

Integrazione di immagini multitemporali aeree e satellitari per lo studio del pattern della vegetazione nell'Appennino: un caso di studio

Gabriele BITELLI(*), Carlo FERRARI (**), Valentina GIRELLI (*), Luca GUSELLA (*),
Alessandro MOGNOL (*), Giovanna PEZZI (**)

(*) DISTART - Università di Bologna, (*gabriele.bitelli, valentina.girelli, luca.gusella, alessandro.mognol*)@mail.ing.unibo.it;

(**) BES - Università di Bologna, (*carlo.ferrari, giovanna.pezzi2*)@unibo.it

Riassunto

I dati aerofotogrammetrici sono da tempo utilizzati nello studio delle problematiche legate all'ambiente; tra le possibili applicazioni vi è lo studio della dinamica evolutiva del territorio in campo biologico, con interessanti ricadute non solo per le ricerche di settore ma anche, in alcuni casi, per ricerche multidisciplinari che coinvolgono le scienze economiche e sociali.

L'analisi e l'interpretazione di una stessa porzione di territorio, rappresentata su fotogrammi acquisiti in epoche diverse, possono diventare un utile strumento per valutare le diverse fasi evolutive che lo hanno caratterizzato, dovute a processi di tipo naturale o antropico. Lo sviluppo tecnologico ha affiancato alla fotogrammetria classica strumenti di analisi digitale dei fotogrammi in formato numerico, aumentando enormemente le potenzialità di questo mezzo nell'indagine territoriale.

La disponibilità di immagini satellitari, anche ad alta ed altissima risoluzione, rappresenta una nuova opportunità, alternativa o meglio complementare alla fotogrammetria, unendo alle possibilità di indagine offerte dalle immagini nel campo del visibile anche le potenzialità derivanti da dati multispettrali e iperspettrali. Il dato fotogrammetrico rimane in ogni caso una fonte fondamentale, considerando l'immenso patrimonio storico disponibile per ampie aree del nostro Paese.

Il lavoro intende verificare sul caso studio Prado-Cusna come l'integrazione fra queste tipologie di dati, in ambiente GIS e di elaborazione di immagini, possa supportare l'analisi delle dinamiche di sviluppo del territorio. Nello specifico, sono state utilizzate prese aeree storiche e ortofoto digitali attuali per lo studio della variazione del limite superiore del bosco negli ultimi cinquant'anni, e immagini satellitari a media-alta risoluzione insieme a ortofoto a colori per il riconoscimento delle coperture vegetali. Nel primo caso si è ricorsi a metodologie di fotointerpretazione aerea, nel secondo a software di telerilevamento basato sia su procedure di classificazione *object-based* che *pixel-based*

Abstract

Analysis of photogrammetric and remote sensing multitemporal data represents a useful instrument for studying changes in natural environments. This work reports the results of a methodology based on use of digital aerial images and classification of aerial and satellite data with two different approaches: pixel and object based classification.

1. Introduzione

Fin dal secolo scorso, l'uso di immagini aeree ha reso possibile l'osservazione e l'interpretazione di vaste porzioni della superficie terrestre; inoltre la raccolta di informazioni e dati in periodi differenti è diventata uno strumento vitale per il monitoraggio delle condizioni dei diversi habitat naturali.

Nel corso dei decenni, lo sviluppo tecnologico nelle metodologie di aerofotogrammetria ha portato alla realizzazione di prodotti di qualità sempre migliore. La possibilità di conversione in forma digitale del vasto patrimonio di fotogrammi storici disponibile nel nostro Paese accresce in modo significativo la quantità e varietà di dati utilizzabili nell'analisi dell'evoluzione del territorio all'interno dei moderni sistemi informativi geografici, che possono integrare tra loro tipologie diverse di informazioni georeferenziate. E' dunque possibile effettuare studi che abbracciano intervalli temporali molto ampi e che si avvalgono delle potenzialità offerte dagli strumenti più moderni; un interessante campo applicativo è offerto senza dubbio dalle discipline della biologia che si occupano delle variazioni dinamiche del territorio, ed in particolare della vegetazione.

