembre-dicembre e un massimo secondario in primavera (aprile-maggio); il minimo si registra invece nella stagione estiva determinando condizioni di notevole aridità.

Il territorio studiato risulta fortemente influenzato dall'azione dell'uomo, che ha caratterizzato il paesaggio vegetale determinando la notevole estensione delle praterie e la scarsa diffusione delle superfici boschive.

Le particolari condizioni climatiche e la natura calcarea idrovora del substrato determinano l'ampia distribuzione delle formazioni prative ascrivibili agli xerobrometi appenninici (Avena e Blasi, 1979; Tammaro, 1984), in cui si rinvencono *Bromus erectus* Hudson, *Asperula purpurea* (L.) Ehrend., *Phleum ambiguum* Ten., *Satureja montana* L., *Allium sphaerocephalon* L., *Stipa capillata* L., *Festuca circummediterranea* Patzke, ecc. Sui substrati calcarei poco evoluti e pietrosi si rileva l'assoluta dominanza di camefite ed emicriptofite quali *Sideritis syriaca* L., *Eryngium amethystinum* L., *Teucrium montanum* L., *Globularia meridionalis* (Podp.) O.Schwarz, *Helianthemum nummularium* (L.) Miller, *Aethionema saxatile* (L.) R.Br., ecc. Diffusi sono anche i brachipodiati a *Brachypodium genuense* (DC.) Roemer et Schultes, mentre, nei versanti più acclivi ed a quote più elevate, predominano i seslerietti a *Sesleria apennina* Ujhelyi.

Le formazioni boschive si presentano fortemente degradate e ridotte a bo-scaglie per la continua ceduzione. Si tratta di querceti caducifogli termofili con assoluta dominanza di *Quercus pubescens* Willd. cui si associano molti elementi arborei ed arbustivi quali *Fraxinus ornus* L., *Acer campestre* L., *Corylus avellana* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Coronilla emerus* L., *Ligustrum vulgare* L., ecc. Nei settori più acclivi e freschi compaiono elementi più mesofili come *Ostrya carpinifolia* Scop., *Quercus cerris* L., localmente dominanti, *Sorbus aria* (L.) Crantz, *Cornus sanguinea* L., (Tammaro, 1987; Frattaroli e altri, 1988). Molto diffusi sono inoltre i rimboschimenti a *Pinus nigra* Arnold ssp. *nigra* e *Pinus sylvestris* L. impiantati in modo massiccio a partire dagli anni '50. La vegetazione ripariale lungo l'Aterno risulta fortemente degradata; tuttavia in alcuni tratti non ancora alterati si rinvencono consorzi forestali a *Salix alba* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner, *Populus nigra* L., ecc.

Le aree agricole interessano l'ampio fondovalle ed i principali altopiani

carsici. La cerealicoltura rappresenta la più diffusa forma di utilizzazione delle superfici agrarie; si coltiva principalmente frumento e nel fondovalle irriguo anche mais, barbabietola ed ortaggi. Da ricordare inoltre la coltivazione dello zafferano nel territorio di San Demetrio ne' Vestini.

Le colture arboree sono rappresentate da vigneti, poco diffusi a causa delle forti escursioni termiche annue presenti nel versante meridionale del Gran Sasso presso Barisciano e Poggio Picenze, e da mandorleti assai diradati utilizzati anche per la produzione del foraggio.

4. Materiali e metodologia. – Il processo di classificazione mediante l'algoritmo FCM è stato eseguito su VAX 6000/510, utilizzando programmi in Fortran 77. Il campionamento, l'analisi in componenti principali e la georeferenziazione dell'immagine, operazioni preliminari alla classificazione, sono stati realizzati mediante il Sistema Informativo Territoriale ILWIS (Integrated Land and Water Information System) dell'ITC, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, Olanda.

I dati Landsat TM si riferiscono ad una porzione della scena 190/31 acquisita il 5 luglio 1990. Nelle fasi di selezione dei campioni e di valutazione della qualità della classificazione mediante matrice di confusione si è utilizzata una carta dei principali fototipi vegetazionali realizzata mediante interpretazione del materiale aerofotografico relativo al volo del 1985 in scala 1:33.000 messo a disposizione dal Settore Informatica per il Territorio della Regione Abruzzo.

