

Tecniche *object-oriented* per la classificazione delle coperture forestali su fotogrammi storici pancromatici

Daniele Savio

(*) Regione del Veneto, Direzione Foreste ed Economia Montana, Mestre (VE) Via Torino 110, tel 0412795438
daniele.savio@regione.veneto.it – Dottorando di Ricerca in Nuove Tecnologie e Informazione Territorio & Ambiente,
Università IUAV di Venezia.

Riassunto

Le fotografie aeree storiche rappresentano un'insostituibile risorsa informativa da cui si possono desumere con elevato dettaglio informazioni sulle dinamiche spaziali delle coperture forestali nel medio-lungo periodo, con importanti ricadute nella comprensione dei meccanismi alla base dei processi di cambiamento e nell'impostazione delle future linee gestionali. In questa ricerca sono state testate le potenzialità del paradigma *object-oriented* per delineare una procedura oggettiva e scalabile su area vasta di estrazione dei limiti del bosco dai fotogrammi del volo GAI. Un sensibile miglioramento dell'accuratezza è stato raggiunto implementando nel classificatore algoritmi di calcolo dei parametri statistici di tessitura basati sulle matrici di co-occorrenza.

Abstract

The historical aerial photos are an irreplaceable source of information for details pertaining to the spatial dynamics of the forestry cover in the mid and long-term, with key implications for interpreting the mechanisms underlying the processes of change and in planning future management guidelines. In this study the object-oriented paradigm potentialities have been tested to outline a wide-reaching objective and scalable procedure of extracting wood limits from the GAI flight frames. Accuracy has been notably improved implementing algorithms of the statistic parameters of the texture calculus based on the grey level co-occurrence matrix.

Introduzione

La domanda informativa sulle foreste si presenta con connotazioni diverse a seconda della scala a cui la si analizza. Se a livello transnazionale prevalgono istanze legate ad una stima complessiva dell'entità delle risorse forestali, ad una scala nazionale o regionale emergono, oltre a queste, esigenze conoscitive orientate ad una valutazione che consenta di calibrare politiche di tutela delle risorse coerenti con una loro valorizzazione economica in una visione sinottica che sappia cogliere le possibili ricadute nel breve e nel lungo periodo. In questo contesto gli obiettivi di conservazione, valorizzazione e gestione di determinati siti coinvolgono nuovi orizzonti scientifici e tecnici, che si aprono verso la comprensione dei meccanismi con cui l'ambiente ed, in particolare, gli ecosistemi forestali spontaneamente si assestano verso nuovi equilibri imposti dai cambiamenti conseguenti alle attività umane. Un'importante chiave di lettura di questo complesso quadro viene dallo studio diacronico di quello che può definirsi "paesaggio culturale", prodotto della coazione tra meccanismi ecologici e trasformazioni economico-sociali. Dall'analisi retrospettiva delle dinamiche dell'uso agro-forestale delle terre e delle diverse tipologie di trasformazioni e persistenze è possibile generare modelli di previsione più accurati ed impostare, in particolare, le possibili linee gestionali per i boschi di neoforestazione, cioè insediatisi in tempi relativamente recenti su suoli privi di copertura arborea, con attenzione alle problematiche che le tendenze evolutive in atto possono determinare per quanto riguarda le relazioni tra la risorsa boschiva e gli altri elementi costitutivi del paesaggio. Questi boschi di invasione, risultato del declino dell'economia agricola montana e dal

progressivo abbandono di pratiche di sfruttamento del territorio silvo-pastorale dimensionate su scala familiare, da un lato conducono ad una semplificazione paesaggistica che si traduce in una riduzione degli ecotoni e quindi della biodiversità, dall'altro assumono un importante ruolo come serbatoi di carbonio o come preziose fonti di energia rinnovabile.



Figura 1 – Zona di espansione del bosco sopra l'abitato di Gavelle (frazione di Foza).

