

# POTENZIALITÀ DELLA CLASSIFICAZIONE *OBJECT-ORIENTED* PER L'ESTRAZIONE DI DATI DI USO E COPERTURA DEL SUOLO DA IMMAGINI SATELLITARI AD ELEVATA RISOLUZIONE SPAZIALE

Leonardo DISPERATI, Andrea RINDINELLA, Fabio SALVI e Francesco AGNELLI

Università di Siena, Centro di Geotecnologie e Dipartimento di Scienze della Terra, via Vetri Vecchi, 34, 52027 San Giovanni Valdarno (AR), tel. 0559119442, fax 0559119437, e-mail disperati@unisi.it.

## Riassunto

Vengono presentati i risultati di una ricerca finalizzata alla costruzione di banche dati di uso e copertura del suolo a scala 1:25.000, tramite procedure basate su classificazione *object-oriented*. I dati di partenza sono costituiti da immagini ad elevata risoluzione spaziale QuickBird pancromatiche e multispettrali. La classificazione *object-oriented* consente di sfruttare le informazioni radiometriche, spettrali e di tessitura di tali immagini e di ottenere risultati interessanti in termini di accuratezza statistica, ma anche in termini di corrispondenza spaziale con banche dati poligonali di uso e copertura del suolo realizzate tramite procedure di interpretazione visuale.

## Abstract

The results of a research aimed to obtain land use/cover databases at the scale of 1:25,000 through object-oriented image classification procedures are presented. Panchromatic and multispectral high spatial resolution QuickBird images have been classified. Object-oriented classification allowed us to take into account radiometric, spectral, textural and contextual information characterising the images. Global, user and producer accuracies are generally high, even though some trouble arose with generalisation of those entities smaller than the minimum mapping unit. Object-oriented classification provided good performance also in terms of spatial accuracy, as suggested by results of matrix with vector polygon databases obtained by means of visual interpretation.

## Introduzione

La conoscenza cartografica dei tematismi di uso e copertura del suolo ha acquisito nell'ultimo decennio importanza crescente, come testimoniato dalla realizzazione a livello dell'Unione Europea dei programmi *Corine Land Cover* (Heymann et al., 1994; Bossard et al., 2000) e *Corine Land Cover 2000* (Perdigão & Annoni, 1997) e, a livello nazionale o regionale, da programmi di maggiore dettaglio, sia per la scala cartografica che per la nomenclatura adottate (es. Carta di uso del suolo della Regione Emilia-Romagna in scala 1:25.000).

Se nel caso di *Corine Land Cover 2000*, la tipologia dei dati basilari sorgente di informazioni (Landsat TM/ETM+) non è stata modificata rispetto all'edizione precedente, nella realizzazione delle cartografie di uso e copertura del suolo a scala 1:25.000 o maggiore si è assistito all'impiego sempre più frequente ed esclusivo di dati satellitari ad elevata risoluzione spaziale (*QuickBird* e *Ikonos*). Infatti, in linea di principio, l'elevata risoluzione spaziale può fornire dati di qualità confrontabile o superiore rispetto alle foto aeree, almeno per risoluzione spettrale e radiometrica.

Per quanto riguarda le tecniche di analisi delle immagini, malgrado lo sviluppo degli strumenti GIS, l'interpretazione visuale resta oggi, in pratica, l'unica tecnica implementata (vedi ancora *Corine Land Cover 2000*). Questa condizione vale soprattutto per la produzione degli strumenti informativi con finalità di pianificazione che vengono realizzati nell'ambito delle pubbliche amministrazioni

italiane. Le procedure di analisi alternative, basate su varie tecniche di classificazione, sono invece tuttora confinate all'ambito scientifico.

Nell'ultimo decennio si è quindi assistito ad un netto miglioramento per le fonti di dati, ma non altrettanto si può dire per le tecniche di analisi degli stessi finalizzate alle produzioni cartografiche. Questa situazione può essere spiegata con l'inadeguatezza delle tradizionali procedure di classificazione a scala di pixel delle immagini digitali (Schowengerdt, 1997), che non consentono di estrarre in maniera accurata dati di natura semantica e quindi non sfruttano appieno il surplus di informazioni digitali delle immagini satellitari rispetto alle foto aeree. Il limite è particolarmente evidente usando immagini ad elevata risoluzione spaziale, nelle quali l'informazione spettrale e radiometrica a scala di pixel non è generalmente riconducibile in maniera univoca a specifiche tipologie di uso o copertura del suolo. Per la classificazione di tali immagini è quindi indispensabile raccogliere informazioni sulle mutue relazioni tra regioni vicine (tra *cluster* di pixel che assumono il significato di "oggetti"), cioè analizzare le informazioni contestuali.

Il tema dell'estrazione di informazioni semantiche dalle immagini digitali è di estremo interesse, come testimoniato dall'abbondante letteratura degli ultimi anni (Baltsavias, 2004; Benz et al., 2004, *cum bibl.*) e dalla comparsa sul mercato di pacchetti software che implementano procedure variamente articolate di classificazione *object-oriented*, come ad esempio Definiens eCognition e Leica ERDAS IMAGINE *Feature Analyst*.

In questo lavoro vengono descritti i risultati finora ottenuti nell'ambito di una ricerca finalizzata alla costruzione di banche dati di uso e copertura del suolo a scala 1:25.000, strutturate con nomenclatura gerarchica fino al quarto livello, tramite procedure basate su classificazione *object-oriented*.

## Dati e metodologia

Le due aree oggetto di studio (Fig. 1) sono comprese rispettivamente nel settore settentrionale del Parco regionale di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli (Area 1: Toscana, sezioni 260080 e 260120) e nell'Appennino Settentrionale, a cavallo del confine tra Emilia-Romagna e Lombardia (Area 2: province di Pavia e Piacenza, sezione 178042).

