

Sperimentazione di tecniche *object oriented* per la classificazione di uso/copertura del suolo *Corine Land Cover* da immagini satellitari a media risoluzione

Giuliarelli D*, Corona P, Lamonaca A

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse, Università della Tuscia, Via San Camillo de Lellis, snc - 01100 Viterbo (Italy) - *Corresponding author: Diego Giuliarelli (dgiuliarelli@unitus.it).

Abstract: Testing *object oriented* techniques for *Corine Land Cover* classification by satellite images with medium spatial resolution. This work aims to assess the potential of segmentation and object oriented classification techniques of satellite images with medium spatial resolution, for land use/cover (*Corine Land Cover*, CLC) mapping. The tested procedures are assessed both in term of thematic accuracy and working time, with reference to a study area of about 4000 km² in central Italy. The automatic procedure is carried out by segmentation of the pan-sharpened image and by subsequent classification using membership and standard nearest neighbour functions. Results are evaluated by sample circular photoplots taken from digital IT2000 orthophotos coverage. In terms of overall accuracy, object oriented classification achieves better results than conventional on screen interpretation. The classification shows difficulties for the identification of the "mixed" classes of CLC nomenclature system; however, even in these cases the object oriented techniques provide higher producer and user accuracy than on screen interpretation. On the whole, since they are able to produce more objective and more accurate cartographic products at similar costs, the application of the tested automatic techniques seems to be preferred to the conventional on screen interpretation for satellite images with medium spatial resolution.

Keywords: Thematic classification, Landsat 7 ETM+, Segmentation, Standard Nearest Neighbour, Membership function.

Received: Jun 11, 2007 - Accepted: Jul 24, 2007.

Citation: Giuliarelli D, Corona P, Lamonaca A, 2007. Sperimentazione di tecniche *object oriented* per la classificazione di uso/copertura del suolo *Corine Land Cover* da immagini satellitari a media risoluzione. *Forest@* 4 (3): 272-282. [online] URL: <http://www.sisef.it/>.

Introduzione

Negli ultimi decenni la necessità di disporre di banche dati aggiornate sull'uso e copertura del suolo ha assunto importanza crescente, come testimoniato dall'aggiornamento di progetti quali la classificazione di uso/copertura del suolo *Corine Land Cover* (Maricchiolo et al. 2004).

In ambito professionale l'interpretazione visuale di immagini telerilevate resta ad oggi la tecnica operativa più utilizzata per la produzione di elaborati cartografici a supporto della pianificazione territoriale e ambientale da parte delle pubbliche amministrazioni.

Recentemente l'introduzione di tecniche di classifi-

cazione *object oriented* (Chirici et al. 2003, Benz et al. 2004) basate su poligoni generati dalla segmentazione automatica di immagini digitali ha aperto nuovi scenari sulle possibilità di derivare cartografie tematiche (vedi ad esempio: Dorren et al. 2003, Mitri & Gitas 2006). Questo approccio, spostando l'analisi dal singolo pixel a insiemi di pixel, che assumono il significato di oggetti, consente di ampliare il contenuto informativo estraibile in modo automatico o semiautomatico dall'unità elementare di classificazione. La capacità di sfruttare informazioni come quelle di carattere tessiturale, statistico e soprattutto contestuale consente potenzialmente di generare prodotti cartografici competitivi per accuratezza tematica con

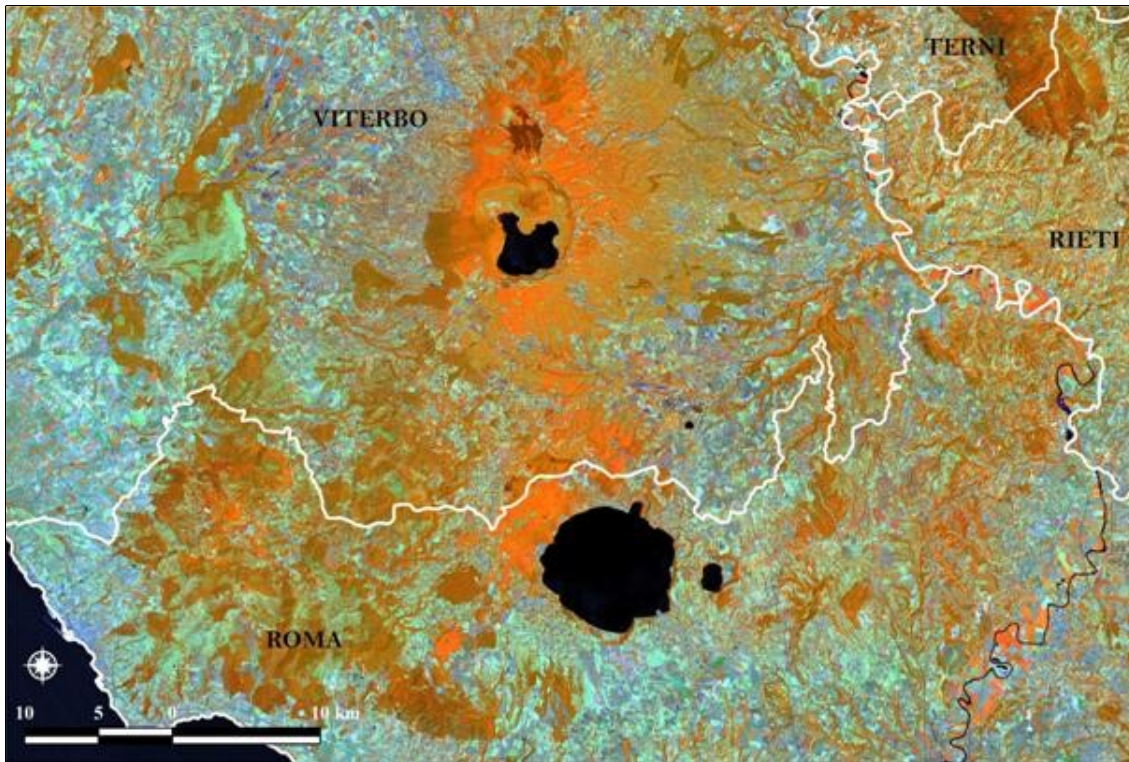


Fig. 1 - Rappresentazione in falso colore dell'area di studio ottenuta combinando tra loro le bande spettrali del vicino infrarosso, medio infrarosso e rosso del Landsat 7 ETM+ (RGB = 453).

