

REALIZZAZIONE DELLA CARTA DI COPERTURA DEL SUOLO IN AREE PROTETTE DEL LAZIO

Nicoletta CUTOLO (*), Cristiano FATTORI (), Simone RINALDO (***),
Francois SALOMONE (****)**

(*) Regione Lazio, Agenzia Regionale per i Parchi, Via Indonesia, 33 - 00144 Roma
Tel. 06/593578223, Fax 06/5919404, e-mail: cutolo.arp@parchilazio.it

(**) Regione Lazio, Agenzia Regionale per i Parchi, Via Indonesia, 33 - 00144 Roma
Tel. 06/593578223, Fax 06/5919404, e-mail: fattori.arp@parchilazio.it

(***) Inform S.r.l., Settore Cartografia Digitale, Via Savelli, 56 - 35129 Padova
Tel. 049/8064339, Fax 049/8064445, e-mail: rinaldos@informsrl.it

(****) Libero professionista, Via dei Prati, 11 - 00053 Civitavecchia (Rm)
Tel. 0766/30311, e-mail: francois3@tele2.it

Riassunto

Il progetto, promosso dall'Agenzia Regionale Parchi del Lazio, si pone l'obiettivo di discriminare le principali formazioni arboree ed arbustive tramite l'impiego di avanzate tecniche di telerilevamento e di elaborazione di immagini digitali. La realizzazione della carta è stata veicolata da presupposti metodologici che hanno imposto, da un lato l'ottimizzazione del contenuto informativo dei dati di input (ortofoto aeree ed immagini satellitari) e dall'altro la minimizzazione dell'esecuzione di ricognizioni a terra.

Il modello di analisi si basa sulla classificazione di immagini satellitari (set multi-temporale Landsat7) e di ortofoto aeree mediante tecniche integrate "pixel oriented" e "object oriented" costruite su logica fuzzy. Tale approccio consente 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®, consente di integrare efficacemente le informazioni contestuali di carattere ecologico-stazionale (altimetria, pendenza ed esposizione) con le informazioni estratte dal dataset satellitare multi-spettrale e multi-temporale.

Il risultato finale è una sintesi della classificazione ad oggetti dei dati satellitari sul vettoriale estratto da ortofoto ad elevata risoluzione spaziale, delle informazioni sulla fenologia delle principali formazioni vegetazionali (creazione delle membership primarie utilizzando dati multitemporali su tre stagioni) e dei dati contestuali di tipo ecologico-stazionale. In virtù dell'utilizzo di dati di input standard (ortofoto aeree, dati satellitari Landsat7) è possibile estendere la metodologia a livello nazionale.

Abstract

The project has been promoted by Agenzia Regionale Parchi of Lazio. The aim of the project is the discrimination of the main vegetation composition, using advanced techniques of remote sensing and image processing. The realization of land cover map has been conducted by the following methodological conditions: optimization of informative content of input data (aerial photos, satellite images) and minimization of ground surveys.

The proposed model of analysis is based on satellite images (set of multi-data Landsat7) and aerial photos classification by integrated techniques of "pixel oriented" and "object oriented" classification built on fuzzy logic. This approach allows 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 by eCognition's technology. It allows an effective integration of ecological contextual information (altimetry, slope, exposition) with information extracted by multi-spectral and multi-data analysis of satellite images.

The final result is a synthesis of object oriented classification of satellite images based on the geometry extracted from aerial photos with elevated spatial resolution, information on phenology of the main vegetal species (creation of primary memberships using multi-timing data of 3 seasons) and ecological contextual data. Utilization of standard input data (aerial photos, satellite images) allows to extent the methodology to national levels.

1. INTRODUZIONE

Il processo di seguito illustrato concerne la realizzazione della "Carta della copertura del suolo al 4° livello (Sistema europeo "Corine land cover") in aree protette regionali e siti natura 2000 del Lazio, con approfondimento al 5° livello nelle formazioni naturali e seminaturali". Il lavoro è stato eseguito da Inform S.r.l. per l'Agenzia Regionale Parchi della Regione Lazio (A.R.P.).

