

Segmentazione multirisoluzione e classificazione *object oriented* di immagini telerilevate

Gherardo CHIRICI (*), Piermaria CORONA (**),
Davide TRAVAGLINI (*), Fabrizio FILIBERTI (***)

*: geoLAB, Laboratorio di Geomatica, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Forestali, Università degli Studi di Firenze. Via S. Bonaventura, 13 – 50145, Firenze. Tel.: +39-055-30231221, Fax: +39-055-319179. e-mail: gherardo.chirici@unifi.it

** : sisFOR, Laboratorio di Inventari Forestali e Sistemi Informativi, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse, Università della Tuscia. Via S. Camillo de Lellis – 01100, Viterbo. Tel.: +39-0761-357405, Fax: +39-0761-357389. e-mail: piermaria.corona@unitus.it

***: Sysdeco Italia s.r.l. Via Casetta Mattei, 61. 00148 – Roma. Tel: +39-06-6591395, Fax: +39-06-6591394. e-mail: filiberti@sysdeco.it

Riassunto

La classificazione di immagini telerilevate *object-oriented* si basa sull'attribuzione di una determinata categoria tematica a oggetti geometrici (poligoni) generati tramite segmentazione dell'immagine grezza. Il contributo illustra l'impostazione della strategia di classificazione *object-oriented* e le basi teoriche degli algoritmi di segmentazione multirisoluzione implementati nel software eCognition. Vengono presentate similitudini e differenze rispetto ai tradizionali approcci *pixel oriented*. Sono specifico oggetto del contributo i protocolli operativi per la calibrazione dei processi di classificazione *object-oriented* con particolare riferimento alle caratteristiche delle immagini telerilevate e dei sistemi di nomenclatura più comunemente utilizzati per applicazioni in ambito forestale ambientale.

Abstract

The object-oriented classification of remotely sensed data is based on the attribution of a certain thematic category to geometric objects (polygons) generated by segmentation of raw data. The present contribution shortly presents the strategy for an object-oriented classification and introduces the theoretical fundamentals of multiresolution segmentation algorithms implemented in the eCognition software. Similitude and differences are analysed contrasting with traditional pixel-oriented approaches and operative protocols for the implementation of an object-oriented classification are presented with special reference to images and system of nomenclatures commonly used for forest and environmental mapping issues.

Introduzione

Una gestione sostenibile delle risorse naturali richiede un costante e dettagliato monitoraggio dei diversi aspetti dell'ambiente. In tale ambito l'importanza delle informazioni acquisite tramite telerilevamento, aereo e satellitare, è riconosciuto da decenni. In campo forestale tali fonti informative sono utilizzate, tra le altre, per la realizzazione di cartografie tematiche per fotointerpretazione manuale in ambiente GIS dell'originario dato telerilevato (Franklin, 2001; Chirici et al., 2002). Tali applicazioni sono comunque concettualmente assimilabili alla realizzazione di cartografia di uso/copertura del suolo, in genere a scale comprese tra 1:10.000 e 1:250.000.

La fotointerpretazione manuale è però condizionata da alcuni limiti oggettivi, tra cui l'implicita soggettività del processo di classificazione (sia nel riconoscimento delle classi tematiche, sia

nell'individuazione dei limiti tra le diverse unità) e l'elevato costo del processo di valutazione dell'accuratezza tematica e geometrica della cartografia prodotta.

Nel corso degli anni sono stati sviluppati e sperimentati nuovi e sempre più sofisticati sistemi di classificazione automatica (*unsupervised*) o semi-automatica (*supervised*) delle immagini telerilevate. Tali sistemi, con approcci metodologici assai diversi fra di loro (analisi statistiche con o senza l'ausilio della logica sfocata, reti neurali, ecc.) permettono di derivare l'informazione tematica ricercata senza o con minimo contributo manuale del fotointerprete (Franklin, 2001).