quelli derivati per interpretazione visuale (Chirici et al. 2006). Un ulteriore vantaggio offerto dall'approccio *object oriented* risiede nella possibilità di ottenere un prodotto di tipo vettoriale superando l'inevitabile soggettività del fotointerprete per quanto concerne la delimitazione dei poligoni e la loro successiva attribuzione alle classi tematiche.

Scopo del presente lavoro è valutare, sulla base di immagini satellitari a media risoluzione spaziale, le potenzialità delle tecniche di segmentazione e classificazione *object oriented* per la produzione di cartografie di uso e copertura del suolo *Corine Land Cover* (CLC) in scala 1:100.000. Facendo riferimento, come caso di studio, a un'immagine Landsat 7 ETM+ vengono testate funzioni di classificazione implementate nel software *eCognition*, quali le *funzioni di appartenenza* e il classificatore *Standard Nearest Neighbour* (STD.N.N.). Le procedure proposte vengono confrontate con l'interpretazione visuale convenzionale sia in termini di accuratezza tematica che in termini di tempi per l'ottenimento del prodotto cartografico.

Materiali

Lo studio interessa una superficie complessiva di circa 4000 km², principalmente nel territorio provinciale di Viterbo e Roma, e parzialmente in quello di Rieti e Terni. L'area di studio è stata scelta in modo

da essere rappresentativa di gran parte delle classi di uso/copertura del suolo al 3° livello gerarchico CLC 2000 (EEA 2000). Al suo interno sono preponderanti le superfici agricole (70% dell'area esaminata) e i territori boscati e gli ambienti seminaturali (24% dell'area esaminata). La restante superficie è costituita da centri urbani, tra cui i principali sono quelli di Viterbo e Civitavecchia, e corpi idrici, quali il lago di Vico, il lago di Bracciano, un tratto del fiume Tevere e una piccola porzione del Mar Tirreno (Fig. 1).

L'area di studio rappresenta un subset della scena Landsat 7 ETM+ 191-031 acquisita nel giugno 2001, come parte integrante del prodotto IMAGE2000, ortorettificato e ricampionato a 12.5 m per la banda pancromatica e a 25 m per le bande spettrali (Nunes de Lima 2005).

Metodologia

Segmentazione automatica

Il processo di segmentazione automatica è stato calibrato in modo da ottenere oggetti conformi con il sistema di nomenclatura CLC 2000 (unità minima cartografabile: 25 ha). La scena Landsat è stata elaborata attraverso l'algoritmo *pan-sharpening* (Geomatca 2003) che fonde il dato pancromatico con il multi-spettrale, preservando le caratteristiche spettrali ori-

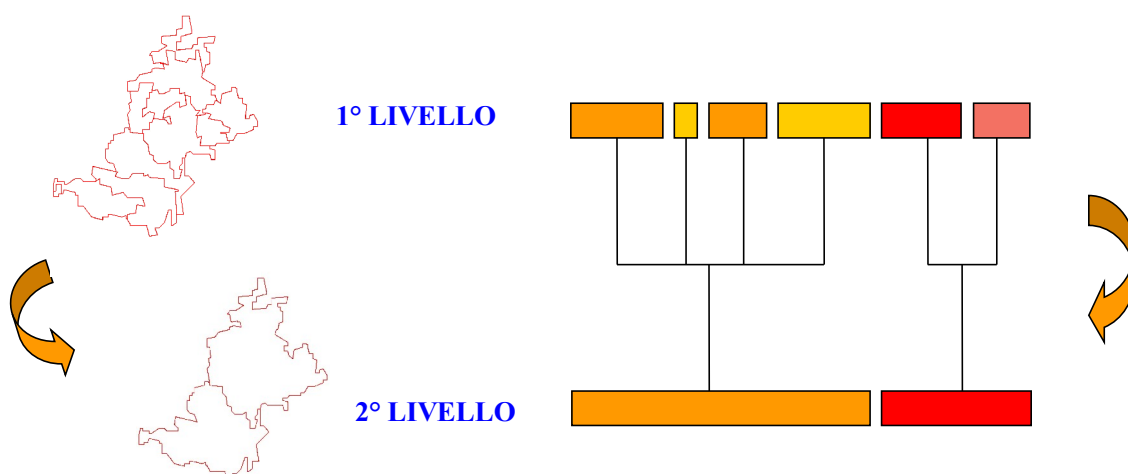


Fig. 2 - Esempio di segmentazione multirisoluzione: i poligoni generati con il primo livello di segmentazione vengono successivamente accorpati per costituire un secondo livello gerarchico di segmentazione dell'immagine telerilevata.

ginali (Zhang 2002). La tecnica è basata sul metodo dei minimi quadrati per meglio approssimare le relazioni tra i valori di grigio delle immagini originali e

Tab. 1 - Nomenclatura *Corine Land Cover* (CLC) adottata per la classificazione dell'immagine Landsat 7 ETM+.