L'area oggetto d'indagine è localizzata in una zona settentrionale della Regione Lazio che si estende dal litorale tirrenico all'Appennino centrale. Si tratta di un territorio estremamente eterogeneo, caratterizzato da connotati ecologici, stagionali e vegetazionali alquanto complessi ed articolati. È stata riscontrata inoltre una significativa alterazione del naturale dinamismo delle

fitocenosi a causa della reiterata azione dell'uomo, riconducibile essenzialmente alla ceduzione dei boschi e alla pratica del pascolo.

L'approccio metodologico applicato si fonda sui principi della logica "fuzzy" (o "logica sfumata"). Tramite tale approccio, il tematismo di ogni poligono di copertura del suolo per le aree naturali e seminaturali è attribuito in maniera probabilistica secondo una funzione di appartenenza che esprime, in termini percentuali, la misura con cui un poligono appartiene ad una determinata classe.

L'attribuzione del tematismo di ogni poligono si basa su regole ("*fuzzy membership*") che integrano classificazioni di dati telerilevati (immagini satellitari e ortofoto aeree), dati cartografici esistenti (carte di copertura del suolo, carte vegetazionali) ed informazioni contestuali dedotte da conoscenza "a priori". Ciascuna classe è descritta da un insieme di espressioni "fuzzy" che permettono di valutarne le specifiche caratteristiche e le operazioni logiche necessarie per evidenziarle.

Il processo integra le classificazioni multi-spettrali e multi-stagionali di tipo deterministico, basate esclusivamente sulla radiometria dei *pixels* (*pixel oriented classification*) con le classificazioni "fuzzy" basate sulla tessitura e su un insieme di regole contestuali (*object oriented classification*).

Il prodotto finale, oltre ad essere una base informativa dettagliata dell'area oggetto d'indagine, rappresenta un strumento efficace a supporto delle decisioni, per la pianificazione territoriale orientata alla gestione delle aree naturali e seminaturali.

I principi sui quali si fonda la metodologia di realizzazione sono i seguenti:

- *Minimizzare i tempi ed i costi per i rilievi in campo;*
- *Valorizzazione dei dati disponibili (immagini satellitari Landsat7 Etm+, ortofoto aeree, carta tecnica regionale ed altra cartografia tematica);*
- *Garantire la ripetibilità del processo in altri contesti territoriali;*
- *Offrire di una procedura a basso costo di realizzazione e di aggiornamento.*

La metodologia di lavoro è articolata nelle seguenti fasi operative:

- *Standardizzazione dei dati di input;*
- *Determinazione delle membership primarie tramite classificazione automatica di un set multi-temporale di immagini satellitari limitatamente alle aree naturali e seminaturali (V livello del sistema di legenda europeo CORINE LC per la classe 3);*
- *Integrazione dei dati tramite l'implementazione di un modello di calcolo basato su regole "fuzzy";*
- *Revisione dati tramite fotointerpretazione video-assistita delle ortofoto aeree (III-IV livello del sistema di legenda europeo CORINE LC per le classi 1, 2, 4, 5);*

Tale articolazione metodologica ha consentito di ottimizzare il contenuto informativo delle variabili in gioco: informazioni di tipo "potenziale" sono state dedotte in base alle condizioni ecologico-stazionali del territorio e all'ecologia delle specie principali attribuendo dei "pesi" (in una scala che va da 1, poco plausibile, a 5, molto plausibile) che indicano la probabilità che una specie vegeti in specifiche condizioni di altimetria, pendenza ed esposizione; informazioni di tipo "contestuale" sono state estrapolate dall'analisi dei dati telerilevati e parzialmente ereditate da altri dati ancillari.