Nella pratica operativa i metodi di classificazione automatica o semi-automatica stentano però a sostituire la fotointerpretazione manuale. Il motivo di questo *gap* tra gli sviluppi della ricerca e il trasferimento tecnologico operativo è da ricercarsi nei limiti frequentemente dimostrati dagli elaborati prodotti con i metodi di classificazione semi-automatici, in termini di rapporto tra complessità dei sistemi di nomenclatura implementati e accuratezza tematica della classificazione.

Un ulteriore motivo che tende a limitare la diffusione delle cartografie tematiche prodotte per classificazione automatica o semiautomatica di immagini telerilevate è l'approccio *pixel-oriented* prevalentemente impiegato: l'uso/copertura del suolo è identificato per ogni pixel dell'immagine, e pertanto la cartografia prodotta tende ad apparire meno leggibile rispetto a quelle tradizionalmente prodotte per fotointerpretazione.

In questo quadro, sono andate sviluppandosi e diffondendosi tecniche di classificazione di immagini telerilevate *object-oriented*, solo recentemente introdotte in pacchetti software commerciali quali eCognition. Con questo approccio la classificazione ha per oggetto i poligoni vettoriali generati tramite un processo di segmentazione dell'immagine grezza, anziché i singoli pixel. Il risultato finale della classificazione *object-oriented*, indipendentemente dall'algoritmo di classificazione utilizzato, è di natura vettoriale in contrapposizione a quello raster derivante dall'approccio per pixel. In tal senso, il prodotto è più vicino alle aspettative degli utenti finali e ai canoni standard tradizionali della cartografia tematica.

Il presente contributo vuole brevemente illustrare l'approccio metodologico offerto dal pacchetto eCognition della Definies Imaging e distribuito in Italia dalla Sysdeco Italia s.r.l. e alcune delle possibili strategie di classificazione implementabili, con particolare riferimento alla cartografia tematica forestale ambientale.

La segmentazione multirisoluzione

La segmentazione implementata nell'ambiente eCognition è di tipo *bottom-up*: i pixel dell'immagine originaria vengono aggregati in una serie di passaggi successivi fino a quando i poligoni creati non hanno caratteristiche corrispondenti a quelle definite dall'operatore. La procedura tende alla minimizzazione dell'*eterogeneità spettrale* di ciascun poligono derivata dai valori di *digital number* dei pixel inclusi e sulla base dell'*eterogeneità geometrica* dipendente dalla forma dei poligoni creati (Batz et al., 2001).

L'eterogeneità spettrale (h_s) di ciascun poligono generato con il processo di segmentazione è calcolata quale somma pesata delle deviazioni standard dei valori di *digital number* di ciascuna banda spettrale disponibile rilevati per ciascuno dei pixel inclusi nel poligono:

$$h_s = \sum_{c=1}^q w_c s_c \quad [1]$$

dove: h_s = eterogeneità spettrale del poligono considerato; q = numero di bande spettrali disponibili (4 nel caso di un'immagine QuickBird); s_c = deviazione standard dei valori di *digital number* della c -esima banda spettrale nel poligono considerato; w_c = peso attribuito alla c -esima banda spettrale.

Un processo di segmentazione che tenda alla esclusiva minimizzazione dell'eterogeneità spettrale porta a generare poligoni estremamente frammentati, caratterizzati da una dimensione frattale molto

elevata. Questo effetto è tanto più sensibile quanto maggiore è la risoluzione geometrica dell'immagine. Per questo motivo, i poligoni creati devono anche tendere a minimizzare il valore di eterogeneità geometrica (h_g), a sua volta definita da due fattori di forma. Il primo è il *fattore frattale* e dipende dalla complessità del perimetro del poligono rispetto alla sua estensione il secondo è il *fattore di compattezza* ($h_{g_compact}$) che dipende dal rapporto dimensionale degli assi del poligono.

Operativamente l'algoritmo di segmentazione procede, a partire da ogni pixel dell'immagine, fondendo poligoni adiacenti fino a quando il cambiamento di eterogeneità osservabile tra i due poligoni originari e il nuovo poligono generato non supera una certa soglia definita dall'utente (*fattore di scala*). Se il cambiamento di eterogeneità non supera la soglia predefinita la fusione viene effettivamente realizzata, altrimenti i due poligoni rimangono separati. Per maggiori dettagli si veda Chirici et al. (2003).