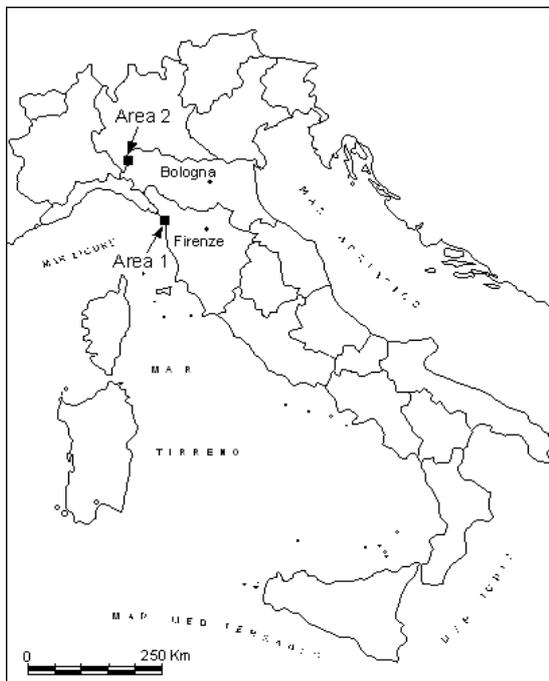
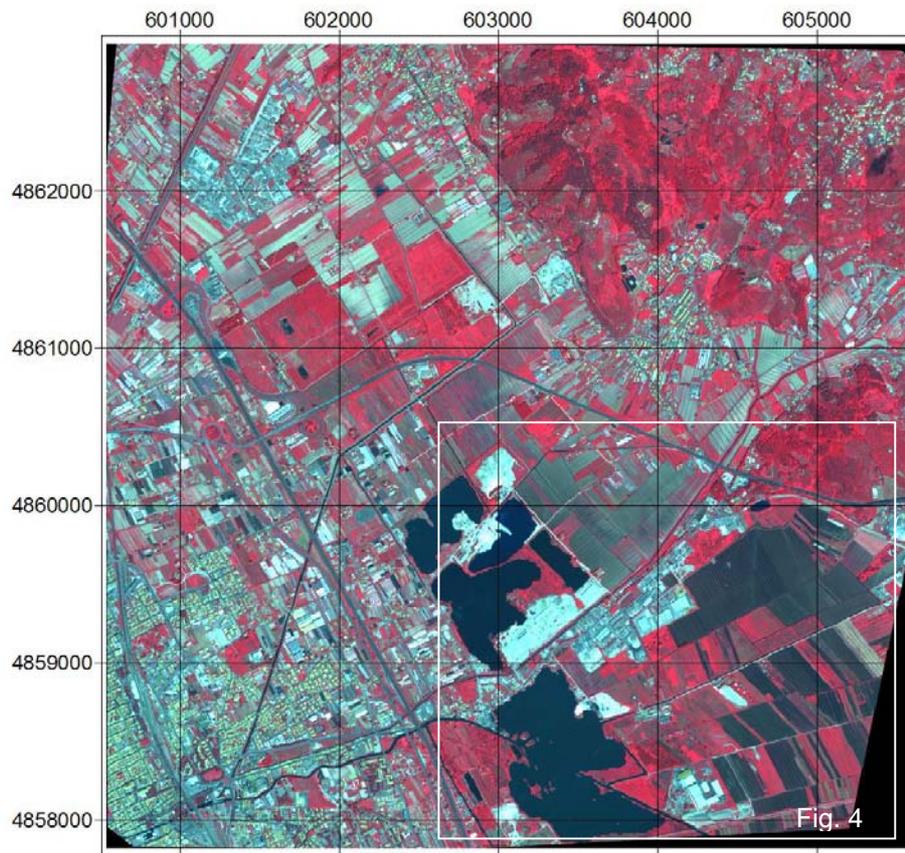


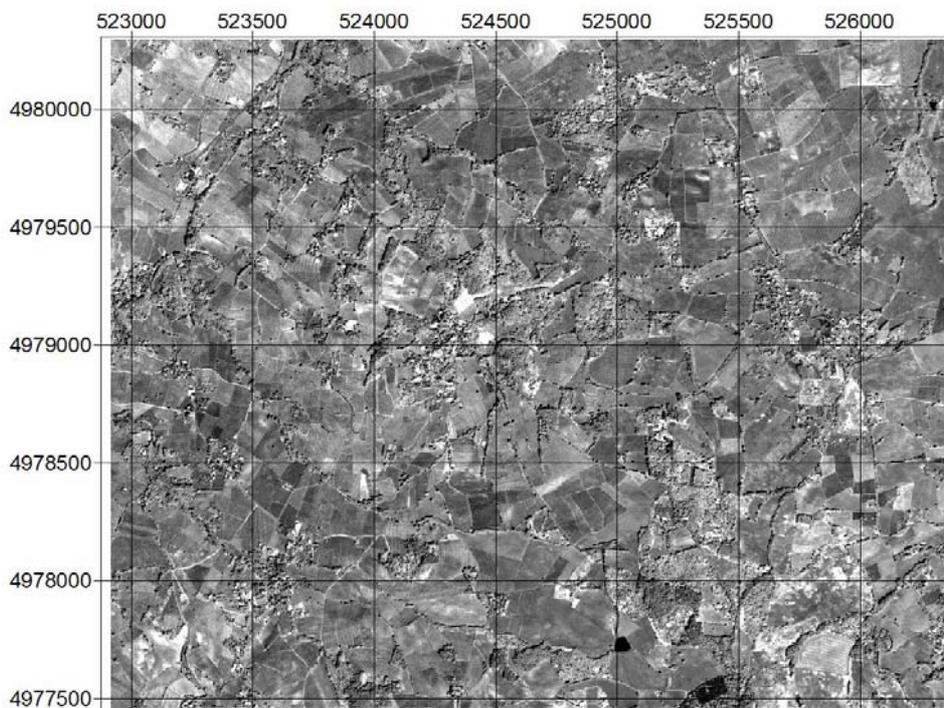
Figura 1 - Inquadramento geografico delle aree di studio 1 e 2.

