



GEOGRAPHIKE srl

Sede operativa: Via Sansedoni 7 53100 Siena
Sede legale: Via Toscana 50 53035 Monteriggioni (SI)
Tel e fax 0577 – 588408 email: info@geographike.it
P.IVA 01190450526 CCIAA Siena n°127628



ARCADIA Sistemi Informativi Territoriali
Sede operativa: Via E. Duse, 4 – 27029 Vigevano (PV)
Sede operativa: Via Albere 132 – 37100 (VR)
Sede legale: Sede legale Via Mondovi, 4 – 20132 (MI)
Tel e fax 0381 - 79689 e-mail info_arcadia@arcadiasit.it
C F –P IVA 04135770966, R.E.A. 1727985 www.arcadiasit.it

DATASIEL S.p.A.
Codice di identificazione gara (CIG) : 01366975ED
Bando di Gare per fornitura della carta dei tipi forestali in scala 1:25000
della Regione Liguria.

Relazione Illustrativa

Rev.	Data	Autori
0	Agosto 2010	M. Bocci – M. Vissani Con i contributi di: U. Bruschini – M. Sozzi

INDICE

1. Introduzione	3
1.1. premessa	3
1.2. Obiettivi	3
2. Metodologia di lavoro	5
2.1. Introduzione	5
2.2. Materiali e fonti informative utilizzate	6
2.3. Punti di controllo a terra	7
2.3.1. Stratificazione	7
2.3.2. Tecnica di esecuzione	8
2.4. Definizione chiavi fotointerpretative	10
2.4.1. Legenda dei Tipi Forestali della Liguria	10
2.4.2. Chiavi interpretative	16
3. Fotoatlante	17
4. Elaborazione "object oriented"	20
4.1. Descrizione delle attività	20
4.2. Metodologia	23
5. Dati statistici	24
6. Specifiche tecniche delle banche dati	25
7. Conclusioni	27
8. Bibliografia e risorse web	28
9. Allegati	28
9.1. Mappe di distribuzione areale per ciascuna Categoria forestale	29
9.2. Figure delle elaborazioni mediante segmentazione ad oggetti	37

1. Introduzione

1.1. premessa

La Carta dei Tipi Forestali della Regione Liguria in scala 1:25.000 è l'oggetto del contratto di fornitura d'opera (prot. 598/08/C003) tra Datasiel SpA, partner tecnologico della Regione Liguria e Geographike Srl, in qualità di Impresa mandataria nel RTI con ARCADIA Sistemi Informativi Territoriali Srl. Con riferimento al capitolato di gara e alle disposizioni contrattuali, la fornitura riguarda la realizzazione dei seguenti materiali:

1. Stampe alla scala 1:25.000 della Carta dei Tipi Forestali;
2. Banca dati poligonale in formato shapefile;
3. Banca dati puntuale in formato shapefile dei punti di controllo a terra;
4. Immagini fotografiche relative alla campagna di rilievi;
5. Relazione illustrativa;
6. Prodotti aggiuntivi: banca dati poligonale derivata da segmentazione "object oriented" in ambiente eCognition.

Il materiale cartografico in oggetto è relativo alla fornitura che Datasiel SpA produce per la Regione Liguria all'interno del progetto "Realizzazione base dati topografica della Tipologia vegetale" (convenzione Regione Liguria – Datasiel DGR n. 79 del 1.2.2008 e DGR n. 366 del 4.4.2008).

1.2. Obiettivi

La predisposizione della Carta dei Tipi Forestali discende dalla decisione assunta dalla Regione Liguria di adottare la classificazione del territorio in tipologie forestali (in analogia a quanto già attuato da diverse Regioni italiane), finalizzata all'aggiornamento delle proprie conoscenze in tale settore, con una impostazione rispettosa del concetto di evoluzione dinamica e di polifunzionalità del patrimonio forestale .

Il metodo di classificazione del progetto è stato realizzato da IPLA S.p.a. nell'ambito del Progetto INTERREG IIIC Robinwood, concluso nel 2006; successivamente è stato pubblicato il volume "I TIPI FORESTALI DELLA LIGURIA" e sono state effettuate attività divulgative rivolte ad Enti e Professionisti operanti nel settore.

La Carta dei Tipi Forestali costituisce la logica implementazione di tali attività ed in particolare rappresenta il completamento della pubblicazione suddetta, a cui si è fatto costante riferimento in tutte le fasi del lavoro, sia nei rilievi a terra che nella fase fotointerpretativa e di pianificazione delle attività.

In termini generali, **l'obiettivo del lavoro è stato quello di dotare la Regione di uno strumento univoco di classificazione del patrimonio forestale ligure**, omogeneo con realtà territoriali di Regioni limitrofe ed aggiornato ad una visione del bosco maggiormente consapevole dei processi dinamici naturali, dei riflessi della selvicoltura sull'assetto del territorio e, in generale, della necessità di soddisfare le diverse funzionalità della copertura forestale.

In termini più specifici, la predisposizione della Carta dei Tipi Forestali consente:

- **la possibilità di utilizzare una classificazione e rappresentazione cartografica omogenea in tutte le fasi di pianificazione e programmazione forestale**, a partire dall'individuazione di macroaree a diverse funzionalità forestali prevalenti, all'individuazione di aree idonee per Piani di 2° livello, all'effettiva consistenza e tipologia della copertura forestale all'interno di aree protette e Siti di Importanza Comunitaria, ecc.;
- **la richiesta di redazione di carte dei tipi forestali all'interno dei processi di redazione dei Piani di assestamento** ed utilizzazione del patrimonio silvopastorale previsti dalla L.R. 4/99, con l'opportunità di verificare, a livello puntuale di Piano di 3° livello

(con scale 1:5.000 e 1:10.000), le singole tipologie della Carta 1:25.000, ipotizzando eventuali fasi di aggiornamento/revisione della Carta sulla base delle indicazioni puntuali dei Piani;

- **la revisione della Carta Forestale Regionale ed il suo aggiornamento con criteri maggiormente coerenti con la realtà gestionale attuale**, basata non solo sulle attività esclusivamente produttive (peraltro piuttosto limitate in Liguria) ma anche sul rispetto e la salvaguardia dei valori paesaggistici e naturalistici, sulle necessità di difesa del suolo di un territorio particolarmente vulnerabile e sull'opportunità di valorizzare la vocazione turistico-ricreativa della Regione;
- **l'aggiornamento dei dati** sulla consistenza complessiva della copertura forestale del territorio ligure e del coefficiente di boscosità, oltre che **l'acquisizione della consistenza delle singole tipologie** e della loro distribuzione sommaria (vedasi Allegato 1 alla presente relazione) e puntuale;
- **l'applicazione al territorio dei criteri di gestione per le singole tipologie forestali**, contenuti nella pubblicazione già citata (I tipi forestali della Liguria), contribuendo a migliorare l'applicazione di criteri selvicolturali omogenei e ponderati per la realtà ligure;
- **la possibilità di individuare i tipi forestali percorsi da incendio** nel recente passato e pianificare eventuali attività di studio, monitoraggio e/o intervento, oltre all'acquisizione di migliori conoscenze per la definizione di danni ambientali legati al passaggio del fuoco, alla resilienza ed alle possibilità di ripresa della vegetazione, ecc., con particolare riferimento ai limiti bosco/città ed ai problemi legati agli incendi di interfaccia;
- **la possibilità di individuare siti di pregio e/o vulnerabili**, fornendo comunque una carta da utilizzare anche nella predisposizione dei **Piani di Gestione dei SIC** e nella stesura di **Relazioni di Incidenza**;
- **la possibilità di effettuare controlli mirati sul territorio**, sia in caso di eventi naturali (attacchi fitosanitari, eventi atmosferici, ecc., su particolari tipologie forestali) sia in caso di eventi legati ad attività antropiche (gli stessi incendi, ma anche attività quali riduzioni di superficie boscata, realizzazione infrastrutture, ecc., sia legali che abusive);
- **la programmazione di attività di manutenzione del territorio**, sia in ambito fluviale (gestione della vegetazione ripariale) sia in ambito versante (manutenzione e messa in sicurezza delle strade, eventuali viali tagliafuoco, ecc.).

La carta dei Tipi Forestali contribuisce inoltre alla formazione ed aggiornamento di altri livelli conoscitivi e di pianificazione territoriale, quali:

- **aggiornamento della Carta dell'Uso del Suolo**, con utilizzo dei limiti di aree boscate e non boscate, con accorpamento dei tipi forestali in macrocategorie di uso del suolo a bosco, individuazione di arbusteti e cespuglietti, ecc.;
- **aggiornamento del P.T.C.P.** (Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico), con utilizzo dei limiti effettivi per definire nuove zonizzazioni e relative norme di attuazione, coerenti con l'evoluzione dell'assetto della vegetazione e le antropizzazioni del territorio;
- **utilizzo della Carta nella redazione di strumenti di pianificazione comprendenti analisi e valutazioni sull'assetto forestale**, quali:
 - Piani di parchi ed aree protette
 - Piani di bacino
 - Piani e progetti di coltivazione/recupero di cave e discariche
 - Piani territoriali di coordinamento, provinciali e regionali
 - Piani urbanistici comunali
 - Piani e regolamenti del verde

Da quanto sinteticamente espresso consegue che **la Carta dei Tipi Forestali risulta uno strumento di grande utilità non solo per il settore forestale**, suo ambito prioritario di applicazione, ma anche per tutti i settori che necessariamente sono legati alla funzionalità del

bosco e per tutti gli Enti devoluti alle fasi di pianificazione e programmazione, oltre che di esecuzione e controllo sul territorio.

2. Metodologia di lavoro

2.1. Introduzione

La tecnica della fotoanalisi e della fotointerpretazione a video di immagini satellitari ad alta risoluzione è alla base della realizzazione della Carta dei Tipi Forestali. Tale approccio è stato applicato all'intero territorio ligure boscato, su una copertura di immagini QuickBird in modalità pancromatica, multispettrale e pansharpened, in ambiente GIS. L'attività di fotointerpretazione è stata preceduta dall'esecuzione di una campagna di rilievi a terra, con l'obiettivo di definire le chiavi interpretative e, allo stesso tempo, di controllare la classificazione delle tipologie vegetali. Al processo di formazione delle chiavi interpretative hanno partecipato anche livelli informativi derivati da altre fonti ausiliarie, descritti nel dettaglio nel paragrafo 2.2

La metodologia di lavoro seguita nella realizzazione della Carta dei Tipi Forestali è schematizzata nel diagramma di fig. 1.

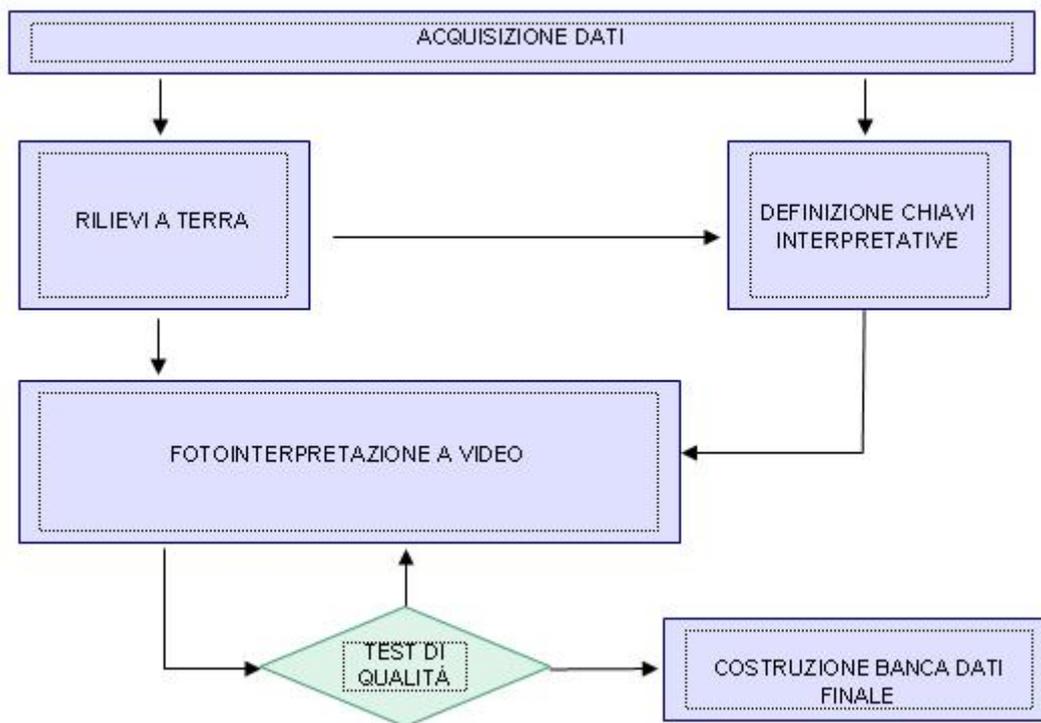


Figura 1 – diagramma di flusso delle attività

In una prima fase il progetto è stato caratterizzato dall'attività di raccolta dei dati ausiliari resi disponibili presso il Settore Cartografia di Datasiel, in qualità di gestore del servizio per la Regione Liguria.

Nella fase successiva sono state avviate le attività di rilievo dei punti di controllo a terra. I dati ausiliari e i punti di controllo sono stati organizzati in maniera funzionale e integrata in ambiente GIS, al fine di definire i criteri fotointerpretativi di riconoscimento delle tipologie forestali, in sessioni di lavoro congiunte di tutti i fotointerpreti. La definizione delle chiavi di lettura ha costituito un'attività continua per tutta la durata del progetto, dovuta anche alla particolare conformazione della Liguria, caratterizzata da un alto grado di diversificazione dei contesti forestali.

Successivamente è stata avviata l'attività di fotointerpretazione "a video" in ambiente GIS, previa la ripartizione del territorio regionale in unità di lavoro. In una prima fase interpretativa sono stati tracciati i bordi delle aree coperte dalle seguenti macroclassi, secondo le definizioni della Legenda dei Tipi Forestali: aree non boscate, cespuglieti, arbusteti, aree boscate. In un secondo momento sono stati tracciati i bordi delle tipologie forestali, applicando le chiavi di lettura definite in precedenza. Questo processo di interpretazione si è basato sull'analisi di alcuni parametri caratteristici dell'immagine, quali contrasto, tessitura, pattern, forma e dimensioni, tono e colore, oltre ai parametri stazionali del contesto geografico, come l'altitudine, l'esposizione, tipo di substrato, ambito morfologico. La "leggibilità" delle immagini QuickBird ad alta risoluzione, in modalità pansharpened, nella combinazione RGB 432 (IR falso colore) è stata ottimizzata con l'applicazione di tecniche di miglioramento del contrasto. Una buona percentuale di sovrapposizione tra le immagini ha permesso di eseguire la fotointerpretazione sulle immagini satellitari anche nei casi di zone con presenza di copertura nuvolosa.

Per la lavorazione a video è stata scelta una scala di visualizzazione di dettaglio compresa tra 1:3.000 e 1:5.000, sebbene la scala nominale specificata per il progetto fosse 1:25.000. Ciò ha permesso di soddisfare i requisiti minimi di precisione richiesta sui bordi pari a 5 m.

Una volta completata la fotointerpretazione e costruita la banca dati poligonale, sono state eseguite le operazioni di controllo sia dell'integrità geometrica che tematica, mediante procedure automatiche in ambiente GIS. Gli errori eventualmente riscontrati sono stati corretti sempre mentendo un approccio fotointerpretativo.

2.2. Materiali e fonti informative utilizzate

I materiali informativi messi a disposizione dalla Regione Liguria ed utilizzati come dati ausiliari per la realizzazione della Carta dei Tipi Forestali sono i seguenti:

1. Carta forestale del 2006;
2. Carta tecnica regionale a scala 1:10.000 e cartografia regionale 1:25.000;
3. Aree percorse dal fuoco dal 1996 al 2005;
4. Segnalazioni ricavate dalla pubblicazione "I Tipi Forestali della Liguria" – Regione Liguria;
5. Mosaico Ortofoto IT2000;
6. Carte geologiche progetto CARG disponibili;
7. Modello digitale del terreno della Liguria con passo pari a 5 m;
8. Immagini Landsat multitemporali relative all'anno 2006;
9. Uso del suolo regionale del 2003.

A questo elenco occorre aggiungere alcuni dati ausiliari reperiti da fonti diverse, che sono risultati particolarmente utili ai fini della classificazione delle tipologie forestali:

1. carte forestali per piani di assestamento, carte della vegetazione, realizzate da professionisti del gruppo di lavoro. L'estensione areale di tali contributi è risultata purtroppo poco rappresentativa;
2. immagini stagionali Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) (1999 - 2003), disponibili gratuitamente previa registrazione al servizio web USGS. La visualizzazione di tali immagini in modalità pansharpened, nella combinazione RGB 453, ha permesso di differenziare gli stadi fenologici della copertura forestale, permettendo la discriminazione di alcune categorie forestali e un affinamento delle chiavi di lettura.

Il reperimento dei dati è avvenuto attraverso lo svolgimento delle seguenti fasi:

1. ricognizione delle fonti;
2. analisi dei dati;
3. certificazione dei dati.

Il processo di formazione del dato ha richiesto fasi di validazione, realizzate in parte con procedure automatiche in parte con controlli svolti da personale competente sullo specifico dominio.

Nella organizzazione delle informazioni è stato tenuto conto delle direttive per la produzione dei dati dettate dallo standard ISO 211, oltre al rispetto dei seguenti principi basilari:

- i dati vanno raccolti una sola volta presso l'Ufficio competente, eliminando dopo un attento esame eventuali ridondanze;
- deve essere possibile la confrontabilità di informazioni raccolte a differenti livelli;
- l'accesso all'informazione geografica deve essere gestito in modo da favorire la semplicità di lettura dei dati e la loro diffusione;
- deve essere facile individuare quale informazione è disponibile, valutarne l'utilità per i propri scopi e le condizioni secondo cui è possibile ottenerla ed usarla;

I passi per lo svolgimento di tale attività sono di seguito elencati:

Ricognizione fonti:

- Individuazione del dato
- Valutazione interesse nel progetto

Analisi dato:

- Rilevazione formati, contenuti, supporti
- Valutazione sulla qualità del dato
- Congruenza verso la base dati esistente in funzione dei livelli di integrazione ammessi per il dato in esame
- Procedura automatica o caricamento manuale dati

Certificazione dato:

- Definizione di procedure di test sui dati e dei valori di soglia per la certificazione
- Esecuzione dei test
- Valutazione dei test
- Certificazione

2.3. Punti di controllo a terra

I sopralluoghi a terra sono stati eseguiti con l'obiettivo di acquisire immagini fotografiche digitali, tarare le procedure d'interpretazione e verificare in generale l'accuratezza del prodotto finale. La tecnologia di navigazione GPS implementata su dispositivi GIS portatili ha consentito una elevata operatività ed un'agile integrazione nell'ambiente di lavoro GIS.

2.3.1. Stratificazione

La stratificazione del campione di punti è avvenuta in due fasi:

fase 1

con una procedura automatica in ambiente GIS sono stati stratificati sul territorio 400 punti con i seguenti criteri:

- omogenea distribuzione tra le varie tipologie forestali, utilizzando la precedente versione della carta forestale 2006;
- copertura di tutti i 62 fogli della carta topografica regionale 1:25.000 con almeno 4 punti per foglio.

Il posizionamento di questi primi 400 punti è stato sottoposto ad una validazione orientata a valutare, per ogni punto, i requisiti di rappresentatività della realtà forestale locale, con la possibilità di migliorare la posizione della stazione con un ridotto spostamento, pur mantenendo i vincoli sopra descritti.

fase 2

con una procedura semi automatica in ambiente GIS sono stati distribuiti sul territorio i successivi 800 punti con i seguenti criteri:

- presenza sul reticolo della viabilità di collegamento dei primi 400 punti già posizionati;
- distanza minima tra i punti lungo l'itinerario pari a 1 Km.
- omogenea distribuzione tra le varie tipologie forestali, utilizzando la precedente versione della carta forestale 2006

Anche tale distribuzione di punti è stata validata successivamente, per la definizione delle migliori soluzioni di posizionamento, tenendo conto sia di fattori legati all'indagine forestale che gli aspetti logistici.

