

## CARTA DEI TIPI FORESTALI DELLA COMUNITA' MONTANA DELLA VALLE SERIANA

Simone RINALDO, Fabio SALVO, Diego GUILLERMO TRUCO (\*)  
Andrea NOSARI, Maurizio PANSERI (\*\*)  
Emanuela PANSERI (\*\*\*)

(\*) Inform S.r.l. Gruppo INFRACOM – Territorio e Ambiente, Via Savelli, 56 – 35129 Padova,  
tel. 049 8064339, fax 049 8064445, e-mail [rinaldos@informsrl.it](mailto:rinaldos@informsrl.it)

(\*\*) Comunità Montana Valle Seriana, Viale Libertà, 21 – 24021 Albino (Bg),  
tel. 035 751686, fax 035 755185, e-mail [info@valleseriana.bg.it](mailto:info@valleseriana.bg.it)

(\*\*\*) Libera professionista, Via De Gasperi, 14 – 24030 Carvico (Bg),  
tel. & fax 035 4360012, e-mail [e.panseri@tin.it](mailto:e.panseri@tin.it)

### Riassunto

La Comunità Montana Valle Seriana (Bg) ha promosso la realizzazione della carta dei tipi forestali con l'obiettivo di discriminare le aree boscate a livello di tipologia forestale secondo la nomenclatura adottata dalla Regione Lombardia (Del Favero et al., 2006) e di individuare i limiti del bosco secondo la normativa regionale vigente (LR n.27 del 28-10-2004).

Il modello di analisi si basa sulla classificazione di immagini satellitari (*set* multi-temporale SPOT5) e di ortofoto aeree, mediante tecniche integrate “*pixel oriented*” e “*object oriented*” costruite su logica *fuzzy*. Tale approccio ha consentito di superare i limiti metodologici delle classificazioni basate esclusivamente sulla radiometria del *pixel*, migliorando la qualità dell'elaborazione e l'accuratezza dei risultati ottenuti. Il modello, implementato con tecnologia *eCognition*®, ha permesso di integrare efficacemente le informazioni contestuali di carattere ecologico-stazionale (altimetria, pendenza, esposizione, pedologia, etc.) con le informazioni estratte dal *dataset* satellitare multi-spettrale e multi-temporale.

La procedura di segmentazione multi-risoluzione ha consentito di definire il limite del bosco in maniera automatica secondo i dettami della normativa regionale.

### Abstract

*The Valle Seriana Mountain Community has supported the compilation of a map of vegetation classes aiming at classifying forested areas according to the forestry classes included in catalogue introduced by the Lombardy Region (Del Favero et al., 2006) and defining wooded areas boundaries according to regional regulations (LR n.27 del 28-10-2004).*

*The proposed model of analysis is based on satellite images (set of multi-data SPOT5) and aerial photos classification using integrated techniques of “pixel oriented” and “object oriented” classification built on fuzzy logic. This approach allows one to exceed the methodological limits of classifications exclusively based on pixel radiometry, improving the quality of elaboration and the accuracy of results. The model has been implemented using the eCognition's® technology. This way it's possible to integrated in an effective way ecological contextual information (altimetry, slope, exposition, pedology, etc) with information extracted by multi-spectral and multi-data analysis of satellite images.*

*The multi-resolution segmentation procedure has made it possible to define in an allowed to define in automatic way boundaries of wooded areas according to regional regulations.*

## Introduzione

Nell'ambito della redazione del Piano di Indirizzo Forestale della Comunità Montana della Valle Seriana, è stata realizzata la "Carta delle Tipologie Forestali" in scala 1:10.000 (di seguito denominata Carta) con l'obiettivo di discriminare le aree boscate a livello di tipologico secondo la classificazione adottata dalla Regione Lombardia (Del Favero et al., 2006) e di definire i limiti del bosco in maniera univoca secondo la normativa regionale vigente (LR n.27 del 28-10-2004).