L'impostazione del fattore di scala permette quindi di calibrare la grandezza dei poligoni che vengono creati con la segmentazione e la sua definizione è legata alla scala di riferimento della cartografia che l'utente vuole produrre (Figura 1).

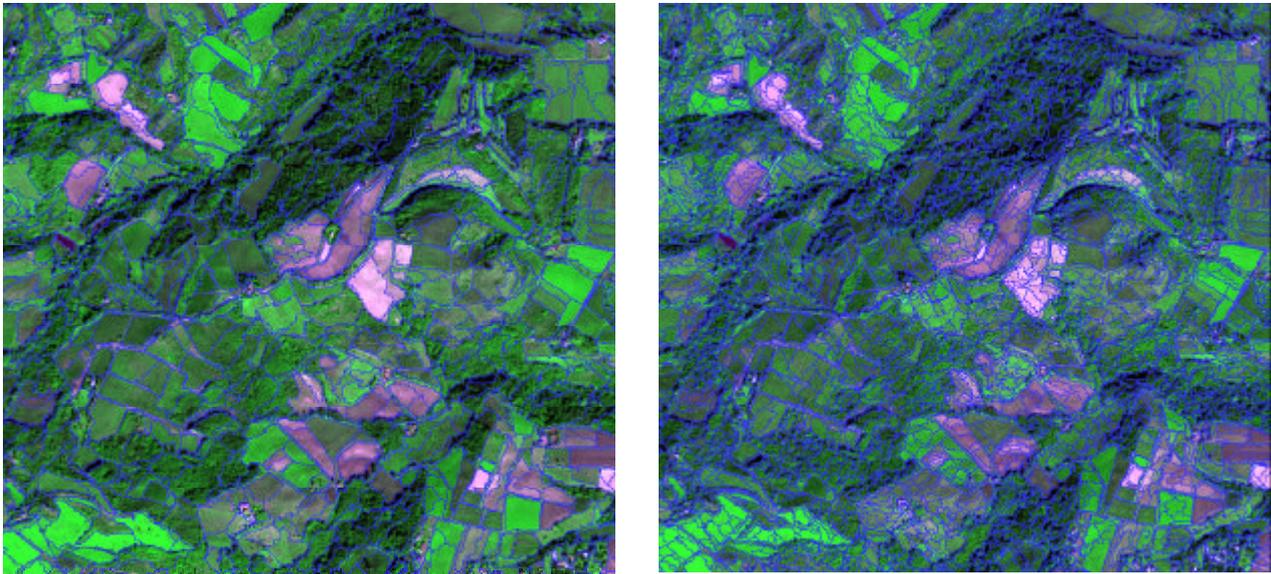


Figura 1 - sulla base di un'immagine QuickBird (risoluzione geometrica 4 m) esempio di segmentazione multirisoluzione: a sinistra con un fattore di scala più alto, a destra con uno più basso.

Il processo di segmentazione implementato in eCognition è multirisoluzione nel senso che, a partire da una stessa immagine, è possibile generare diversi livelli gerarchici di poligoni con diversi fattori di scala. Diminuendo il fattore di scala i poligoni generati divengono sempre più piccoli perché minore deve risultare la variabilità spettrale intra-poligoni e viceversa aumentando il fattore di scala. La particolarità della multirisoluzione consiste nel collegamento esistente tra i poligoni dei diversi livelli gerarchici della segmentazione. In eCognition, una volta generato un primo livello di poligoni è possibile generare n nuovi livelli gerarchici di livello superiore al primo se il fattore di scala è più grande del primo (poligoni mediamente più grandi) o di livello inferiore se il fattore di scala è più piccolo del primo (poligoni mediamente più piccoli). I poligoni di livello gerarchico inferiore sono sempre geometricamente consistenti con quelli del livello gerarchico superiore, ovvero ogni poligono di livello inferiore appartiene a uno e uno solo dei poligoni di livello superiore. Tutti i poligoni dei diversi livelli di segmentazione costituiscono un'unica banca dati in cui sono registrati tutti i collegamenti esistenti tra poligoni dello stesso o di diverso livello gerarchico. Per ogni poligono sono quindi noti i poligoni in contatto sullo stesso livello gerarchico, i poligoni di cui è costituito nell'eventuale livello gerarchico inferiore e il poligono in cui è contenuto nell'eventuale livello gerarchico superiore.

