

Classificazione ad oggetti di mappe uso del suolo: esempi a confronto

Eva Savina Malinverni (*), Emanuele Frontoni (**),
Adriano Mancini (**), Primo Zingaretti (**)

(*) DICEA, Università Politecnica delle Marche, 60131 Ancona, e-mail: e.s.malinverni@univpm.it

(**) DII, Università Politecnica delle Marche, 60131 Ancona, e-mail: {mancini, frontoni, zinga}@diiga.univpm.it

Gli autori afferiscono anche allo Spin-Off SI2G, Sistemi Informativi Intelligenti per la Geografia s.r.l.

Via Totti 3, 60131 Ancona, e-mail: info@si2g.it, sito web: <http://www.si2g.it>

Riassunto

L'articolo mette a confronto due differenti approcci di classificazione automatica orientata agli oggetti per ottenere mappe tematiche Uso del Suolo GIS *ready*: *eCognition* della *Definiens* e *T-MAP* della *SI2G*. Entrambe le soluzioni sono basate su procedure che non sfruttano solo il contenuto spettrale del singolo pixel ma definiscono, nella fase di segmentazione, le regioni che costituiscono le entità del territorio stesso, in modo da predisporre una mappa degli oggetti e dei loro attributi.

Selezionando un'area test relativa ad una parte della Provincia di Ancona è stato effettuato un confronto fra le mappe Uso del Suolo (scala 1:10000) ottenute dalle due differenti metodologie. L'obiettivo è stato quello di analizzare sia i risultati della segmentazione, nella maniera più oggettiva e rigorosa possibile, per valutare la qualità geometrica delle entità estratte, sia la coerenza della classificazione tematica derivata. Sono state analizzate in particolar modo i risultati della classificazione relativa alle classi 1, 2 e 3 della *Corine Land Cover* (CLC) al secondo livello, generalizzando i risultati di *T-MAP* che ottiene precisioni e dettaglio al terzo livello della CLC. La sovrastima della classe CLC 2 del 10% rilevata sul prodotto *eCognition* è risultata subordinata alla fase di segmentazione che governa la definizione delle classi e quindi degli oggetti di appartenenza.

Abstract

In this work we define and discuss criteria to evaluate the results of two different object oriented approaches to obtain a GIS-ready land use/cover thematic map: *eCognition* by *Definiens* and *T-MAP* by *SI2G*.

Definiens' eCognition gives a map based on object fuzzy classification and multiresolution segmentation at different scales to obtain different thematic layers. The other approach uses the open source *T-MAP* software, developed by *SI2G* (a spin-off company of Università Politecnica delle Marche), based on a hybrid solution that combines a pixel-based classification with an object-based segmentation. The advantages and disadvantages of both methods in relation not only to the segment detection/definition but also to their thematic attribution/classification are compared on some test areas in a local validation.

Introduzione

Quantificare gli aspetti e le relazioni delle trasformazioni del territorio mediante un supporto cartografico ad hoc diventa oggi di fondamentale importanza per le pubbliche amministrazioni. La costruzione di una informazione cartografica che sia completa, accurata e veloce in grado di dare una descrizione non solo qualitativa ma anche quantitativa di certi fenomeni (vedi uso e consumo del suolo) e strutturare questi dati in modo da poterli rendere interoperabili e quindi condivisibili con qualsivoglia GIS dedicato, è una delle maggiori richieste che viene fatta al settore produttivo cartografico in questi ultimi anni.

La ricerca coinvolge inevitabilmente le discipline della **geomatica** che devono investire in soluzioni atte a creare quegli strumenti che diano una maggiore consapevolezza dei cambiamenti del territorio, che documentino tali fenomeni con un'attenzione che solo le nuove tecnologie di acquisizione ed elaborazione dell' *Earth Observation* riescono a soddisfare. Inoltre i tempi sempre più ravvicinati con cui i dati geografici vengono resi disponibili ci danno ormai la possibilità di effettuare le analisi del territorio in maniera sistematica e continuativa.

Visti i recenti sviluppi dei nuovi sensori satellitari e/o d'aereo, che forniscono immagini con alte qualità spaziali e spettrali, è inevitabile la richiesta di metodologie automatiche per aggiornare mappe tematiche di uso/copertura del suolo a scale sempre maggiori e con legende sempre più dettagliate. Le elaborazioni automatiche che vengono applicate si rifanno a due diversi approcci di classificazione che si riassumono nelle metodologie *pixel-based* e *object-oriented*.