L'Area 1, che comprende il litorale pianeggiante della Versilia, i corpi d'acqua del Lago di Massaciuccoli ed i rilievi collinari adiacenti, è caratterizzata da estrema variabilità delle tipologie di uso e copertura del suolo (aree urbane a diversa densità, aree industriali, colture estensive e protette, vigneti ed oliveti, ecc.). In questa area il dato sottoposto ad elaborazione è un'immagine QuickBird, prodotto Standard, multispettrale a 4 bande, *pan-sharpened*, risoluzione spaziale 0,70 m, del 02 maggio 2001 (Fig. 2). È stato inoltre utilizzato un modello digitale del terreno in formato raster con pixel di 20 m registrato all'immagine satellitare.

L'Area 2, con morfologia collinare e quote comprese tra 260 e 650 m s.l.m., è caratterizzata da vaste estensioni di boschi, aree agricole parcellizzate in seminativi e vigneti e, infine, da piccoli nuclei urbani ad andamento discontinuo. In questo caso il dato sottoposto ad elaborazione è un'immagine QuickBird, prodotto Basic, pancromatico, risoluzione spaziale 0,70 m, del 08 giugno 2003 (Fig. 3).



*Figura 2 – Area 1: immagine QuickBird multispettrale, 2 maggio 2001, FCC 432 RGB. Sistema di riferimento UTM ED50, Fuso 32.*



*Figura 3 – Area 2: immagine QuickBird pancromatica, 08 giugno 2003. Sistema di riferimento UTM ED50, Fuso 32.*

Date le differenze tra i dati a disposizione (multispettrale / pancromatico) e le diverse caratteristiche di copertura del suolo, per le due aree sono state sviluppate diverse metodologie d'analisi, basate sull'integrazione dei software Definiens eCognition, Leica ERDAS IMAGINE e ESRI ArcGIS 8.3, con l'obiettivo di ottenere banche dati di uso e copertura del suolo rappresentabili alla scala 1:25.000.

#### Area 1

È stata adottata una nomenclatura a priori gerarchica (Di Gregorio & Jansen, 1996) fino al quarto livello con categorie generalmente riferibili alla nomenclatura *Corine Land Cover*, considerando un'area minima cartografabile di 1,56 ha. Sono state svolte attività di campagna per la raccolta di verità a terra utili nelle fasi di classificazione, interpretazione e verifica di accuratezza. L'immagine dell'area è stata sottoposta a interpretazione visuale a monitor e a classificazione *object-oriented* basata sull'impiego del software Definiens eCognition.

Per l'interpretazione visuale sono state sfruttate diverse composizioni di falsi colori ed opzioni di miglioramento del contrasto. La delineazione degli archi per la costruzione delle entità poligonali è stata eseguita mantenendo scale di visualizzazione comprese tra 1:10.000 e 1:25.000.

Nella classificazione *object-oriented* si è cercato di sviluppare una procedura che valorizzasse l'analisi delle proprietà spettrali degli oggetti. Per la segmentazione dell'immagine QuickBird sono stati quindi prescelti parametri che privilegiassero l'aspetto spettrale rispetto a quello spaziale e tali da ottenere oggetti di dimensioni adeguate ad esprimere la tessitura delle diverse categorie a scala 1:25.000. A questo fine sono stati confrontati gli istogrammi di frequenza dell'estensione degli oggetti ottenuti applicando diversi parametri di scala di segmentazione ed è stata valutata in modo visuale l'occorrenza di oggetti eterogenei rispetto alle categorie della nomenclatura. Un subset del prodotto della segmentazione è rappresentato in Fig. 4.

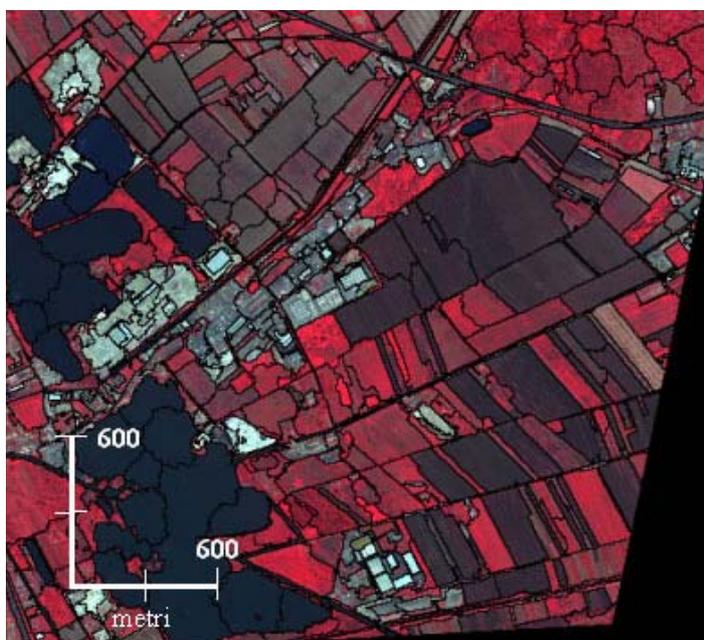


Figura 4 – Segmentazione di un subset dell'immagine QuickBird dell'Area 1 (parametro di scala 300).