Con questo metodo è stata realizzata quindi una distribuzione di punti di osservazione che soddisfa i seguenti principi:

- **copertura "di base" di tutte le Categorie Forestali**, definendo la corrispondenza della fotointerpretazione con la realtà a terra, in coerenza con la distribuzione in superficie sul territorio e con la diversificazione dei Tipi e dei suoli;
- **verifica più approfondita nei singoli Tipi forestali**, valutando le condizioni di attribuzione a singoli tipi che presentano oggettive necessità di verifica puntuale sul terreno (ad es. faggeta oligotrofica FA10X piuttosto che faggeta mesotrofica FA20X, castagneti, ecc.);
- **verifica più approfondita dei limiti tra Categorie Forestali**, verificando la prevalenza di una Categoria rispetto ad un'altra in situazioni poco nette di interconnessione e compenetrazione tra differenti Categorie. Analogo criterio è stato applicato tra Tipi Forestali differenti;
- **maggiore concentrazione in situazioni di elevata diversificazione dei tipi su limitate superfici contigue**, valutando situazioni evolutive in atto (ad es. passaggio da ex-coltivi ad arbusteti e boscaglie di invasione, Tipi diversificati per morfologia dei versanti, condizioni microclimatiche, ecc.);
- **maggiore concentrazione in situazioni di potenziale evoluzione d'uso del soprassuolo**, migliorando la conoscenza ed il dettaglio in quelle superfici forestali che, per Tipo e per condizioni logistiche, sono suscettibili di potenziali utilizzazioni forestali (filiera del legno, legno-energia) e/o funzioni turistico-ricreative. Minori concentrazioni di punti sono state adottate in aree omogenee in zone a prevalente funzione protettiva;
- **maggiore concentrazione in situazioni panoramiche ed in percorsi di collegamento tra punti di rilievo in bosco**, infittendo la rete con punti localizzati in zone tecnicamente significative ma di facile accessibilità, in modo da raccogliere ulteriori dati ma anche di contenere i costi dell'operazione di controllo a terra.

2.3.2. Tecnica di esecuzione

Le attività di rilievo dei punti a terra sono state supportate dalla tecnologia GIS su dispositivi portatili integrati a GPS. Gli itinerari delle missioni sono stati predisposti preventivamente e digitalizzati, in modo che durante la missione sia facilitato al massimo il compito del posizionamento. Per l'ottimizzazione del lavoro l'itinerario è stato distinto in:

- tragitto principale;
- tratti secondari, che si discostano dal tragitto principale per raggiungere certi punti, ma prevedono poi il ritorno indietro (tratti ciechi).

In totale sono stati eseguiti 1217 punti di controllo a terra, corredati da una quantità totale di 2758 immagini fotografiche. Nel grafico di fig. 2 è rappresentata la distribuzione dei punti per ciascun foglio 25.000.

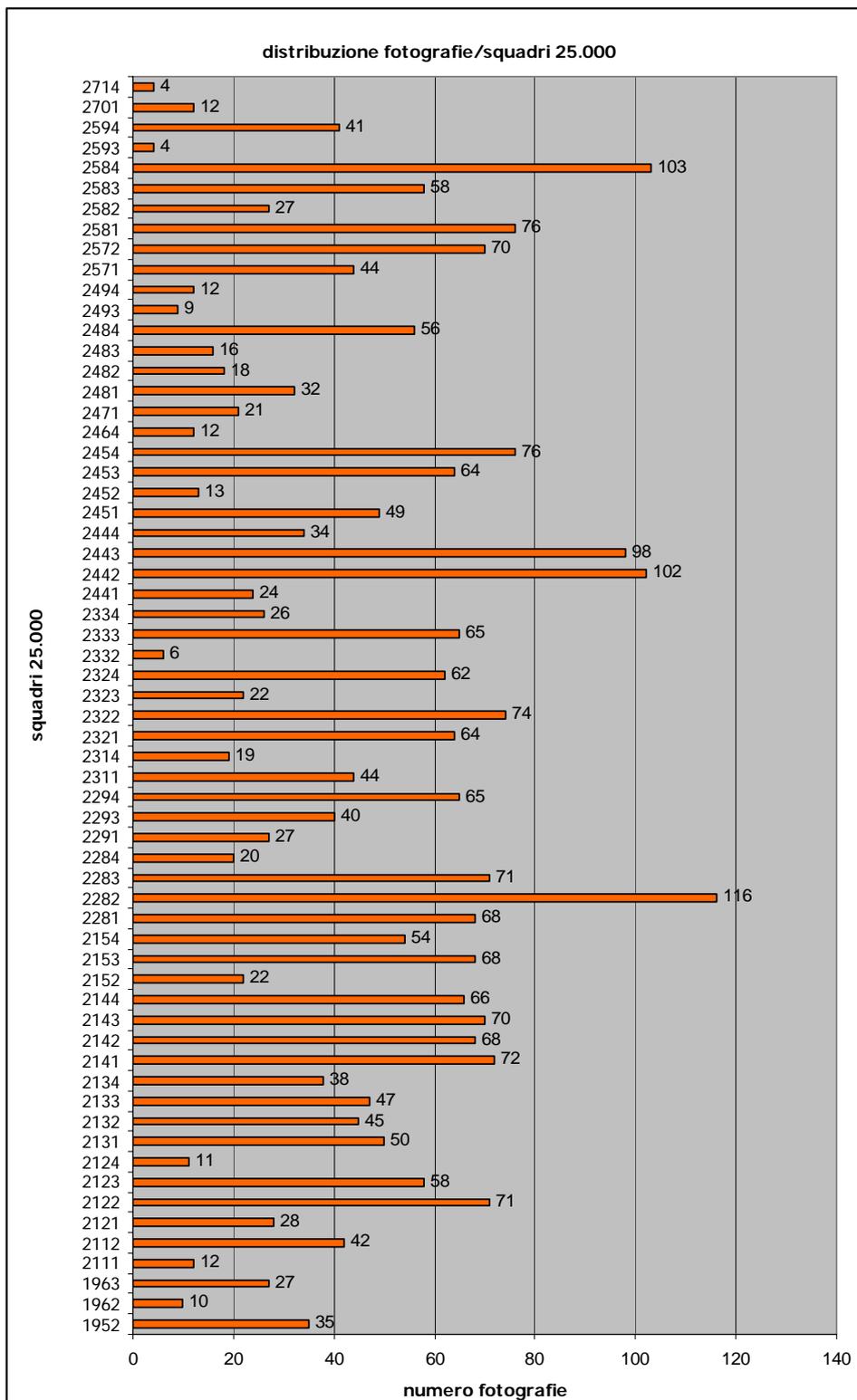


Figura 2 – Distribuzione statistica dei punti

Nella fig. 3 è rappresentata la mappa della distribuzione areale dei punti di controllo campionati.

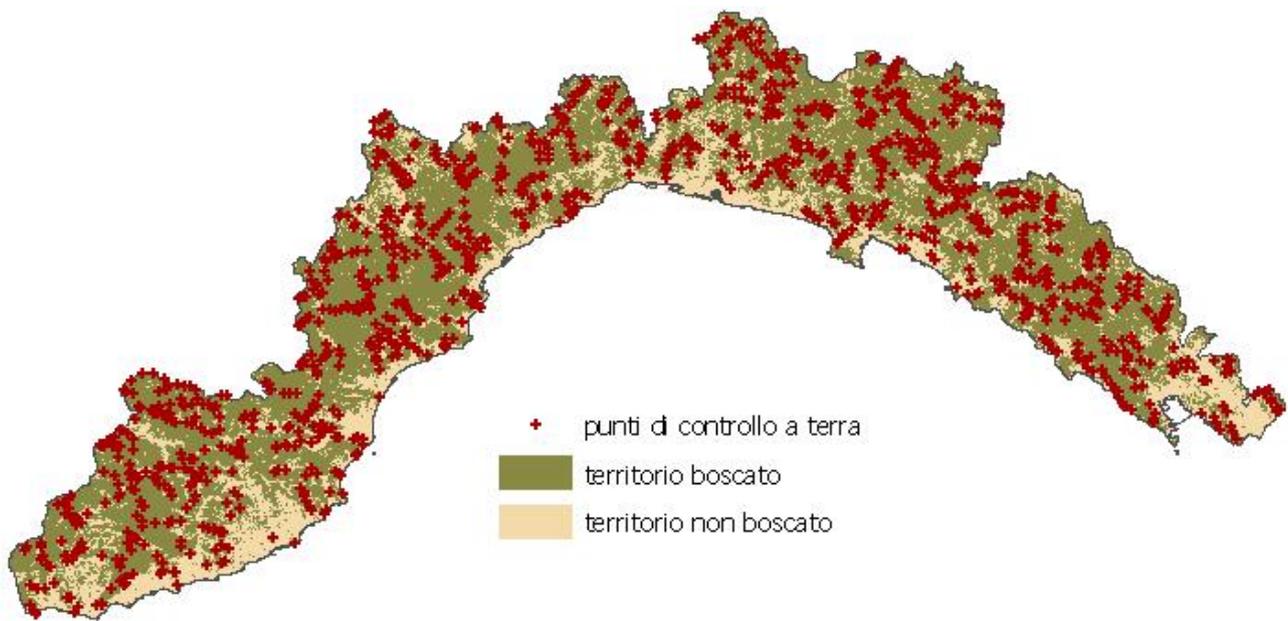


Figura 3 – Distribuzione areale dei punti di controllo a terra

Con l'obiettivo di ottimizzare il rapporto costi / benefici della campagna di controllo, oltre al rilievo dei punti eseguito secondo le specifiche concordate, è stato ritenuto opportuno infittire la maglia dei controlli, aggiungendo in modo speditivo e sintetico ulteriori punti lungo gli itinerari percorsi per gli spostamenti. Tali punti non sono corredati da immagini fotografiche e sono stati presi "al volo", cioè senza pianificazione, finalizzati a costituire un supporto informativo ausiliario nell'attività di fotointerpretazione.

2.4. Definizione chiavi fotointerpretative

2.4.1. Legenda dei Tipi Forestali della Liguria

La legenda della Carta dei Tipi Forestali fa interamente riferimento al manuale "*I Tipi Forestali della Liguria*" finanziato e distribuito dalla Regione Liguria, Dipartimento Agricoltura, Protezione Civile e Turismo, e realizzato dall'Istituto Piante da Legno e Ambiente (I.P.L.A. S.p.A.) di Torino. Tale studio ha costituito la fonte per tutto ciò che concerne l'approccio metodologico e le definizioni dei Tipi forestali della Liguria. Di seguito è riportata una sintesi del contenuto ai fini di una caratterizzazione descrittiva della legenda.

Il processo di formazione di un modello di classificazione dei boschi da utilizzare ai fini pratici per la definizione di interventi selvicolturali si è articolato in Liguria tra il 2004 e il 2007. Le risorse impiegate per la definizione dei Tipi forestali sono elencate di seguito:

- Carta geolitologica;
- Carta forestale SPIRL (Servizio Previsione Incendi Regione Liguria);
- Inventario forestale multisorse del 1994;
- Piani di Assestamento Forestale;
- Pubblicazioni e studi specifici esistenti;
- Tipologie forestali delle Regioni limitrofe;

Il metodo utilizzato per la definizione della legenda si basa su due elementi fondamentali: la definizione di una struttura gerarchica e l'utilizzo di indicatori floristici.

L'unità di base è il Tipo forestale, che può essere suddiviso in Sottotipi o in Varianti; più Tipi affini si raggruppano in unità superiori denominate Categorie forestali.

Una prima generale classificazione della superficie forestale si basa sulle seguenti definizioni:

BOSCHI:
Copertura di specie arboree (h > 3 m) superiore al 10%, su una superficie superiore a 2000 m ²
ARBUSTETI:
Copertura di specie arbustive (h 1/1,5-3 m) (per esempio biancospino, sanguinello, specie della macchia mediterranea, ginepri, prugnolo, ontano verde, ecc.) superiore al 20% con specie arboree inferiori al 10%
CESPUGLIETI:
Copertura di specie cespugliose (h < 1/1,5 m) tra cui rosmarino, cisti, mirto e ad alta quota rododendro, ginepro nano, ecc, superiore al 20% con specie arboree inferiori al 10%.

Tabella 1 – Classificazione della superficie forestale

La Categoria forestale è definita da almeno il 50% di copertura della specie costruttrice; il Tipo forestale rappresenta l'unità fondamentale della classificazione e può essere semplice o composto. Il Sottotipo rappresenta un'unità subordinata al Tipo forestale; per la Variante esiste la seguente suddivisione:

- "Variante con": nei Tipi semplici, quando una specie, solitamente secondaria, raggiunge una percentuale compresa fra il 25 ed il 50% della copertura
- "Variante a": nei Tipi composti, quando una delle specie raggiunge una percentuale uguale o superiore al 75% della copertura

La distinzione tra Tipo semplice e composto può essere chiarita dai seguenti esempi:

- "Tipi semplici": in una Cerreta acidofila, la variante con castagno si ha con una presenza di castagno compresa fra il 25 ed il 50% della copertura. All'opposto la presenza di castagno maggiore del 50% (variante a castagno) è un Castagneto.
- "Tipi composti": in un Acero-frassineto d'invasione possono esistere solo le varianti ad acero di monte o a frassino maggiore, qualora una di queste due specie superi il 75% della copertura.

Ogni Tipo forestale, Sottotipo e Variante è classificato attraverso un codice alfa-numerico di 5 caratteri, strutturato su 4 livelli gerarchici, come mostrato nell'esempio sottostante:

Codice	Livello gerarchico	Criterio	Esempio
LE	Categoria	fisionomico principale	Lecceta
1	Tipo	ecologico principale	xerofila
1	sottotipo	ecologico secondario	St. dei substrati silicatici
B	variante	fisionomico secondario	var. con pino marittimo
Nome completo	LE11B	Lecceta xerofila st. dei substrati silicatici var. con pino marittimo	

Tabella 2 – Esempio di struttura della legenda

I caratteri "0" e "X" presenti nei codici hanno un significato di tipo "riempitivo" e sono legati al loro inserimento all'interno di banche dati e per la costruzione di cartografie forestali; in tale senso il codice LE10X indica il Tipo "Lecceta xerofila". Nel caso dell'Abetina mesoneutrofila, non è invece possibile attribuire il medesimo significato in quanto l'unità tipologica esiste solo nei due sottotipi; in pratica il Tipo "AB10X – Abetina mesoneutrofila" non esiste e sul territorio è solo possibile classificare uno dei due sottotipi: "AB11X – Abetina mesoneutrofila st. delle Alpi Liguri e "AB12X - Abetina mesoneutrofila st. dell'Appennino. L'indicazione del codice completo nella denominazione ha un mero valore estetico.

In tabella 3 è riportata la legenda secondo la classificazione dell'I.P.L.A. utilizzata per la realizzazione della Carta dei Tipi Forestali della Liguria.

CATEGORIA	TIPO / SOTTOTIPO	CODICE	VARIABILITA'
LECCETE E SUGHERETE (LE)	LECCETA XEROFILA	LE10X	
		LE10A	var con pino d'Aleppo e/o pino marittimo
	st dei substrati silicatici	LE11X	
		LE11A	var con sughera
		LE11B	var con pino marittimo
	LECCETA MESOXEROFILA	LE20X	
		LE20A	var con carpino nero
		LE20B	var con castagno
	LE20C	var con roverella	
	QUERCETO DI SUGHERA	LE30X	
PINETE COSTIERE E MEDITERRANEE (PC)	PINETA COSTIERA DI PINO D'ALEPPO	PC10X	
		PC10A	var con leccio
	st rupestre	PC11X	
	PINETA INTERNA SU OFIOLITI DI PINO MARITTIMO	PC20X	
		PC20A	var con roverella
		PC20B	var con pino silvestre
		PC20C	var con castagno
	PINETA COSTIERA DI PINO MARITTIMO	PC30X	
	PC30A	var con leccio	
	st mesoxerofilo	PC31X	
	PC31A	var con castagno	
ORNO-OSTRIETI (OS)	ORNO-OSTRIETO PIONIERO	OS10X	
	OSTRIETO TERMOFILO	OS20X	
		OS20A	var con leccio
		OS20B	var con castagno
		OS20C	var con pino marittimo
		OS20D	var con roverella
	OSTRIETO MESOXEROFILO	OS30X	
		OS30A	var con pino silvestre
		OS30B	var con faggio
	OS30C	var con querce varie	
	st dei substrati silicatici	OS31X	
	OS31A	var con castagno	
	OSTRIETO MESOFILO	OS40X	
FORMAZIONI RIPARIE (FR)	SALICETO ARBUSTIVO RIPARIO	FR10X	
	PIOPPETO RIPARIO	FR30X	
		FR30A	var a pioppo nero
		FR30B	var a pioppo bianco
	ALNETO DI ONTANO NERO	FR40X	
	FR40A	var con altre latifoglie	
	ALNETO DI ONTANO BIANCO	FR50X	

QUERCETI DI ROVERE E DI ROVERELLA (QU)	QUERCETO DI ROVERE A PHYSOSPERMUM CORNUBIENSE	QU10X	
		QU10A	var con cerro
		QU10B	var con faggio
		QU10C	var con pino silvestre
	QUERCETO ACIDOFILO DI ROVERELLA A ERICA ARBOREA	QU20X	
		QU20A	var con pino marittimo
		QU20B	var con pino silvestre
	st termofilo costiero	QU21X	
		QU21A	var con pino marittimo
	QUERCETO NEUTRO-CALCIFILO DI ROVERELLA	QU30X	
		QU30A	var con carpino nero
		QU31X	
QU31A		var con orniello	
st termofilo costiero	QU31B	var con conifere varie	
CERRETE (CE)	CERRETA ACIDOFILA	CE10X	
		CE10A	var con castagno
		CE10B	var con rovere e/o roverella
	st termofilo	CE11X	
		CE11A	var con castagno
		CE11B	var con roverella
CERRETA NEUTROFILA	CE20X		
	CE21X		
CASTAGNETI (CA)	CASTAGNETO DA FRUTTO	CA10X	
		CA20X	
	CASTAGNETO TERMOFILO	CA20A	var con pino marittimo
		CA20B	var con carpino nero
		CA30X	
		CA30A	var con rovere e/o roverella
	CASTAGNETO ACIDOFILO	CA30B	var con pino silvestre e/o altre conifere
		CA30C	var con faggio
		CA30D	var con cerro
		CA40X	
CASTAGNETO NEUTROFILO	CA40A	var con carpino nero	
	CA40B	var con pino silvestre e/o altre conifere	
FAGGETE (FA)	FAGGETA OLIGOTROFICA	FA10X	
		FA10A	var con castagno
		FA10B	var con rovere
		FA10C	var con pino silvestre e/o altre conifere
	st ad accrescimento ridotto	FA11X	
	FAGGETA MESOTROFICA	FA20X	
		FA20A	var con abete bianco
FA20B		var con castagno	

	FAGGETA EUTROFICA	FA30X		
	st submontano	FA31X		
		FA31A	var con carpino nero	
		FA31B	var con pino silvestre e/o altre conifere	
	FAGGETA MESOXEROFILA CALCIFILA	FA40X		
		FA40A	var con pino silvestre	
BOSCHI DI LATIFOGLIE MESOFILE (LM)	CARPINETO MISTO SUBMONTANO	LM10X		
		LM10A	var con frassino maggiore	
	ACERO-TIGLIO-FRASSINETO DI FORRA	LM20X		
		st rupicolo a taglio a grandi foglie	LM21X	
	ACERO-FRASSINETO D'INVASIONE	LM30X		
		LM30A	var a frassino maggiore	
		LM30B	var ad acero di monte	
PINETE MONTANE (PM)	PINETA CALCIFILA DI PINO SILVESTRE	PM10X		
		PM10A	var con roverella	
		PM10B	var con carpino nero	
	st superiore aperto	PM11X		
	PINETA ACIDOFILA DI PINO SILVESTRE	PM20X		
		PM20A	var con castagno	
			PM20B	var con rovere e/o roverella
	PINETA CALCIFILA DI PINO UNCINATO	PM30X		
ABETINE DI ABETE BIANCO (AB)	ABETINA MESONEUTROFILA	AB10X		
	st. delle Alpi liguri	AB11X		
		AB11A	var con faggio	
	st. appenninico	AB12X		
		AB12A	var con faggio	
LARICETI (LC)	LARICETO PASCOLIVO	LC10X		
	LARICETO MONTANO	LC20X		
		LC20A	var con abete bianco	
		LC20B	var con pino silvestre	
			LC20C	var con latifoglie varie
	LARICETO SU RODORETO-VACCINIETO	LC30X		
st mesoxerofilo a Juniperus nana	LC31X			
BOSCAGLIE PIONIERE E D'INVASIONE (BS)	ROBINIETO	BS10X		
		BS10A	var con latifoglie varie	
	st termofilo	BS11X		
	CORILETO D'INVASIONE	BS20X		
		BS20A	var con latifoglie varie	
	BOSCAGLIE D'INVASIONE	BS30X		
		BS30A	var a saliconi	
BS30B		var a betulla		

		BS30C	var a pioppo tremolo e/o gatterino
		BS30D	var a sorbi e maggiociondoli
		BS30E	var a ontano bianco
		BS30F	var a ciliegio
		BS30G	var a orniello
		BOSCAGLIE RUPESTRE PIONIERA	BS40X
BS40A	var a leccio e ginepri a foglie cupressoidi		
RIMBOSCHIMENTI (RI)	RIMBOSCHIMENTI MEDITERRANEI DELLE ZONE COSTIERE	RI10X	
		RI10A	var a pino marittimo
		RI10B	var a pino d'Aleppo
		RI10C	var a cedri
	RIMBOSCHIMENTI COLLINARI E MONTANI INTERNI	RI20X	
		RI20A	var a pino nero
		RI20B	var ad abete rosso
		RI20C	var a larice
		RI20D	var a douglasia
		RI20E	var a pino silvestre
		RI20F	var a pino strobo e/o eccelso
		RI20G	var a quercia rossa
	RI20H	var ad abete bianco	
	ARBUSTETI E MACCHIE TERMOMEDITERRANEE (AM)	MACCHIA ALTA A CORBEZZOLO E ERICHE	MM10X
MM10A			var pino marittimo
MACCHIA TERMOMEDITERRANEA COSTIERA		MM20X	
		MM20A	var con pino d'Aleppo
ARBUSTETO A CORIARIA MYRTIFOLIA		MM30X	
ARBUSTETO A SCOTANO E/O TEREINTO		MM40X	
ARBUSTETO A CALICOTOME SPINOSA		MM50X	
		MM50A	var pino marittimo
ARBUSTETO A ULEX EUROPAEUS	MM60X		
	MM60A	var pino marittimo	
ARBUSTETI COLLINARI, MONTANIE SUBALPINI (AM)	ARBUSTETO DI SPARTIUM JUNCEUM	AM10X	
	ARBUSTETO A GENISTA CINEREA	AM20X	
	ARBUSTETO A CYTISUS SCOPARIUS	AM30X	
	ARBUSTETO INTERNO A ERICA ARBOREA	AM40X	
		AM40A	var con pino marittimo
ARBUSTETO A GINEPRO COMUNE	AM50X		

ARBUSTETO A ROSACEE E SANGUINELLO	AM60X	
	AM60A	var con latifoglie varie
	AM60B	var con conifere varie
ALNETO DI ONTANO VERDE	AM70X	
	AM70A	var con acero di monte e sorbi

Tabella 3 – Legenda dei Tipi forestali della Liguria

Oltre a queste voci, sono state aggiunte le classi relative ai cespuglieti s.l. (codice "CP") e alle aree recentemente incendiate (codice "AI").