Lo studio dell'evoluzione del paesaggio silvo-pastorale si attua attraverso un confronto tra le coperture boschive di differenti periodi storici (figura 1) in un orizzonte temporale sufficientemente ampio a rendere apprezzabili i processi di successione delle specie forestali. Questi vincoli temporali e la necessità di rappresentare il fenomeno con adeguato dettaglio geometrico limitano le basi informative utilizzabili alla fotogrammetria aerea. Infatti, la risoluzione dei primi satelliti è maggiore a 30 metri e, comunque, per periodi precedenti al 1972 (lancio del primo Landsat) non vi è disponibilità di immagini. Un elemento critico nella derivazione di cartografie di uso del suolo a partire da foto aeree storiche, oltre alle problematiche legate al recupero della metricità dell'immagine, è, tuttavia, rappresentato dalla loro scarsa informazione spettrale. Fino agli inizi degli anni '90 le foto aeree in bianco e nero sono state in assoluto le più usate per il loro costo più contenuto in relazione alle tecnologie allora disponibili (fino a 10 volte inferiore alle emulsioni a colori). Le pellicole pancromatiche hanno, tuttavia, la caratteristica e la limitazione di avere una scarsa sensibilità spettrale nei confronti dei verdi (Amadesi, 1977), di conseguenza queste emulsioni pongono evidenti limitazioni a derivazioni tematiche che riguardino la vegetazione.

Lo scopo del presente contributo è di suggerire soluzioni innovative a queste problematiche, esaminando le potenzialità dalle tecniche di classificazione *object-oriented* nella produzione di cartografie delle coperture forestali a partire da foto aeree pancromatiche e proponendo soluzioni metodologiche oggettive e replicabili su area vasta.

Area di studio e fotogrammi utilizzati

L'area di analisi interessa la porzione settentrionale della Comunità Montana della Spettabile Reggenza dei Sette Comuni, comprendendo parte dei Comuni di Rotzo, Roana, Asiago, Gallio, Foza, Enego. La pianificazione forestale realizzata a partire dagli

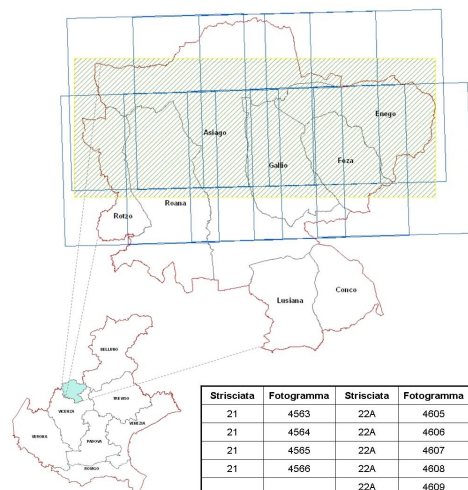


Figura 2 – Area di studio e fotogrammi selezionati.

anni '30 nei demani comunali di questa Comunità Montana, situata ai margini settentrionali della Provincia di Vicenza, consente di disporre di una ampia documentazione che è servita di supporto alla fotointerpretazione in alcune situazioni dubbie, consentendo di validare i risultati della classificazione semi-automatica su verità a terra di sicura attribuzione. Questa porzione di territorio, inoltre, ricopre una superficie molto estesa (circa 30.000 ha) e, pertanto, ha consentito di mettere a punto una procedura di classificazione riproducibile su scala regionale.

Le immagini oggetto di classificazione sono le foto aeree del volo GAI 1954 scansionate in formato TIFF ad una risoluzione di 600 dpi (*Ground Sample Distance* di 2 m). La superficie sulla quale sono stati eseguiti i test è ricoperta da 9 fotogrammi appartenenti alle strisciate 21 e 22A (figura 2).

Classificazione semi-automatica delle immagini con approccio object-oriented

La definizione di una procedura supervisionata per la classificazione delle coperture boschive a partire dalle immagini pancromatiche del volo GAI pone problematiche differenti e maggiori difficoltà rispetto all'analisi di immagini più recenti. L'interpretazione di questi fotogrammi a 256 livelli di grigio deve affrontare elevatissimi livelli di incertezza, in quanto ad un determinato valore di *DN* possono corrispondere differenti classi di copertura del suolo. Questa incertezza aumenta ancor più in territori ad orografia accidentata, nei quali i diversi gradi di ombreggiatura, determinati da differenti condizioni di pendenza ed esposizione, rendono ancor meno univoca e, pertanto, attendibile una classificazione su base spettrale. In questo contesto l'approccio *object-oriented* è l'unico possibile, dal momento che la risposta radiometrica del singolo pixel non è direttamente correlabile al *land cover*. Il numero di informazioni spettrali associabili ad un oggetto generato dalla segmentazione, tuttavia, rispetto ad immagini *RGB*, si riduce drasticamente dal momento che, nelle immagini mono-banda, i valori di *mean* corrispondono ai valori di *brightness* e che, in virtù di tale eguaglianza, la *maximum difference* per ogni oggetto è pari a 0. Le uniche statistiche spettrali utilizzabili sono, pertanto, la *mean* e la *standard deviation*, ma da sole, come si vedrà negli esempi che seguono, queste *features* sono insufficienti a realizzare una separazione delle classi tale da produrre una classificazione stabile.