.2. METODOLOGIA DI LAVORO

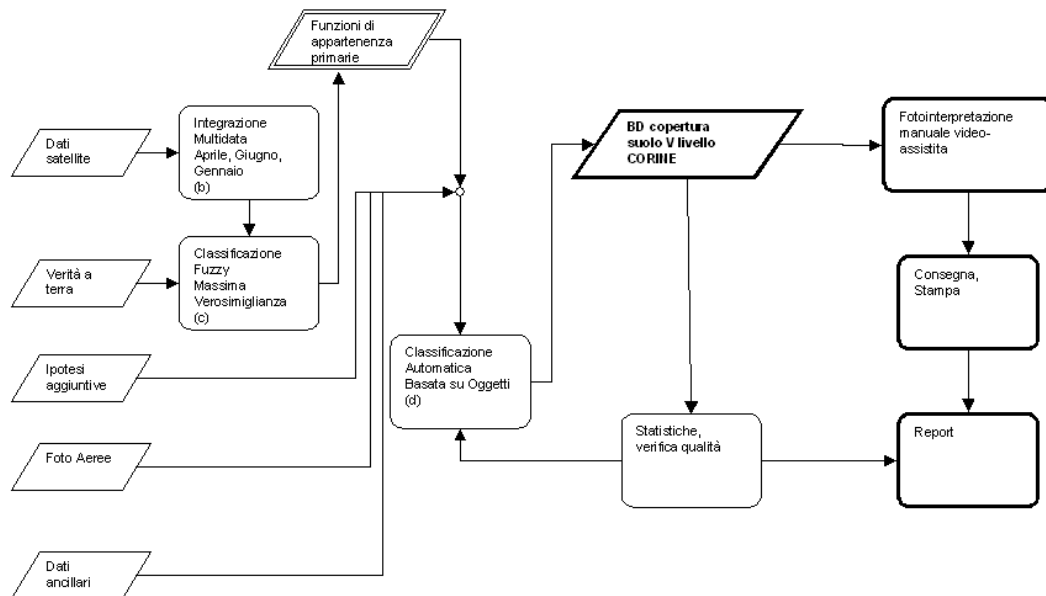


Figura 1: schema di flusso.

.2.1. Dati di input

In relazione all'eterogeneità ambientale e paesaggistica dell'area di studio, l'analisi dei dati di input è stata condotta in funzione di tali peculiarità territoriali. L'intera area di studio è stata suddivisa in funzione di unità fitoclimatiche. Tale approccio ha permesso di definire dei criteri di classificazione di ogni formazione vegetazionale in funzione delle caratteristiche ecologico-stazionali della specifica unità fitoclimatica di appartenenza. Le unità fitoclimatiche che caratterizzano l'area di studio sono: Litorale tirrenico, Campagna romana, Tuscia ed Appennino centrale.

Di seguito sono brevemente illustrati i dati di input del modello di classificazione e le procedure di standardizzazione:

- **Ortofoto aeree del Programma it2000:** le ortoimmagini sono state sottoposte ad una propedeutica fase di mosaicatura al fine di aumentare la capacità sinottica dei singoli fotogrammi; successivamente sono state ricampionate da 1 a 2 metri per diminuire la pesantezza dei file e dei tempi di elaborazione, pur mantenendo una definizione spaziale compatibile con la scala nominale di uscita della carta;
- **Banche dati di copertura del suolo esistenti:** le banche dati cartografiche di uso/copertura del suolo (Carta di copertura del suolo dalla Regione Lazio - Direzione Regionale Territorio e Urbanistica e Corine land cover), nonché tutte le banche dati vegetazionali fornite dall'Agenzia, sono state standardizzate dal punto di vista tematico (ricodifica tematismo come da legenda finale per modello inferenziale), ritagliate analogamente alle unità di fitoclimatiche ed integrate nel sistema di classificazione;
- **Reticolo idrografico:** la banca dati relativa al reticolo idrografico è stata standardizzata dal punto di vista tematico (ricodifica tematismo come da legenda finale per modello inferenziale) e "bufferizzata" di 20 metri rispetto al corrispondente grafo dei corsi d'acqua al fine di evidenziare potenziali aree ripariali. Nel processo di classificazione il reticolo idrografico ha costituito un riferimento tematico per la classificazione delle formazioni arboree ripariali (pioppeti ripariali, alneti ripariali e alneto-frassineti, saliceti ripariali);