La richiesta però di prodotti GIS *ready* e la necessità di trovare soluzioni affidabili di procedure automatiche, ha portato allo sviluppo in questi ultimi decenni di algoritmi di classificazione ad oggetti. *Object-Based Image Analysis* (OBIA) o anche *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA) è una sotto disciplina della scienza della geoinformazione dedicata al *remote sensing* per la valutazione di immagini satellitari in base alle loro caratteristiche spaziali, spettrali e temporali. Nel 2010 è stato presentato lo stato dell'arte di OBIA (Blaschke, 2010), una panoramica dello sviluppo dell'analisi di immagini *remote sensing* basata su approcci orientati agli oggetti che ha confermato come queste nuove soluzioni possano contribuire ad un'analisi automatica più performante se si utilizzano informazioni spettrali e contestuali (spaziali) in maniera sinergica.

In questo modo i nuovi prodotti superano il cosiddetto effetto sale e pepe delle mappe tematiche provenienti da una classificazione *pixel-based*. Si ha così una definizione delle regioni che, in maniera autoconsistente, corrispondono agli oggetti reali, etichettate con un singolo attributo. Non più pixel misti, ma mappe che sono un prodotto GIS direttamente utilizzabile per il calcolo di indicatori ambientali, per la valutazione metrica del consumo del suolo e per quanto altro.

Il passo importante di questa procedura, che ha consentito tale svolta, è la fase di segmentazione. Per ottenere ottimi risultati sono necessari nuovi approcci di *feature extraction* che consentano di superare problemi ricorrenti. Questi riguardano soprattutto il grado di definizione, la correttezza nella costruzione delle regioni, che devono corrispondere alle entità reali, e la possibilità di costruire livelli sempre più dettagliati di legende.

All'inizio il compito principale di un algoritmo di segmentazione era quello di produrre un insieme di segmenti (poligoni) non sovrapposti, in maniera abbastanza separata dal processo di classificazione. Ma il paesaggio è un sistema complesso fatto di strutture che si aggregano tra loro secondo processi dinamici e a volte poco distinguibili. Oggetti del paesaggio possono infatti rappresentare un contenitore di diverse entità del mondo reale, comprendenti a volte sia caratteristiche naturali che artificiali. Accade quindi molto spesso che durante i processi di segmentazione e classificazione tali oggetti non vengano riconosciuti in maniera distinta e separata. Se l'obiettivo è di costruire una rappresentazione cartografica del territorio basata sulla coerenza con gli oggetti reali è assolutamente essenziale che gli algoritmi che svolgono in maniera automatica questi processi di segmentazione e classificazione siano ottimizzati. Purtroppo la segmentazione automatica di un'immagine in poligoni può produrre spesso una sopra o sotto segmentazione, che solo però in parte riflette la realtà. In linea di massima infatti i segmenti ottenuti sono regioni generate da uno o più criteri di omogeneità per mezzo delle sole informazioni spettrali (media, valori minimi e massimi, varianza, ecc). Soluzioni recenti invece hanno sottolineato quanto siano cruciali anche le informazioni spaziali (Burnett et al., 2003). Inoltre la scala dell'immagine e la scala della mappa finale sono i due punti di riferimento da dover tenere sempre in considerazione nella scelta del metodo di segmentazione e soprattutto dei parametri che lo governano. Una soluzione gerarchica di solito può fornire buoni risultati, ma non sempre questo migliora la fase seguente di classificazione.

In letteratura molti algoritmi di segmentazione sono implementati in diversi software open source e commerciali. Tutti hanno l'obiettivo di dividere l'immagine in gruppi omogenei e semanticamente

significativi di pixel, utili per le ulteriori fasi di classificazione, che consentono di ottenere oggetti rappresentativi: questo è il comune denominatore della metodologia OBIA. Le differenze sono principalmente nel modo in cui si realizza questa suddivisione della realtà in oggetti.

L'attenzione negli ultimi tempi si è spostata sull'aspetto epistemologico e ontologico della segmentazione ad oggetti. In questo modo non si considerano solo le informazioni puramente spettrali di un oggetto presente in un'immagine ma si introduce una combinazione di informazioni spettrali e spaziali (contestuali) che sottoposti ad un insieme di regole riescono a soddisfare una corretta definizione dei segmenti stessi (Ehlers et al., 2003).