Accanto ai dati di origine fotogrammetrica, possono giocare oggi un ruolo essenziale quelli derivanti dallo sviluppo delle tecnologie satellitari, basate su sensori multi- e iper-spetttrali, con risoluzione geometrica e radiometrica diversa nelle varie piattaforme, operanti anche su zone dello spettro elettromagnetico diverse dal campo del visibile. Il telerilevamento offre quindi, oltre ai benefici di una grande copertura spaziale, quelli della multispettralità con le possibilità che essa offre per la classificazione automatica o semi-automatica del territorio e della copertura vegetale; la recente disponibilità di immagini satellitari ad alta ed altissima risoluzione consente infine di arrivare al livello di dettaglio del singolo albero o delle strutture minori.

L'integrazione di tali dati in un sistema GIS può permettere la realizzazione di studi rigorosi basati su prodotti ad elevata valenza metrica con la ricchezza informativa propria delle immagini, da sempre utilizzata nei lavori di fotointerpretazione sulla vegetazione e sul territorio in senso lato.

Il presente lavoro vuole appunto mettere in luce, su un caso di studio reale, l'importanza sempre maggiore che in ambito forestale sta acquisendo l'uso integrato delle tecniche di aerofotogrammetria e di telerilevamento, soprattutto quando si opera su zone molto estese, magari di difficile accessibilità e per le quali l'impiego di tecniche classiche di rilievo richiederebbe una spesa troppo elevata sia in termini di denaro che di tempo. In un ambiente GIS è poi possibile ricavare da tutti questi dati in tempi stretti prodotti di tipo immagine a base metrica, utilizzabili, ad esempio, per l'aggiornamento della cartografia esistente o la produzione di nuova cartografia.

2. Caso di studio, materiale disponibile e sperimentazione condotta

Il caso di studio esaminato è rappresentato dal territorio del gruppo montuoso Prado-Cusna (Reggio Emilia) nel Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano che raccoglie, in un'unica grande area protetta, alcune fra le cime più alte dell' Appennino settentrionale.

Questo è il caso dei Monti Cusna (2120 m) e Prado (2054 m). Il Monte Cusna, in particolare, si erge ad una quota di 2120 m su una dorsale quasi parallela alla linea del crinale principale (figura 1).

La valenza biologica del gruppo è tale che il territorio è stato compreso in 4 Siti di Interesse Comunitario (SIC): IT4030004; IT4030006; IT4030005; IT5120002.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Localizzazione del gruppo montuoso Prado - Cusna nell'Appennino settentrionale; (b) il versante meridionale del Monte Cusna.

L'area di studio ha un'estensione di 4200 ha circa ed un ambito altitudinale compreso tra i 1500 e i 2120 m. All'interno di quest'area è possibile definire la quota del limite altitudinale superiore (*timberline*) di distribuzione del bosco di faggio (*Fagus sylvatica*). Il limite si presenta generalmente netto (Holtmeier, 2003), ma si possono osservare individui isolati e/o in piccoli gruppi il cui habitus è determinato dagli agenti atmosferici e secondariamente dai morsi di animali. Al di sopra di questo limite le formazioni più diffuse sono rappresentate da brughiere a mirtillo (*V. gaultherioides* e *Vaccinium myrtillus*) e da praterie a *Brachypodium genuense* e *Nardus stricta*, per lo più di origine secondaria.

Il materiale utilizzato per questo primo studio è stato il seguente:

- fotogrammi aerei in bianco e nero della zona oggetto di studio in scala 1:62000 realizzati nel luglio e ottobre del 1954 (Volo GAI). I fotogrammi, opportunamente ortorettificati, sono stati utilizzati come punto di partenza per l'analisi multitemporale;
- carta della vegetazione dell'alto Appennino Reggiano in scala 1:25000 in formato vettoriale (Ferrari et al., 2004). La carta è servita come base per la definizione dei *training sites* necessari per le operazioni di classificazione delle immagini;
- Cartografia Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:5000 della Regione Emilia – Romagna in formato raster, con curve di livello in formato vettoriale (shapefile). La CTR è stata utilizzata per la creazione del *DTM* dell'area di interesse, con passo 15m, a partire dalle curve di livello ad interdistanza di 5m;
- ortofotogrammi a colori (pixel 1m) della zona di interesse realizzati nel 2000 (volo IT2000), utilizzati come dato aggiornato di confronto nell'analisi multitemporale;
- immagini satellitari Landsat TM (pixel 28m) del 1991.

La mancanza di dati di rilevante importanza, primo fra tutti il certificato di calibrazione della camera usata per i vecchi fotogrammi del 1954, nonché la scarsa qualità dei fotogrammi stessi, hanno notevolmente complicato la procedura di ortorettifica. Sono disponibili altre immagini relative ad una data intermedia, ma non sono state trattate nell'ambito di questo primo lavoro.