Strategie di classificazione *object-oriented*

I diversi approcci possibili alla classificazione *object-oriented* non sono facilmente categorizzabili, qui di seguito sono riportate solo alcune delle procedure più comuni.

La creazione di un primo livello di segmentazione dell'immagine da classificare è di norma la prima fase di lavoro. Sulla base delle caratteristiche spettrali e geometriche dell'immagine telerilevata, del sistema di nomenclatura prescelto e della scala della cartografia che s'intende produrre, devono essere definiti i diversi fattori guida del processo che, per il resto, è totalmente automatico. La segmentazione viene ripetuta cambiando i parametri guida fino a quando la dimensione e la dislocazione dei poligoni generati non corrisponde esattamente ai requisiti del sistema di nomenclatura prescelto: in pratica, si cerca, con metodo iterativo per minimizzazione dell'errore, di generare poligoni più grandi possibile ma caratterizzati da non più di una sola classe di copertura del suolo. Questo livello di segmentazione costituisce l'oggetto della successiva fase di classificazione nel senso che a ogni poligono generato dovrà essere associata una e una sola classe del sistema di nomenclatura prescelto.

La seconda fase del processo è la classificazione vera e propria. Da un punto di vista delle possibili applicazioni operative possiamo considerare due alternative estreme per classificare i poligoni generati dalla segmentazione:

- per fotointerpretazione manuale;
- per classificazione automatica.

Operativamente spesso si procede affinando e correggendo manualmente una classificazione automatica i cui risultati possono essere interpretati più come un suggerimento per il fotointerprete che come la definitiva categorizzazione del poligono.

Classificazione per fotointerpretazione

In questo caso del processo *object-oriented* si sfrutta solo la segmentazione per la realizzazione dei poligoni vettoriali, che quindi sostituisce la digitalizzazione manuale. Rimane al fotointerprete da etichettare i poligoni associandoli a una delle classi del sistema di nomenclatura ed eventualmente correggere la segmentazione con un'operazione manuale di *splitting* per suddividere poligoni non omogenei afferenti a più categorie.