Questo porta a sviluppare applicazioni focalizzate ad un sistema geografico di tipo intelligente che riesce ad incorporare informazioni appropriate al contesto geografico stesso in grado di condizionare la fase di classificazione. Questa fase comporta risoluzioni a scale diverse che sono in corrispondenza coi relativi oggetti della realtà. Alcune applicazioni hanno infatti dimostrato che è importante non solo aggregare pixel in segmenti per definire un oggetto puro, ma anche affrontare le caratteristiche degli oggetti all'interno di regioni eterogenee, che riflettono la complessità del segmento stesso. Infatti la classificazione gerarchica usata nel sistema *Corine Land Cover* e in altri sistemi, definisce rigidamente le strutture sul territorio, considerandole in modo esaustivo come omogenee ed uniformi, e assegnandovi una e una sola classe tematica in modo *hard*, senza considerare le sfumature (*fuzzy*) presenti sul territorio stesso. Metodo questo sicuramente necessario quando si vuole produrre della cartografia tematica, in questo caso relativa all'uso del suolo, che deve essere accompagnata in modo statico da una legenda che ne descriva il contenuto. Ma oggi si lavora con banche dati e come tale l'informazione cartografica è un dato utile per ricavare altre informazioni. Sarebbe allora utile adottare un modello di classificazione che tenga conto delle differenti sfumature presenti in un poligono, che ne fanno la sua forza e la sua distinzione e che nel tempo consentono anche di valutare i cambiamenti avvenuti al suo interno, spesso nascosti, definendo poligoni dominanti.

Ne sono un esempio le classi miste che possono facilmente indurre in errore in una classificazione di tipo automatico e nel contempo però contenere in maniera eterogenea altre classi dello stesso livello, ad esempio, nella legenda *Corine*, la classe 221 (vite) può essere a sua volta contenuta nella classe sistemi particellari complessi 242, o mista ad altre colture permanenti come l'olivo.

La soluzione in questo caso sarebbe in parte risolvibile adottando un sistema *rule-based*. Di fronte a sistemi particellari complessi archiviare l'informazione della loro composizione dando le percentuali degli attributi presenti in un poligono permetterebbe infatti di definire al meglio la loro descrizione.

Ci troviamo così di fronte ad una nuova frontiera della produzione cartografica che richiede necessariamente l'integrazione di conoscenze specialistiche e l'ottimizzazione di procedure in grado di migliorare sensibilmente la precisione della classificazione, quando l'approccio è puramente basato su una soluzione *object oriented*.

Nei prossimi paragrafi valutiamo mappe uso del suolo derivate con due diversi metodi di classificazione automatica. Entrambi i metodi sono orientati agli oggetti, ma la procedura per effettuare la classificazione si basa su approcci completamente diversi. *eCognition* della *Definiens* fornisce una mappa basata su una classificazione *fuzzy* che implementa una segmentazione multirisoluzione. L'altro approccio utilizza il software *T-MAP*, sviluppato da *SI2G* (*spin-off* dell'Università Politecnica delle Marche), basato su una soluzione ibrida che combina una classificazione pixel e una segmentazione ad oggetti di tipo *rule-based*.

Il confronto si basa sulla validazione locale di alcune aree test che definiscono alcune classi di uso del suolo di una cartografia a scala regionale. Ci si soffermerà non solo sulla definizione dei segmenti ma anche sulla attribuzione tematica data agli stessi. Il paragrafo successivo illustrerà le differenti metodologie che hanno portato alla costruzione del prodotto. Poi vengono descritti i criteri di valutazione e discussi i risultati.

La cartografia ad oggetti per la gestione del territorio: metodi a confronto

In questo paragrafo si illustrano brevemente le diverse soluzioni utilizzate per una classificazione ad oggetti usando *eCognition* della *Definiens* e l'approccio ibrido di *T-MAP* della *SI2G*.

eCognition è un software di analisi di immagini in commercio a partire dal 2000 (Flanders et al., 2003; Benz et al., 2004), che si basa su una segmentazione multirisoluzione-gerarchica ad oggetti seguito da una classificazione *fuzzy* (Lang et al., 2007). Diverse applicazioni presentate in letteratura dimostrano che le classificazioni basate su questo metodo sono in molti casi superiori ai tradizionali metodi per pixel, ma per ottenere un buon prodotto è spesso richiesto un processo non così semplice da seguire. In effetti i parametri per la segmentazione multirisoluzione devono essere scelti accuratamente per definire tutti i livelli multipli di scala. La seguente definizione delle funzioni per eseguire la classificazione supervisionata in caso di legende articolate diventa di volta in volta complicata e richiede soluzioni sempre diverse. La struttura della legenda può essere molto complessa quando il livello di dettaglio è molto alto ed è a questo punto che la sua definizione necessita di conoscenze approfondite sia degli strumenti interni al software che specialistiche in relazione agli oggetti da classificare.