La sperimentazione relativa alle immagini di più vecchia data (1954) ha seguito le seguenti fasi:

1. digitalizzazione dei fotogrammi (figura 2): i fotogrammi sono stati scansionati con scanner desktop piano formato A3 ad una risoluzione di 800 dpi, e gli errori di scansione (deformazioni locali o globali) corretti mediante software SV-Scan;

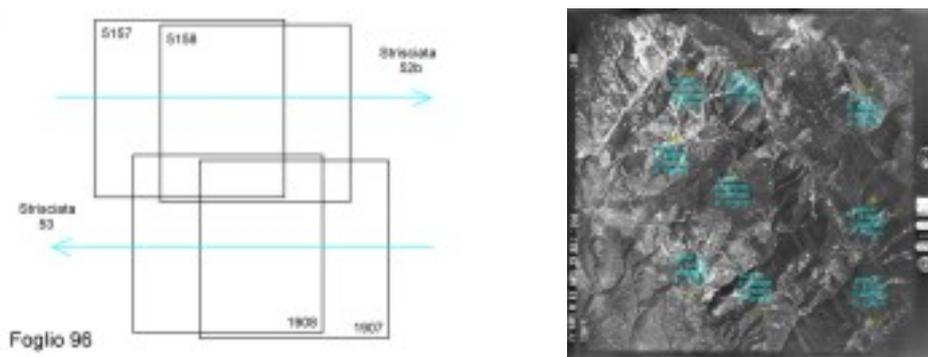


Figura 2: a sinistra, schema delle strisciate e disposizione relativa dei fotogrammi sul foglio 96; a destra, esempio dei punti di appoggio individuati sul fotogramma 1907.

2. individuazione dei Ground Control Point (GCP) per l'orientamento esterno dei fotogrammi mediante l'uso di ortofoto a colori georeferenziate nel sistema UTM–WGS84 realizzate nel 2000 durante il Volo Italia dalla Compagnia Generale Riprese Aeree; da esse sono state ricavate le coordinate planimetriche di punti che si possono presumere invariati, preliminarmente prescelti sui fotogrammi del 1954;

3. orientamento dei fotogrammi tramite software di fotogrammetria digitale *Socet-Set v.5.1* sviluppato da Bae System;
4. produzione dell'ortofotogramma finale, implementando come informazione di tipo altimetrico il *DTM (Digital Terrain Model)* della zona di interesse, con passo 15m, determinato per interpolazione lineare delle curve di livello, con equidistanza 5 metri, fornite su uno *shapefile* e ricavate dalla CTR a disposizione;
5. mosaicatura dei singoli ortofotogrammi (figura 3), adottando come sistema cartografico l'UTM-ED50 nel fuso 32.

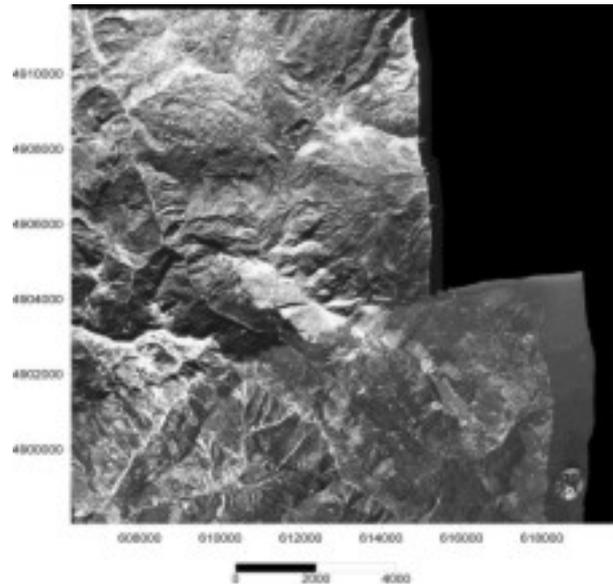


Figura 3: Ortofotogramma mosaicato derivato dal volo del 1954

L'immagine finale ottenuta, generata mediante ricampionamento bilineare effettuato in un'unica fase di orientamento e mosaicatura, è caratterizzata da una dimensione del pixel a terra (*GSD*) pari a 2 metri.

