

## INDIVIDUAZIONE DI MORIE DI ALBERI MEDIANTE TECNICHE DI ELABORAZIONE *OBJECT* E *PIXEL ORIENTED* APPLICATE AD IMMAGINI SATELLITARI AD ALTISSIMA RISOLUZIONE

Alessandra GRIGNETTI (\*), Fabio GIANNETTI (\*\*), Domenico COALOA (\*)

(\*) CRA – Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta - Strada per Frassineto, 35,  
15033 Casale Monferrato (AL) - Phone: +39-0142 330927, Fax: +39-0142 55580;

e-mail: grignetti@populus.it; coaloa@entecra.it

(\*\*) I.P.L.A. S.p.A. – C.so Casale 476 -10032, Torino, Italy - Phone: +39-011 8998933,  
Fax: +39-011 8989333; e-mail: giannetti@ipla.org

### Riassunto

Vengono presentati i risultati preliminari di uno studio condotto in un bosco planiziale nella pianura Padana in provincia di Vercelli interessato negli ultimi anni da un esteso e preoccupante fenomeno di moria degli alberi. Lo scopo dell'analisi è quello di individuare singoli alberi morti e/o settori di bosco in stato di deperimento, mediante l'elaborazione di un'immagine Ikonos. Sono state applicate tecniche di classificazione *pixel oriented* e *object oriented* per produrre una carta delle diverse coperture forestali e per individuare le aperture nella *canopy* che possono essere attribuite alla morte di singoli individui o di gruppi di alberi. Le aree individuate da satellite sono state messe a confronto con rilievi a terra. Ciò ha permesso sia di costruire un dettagliato *database* delle aree con alberi morti e/o in via di deperimento come importante punto di partenza per i successivi studi di monitoraggio del fenomeno, sia di confrontare i risultati delle due tecniche in termini di accuratezza e di rapporto costi/benefici.

### Abstract

In the present work a study area (Trino forest protected areas) in north-western Italy was selected in the framework of a project devoted to the analysis of the extensive phenomena of forest declining recently registered in some Oak-hornbeam stands. In order to monitor this phenomena an Ikonos image was acquired and processed with the aim of classifying the dead trees and possibly identifying areas in which trees are subject to drying phenomena. Image enhancement methods based on texture measures and vegetation indexes were applied with the aim of evaluating vegetation vigour and defining health classes. The same procedure was applied to homogeneous groups of trees resulting from the application of an object-based approach integrating segmentation algorithms and semi-automatic classifiers. Information about the distribution of dead trees and declining forest areas extracted from satellite images were then correlated to field collected data on crown condition and soil moisture. Remotely sensed data in combination with field surveys gave promising result for a landscape-scale pattern analysis of trees mortality.

### Introduzione

Da diversi decenni la preoccupante perdita di vitalità di molte aree forestali in Europa e in America ha indotto molte istituzioni a intraprendere studi volti a ricercare le cause responsabili del cosiddetto "forest decline". L'aumento di emissioni di gas serra in atmosfera, l'incremento delle temperature, ripetuti fenomeni di siccità o attacchi fungini spesso indotti dai recenti cambiamenti climatici sono alcune delle cause del deperimento degli alberi che interessa in particolar modo il faggio e alcune