In *eCognition* il processo di classificazione coinvolge diverse caratteristiche dell'oggetto come il colore, la consistenza, la forma, la scala, i rapporti spaziali con gli altri oggetti della scena. Ogni parametro scelto contribuisce a suddividere l'immagine in oggetti significativi in maniera prossima al processo di visione umana che tende a generalizzare le immagini in aree omogenee. Ma gli oggetti del mondo reale non sempre hanno confini rigidi e ben definiti, possono anche avere transizioni morbide nella copertura del suolo, a seconda della scala dell'immagine o dell'applicazione richiesta. Il processo di classificazione *fuzzy* è alquanto impegnativo. Esso è basato su una soluzione iterativa che coinvolge sia la fase di segmentazione che la successiva classificazione per ottimizzare i risultati. Ulteriori osservazioni che si possono sottolineare nell'utilizzo di *eCognition* riguardano la difficoltà di selezionare le funzioni adatte per localizzare in maniera automatica soprattutto quelle coperture definite eterogenee, come per esempio le aree urbane densamente popolate o le coperture miste (artificiale e naturale insieme) o più classi di uso del suolo derivate dall'intervento dell'uomo.

T-MAP è anche esso un software che consente mediante procedure automatiche l'estrazione di informazioni da immagini telerilevate e/o aeree per la creazione, in tempi brevi e costi contenuti, di cartografie tematiche ed il *change detection*, in un ambiente *GIS-ready* (Zingaretti et al., 2009).

Dal punto di vista tecnico *T-MAP* combina i tradizionali approcci *pixel-based* and *object-based* in una metodologia di classificazione "ibrida" (Bernardini et al., 2010) che si avvale di strumenti di segmentazione, un classificatore robusto (AdaBoost) e l'assegnazione *rule-based* del tematismo alle regioni estratte.

T-MAP permette un'analisi multi-scala e l'estrazione di classi tematiche aggiuntive anche spettralmente eterogenee (Zingaretti et al., 2009). L'approccio orientato agli oggetti fa sì che, oltre alle proprietà spettrali utilizzate, siano discriminanti sia le componenti spaziali che influenzano l'estrazione delle regioni significative che il successivo sistema di regole di assegnazione. Quello che rende questo software alternativo è la sua organizzazione in una struttura modulare, l'ambiente *open source* permette infatti facili personalizzazioni che consentono di migliorare e ampliare le sue prestazioni in termini di tempi e accuratezze e la sua versatilità. Ulteriore punto di forza di *T-MAP* è un'analisi dettagliata dei risultati della classificazione in relazione ai singoli oggetti identificati. Infatti non è sufficiente conoscere in maniera globale l'accuratezza di una classificazione automatica, ma è importante sapere, per un suo valido utilizzo, quali siano effettivamente le regioni classificate correttamente e quali quelle incerte da fotointerpretare. Così, per guidare l'utente nell'analisi e il successivo uso dei risultati ottenuti, *T-MAP* affianca alla mappa uso del suolo una mappa di stabilità. Questo consente anche di identificare le principali cause degli errori di classificazione e di valutare nuovi approcci (*fuzzy*, *neurale*, *rule based*, etc.) per evitarli.

Si è già detto come prerequisito per estrarre oggetti significativi e topologicamente corretti e idonei alla descrizione cartografica sia necessario un processo di segmentazione accurato. Lo strumento di estrazione automatica offerto da *T-MAP* consiste in un approccio piramidale che combina insieme tecniche di *edge-detection* e *region-growing*. La selezione di opportuni parametri di segmentazione (area minima cartografabile, differenza spettrale, livelli di piramide, fattore di scala, ecc) rende possibile la personalizzazione dell'analisi e l'estrazione di *feature* specifiche (edifici, strade, regioni, ecc), con tempi di calcolo relativamente ridotti e alta affidabilità.

Per poter meglio interpretare le caratteristiche degli oggetti del territorio, il software *T-MAP* fornisce la classificazione in un ambiente GIS. L'informazione di uso del suolo viene archiviata con tutte le sue sfumature in un prodotto interoperabile e interrogabile. Ciò significa descrivere (e non solo classificare) il territorio, associando differenti percentuali di copertura ai poligoni che derivano dalla segmentazione. In questo modo, sfruttando la conoscenza dell'uso del suolo ottenuta con una classificazione ad oggetti e coinvolgendo le informazioni spaziali di forma e contesto delle entità cartografiche estratte è possibile impiegare quelle metriche di paesaggio, che sono utili indicatori ambientali per descrivere le trasformazioni del territorio. Questo consente di condurre un'analisi spaziale in ambiente GIS non solo in termini quantitativi, basandosi su statistiche di occupazione del suolo, ma anche in termini descrittivi fornendo informazioni sull'organizzazione spaziale del territorio stesso.