- **Carte tematiche derivate dal modello digitale del terreno:** le carte tematiche relative ad altimetria, pendenza ed esposizione dei versanti, hanno coadiuvato il processo di discriminazione dei popolamenti arborei ed arbustivi, sulla base delle relative caratteristiche ecologico-stazionali;
- **Immagini satellitari Landsat7 ETM+:** è stato elaborato un set multitemporale/multispettrale costituito da 3 scene Landsat acquisite nei mesi di Gennaio, Aprile e Giugno caratterizzate da una risoluzione spaziale di 30 metri;
- **Rilievi a terra:** sono stati eseguiti 140 rilievi puntuali che hanno coperto in modo uniforme tutta l'area di studio e tutte le classi oggetto di indagine previste in legenda; al fine di garantire l'esatta corrispondenza tra il dato rilevato a terra e l'immagine satellitare, la localizzazione dei rilievi è stata coadiuvata dall'utilizzo di sistemi satellitari G.P.S.

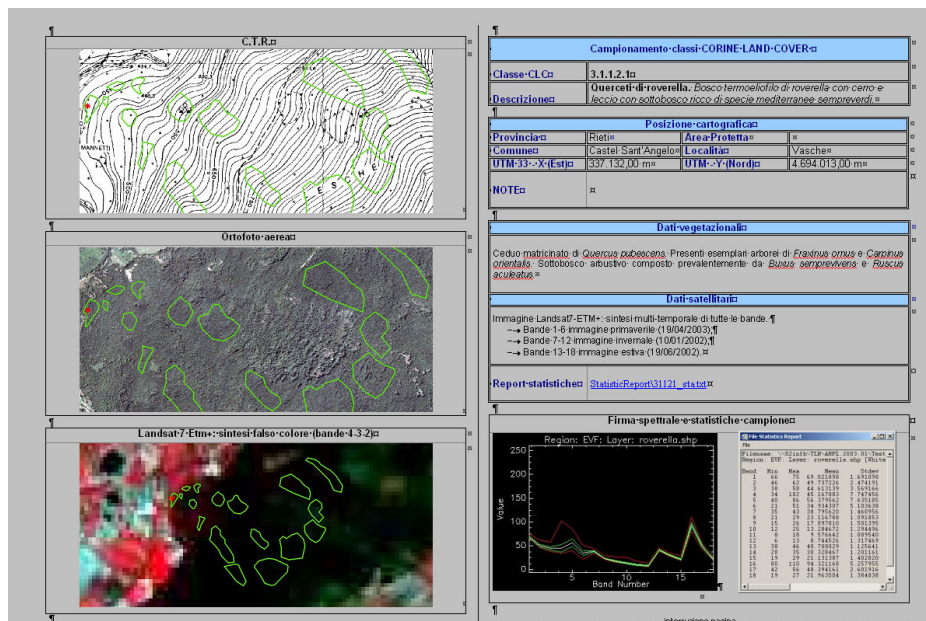


Figura 2: esempio di una scheda di rilievo in campo.

2.2.2. Elaborazione dei dati satellitari

Le immagini satellitari sono state integrate in un'unica banca dati che riunisce le registrazioni effettuate nei 3 diversi periodi. Al fine di individuare la migliore tecnica di integrazione e di classificazione dei tematismi, sono stati effettuati svariati test basati sull'analisi statistica in funzione dei seguenti aspetti:

- *Potere discriminante della banca dati generata sulla base dei rilievi di verità a terra;*
- *Pesantezza della banca dati generata;*
- *Tempo di calcolo.*

In totale è stata effettuata una decina di test per la valutazione delle tecniche alternative di integrazione/classificazione. L'approccio di integrazione dell'informazione multitemporale si è basato su operatori logici dei valori radiometrici delle sei bande per ogni immagine utilizzata (*fuzzy AND, fuzzy OR, MEDIA*) e sull'estrazione e successiva fusione di indici di vegetazione (*Vegetation index*).