Codice CLC	Classi CLC
111	Zone residenziali a tessuto continuo
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
211	Seminativi
222	Frutteti
223	Oliveti
231 + 321	Prati stabili, aree a pascolo naturale e praterie di alta quota
241 + 242	Sistemi culturali e particellari complessi
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
311	Boschi a prevalenza di latifoglie
312	Boschi a prevalenza di conifere
322 + 324	Brughiere, cespuglieti, aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie
512	Bacini d'acqua
523	Mari e oceani

dell'immagine fusa. La procedura si è dimostrata utile soprattutto ai fini della successiva segmentazione in quanto incrementa la precisione di identificazione degli oggetti rispetto al medesimo processo basato solo su dati multispettrali (Lewinski 2006). L'algoritmo offre le migliori prestazioni quando vengono impiegate bande spettrali che per lunghezza d'onda ricadono nel range di acquisizione della banda pancromatica. In tal senso, le bande Landsat 7 ETM+ selezionate per l'elaborazione sono state quella del verde, del rosso e dell'infrarosso vicino. Dalla fusione sono scaturite tre nuove immagini con risoluzione geometrica della banda pancromatica e contenuto spettrale delle bande utilizzate.

Utilizzando congiuntamente le tre immagini ottenute dal processo di *pan-sharpening* sono stati prodotti due livelli di segmentazione. Dapprima è stato realizzato un livello di segmentazione caratterizzato da un fattore di scala pari a 40 e da un peso attribuito all'eterogeneità geometrica e al fattore di compattezza pari rispettivamente a 0.2 e a 0.8. Successivamente è stato prodotto il secondo livello di segmentazione innalzando il fattore di scala a un valore di 60 e fissando il peso del fattore di compattezza a 0.6 (Fig. 2). Per entrambi i livelli di segmentazione è stato assegnato uno stesso peso relativo alle tre immagini *pan-sharpened*. Il primo livello ha generato 24103 poligoni di dimensione media pari a circa 16 ha (CV = 94%), accorpati nel secondo livello di segmentazione in 10906 poligoni di dimensione media pari a circa 36 ha (CV = 93%).

Classificazione object oriented

La classificazione *object oriented* è stata condotta sulla base dei poligoni generati con il secondo livello di segmentazione adottando la nomenclatura di 3° livello gerarchico CLC (EEA 2000).

Dall'esame dell'area oggetto di studio si è stabilito di classificare quindici classi di uso/copertura del suolo (Tab. 1), tralasciando quelle che, pur presenti all'interno dell'area esaminata, erano tuttavia scarsamente rappresentate. È stato inoltre deciso di accorpare in una stessa classe i prati stabili (231) con i pascoli naturali (321), le colture temporanee associate a colture permanenti (241) con sistemi colturali e partecellari complessi (242) e le superfici cespugliate (322) con le aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione (324).

La classificazione dell'immagine Landsat è avvenuta in ambiente *eCognition* applicando procedure *Nearest Neighbours* e funzioni di appartenenza con logica *fuzzy*, in maniera singola e combinata tra loro, per l'assegnazione delle classi ai singoli poligoni.

La procedura STD.N.N. utilizza gli attributi di un set di poligoni fotointerpretati (*training sites*) per sviluppare il classificatore e assegnare le classi ai rimanenti poligoni tramite approccio *nearest neighbours* (esempi applicativi in: Chirici et al. 2006, Lamonaca 2006). Ai fini dell'applicazione del classificatore STD.N.N. sono stati selezionati come *training sites* circa il 2% dei poligoni generati al 2° livello di seg-

mentazione.

La selezione degli attributi di classificazione è stata preceduta da analisi volte alla discriminazione delle classi: sulla base dei *training sites* selezionati, sono stati ottimizzati gli attributi estratti dalla banda pancromatica, dalle bande multispettrali e dalle immagini *pan-sharpened*. In Tab. 2 sono riportati gli attributi utilizzati con il classificatore STD.N.N.

Le funzioni di appartenenza adottate interessano attributi di carattere spettrale, geometrico e tessiturale. È stato fatto ricorso anche a funzioni che relazionano la classificazione degli oggetti considerati rispetto alla classificazione di altri oggetti.

Principi di classificazione object oriented delle classi CLC

Le classi tematiche sono state organizzate secondo un'apposita struttura gerarchica (Fig. 3). In questo modo l'informazione associata alle classi di ordine superiore viene ereditata dalle classi figlie riducendo la ridondanza e la complessità delle informazioni necessarie per la descrizione delle classi stesse.

- Le zone urbane sono state classificate nel loro insieme sulla base di STD.N.N. e successivamente distinte al loro interno in *Zone residenziali a tessuto continuo* (111) e *Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado* (112) attraverso il parametro ZABUD1 (vd. Tab. 2). La ricerca delle aree urbane a tessuto continuo è stata inoltre limitata ai soli poligoni adiacenti

Tab. 2 - Attributi utilizzati con il classificatore *Standard Nearest Neighbour* (STD.N.N.) per la classificazione dei poligoni generati con il secondo livello di segmentazione. $ZABUD1 = [(ms2-ms3)^2 + (ms3-ms4)^2 + (ms4-ms5)^2 + (ms5-ms7)^2 + (ms7-pan)^2]^{0.5}$, dove *ms2*, *ms3*, *ms4*, *ms5* e *ms7* rappresentano i valori medi dei *Digital Number* (DN) degli oggetti calcolati per le rispettive bande Landsat; *pan* è il valore medio di DN degli oggetti calcolato per la banda pancromatica.

