

Analisi multitemporale del paesaggio forestale della Provincia di Siena mediante l'utilizzo di cartografie storiche

Geri F*, Giordano M, Nucci A, Rocchini D, Chiarucci A

Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Università di Siena, via Mattioli 4, Siena (SI - Italy) - *Corresponding Author: Francesco Geri (francesco.geri@unisi.it).

Abstract: *Multitemporal analysis of forest landscape in the province of Siena (Italy) using historical maps.* The analysis of land use and land cover change has long been a key topic in landscape ecology. In particular, forest fragmentation is known to affect plant species composition and diversity, thus threatening the integrity of forest habitats. In many areas of Mediterranean basin, a particular pattern of land cover change has been reported, consisting in the increasing agriculture use of plain areas and the abandonment of hilly and mountain areas, with these latter undergoing a process of natural forest expansion. The aim of this paper is to examine forest expansion and dynamics over a whole province (Siena) in central of Italy, by comparing historical and recent forest maps. The historical map has been georeferenced and digitized in a GIS environment and classified in 3 forest classes: deciduous, conifer and mixed forests. Image processing techniques and landscape pattern metrics have been applied to quantify the changes in forest cover patterns. Further, standard statistical descriptors have been used to investigate the relationship between land cover changes and topographical factors. The results show that forest expansion resulted in a landscape transformation according to well defined topographic patterns.

Keywords: Landscape, Biodiversity, G.I.S., Map comparison, Forest expansion, Tuscany, Italy.

Received: Oct 10, 2007; Accepted: Feb 25, 2008

Citation: Geri F, Giordano M, Nucci A, Rocchini D, Chiarucci A, 2008. Analisi multitemporale del paesaggio forestale della Provincia di Siena mediante l'utilizzo di cartografie storiche. *Forest@* 5: 82-91 [online: 2008-03-27] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.

Introduzione

I cambiamenti di uso del suolo, ed in particolare i processi di frammentazione delle aree forestali, alterano la composizione specifica e la diversità delle aree naturali, minacciandone la funzionalità ecologica (Brown et al. 2000). La frammentazione forestale viene considerata come uno tra i principali processi antropogenici responsabili del declino globale della biodiversità (Wilcox & Murphy 1985). Il bacino del Mediterraneo, considerato uno dei 4 *hotspots* di biodiversità maggiormente in pericolo (Myers et al. 2000), è interessato da una profonda pressione antropica da centinaia di anni (Covas & Blondel 1998, Lavorel et al. 1998, Vallejo et al. 2005). In Italia, il risultato è che solamente il 4.7 % della vegetazione primaria è rimasta inalterata (Falcucci et al. 2007). Nel corso dell'ultimo cinquantennio i territori appartenenti al bacino del Mediterraneo sono stati caratte-

rizzati da un determinato *pattern* di dinamica del paesaggio: le pianure sono state sempre più utilizzate e trasformate, mentre i versanti montani, in particolare quelli caratterizzati da un'elevata acclività, sono stati progressivamente abbandonati e ricolonizzati spontaneamente dal bosco (Ales et al. 1992, Garcia-Ruiz et al. 1996, Debussche et al. 1999, MacDonald et al. 2000, Santos 2000, Lambin et al. 2003). Richter (1993) riporta come negli ultimi cento anni sono stati abbandonati, o destinati ad altro uso, circa 10000 Km² di superficie agricola. L'abbandono dei coltivi è la conseguenza di cambiamenti socio-economici, come l'impossibilità di estendere la meccanizzazione e intensificare le attività agricole su tutte le superfici. Questo vale soprattutto per le aree agricole marginali, dove la produttività agricola è bassa a causa di fattori ambientali (Rühl et al. 2005). I paesaggi caratterizzati dai terrazzamenti sono partico-