L'attribuzione della classe forestale è stata effettuata fino al livello di legenda di Tipo, per l'intero territorio regionale, mentre il livello più approfondito di Variante è stato attribuito solo nelle aree che presentavano oggettivi elementi di riscontro, come punti di rilievo a terra, chiavi fotointerpretative non ambigue, segnalazioni esistenti dai dati ausiliari.

2.4.2. Chiavi interpretative

I criteri fotointerpretativi per il riconoscimento delle varie tipologie forestali sono stati definiti mediante una organizzazione funzionale e integrata in ambiente GIS dei dati ausiliari e dei punti di controllo a terra. L'esperienza in ambito forestale maturata da alcuni membri del gruppo di lavoro ha fornito le basi per un'analisi critica degli strati informativi a disposizione allo scopo di valutare il grado di affidabilità di quest'ultimi all'interno del processo decisionale interpretativo.

Le chiavi di lettura per il riconoscimento delle tipologie vegetali si possono suddividere in due famiglie:

1. chiavi necessarie alla classificazione dei Tipi Forestali in situ, basata sul riconoscimento oggettivo di una specifica composizione floristica, costituita da specie presenti, indicatrici e differenziali, come definite nel manuale dell'I.P.L.A.;

2. chiavi necessarie alla classificazione dei Tipi Forestali per fotointerpretazione a video, basata sulla tecnica della fotoanalisi di immagini satellitari multispettrali ad alta definizione.

Gli elementi presi in considerazione per la definizione delle chiavi interpretative di quest'ultima famiglia sono di seguito riassunti.

- **parametri della fotoanalisi** a video su immagine QuikBird multispettrale in modalità pansharpened: forma, dimensione, tono, colore, tessitura, pattern, ombra;
- **analisi del contesto stazionale:** ubicazione, quota, morfologia, esposizione, distanza dalla costa, suolo, geologia, uso del suolo;
- **analisi dello stadio fenologico** mediante l'utilizzo di immagini Landsat multitemporali, soprattutto relative alla stagione primaverile;
- eventuale presenza di **punti di controllo a terra e di punti di "infittimento"**;
- eventuale presenza di segnalazioni ricavate dal manuale *I Tipi Forestali della Liguria*;
- informazioni desunte dalla Carta Forestale 2006 e dalla CTR10k.

Ciascun elemento considerato ha assunto un "peso" decisionale diverso a seconda dei contesti geografici e della tipologia forestale interessata. Per esempio, nella classificazione delle Formazioni riparie è stato considerato principalmente l'aspetto morfologico-stazionale, poiché la crescita delle specie arboree appartenenti a tale categoria è legata alla presenza di un corso d'acqua. All'interno di tale categoria, per la distinzione dei vari tipi è prevalsa l'analisi del contesto, pur mantenendo un approccio di tipo fotointerpretativo: il Pioppeto ripario privilegia le pianure alluvionali, il Saliceto arbustivo ripario i greti dei fiumi, gli alneti di Ontano gli impluvi a quote più elevate. Per quanto riguarda la classificazione delle Faggete, oltre al criterio fotointerpretativo basato sui parametri visivi chiave quali la forma, la tessitura, il tono e il colore, è pesato molto il contributo di un'immagine Landsat primaverile, in cui lo stadio fenologico di tale categoria risulta

particolarmente evidente rispetto alle altre. Il Tipo Forestale è stato assegnato sulla base della congruenza con le caratteristiche stazionali definite nel manuale citato (morfologia, substrato, diagramma edafico, esposizione, quota, località in cui è segnalata la presenza, composizione floristica). Per quanto riguarda le categorie forestali costituite da conifere, oltre ad un oggettivo riconoscimento dovuto alla caratteristica risposta spettrale, le chiavi di lettura per la classificazione dei vari tipi si sono basate sulla disponibilità di punti di rilievo a terra, su elementi visivi come il pattern e la forma (per es. i rimboschimenti) oltre alle indicazioni descritte nelle schede del manuale.

Le aree percorse da incendi sono state oggetto di una classificazione sulla base del riconoscimento fotointerpretativo dell'entità dei danni provocati, secondo lo schema rappresentato in tabella 4.

Tipologia vegetale precedente l'incendio (da Ortofoto IT2000)	Tipologia vegetale da immagine QuickBird 2007	Codice Categoria	Codice Tipo	Descrizione codice Categoria	NOTE
BOSCO ARBUSTETO	Area non forestale (suolo, vegetazione rada, materiale carbonizzato)	AI	AI	"non classificabile causa danno provocato da incendio recente"	...
BOSCO ARBUSTETO	cespuglieto	CP	CP	CESPUGLIETI	"Danni di entità grande da incendio recente"
BOSCO	arbusteto	AM/MM	"Danni di entità media da incendio recente"
BOSCO ARBUSTETO	Bosco / arbusteto con indizi di incendio recente	"Danni di entità piccola da incendio recente"

Tabella 4 – chiavi utilizzate per l'interpretazione dell'entità dei danni da incendio

Le situazioni illustrative più significative per ciascuna tipologia forestale sono state raccolte e organizzate nel Fotoatlante costituendo una valida guida alla fotointerpretazione.

3. Fotoatlante

La realizzazione del Fotoatlante è stata curata in modo da fornire uno strumento semplice e pratico di consultazione. Oltre ad un catalogo dei tipi forestali censiti sono sintetizzate anche alcune informazioni utilizzate per creare le chiavi interpretative fornendo una sorta di Guida Tematica alla Fotointerpretazione, concepita con i seguenti scopi:

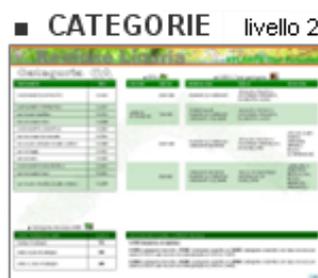
- migliorare la leggibilità del prodotto anche da parte di personale non esperto (professionisti, comuni, etc.) illustrando, per mezzo di esempi, il lavoro svolto e i contenuti della nuova carta dei tipi forestali;
- fornire uno strumento didattico per la formazione degli operatori che potranno curare successive fasi di aggiornamento;
- fornire uno strumento semplice da utilizzare e aggiornare che sia navigabile e facilmente consultabile.

Il Fotoatlante è costituito da esempi illustrati con indici navigabili, didascalie ed immagini che presentano dei casi esemplificativi di riferimento per ciascuna delle categorie della legenda.

Ogni Categoria e Tipologia forestale è rappresentata da una scheda standard; il Tipo Forestale è descritto da almeno due diverse immagini utilizzate in fase di fotointerpretazione, da un elenco di dati ausiliari a disposizione utilizzati, oltre che dalle fotografie riprese a terra durante i rilievi di controllo.

Il Fotoaltante è stato sviluppato in ambiente Microsoft PowerPoint e può essere consultato su un qualsiasi PC in modalità presentazione, fornendo un valido supporto alla fotointerpretazione anche per future edizioni della carta dei tipi forestali.

Il sistema creato è corredato da una sezione di help che ne descrive la struttura gerarchica e la modalità di navigazione; i link iperattivi si azionano se si visualizza il file PowerPoint in modalità presentazione.



Un primo livello presenta l'indice delle Categorie al quale è possibile accedere in modo diretto da questa prima pagina accedendo alla Categoria Forestale prescelta.

Nel secondo livello il sistema indirizza l'utente verso il Tipo Forestale di interesse o permette di ritornare al livello superiore. In questo livello dedicato alle singole categorie vengono già riassunte alcune caratteristiche tipologiche che distinguono i diversi Tipi all'interno della Categoria in base all'informazione GIS disponibile in quest'analisi.

Regione Liguria **ATLANTE Tipi Forestali**

Categoria CA

CASTAGNETI	TIPO
CASTAGNETO DA FRUTTO	CA10R
CASTAGNETO TERMOFILO	CA20R
var con pino maritimo	CA30A
var con castagno nero	CA20B
CASTAGNETO AGDOFILO	CA30R
var con rovere slo rovere	CA30A
var con pino silvestre ed altre conifere	CA30B
var con faggio	CA30C
var con castagno	CA30D
CASTAGNETO NEUTROFILO	CA40R
var con castagno nero	CA40A
var con pino silvestre ed altre conifere	CA40B

DTM

INPOSIZ.	QUOTA
300-1000	
100-300	
300-1000	
300-900	

CARTE I Carte geologiche

MONTE ROSA	SOLO	GR OLOVA
-PIANORI SU VERSANTI	-EVOLUTI, RICCHI DI SOSTANZA ORGANICA, DA NEUTRI A ACIDI	
-FONDOVALLE -PIANORI SU VERSANTI -VERSANTI COLLINARI	-EVOLUTI, RICCHI DI SOSTANZA ORGANICA, DA NEUTRI A ACIDI	
-PIANORI SU VERSANTI -VERSANTI MONTANI	-EVOLUTI, RICCHI DI SOSTANZA ORGANICA E DI SOGHELETRO	-ROCCIE ACIDE: -GNEISS, -ARENARIE -GRANITI, -ROCCIE ULTRABASICHE
-VERSANTI MONTANI -PIANORI SU VERSANTI -VERSANTI COLLINARI	-RICCHI DI SOGHE TANTA ORGANICA E DI SOGHELETRO	-MAREMME O -SUBSTRATI -MISTI (FLYSH, -ROCCIE MARINOGL. -ARENARIE)

Cartografia forestale 2006

CARTA FORESTALE 2006	CODICE
habita di castagno	111
ceduo puro di castagno	260
ceduo c. puro di castagno	260

DESCRIZIONE POSIZIONI, COMPOSIZIONE TRINIE

CA10R (Castagno, da frutto)

CA20R (castagno termofilo), CA20B (castagno scabbio) e CA40R (castagno neutrofilo) solo dopo incendio per quota (CA20R) e per incendio con carta geologica (CA20R e CA40R)

CA30R (castagno termofilo), CA30B (castagno scabbio) e CA40R (castagno neutrofilo) solo dopo incendio per quota (CA20R) e per incendio con carta geologica (CA20R e CA40R)

Carte Geologiche Geomorfologiche

DTM

Cartografia Forestale 2006

IPERLINK TIPI
 invia direttamente
 al tipo selezionato

TASTO
 torna all' **INDICE**
 (presente sempre)

Il Terzo Livello esemplifica con dettagli cartografici e fotografici il Tipo selezionato e i dati di riferimento utilizzati per determinare la chiave interpretativa. I Casi selezionati sono realmente esistenti nel database regionale, sono stati selezionati come più rappresentativi e sempre accompagnati da un rilievo al suolo orientato di supporto.

● Categoria e Tipo forestale (ev. var.)

● Cartografia ed immagini di riferimento evidenziando tra quelle utili le più significative

ORNO-OSTRETI

	OS
si dei substrati silatici	OS31X
var con castagne	OS31A

● Foto rilievo sempre presente

● Immagine QuickBird (bande 4,3,2) sempre presente

TASTO torna all' INDICE (presente sempre)

TASTO Torna alla propria CATEGORIA

● Immagine QuicKBird (bande 3,2,1) o IT2000 (zone invariate Coperte nel QuickBird)
(se si espongono altre immagini esemplificative vengono sistemate e dettagliate in questo spazio)

● NO Simbolo orientato come la fotografia (SO - nella foto)

Da ogni pagina è possibile navigare verso l'Indice generale o quello di categoria impostando una nuova ricerca. Strutturando in questo modo il fotoatlante abbiamo creato un sistema differente dai modelli più diffusi fornendo uno strumento più ordinato, standard e consultabile.

4. Elaborazione "object oriented"

4.1. Descrizione delle attività

Tra i prodotti del progetto è compresa la realizzazione di una banca dati prodotta mediante segmentazione ad oggetti delle immagini multispettrali Quickbird.

La proposta metodologica prevedeva inizialmente l'impiego di tale tecnica come propedeutica alla fotointerpretazione, ma nelle fasi iniziali del progetto le seguenti valutazioni hanno fatto preferire un approccio diverso:

- a. la classificazione delle tipologie forestali avviene con un processo interpretativo basato sull'analisi di molte informazioni di varia tipologia, in cui la componente intellettuale nella ricostruzione del contesto e dell'habitat è molto importante, e richiede la capacità di una lettura, anche critica, dell'intero set di informazioni, compresi i rilievi a terra;
- b. la forma "seghettata" degli oggetti prodotti con la segmentazione, se pure passibile di generalizzazione e smoothing, non è stata ritenuta sufficientemente adatta per la congruenza geometrica con la carta tecnica regionale;

- c. le immagini satellitari multispettrali sono state processate per un impiego prettamente “fotointerpretativo”, privilegiando il contenuto visivo dell’immagine piuttosto che la coerenza del dato radiometrico.

Pertanto l’obiettivo di tale attività riguarda la realizzazione di una versione della banca dati dei Tipi Forestali, caratterizzata dalla presenza di una parcellizzazione che suddivide le unità cartografiche delineate con il lavoro di fotointerpretazione precedente.

Tali particelle, od oggetti, sono caratterizzate con dati quantitativi circa le condizioni fisiche locali derivate dal dato radiometrico delle immagini satellitari impiegate come fonte primaria nel progetto stesso.

L’elaborazione è stata eseguita in ambiente eCognition Developer 8.0, ed include anche parametri morfometrici derivati dal modello del terreno regionale, fornito come dato ausiliario del progetto.

La procedura di segmentazione automatica contribuisce a delineare oggetti basati su forme e limiti suggeriti dalle immagini satellitari, costituendo un parcellario di unità territoriali tracciate su elementi oggettivi.

Ne risulta pertanto uno strumento conoscitivo con le seguenti valenze:

1 - contributo alla caratterizzazione dei Tipi Forestali. Sarà possibile associare alla definizione dei Tipi Forestali del progetto un caratterizzazione di tipo quantitativo e statistico, definendo indicatori basati sul dato radiometrico e morfometrico;

2 - la banca dati così prodotta costituisce una sorta di “radiografia” sulle effettive condizioni fisiche del territorio forestale alla data della ripresa satellitare, fornendo contributi utili in studi sullo stato della vegetazione (degradazione, fenomeni erosivi, patologie, danni da incendi o altri eventi naturali, deforestazione, afforestazione, tagli, biomassa, ecc);

3 - approccio multitemporale. Analisi diacroniche sullo stato della vegetazione potranno avvalersi di tale base conoscitiva, effettuando valutazioni comparate basate sulla parcellizzazione, localizzando i parametri fisici in ambiti ristretti, oggettivamente delineati sulle immagini satellitari. La possibilità di basare tecniche di change detection su ambiti limitati ed omogenei (i singoli oggetti) determina un notevole aumento del potere risolutivo nel riconoscimento di mutamenti delle condizioni fisiche del territorio.

L’elaborazione è stata condotta sulle immagini multispettrali originarie fornite dalla committenza, già processate circa la georeferenziazione con ortorettifica.

Nella seguente fig. 4 si riporta la suddivisione del territorio effettuata per questa specifica attività, con l’attenzione di ottimizzare le aree di sovrapposizione di diverse immagini in funzione della presenza eventuale di nuvole o della qualità generale dei dati.

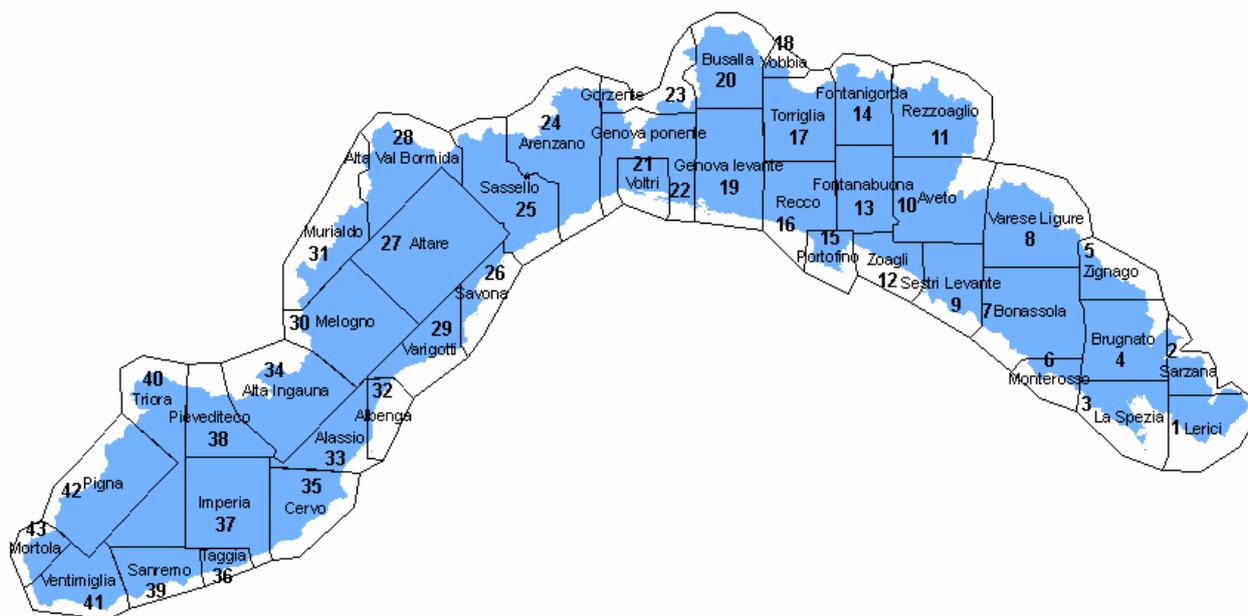


Figura 4 - suddivisione del territorio regionale in zone di competenza delle varie immagini satellitari impiegate nel progetto

Nella seguente tabella 5 si riportano le informazioni principali delle immagini satellitari utilizzate.