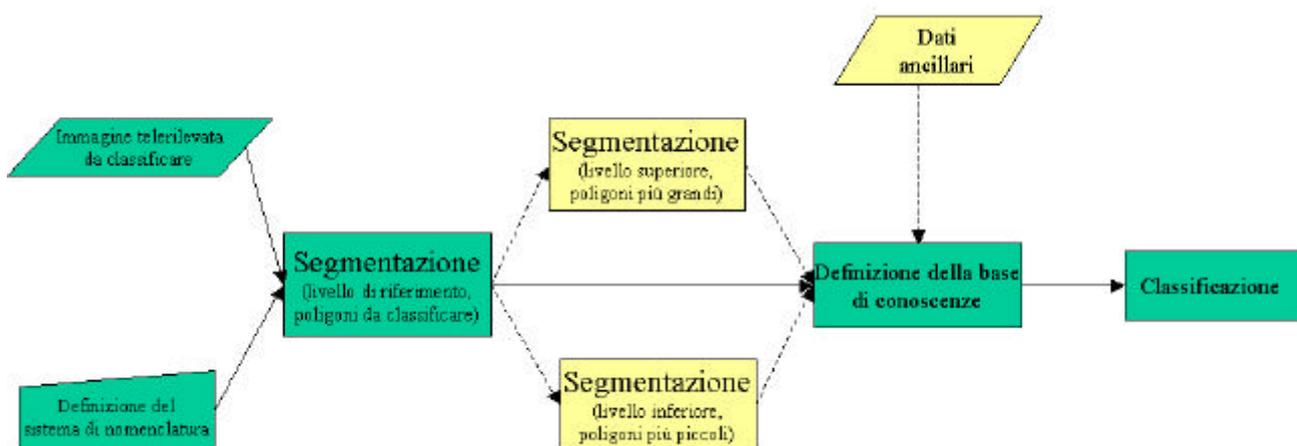


Figura 2 - diagramma di flusso del processo di classificazione *object-oriented* con particolare riferimento alla procedura implementata in eCognition. In verde le fasi obbligatorie, in giallo quelle opzionali (e relative frecce tratteggiate) nel caso di una classificazione automatica dei poligoni generati per segmentazione.

Classificazione automatica

Tutti gli algoritmi sviluppati per approcci *pixel-oriented* possono essere teoricamente applicati anche ai poligoni generati con la segmentazione: metodi *supervised* o *unsupervised*, con logica booleana o sfocata, parametrici (come gli algoritmi di massima verosimiglianza) o non parametrici (come il *k-nearest neighbours* o le reti neurali), con o senza probabilità a priori, etc. Ovviamente per i metodi *supervised* è necessaria l'acquisizione di un certo numero di poligoni di *training* per derivare delle statistiche descrittive per ogni categoria utilizzata. L'approccio *object-oriented*, in particolare quello derivante da una segmentazione multirisoluzione come quella implementata in eCognition, permette di ampliare il numero di fonti informative utilizzabili nella classificazione perché maggiori sono le informazioni associabili ai poligoni derivanti dalla segmentazione rispetto a quelle disponibili per i singoli pixel dell'immagine.

In riferimento a un determinato livello di segmentazione a cui viene implementata la classificazione le informazioni che possono essere associate ai singoli poligoni sono di diverso tipo:

1 – **spettrali**: dati statistici calcolati per ogni poligono a partire dai valori di *digital number* dei rispettivi pixel afferenti per ciascuna delle bande spettrali disponibili. A esempio media, deviazione standard, minimo, massimo, ecc.;

2 – **geometriche**: sono informazioni derivate dalle caratteristiche geometriche dei poligoni originati con il processo di segmentazione. Tra le più comuni l'area, il perimetro, la dimensione frattale (rapporto area perimetro) o altri coefficienti di forma. In questa categoria rientrano anche quelle informazioni sulla localizzazione spaziale dei poligoni (a esempio più o meno a nord, più o meno a est).

3 – **tessiturali**: informazioni derivate dall'analisi della struttura spaziale interna ai poligoni derivanti dalla segmentazione. Queste possono essere derivate dall'analisi dei singoli pixel contenuti nei poligoni oppure dall'analisi dei poligoni derivanti da un processo di segmentazione di livello inferiore (ovvero con un fattore di scala più piccolo).

4 – **gerarchiche**: sono statistiche calcolate per ogni poligono del livello di segmentazione oggetto della classificazione sulla base dei relativi poligoni di un diverso livello gerarchico (a esempio il numero di poligoni collegati sul livello gerarchico superiore o inferiore).

5 – **attributi tematici**: sono informazioni derivanti da strati informativi accessori, ancillari alle bande dell'immagine telerilevata utilizzata (a esempio DEM, dati climatici o spazializzati, ecc).

Nell'ambiente di eCognition, terminata la fase di segmentazione (con uno o più livelli gerarchici), la classificazione può poi procedere con approccio *supervised* con un numero virtualmente infinito di approcci. Due sono però le strategie più comuni: in parallelo o in serie.