Dall'immagine originaria è stata estratta una matrice di 410×600 pixels relativa all'area oggetto di studio. La selezione di punti di controllo rilevati sulle carte topografiche IGMI 1:25.000 ha permesso la correzione geometrica dell'immagine mediante l'algoritmo di «nearest neighbour».

Allo scopo di definire i centroidi dei fuzzy clusters è stato eseguito il campionamento delle principali tipologie di copertura presenti nel territorio esaminato per le diverse bande spettrali. La banda dell'infrarosso termico (TM6) non è stata considerata in quanto possiede una risoluzione spaziale inferiore (120 m) rispetto alle altre bande (30 m).

In fig. 1 sono riportati i valori spettrali medi relativi alle classi di copertura considerate dai quali sono stati definiti i centroidi dei fuzzy sets utilizzati dall'algoritmo FCM.

Si può osservare che le distribuzioni spettrali discriminano, soprattutto nell'infrarosso (TM4, TM5, TM7), le classi acqua, rimboschimenti a conifere e bosco di latifoglie decidue. Le aree agricole presentano nelle diverse bande spettrali una notevole dispersione dei valori intorno alle medie dovuta sia alla varietà di colture presenti sia al differente ciclo fenologico. Infatti nel periodo di acquisizione dell'immagine alcune specie cerealicole hanno raggiunto la piena maturazione o sono già state raccolte. Questa condizione determina una sovrapposizione di valori che rende difficile il riconoscimento delle rimanenti classi.

I centroidi determinati per l'algoritmo FCM non hanno definito in modo corretto le porzioni di spazio spettrale da assegnare alle categorie pascolo,

TAB. 1

PARAMETRI STATISTICI RELATIVI ALL'ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI DELLE BANDE LANDSAT TM

Autovettori	1	2	3	4	5	6
TM1	0,35	-0,08	-0,44	-0,22	-0,57	-0,55
TM2	0,24	0,00	-0,29	-0,14	-0,38	0,83
TM3	0,41	-0,06	-0,49	-0,25	0,73	0,00
TM4	0,08	0,98	-0,13	0,14	0,00	-0,04
TM5	0,68	0,07	0,68	-0,26	0,00	0,00
TM7	0,43	-0,17	-0,07	0,88	0,00	0,00
Autovalori	1261,5	186,6	104,6	25,7	14,5	12,8
% Varianza	78,4	11,6	6,5	1,6	0,9	0,8

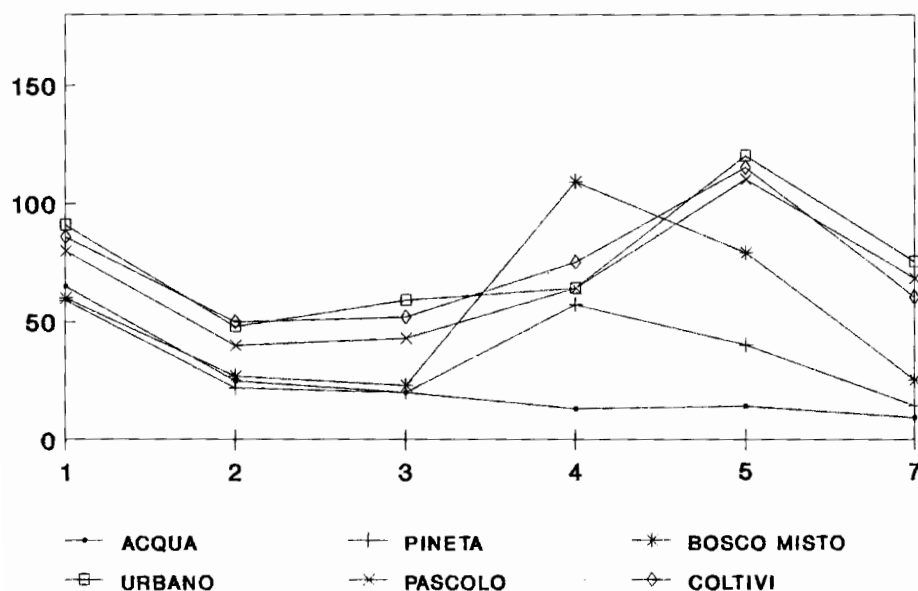


FIG. 1 - VALORI MEDI DI RADIANZA DELLE BANDE TM PER LE CLASSI CONSIDERATE NEL CAMPIONAMENTO.

TAB. 2

CENTROIDI DEFINITI PER I FUZZY SETS SECONDO LE FASI PROCEDURALI DELLA CLASSIFICAZIONE.