Id	zona immagine	data	pixel (m)
33	Alassio	21/10/2007	2.5
32	Albenga	06/09/2006	2.4
34	Alta Ingauna	26/08/2004	2.8
28	Alta Val Bormida	06/09/2006	2.5
27	Altare	26/08/2004	2.8
24	Arenzano	11/09/2006	2.5
10	Aveto	22/09/2007	2.5
7	Bonassola	05/10/2007	2.4
4	Brugnato	30/07/2007	2.5
20	Busalla	10/10/2007	2.5
35	Cervo	21/10/2007	2.5
13	Fontanabuona	15/10/2007	2.4
14	Fontanigorda	15/10/2007	2.5
19	Genova levante	10/10/2007	2.5
22	Genova ponente	19/09/2006	2.5
23	Gorzente	19/09/2006	2.5
37	Imperia	14/09/2007	2.5
3	La Spezia	30/07/2007	2.5
1	Lerici	24/05/2007	2.5
30	Melogno	26/08/2004	2.8
6	Monterosso	05/10/2007	2.5
43	Mortola	13/08/2004	2.5
31	Murialdo	16/06/2007	2.5
38	Pievediteco	14/09/2007	2.4
42	Pigna	13/08/2004	2.5
15	Portofino	09/08/2004	2.8
16	Recco	17/07/2007	2.5

11	Rezzoaglio	22/09/2007	2.5
39	Sanremo	01/08/2003	2.8
2	Sarzana	24/05/2007	2.5
25	Sassello	26/06/2006	2.4
26	Savona	26/06/2006	2.4
9	Sestri Levante	22/09/2007	2.5
36	Taggia	01/08/2003	2.8
17	Torriglia	17/07/2007	2.5
40	Triora	03/09/2005	2.4
8	Varese Ligure	05/10/2007	2.4
29	Varigotti	06/09/2006	2.4
41	Ventimiglia	26/08/2004	2.8
18	Vobbia	17/07/2007	2.5
21	Voltri	19/08/2003	2.8
5	Zignago	28/03/2003	2.5
12	Zoagli	15/10/2007	2.5

Tabella 5 - parametri principali delle immagini satellitari impiegate nel progetto

4.2. Metodologia

Per ogni zona il processo di elaborazione si è articolato nelle seguenti fasi:

- allestimento del progetto di segmentazione con i seguenti layer informativi:
 - immagine quickbird MS (4 bande) della zona in oggetto
 - banca dati dei Tipi Forestali
 - banca dati dei limiti di zona
 - DEM (altimetria, pendenze percentuali, esposizioni riclassificate in 16 angoli)
- segmentazione multirisoluzione
 - livello generale per costruire i "super-oggetti" coincidenti con le unità cartografiche dei Tipi Forestali, utili per la successiva fase di eliminazione di poligoni piccoli, operazione condizionata al mantenimento della geometria dei Tipi Forestali stessi
 - livello di dettaglio, contenente gli oggetti finali dell'elaborazione
- classificazione degli oggetti distinti in
 - interni
 - ambito forestale
 - ambito non forestale
 - esterni (oggetti esterni alla zona in oggetto)
- eliminazione degli oggetti piccoli (si è scelta la soglia di 3125 m², pari 500 pixel per le immagini con pixel pari a 2,5 m) vincolata dalla congruenza con le unità dei Tipi Forestali tramite il controllo operato dal livello dei "super-oggetti"
- assegnazione dei valori radiometrici e morfometrici
- export in formato shape file, denominati "z_x", dove x = id della zona (da 1 a 43)

Nella seguente tabella viene descritta la struttura della banca dati prodotta:

item	tipo	contenuto
ID	Numerico	identificativo univoco dell'oggetto
AREA	"	superficie in m ²
COD_VAR	Testo	codice del Tipo Forestale
RATIO_1	Numerico	il rapporto tra il valore medio dei pixel della banda iesima per ogni oggetto e la somma dei valori medi di tutte le bande per lo stesso oggetto; rappresenta il valore normalizzato per una determinata
RATIO_2	"	
RATIO_3	"	

RATIO_4	"	lunghezza d'onda e caratterizza meglio il territorio, con minori dipendenze da fattori come la pendenza e l'esposizione del versante e le condizioni di illuminazione tra frame differenti.
BRIGHTNESS	"	la somma dei valori medi dei pixel della banda iesima per ogni oggetto, rapportato al numero di bande considerate; rappresenta una sorta di riflettanza globale dell'oggetto
GLCM_H	"	la "grey level co-occurrence matrix (GLCM)" è l'analisi di quanto spesso differenti combinazioni di livelli di grigio ricorrono in una immagine. Questa analisi consente la definizione di una serie di indicatori di tessitura. Tra questi il parametro "Homogeneity" (GLCM_H), inverso di "Contrast" enfatizza l'assenza di differenze tra toni di grigio dei vari layer per tutte le direzioni (i parametri di tessitura si possono anche indirizzare per direzioni preferenziali)
NDVI	"	il rapporto tra la differenza del valore medio dei pixel della banda NIR di un oggetto meno quello della banda RED e la loro somma. Si tratta del noto Indice di Vegetazione normalizzato, trasposto dalla logica "pixel oriented" a quella "object oriented", che indica la densità di essenze vegetali e l'intensità dell'attività di fotosintesi clorofilliana
Q_MIN	"	quota minima rilevata nell'oggetto, in m s.l.m.
Q_MED	"	quota media
Q_MAX	"	quota massima
Q_DSTD	"	deviazione standard della distribuzione delle quote nel singolo oggetto
PEND_MIN	"	pendenza percentuale minima rilevata nell'oggetto, in m s.l.m.
PEND_MED	"	pendenza percentuale media
PEND_MAX	"	pendenza percentuale massima
PEND_DSTD	"	deviazione standard della distribuzione delle pendenze nel singolo oggetto
ESP_PREV	"	esposizione prevalente, classificata in valori da 1 a 16 per altrettanti angoli 1 = N, 2 = NNE, 3 = NE, 4 = ENE, 5 = E, 6 = ESE, 7 = SE, 8 = SSE, 9 = S, 10 = SSW, 11 = SW, 12 = WSW, 13 = W, 14 = WNW, 15 = NW, 16 = NNW, 0 = prevalenza di area pianeggiante

Tabella 6 - contenuto informativo della banca dati prodotta con la segmentazione

Nell'allegato 2 si riportano le schede che illustrano la tipologia di dato elaborato; l'area dello stralcio è la zona dell'immagine n° 11 (Rezzoaglio).

5. Dati statistici

L'applicazione della tecnologia GIS alla realizzazione della Carta dei Tipi Forestali della Liguria ha permesso di analizzare in modo semplice e agile i contenuti informativi, con la possibilità di definire quantitativamente i risultati ottenuti.

Nel complesso la superficie forestale comprendente i boschi, gli arbusteti e i cespuglieti risulta pari a 3950,6 Km² e rappresenta circa il 73% dell'intero territorio regionale ligure.

Dall'analisi del livello informativo relativo ai Tipi Forestali è risultata la distribuzione statistica mostrata nella tabella 7 e nel grafico di figura 5.

codice Categoria forestale	descrizione	area (km ²)	% rispetto alla superficie forestale regionale
LE	LECCETE E SUGHERETE	119,6	3,0%
PC	PINETE COSTIERE E MEDITERRANEE	302,4	7,6%
OS	ORNO-OSTRIETI	521,5	13,2%
FR	FORMAZIONI RIPARIE	126,5	3,2%
QU	QUERCETI DI ROVERE E DI ROVERELLA	403,6	10,2%

CE	CERRETE	95,0	2,4%
CA	CASTAGNETI	1168,7	29,5%
FA	FAGGETE	418,0	10,6%
LM	BOSCHI DI LATIFOGLIE MESOFILE	38,7	1,0%
PM	PINETE MONTANE	103,0	2,6%
AB	ABETINE DI ABETE BIANCO	7,0	0,2%
LC	LARICETI	15,8	0,4%
BS	BOSCAGLIE PIONIERE E D'INVASIONE	190,1	4,8%
RI	RIMBOSCHIMENTI	63,2	1,6%
MM	ARBUSTETI E MACCHIE TERMOMEDITERRANEE	123,4	3,1%
AM	ARBUSTETI COLLINARI, MONTANI E SUBALPINI	163,5	4,1%
CP	CESPUGLIETI	90,6	2,3%
AI	AREE INCENDIATE	11,7	0,3%

Tabella 7 – distribuzione statistica delle Categorie forestali

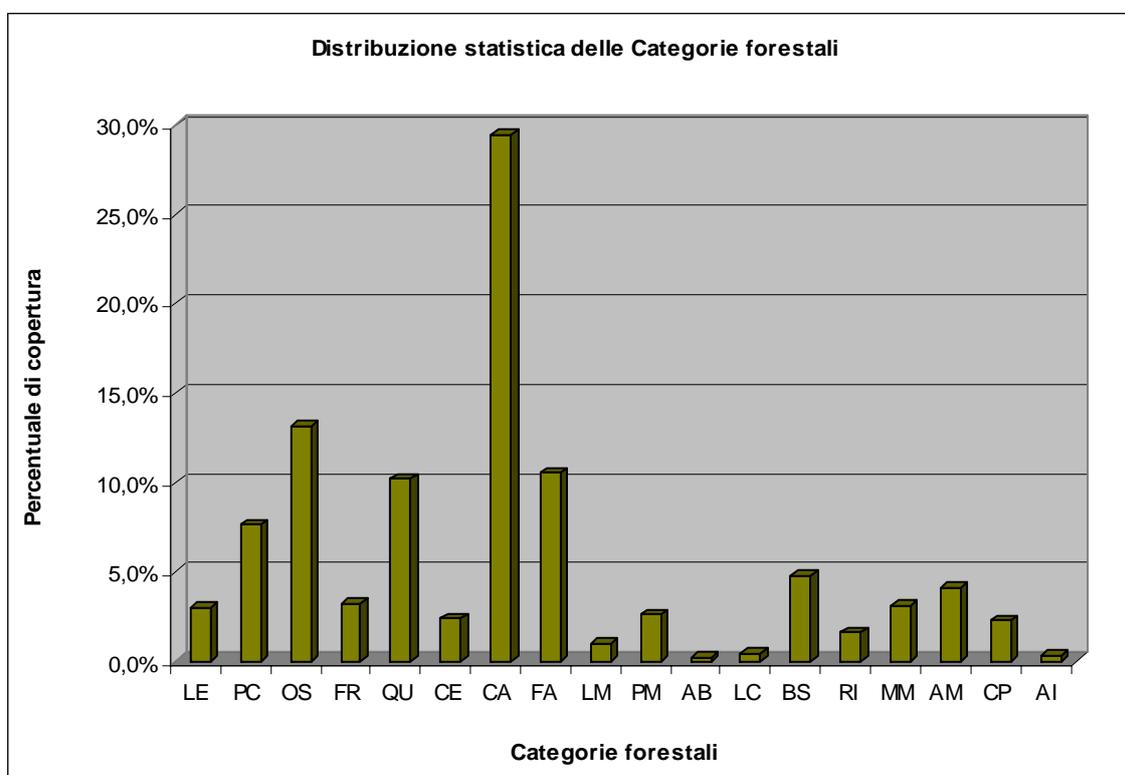


Figura 5 – grafico della distribuzione statistica delle Categorie forestali

Le mappe di distribuzione areale per ciascuna categoria sull'intero territorio ligure sono state elaborate nell'allegato 1.

6. Specifiche tecniche delle banche dati

I livelli informativi sono stati realizzati secondo il sistema di coordinate "GAUSS-BOAGA", proiezione "Trasversa di Mercatore", Datum geodetico "Roma 1940", unità di misura in metri.

Le specifiche tecniche utilizzate per la fotointerpretazione sono riassunte di seguito:

- Area minima rilevabile: 1,5 ha
- Area minima lineare: 50 m x 300 m
- Precisione geometrica: 5 m

- Scala nominale: 1:25.000

Nelle tabelle 8 e 9 sono riportate le principali proprietà strutturali delle banche dati GIS prodotte.

STRUTTURA DEL DATASET: tipiforestali_PG		
Formato: ESRI Shapefile		
Tipo di entità geometrica: Poligonale		
Struttura della tabella:		
CAMPO	TIPO	DESCRIZIONE
ID_TIPO	INTEGER	Codice identificativo univoco
COD_CAT	CHAR2	Codice della Categoria forestale
DESC_CAT	CHAR 60	Descrizione della Categoria forestale
COD_TIPO	CHAR 5	Codice del Tipo o del Sottotipo forestale
DESC_TIPO	CHAR 100	Descrizione del Tipo o del Sottotipo forestale
COD_VAR	CHAR 5	Codice della Variante forestale
DESC_VAR	CHAR 100	Decrizione della Variante forestale
FORNITORE	CHAR 1	Codice del fornitore del dato (tab. di decodifica associata: "fornitori.dbf")
SUPPORTI	CHAR 200	Supporto più recente su cui è stata eseguita l'interpretazione
DATA_SUPPO	INTEGER	Data del supporto più recente su cui è stata eseguita l'interpretazione
NOTE	CHAR 200	Eventuali informazioni supplementari

Tabella 8 – struttura banca dati poligonale dei Tipi Forestali

STRUTTURA DEL DATASET: tipiforestali_PT		
Formato: ESRI Shapefile		
Tipo di entità geometrica: Puntuale		
Struttura della tabella:		
CAMPO	TIPO	DESCRIZIONE
COD_SQ25	CHAR 4	Codice squadra 1:25.000
ID_PUNTO	INTEGER	Codice identificativo univoco
EST_GPS	DOUBLE	Longitudine nel sistema GAUSS-BOAGA
NORD_GPS	DOUBLE	Latitudine nel sistema GAUSS-BOAGA
QUOTA	DOUBLE	Quota altimetrica
AZIMUT_NN	CHAR 50	Nome file della fotografia scattata con asse ottico orientato a Nord
AZIMUT_NE	CHAR 50	Nome file della fotografia scattata con asse ottico orientato a Nord-Est
AZIMUT_EE	CHAR 50	Nome file della fotografia scattata con asse ottico orientato a Est
AZIMUT_SE	CHAR 50	Nome file della fotografia scattata con asse ottico orientato a Sud-Est
AZIMUT_SS	CHAR 50	Nome file della fotografia scattata con asse ottico orientato a Sud
AZIMUT_SO	CHAR 50	Nome file della fotografia scattata con asse ottico orientato a Sud-Ovest
AZIMUT_OO	CHAR 50	Nome file della fotografia scattata con asse ottico orientato a Ovest
AZIMUT_NO	CHAR 50	Nome file della fotografia scattata con asse ottico orientato a Nord-Ovest
FORNITORE	CHAR 1	Codice del fornitore del dato (tab. di decodifica associata: "fornitori.dbf")
DATA	INTEGER	Data in cui è stata scattata la fotografia
NOTE_RILEV	CHAR 200	Informazioni relative alle tipologie vegetali rilevate

Tabella 9 – struttura banca dati puntuale dei Tipi Forestali

7. Conclusioni

Il processo di classificazione del territorio forestale ligure in unità floristico-fisionomico-ecologico-selviculturali risponde all'esigenza di dotarsi di strumenti finalizzati alle attività di controllo e pianificazione, nell'ambito della programmazione forestale regionale. La realizzazione della Carta dei Tipi Forestali della Liguria soddisfa tali obiettivi e rappresenta un valido strumento operativo rivolto ai tecnici e gestori forestali, ai fini della definizione delle destinazioni e degli interventi selviculturali più appropriati, ad una scala nominale di dettaglio 1:25.000.

Le caratteristiche salienti dei materiali informativi prodotti nel corso del progetto di realizzazione della Carta dei Tipi Forestali della Liguria sono di seguito riassunti:

- formato vettoriale standard ESRI Shapefile, facilmente fruibile e utilizzabile dagli operatori
- dataset allineati e coerenti ai fini di una integrazione con gli altri strati informativi del SIT regionale (SITAR)
- banche dati concepite come un sistema aperto, implementabile nel tempo, integrabile e sostituibile per parti
- elevato numero di punti di controllo a terra (1217) corredati da un alto numero di immagini fotografiche (2758) che ne validano l'affidabilità, oltre ad una maglia d'infiltramento speditivo di circa 1039 punti
- fotoatlante basato sui dati prodotti con i rilievi, la fotointerpretazione e le elaborazioni delle immagini satellitari, che costituisce una vera e propria guida tematica

La metodologia di realizzazione basata sulla tecnica della fotoanalisi e fotointerpretazione di immagini satellitari multispettrali ad alta risoluzione QuickBird ha rappresentato un valido approccio operativo. Tuttavia alcune criticità sono state riscontrate e sono imputabili a diversi fattori. Come primo aspetto può essere citato la disomogeneità temporale e spettrale delle immagini QuickBird. Infatti, l'acquisizione a differenti date di ripresa in concomitanza con la grande variabilità dei contesti forestali ha ridotto il campo di validità delle chiavi interpretative a limitate superfici territoriali. Nonostante l'applicazione di tecniche di miglioramento del contrasto, alcune immagini affette da una scadente distribuzione statistica della radiometria non hanno consentito una agevole lettura, con il conseguente minor potere risolutivo nell'attività di fotointerpretazione, che si è cercato di compensare con un maggiore utilizzo di punti di controllo e fonti ausiliarie.

Un altro aspetto critico riguarda la scelta dei prodotti satellitari ai fini della classificazione forestale. L'alta risoluzione geometrica delle immagini derivate da satellite QuickBird ha costituito una valida caratteristica ai fini della fotointerpretazione e agli obiettivi di precisione richiesti, ma l'elemento che ha costituito una considerevole importanza nella definizione delle chiavi di lettura dei Tipi Forestali è stato la disponibilità di immagini multispettrali Landsat 7 (ETM+) a varie date di ripresa, sulle quali è stato possibile leggere i vari stadi fenologici delle tipologie vegetali.

Infine l'impiego di tecniche di Remote Sensing di supporto alla fotointerpretazione, basate sulla segmentazione e classificazione delle immagini satellitari ad alta risoluzione in ambiente eCognition apre nuovi scenari soprattutto per quanto concerne gli approcci metodologici ai fini della produzione di cartografia tematica forestale. La realizzazione di una versione della banca dati segmentata in oggetti omogenei per caratteristiche radiometriche, pur con le limitazioni dovute alla variabilità nel tempo delle varie riprese, costituisce un importante contributo per caratterizzare il territorio forestale anche mediante parametri fisici oggettivi, con vantaggi immediati in future attività di monitoraggio, change detection, stima della biomassa, ecc.

8. Bibliografia e risorse web

Camerino P., Greco C., Mensio F., Varese P., - *I Tipi Forestali della Liguria*, 2008, Regione Liguria, Erga Edizioni (GE): 336 pp.

Lillesand Thomas M., et al. - 2008 - *Remote Sensing and Image Interpretation* - WILEY

Cartografia della Regione Liguria - <http://www.cartografia.regione.liguria.it>

Contenuti informativi disponibili in Google Earth

Parco Nazionale delle Cinque Terre - <http://www.parconazionale5terre.it/>

Parco Naturale Regionale delle Alpi Liguri - <http://parcoalpiliguri.eu/Default.aspx?pageid=page1>

Parco Naturale Regionale dell'Antola - <http://www.parcoantola.it/>

Parco Naturale Regionale dell'Aveto - <http://www.parks.it/parco.aveto/>

Parco Naturale Regionale del Beigua - <http://www.parcobeigua.it/>

Parco Naturale Regionale di Bric Tana - <http://www.parks.it/parco.bric.tana/index.php>

Parco Naturale Regionale di Montemarcello Magra - <http://www.parcomagra.it/>

Parco Naturale Regionale di Piana Crixia - <http://www.parks.it/parco.piana.crixia/index.php>

Parco Naturale Regionale di Porto Venere - <http://www.parconaturaleportovenere.it/>

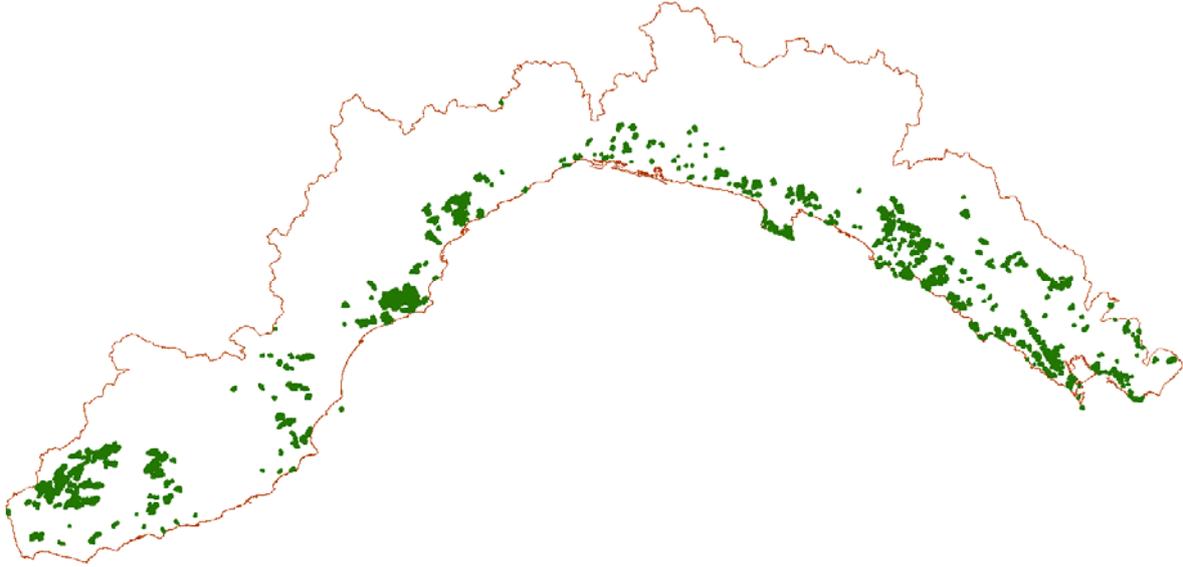
Portale Cartografico Nazionale - <http://www.pcn.minambiente.it>