Criteri di valutazione per una corretta definizione delle differenti prestazioni dei due metodi

Le mappe tematiche di uso del suolo analizzate in questa ricerca provengono dai due strumenti software descritti nel paragrafo precedente (*eCognition* e *T-MAP*). Le immagini utilizzate sono state acquisite dal sensore digitale multispettrale Leica ADS40 nel luglio 2007 e sono relative ad una porzione a sud-est della Provincia di Ancona, con lo scopo di produrre una Carta Uso del Suolo a scala regionale 1:10.000. Il prodotto principale messo a confronto è stato fornito dalla Regione Marche ed è una porzione della Carta Uso del Suolo ottenuta con *eCognition*, con un'accuratezza globale del 80.54%. La classificazione *object oriented* è stata prodotta per mezzo di una segmentazione gerarchica articolata su 4 livelli di scala (200, 100, 50, 20), che hanno fornito 4 differenti segmentazioni con un livello di dettaglio molto diversificato (dal fine al grossolano), da impiegare successivamente in maniera gerarchica per una classificazione al secondo livello della legenda *Corine Land Cover* (CLC). Per definire, a questo livello tematico, alcuni tipi di classi di uso del suolo, come le coperture artificiali, la rete stradale e gli spazi verdi urbani, è stato necessario l'uso di regole di prossimità spaziale, derivate dalla dimensione orizzontale e verticale della segmentazione multirisoluzione. Sicuramente questo ha richiesto un grande sforzo di implementazione, una poca ripetitività del processo e un'alta specializzazione da parte degli operatori, che hanno aumentato la complessità dei flussi di lavoro (Bocci et al, 2010).

Il confronto è stato eseguito con la mappa tematica uso del suolo ottenuta con la procedura implementata in *T-MAP* e realizzata per la porzione di interesse dalla SI2G per testare in particolar modo le prestazioni del proprio prodotto software.

E' stata definita una segmentazione piramidale con un buon dettaglio e, dopo aver effettuato una classificazione supervisionata con *Adaboost*, le caratteristiche tematiche di ogni segmento sono state definite mediante semplici regole e percentuali (algoritmo *Winner Takes All* - *WTA*), il che rende questo processo una soluzione di tipo ibrido. L'estrazione delle 15 classi al secondo livello CLC ha fornito valori di *Producer Accuracy* maggiori del 75% e un'accuratezza globale dell'89%. In particolare l'approccio basato sulle regole *WTA*, tenendo conto sia delle percentuali di pixel classificati in un segmento, sia delle informazioni aggiuntive, come il contesto, la forma e la prossimità, ha permesso di definire, in modo più dettagliato, altre coperture della legenda uso del suolo, scendendo anche ad un terzo livello. Nell'esempio che viene riportato è stato possibile determinare sistemi colturali complessi (classe 2.4.2 CLC) e distinguere tra tessuto urbano continuo e discontinuo (rispettivamente classe 1.1.1 CLC e classe 1.1.2 CLC).

Il primo confronto effettuato su entrambe le mappe tematiche fornite dai due metodi è riferito ai risultati della segmentazione. Lavorando in un ambiente GIS è stata eseguita un'analisi topologica e geometrica utilizzando come riferimento poligoni digitalizzati sull'area test sulla base di una interpretazione visiva. L'obiettivo è stato quello di analizzare i risultati ottenuti in maniera la più oggettiva e rigorosa possibile per valutare l'accuratezza della segmentazione, concentrandosi sulla qualità geometrica di alcune classi in particolare.

Il primo approccio ha portato a contare il numero di poligoni che definiscono un oggetto con il medesimo attributo e a valutare l'area coperta rispetto al segmento di riferimento digitalizzato per trovare la perfetta corrispondenza della segmentazione automatica con l'oggetto reale. In seguito per una valutazione più completa sono stati analizzati i segmenti facenti parte di una data classe tematica. Infatti, a volte sono necessari diversi livelli di segmentazione per definire le regioni delle classi relative alle superfici agricole, piuttosto che a quelle artificiali.