I diversi algoritmi di integrazione dei dati satellitari hanno generato i seguenti dataset:

- *Dataset di sintesi : fusione delle 6 bande originali di ogni immagine;*
- *Dataset AND: individuazione della banda a riflettanza minore per ogni immagine e successiva fusione;*

- *Dataset OR: individuazione della banda a riflettanza maggiore per ogni immagine e successiva fusione;*
- *Dataset MEAN: media dei valori per ogni banda e successiva fusione;*
- *Dataset Vegetation index: estrazione degli indici di vegetazione per ogni data e successiva fusione.*

Dalla valutazione statistica dei sopraccitati algoritmi di elaborazione, il maggior livello di accuratezza è stato raggiunto dal *dataset* di sintesi basato sulla fusione delle 6 bande originali che ha generato un'immagine di 18 *layers*. Questa operazione ha consentito di triplicare il volume totale dei dati, per cui la metodologia di assegnazione del pixel alla classe statisticamente più idonea non è limitata all'informazione di una sola immagine stagionale. La posizione di ogni pixel nello spazio n-dimensionale è dipendente dai valori di radianza quantificati nelle differenti stagioni e conseguentemente dalle caratteristiche fenologiche che contraddistinguono ciascuna classe vegetazionale.

- **Dati originali Landsat (bande 1-5, 7) per stagione:**

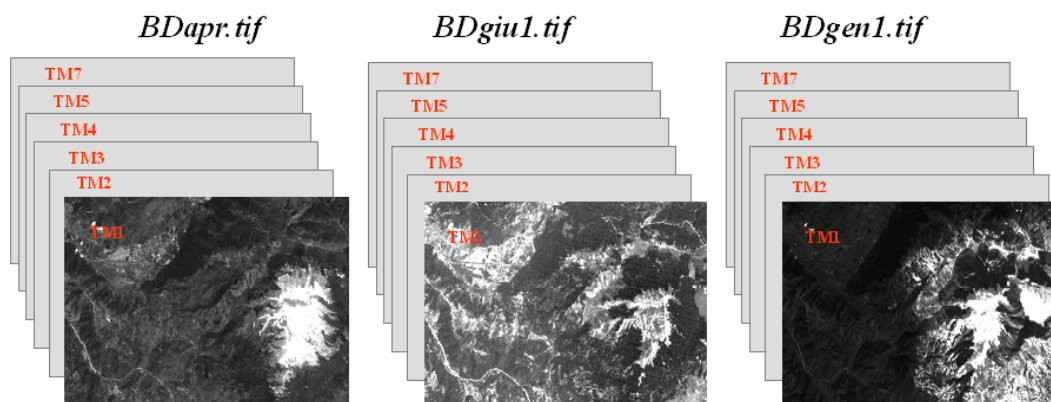


Figura 3: dataset satellitare multispettrale e multistagionale di sintesi.

L'algoritmo di classificazione scelto si basa sul teorema di Bayes o di "verosimiglianza" che utilizza come input le statistiche (media, varianza e covarianza) dei valori del *dataset* di sintesi sulle aree di verità rilevate a terra.