Successivamente è stata costruita una gerarchia di classi ed effettuata la classificazione degli oggetti secondo le procedure di logica *fuzzy* implementate nel software (Batz et al., 2003): i valori di proprietà degli oggetti in un intervallo qualunque vengono trasformati in valori "continui" compresi tra 0 e 1 che descrivono l'entità d'appartenenza ad una classe specifica. L'attribuzione di ogni oggetto ad una classe avviene mediante una funzione d'appartenenza (*membership function*) definita dall'operatore, che stabilisce i criteri (proprietà degli oggetti e/o relazioni tra questi) che un oggetto deve soddisfare. Utilizzando la proprietà *area*, gli oggetti sono stati suddivisi rispetto al valore soglia di 1,56 ha. Gli oggetti più estesi rispetto a tale soglia sono stati poi distinti tenendo conto della loro omogeneità spettrale (parametro

*standard deviation* del DN) e della quota minima s.l.m. Ciò ha consentito una separazione di prim'ordine tra aree "eterogenee" (urbane generiche) e "relativamente omogenee" (aree agricole estensive, colture permanenti, aree boscate, corpi d'acqua). Con l'ulteriore applicazione gerarchica della proprietà *ratio* (rapporto tra DN medio di una banda e DN medio delle restanti bande) sono stati poi discriminati corpi d'acqua, boschi di conifere o latifoglie, oliveti, aree agricole (s.s. e protette) e particellari complesse. Nell'applicazione della proprietà *ratio*, principalmente la banda 4

(infrarosso vicino) è risultata ricca di informazioni. La viabilità è stata estratta con buoni risultati tramite la proprietà *length/width*, che consente di individuare oggetti caratterizzati da morfologia allungata. Per la classificazione degli oggetti meno estesi di 1,56 ha si è prima proceduto alla fusione degli oggetti adiacenti appartenenti alla stessa classe (*classification based segmentation*), in modo da migliorare l'efficienza delle proprietà di vicinanza e adiacenza tra oggetti (ad esempio, proprietà *relation border to*). Successivamente queste proprietà hanno consentito di attribuire gli oggetti "non cartografabili" alle classi degli oggetti "cartografabili" vicini più frequenti. La logica *fuzzy* consente di applicare ogni proprietà secondo *membership function* liberamente gestibili dall'utente. In linea di principio questa opportunità è molto interessante perché si possono ottenere output più aderenti alla realtà, dove i passaggi di categoria (cioè gli schemi umani) sono spesso progressivi e non netti. In pratica essa è di difficile gestione quando la gerarchia di classi, come si verifica in genere, è articolata su molte categorie e su più livelli. Per tale ragione, in questo lavoro non sono state impiegate *membership function* continue tra categorie, ma sono state inserite delle soglie.

L'accuratezza statistica della classificazione è stata verificata confrontando l'immagine tematica di output con un *test dataset* (514 punti) costruito dai dati di campagna, secondo il criterio spaziale sistematico non-allineato stratificato (Congalton, 1991). Ogni campione del *test dataset* è stato posizionato in regioni più estese di 1,56 ha attribuibili ad una delle classi della nomenclatura considerata. Sono state verificate le accuratèzze procedurali, utente e globale ed il parametro K (Congalton, 1991).

Inoltre è stata effettuata l'operazione di matrice (Howarth & Wickware, 1981) con la banca dati di interpretazione visuale per valutare la corrispondenza spaziale delle classi dei due strati informativi, ottenuti per vie indipendenti dalla stessa immagine satellitare. Poiché l'interpretazione visuale si può ritenere la procedura di riferimento richiesta oggi dalle pubbliche amministrazioni per la realizzazione di banche dati di uso e copertura del suolo, questo confronto fornisce una stima di quanto possano essere utilizzabili a fini pratici i prodotti di classificazioni *object-oriented*.

## Area 2

In quest'area, la variabilità di uso e copertura del suolo è più limitata rispetto al caso precedente, per cui è stata adottata una nomenclatura costituita dalle seguenti classi: aree urbane (a bassa densità), aree agricole (seminativi e vigneti) e aree naturali (boschi di latifoglie, vegetazione arbustiva). Anche in questo caso si è assunta un'area minima cartografabile di 1,56 ha. L'immagine QuickBird pancromatica è stata sottoposta a classificazione *object-oriented*. Inoltre, sono state effettuate alcune elaborazioni spaziali per raffinare i risultati della classificazione. L'interesse nello studio di quest'area è rappresentato dalla presenza di tipologie di uso e copertura del suolo caratterizzate da tessiture ben differenziate e riconoscibili da un interprete esperto anche tramite i soli dati pancromatici, e quindi dalla possibilità di verificare le potenzialità della classificazione *object-oriented* in assenza di informazioni spettrali. Perciò è stata implementata una procedura di classificazione degli oggetti su base principalmente tessiturale e subordinatamente di luminosità.

Una prima distinzione tra aree "eterogenee" e "relativamente omogenee" dal punto di vista della luminosità è stata ottenuta applicando la proprietà *standard deviation*. Si sono poi valutate le variabilità radiometriche negli oggetti eterogenei, come indicatori della tessitura degli stessi. Per questo tipo di attività la segmentazione multirisoluzione (*multiresolution segmentation*) costituisce uno strumento interessante. Vengono estratti oggetti a diversa risoluzione spaziale che vanno ad occupare livelli differenti: al livello inferiore si trovano gli oggetti più piccoli (sub-oggetti), ottenuti applicando un parametro di scala inferiore rispetto a quello utilizzato per ottenere gli oggetti più estesi (super-oggetti) del livello superiore. Dal punto di vista topologico, i sub-oggetti rappresentano porzioni dei super-oggetti, dei quali condividono una parte del perimetro. In Fig. 5 sono rappresentati, per un subset dell'Area 2, sub-oggetti e super-oggetti relativi a parametri di scala 10 e 50 rispettivamente. Questa struttura gerarchica a risoluzione variabile consente di classificare i super-oggetti sulla base di proprietà che caratterizzano i sub-oggetti in essi contenuti:

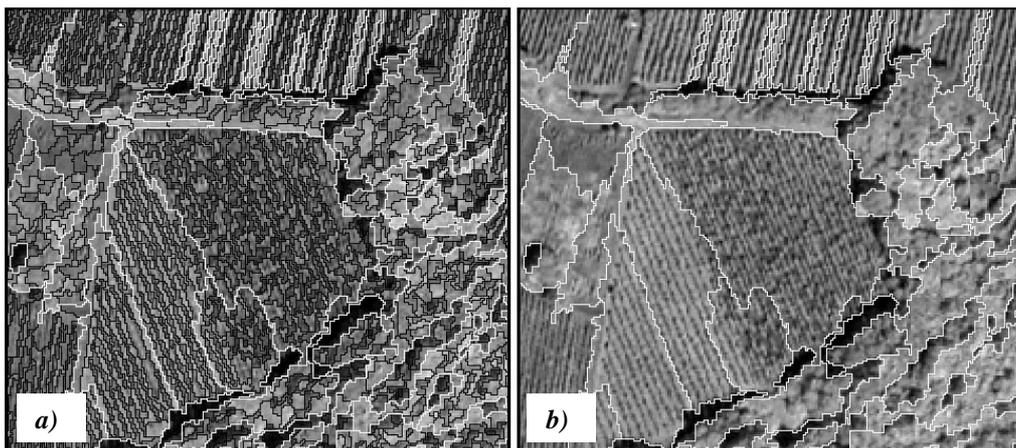


Figura 5 – Segmentazione multirisoluzione di un subset dell'immagine QuickBird dell'Area 2 secondo un livello di sub-oggetti (a: linee bianche+neri) con parametro di scala 10 e un livello di super-oggetti (b: linee bianche), con parametro di scala 50.

gli oggetti al centro della Fig. 5b identificano appezzamenti di vigneti i cui filari orientati NW-SE, ben visibili tramite l'immagine QuickBird, sono individuati come sub-oggetti nella Fig. 5a. L'applicazione di una proprietà basata sui sub-oggetti come *asymmetry of sub-object mean*, consente quindi di individuare accuratamente i super-oggetti costituiti da sub-oggetti con particolari forme di asimmetria, ovvero tessitura. Per quanto riguarda la scelta dei parametri di scala, per i super-oggetti il valore di 50 consentiva di ottenere le entità più estese caratterizzate da tipologie di copertura generalmente omogenee, per i sub-oggetti il valore di 10 consentiva di ottenere entità rappresentative della tessitura dei super-oggetti. La segmentazione multirisoluzione può anche essere applicata a gruppi di oggetti appartenenti a determinate classi (*classification-based multiresolution segmentation*) con l'obiettivo di migliorare, utilizzando ulteriori e diversi parametri di segmentazione, la capacità di separazione in sottoclassi. Questa tecnica è stata impiegata applicando un parametro di scala di 150 per la segmentazione dei soli gruppi di oggetti eterogenei già privati dei vigneti e comprendenti boschi, vegetazione arbustiva e aree urbane. Tali classi sono poi state estratte impiegando la proprietà *contrast*. In questo caso, gli oggetti classificati meno estesi dell'unità minima cartografabile, pari a 1,56 ha, sono stati accorpati, mediante ESRI ArcGIS 8.3, utilizzando la funzione *zonalmajority*. In tal modo, le nuove entità create sono state attribuite alla classe in esse più frequente.

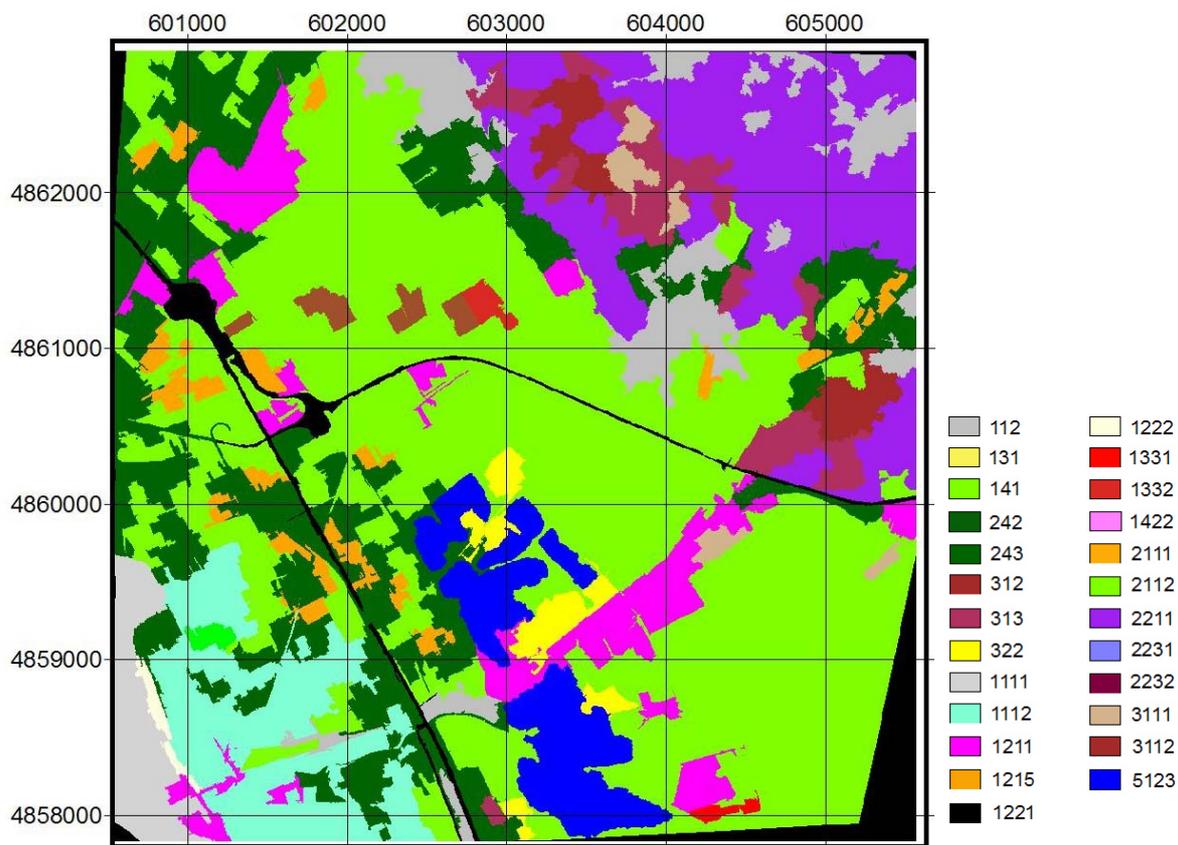
L'accuratezza statistica della classificazione è stata verificata confrontando l'immagine tematica di output con un *test dataset* di 160 punti costruito seguendo gli stessi criteri descritti per l'Area 1. In questo caso, la scelta di collocare i campioni in regioni più estese di 1,56 ha attribuibili ad una delle classi della nomenclatura, ha limitato il numero di punti di controllo nelle aree urbane, a causa della dispersione e compenetrazione con le altre categorie. Sono state verificate le accuratèzze procedurali, utente e globale ed il parametro K.