Così abbiamo analizzato i risultati della segmentazione per alcune classi CLC per mezzo di una facile procedura di valutazione in grado di quantificare imprecisioni nella segmentazione. Imprecisioni che in linea di massima si riferiscono ad un eccessivo numero di segmentazioni o a sotto segmentazioni, e che quindi hanno generato troppi o troppo pochi poligoni. Questo obiettivo è stato raggiunto per mezzo di alcune metriche oggetto di tipo topologico e geometrico applicate localmente. Le metriche si basano su differenze di dimensione e posizione tra i risultati della segmentazione e le entità usate come riferimento. Nello studio abbiamo calcolato le metriche topologiche e geometriche per 19 entità di riferimento. L' *overlay* topologico fornisce l'indice *AR* (Area Relativa) definito come il rapporto tra la dimensione dell'area A_{OR} , cioè dell'entità di riferimento *OR* (Oggetto di Riferimento), e le dimensioni dell'area A_{OS} , coperta dalla corrispondente regione ottenuta dalla segmentazione *OS* (Oggetto Segmentato) (Eq. 1).

$$AR = \frac{A_{OR}}{A_{OS}} \quad [1]$$

Questo indice valuta la parte di sovrapposizione tra i due oggetti. Il valore 1 indica una corrispondenza completa fra l'oggetto di riferimento e quello segmentato, mentre valori molto più piccoli o superiori a 1 indicano discordanze.

Un eccesso di segmentazione può verificarsi quando le dimensioni dell'oggetto segmentato sono più piccole delle dimensioni dell'oggetto di riferimento corrispondente ($A_{OR} > A_{OS}$). La sotto segmentazione può essere identificata considerando i risultati della segmentazione ad un livello superiore.

Discussione dei risultati

I risultati sono riferiti ad una porzione di strisciata del sensore Leica ADS40 su un'area test di circa 16 Km² a sud-est della Provincia di Ancona (Figura 1) a cui sono state applicate le due procedure di classificazione automatica per ottenere le corrispondenti mappe uso del suolo (Figura 2).



Figura 1 – L'area test acquisita dal sensore Leica ADS40.

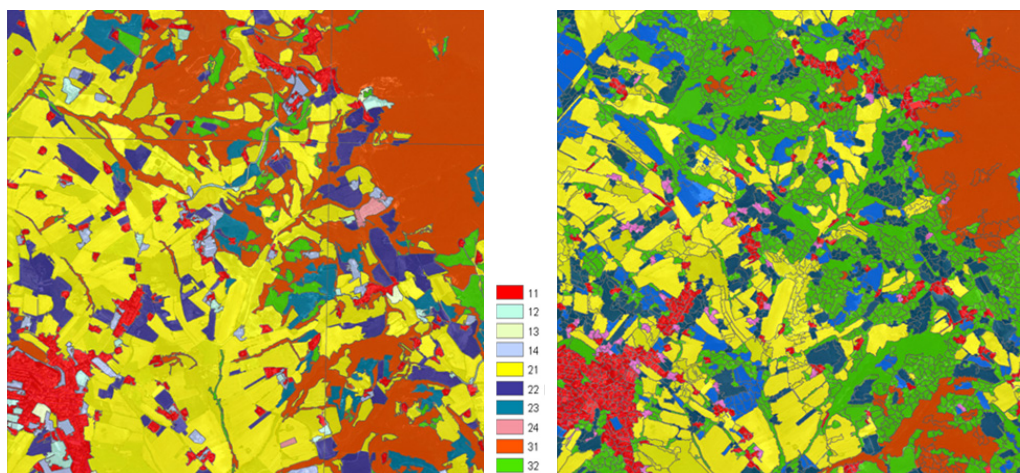


Figura 2 – Classificazione di eCognition (dx), classificazione di T-MAP (sx).

Abbiamo eseguito principalmente due tipi di valutazione: i) una validazione quantitativa di tipo globale dei risultati della classificazione (la valutazione dei dati tematici è presentata nelle Tabelle 1-3), ii) una validazione locale basata su una serie di oggetti di riferimento per testare la bontà dei risultati della segmentazione, in primo luogo mediante l'utilizzo dell'indice *AR* (Tabella 4).

I dati della validazione globale mostrano come i risultati di *eCognition* totalizzino un 28% in meno di area assegnata alla classe 3.2 CLC rispetto ai risultati ottenuti con *T-MAP*. Le classi che compensano tale riduzione sono le classi al secondo livello delle superfici agricole (2 CLC) con circa +10% (con un massimo di +16% per la classe 2.1), la classe 3.1 CLC con +15% e le classi 1.2, 1.3 e 1.4 CLC con circa il 3%.

Il numero dei poligoni complessivi messi a confronto sono 467 per la mappa uso del suolo ottenuta con *eCognition* e 2341 per la mappa ottenuta con *T-MAP* che ha eseguito una classificazione al terzo livello poi generalizzata al secondo per il confronto.