larmente esposti al rischio di essere abbandonati, perché l'agricoltura nei campi terrazzati non può adeguarsi ai processi di intensificazione, in particolare alla meccanizzazione, come avvenuto nelle pianure (Meeus 1993). Spesso, tali dinamiche non vengono considerate in sede di pianificazione del paesaggio e di progettazione di politiche di conservazione delle risorse naturali, che risultano pertanto insufficienti ai fini di una corretta gestione della biodiversità (Ales et al. 1992, Covas & Blondel 1998). È invece opportuno mettere in relazione i cambiamenti del paesaggio occorsi nel lungo periodo con i processi che li hanno determinati al fine di comprendere meglio i meccanismi ecologici alla base dei processi di cambiamento, generare previsioni sui cambiamenti futuri e sui siti maggiormente vulnerabili, elaborare opportune politiche di conservazione (Lambin 1994, Nagendra et al. 2004).

A tal fine può rappresentare una risorsa di indubbia utilità l'analisi del paesaggio forestale attraverso una caratterizzazione di forma, grandezza e organizzazione spaziale delle *patch* forestali (De Blois et al. 2002). Da tale punto di vista, l'analisi multitemporale di foto aeree, con il supporto di immagini telerilevate, datasets storici e strumenti GIS, rappresenta una metodologia di grande potenziale per la ricostruzione della struttura del paesaggio, per il monitoraggio delle trasformazioni, e per identificare *trend* e *pattern* dei cambiamenti (Stoms & Estes 1993, Innes & Koch 1998, Defries & Townshend 1999, Viedma & Melià 1999, Roy & Tomar 2000, Braimoh 2006, Rocchini et al. 2006).

L'obiettivo di questa ricerca è quello di esaminare le modificazioni del paesaggio forestale della Provincia di Siena avvenuto nel corso dell'ultimo secolo, attraverso l'analisi multitemporale di carte tematiche.

Materiali e metodi

Area di studio

L'area oggetto dello studio è rappresentata dall'intero territorio della Provincia di Siena (Toscana, Italia centrale), con una superficie complessiva di circa 3820 km².

Il territorio in esame presenta, sotto l'aspetto morfologico, una notevole variabilità, anche se l'elemento geomorfologico dominante è di tipo "collinare". Infatti nel territorio esaminato solo raramente si assiste ad altitudini che superano i 1000 metri. Spesso tuttavia la morfologia assume in particolari situazioni un carattere profondamente montuoso, con valli incise e rilievi abbastanza elevati.

La temperatura media annua, secondo i rilevamenti effettuati dall'ARSIA nell'arco di un periodo di 10 anni, varia da un minimo medio annuo di 12.9 °C registrato nei pressi di Gaiole in Chianti, ad un massimo medio annuo di 14.3 °C registrato nella stazione di Rosia. Le precipitazioni medie annue ammontano a 738.7 mm, con un picco in autunno pari a 243.2 mm (dati dell'Ufficio Compartmentale di Pisa; serie dal 1951 al 1994).

Attualmente la superficie del territorio della Provincia di Siena è occupata in misura maggiore da coltivazioni di tipo erbaceo (circa il 74% dell'agricoltura nel territorio provinciale) mentre le aree boscate occupano il 34% dell'intero territorio, localizzate prevalentemente in corrispondenza del crinale dei Monti del Chianti, nell'area della Montagnola Senese, e nelle valli del complesso fluviale del Farnarmerse. Le aree boscate sono prevalentemente costituite da cenosi arboree di cerro (*Quercus cerris*) e roverella (*Q. pubescens*), con rilevante presenza di formazioni di sclerofille mediterranee, localizzate prevalentemente nella porzione centro-orientale della Provincia, mentre in corrispondenza dei sistemi montuosi ad altitudine maggiore (ad es., Monte Amiata) si rinvengono formazioni arboree a prevalenza di faggio (*Fagus sylvatica*).