La Carta, tematicamente riconducibile alla nomenclatura CORINE Land Cover approfondita al V° livello gerarchico per le superfici naturali e seminaturali, è stata ottenuta tramite una metodologia che integra in maniera "pesata" (*fuzzy logic*) le informazioni desunte dalle immagini telerilevate ad alta ed altissima risoluzione, i rilievi in campo, le informazioni ancillari esistenti e quelle dedotte da conoscenze "a priori".

## Area di studio

L'analisi è stata condotta nel comprensorio della Comunità Montana Valle Seriana sito in provincia di Bergamo. Il territorio indagato, comprendente la superficie amministrativa di 18 comuni, si estende su una superficie complessiva di 19.480 ettari.

## Metodologia di lavoro

Il processo metodologico (illustrato in dettaglio in Fig.1) che ha portato alla realizzazione della Carta è articolato nelle seguenti tre distinte macrofasi:

- *Segmentazione morfologica* delle immagini telerilevate ad altissima risoluzione per l'identificazione automatica delle superfici boscate ("oggetti");
- *Elaborazione delle immagini satellitari* multitemporali/multispettrali su base radiometrica con approccio *pixel-oriented*;
- *Implementazione del modello inferenziale* (*sistema object-oriented a logica "fuzzy"*) che calcola la plausibilità dell'appartenenza di ogni "oggetto" ad una determinata tipologia forestale in relazione alla risposta radiometrica, ai dati ancillari e conformemente alle specifiche caratteristiche ecologico-stazionali.

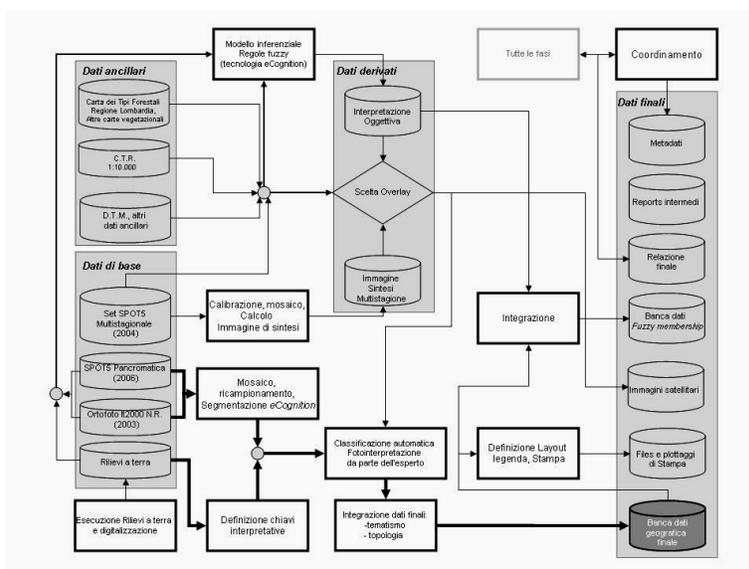


Figura 1: modello concettuale del processo metodologico.

## Materiali

Come già precedentemente accennato, la metodologia adottata si basa sull'elaborazione e l'integrazione pesata (*fuzzy logic*) di un *set* particolarmente articolato di dati di *input* dei quali si riporta di seguito una breve descrizione:

- *Immagini satellitari multispettrali SPOT5 (anno 2004)*: si tratta di un *set* di 3 scene (10 metri di risoluzione spaziale nei 4 canali multispettrali per scena), acquisito in relazione al comportamento fenologico della maggior parte delle specie vegetali presenti nell'area di studio (11/06/2004, 23/07/2007, 23/08/2004);
- *Ortofoto aeree Terraitaly™ "it2000 Nuova Release" (anno 2003)*: le ortoimmagini, rese disponibili dal committente, sono state sottoposte ad una propedeutica fase di mosaicatura al fine di aumentare la capacità sinottica dei singoli fotogrammi e successivamente sono state impiegate come riferimento geometrico della banca dati (risoluzione spaziale di 50 cm);
- *Immagine satellitare pancromatica SPOT5 (anno 2006)*: la scena è stata acquisita nel 04/02/2006 (5 metri di risoluzione nel canale pancromatico) ed è stata impiegata per l'aggiornamento della componente geometrica della banca dati;
- *Dati ancillari (informazioni ereditate)*: è stato utilizzato un articolato insieme di banche dati esistenti, sia in formato *raster* che vettoriale, quali la carta dei tipi forestali della Regione Lombardia, la carta tecnica regionale in scala 1:10.000, la carta geoambientale, la carta di copertura del suolo D.U.S.A.F., la carta geologica, il reticolo idrografico, etc.), le quali sono state sottoposte ad una serie di procedure per renderle confrontabili (ritaglio, ricodifica, proiezione cartografica, etc.);
- *Carte tematiche derivate dal Modello Digitale del Terreno*: per coadiuvare il sistema di classificazione sulla base delle caratteristiche ecologico stazionali dei popolamenti arborei ed arbustivi, sono state estratte le carte di altimetria, pendenza ed esposizione dal modello digitale del terreno della Regione Lombardia (passo pari a 20 metri);
- *Rilievi a terra*: sono state condotte due distinte campagne di rilievi a terra ad opera di esperti fitosociologi locali. Operativamente sono stati effettuati circa 300 rilievi puntuali localizzati mediante strumentazione G.P.S., che sono stati incrementati con un centinaio di ulteriori osservazioni a terra eseguite durante la realizzazione della Carta dei Tipi Forestali della Regione Lombardia. Nella prima campagna di rilevazione, tramite l'individuazione di stazioni rappresentative delle unità vegetazionali presenti sul territorio, si è provveduto ad inquadrare i tipi forestali dal punto di vista floristico-vegetazionale. Nella seconda fase del rilievo, i punti di campionamento sono stati distribuiti in modo omogeneo su tutto il territorio per un'analisi sistematica dell'intera copertura forestale.

## Quadro vegetazionale

Il quadro vegetazionale dell'area d'indagine si presenta estremamente complesso. Si tratta di un ambito pedemontano, caratterizzato da una notevole variabilità morfologica e quindi da condizioni stazionali estremamente diversificate. In questa situazione si è innestato un importante intervento antropico, che ha determinato la sostituzione delle cenosi originarie con formazioni maggiormente funzionali al soddisfacimento delle necessità delle popolazioni locali.

I querceti termofili, formazioni tipiche degli ambiti collinari ad esposizione meridionale, sono spesso compenetrati agli orno-ostrieti, mentre sui versanti termicamente più sfavoriti, il querceto di rovere è spesso frammisto al castagneto. Nelle situazioni dove l'intervento antropico è stato più incisivo si rinvergono formazioni a robinia.

In ambito submontano, invece, la faggeta si presenta spesso compenetrata e a volte sostituita dalle formazioni secondarie riferibili al Piceetum sensu, frutto di interventi selvicolturali a carico delle formazioni di latifoglie mesofile.

Laddove le condizioni morfologiche determinano l'apporto di acque extrameteoriche si sviluppano invece vegetazioni azonali ascrivibili agli aceri-frassineti.

### Segmentazione morfologica-multirisoluzione

Come precedentemente accennato, oltre alla discriminazione delle principali formazioni boschive a livello di tipologia forestale, la Carta dei Tipi Forestali della Comunità Montana Valle Seriana si prefigge l'obiettivo di definire in maniera univoca il limite del bosco, secondo la normativa regionale vigente (LR n.27 del 28-10-2004 “*Tutela e valorizzazione delle superfici, del paesaggio e dell'economia forestale*”).

A tal proposito, la componente geometrica dell'intera banca dati è stata ottenuta attraverso la segmentazione morfologica di un mosaico di ortofoto Terraitaly™ “it2000 Nuova Release” (Fig.2), impostando un fattore di scala pari a 35 (*shape factor 0.3, compactness 0.5*). Tramite questa operazione sono stati definiti in maniera automatica i contorni dei poligoni di copertura del suolo, rielaborati successivamente tramite procedure automatiche di *generalizing, smoothing, eliminating e dissolving* e rifiniti manualmente tramite comuni software GIS per aumentarne l'accuratezza geometrica finale (Fig.3).