9. Allegati

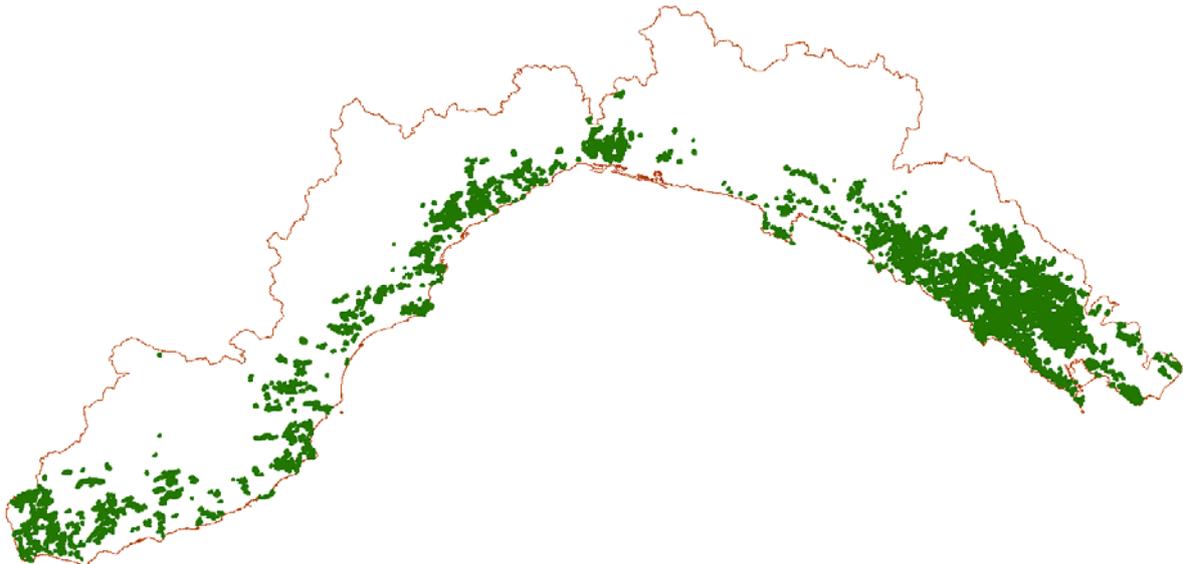
- 1 - Mappe di distribuzione areale per ciascuna Categoria forestale
- 2 - Figure delle elaborazioni mediante segmentazione ad oggetti