Nelle aree montane un contributo al miglioramento dell'accuratezza tematica può venire dall'integrazione di modelli di distribuzione della vegetazione forestale su base altitudinale. L'utilizzo funzioni di appartenenza costruite a partire da informazioni ancillari, quale un accurato DTM, pur consigliato, esula, tuttavia, dagli obiettivi di questo studio, che mira a determinare le modalità più efficaci di estrazione dall'immagine del suo contenuto semantico.

Un metodo che consente di ottenere risultati ben più accurati rispetto alla classificazione su base esclusivamente spettrale si basa sull'integrazione dell'analisi delle proprietà tessiturali delle diverse classi di copertura del suolo. Per un osservatore umano l'associazione ad una superficie di un particolare concetto di tessitura è intuitiva ed immediata e le definizioni che se ne danno sono tipicamente qualitative (pertanto soggettive) e legate al suo carattere percettivo. Le tecniche per descrivere le caratteristiche tessiturali in modo oggettivo possono essere di tipo strutturale o statistico. L'approccio strutturale descrive il posizionamento di *textel* deterministici attraverso concetti di adiacenza, vicinanza o periodicità, pertanto è più adatto all'analisi di immagini di strutture artificiali che alla descrizione di scene naturali. Le coperture forestali, come appaiono dalle immagini aeree, sono caratterizzate da tessiture costituite da primitive elementari molto piccole con caratteristiche irregolari e, per descriverne la variabilità, sono più appropriati i metodi basati sull'analisi di parametri statistici.

Nello specifico, sono stati sperimentati algoritmi per l'estrazione di parametri statistici di tessitura calcolati sulle matrici di co-occorrenza. Le matrici di co-occorrenza (*GLCM, grey level co-occurrence matrix*) proposte da R. M. Haralick si basano su statistiche del secondo ordine, ovvero sulla costruzione di un istogramma bidimensionale dei livelli di grigio misurati ai capi di un segmento posizionato in modo random nell'immagine con una determinata orientazione.

L'approccio di co-occorrenza spaziale implementato nel *software Definiens Professional*, utilizzato per la segmentazione e la classificazione dei fotogrammi del volo GAI, ha lo svantaggio di generare

una grande mole di dati e ciò comporta, in relazione al tipo e al numero di statistiche utilizzate, alla dimensione dell'immagine da analizzare ed alle capacità computazionali del processore impiegato, tempi di elaborazione anche estremamente lunghi. Per questo è importante limitare l'impiego delle statistiche tessiturali a quelle che meglio descrivono la natura delle classi rappresentate. In questo caso poco aiuta una valutazione visiva dell'immagine, poiché la successione dei *textel* che rappresentano le aree boscate è di tipo stocastico.

La scelta delle statistiche di *texture* da implementare nell'algoritmo di classificazione, in una prima fase, è stata fatta sulla base dei pochi esempi applicativi documentati in letteratura (Halounovà, 2003; Laliberte, Rango, 2009) ed evitando abbinamenti di *features* in grado di produrre risultati fortemente correlati. Con questo criterio, delle otto *features* di *texture* disponibili, è stato selezionato un sottoinsieme di 5 statistiche, il cui potenziale risolutivo è stato analizzato adottando il processo automatico di ottimizzazione *Feature Space Optimization (FSO)*. I test applicativi sono stati eseguiti contestualmente alla definizione dei parametri di segmentazione, al fine di verificare l'esistenza di eventuali relazioni tra le *performances* di questi algoritmi e le dimensioni medie degli oggetti generati dalla segmentazione multirisoluzione ed individuare i parametri ottimali considerando anche questo aspetto.

Le prove di segmentazione sono state eseguite attraverso un approccio reiterativo per prova ed errore, variando di volta in volta la combinazione dei parametri guida. Sono stati ritenuti adeguati ad un'ideale classificazione dell'immagine quei parametri che hanno consentito di evitare un'eccessiva frammentazione e nel contempo di produrre un dettaglio sufficiente a differenziare il bosco dalle altre tipologie di copertura del suolo, anche con riferimento alle dimensioni minime degli oggetti, che devono consentire l'identificazione di aree forestali e di superfici non boscate con estensione di almeno 2000 mq (superficie minima prevista dalla definizione di bosco adottata dalla Regione del Veneto).