specie quercine. L'effetto combinato di questi fattori si manifesta non solo attraverso un'azione fitotossica diretta, ma anche mediante l'accresciuta suscettibilità a fattori stressanti abiotici e a malattie parassitarie (Osborne et al., 2000). In questo contesto il telerilevamento trova un nuovo campo di applicazione in quanto permette sia di monitorare, a livello di paesaggio, le dinamiche di espansione delle fitopatologie in funzione delle caratteristiche strutturali delle formazioni forestali, sia, grazie alla elevata risoluzione geometrica, di individuare singoli o gruppi di individui arborei morti a livello locale. Dati Spot e Landsat (con media risoluzione spaziale) sono stati ampiamente utilizzati in passato per estrarre informazioni sulla struttura e sullo stato delle foreste (Muckoney & Haack, 1994; Royle & Lathorp, 1997), ma solo grazie ai sensori ad altissima risoluzione è possibile analizzare gli alberi a livello di singole chiome (Leckie et al., 2003). In California, dove le foreste di querce sono state soggette negli ultimi anni a gravi attacchi da parte di nuovi fitopatogeni, fotografie aeree e immagini di elevata risoluzione sono state utilizzate quali strumenti per il monitoraggio e la cartografia della mortalità degli alberi (Meentemeyer et al., 2007). In tale ambito sono stati messi a punti tecniche ibride di classificazione delle singole corone che combinano elementi di classificazione *unsupervised* e *supervised* (Kelly et al., 2004) e sperimentate tecniche di classificazione *object oriented*, avvalendosi di informazioni spettrali e indici di forma calcolati per gli oggetti derivati dal processo di segmentazione (Guo et al., 2007).

Lo scopo del lavoro è quello di utilizzare dati satellitari ad elevata risoluzione per individuare singoli alberi morti e/o settori del bosco che evidenziano avanzati stati di deperimento, e di differenziarli dalle radure dovute alla naturale discontinuità della copertura arborea o agli effetti di interventi gestionali operati nel passato.

La fase del deperimento delle chiome, che prelude la morte dell'individuo, è caratterizzata da una considerevole riduzione della biomassa fogliare associata spesso alla produzione di rami epicornici; tale fase può essere quindi rilevata grazie alla diminuzione dei valori di riflettanza nell'infrarosso. In prossimità degli individui arborei morti, nella copertura arborea si osservano infatti dei *gaps*, ossia si vengono a creare dei "buchi neri" che spesso vengono rapidamente colonizzati da specie invasive come robinia, rovo e nocciolo. Lo scopo di questo lavoro è quello di individuare tali aperture attraverso tecniche di classificazioni *pixel e object oriented* e correlare i risultati ottenuti con punti relativi alla presenza di alberi morti acquisiti mediante rilievi a terra.

## 2. Area di studio e dati utilizzati

Lo studio è stato condotto su un'area naturale di circa 600 ha, noto con il nome di Bosco delle Sorti della Partecipanza, in prossimità del comune di Trino nella pianura Vercellese, raro esempio della foresta planiziale che un tempo ricopriva quasi tutta la Pianura Padana. L'opera di conservazione di questa piccola porzione di territorio boscato, circondato completamente da superfici agricole coltivate a riso, è dovuta esclusivamente ad un sistema di gestione forestale che viene tramandato fin dall'epoca medievale.

Morfologicamente, l'area occupa un rilievo collinare (direzione est-ovest) di contenute proporzioni che si staglia nella pianura tra i fiumi Po, Dora Baltea, e Sesia, articolato in una serie di superfici terrazzate più o meno antiche. La foresta è principalmente caratterizzata da specie che si annoverano nell'associazione *Quercus-carpinetum*, con forte intrusione di robinia e locale presenza di nuclei di Quercia rossa ed alneto.

Negli ultimi anni si sono intensificati e resi particolarmente evidenti i fenomeni di moria a carico delle farnie in particolare, ma anche del carpino bianco e della robinia. Tale fenomeno è particolarmente evidente in alcuni settori dell'area, a nordovest e a sud (Loc. Ramezzana), in presenza di condizioni edafiche locali particolarmente sfavorevoli.

I dati utilizzati per lo svolgimento del lavoro sono:

- immagine Ikonos del 14 luglio 2007 acquisita in modalità multispettrale (4 m/pixel) e in modalità PAN (1 m/pixel);
- piano forestale prodotto dall'IPLA che permette di definire e cartografare le principali tipologie forestali presenti nell'area di studio;

- database di punti geografici acquisiti a terra mediante rilievo GPS, comprendente rilievi di alberi morti (querce e robinie), di radure derivate da taglio ceduo e di aperture naturali della copertura arborea. I rilievi sono stati condotti nel periodo maggio-settembre 2008.