		TM3	TM4	TM5	CP2	CP3	CP5
I	a		15	16	0	0	
	b		70	90			
II	a	25		60			
	b	50		110			
III	a		58	40			
	b		110	77			
IV	a				117	114	
	b				135	128	
V	a				140		130
	b				129		125

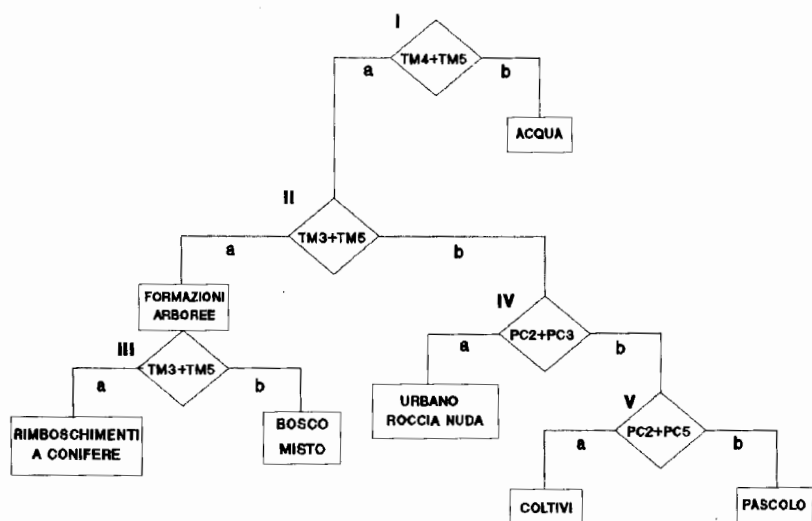


FIG. 2 – DIAGRAMMA DI FLUSSO DELLA PROCEDURA DI CLASSIFICAZIONE.

coltivi ed urbano. E' emersa, pertanto, la necessità di modificare il dato spettrale mediante l'analisi in componenti principali (ACP). L'ACP è una tecnica statistica multivariata che esamina le relazioni tra variabili, nel nostro caso le bande TM. Ciascuna componente principale è una combinazione lineare delle variabili originarie in cui i coefficienti sono gli autovettori della matrice di covarianza (o di correlazione). Le componenti principali relative alle successive combinazioni lineari contengono porzioni decrescenti di varianza.

Il «color composite» delle componenti principali 2, 3 e 4, ossia la combinazione lineare delle componenti associate ai tre colori fondamentali (rosso, verde e blu), ha dato risultati incoraggianti (fig. 3), consentendo la discriminazione delle classi spettralmente simili. D'altra parte, già altri autori hanno utilizzato l'ACP per il riconoscimento di diversi tematismi (Richards, 1981; Conese e altri, 1988; Loughlin, 1991).

I risultati dell'ACP applicata alla matrice di covarianza sono presentati in tab. 1. Per la classificazione sono state utilizzate le CP2, CP3 e CP5 correlate, rispettivamente, in modo positivo con le bande TM4, TM5 e TM3. I nuovi centroidi per la definizione dei fuzzy sets relativi alle classi pascolo, coltivi ed urbano, sono stati ottenuti mediante campionamento effettuato sugli stessi pixels scelti per l'analisi delle bande TM.

La fig. 2 mostra il diagramma di flusso relativo alle diverse fasi definite nel processo di classificazione. Ogni fase è finalizzata al riconoscimento di una specifica copertura in base alla combinazione di bande, o di componenti principali, che meglio identifica la classe spettrale. Il criterio di riconoscimento delle diverse categorie è dicotomico. In ognuno dei cinque livelli procedurali si scelgono due centroidi, uno relativo alla classe da estrarre, l'altro ottenuto come valore medio delle tipologie di copertura non ancora considerate nella classificazione.

In tab. 2 sono riportati i centroidi stabiliti per le diverse fasi e classi secondo quanto rappresentato in fig. 2.

In ciascuna fase il risultato della classificazione consiste in una mappa di probabilità di appartenenza dei pixels alla classe di copertura considerata, con valori da 0, appartenenza impossibile, a 100, appartenenza certa. Ad ogni livello sono stati estratti e mascherati i pixels puri, appartenenti ad una sola classe, cioè non più sottoposti a classificazione nelle fasi successive della procedura, mentre i pixels misti, relativi a più classi, sono stati analizzati mediante il confronto finale delle mappe di probabilità ottenute.