<i>T-MAP</i>	111	83	313510	2.0 %
	112	217	841970	5.0 %
	<i>Tot.</i>	300	1155480	7.0 %
	Classe CLC	N° Poligoni	Area (mq)	Area %
<i>eCognition</i>	11	95	1146029	7.0 %
	12	23	189029	1.0 %
	13	4	39277	0.2 %
	14	49	390510	2.0 %
	<i>Totale</i>	171	1764845	10.2 %

Tabella 1 – Validazione globale per la classe 1 CLC (Superfici Artificiali).

<i>T-MAP</i>	21	356	4602771	27.0%
	22	369	1939042	11.5 %
	23	202	1222543	7.0 %
	24	54	208406	1.2 %
	<i>Tot.</i>	981	7972762	46.7 %
	Classe CLC	N° Poligoni	Area (mq)	Area %
<i>eCognition</i>	21	80	7282659	43.0 %
	22	73	1422795	8.5 %
	23	35	723107	4.3 %
	24	2	42314	0.2 %
	<i>Tot.</i>	190	9470875	56.0 %

Tabella 2 – Validazione globale per la classe 2 CLC (Superfici Agricole Utilizzate).

<i>T-MAP</i>	31	100	2478377	15 %
	32	960	5170597	31 %
	<i>Tot.</i>	1060	7648974	46 %
	Classe CLC	N° Poligoni	Area (mq)	Area %
<i>eCognition</i>	31	61	5031510	30 %
	32	45	509947	3 %
	<i>Tot.</i>	106	5541457	33 %

Tabella 3 – Validazione globale per la classe 3 CLC (Territori Boscati e Ambienti Seminaturali).

I dati della fotointerpretazione risultano concordare maggiormente con i risultati di *T-MAP*, ma questo non è sufficiente per validare il confronto; serve trovare criteri obiettivi per valutare in maniera automatica la bontà di entrambe le segmentazioni e le successive classificazioni. Si è quindi proceduto ad analizzare un set di poligoni estratti tra quelli di riferimento ottenuti per fotointerpretazione. In Tabella 4 sono riportate le principali caratteristiche dei 19 poligoni assunti come oggetti di riferimento. Essi corrispondono a circa l'1.6% della superficie totale dell'area test e appartengono tutti alla classe 2 CLC. Analizzando l'indice *AR* si può osservare che in un solo poligono (ID 7) il prodotto derivato da *T-MAP* non si adatta bene (errore maggiore di un terzo) all'*OR* corrispondente. Al contrario questo accade ben 12 volte su 19 se riferito al prodotto ottenuto con *eCognition*; più precisamente, solo i poligoni identificati con ID 4 e ID 9 si adattano molto bene agli oggetti di riferimento, riportando un indice *AR* rispettivamente pari a 1.07 e 1.11 (nel caso di *eCognition*, poligoni con valori di A_{OS} più grandi del 25% corrispondono agli oggetti con ID 0, 2 e

11). Se invece si considerano i poligoni che presentano un errore maggiore del 25% se ne trovano 7 per T-MAP contro ben 16 su 19 per *eCognition*. La motivazione di queste incongruenze è dovuta ad una possibile sotto segmentazione, e quindi, ad una scelta errata dei parametri di segmentazione o nella definizione della scala di classificazione.

Infine, abbiamo confrontato le classi CLC fotointerpretate sui poligoni di riferimento con le classificazioni ottenute in automatico. Come mostrato, sempre nella Tabella 4, sono stati riscontrati 4 errori di classificazione nel prodotto derivato da *T-MAP* (i poligoni con ID 4, 5, 11 e 17) e 5 errori di classificazione nella mappa ottenuta con *eCognition* (i poligoni con ID 1, 2, 5, 17 e 18).

Oggetti di riferimento			<i>T-MAP</i>				<i>e-Cognition</i>			
ID	Classe CLC	Area	N. Pol	Classe CLC	Area	AR	N. Pol	Classe CLC	Area	AR
0	22	8784	2	22	8238	1,07	1	22	6655	1,32
1	24	11147	2	24	8550	1,30	2	11/14	22517	0,50
2	23	17038	3	23	13871	1,23	1	21	13327	1,28
3	22	3377	1	22	4484	0,75	1	22	8283	0,41
4	21	21922	1	23	22941	0,96	1	21	20426	1,07
5	24	14185	4	32	17382	0,82	2	11/22	17468	0,81
6	22	4522	1	22	5596	0,81	1	22	16580	0,27
7	22	968	1	22	3786	0,26	1	22	16580	0,06
8	21	28688	1	21	34510	0,83	1	21	134420	0,21
9	23	22398	1	23	25938	0,86	2	23	20101	1,11
10	21	9157	1	21	8599	1,06	1	21	209956	0,04
11	31	37255	2	32	35482	1,05	1	31	28970	1,29
12	21	20312	1	21	20116	1,01	1	21	4425296	0,00
13	21	15184	1	21	13101	1,16	1	21	4425296	0,00
14	21	9209	1	21	7044	1,31	1	21	4425296	0,00
15	22	2359	1	22	3170	0,74	1	22	12160	0,19
16	22	16938	1	22	14013	1,21	1	22	86991	0,19
17	22	7344	1	21	7401	0,99	1	21	21223	0,35
18	21	25216	6	21	29169	0,86	1	24	36152	0,70

Tabella 4 – Dati per la validazione del confronto fra i 19 poligoni presenti nelle due mappe di uso del suolo.