### 3. Metodi

Il lavoro ha previsto tre fasi di trattamento dell'immagine: una fase di elaborazione preliminare, l'applicazione di diverse tecniche di classificazione ed il calcolo di alcuni indici di forma. In seguito i dati raster e vettoriali ottenuti dalle elaborazioni sono stati messi a confronto con quelli puntuali rilevati in campo.

La fase preliminare di trattamento ha previsto l'ortorettificazione e la procedura di fusione delle bande multispettrali con la banda pancromatica. La correzione geometrica, effettuata applicando il modello dei *Rational Polynomial Coefficients*, ha permesso di ottenere un errore residuo inferiore ai 2 metri calcolato su punti indipendenti. La fusione è stata realizzata applicando un algoritmo *pan-sharpening* che permette di mantenere inalterate le caratteristiche spettrali delle bande originali; come già rilevato da Giuliarelli (Giuliarelli et al, 2007) la procedura si è dimostrata utile soprattutto ai fini della successiva segmentazione in quanto incrementa la precisione di identificazione degli oggetti rispetto al medesimo processo basato solo su dati multispettrali (Lewinski, 2006).

L'applicazione delle procedure di classificazione è stata preceduta da elaborazioni volte a mettere in evidenza le caratteristiche della copertura forestale, con particolare riferimento al contrasto spettrale tra le aree di vegetazione sana rispetto a quelle con presenza di specie arboree deperienti e/o morte. In particolare sono state prodotte alcune bande derivate da filtri tessiturali (kernel 3x3 pixels) e indici di vegetazione come NDVI (differenza normalizzata tra banda del rosso e dell'infrarosso vicino) e rapporto semplice tra bande (Infrarosso/rosso, Rosso/verde).

Tali bande sono state quindi utilizzate nella fase di elaborazione che ha previsto l'utilizzo di tecniche di classificazione per pixel e per oggetti.

#### *Classificazione per pixel*

La classificazione per pixel, utilizzando l'algoritmo *Maximum Likelihood*, è stata applicata a tutta l'immagine al fine di produrre una carta dei principali tipi forestali e delle aperture dovute a moria. Inizialmente sulla base del Piano Forestale erano stati definiti 4 principali tipi forestali riconducibili alle classi quercio-carpineto, popolamenti a prevalenza di robinia (robinieti), popolamenti a prevalenza di quercia rossa e aperture nella *canopy (gaps)*. Successivamente in base ai risultati del test di separabilità spettrale di Jeffries-Matusita (Richards, 1999) si è deciso di analizzare solo le classi che presentavano valori del test superiori a 1,7 (Tabella1), ossia la classe quercio-carpineto, robinieto e aperture (*gaps*). Le aree a prevalenza di quercia rossa sono state incluse nel robinieto in quanto i valori non permettevano una soddisfacente separabilità spettrale.

	Quercia rossa	Robinia	Quercio-carpineto	Aperture
Quercia rossa		1.450	1.659	1.997
Robinia	1.450		1.795	1.993
Quercio-carpineto	1.659	1.795		1.850
Aperture	1.997	1.993	1.850	

Tabella 1: Risultati del test di separabilità spettrale applicato alle 4 classi previste

#### *Classificazione object oriented*

Le procedure di segmentazione multi-risoluzione e classificazione fuzzy, implementato nel software Definiens Developer, sono state applicate solo ad una porzione dell'immagine (1040x649 pixel, 48 ha), corrispondente all'area di Ramezzana, particolarmente soggetta al fenomeno di moria del bosco.