Derivazione delle mappe tematiche

Per poter verificare la dinamica delle formazioni boscate, è stata recuperata dagli archivi del Corpo Forestale dello Stato, una cartografia storica forestale, sviluppata nel 1933 dalla Milizia Forestale Fascista per l'intero territorio della Provincia di Siena, che descrive lo stato della gestione selvicolturale delle foreste della Provincia divisa per tipologie forestali. Le informazioni riportate riguardavano il tipo di bosco (faggete, castagneti, querceti, sughereti e resinose), la forma di governo adottata (ceduo semplice, composto o matricinato, fustaia) e la specie dominante all'interno delle diverse categorie individuate (ad esempio, bosco resinoso a dominanza di pino marittimo). Nessuna informazione era disponibile per quanto riguarda le aree non boscate. Per questo motivo nel presente studio sono stati presi in considerazione i processi di aumento, diminuzione e mantenimento della superficie forestale. La cartografia è stata digitalizzata e georeferenziata nel sistema di riferimento UTM (*datum* Wgs84). Delle diverse tipologie descritte sono state successivamente estratte 3 classi forestali: boschi di latifoglie, boschi di conifere e boschi misti (Fig. 1).

È stata poi acquisita la cartografia dell'uso del suo-

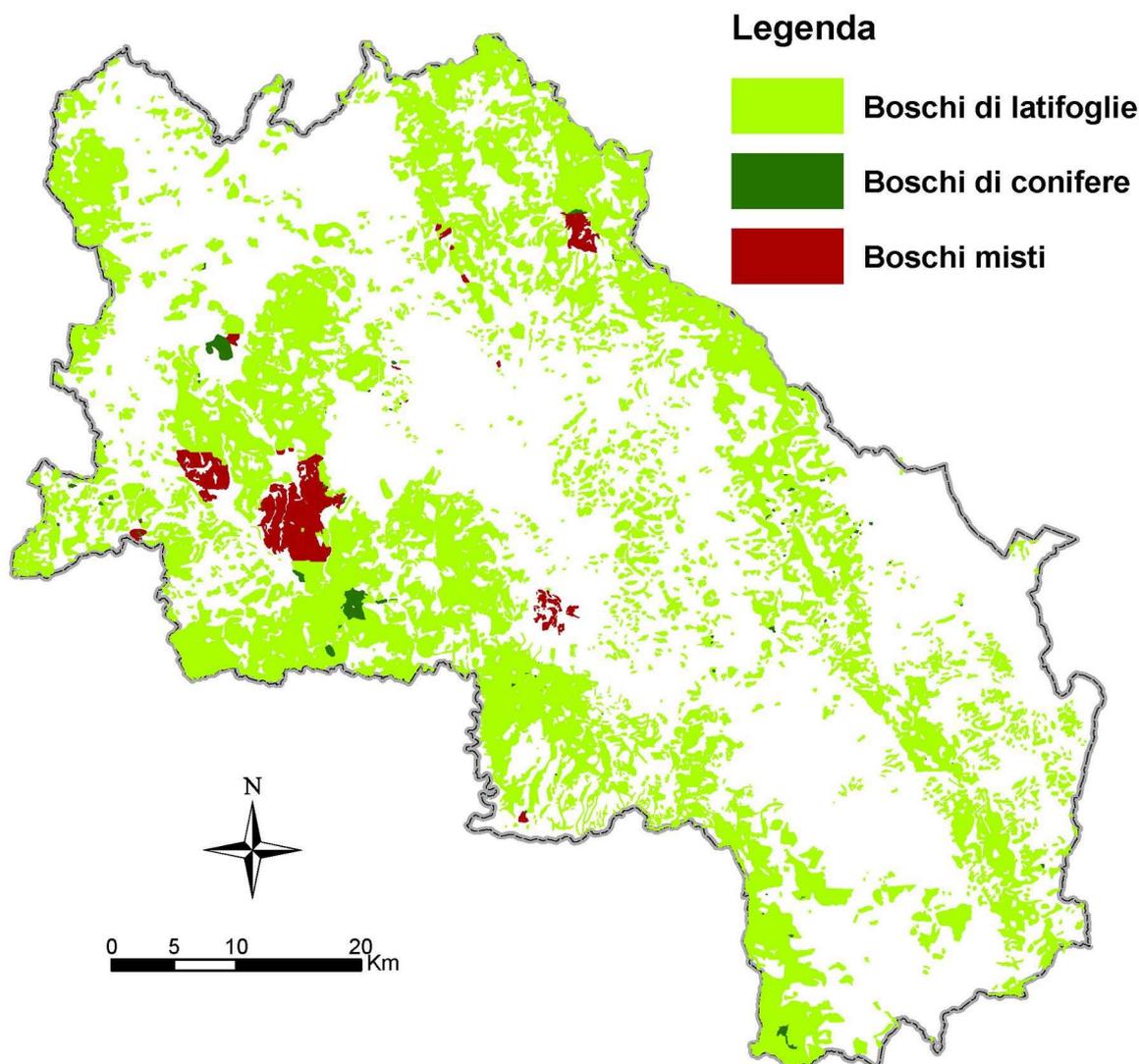


Fig. 1 - Risultato della digitalizzazione della carta storica forestale prodotta dalla Milizia Forestale negli anni '30.

lo *Corine Land Cover* (CLC) della Regione Toscana sviluppata negli anni 2000 alla scala 1:100000 (Boscard et al. 2000). Era disponibile anche l'uso del suolo sviluppato in sede di PTC (Piano Territoriale di Coordinamento) della Provincia di Siena, sempre sviluppato secondo la metodologia CLC alla scala 1:25000, ma il livello di dettaglio e l'analisi dell'UMM (*Minimum Mapping Unit*) ha rilevato discrepanze con il dataset realizzato a partire dalla mappa storica. Dal CLC sono state estratte le formazioni boscate ed individuati i boschi di latifoglie, i boschi di conifere e i boschi misti.