Nella carta di sintesi della classificazione (fig. 4) i pixels misti sono stati assegnati alla classe per la quale mostravano maggiore probabilità di appartenenza al fine di consentire una lettura più agevole della carta, ad eccezione dei pixels con probabilità intermedia tra bosco misto e pascolo che sono stati classificati come bosco diradato.

5. Risultati. – Il risultato più significativo della ricerca è rappresentato dalla carta delle principali coperture del suolo (fig. 4). L'accuratezza della classificazione è stata valutata effettuando il confronto tra la carta dei fototipi,

considerata nel nostro caso come «verità a terra», e la carta tematica ottenuta.

Dalla sovrapposizione delle due informazioni territoriali è stata ricavata la matrice di confusione denominata anche tabella di contingenza (tab. 3).

In questa matrice quadrata ogni riga e colonna è riferita ad una classe di copertura. Nella riga i -esima e nella colonna j -esima è riportato il numero di pixels che la classificazione ha riconosciuto come appartenenti alla classe di copertura i mentre nella realtà sono della classe j . Pertanto la lettura dei dati lungo una riga fornisce l'indicazione degli errori di inserimento, cioè il numero di pixels erroneamente attribuiti ad una data classe. I dati in colonna indicano gli errori di omissione, cioè il numero di pixels che pur appartenendo ad una data classe, non sono stati riconosciuti dalla classificazione come tali. Lungo la diagonale principale è riportato il numero di pixels correttamente classificato. L'ultima riga della matrice contiene il totale dei pixels realmente appartenenti alle singole coperture, mentre l'ultima colonna riporta il totale dei pixels attribuiti automaticamente a ciascuna classe.

Come si può notare dalla tab. 3, c'è una buona corrispondenza tra la superficie stimata e quella osservata. La differenza principale si può rilevare nella classe pascolo, con errori di inserimento, ed in quella relativa alle aree agricole, con errori di omissione; ciò è dovuto alla scarsa discriminabilità spettrale delle due coperture cui abbiamo già fatto riferimento e solo parzialmente risolta dall'analisi in componenti principali. La classe spettrale relativa al bosco di latifoglie decidue risulta leggermente sottostimata per l'esistenza di formazioni boschive con esposizione nord, erroneamente riconosciute come rimboschimenti a conifere. Ampi tratti di vegetazione ripariale lungo l'Aterno sono stati assegnati in modo automatico alla classe bosco.

L'estensione delle aree urbane stimata automaticamente è leggermente inferiore rispetto a quella riconosciuta mediante fotointerpretazione poiché la «verità a terra» non riporta aree a differente copertura situate all'interno

TAB. 3

TABELLA DI CONTINGENZA RELATIVA ALLA CLASSIFICAZIONE FCM

	1	2	3	4	5	6	7	TOTALE
102050	237	13678	55	292	1776	0	118088	
298	24138	272	25	50	50	0	24833	
3148	521	53435	37	289	463	0	57893	
9	18	18	8576	589	108	0	9318	
61	30	122	83	14520	436	0	15252	
1977	84	70	56	1698	10038	0	13923	
0	0	0	0	0	0	24	24	
TOT	107543	25028	67595	8832	17438	12871	24	239331

1, pascolo; 2, urbano/roccia nuda; 3, coltivi; 4, rimboschimenti a conifere; 5, bosco di latifoglie decidue; 6, bosco diradato (copertura inferiore al 60%); 7, corpi idrici.

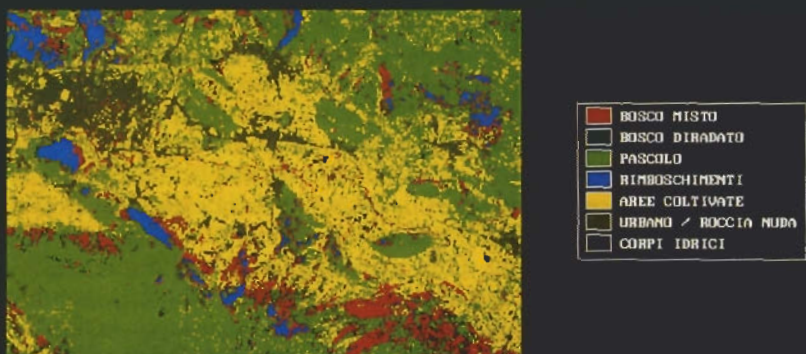


FIG. 3 - COLOR COMPOSITE DELLE COMPONENTI PRINCIPALI 2; 3 E 4.