Inizialmente sono stati adottati i parametri suggeriti da Gennaretti e al. (2009) (*scale*=40, *shape*=0.7, *compactness*=0.5). Gli oggetti così generati, in conseguenza allo scarso peso assegnato all'eterogeneità spettrale, hanno forma per lo più compatta, ma rappresentano con accuratezza le discontinuità di copertura del suolo in virtù delle ridotte dimensioni. Le successive prove di segmentazione, invece, sono state eseguite aumentando progressivamente di 20 unità il fattore di scala (fino ad un massimo di 140) ed innalzando l'*overall fusion value* attraverso una riduzione del fattore di forma a 0.3. Gli oggetti prodotti sono di dimensioni mediamente maggiori, ma risultano ugualmente coerenti con le classi da rappresentare, poiché delineano in modo più accurato le eterogeneità spettrali dell'immagine.

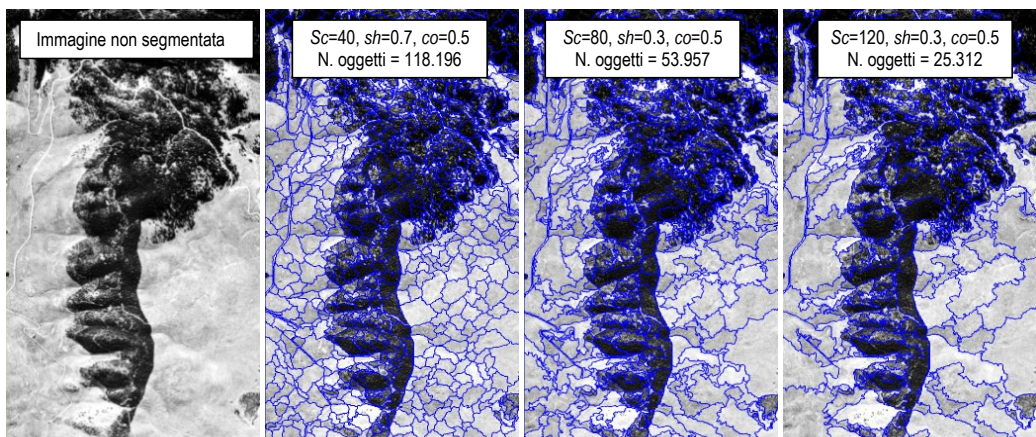


Figura 3 – Esempi di segmentazione e numero di oggetti generati sull'intera area di analisi.

Per ciascuna segmentazione è stato avviato il processo di *FSO*, dapprima utilizzando le sole caratteristiche spettrali, successivamente introducendo, oltre a queste, le *features* tessiture *GLCM Mean*, *GLCM Dissimilarity*, *GLCM Correlation*, *GLCM Entropy*, *GLCM Contrast* calcolate come valor medio delle statistiche estratte nelle quattro direzioni. Anche la classificazione è stata eseguita sia utilizzando le sole statistiche spettrali, sia implementando nel classificatore *nearest neighbor* le tre statistiche di tessitura che hanno maggiormente contribuito a determinare la *maximum separation distance* (figura 4). La valutazione delle differenti *performances* è stata effettuata tramite matrice di contingenza tra classificazioni e *test sites* e calcolo dell'indice *KIA* (*Kappa Index of Agreement*).

Risultati

La *separation distance* misurata attraverso il processo *FSO* è servita per stimare il contributo potenziale dell'informazione tessiturale al miglioramento della discriminazione tra le classi "bosco" e "non bosco". A tutte le scale di segmentazione, l'integrazione delle statistiche di *texture* ha determinato una distanza di separazione tra le classi pressoché doppia.

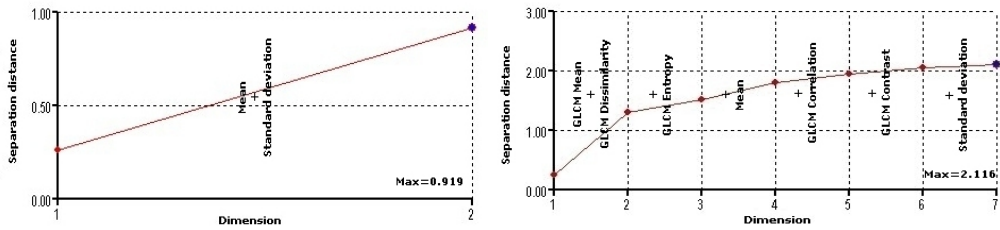


Figura 4 – Valori di *separation distance* ottenuti sull'area di analisi segmentata con *scale*=120, *shape*=0.3, *compactness*=0.5.