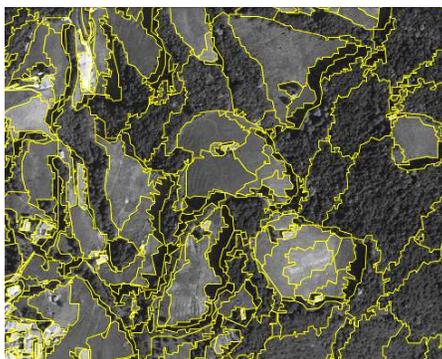


Figura 2: risultato della segmentazione (image objects).

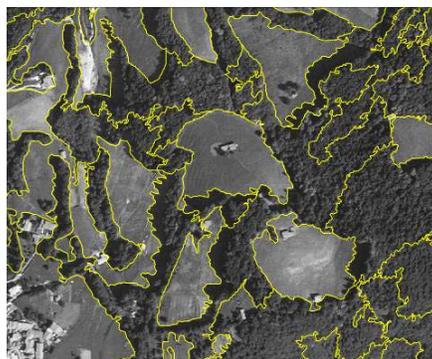


Figura 3: esempio della semplificazione geometrica.

### Elaborazioni satellitari

Le immagini satellitari multispettrali sono state sottoposte ad una serie di pre-elaborazioni al fine di renderle geometricamente sovrapponibili e radiometricamente confrontabili.

I valori di *Digital Number* dei singoli *pixel* di ogni scena sono stati convertiti in valori di radianza, in modo da conferire ai dati un'unica scala radiometrica. Le immagini di radianza sono state successivamente convertite in riflettanza al “top” dell'atmosfera (*TOA – Top Of the Atmosphere*) attraverso la normalizzazione della radiazione solare, permettendo in tal modo di ridurre la variabilità tra le diverse scene (Hill, I.D., 1991).

L'analisi multitemporale (giugno, luglio e agosto) delle 3 scene satellitari è stata condotta in maniera congiunta integrando le immagini in un *dataset* di sintesi generato dalla fusione delle 12 bande. La classificazione del *dataset*, con approccio *supervised*, è avvenuta utilizzando l'algoritmo di massima verosimiglianza secondo il teorema di Bayes, che confronta le risposte spettrali desunte dalle immagini nelle aree di “verità a terra” o *training samples*, attraverso funzioni statistiche di media, varianza e covarianza.

Il 50% dei campioni di “verità a terra” è stato impiegato come *training samples* per istruire il processo ed il rimanente 50% è stato utilizzato quale *test* dell'accuratezza (*test samples*).

Il calcolo ha prodotto una banca dati di 7 *layers*, definite funzioni di appartenenza primarie, corrispondenti alle 7 classi vegetazionali più diffuse sul territorio di analisi: orno-ostrieti, querceti, aceri-frassineti, castagneti, faggete, robinieti e peccete.

**Implementazione del modello inferenziale (sistema *object oriented* a logica “fuzzy”)**

Il modello di classificazione si basa su un sistema “aperto” a motore inferenziale, fondato sui criteri della logica *fuzzy*, implementato sfruttando la tecnologia software *eCognition*©. Il modello ha permesso di interfacciare in maniera ottimale i dati ancillari precedentemente elencati unitamente agli elaborati prodotti durante la segmentazione delle immagini e la classificazione del *dataset* satellitare di sintesi. Ovvero è stato integrato il risultato dell’analisi radiometrica con una sequenza complessa di operatori “fuzzy” che ponderano le cartografie tematiche esistenti con delle ipotesi aggiuntive basate sui parametri ecologici delle specie principali.

Il risultato del processo è stato successivamente sottoposto a procedure di standardizzazione topologica ed alfanumerica eseguita tramite procedure automatiche, sviluppate in ambiente ARC/INFO di ESRI© (AML).