Il dato del 1954 è stato confrontato con il recente dato aerofotogrammetrico del 2000, disponibile in forma di ortofoto a colori, per valutare eventuali variazioni del limite del bosco. Inoltre, sono state condotte alcune prove di classificazione di immagini telerilevate Landsat, adottando due diversi approcci, al fine di delineare i diversi tipi di vegetazione presenti.

3. Pattern temporale del limite del bosco

La linea rossa di figura 4 mostra il limite del bosco nel 1954 (a) e nel 2000 (b). Si può notare come non ci sia una significativa variazione dell'andamento nell'arco di tempo considerato.

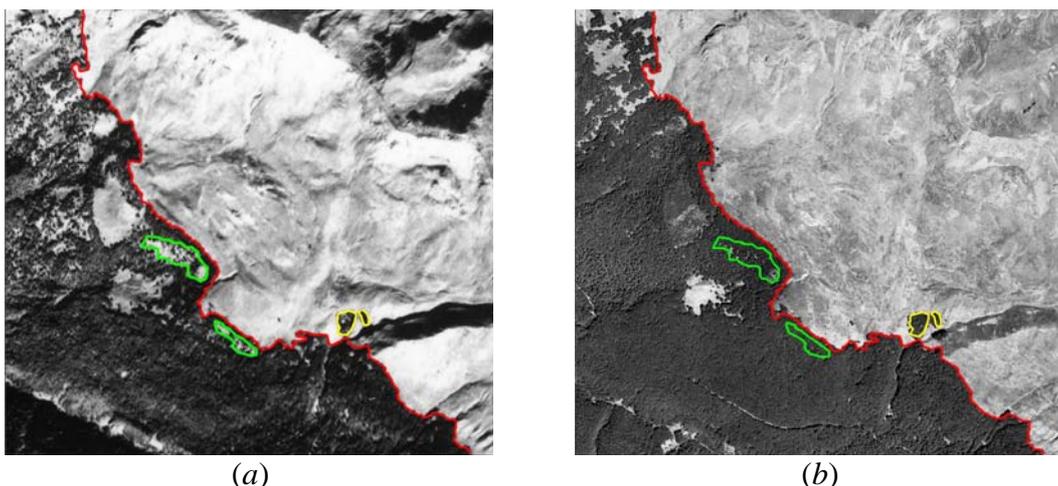


Figura 4: confronto su un'area campione fra le ortofoto del 1954 (a) e del 2000 (b). In rosso = limite del bosco, verde = aree in progressiva riforestazione, giallo = gruppi di faggi isolati.

Questa apparente stabilità del limite dovrà essere verificata con documenti fotografici ad una risoluzione maggiore rispetto a quella dei fotogrammi del Volo GAI che comunque rappresentano un documento imprescindibile per ogni considerazione storica in ambito territoriale, essendo il primo volo che ha coperto tutto il territorio italiano.

Variazioni più sostanziali si rilevano subito al di sotto di tale limite dove si verifica una generale ricolonizzazione della vegetazione arborea. Sembra che il limite del bosco sia stato mantenuto dall'uomo fino a qualche decennio fa come fascia-confine fra la parte superiore pascolata e il bosco gestito prevalentemente a ceduo.

4. Classificazione delle coperture vegetali

Sono stati studiati due diversi approcci per l'analisi delle coperture: una classificazione *object-based* e una più "classica" *pixel-based*, provate sia su immagini Landsat TM, a bassa risoluzione geometrica (28 metri), del 1991, che su ortofoto del volo fotogrammetrico IT2000 a colori, ad alta risoluzione (1 metro). Per la classificazione supervisionata si è utilizzata la carta della vegetazione, di cui si presenta un estratto in figura 5.