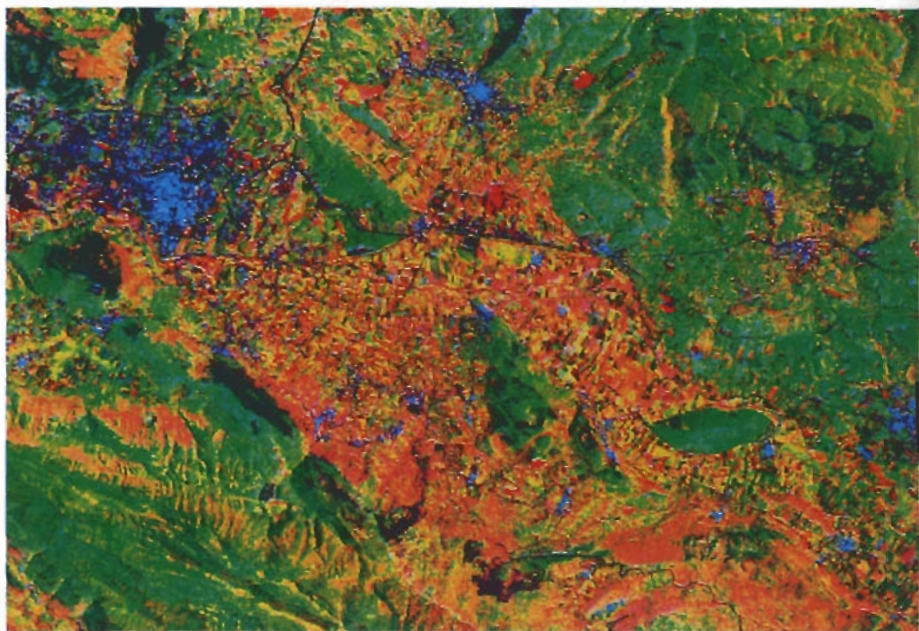


FIG. 4 - CARTA DERIVANTE DALLA CLASSIFICAZIONE SECONDO L'ALGORITMO FCM-MODIFICATO.

del perimetro urbano. La classe spettrale urbano contiene anche pixels relativi alla roccia nuda che per la loro scarsa estensione non sono stati riportati nella mappa dei fototipi.

La minor corrispondenza che il bosco diradato presenta tra classificazione e «verità a terra» è dovuta sia alla soggettività del riconoscimento mediante fotointerpretazione, sia alla discontinuità territoriale ed alla sua penetrazione con le tipologie bosco e pascolo.

La qualità della classificazione si può considerare nel complesso soddisfacente: una valutazione è stata effettuata mediante il calcolo del rapporto tra il totale dei pixels lungo la diagonale maggiore, ossia i pixels correttamente classificati, ed il numero complessivo dei pixels dell'immagine, ottenendo un valore di 88,9%.

6. *Conclusioni.* – Secondo la teoria dei fuzzy sets i limiti delle classi spettrali e quindi delle coperture del suolo non sono netti e precisi, bensì confusi e indefiniti; ciò risulta più idoneo a rappresentare la natura dell'informazione geografica rispetto al modo classico della logica booleana. D'altra parte la risoluzione geometrica del pixel TM (30 m) giustifica la possibilità che il dato spettrale possa riferirsi a più tipologie di coperture per le quali la classificazione fuzzy fornisce il grado di appartenenza.

Va comunque ricordato che il dato spettrale non è solo funzione del tipo di copertura ma anche di altri fattori che interferiscono e modificano il segnale riflesso, quali fattori topografici, di esposizione e pendenza, assorbimento atmosferico, ecc. I dati telerilevati possono essere modificati applicando opportuni parametri di correzione, oppure nell'analisi dei risultati della classificazione i raggruppamenti definiti automaticamente devono essere interpretati tenendo conto principalmente della natura accidentata del terreno. Nel presente lavoro si è definita una procedura con supervisione; pertanto il fattore topografico è stato considerato nelle fasi di campionamento propedeutiche alla definizione dei centroidi.