9.1. Mappe di distribuzione areale per ciascuna Categoria forestale

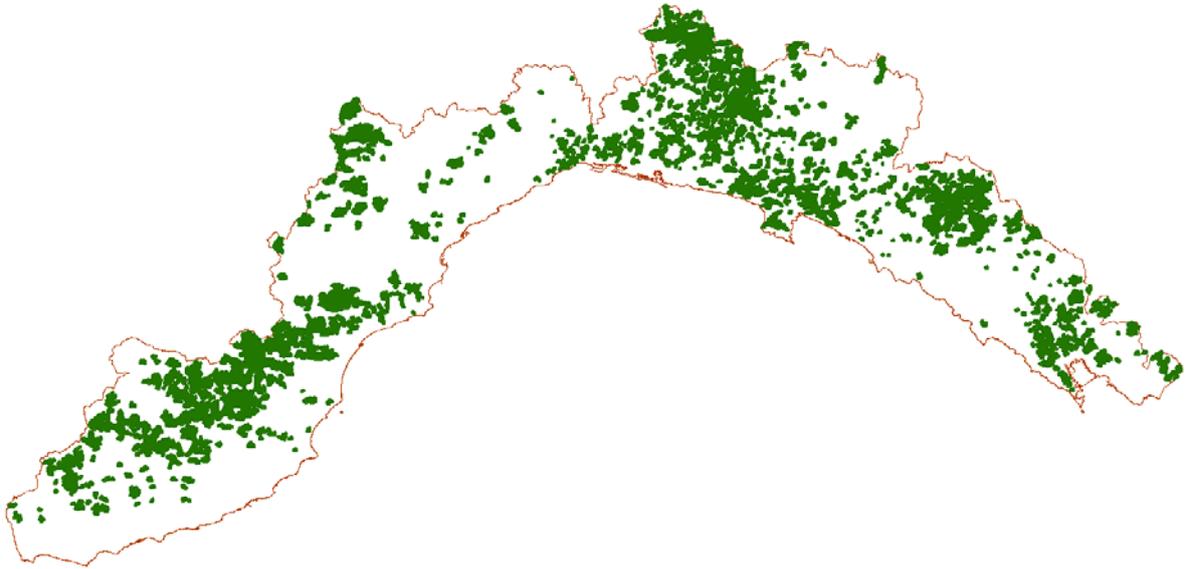
LE - LECCETE



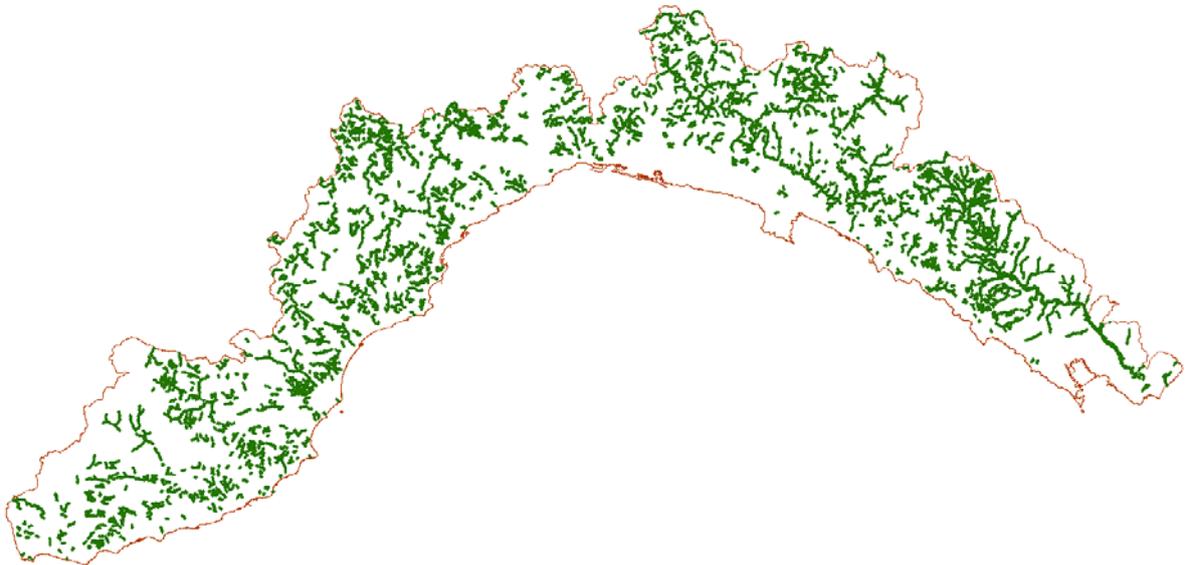
PC - PINETE COSTIERE E MEDITERRANEE



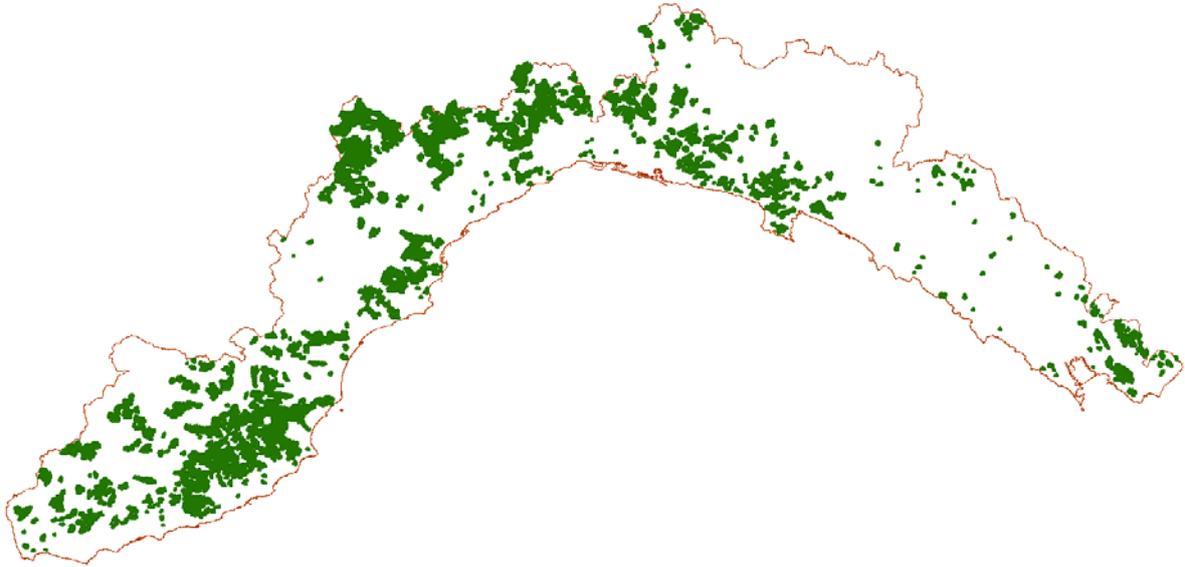
OS - ORNO-OSTRIETI



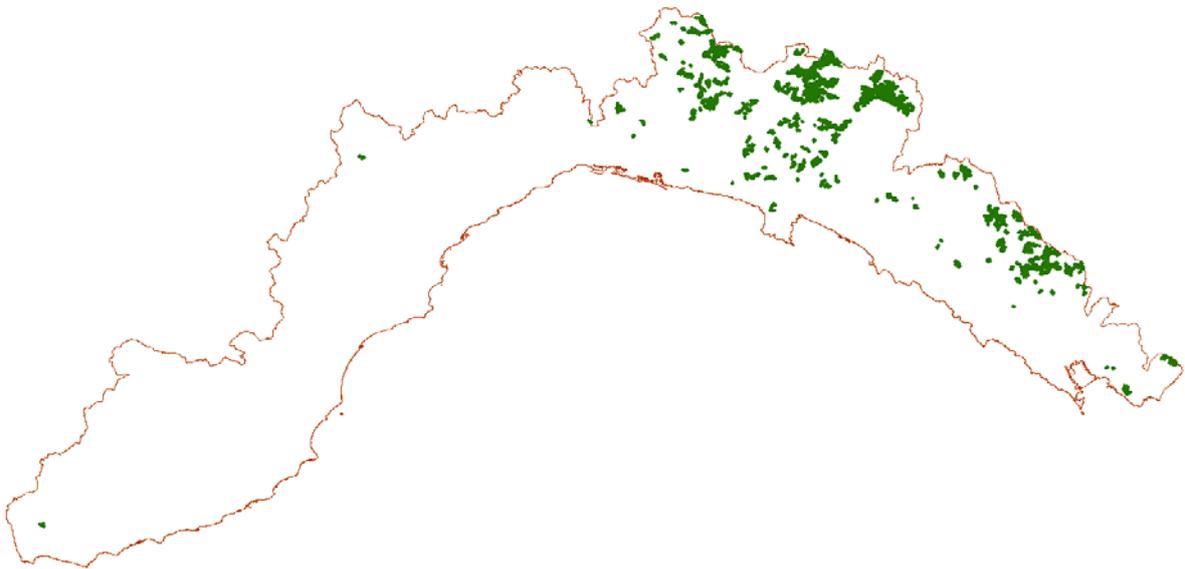
FR - FORMAZIONI RIPARIE



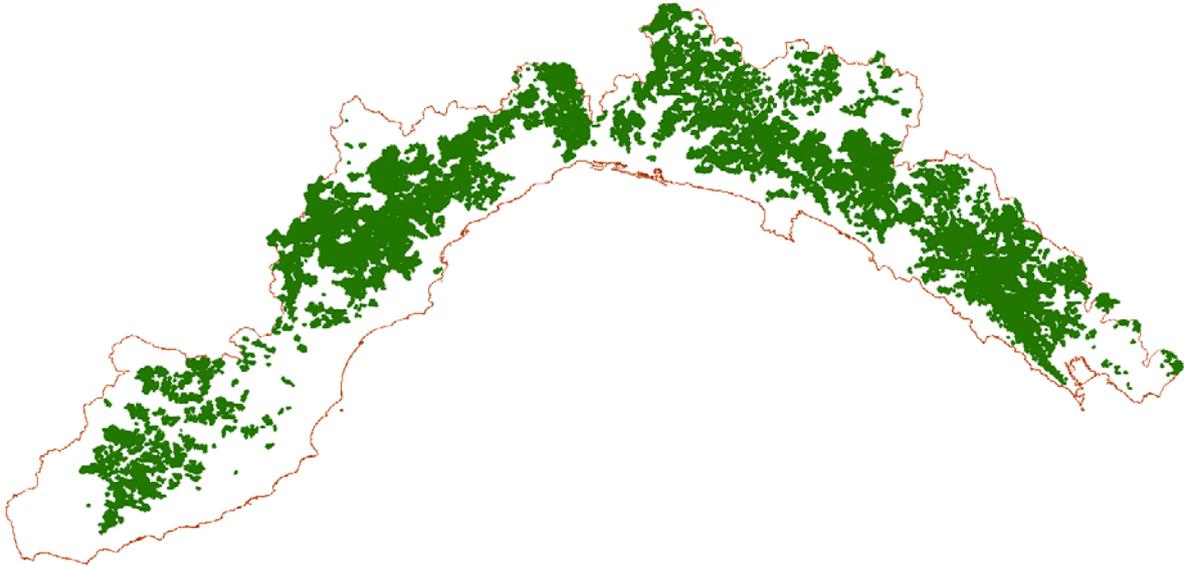
QU - QUERCETI DI ROVERE E ROVERELLA



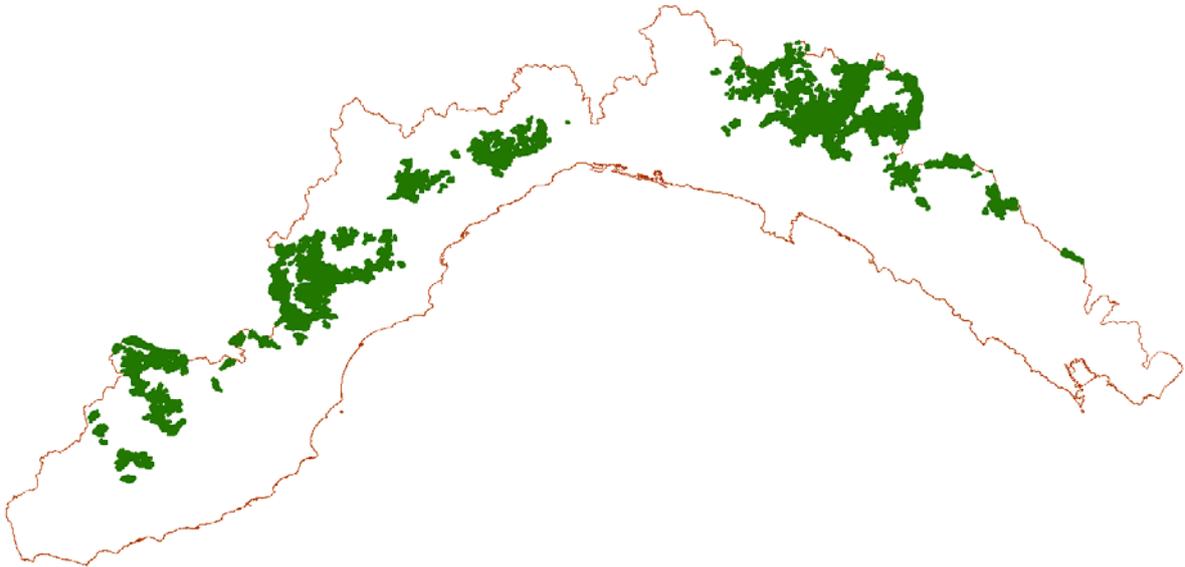
CE - CERRETE



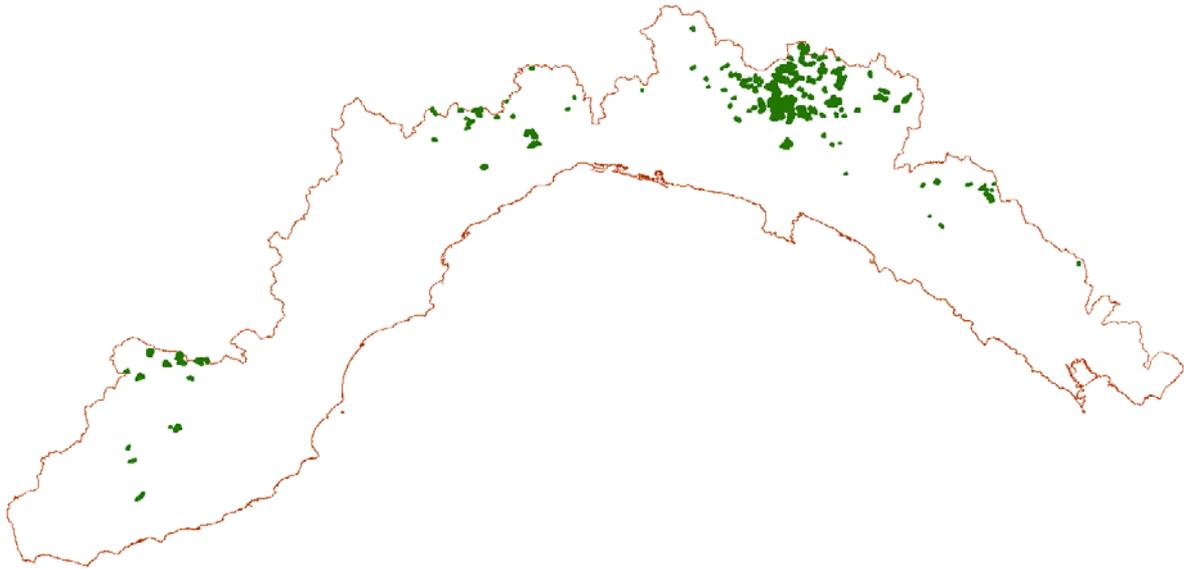
CA - CASTAGNETI



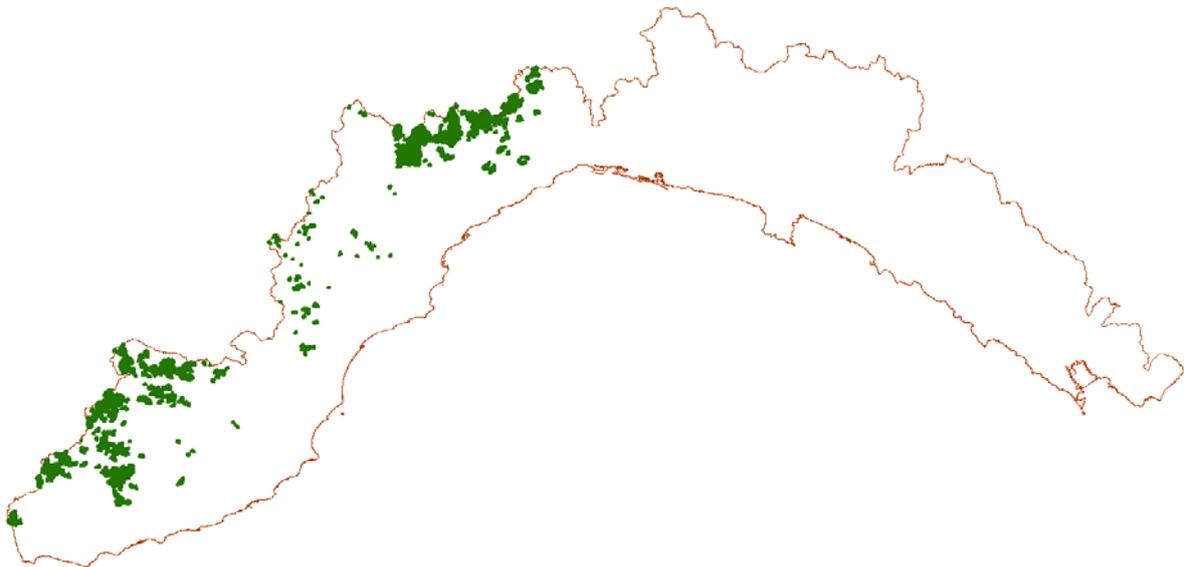
FA - FAGGETE



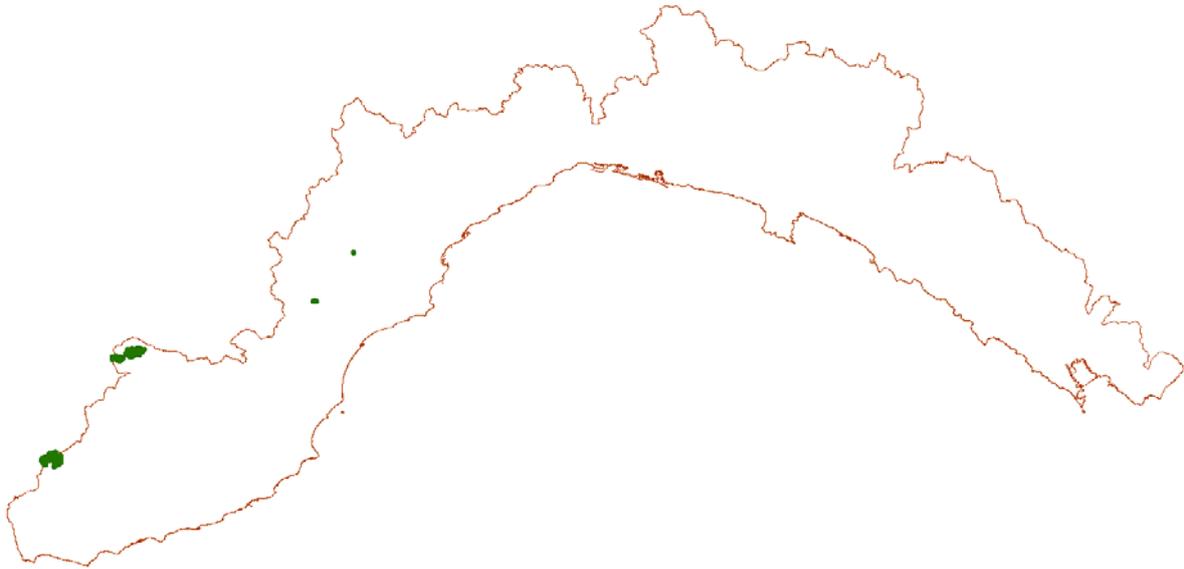
LM - LATIFOGIE MESOFILE



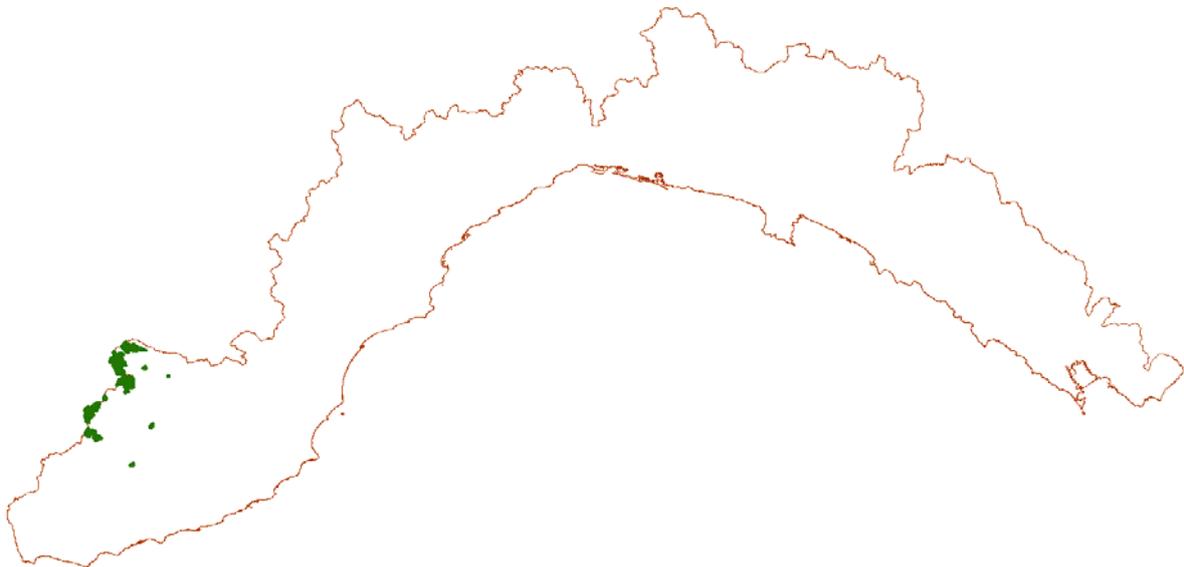
PC - PINETE MONTANE



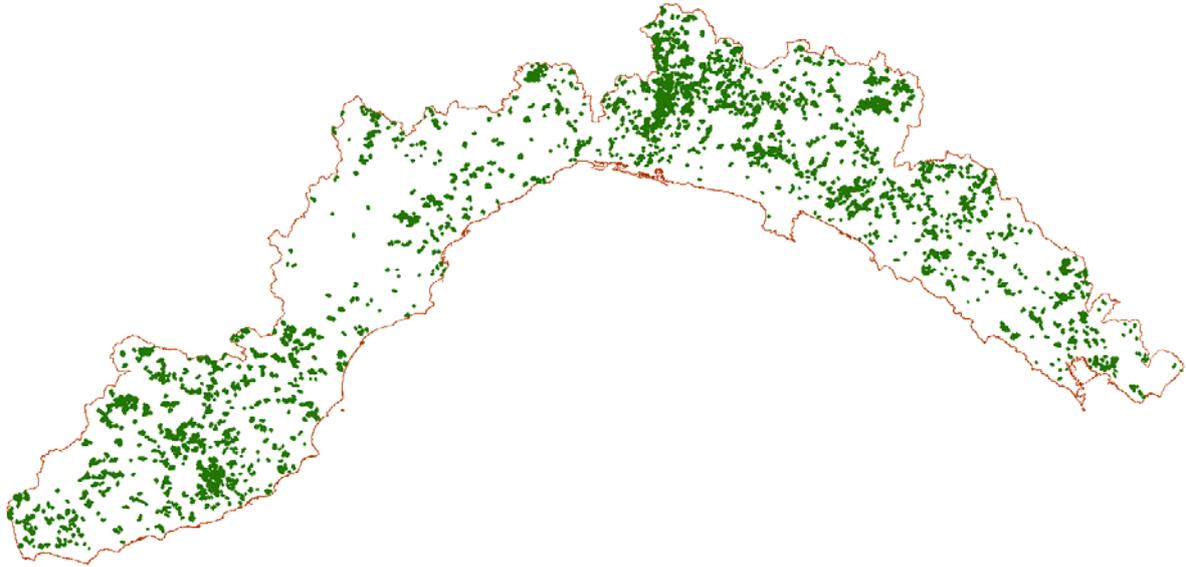
AB - ABETINE DI ABETE BIANCO



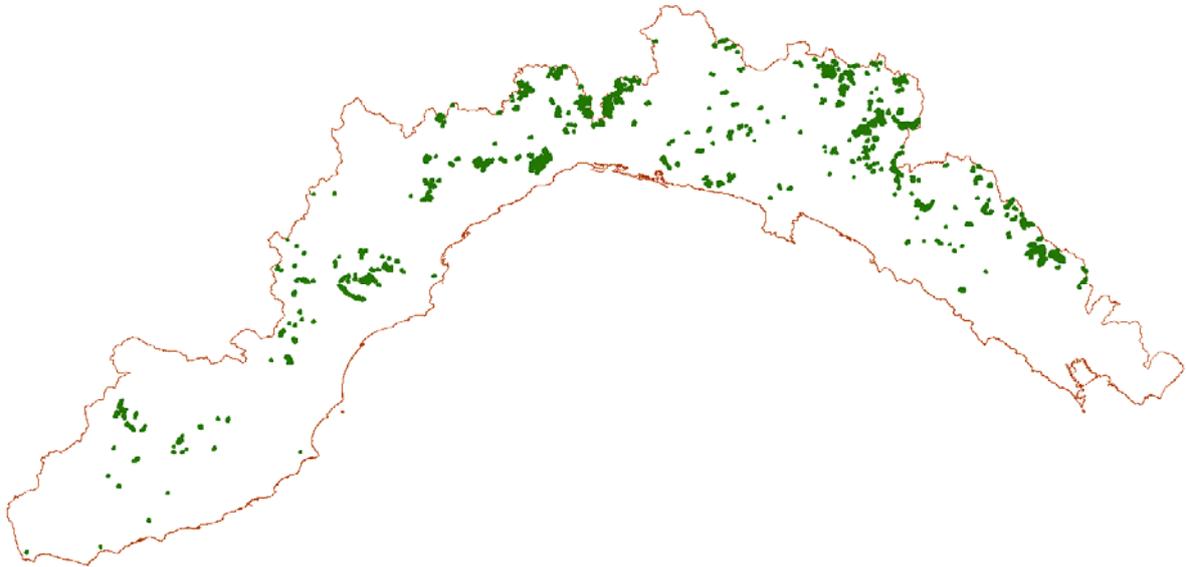
LC - LARICETI



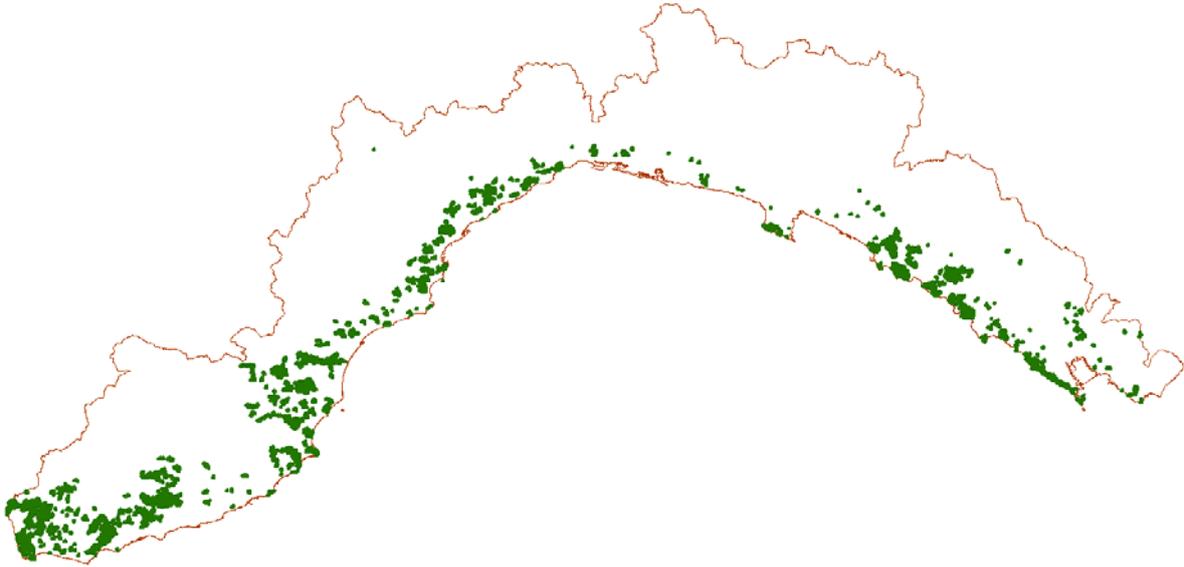
BS - BOSCHIE PIONIERE E D'INVASIONE



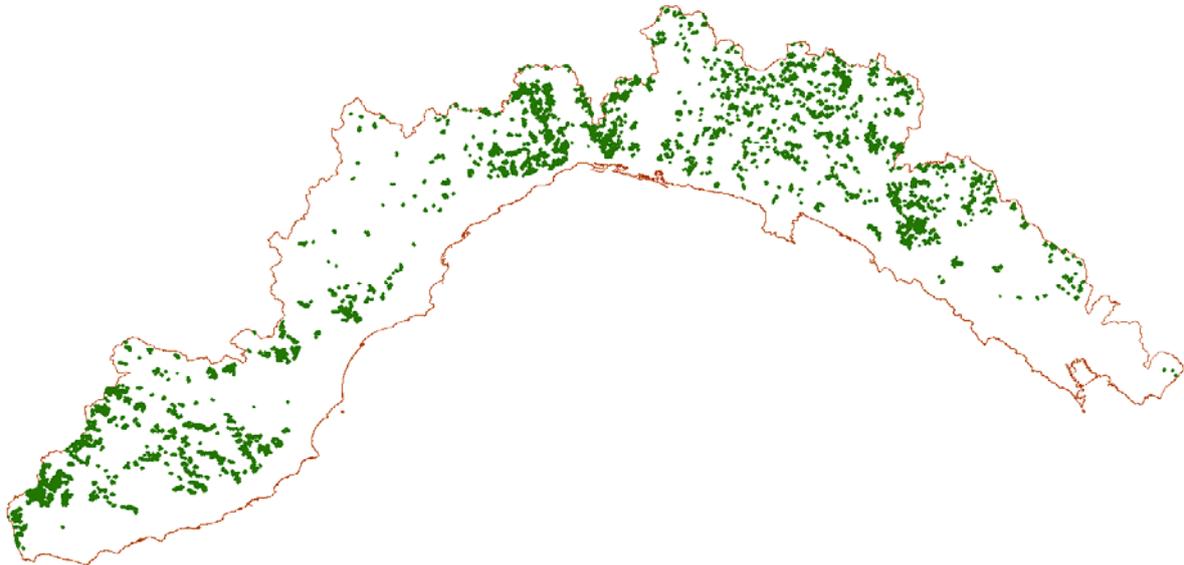
RI - RIMBOSCHIMENTI



MM - ARBUSTETI E MACCHIE TERMOMEDITERRANEE



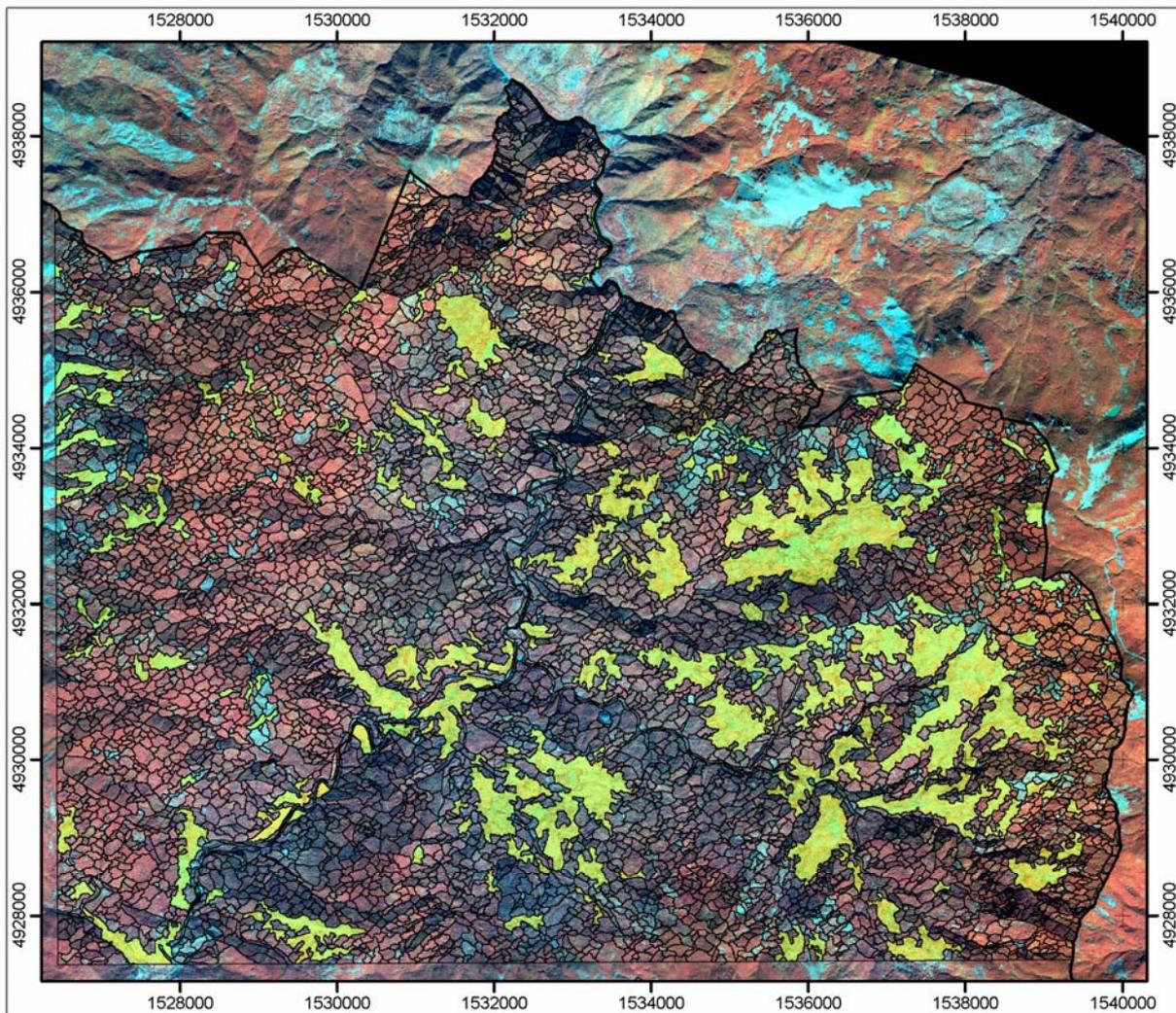
AM - ARBUSTETI COLLINARI, MONTANI E SUBALPINI



9.2. Figure delle elaborazioni mediante segmentazione ad oggetti

Rappresentazione degli oggetti prodotti con la segmentazione. In giallo le aree non forestali.

Sullo sfondo l'immagine Quickbird, nella composizione NIR,Green,Blue

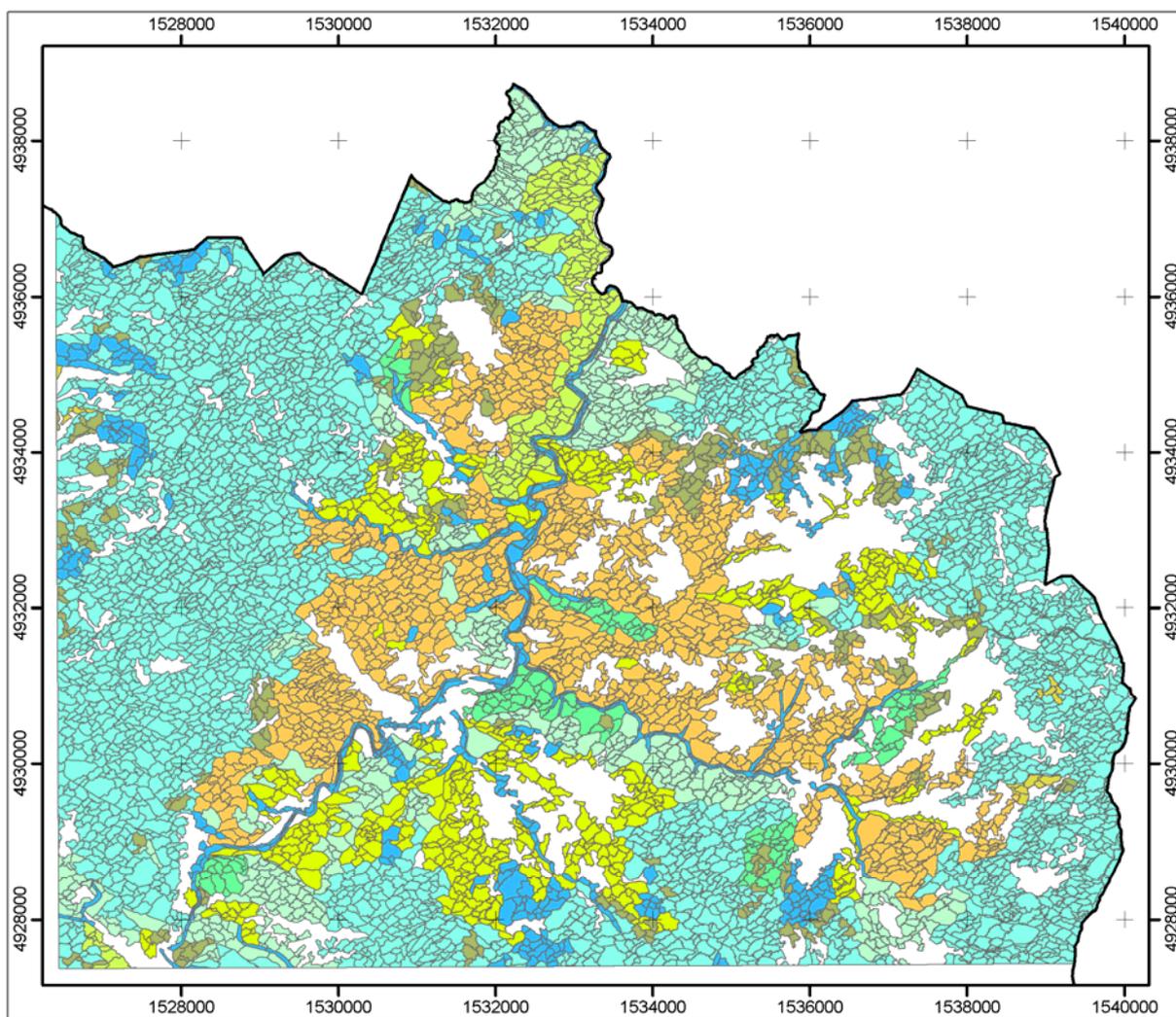


Tematizzazione del campo COD_VAR indicativo dei Tipi Forestali, contenente informazioni su Sottotipo e Variante

Nella figura le classi sono raggruppate per categoria per una più semplice lettura generale.