La fase di segmentazione (Baatz e Schäpe, 2000) ha come aspetto principale la definizione di un fattore di scala che permette di calibrare la grandezza dei poligoni che si vengono a creare. La sua definizione è dunque in relazione alla scala di analisi che si vuole condurre e al diverso peso che si vuole assegnare ai fattori di forma e di colore (spettrali). Il parametro morfologico si scompone a sua volta in due fattori, uno relativo al grado di arrotondamento (*Smoothness*) e l'altro alla compattezza dei poligoni (*Compactness*).

Il livello finale di segmentazione ritenuto adeguato agli scopi della ricerca è stato ottenuto applicando un fattore di scala pari a 25 con rapporti *color/shape* e *smoothness/compactness* rispettivamente pari a 0,7/0,3 e 0,5/0,5.

Gli elementi così delineati sono stati quindi classificati in base ad una serie di specifiche funzioni di appartenenza costruite mediante apposizione di soglie (Tabella 2) ai valori medi delle bande originarie, alla luminosità (media dei valori di tutte le bande per ogni pixel) e all'NDVI.

	Luminosità	Media blu	Media verde	Media rosso	Media NIR	NDVI
Quercu-carpineto	262-350				551-750	
Robinieto	352-442	258-280	257-303	154-193	751-987	
Aperture	208-261	224-247	195-231	94-133	411-566	0.55-0.69

Tabella 2: valori soglia utilizzati per le regole di classificazione degli oggetti.

#### *Indici di forma*

A ciascun poligono classificato come apertura sono stati associati, oltre alle informazioni spettrali, alcuni indici geometrici significativi da un punto di vista ecologico, quali indici di forma (*shape index*, rapporto lunghezza/ ampiezza e compattezza).

L'indice noto come *shape index* è calcolato secondo la seguente formula  $SI = P/4\sqrt{A}$  dove P e A sono rispettivamente il perimetro e l'area di un oggetto. E' un valore che va da 1 a infinito e permette di quantificare la dimensione frattale dell'oggetto.

I valori dell'indice rapporto lunghezza/ ampiezza (Baatz e Schäpe, 2000) sono compresi tra 0 e 1, in cui oggetti con valori prossimi a 1 tendono ad una forma quadrata, mentre quelli con valori prossimi a 0 tendono ad avere forme fortemente allungate. L'indice di compattezza si calcola come prodotto della lunghezza e dell'ampiezza, diviso per il numero dei pixel che compongono l'oggetto; i valori sono compresi tra 0 e infinito.

#### *Rilievi in campo*

Tra la primavera e l'estate 2008 sono stati realizzati 78 rilievi in campo con GPS al fine di localizzare singoli individui o gruppi di piante morte o fortemente deperienti. I punti rilevati con il sistema Mobile Mapper (Thales) sono stati acquisiti in buone condizioni di ricezione (6 satelliti visibili) e sono stati sottoposti a procedure di correzione differenziale per eliminare alcuni effetti di distorsione legati alla presenza della copertura arborea o a fenomeni di rifrazione in atmosfera. I rilievi sono stati classificati in tre gruppi: aperture con querce morte (42), con robinie morte (18) e aperture prive di piante morte (18).

#### *Creazione di un sistema informativo*

E' stato creato un sistema informativo comprendente oltre alle immagini raster, i rilievi puntuali acquisiti con GPS e gli strati vettoriali relativi ai poligoni identificati come aperture in entrambe le classificazioni. Ad ogni poligono è stata associata una tabella contenente i valori medi di NDVI e i valori medi degli indici di forma sopra descritti al fine di valutare se sono presenti differenze statisticamente significative tra i diversi gruppi di aperture.

Al fine di confrontare i punti di rilievo con i poligoni classificati è stato costruito un buffer di 4 metri intorno alla coordinata di ciascun punto per tenere conto di un certo errore posizionale residuo legato sia al rilievo GPS sia all'ortorettificazione dell'immagine satellitare.

#### 4. Risultati

I risultati ottenuti dall'incrocio tra il buffer costruito attorno ai punti rilevati a terra e le aperture derivate dalle classificazioni sono riportati nella tabella 3.