Si è pertanto applicata la classificazione fuzzy ad un territorio morfologicamente complesso in cui la partizione dello spazio spettrale non consentiva inizialmente una buona discriminazione delle coperture presenti. Nonostante queste difficoltà che ci hanno indotto alla modifica dell'algoritmo e del dato spettrale mediante l'analisi in componenti principali, riteniamo che i risultati ottenuti possano costituire una buona prova per l'applicazione dei fuzzy sets all'analisi dell'informazione geografica, non solo telerilevata.

BIBLIOGRAFIA

- AVENA G.C. e BLASI C. , *Saturejo montanae-Brometum erecti ass. nov. dei settori pedemontani dell'Appennino calcareo centrale*, in «Arch. Bot. e Biogeogr. Ital.», Pavia, 1979, pp. 34-43.
- BERTINI T. , BOSI C. e GALADINI F. , *La conca di Fossa-S. Demetrio dei Vestini*, in *Guida all'escursione: elementi di tettonica pliocenico-quadernaria ed indizi di sismicità nell'Appennino laziale-abruzzese*, Roma, Soc. Geol. Ital., 1989, pp. 26-58.

- BEZDEK J. C., *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, New York, Plenum, 1981.
- BEZDEK J. C., EHRLICH R. e FULL W., *FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm*, in «Computers and Geosciences», New York, 1984, pp. 191-203.
- BOSI C. e BERTINI T., *Geologia della media valle dell'Aterno*, in «Mem. Soc. Geol. Ital.», 9, Pisa, 1970, pp. 719-777.
- CONESE C. e altri, *Forest classification by principal component analyses of TM data*, in «Intern. Journ. of Remote Sensing», Londra, 1988, pp. 1597-1612.
- DE SANTIS G., *Osservazioni sulle condizioni climatiche della montagna abruzzese*, comunicaz. presentata al I Conv. di Meteorol. appenninica, Reggio Emilia, 1979.
- FISHER P.F. e PATHIRANA S., *The Evaluation of Fuzzy Membership of Land Cover Classes in the Suburban Zone*, in «Remote Sensing Environm.», New York, 1990, pp. 121-132.
- FOODY G.M., *A Fuzzy Sets Approach to the Representation of Vegetation Continua from Remotely Sensed Data: An Example from Lowland Heath*, in «Phot. Eng. & Remote Sensing», Bethesda, 1992, pp. 221-225.
- FRATTAROLI A.R. e altri, *La carta della vegetazione del Piano d'Ocre*, in «Boll. Ass. Ital. di Cartogr.», Bologna, 1988, pp. 439-446.
- LOUGHLIN W. P., *Principal Component Analysis for Alteration Mapping*, in «Phot. Eng. & Remote Sensing», Bethesda, 1991, 9, pp. 1163-1169.
- POGLIANI M. e DI GREGORIO F., *Notizie ed osservazioni sui fenomeni climatici dell'Abruzzo*, in «Monografie dei quaderni del Museo di Speleologia V. Rivera», L'Aquila, 1979, 1, pp. 3-43.
- RICHARDS J.A., *Thematic Mapping from Multitemporal Image Data Using the Principal Components Transformation*, in «Remote Sensing Environm.», New York, 1984, pp. 35-46.
- TAMMARO F., *Vegetazione di pascoli aridi a Stipa capillata L.*, in «Informatore Bot. Ital.», Firenze, 1984, 16, pp. 191-197.
- TAMMARO F., *Aspetti floristici e vegetazionali dei dintorni de L'Aquila*, in «Provincia oggi», L'Aquila, 1987, 10-11, pp. 27-32.
- WANG F., *Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Images*, in «IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing», New York, 1990, 28, pp. 194-201.
- WANG F., *Improving Remote Sensing Image Analysis through Fuzzy Information Representation*, in «Phot. Eng. & Remote Sensing», Bethesda, 1990, 56, pp. 1163-1169.

TERRITORY ANALYSIS BY THE APPLICATION OF FUZZY SETS TO LANDSAT DATA. - A fuzzy classification of remote sensing data has been carried out applying a modified version of FCM algorithm with supervised cluster centers. The classification procedure is composed by five steps, each one with dichotomic recognition method of land use classes. Input data consist of spectral bands TM and of results of Principal Component Analysis (PCA). Classification accuracy has been estimated and a contingency table for analysis of ground truth correspondence is presented.

Università di Roma «La Sapienza», Dipartimento di Biologia Vegetale, Laboratorio trattamento immagini.