## Risultati e discussione

In Fig. 6 sono rappresentati i risultati della classificazione dell'Area 1.

La qualità dei risultati ottenuti tramite la classificazione *object-oriented* dell'Area 1 è stata valutata attraverso l'accuratezza statistica di questa ed eseguendo il confronto spaziale (matrice) con la banca dati realizzata tramite interpretazione visuale, in modo da quantificare estensione, localizzazione e tipologia delle discrepanze tra i due strati informativi.

L'accuratezza globale della classificazione è 84% e  $K = 0,81$ . In Tab. 1 sono riportati i valori di accuratezza procedurale ed utente delle classi più estese del 2% dell'area e campionate nel *test dataset* con almeno 20 punti di controllo. Si può notare che non sono soddisfacenti, per la classe 242 entrambe le accuratèzze, per la classe 2111 solo l'accuratezza procedurale. Dal punto di vista



*Figura 6 – Area 1: banca dati di uso e copertura del suolo ottenuta tramite classificazione. Categorie di uso e copertura del suolo: 1111-Tessuto residenziale compatto e denso, 1112-Tessuto residenziale rado, 112-Tessuto residenziale discontinuo, 1211-Insediamenti produttivi industriali, artigianali e agricoli con spazi annessi, 1215-Insediamenti di impianti tecnologici, 1221-Reti stradali e spazi accessori, 1222-Reti ferroviarie e spazi accessori, 1331-Cantieri, spazi in costruzione e scavi, 1332-Suoli rimaneggiati ed artefatti, 131-Aree estrattive, 141-Aree verdi, 1422-Aree sportive (calcio, atletica, tennis, sci), 2111-Seminativi semplici, 2112-Vivai, 2211-Vigneti, 2231-Pioppeti colturali, 2232-Altre colture da legno, 242-Sistemi colturali e particellari complessi, 243-Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti, 3111-Boschi a prevalenza di faggi, 3112-Boschi a prevalenza di querce, carpini e castagni, 312-Boschi di conifere, 313-Boschi misti di conifere e latifoglie, 322-Cespuglieti e arbusteti, 5123-Bacini artificiali di varia natura. Sistema di riferimento UTM ED50, Fuso 32.*

statistico si può quindi affermare che i risultati sono molto buoni, soprattutto se si considera che la nomenclatura utilizzata raggiunge per alcune classi il quarto livello.

Anche i risultati della matrice tra classificazione e interpretazione visuale sono interessanti e in sostanziale accordo con le statistiche di accuratezza, come si può vedere dal diagramma di Fig. 7. In tale diagramma si nota che l'estensione delle classi dei due strati informativi messi a confronto sono generalmente simili a quelle che si ritrovano nella matrice, cioè le classi nelle due mappe tematiche assumono estensioni simili e collocazioni spaziali corrispondenti. Le classi 242 e 2111 non rispettano tali condizioni. La 242 viene sovrastimata nella classificazione rispetto all'interpretazione visuale e va a collocarsi di frequente anche in regioni differenti nei due strati informativi. Questi risultati sono in accordo con l'elevato errore di omissione e commissione ottenuto per questa classe (Tab. 1). Poiché la 242 è una classe costituita da entità riconducibili ad aree agricole e artificiali, di dimensioni inferiori all'unità minima cartografabile, essa assume proprietà spettrali e spaziali eterogenee che probabilmente non sono state trattate nella maniera più opportuna soprattutto a livello della classificazione degli oggetti meno estesi di 1,56 ha.

Classe	Estensione % classe	N. punti del test data set	Accuratezza procedurale %	Accuratezza utente %
1112	6,0	29	93	90
112	4,9	31	94	91
1211	5,4	36	86	100
2111	2,1	34	47	94
2112	40,3	180	90	85
2232	10,8	54	100	84
242	14,7	39	62	44
5123	4,4	21	100	100

Tabella 1 – Caratteristiche del test dataset di accuratezza, accuratezza procedurale e utente per la classificazione relativa all'Area 1. Non sono rappresentate le accuratezze delle classi 1111, 1215, 1221, 1222, 131, 1331, 1332, 141, 1422, 243, 312, 313, 322, poiché queste classi occupano singolarmente un'area inferiore al 3% ed ognuna di esse, date le caratteristiche spaziali, è stata campionata nel test dataset con meno di n. 20 punti. Per il significato dei codici vedere Fig. 6.

La classe 2111 viene sottostimata nella classificazione, in accordo con la bassa accuratezza procedurale (quindi l'elevato errore di omissione) in Tab. 1. La classe 2112, infine, assume nei due casi estensione praticamente coincidente, ma il 7% su un'area del 40%, si localizza spazialmente in aree differenti.

In definitiva, sia dal punto di vista statistico che dell'analisi spaziale, il risultato della classificazione *object-oriented* risulta aderente a quello ottenuto tramite interpretazione visuale.

Per l'Area 2 i risultati della classificazione (Fig. 8) sono stati valutati in termini statistici: sono state ottenute un'accuratezza globale dell'87% e  $K=0,82$ , quindi valori in linea con quelli dell'altra area di studio, malgrado sia stata sottoposta a classificazione un'immagine pancromatica. Le accuratezze procedurali e utente sono riportate in Tab. 2.