Attributo del poligono	Tipo	Banda	Riferimento
Media spettrale	Spettrale	4 - 5	Chirici & Corona 2006
Deviazione standard	Spettrale	1 - 4 - 7 - pancromatica	Chirici & Corona 2006
Ratio	Spettrale	3 - 7	Baatz et al. 2004
Massima differenza	Spettrale	1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 7	Chirici & Corona 2006
ZABUD1	Spettrale	2 - 3 - 4 - 5 - 7 - pancromatica	Lewinski 2006
Area	Geometrico	-	Chirici & Corona 2006
Length / width	Geometrico	-	Baatz et al. 2004
Border lenght	Geometrico	-	Baatz et al. 2004
Rectangular fit	Geometrico	-	Baatz et al. 2004
Density of sub-object: mean	Tessiturale	-	Baatz et al. 2004
Asymmetry of sub-object: standard deviation	Tessiturale	-	Baatz et al. 2004
GLCM: Homogeneity	Tessiturale	1 - pancromatica	Haralick 1979
GLCM: Entropy	Tessiturale	2 - pancromatica	Haralick 1979

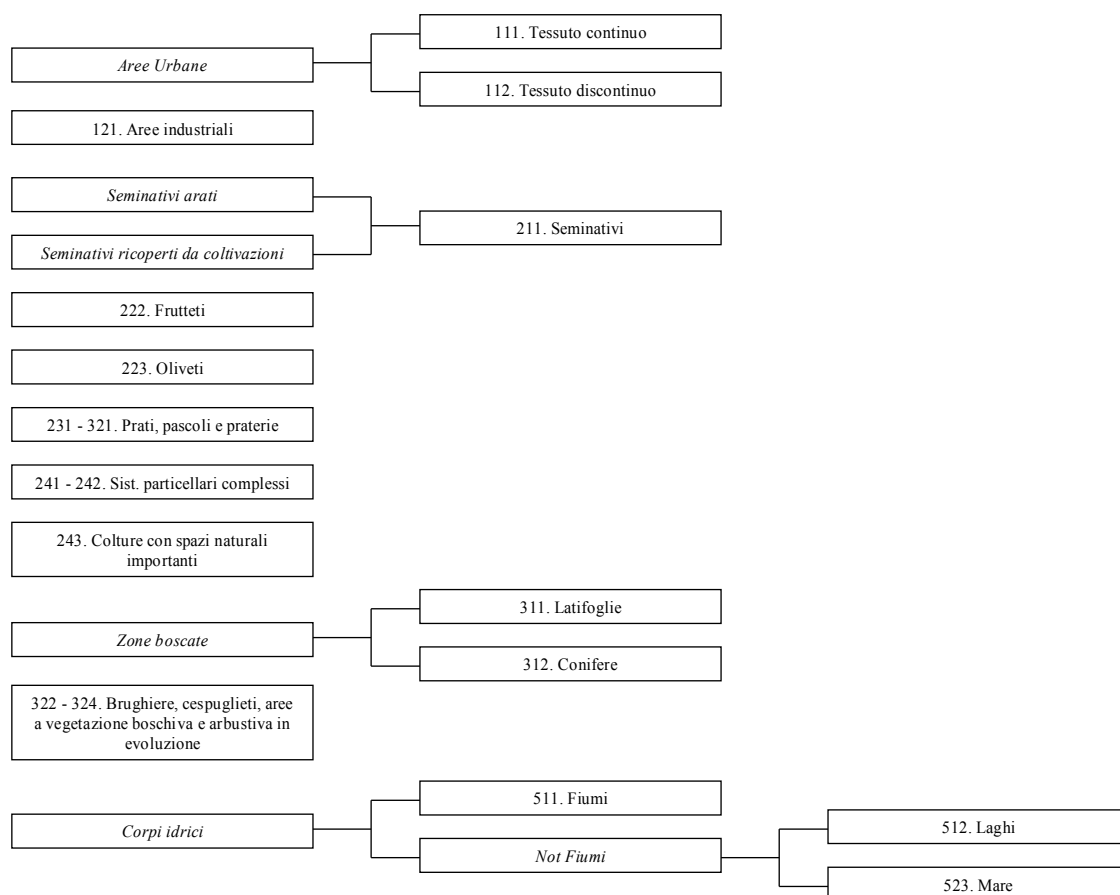


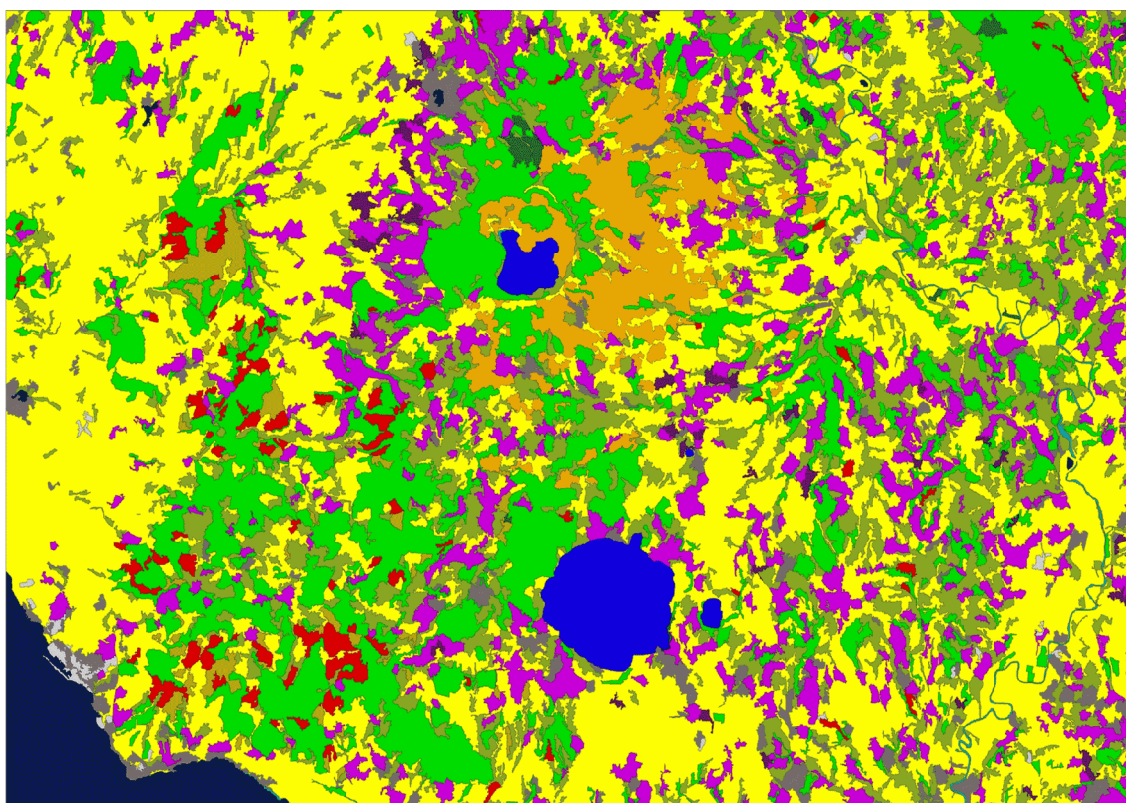
Fig. 3 - Struttura gerarchica della nomenclatura CLC adottata per la classificazione object oriented.

a quelli classificati come tessuto urbano discontinuo e rado.

- *Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati* (121): classificate per mezzo di funzioni di appartenenza calcolate sulla media spettrale degli oggetti nella banda del blu.
- *Seminativi* (211): all'interno dell'immagine si riscontra la presenza sia di seminativi arati che di seminativi ricoperti da coltivazioni. La differenza di copertura rende difficile la contemporanea attribuzione di entrambe le realtà direttamente alla classe 211. Quindi per la classificazione si è proceduto dapprima al riconoscimento di due sottoclassi applicando STD.N.N. e successivamente, tramite loro unione, alla definizione della classe seminativi.
- *Frutteti* (222), *Oliveti* (223) e *Prati, Pascoli e Praterie* (231+321): queste classi sono state definite sia con STD.N.N., sia limitandone la ricerca in uno spazio definito all'interno dell'immagine.
- *Sistemi colturali e particellari complessi* (241+242): classificati tramite STD.N.N.
- *Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con*

presenza di spazi naturali importanti (243): classificate tramite STD.N.N.