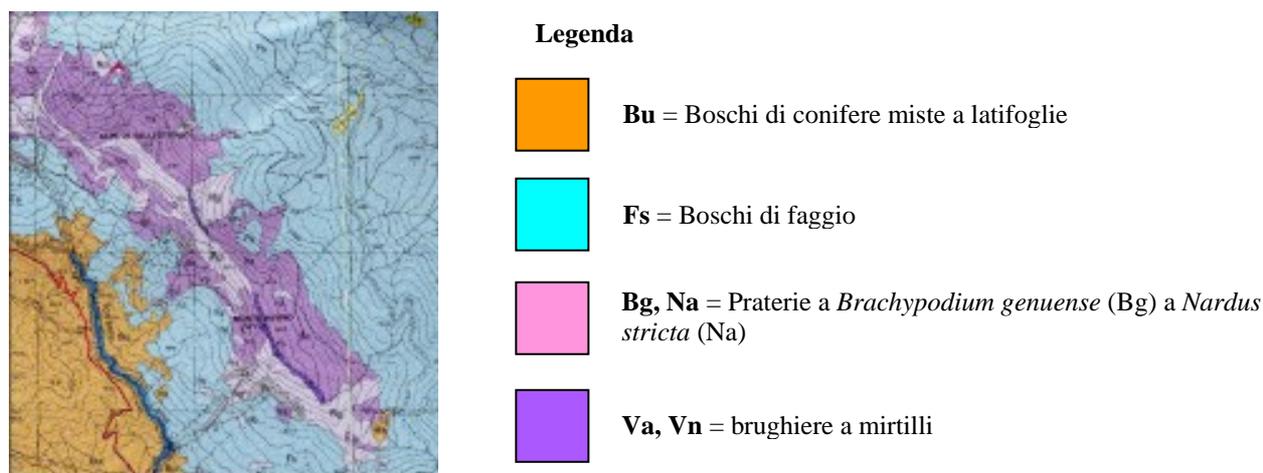
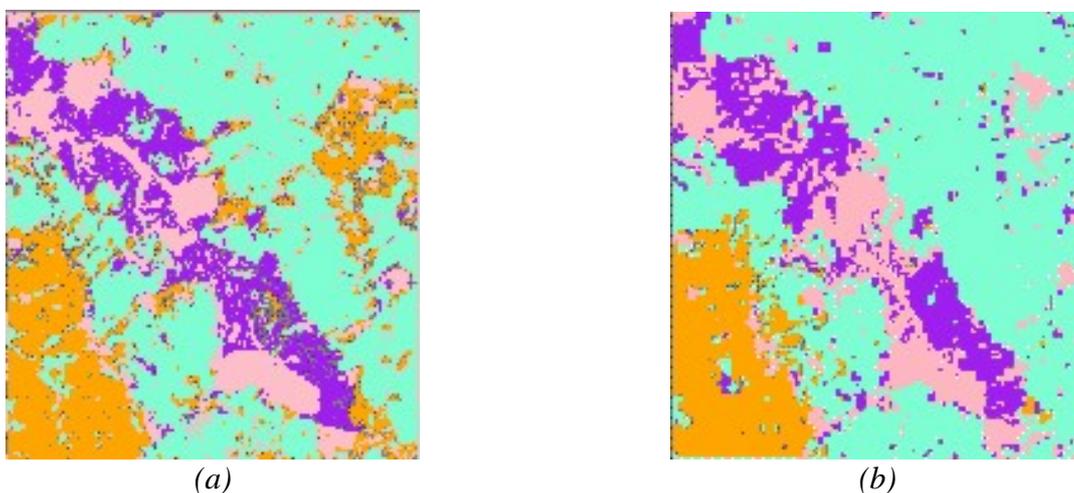


Figura 5: Carta della Vegetazione 1: 25 000 (Ferrari et al., 2004).

Per l'approccio *pixel-based*, l'elaborazione è stata condotta con il software Erdas Imagine Pro di Leica, per quello *object based* con il software eCognition, di eDefiniens Imaging.

Insieme al dato fotografico o multispettrale si sono utilizzati come dati di input anche l'indice di vegetazione NDVI (per separare le aree vegetate da quelle non-vegetate) e lo "shaded relief", ricavati rispettivamente dalle immagini Landsat TM e dal DTM.

Nella figura 6 si mostrano i risultati ottenuti con i due metodi. Il risultato è stato di un certo interesse, anche se non è stato evidentemente possibile rimuovere tutti i *false alarms* (termine usato per indicare aree classificate in modo errato, per esempio zone non boscate ma classificate come tali, spesso a causa della presenza di zone in ombra).