È stato inoltre acquisito il modello digitale dell'elevazione dell'intera Regione Toscana (DEM) ad una risoluzione spaziale di 75 metri, poi tagliato ai confini della Provincia di Siena. Dal DEM sono state svi-

luppate le immagini di esposizione e pendenza.

Il dataset ottenuto dalla carta storica e il CLC relativo alla Provincia di Siena sono stati sovrapposti tramite un'operazione di *overlay*: sono stati quindi individuati i processi di cambiamento della superficie forestale (forestazione e deforestazione) e all'interno delle categorie forestali (boschi di latifoglie, boschi di conifere e boschi misti) è stato quantificato il tasso di trasformazione tra le differenti categorie.

Metriche di paesaggio

Le operazioni di acquisizione dei *dataset* ed estrazione delle diverse tipologie forestali sono state effettuate mediante il *software* ARCVIEW 3.2. I *dataset* sono stati successivamente acquisiti ed elaborati con IDRISI (Eastman 2003). I due diversi *dataset* sono

Tab. 1 - Algoritmi di calcolo degli indici di paesaggio usati (n_i = numero di patch della classe i -esima; n_{ij} = patch j -esimo della classe i -esima; a_{ij} = area del patch j -esimo della classe i -esima; p_{ij} = perimetro del patch ij ; Σ : $j=1, \dots, n$).

Indice	Descrizione	Algoritmo
CA	Class Area	$CA_i = \Sigma a_{ij}$
NP	Number of Patches	$NP_i = \Sigma n_{ij}$
MPS	Mean Patch size	$MPS_i = \Sigma a_{ij} / \Sigma n_{ij}$
PSSD	Patch Size Standard Deviation	$PSSD_i = \sqrt{[a_{ij} \cdot (\Sigma a_{ij} / n_i)]^2 / n_i}$
MSI	Mean Shape Index	$MSI_i = \Sigma [p_{ij} / (2 \sqrt{\pi a_{ij}})] / n_{ij}$
AWMSI	Area Weighted Mean Shape Index	$AWMSI_i = \Sigma [(p_{ij} / 2 \sqrt{\pi a_{ij}}) \cdot (a_{ij} / \Sigma a_{ij})]$
TE	Total Edge	$TE_i = \Sigma p_{ij}$
MPE	Mean Patch Edge	$TE_i = \Sigma p_{ij} / \Sigma n_{ij}$