**Risultati**

L’immagine risultante dalla classificazione radiometrica eseguita con l’approccio *pixel-oriented* è stata sottoposta ad una procedura di valutazione dell’accuratezza tematica basata su matrici di confusione, che ha dato come esito sintetico un valore pari al 69,3% (Tab.1).

In termini generali e puramente indicativi si può affermare che il risultato è confortante se si considera che gran parte degli errori è spesso riconducibile a situazioni di compenetrazione tra tipologie affini che sono state effettivamente riscontrate in campo dagli stessi rilevatori: ad esempio tra orno-ostrieti e querceti in situazioni di mescolanza.

Overall accuracy= 69,3035%								
CLASSE	Orno-ostrieti	Querceti	Aceri-frassineti	Castagneti	Faggete	Formazioni antropogene di latifoglie	Peccete	Totale
Non classificato	4,83	0,39	0,49	0,46	6,90	0,42	2,05	2,25
Orno-ostrieti	58,99	18,52	4,11	4,19	17,92	3,12	0,85	18,54
Querceti	22,13	77,76	3,98	4,20	0,36	7,69	0,00	16,02
Aceri-frassineti	3,26	0,85	77,30	17,57	15,31	4,99	1,14	19,82
Castagneti	1,86	1,79	8,64	68,74	2,82	2,08	0,00	22,73
Faggete	7,39	0,12	2,18	0,57	50,12	0,62	1,70	8,11
Formazioni antropogene di latifoglie	0,50	0,58	0,92	4,27	6,58	81,08	0,00	4,18
Conifere	1,04	0,00	2,39	0,00	0,00	0,00	94,26	8,35
Totale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabella 1: matrice di confusione e percentuale di accuratezza della classificazione su base radiometrica del set satellitare con approccio *pixel-oriented* (valori espressi in percentuale).

Analoga valutazione, utilizzando gli stessi *test-samples*, è stata eseguita sull’immagine risultante dal modello inferenziale con approccio *object-oriented*, che ha dato come esito un valore pari al 84,2% (Tab.2).

Overall accuracy= 84,2113%								
CLASSE	Orno-ostrieti	Querceti	Aceri-frassineti	Castagneti	Faggete	Formazioni antropogene di latifoglie	Peccete	Totale
Non classificato	0,27	0,74	2,02	0,97	4,39	0,10	24,58	1,21
Orno-ostrieti	91,95	2,34	0,38	0,52	21,75	0,70	0,14	7,46
Querceti	7,28	97,26	14,65	3,71	0,00	3,45	5,89	28,77
Aceri-frassineti	0,00	0,02	61,17	6,49	1,73	0,00	0,00	8,38
Castagneti	0,77	0,13	23,55	83,30	0,00	4,33	0,00	47,84
Faggete	0,00	0,00	0,00	0,43	76,52	0,00	0,00	2,64
Formazioni antropogene di latifoglie	0,00	0,25	0,09	5,28	0,00	91,52	0,00	3,91
Peccete	0,00	0,00	0,15	0,27	0,00	0,00	93,97	1,01
Totale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabella 2: Matrice di confusione e percentuale di accuratezza della classificazione con approccio *object oriented*.

Il modello inferenziale basato su approccio *object-oriented* ha permesso di incrementare significativamente l’accuratezza tematica della banca dati finale, sia in termini complessivi che per

ogni tipologia vegetazionale eccetto che per gli aceri frassineti. Come descritto precedentemente, gli aceri-frassineti sono formazioni azonali che vegetano esclusivamente nelle forre, dove le particolari condizioni morfologiche determinano un elevato grado di umidità. Nell'ambito territoriale indagato le forre sono particolarmente strette ed il dettaglio spaziale del modello digitale del terreno non era sufficientemente accurato per poterle rilevare.