Studi precedenti hanno dimostrato che l'impiego di più di tre *features* tessiture, a fronte di tempi di calcolo più lunghi, non produce miglioramenti significativi nell'accuratezza della classificazione (Trianni G., 2005). Nell'algoritmo di segmentazione, pertanto, sono state implementate, oltre alla media ed alla deviazione standard dei DN di ciascun oggetto, le tre statistiche di tessitura che in tutti i test eseguiti hanno evidenziato il maggiore potenziale risolutivo, ossia *GLCM Mean*, *GLCM Dissimilarity* e *GLCM Entropy*.

I risultati della classificazione sono stati valutati sia in termini di *classification stability*, sia tramite il calcolo dei valori di *accuracy* e dell'indice *KIA*.

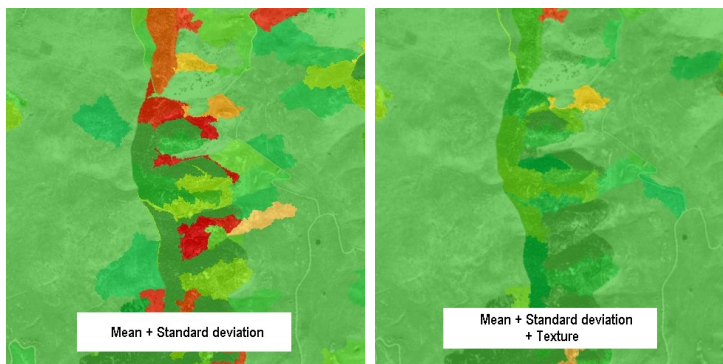


Figura 5 – Rappresentazione grafica della *classification stability*.

La *classification stability* evidenzia la differenza tra i valori di appartenenza *fuzzy* di un oggetto alle classi bosco/non-bosco sulla base delle *features* impiegate. Nel caso vi sia una piccola differenza tra i due valori, la classificazione risulta instabile. Nell'*output* grafico gli oggetti vengono rappresentati con tonalità che vanno dal rosso (classificazione fortemente instabile) al verde (classificazione stabile) (figura 5).

I valori di *overall accuracy* e *KIA* più elevati sono stati ottenuti adottando i parametri di segmentazione *scale*=120, *shape*=0.3, *compactness*=0.5, con un significativo contributo delle *features* di *texture* nell'aumento dell'accuratezza (*KIA*=0,84 utilizzando le sole statistiche spettrali, *KIA*=0.91 integrando l'analisi tessiturale).

Conclusioni

Dai test eseguiti si è potuto verificare che, variando i parametri di segmentazione, cambia anche il contributo delle singole *features* tessiturali nel determinare la *maximum separation distance*: all'aumentare della dimensione media degli oggetti, il peso dell'entropia decresce, mentre rimane invariato il contributo delle *features* *GLCM Mean* e *GLCM Dissimilarity*.

Nell'applicazione dell'algoritmo di classificazione che integra le tre *features* di tessitura è stata osservata una significativa correlazione tra la scala di segmentazione, la *maximum separation distance* e l'indice *KIA*. Si assiste, infatti, ad un tendenziale incremento della separazione tra le classi e dell'accuratezza tematica in rapporto all'aumento delle dimensioni medie degli oggetti, relazione che vale fintantoché l'elevazione del fattore di scala non determina un deterioramento dell'accuratezza geometrica.

Questa modalità di calibrazione dei parametri di segmentazione, che determina una riduzione del numero degli oggetti, assieme al miglioramento dell'accuratezza della classificazione automatica, ha consentito di contenere sensibilmente i tempi della successiva revisione manuale e di rendere la procedura scalabile su ampi comprensori.

Riferimenti bibliografici

Amadesi E. (1977), *Fotointerpretazione e aerofotogrammetria*. Pitagora Editrice, Bologna.

Gennaretti F., Pelorosso R., Ripa M. N., Recanatesi F., Leone A. (2009), "Mappe di copertura delle terre da foto aeree: metodologia object-oriented per lo studio delle dinamiche del paesaggio", *Memorie del IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria*.

Halounová L. (2003), *Textural classification of B&W aerial photos for the forest classification*. Remote sensing laboratory, CTU Prague, Czech Republic.

Laliberte A., Rango A. (2009), "Texture and scale in object-based analysis of subdecimeter resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 47: 761-770.

Trianni G. (2005), "Definizione automatica della scala spaziale per la segmentazione di immagini SAR in ambiente urbano", *Atti della Scuola di Dottorato in Ingegneria dell'Informazione, Università degli Studi di Napoli*.