- *Superfici boscate*: le aree boscate sono state individuate nel loro complesso tramite STD.N.N. e solo successivamente suddivise, applicando funzioni di appartenenza, nelle classi *Boschi a prevalenza di latifoglie* (311) e *Boschi a prevalenza di conifere* (312). In particolare, nell'area esaminata è stato possibile ricondurre i boschi di conifere a un dato intervallo di valori assunti dal parametro *Ratio* calcolato per la banda 5; i boschi a prevalenza di latifoglie sono stati identificati come le aree boscate non classificate come conifere.
- *Brughiere, cespuglieti e aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione* (322+324): queste aree sono state classificate tramite STD.N.N. e limitando la ricerca alle aree circostanti a quelle boschive (EEA, 2000).
- *Corpi idrici* (5): la classificazione dei corpi idrici è avvenuta attraverso l'impiego di funzioni di appartenenza. Inizialmente è stato individuato l'insieme dei corpi idrici avvalendosi del parametro *Ratio* calcolato per la banda del blu. Successivamente da



Legenda
















	111. Zone residenziali a tessuto continuo
	112. Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
	121. Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
	211. Seminativi
	222. Frutteti e frutti minori
	223. Oliveti
	231+321. Prati, pascoli e praterie
	241+242. Sistemi colturali e particellari complessi
	243. Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
	311. Boschi a prevalenza di latifoglie
	312. Boschi a prevalenza di conifere
	322+324. Brughiere, cespuglieti, aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
	511. Corsi d'acqua, canali e idrovie
	512. Bacini d'acqua
	523. Mari e oceani



Fig. 4 - Classificazione *object-oriented* dell'immagine Landsat 7 ETM+ sulla base della nomenclatura CLC di terzo livello.

questa classe sono state derivate due sottoclassi: *Corsi d'acqua, canali e idrovie* (511), utilizzando parametri che prendessero in esame la forma dei sotto oggetti generati con il 1° livello di segmentazione, e la classe *Not Fiumi* ricorrendo all'inversione della funzione di similarità rispetto alla classe dei *Corsi d'acqua, canali e idrovie*. Quest'ultima classe racchiu-

de al suo interno il tratto di mare e i laghi che ricadono nell'immagine. Le classi *Bacini d'acqua* (512) e *Mari e oceani* (523) sono state quindi estrapolate da essa sfruttando i diversi valori medi di DN che questi corpi assumono nella banda spettrale del blu.

Le classificazioni prodotte in automatico sono state

Tab. 3 - Valori di *overall accuracy* (OA) e *Kappa index of agreement* (KIA) conseguiti per le singole tesi sperimentate.