Nell'approccio in **parallelo** tutte le classi in cui devono essere classificati i poligoni vengono definite contemporaneamente e la classificazione avviene con un unico processo. Operativamente la procedura consiste delle seguenti fasi:

1. definizione del sistema di nomenclatura da applicare alla classificazione;
2. definizione del livello della segmentazione da classificare (nel caso si sia realizzata una segmentazione multirisoluzione);
3. selezione delle informazioni associate ai poligoni da classificare tra le diverse tipologie disponibili;
4. acquisizione manuale di un certo numero di poligoni di *training*;
5. applicazione di un algoritmo di classificazione (in eCognition è disponibile un robusto classificatore *k*-NN fuzzy ma è possibile anche creare specifiche funzioni di appartenenza fuzzy per ogni categoria da classificare e per ognuna delle informazioni utilizzate);
6. valutazione dell'accuratezza della classificazione rispetto a delle aree di test classificate manualmente per fotointerpretazione o per controllo a terra.

Tutto il processo può essere reiterato se l'accuratezza della classificazione non soddisfa acquisendo nuovi poligoni di *training*, cambiando la base informativa (o il peso delle diverse informazioni) oppure il sistema di nomenclatura.

Nell'approccio in **serie** la classificazione avviene "ad albero". L'immagine viene infatti classificata con dettaglio tematico progressivamente crescente con una segmentazione post-classificazione. Operativamente la procedura si articola nelle seguenti fasi:

1. definizione di un sistema di nomenclatura con struttura ad albero a dettaglio progressivo;
2. classificazione al primo livello tematico del sistema di nomenclatura (si implementano in pratica i punti da 3 a 6 della procedura in parallelo);
3. segmentazione post-classificazione con dettaglio geometrico maggiore. La segmentazione post-classificazione permette di derivare nuovi poligoni geometricamente coerenti con il risultato della classificazione del livello gerarchico superiore.

Il processo viene reiterato per tutti i livelli gerarchici del sistema di nomenclatura, per ognuno di essi verrà realizzato anche un nuovo livello di segmentazione.

Conclusioni

Le tecniche di segmentazione multirisoluzione e di classificazione *object-oriented* sono capaci di meglio valorizzare l'elevato contenuto informativo della componente geometrica delle immagini telerilevate. Per questo motivo le tecniche di classificazione *object-oriented* risultano di crescente utilità all'aumentare della risoluzione geometrica e al diminuire della risoluzione spettrale (intesa come numero di bande spettrali utilizzabili) delle immagini da classificare.

L'approccio *object-oriented* non definisce intrinsecamente un metodo di classificazione. Una volta definiti per segmentazione i poligoni essi possono essere classificati in maniera totalmente manuale o tramite un qualsiasi metodo di classificazione di tipo *supervised* o *unsupervised*.

L'ambiente di lavoro di eCognition mette a disposizione un completo set di strumenti per la classificazione *object-oriented*; inizialmente non intuitivo, l'ambiente eCognition permette di sviluppare strategie di classificazione ottimizzate sulla base delle specifiche esigenze, sia in termini di target della classificazione, sia di fonti informative utilizzate.

La classificazione *object-oriented* di immagini telerilevate implementato in eCognition simula l'approccio seguito nella fotointerpretazione manuale; speriamo presto si sviluppi una base sufficientemente vasta di utenti finali, sia appartenenti al mondo della ricerca che a quello professionale, che permetta la calibrazione operativa di tale metodologia per le diverse applicazioni di monitoraggio ambientale tramite telerilevamento.

Bibliografia

Baatz M., Benz U., Dehgani S., Heynen M., Höltje A., Hofmann P., Lingenfelder I., Mimler M., Sohlbach M., Weber M., Willhauck G., 2001 - *eCognition user guide*. Definies imaging GmbH, München, Germany.

Chirici G., Corona P., Travaglini D., 2003. Sperimentazione di tecniche di classificazione *object-oriented* di immagini quickbird a fini forestali. Atti del Workshop "Utilizzo di dati telerilevati per le statistiche di copertura del suolo negli ambienti forestali", Firenze, 22 Gennaio 2003. *L'Italia Forestale e Montana*: in corso di stampa sul numero 4-2003.

Dorrena L.K.A., Maierb B., Seijmonsbergen A. C., 2003. Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification. *Forest Ecology and Management* 183 (2003) 31-46.

Franklin S.E., 2001 - *Remote sensing for sustainable forest management*. CRC Press, Boca Raton, USA.