Tipi Forestali, raggruppati per categoria

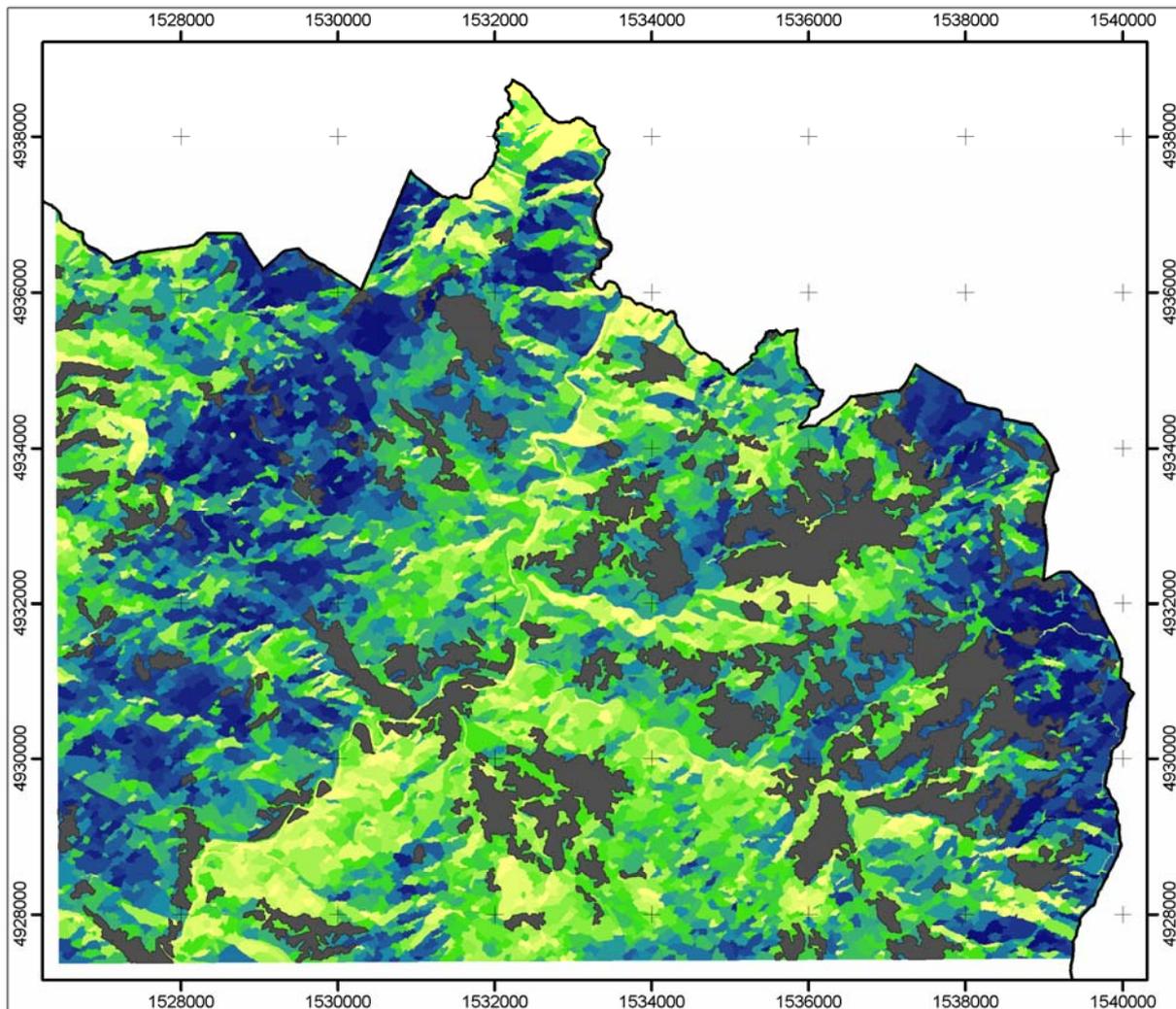
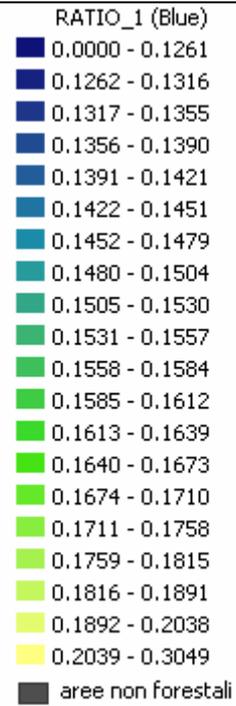
- NA - aree non forestale
- AM - arbusteti e macchie termomediterranee
- BS - boscaglie pioniere d'invasione
- CA - castagneti
- CE - cerrete
- CP - cespuglieti
- FA - faggete
- FR - formazioni riparie
- LM - boschi di latifoglie mesofile
- OS - orno-ostrieti
- RI - rimboschimenti



rapporto banda 1 (Blue)

(rapporto tra il valore medio dei pixel della banda iesima per ogni oggetto e la somma dei valori medi di tutte le bande per lo stesso oggetto)

level slicing mediante quantili per 20 classi

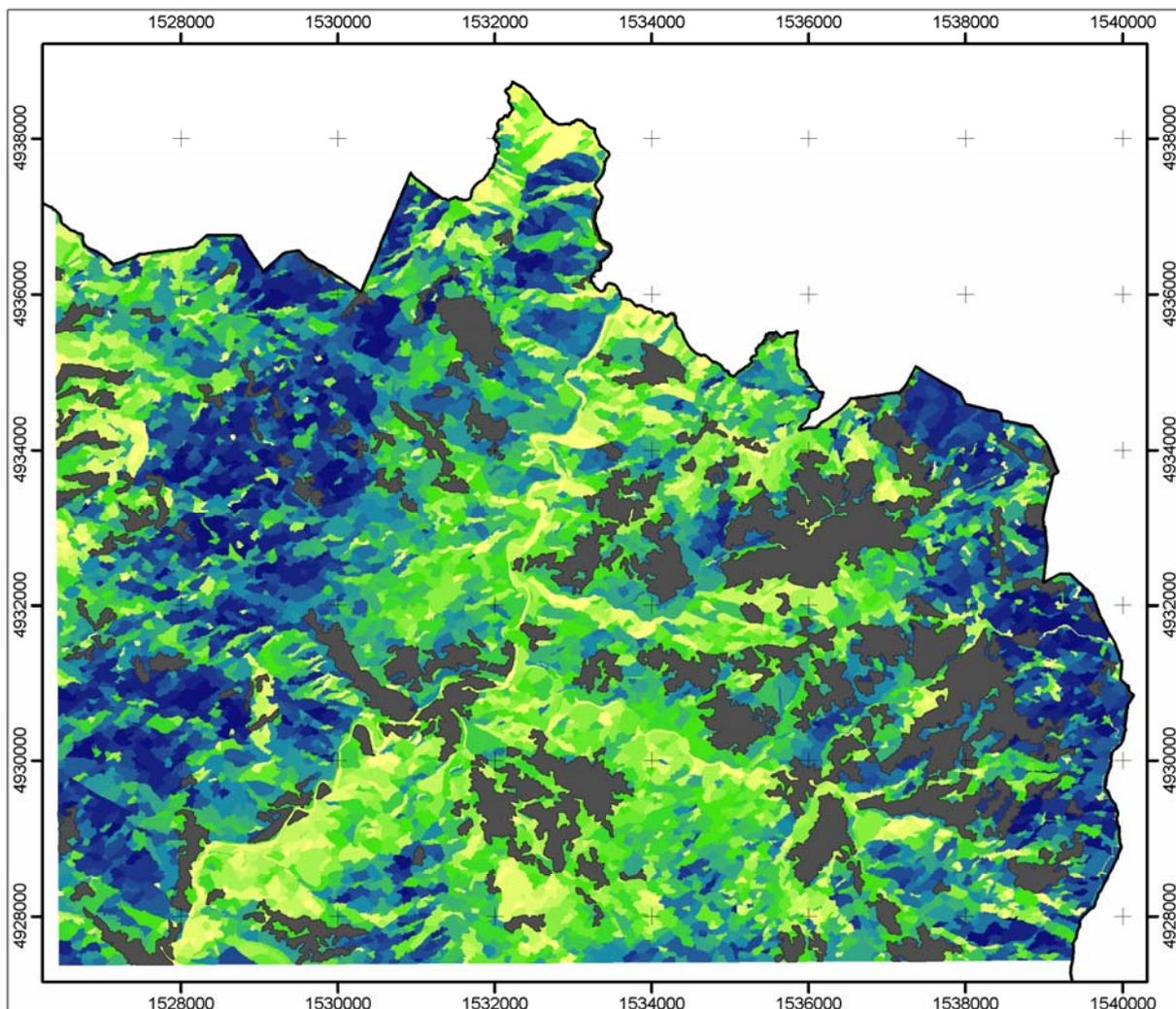
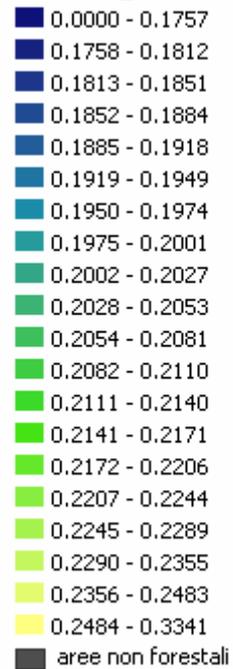


rapporto banda 2 (Green)

(rapporto tra il valore medio dei pixel della banda iesima per ogni oggetto e la somma dei valori medi di tutte le bande per lo stesso oggetto)

level slicing mediante quantili per 20 classi

RATIO_2 (Green)



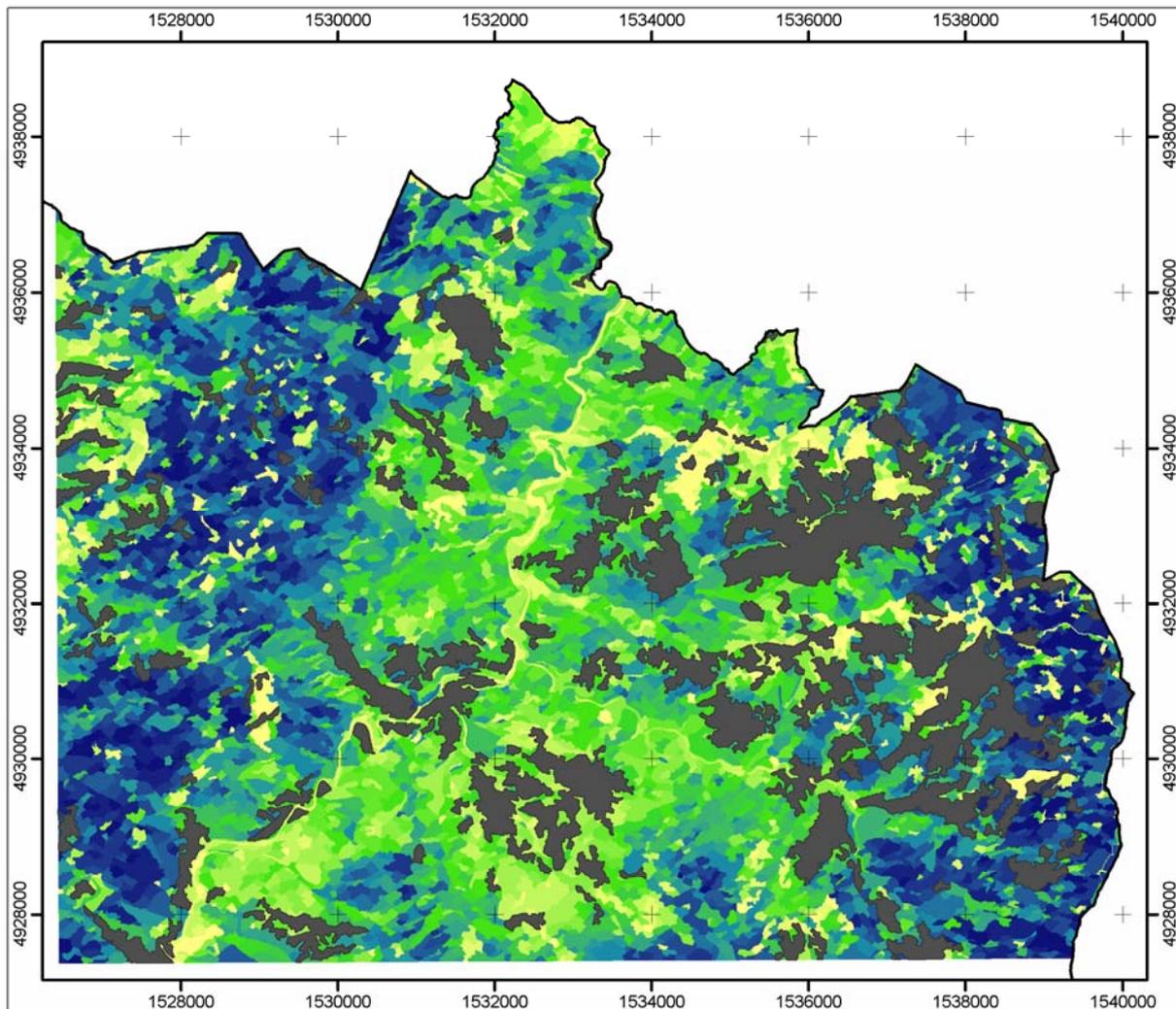
rapporto banda 3 (Red)

(rapporto tra il valore medio dei pixel della banda iesima per ogni oggetto e la somma dei valori medi di tutte le bande per lo stesso oggetto)

level slicing mediante quantili per 20 classi

RATIO_3 (Red)

- 0.0000 - 0.0866
- 0.0867 - 0.0895
- 0.0896 - 0.0915
- 0.0916 - 0.0931
- 0.0932 - 0.0950
- 0.0951 - 0.0964
- 0.0965 - 0.0978
- 0.0979 - 0.0993
- 0.0994 - 0.1006
- 0.1007 - 0.1020
- 0.1021 - 0.1034
- 0.1035 - 0.1046
- 0.1047 - 0.1062
- 0.1063 - 0.1079
- 0.1080 - 0.1100
- 0.1101 - 0.1125
- 0.1126 - 0.1158
- 0.1159 - 0.1212
- 0.1213 - 0.1337
- 0.1338 - 0.2058
- aree non forestali

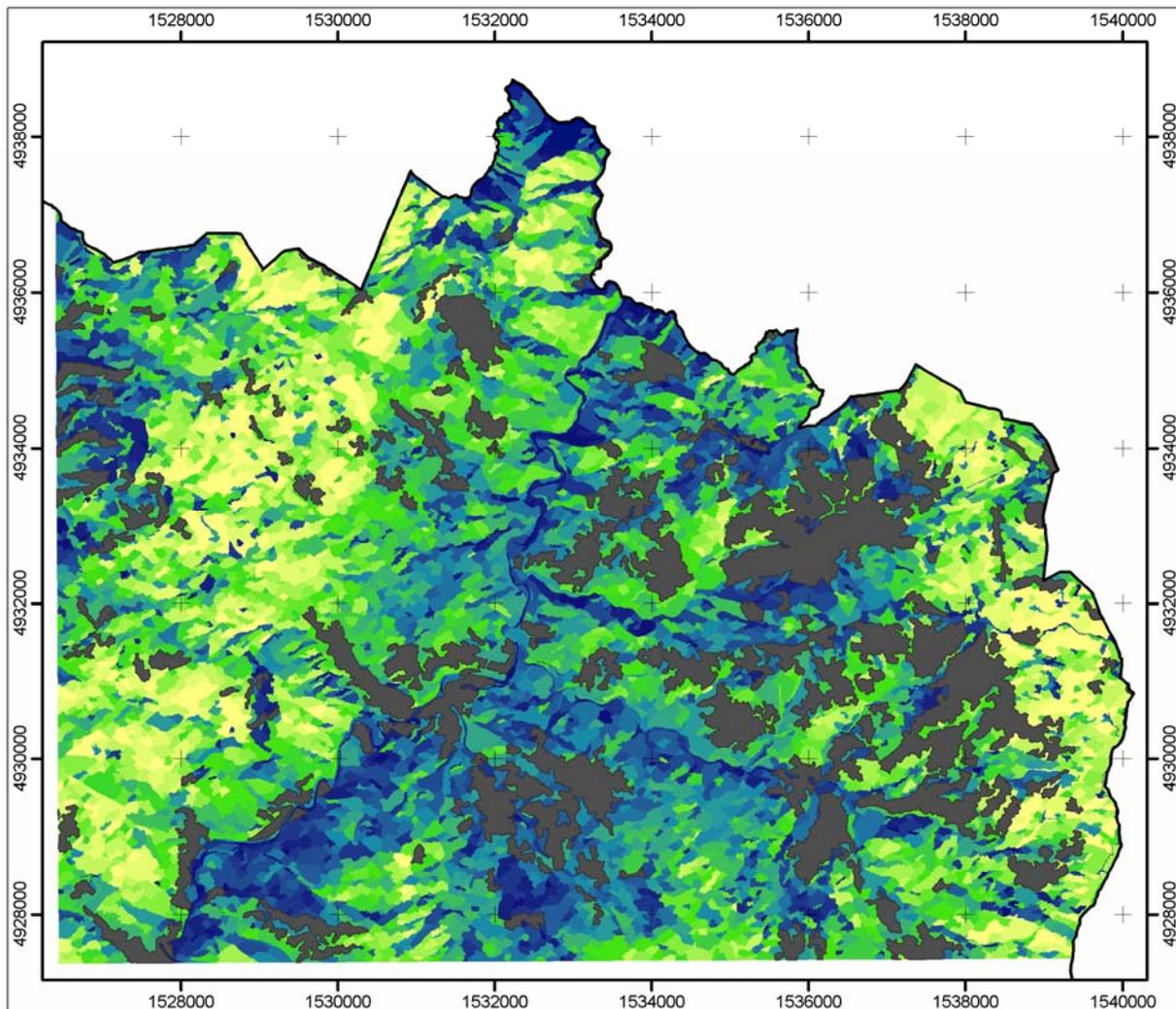
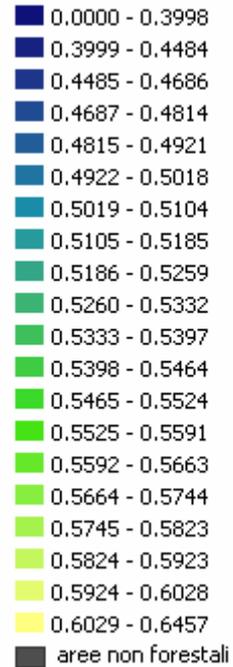


rapporto banda 4 (NIR)

(rapporto tra il valore medio dei pixel della banda iesima per ogni oggetto e la somma dei valori medi di tutte le bande per lo stesso oggetto)

level slicing mediante quantili per 20 classi

RATIO_4 (NIR)