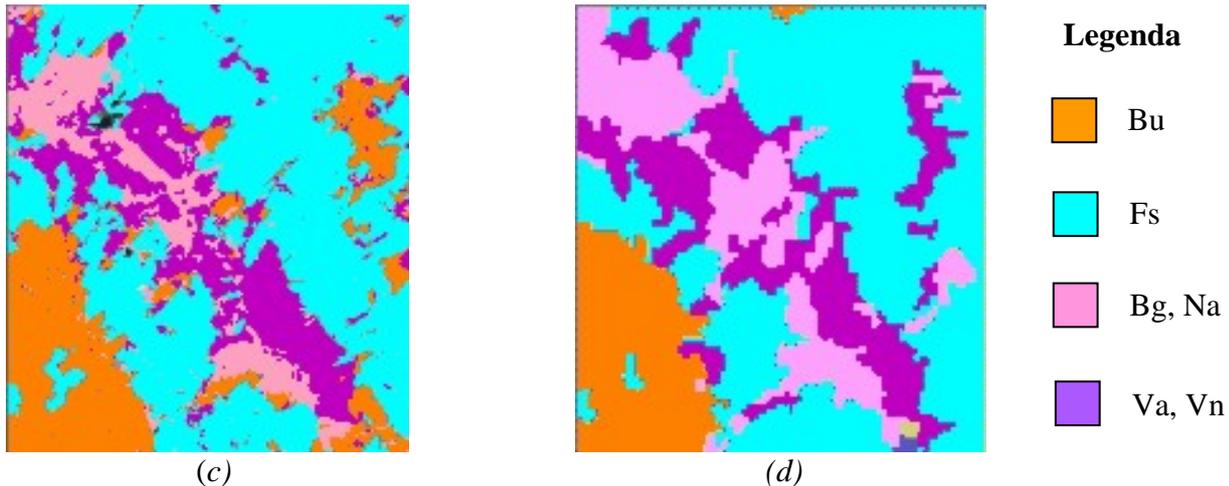


Figura 6: (a) classificazione pixel-based ottenuta dalle ortofoto e (b) da Landsat TM, bande 23457; (c) classificazione object-based ottenuta dalle ortofoto e (d) da Landsat TM, bande 23457. Per il significato delle sigle si veda figura 5.

5. Conclusioni e considerazioni finali

La sperimentazione condotta ha portato a risultati interessanti per quanto riguarda lo studio e il monitoraggio della vegetazione dell'area in esame. Gli strumenti della fotogrammetria digitale hanno permesso l'uso di dati storici digitalizzati per un confronto con immagini recenti al fine di individuare eventuali cambiamenti nel limite del bosco e nelle tipologie di coperture. Si è rilevato che, se da una parte sono preferibili immagini più nadirali possibile per l'applicazione di algoritmi di *change detection*, dall'altra l'interpretazione visuale è semplificata usando immagini non nadirali, che permettono, ad esempio, di riconoscere le altezze degli alberi, la loro tipologia e condizione, analizzando le ombre degli stessi; la presenza di ombre rende tuttavia difficoltosa la definizione di una procedura automatica per la classificazione delle coperture boschive.

Per quanto riguarda la classificazione automatica delle immagini, il confronto con la carta della vegetazione fornisce un buon livello di accuratezza; nella sua valutazione occorre comunque considerare che le immagini usate hanno caratteristiche diverse e appartengono a periodi diversi tra loro e rispetto alla carta di riferimento; sono state inoltre considerate solo 4 classi di coperture che, seppure le più significative per l'area, rappresentano solo una parte di quelle esistenti.

La ricerca sta proseguendo con l'intento di approfondire l'analisi su più aspetti, dall'ampliamento della base dati con fotogrammi aerei di diversa data ed immagini satellitari di altre caratteristiche (ASTER, QuickBird), ad una più rigorosa verifica di accuratezza della classificazione.

Bibliografia

- Bitelli G., Camassi R., Gusella L., Mognol A. (2004), "Image change detection on urban area: the earthquake case". The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX.
- Ferrari C., Buffa G., Poggi G., Zenti S. (2004). *Alto Appennino Reggiano. Carta della Vegetazione con itinerari naturalistici (1: 25 000)*. In: Corticelli S., Garberi M.L., Gavagni A., Guandalini B. (a cura di). Carte della vegetazione e della naturalità dei Parchi Regionali e altre zone. Coperture vettoriali 1:10 000 – 1:25 000. Regione Emilia Romagna, Servizio Sistemi Informativi Geografici.
- Holtmeier F.K. (2003). *Mountain timberlines. Ecology, patchiness and dynamics*. Kluwer Academic Publisher, the Netherlands.
- Paine D.P., Kiser J.D. (2003), *Aerial Photography and Image interpretation*. Ed. John Wiley & Sons, New York.
- Pasimeni E. (2005), "Uso multitemporale di dati aerofotogrammetrici e telerilevati per lo studio dello sviluppo boschivo nell'Appennino emiliano", Tesi di laurea in Ingegneria Civile, DISTART, Università di Bologna.