Il calcolo della verosimiglianza secondo il teorema di Bayes ha prodotto una banca dati di diversi strati immagine (*layers*) corrispondenti alle classi arboree/arbustive da aggiornare con i dati satellitari. Questa banca dati derivata, esprime per ogni punto del territorio esaminato (*pixel*) la verosimiglianza dell'appartenenza di quel punto alla classe specifica, basata su criteri di somiglianza radiometrica e di ciclo vegetazionale con le zone di verità a terra. La banche dati generate sono definite "funzioni di appartenenza primarie"

.2.3. Implementazione sistema *object-oriented* a logica "fuzzy"

Il modello di classificazione *object-oriented* basato sui criteri della logica "fuzzy", integra i seguenti dati di input (punto (d) dello schema di flusso):

- *Funzioni di appartenenza primarie calcolate su criteri di somiglianza radiometrica e di ciclo fenologico delle principale formazioni arboree ed arbustive;*
- *Ortofoto aeree;*
- *Banca dati relativa all'uso del suolo esistente;*
- *Altre banche dati di copertura del suolo esistenti (reticolo idrografico, carte vegetazionali, etc);*
- *Carte tematiche derivate dal modello digitale del terreno (carta delle pendenze, dell'altimetria e dell'esposizione);*

- *Ipotesi aggiuntive basate sulla conoscenza della distribuzione delle specie principali sul territorio analizzato;*
- *Ipotesi aggiuntive basate sull'ecologia delle specie principali in riferimento alle condizioni ecologico-stazionali di ogni unità fitoclimatica.*

La fase è stata svolta utilizzando tecnologia software eCognition© che ha consentito:

- *Di interfacciare in modo ottimale le banche dati raster derivate dall'elaborazione dei dati satellitari e le banche dati vettoriali derivate da fotointerpretazione manuale;*
- *Di implementare e tarare in modo efficace il processo di interpretazione automatica sulla base di una sequenza complessa di operatori "fuzzy".*

.3. CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO FINALE

La "Carta della copertura del suolo al IV livello (Sistema europeo Corine land cover) in aree protette regionali e siti natura 2000 del Lazio, con approfondimento tematico al V livello nelle formazioni naturali e seminaturali" è stata realizzata con una metodologia innovativa che integra dati multi-risoluzione e multi-temporali, informazioni ancillari e regole di classificazione basate sul comportamento ecologico delle principali formazioni arboree ed arbustive.

Grazie alla metodologia implementata e all'utilizzo di tecnologie avanzate di classificazione di immagine basate su oggetti e logica *fuzzy* è stato possibile produrre una banca dati in formato vettoriale con la qualità geometrica derivata da ortofoto 1:10.000 e un'accuratezza tematica pari al 92.24% verificata sulle formazioni naturali e seminaturali per tutta l'area di analisi.

Di seguito sono brevemente riassunte le caratteristiche tecniche finali del prodotto e della metodologia adottata:

- *Elevata accuratezza geometrica:*
 - *Rilevazione delle delimitazioni dei poligoni basata su ortofoto e CTR 1:10.000;*
- *Elevata accuratezza tematica:*
 - *Tecnologia innovativa e metodologia integrata multitemporale garantiscono una accuratezza tematica maggiore del 90%;*
- *Possibilità di aggiornamenti periodici:*
 - *Utilizzo di dati satellitari a basso costo di rilevazione;*
- *Possibilità di estendere la metodologia su ampie zone:*
 - *Utilizzo di dati standard in input (ortofoto, dati satellite) garantisce la portabilità della metodologia a livello nazionale.*

Il prodotto realizzato soddisfa l'esigenza primaria di identificare le principali formazioni arboree ed arbustive poiché consente di discriminare con un livello di accuratezza superiore al 90%, le leccete ad ornello dalle sugherete mediterranee, le cerrete termoigrofile mediterranee dai boschi misti a dominanza di carpino nero, le faggete ad agrifoglio dai castagneti dell'Italia meridionale etc.

La Carta costituisce di fatto un efficace ed affidabile strumento di aiuto alle decisioni per la pianificazione, la gestione ed il monitoraggio del territorio ed in particolare delle aree naturali e seminaturali.

.4. BIBLIOGRAFIA

Baatz M., Benz., Dehgan S., Heynen M., Holtjie A., Hofmann P., Lingenfelder I., Mimler M., Sohlbach M., Weber M., Willhauj G. (2001), *eCognition user guide*, DEFINIENS, Munchen.