La classe 1112 è caratterizzata dal valore minimo di accuratezza procedurale. Questa fatto può essere spiegato con la distribuzione dispersa e le dimensioni, spesso al limite della soglia dell'area minima cartografabile, delle unità urbane nell'Area 2. Si conferma quindi la difficoltà di gestire

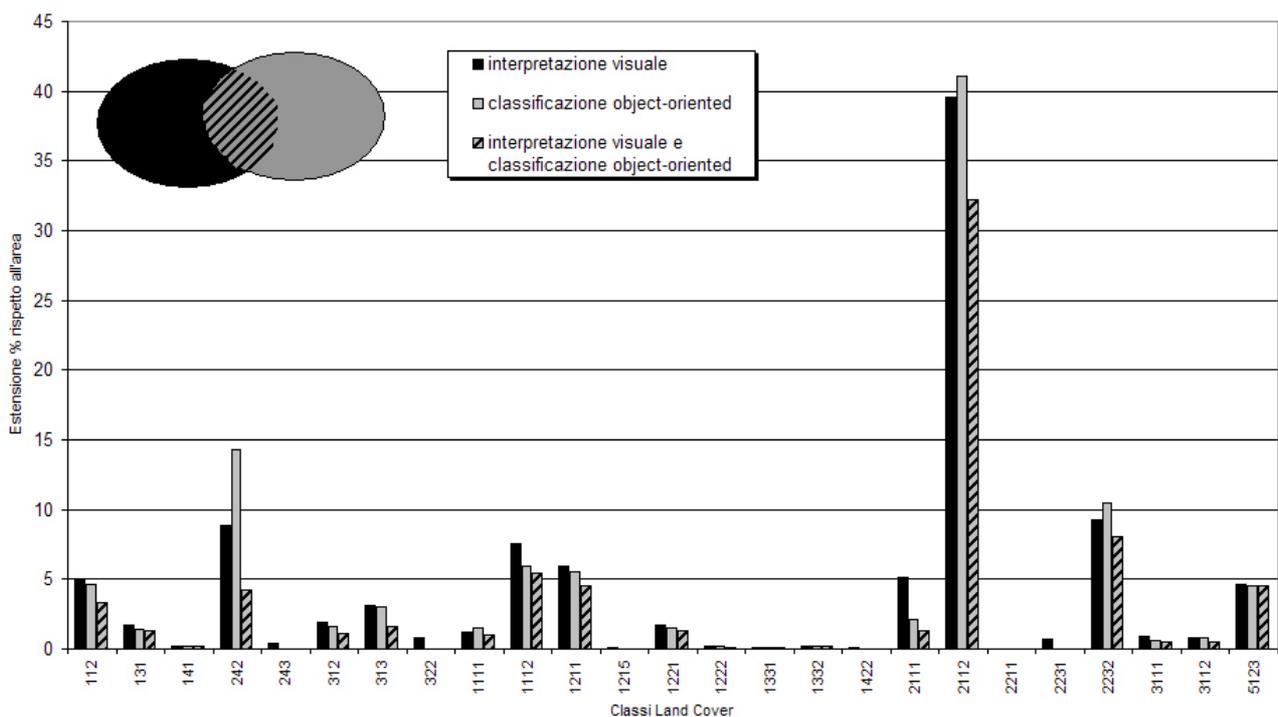


Figura 7 – Diagramma riassuntivo della matrice tra l'interpretazione visuale e la classificazione object-oriented dell'immagine QuickBird dell'Area 1. Per il significato dei codici vedere Fig. 6.

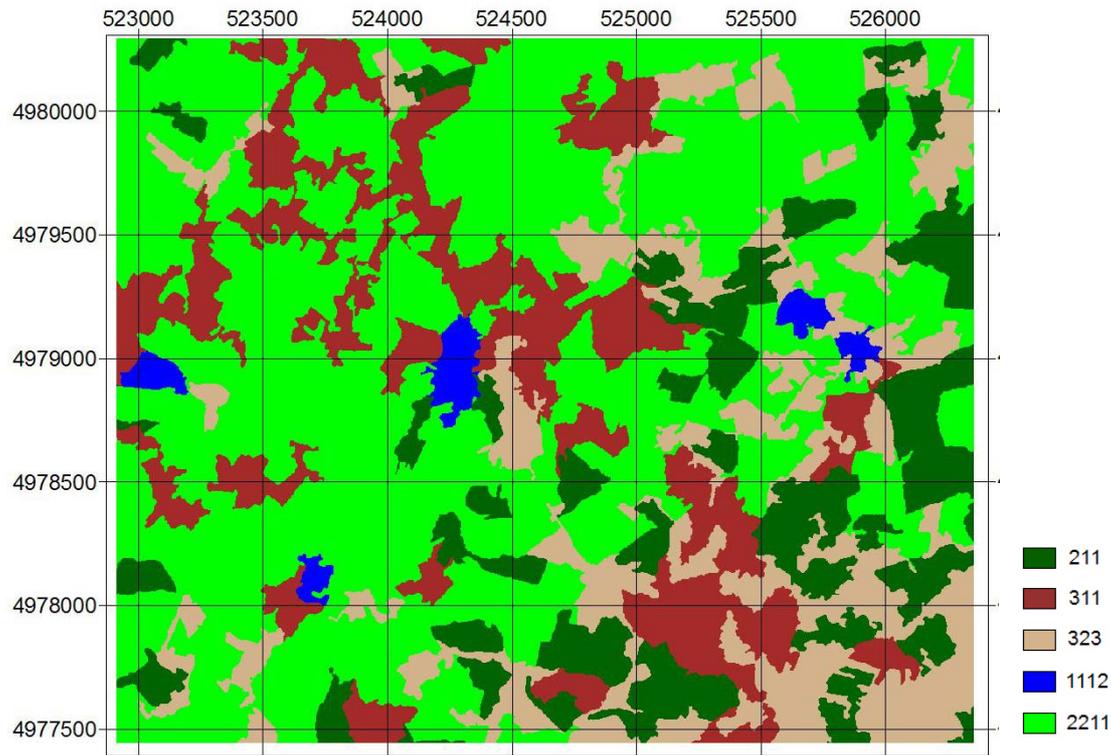


Figura 8 – Area 2: banca dati di uso e copertura del suolo ottenuta tramite classificazione. Per il significato dei codici vedere Fig. 6. Sistema di riferimento UTM ED50, Fuso 32.