	Metodo di classificazione	
	Per pixel	Per oggetti
Numero di poligoni classificati come aperture (Area in ettari; percentuale sul totale)	1143 (4,7 ha; 9,8%)	552 (5,6 ha; 11,6%)
Superficie comune tra le due classificazioni	3,33 ha	
Numero di poligoni associati alla presenza di alberi morti in base ai rilievi a terra (Area in ettari)	43 (0,4ha)	49 (0,63 ha)

Tabella 3: confronto tra numero assoluto di poligoni classificati come aperture con i due metodi di classificazione e numero di aperture correlabili ai dati a terra sulla presenza di piante morte.

Le aree classificate come aperture coprono superfici molto simili nelle due classificazioni (circa il 10% della superficie boscata analizzata). Il numero di poligoni prodotto con la classificazione per pixel è però circa doppio rispetto all'esito dell'approccio per oggetti. Analizzando i valori di NDVI e degli indici di forma calcolati per i due campioni emerge una certa differenza solo per quanto riguarda lo *shape index* e l'indice di compattezza, con valori costantemente più bassi per i poligoni derivati dalla classificazione per pixel (Figura 1).

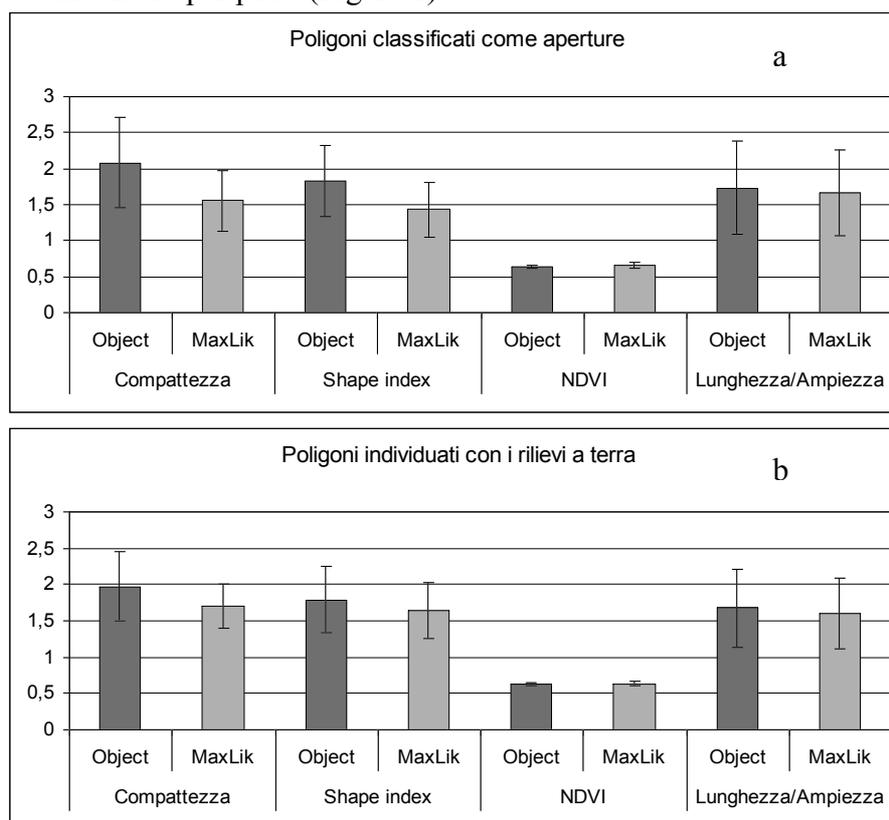


Figura 1: Confronto tra valori degli indici di forma e di NDVI calcolati con i due metodi di classificazione su tutte le aperture (a), e su quelle correlate alla presenza di alberi morti (b).