Nomenclatura CLC	MODALITÀ DI CLASSIFICAZIONE			
	OBJECT-ORIENTED		INTERPRETAZIONE VISUALE	
	OA	KIA	OA	KIA
3° livello	0.79	0.74	0.67	0.59
2° livello	0.82	0.76	0.72	0.64
1° livello	0.93	0.84	0.91	0.80
3° bosco + 2° livello	0.82	0.76	0.72	0.64
3° bosco + 1° livello	0.93	0.84	0.89	0.77

successivamente sottoposte a una procedura di generalizzazione in ambito GIS (Jenness 2006) tramite dissolvenza con i poligoni vicini, al fine di evitare la presenza di poligoni di superficie inferiore all'unità minima cartografabile.

Tesi sperimentali

La sperimentazione condotta ha previsto la realizzazione di un set di classificazioni, elaborate sulla base dell'immagine Landsat, per la valutazione comparativa delle *performances*, in termini di accuratezza tematica e tempi di lavoro, delle procedure di classificazione *object oriented* rispetto all'interpretazione a video, condotta in modo indipendente da un fotointerprete esperto secondo lo standard convenzionale CLC (EEA 2000). In entrambe le modalità di classificazione non sono stati utilizzati dati ancillari di supporto.

Sono state poste a confronto le seguenti tesi:

- I. classificazione con nomenclatura al 3° livello CLC;
- II. classificazione con nomenclatura al 2° livello CLC;
- III. classificazione con nomenclatura al 1° livello CLC;
- IV. classificazione con nomenclatura mista, in cui, al 3° livello di approfondimento CLC adottato per le superfici boscate, è stato associato per tutte le restanti classi, il 2° livello CLC;
- V. classificazione con nomenclatura mista, in cui, al 3° livello di approfondimento CLC adottato per le superfici boscate, è stato associato per tutte le restanti classi il 1° livello CLC.

Le classificazioni con nomenclatura di ordine inferiore al terzo livello CLC sono state ottenute attraverso la generalizzazione della classificazione con legenda al terzo livello gerarchico.

La valutazione dell'accuratezza tematica di ciascuna modalità di classificazione è avvenuta tramite 150 fotoplot circolari, ciascuno di superficie pari a 50 ha, dislocati secondo uno schema di campionamento si-

stematico non allineato su una griglia di 5 km x 5 km (Bologna et al. 2004). All'interno di ciascun fotoplot è stata definita la verità a terra per fotointerpretazione della copertura ortofotografica digitale IT2000.

Sulla base dei dati raccolti sono stati calcolati gli indici *overall accuracy* (OA), *Kappa index of agreement* (KIA), accuratezza del produttore (AP) e accuratezza dell'utilizzatore (AU), che quantificano la concordanza della classificazione rispetto alla verità a terra (Chirici & Corona 2006).

Risultati

Accuratezza tematica

Tra le modalità di classificazione sperimentate le migliori prestazioni sono state registrate per quelle *object oriented* generate sulla base del 1° livello CLC e sulla base della nomenclatura mista in cui le classi di 3° livello delle aree boscate sono combinate con le classi di 1° livello per le restanti superfici: in entrambi i casi sono stati riscontrati valori di OA pari a 0.93 (errore standard = 0.012) e valori di KIA pari a 0.84 (Tab. 3). Anche considerando il set di classificazioni generate per interpretazione visuale, i risultati migliori sono stati quelli ottenuti con la nomenclatura di 1° livello CLC (OA = 0.91 con err.std. = 0.012; KIA = 0.80).

Per le classificazioni con nomenclatura CLC di 3° livello sono stati raggiunti valori di OA e KIA rispettivamente pari a 0.79 (err.std. = 0.019) e 0.74 con la procedura *object oriented* (Fig. 4), e pari a 0.67 (err.std. = 0.025) e 0.59 con la procedura per interpretazione visuale. Per quanto riguarda la nomenclatura CLC di 2° livello invece sono stati raggiunti valori di OA e KIA rispettivamente pari a 0.82 (err.std. = 0.019) e 0.76 con la procedura *object oriented*, e pari a 0.72 (err.std. = 0.023) e 0.64 con la procedura per interpretazione visuale.

Analizzando le singole classi, le procedure di clas-

Tab. 4 - Valori di accuratezza del produttore (AP) e dell'utilizzatore (AU) conseguiti nelle singole classi in funzione dei tre livelli gerarchici della nomenclatura CLC.

NOMENCLATURA	MODALITÀ DI CLASSIFICAZIONE			
	OBJECT ORIENTED		INTERPRETAZIONE VISUALE	
3° livello CLC	AP	AU	AP	AU
111	1.00	1.00	0.93	0.55
112	0.76	0.81	0.77	0.71
121	0.63	0.97	0.77	0.41
211	0.90	0.82	0.83	0.84
222	0.76	0.76	0.59	0.51
223	0.46	0.50	0.50	0.12
231 + 321	0.64	0.59	0.62	0.39
241 + 242	0.63	0.64	0.39	0.48
243	0.64	0.70	0.29	0.38
311	0.85	0.90	0.79	0.84
312	1.00	0.99	1.00	0.93
322 + 324	0.45	0.92	0.49	0.39
511	0.93	1.00	0.99	0.99
512	1.00	1.00	0.98	0.99
523	1.00	1.00	1.00	1.00
2° livello CLC	AP	AU	AP	AU
11	0.77	0.81	0.80	0.73
12	0.63	0.97	0.77	0.41
21	0.91	0.81	0.83	0.84
22	0.67	0.66	0.71	0.37
23	0.64	0.70	0.62	0.39
24	0.73	0.78	0.49	0.63
31	0.84	0.89	0.80	0.85
32	0.45	1.00	0.49	0.39
51	0.99	1.00	0.98	0.99
52	1.00	1.00	1.00	1.00
1° livello CLC	AP	AU	AP	AU
1	0.76	0.82	0.80	0.69
2	0.97	0.93	0.94	0.94
3	0.81	0.93	0.83	0.85
5	0.98	1.00	0.98	0.99

sificazione testate hanno evidenziato difficoltà nell'identificare correttamente alcune categorie rappresentative di aree agricole e di aree di transizione al bosco (Tab. 4).