Classe	Estensione % classe	N. punti del test data set	Accuratezza procedurale %	Accuratezza utente %
1112	1,6	14	50	100
211	14,2	32	81	100
2211	51,6	64	100	91
311	16,4	30	87	76
322	16,2	20	80	70

Tabella 2 – Caratteristiche del test dataset di accuratezza, accuratezza procedurale e utente per la classificazione relativa all'Area 2. Per il significato dei codici vedere Fig. 6.

correttamente e con tempi concorrenziali rispetto all'interpretazione visuale, gli oggetti di piccola estensione, anche impiegando procedure di classificazione *object-oriented*. L'esperienza finora maturata dagli scriventi consente di affermare che le procedure implementate in Definiens eCognition costituiscono un importante passo in avanti rispetto alle classificazioni *pixel-based*, ma che restano ancora complessi e di difficile soluzione i problemi legati alle generalizzazioni.

Per quanto riguarda le accuratezze utente delle aree naturali 311 e 322, queste sono inferiori rispetto all'accuratezza globale. Anche se non si può escludere che l'applicazione di diverse procedure di classificazione possa consentire di ottenere migliori risultati, si deve notare che il dato pancromatico non è il più adatto per l'analisi di dettaglio delle aree coperte da vegetazione.

## Conclusioni

Sono state elaborate secondo procedure di classificazione *object-oriented* finalizzate alla realizzazione di banche dati di uso e copertura del suolo a scala 1:25.000, due immagini QuickBird, una multispettrale relativa al settore settentrionale del Parco regionale di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli (Toscana) e l'altra comprendente una regione collinare dell'Appennino al confine tra le province di Piacenza e Pavia.

Nella classificazione dell'immagine multispettrale si sono sfruttate principalmente le informazioni spettrali e radiometriche degli oggetti, nell'altra, applicata all'immagine pancromatica, si è cercato di ottimizzare l'analisi delle proprietà riconducibili alla tessitura degli oggetti. Gran parte del lavoro è stato svolto in ambiente Definiens eCognition ma, nel caso dell'Area 2, al fine di classificare gli oggetti di dimensioni inferiori rispetto all'area minima cartografabile prescelta (1,56 ha), sono state necessarie anche operazioni di analisi spaziale e ricodifica tramite Leica ERDAS IMAGINE e ESRI ArcGIS 8.3.

La qualità dei risultati della classificazione è stata valutata con l'analisi di accuratezza e, nel caso dell'Area 1, tramite un confronto spaziale (matrice) tra la classificazione ed una banca dati tematica poligonale ottenuta mediante interpretazione visuale. I risultati sono generalmente buoni sia dal punto di vista delle accuratezze globale, procedurale e utente, sia dal punto di vista della corrispondenza spaziale tra le due banche dati indipendenti costruite per l'Area 1. Le accuratezze globali sono dell'84% (K= 0,81) e dell'87% (K=0,82), per l'Area 1 e l'Area 2, rispettivamente. Le accuratezze procedurale ed utente più basse sono risultate quelle relative alle aree agricole eterogenee dell'Area 1 (accuratezza utente 44%) e alle aree urbane dell'Area 2 (accuratezza procedurale 50%), dove si risente delle difficoltà nella classificazione legate alla gestione delle entità di dimensioni inferiori all'area minima cartografabile.

Si può concludere che, a differenza della classificazione *pixel-based*, la classificazione *object-oriented*, permette di sfruttare le informazioni tessiturali, radiometriche e spettrali dei dati satellitari ad elevata risoluzione, consentendo inoltre di produrre output tematici strettamente aderenti a quelli ottenuti tramite interpretazione visuale.

## **Bibliografia**

- M. Baatz, U. Benz, S. Dehghani, M. Heynen, A. Höltje, P. Hofmann, I. Lingenfelder, M. Mimler, M. Sohlbach, M. Weber & G. Willhauck, 2003 – eCognition User Guide 4.0, Definiens Imaging, München.
- E. P. Baltsavias, 2004 - Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 58, 129-151.
- U. C. Benz, P. Hofmann, G. Willhauck, I. Lingenfelder & M. Heynen, 2004 - Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 58, 239-258.
- M. Bossard, C. Steenmans, J. Feranec & J. Otahel, 2000 - The revised and supplemented Corine land cover nomenclature. Technical report No 38, European Environment Agency, Copenhagen Denmark, February 2000, 110 pp.
- R. G. Congalton, 1991 – A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, Remote Sensing of Environment, 37, 35-46.
- A. Di Gregorio & L.J.M. Jansen, 1996 - FAO Land Cover Classification: A Dichotomous, Modular-Hierarchical Approach. US Federal Geographic Data Committee (FGDC) Vegetation Subcommittee and Earth Cover Working Group meeting, Washington, DC 15-17 October 1996, [www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/AGL/AGLS/FGDCFAO.HTM](http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/AGL/AGLS/FGDCFAO.HTM).
- J. P. Howarth & G. M. Wickware, 1981 - Procedure for Change Detection Using Landsat Digital Data, Int. J. Remote Sensing, 2, 277-291.
- Y. Heymann, C. Steenmans, G. Croisille & M. Bossard, 1994 - CORINE land cover project - Technical guide. European Commission Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection ECSC-EEC-EAEC, Brussels, 136 pp.
- V. Perdigão & A. Annoni, 1997 - Technical and methodological guide for updating CORINE Land Cover database. EUR 17288 EN, European Commission & European Environment Agency - Joint Research Centre - Space Applications Institute - AIS unit – Ispra, Italia, 140 pp.
- R.A. Schowengerdt, 1997 - Remote Sensing - Models and Methods for Image Processing, Second Edition. Academic Press, San Diego, CA, USA, 522 pp.