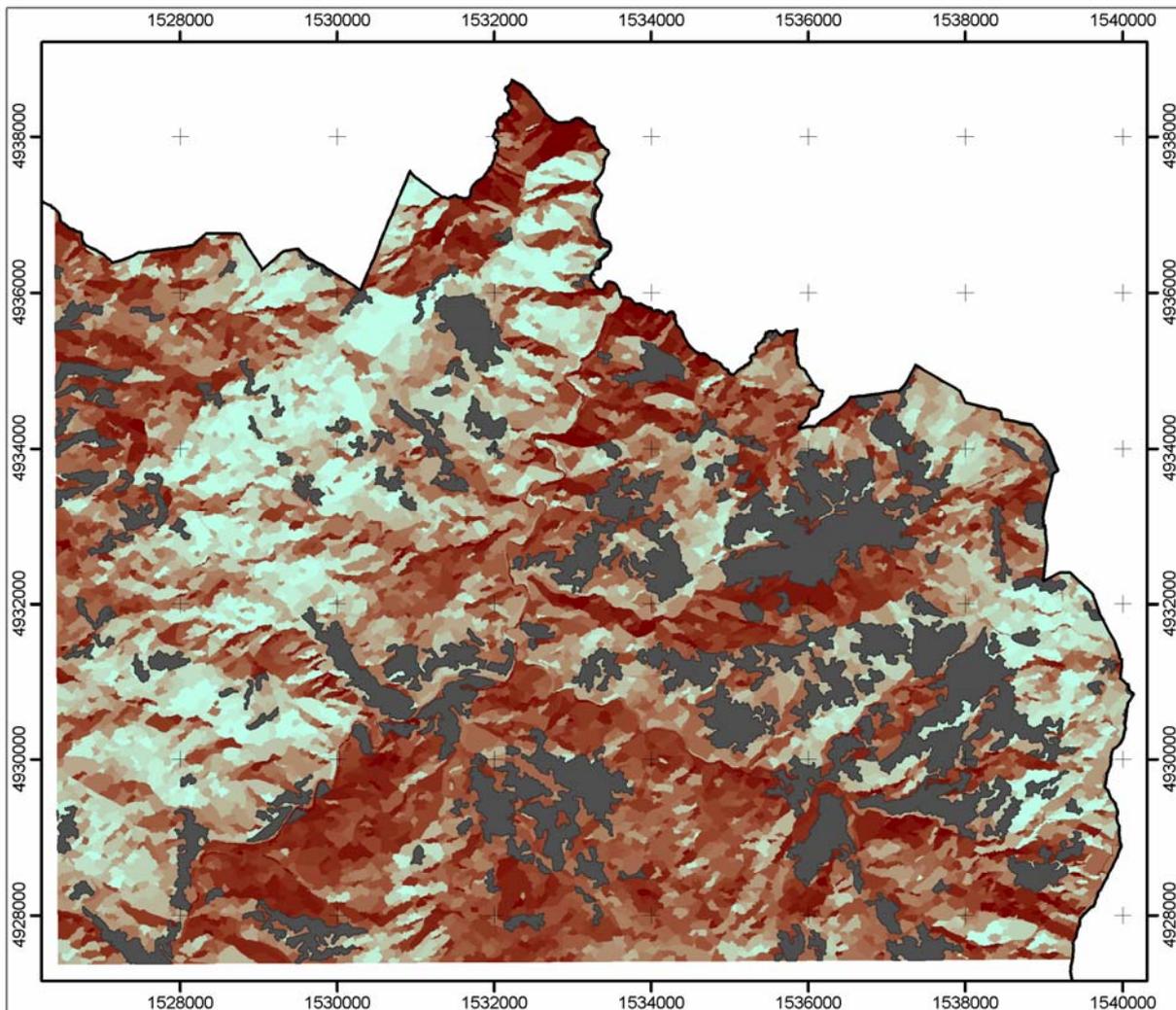
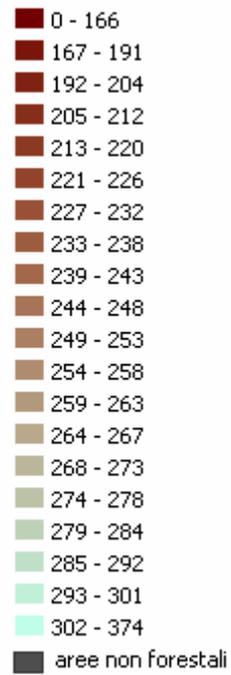


Brightness

(la somma dei valori medi dei pixel della banda
 iesima per ogni oggetto, rapportato al numero di
 bande considerate)

level slicing mediante quantili per 20 classi

BRIGHTNESS



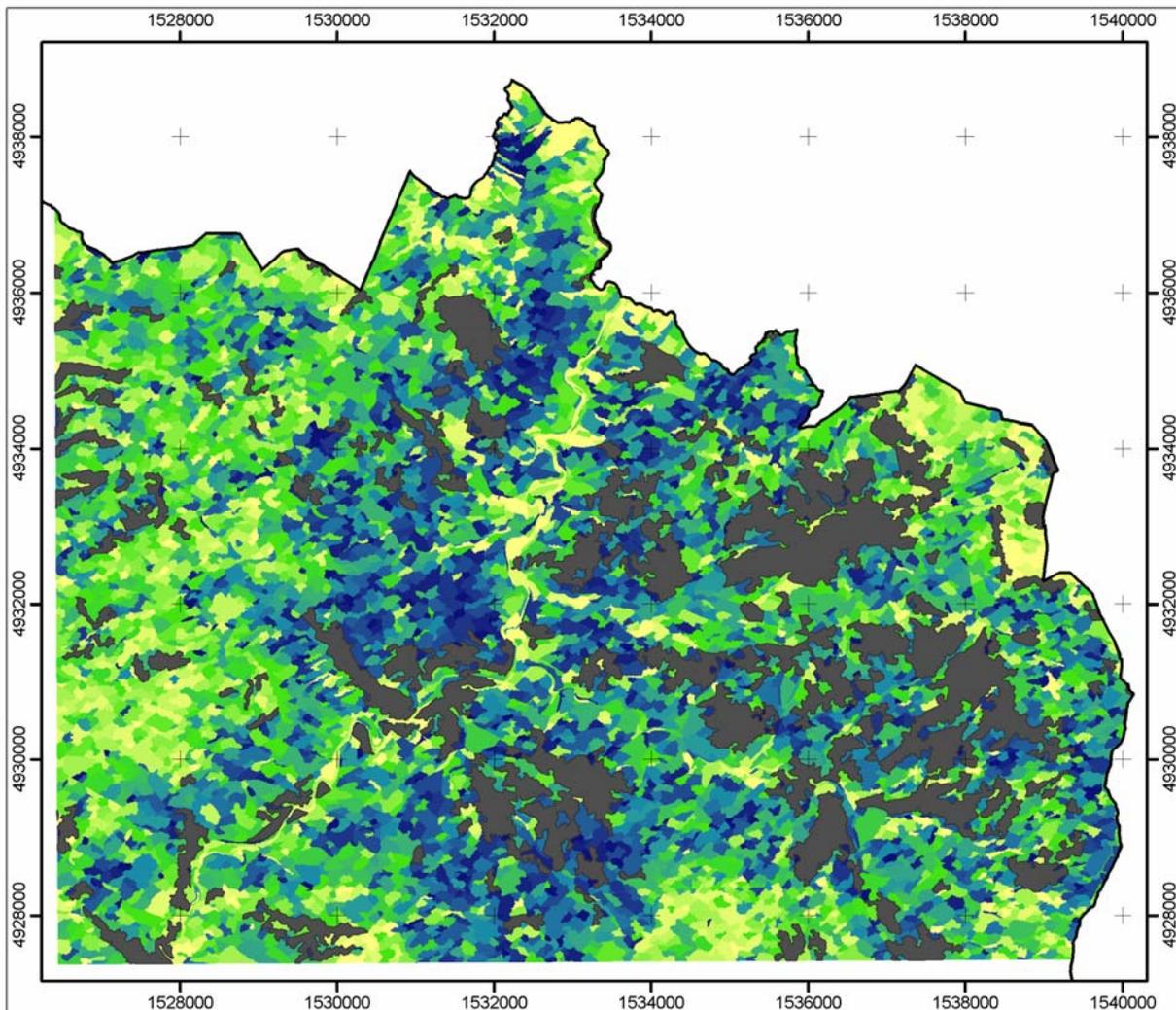
Omogeneità tessiturale - GLCM_H

"Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM)" è l'analisi di quanto spesso differenti combinazioni di livelli di grigio ricorrono in una immagine. Questa analisi consente la definizione di una serie di indicatori di tessitura. Tra questi il parametro "Homogeneity" (GLCM_H), inverso di "Contrast" enfatizza l'assenza di differenze tra toni di grigio dei vari layer per tutte le direzioni

level slicing mediante quantili per 20 classi

omogeneità - GLCM_H

- 0.0000 - 0.0361
- 0.0362 - 0.0389
- 0.0390 - 0.0406
- 0.0407 - 0.0420
- 0.0421 - 0.0433
- 0.0434 - 0.0445
- 0.0446 - 0.0457
- 0.0458 - 0.0468
- 0.0469 - 0.0480
- 0.0481 - 0.0493
- 0.0494 - 0.0506
- 0.0507 - 0.0520
- 0.0521 - 0.0536
- 0.0537 - 0.0555
- 0.0556 - 0.0575
- 0.0576 - 0.0602
- 0.0603 - 0.0637
- 0.0638 - 0.0684
- 0.0685 - 0.0786
- 0.0787 - 0.4455
- aree non forestali

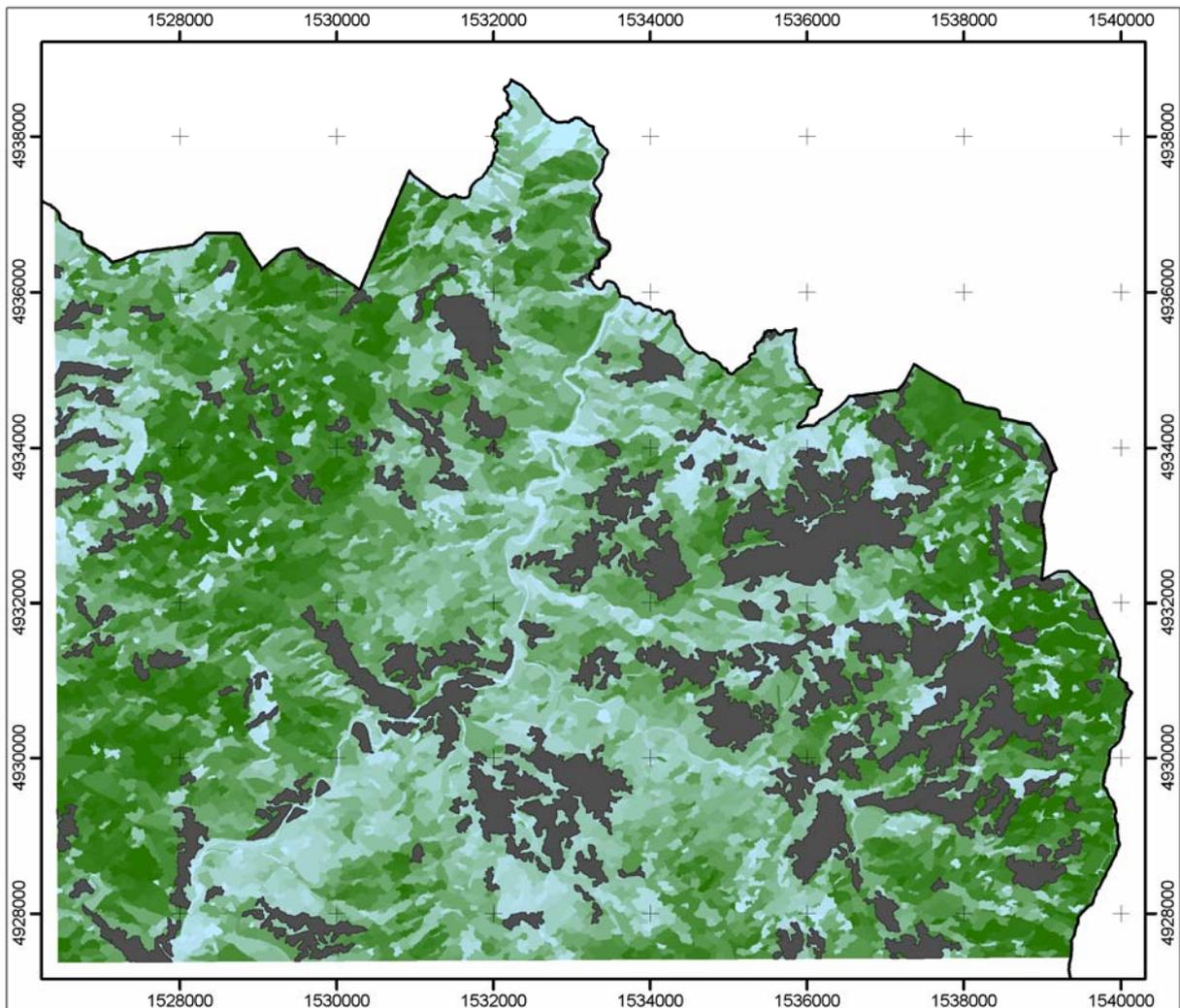


Indice di vegetazione NDVI

level slicing mediante quantili per 20 classi

NDVI

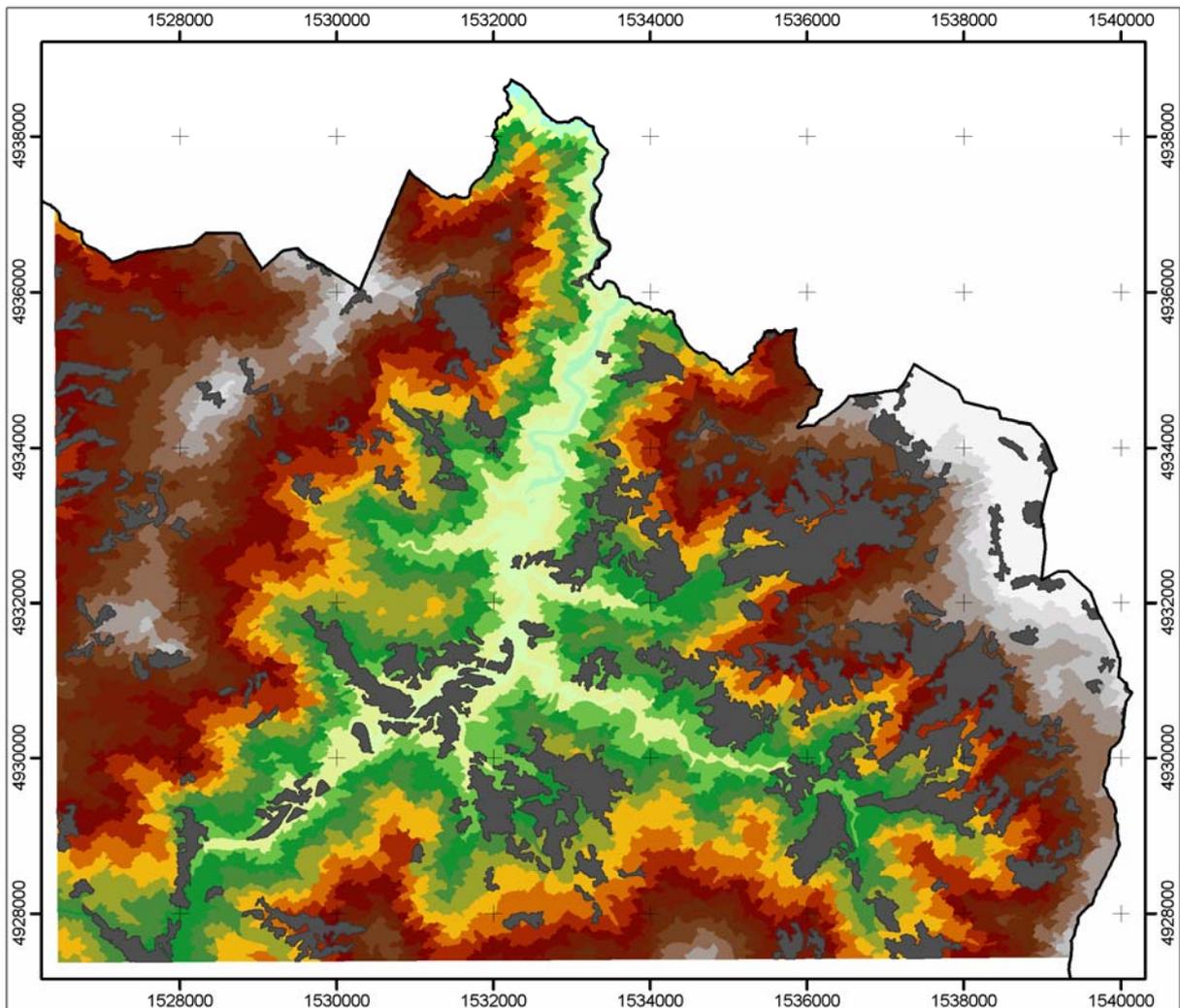
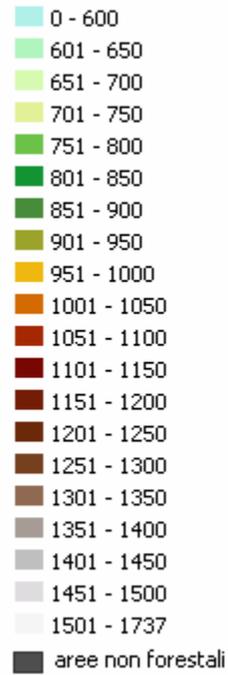
- 0.000 - 0.496
- 0.497 - 0.564
- 0.565 - 0.595
- 0.596 - 0.618
- 0.619 - 0.631
- 0.632 - 0.643
- 0.644 - 0.653
- 0.654 - 0.662
- 0.663 - 0.670
- 0.671 - 0.677
- 0.678 - 0.683
- 0.684 - 0.690
- 0.691 - 0.696
- 0.697 - 0.703
- 0.704 - 0.710
- 0.711 - 0.718
- 0.719 - 0.726
- 0.727 - 0.734
- 0.735 - 0.744
- 0.745 - 0.783
- aree non forestali



quota media degli oggetti

level slicing per fasce altimetriche definite

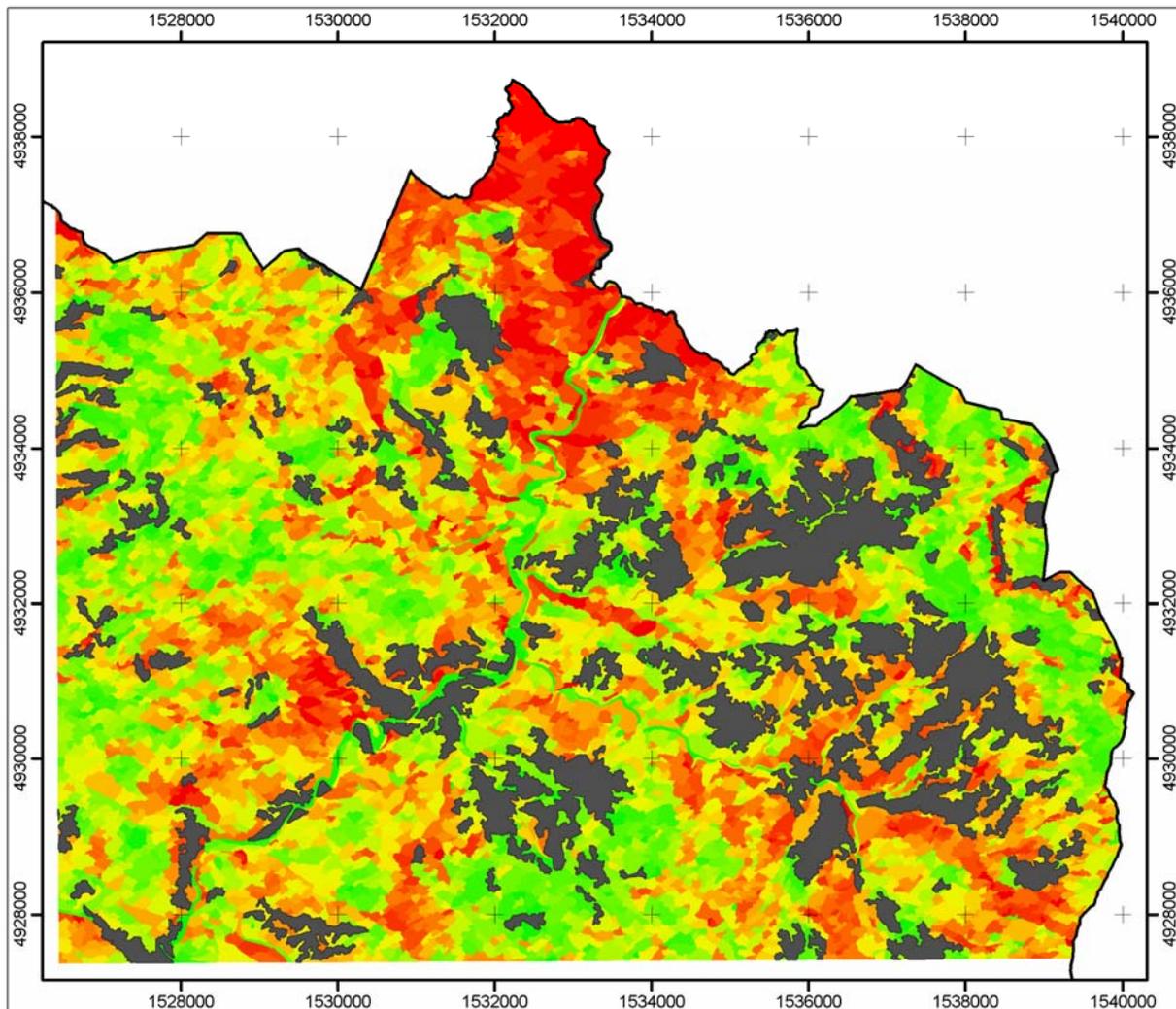
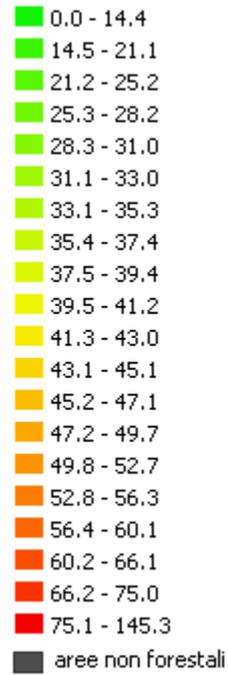
quota m slm



pendenza percentuale media

level slicing mediante quantili per 20 classi

pendenza % media



esposizione prevalente

suddivisione in 16 angoli

esposizione

- aree pianeggianti
- N
- NNE
- NE
- ENE
- E
- ESE
- SE
- SSE
- S
- SSW
- SW
- WSW
- W
- WNW
- NW
- NNW
- aree non forestali