Considerando le classificazioni prodotte per il terzo livello CLC, la procedura *object oriented* offre livelli di accuratezza soddisfacenti per le classi rappresentative dei centri urbani a tessuto continuo (111), dei boschi di conifere (312) e dei corpi idrici (511, 512, 523) per le quali si sono riscontrati livelli di AP e AU pari o prossimi a 1. Buoni sono anche i risultati di classificazione per i seminativi (AP = 0.90; AU =

0.82) e i boschi di latifoglie (AP = 0.85; AU = 0.90), mentre le peggiori prestazioni si registrano in termini di AP per le aree di transizione (AP = 0.45) e in termini di AU per gli oliveti (AU = 0.50). Tuttavia laddove il classificatore *object oriented* ha riscontrato difficoltà per la corretta identificazione delle classi anche l'interpretazione visuale si è dimostrata poco efficace.

Al 2° livello CLC le due modalità di classificazione hanno difficoltà nell'individuare le classi 22, 23 e 32, mentre la classificazione per interpretazione visuale confonde anche le classi 12 e 24. Al 1° livello CLC

Tab. 5 - Stima dei principali elementi di costo connessi alla realizzazione di classificazioni CLC tramite procedure automatiche di segmentazione e classificazione *object-oriented* nel caso di studio esaminato (valori aggiornati a gennaio 2007). ⁽¹⁾: Le immagini satellitari Landsat sono scaricabili gratuitamente presso il sito: <http://landsat.usgs.gov/index.php> (gennaio 2007). ⁽²⁾ Le ortofoto a colori sono visualizzabili online sul Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare: <http://www.pcn.minambiente.it/PCN/default.htm> (gennaio 2007). ⁽³⁾ Costo per utenti privati.

Tipologia	Descrizione	Costo <i>object oriented</i>	Costo interpretazione visuale
Materiale	Immagine satellitare multispettrale Landsat 7 ETM+		Scaricabile online ¹
Materiale	Ortofoto a colori		Visualizzabili online ²
Attrezzature	Software GIS per analisi di immagini con moduli per il preprocessamento dei dati		2000 €
Attrezzature	Software per segmentazione e classificazione automatica <i>object-oriented</i>	12000 € ³	-
Personale	-	5300 €	4000 €

non si evidenziano particolari difficoltà.

Tempi e costi di lavoro

I tempi richiesti per l’interpretazione visuale dell’area oggetto di studio sono risultati pari a circa 150 ore, mentre ai fini della classificazione *object oriented* sono state necessarie circa 200 ore di lavoro, di cui il 20% dedicato alla scelta dei parametri opportuni dell’algoritmo di segmentazione multirisoluzione, il 70% per la definizione delle funzioni di appartenenza e la selezione degli attributi ottimali da applicare al classificatore STD.N.N. e il 10% destinato alla realizzazione delle classificazioni e loro successiva validazione.

In Tab. 5 sono riportati i costi per la realizzazione delle coperture CLC ricorrendo rispettivamente a procedure di classificazione automatiche e di interpretazione visuale dell’immagine.

Discussione e conclusioni

Con il presente lavoro sperimentale sono stati confrontati i risultati di procedure di classificazione *object oriented* rispetto alla procedura convenzionale di interpretazione visuale, per la produzione di cartografie di uso e copertura del suolo CLC in scala 1:100.000 a partire da un’immagine telerilevata a media risoluzione spaziale. La qualità dei risultati è stata verificata sulla base della verità a terra definita all’interno di plot dislocati sull’area di studio attraverso l’interpretazione a video della copertura ortofotografica IT2000.

In termini di accuratezza tematica la modalità di classificazione *object oriented* tramite l’applicazione congiunta di STD.N.N. e di criteri parametrici ottie-

ne risultati migliori rispetto alla classificazione realizzata per interpretazione visuale. Tale miglioramento è risultato tanto più accentuato quanto maggiore è il grado di dettaglio del sistema di nomenclatura.

A livello di singole classi, entrambe le procedure di classificazione evidenziano difficoltà nell’individuazione delle cosiddette classi “miste”, ossia caratterizzate per definizione dalla presenza congiunta di più usi del suolo (a esempio, la 243) e per quanto concerne altre superfici agricole utilizzate (ad esempio, la classe 223) e le aree cespugliate e arbustive in evoluzione (classe 322+324). Tuttavia, attraverso l’applicazione della classificazione *object oriented* si riscontrano per queste classi valori di AP e AU comunque superiori a quelli conseguiti per interpretazione visuale.

Generalmente il processo di segmentazione multirisoluzione permette di delimitare poligoni di superficie prossima all’unità minima cartografabile all’interno di macro-poligoni che presentano uso del suolo differente, al contrario dell’interpretazione visuale dove si osserva, invece, la tendenza ad accorpare, e quindi sovradimensionare, alcune classi. In alcuni casi, per rendere giustificabile l’esistenza di una classe, il fotointerprete tende ad accorpare usi del suolo differenti: esempi in tal senso sono le classi di codice 24* la cui delimitazione tramite interpretazione visuale appare comunque legata a scelte di tipo soggettivo.

Classi dal confine più netto, quali i centri urbani, le aree boschive e i corpi idrici, hanno limiti meno suscettibili di interpretazioni soggettive e la modalità di classificazione per interpretazione visuale è gene-

ralmente comparabile con quella *object oriented*.