Conclusioni

Per rispondere alle richieste (tempi e prestazioni) del mercato cartografico, che richiede un'informazione territoriale tematica la più accurata e affidabile possibile, sono stati messi a confronto due approcci, che forniscono un prodotto orientato agli oggetti. Purtroppo come si è potuto constatare dai risultati della validazione le performance di entrambi i metodi dipendono fortemente da molti fattori contingenti: la risoluzione del pixel a terra, le caratteristiche tessiturali del territorio e la sua complessità. In una soluzione automatizzata il prodotto inoltre è a sua volta condizionato dalle scelte delle impostazioni metodologiche dei software stessi e dalla scelta dei parametri per l'esecuzione automatica delle elaborazioni.

I risultati delle mappe uso del suolo, relative in particolar modo alle classi 1, 2 e 3 CLC al secondo livello, pur avendo accuratèzze globali dell'80,54% in *eCognition* e dell'89% in *T-MAP*, hanno rilevato una sovrastima della classe CLC 2 del 10% sul prodotto *eCognition*, subordinata principalmente alla fase di segmentazione, che governa a monte la definizione delle classi e quindi degli oggetti di appartenenza. Inoltre con *eCognition* gli errori maggiori nell'assegnazione delle classi si sono riscontrati a seguito di sotto segmentazioni ottenute per una errata scelta della scala di

output a cui poi hanno fatto seguito errate classificazioni. Sicuramente con la scelta di parametri più opportuni si sarebbero potuti ottenere risultati più coerenti. In generale rimane il fatto che la costruzione di mappe tematiche è sempre un processo che deve essere guidato da un'esperto, ed in questo caso il software *T-MAP* risulta essere di più facile utilizzo e intuitivo rispetto a *eCognition*. Ulteriori confronti potranno essere eseguiti sulle mappe di stabilità, che con criteri diversi i due software producono per avvalorare l'accuratezza qualitativa del singolo poligono.

Ringraziamenti

Si ringrazia la PF Informazioni territoriali e beni paesaggistici della Regione Marche per il materiale cartografico.

Bibliografia

Blaschke T. (2010), "Object based image analysis for remote sensing", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65, 2-16.

Benz U. C., 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.

Bernardini A., Frontoni E., Malinverni E.S., Mancini A., Tassetti A.N., Zingaretti P. (2010), "Pixel, Object and Hybrid Classification Comparison", *Special Issue on Geographic Object Based Image Analysis, Journal of Spatial Science*, 55(1), 43-54.

Bocci M., Salvestrini L. (2010), "Classificazione automatica di immagini aeree multispettrali ADS40 per la realizzazione di un prototipo di Carta dell'Uso del Suolo 1:10.000 dell'intero territorio della Regione", *Atti 14° Conferenza Nazionale ASITA*, Brescia, 297-302.

Burnett C., Blaschke T. (2003), "A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis", *Ecological Modelling*, 168 (3), 233-249.

Ehlers M., Gähler M., Janowsky R. (2003), "Automated analysis of ultra high resolution remote sensing data for biotope type mapping: New possibilities and challenges", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57 (5-6), 315-326.

Flanders D., Hall-Beyer M., Pereverzoff J. (2003), "Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction", *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29 (4), 441-452.

Lang S., Tiede D. (2007), "Definiens Developer", *GIS Business*, 9/2007, 34-37.

Zingaretti P., Frontoni E., Malinverni E.S., Mancini A. (2009), "A hybrid approach to land cover classification from multi spectral images", *Image Analysis and Processing- ICIAP 2009*, P. Foggia, C. Sansone, M. Vento Eds., *Lecture Notes in Computer Science Series - LNCS 5716*, Springer, 500-508.

Zingaretti P., Malinverni E.S., Frontoni E., Bernardini A., Tassetti A.N., Mancini A. (2009), "T-MAP: classificazione automatica per un'analisi GIS ready del territorio", *Atti della 13° Conferenza ASITA*, Bari, 1919-1924.