In termini generali, si conferma una valutazione positiva delle tecniche di segmentazione multirisoluzione e di classificazione *object-oriented* per la produzione di cartografie di copertura del suolo per aree naturali e seminaturali (Chirici, et. Al., 2006). I risultati ottenuti infatti, costituiscono un notevole miglioramento delle conoscenze sulla distribuzione delle cenosi forestali nel territorio della Valle Seriana (Fig.4).

Il prodotto finale costituisce quindi uno strumento operativo efficiente ed efficace per la gestione del bosco ed in particolare per quanto concerne gli aspetti vincolistici e progettuali ad esso correlati. Allo stesso tempo può essere uno strumento interagibile con il piano di settore del P.T.C.P. (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) e recepibile dai P.G.T. (Piani di Governo del Territorio).

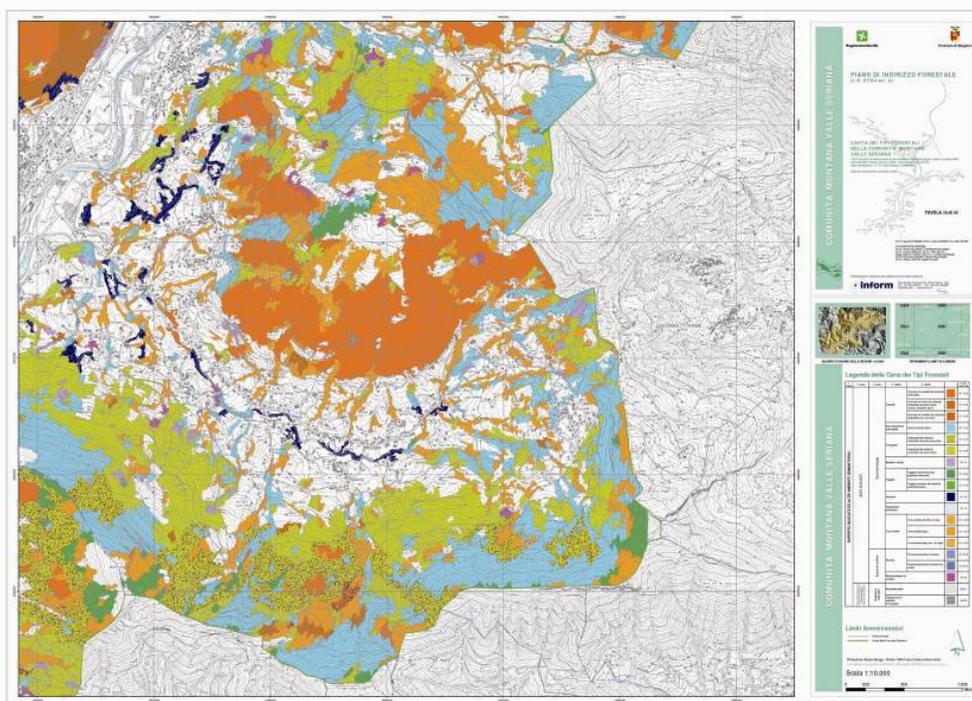


Figura 4: esempio della restituzione cartografica della Carta delle tipologie forestali della Comunità Montana della Valle Seriana.

#### Riferimenti bibliografici

- Baatz M., Benz., Dehgani S., Heynen M., Holtjie A., Hofmann P., Lingenfelder I., Mimler M., Sohlbach M., Weber M., Willhaucej G. (2001), *eCognition user guide*, DEFINIENS, Munchen.
- Chirici G., Barbati A., Corona P., Lamonaca A., Marchetti M., Travaglini D., "Segmentazione di immagini telerilevate multirisoluzione per la derivazione di cartografie di uso/copertura del suolo multiscala", *Rivista italiana di telerilevamento*, n° 37-2006, 113-136.
- Hill J., "A quantitative approach to remote sensing: sensor calibration and comparison.", *C.R. (eds)* (1991), 97-110.
- Del Favero, et. Al. (2006), "Progetto carta dei tipi forestali della Regione Lombardia", *Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste, Milano*.