L'utilizzo di procedure di *pan-sharpening* si è confermata utile al fine di incrementare la precisione delle operazioni automatiche di segmentazione preliminari alla classificazione *object oriented*. Al contrario, come atteso, il dato *pan-sharpened* non ha apportato in genere un significativo contributo nella fase di classificazione. L'utilizzo della banda pancromatica si è dimostrato di supporto alla classificazione automatica attraverso l'estrazione di caratteri tessiturali e statistici discriminanti delle classi adottate. Il dato pancromatico è stato inoltre utilizzato in combinazione con il dato multispettrale per il calcolo del parametro ZABUD1, risultato particolarmente utile per l'identificazione delle classi urbane.

La combinazione di appropriate funzioni di appartenenza con il classificatore STD.N.N. ha permesso, rispetto alle classificazioni basate sull'utilizzo esclusivo di procedure *Nearest Neighbour* (Chirici e Corona, 2006), di ridurre al minimo il numero di poligoni di *training* da selezionare per la classificazione.

Per quanto riguarda i tempi di realizzazione delle classificazioni di uso/copertura del suolo CLC, essi, nel caso in esame, sono risultati superiori per le procedure di classificazione *object oriented* rispetto a quelle per interpretazione visuale. Tuttavia si tratta di tempi che tendono a ridursi, in termini relativi per unità di superficie, all'aumentare della dimensione dell'area cartografata, in quanto su di essi pesa soprattutto la fase iniziale di individuazione degli attributi e parametri ottimali del processo di classificazione.

In conclusione, l'applicazione di procedure automatiche di segmentazione e classificazione *object oriented* rispetto all'interpretazione visuale risulta vantaggiosa in termini di maggiore accuratezza e oggettività di lavoro intesa come replicabilità dei risultati. A scapito dell'applicazione in ambito operativo rimane l'elevato grado di professionalità da parte degli operatori e l'investimento iniziale per l'acquisto di software dedicato, fattori che, di fatto, selezionano l'utenza.

Ringraziamenti

Lavoro parzialmente svolto nell'ambito del progetto Ri.Selv.Italia, finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (sottoprogetto 4.1.4, U.O. DI-SAFRI - Università degli Studi della Tuscia, Responsabile: P. Corona).

Bibliografia

Baatz M, Benz U, Dehghani S, Heynen M, Holtje A, Hof-

mann P, Lingenfelder I, Mimler M, Sohlbach M, Weber M, Willhauck G (2004). eCognition Professional. User Guide 4. Definiens Imaging, Munchen, Germany.

Benz UC, Hofmann P, Willhauck G, Lingenfelder I, Heynen M (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 58: 239-258.

Bologna S, Chirici G, Corona P, Marchetti M, Pugliese A, Munafò M (2004). Sviluppo e implementazione del IV livello Corine Land Cover 2000 per i territori boscati e ambienti semi-naturali in Italia. Atti della 8ª Conferenza Nazionale ASITA, Roma, 14-17 dicembre 2004, pp. 467 - 472.

Chirici G, Corona P, Travaglini D (2003). Sperimentazione di tecniche di classificazione *object-oriented* di immagini QuickBird a fini forestali. L'Italia Forestale e Montana 4: 231-250.

Chirici G, Barbati A, Corona P, Lamonaca A, Marchetti M, Travaglini D (2006). Segmentazione di immagini telerilevate multirisoluzione per la derivazione di cartografie di uso/copertura del suolo multiscala. Rivista Italiana di Telerilevamento 37: 113-136.

Chirici G, Corona P (2006). Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per il rilevamento delle risorse forestali. Aracne Editrice, Roma.

Dorren LKA, Maier B, Seijmonsbergen AC (2003). Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification. Forest Ecology and Management 183: 31-46.

EEA (2000). CORINE land cover technical guide - Addendum 2000. Technical report n. 40, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

Geomatica (2003). Geomatica Focus. User Guide. Richmond Hill, ON, Canada.

Haralick RM (1979). Statistical and Structural Approaches to Texture. Proceedings of the IEEE, Vol. 67, n. 5, May 1979, pp. 786-804.

Jenness J (2006). Dissolve adjacent polygons (diss_adjac.vx) extension for ArcView 3.x, v. 1.8a. Jenness Enterprises. [online] URL: http://www.jennessent.com/arcview/dissolve_adjacent_polys.htm.

Lamonaca A (2006). Utilizzo di immagini QuickBird per il monitoraggio annuale della superficie forestale. L'Italia Forestale e Montana 61 (2): 119-132.

Lewinski S (2006). Applying fused multispectral and panchromatic data of Landsat ETM+ to object oriented classification. Proceedings of the 26th EARSeL Symposium, New Developments and Challenges in Remote Sensing, May 29-June 2, 2006, Warsaw, Poland.

Maricchiolo C, Sambucini V, Pugliese A, Blasi C, Marchetti M, Chirici G, Corona P (2004). La realizzazione in Italia del progetto europeo I&CLC2000: metodologie operative

- e risultati. Atti della 8^a Conferenza Nazionale ASITA, Roma, 14-17 dicembre 2004, pp. CXIII-CXXVIII.
- Mitri GH, Gitas IZ (2006). Fire type mapping using object-based classification of Ikonos imagery. *International Journal of Wildland Fire* 15: 457-462.
- Nunes De Lima MV (2005). IMAGE 2000 and CLC2000. Products and Methods. JRC-IES, European Communities, Italy.
- Zhang Y (2002). Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite as well as Landsat 7 images and initial solutions. Symposium on "Geospatial Theory, Processing and Applications", Ottawa 9-12 July 2002, Canada, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Volume 34, Part 4.