#### Conclusioni

Il presente studio ha permesso di raggiungere una serie di risultati preliminari riguardanti l'approccio metodologico più adatto per l'identificazione e delimitazione delle aperture nel bosco. In particolare si rileva che:

- I poligoni derivati dalla classificazione per oggetti sono meno numerosi e più compatti, come dimostrato dalla presenza di valori dell'indice di compattezza significativamente maggiori.
- E' stato possibile associare ai punti rilevati con presenza di alberi morti un numero maggiore di poligoni nel caso dell'approccio per oggetti (49/78) che in quello per pixel (43/78).

Ne deriva che l'approccio per oggetti sembra fornire risultati migliori poiché elimina l'effetto "sale e pepe" legato alla classificazione di gruppi di pixel molto piccoli (singole ombre di chiome di alberi molto grandi o altre piccole discontinuità nella copertura non associabili alla morte di esemplari di quercia) che compare tipicamente nel caso della classificazione per pixel.

Ulteriori analisi sono in corso per provare a discriminare le aperture effettivamente correlabili alla presenza di piante morte o fortemente deperienti, anche se, in base al campione di rilievi ad oggi disponibile, non sono state registrate differenze significative di NDVI o di indici di forma tra queste e altre aperture formatesi per cause diverse.

Nella prima fase di svolgimento del progetto sono stati prevalentemente descritti e confrontati i due approcci metodologici utilizzando una singola immagine satellitare; in seguito è previsto l'avvio di un programma di monitoraggio della mortalità delle querce nel tempo mediante il confronto di set multitemporali che consentiranno di seguire l'evoluzione del fenomeno.

### **Bibliografia**

- Baatz, M., Schäpe, A., 2000. Multiresolution segmentation - an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*. Wichmann-Verlag, Heidelberg : 12-23.
- Giuliarelli D., Corona P., Lamonaca A., 2007. Sperimentazione di tecniche object oriented per la classificazione di uso/copertura del suolo Corine Land Cover da immagini satellitari a media risoluzione. *Forest@ 4* (3): 272-282. [online]
- Guo Q., Kelly M., Gong P., D. Liu, 2007. An object-based classification approach in mapping tree mortality using high spatial resolution imagery. *GIScience & Remote Sensing* 44 N. 1: 24-47.
- Kelly, M., Shaari, D., Guo, Q. H., and D. S. Liu, 2004, "A Comparison of Standard and Hybrid Classifier Methods for Mapping Hardwood Mortality in Areas Affected by 'Sudden Oak Death'," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70:1229-1239.
- Muchoney, D.M., and Haack B. N., (1994) Change detection for monitoring forest defoliation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60: 1243-1251.
- Leckie D.G., Gougeon F.A., Walsworth N., Paradine D., 2003. Stand delineation and composition estimation using semi-automated individual tree crown analysis. *Remote Sensing of Environment* 85 : 355-369.
- Lewinski S., 2006. Applying fused multispectral and panchromatic data of Landsat ETM+ to object oriented classification. Proceedings of the 26th EARSeL Symposium, New Developments and Challenges in Remote Sensing, May 29-June 2, 2006, Warsaw, Poland.
- Meentemeyer R.K., Rank N.E., Shoemaker D.A., Oneal C.B., Wickland A.C., Frangioso K.M. e Rizzo D.M., 2007. Impact of sudden oak death on tree mortality in the Big Sur ecoregion of California, *Biological Invasions*
- Osborne C.P., Mitchell P.L., Sheehy J.E., Woodward F.I., 2000. Modelling the recent impacts of atmospheric CO<sub>2</sub> and climate change on Mediterranean vegetation. *Global Change Biology* 6: 445-458.
- Read J. M., Clark D.B., Venticinque E.M. e Moreira M.P., 2003. Application of merged 1-m and 4-m resolution satellite data to research and management in tropical forests. *Journal of Applied Ecology*, 40: 592-600.
- Royle D.D., Lathrop R.G., 1997. Monitoring hemlock forest health in New Jersey using Landsat TM data and change detection techniques. *Forest Science* 43 (3): 327-335