stati confrontati preliminarmente con un'operazione di *cross-tabulation* per verificare la dinamica dei boschi e valutare i cambiamenti delle differenti tipologie forestali analizzate. È stata inoltre realizzata la corrispondente matrice di contingenza. Quest'ultima mostra quanto ciascuna classe è rimasta tale nel periodo tra i due stadi temporali (frequenza lungo la diagonale della matrice) e quantifica i cambiamenti verso altre classi (frequenza fuori dalla diagonale) in termini di superficie. L'immagine di *cross-classification* invece localizza spazialmente i processi sul territorio.

Sono stati utilizzati una serie di indici di paesaggio per quantificare e valutare la dinamica delle superfici forestali dagli anni '30 ad oggi. La struttura del paesaggio è determinata dalla distribuzione spaziale dei suoi elementi (Forman 1995) ed è stata misurata ricorrendo a diverse metriche che possono essere raggruppate in 4 gruppi principali:

- *Area based metrics*: misure che analizzano la composizione del paesaggio (indice *Class Area*);
- *Patch density, size and variability metrics*: misure che descrivono a livello quantitativo la struttura del paesaggio (indici *Number of Patches*, *Mean Patch Size* e *Patch Size Standard Deviation*);
- *Shape based metrics*: indici che contribuiscono alla descrizione dei fattori di forma (indici *Mean Shape Index* e *Area Weighted Mean Shape Index*);
- *Edge based metrics*: indici che quantificano la lunghezza e la distribuzione dei bordi nel paesaggio (indici *Total Edge* e *Mean Patch Edge*).

L'indice *Class Area* (CA) fornisce un'indicazione

quantitativa sulla differenza tra la superficie occupata dalle tre categorie di copertura del suolo considerate tra i due periodi. L'indice *Number of Patches* (NP) fornisce il numero delle tessere per la struttura complessiva del paesaggio e per ciascuna classe forestale considerata. Gli indici *Mean Patch Size* (MPS) e *Patch Size Standard Deviation* (PSSD) rappresentano una misura della dimensione media delle patch e della loro differenza (McGarigal & Marks 1995). Gli indici che analizzano il fattore forma sono *Mean Shape Index* (MSI) e *Area Weighted Mean Shape Index* (AWMSI), e ven-

gono utilizzati per stimare la complessità geometrica delle tessere di ciascuna tipologia. L'indice MSI valuta quanto i frammenti si avvicinano alla forma di un cerchio nel caso di formati vettoriali o di un quadrato nel caso di formati *raster*. L'indice AWMSI pesa tale valore con la dimensione di ogni singolo frammento.

Gli indici che misurano la dimensione del perimetro sono utili per rappresentare la configurazione del paesaggio in relazione alla perdita di habitat e alla frammentazione ambientale (si veda Bender et al. 1998). L'effetto margine, per esempio, è uno dei fattori principali che determinano modificazioni nella quantità di illuminazione che penetra all'interno del frammento forestale residuo e nell'azione del vento, fattori che alterano la situazione microclimatica per le specie definite *interior* (Chen & Franklin 1990, Rannek et al. 1981). Le statistiche elaborate per analizzare la quantità di margini o il grado dell'effetto margine sono stati gli indici *Total Edge* (TE) e *Mean Patch Edge* (MPE). In Tab. 1 sono riportati tutti gli indici descritti assieme alla formula utilizzata per il calcolo.

Variabili topografiche

Al fine di valutare se esistono differenze tra i processi di forestazione e deforestazione in termini di parametri topografici quali altitudine, pendenza ed esposizione, è stata elaborata un'analisi statistica univariata per estrarre descrittori statistici di base quali minimo, massimo, media e deviazione standard. Per quanto riguarda pendenza ed esposizione sono stati applicati metodi basati sulla statistica circolare. In

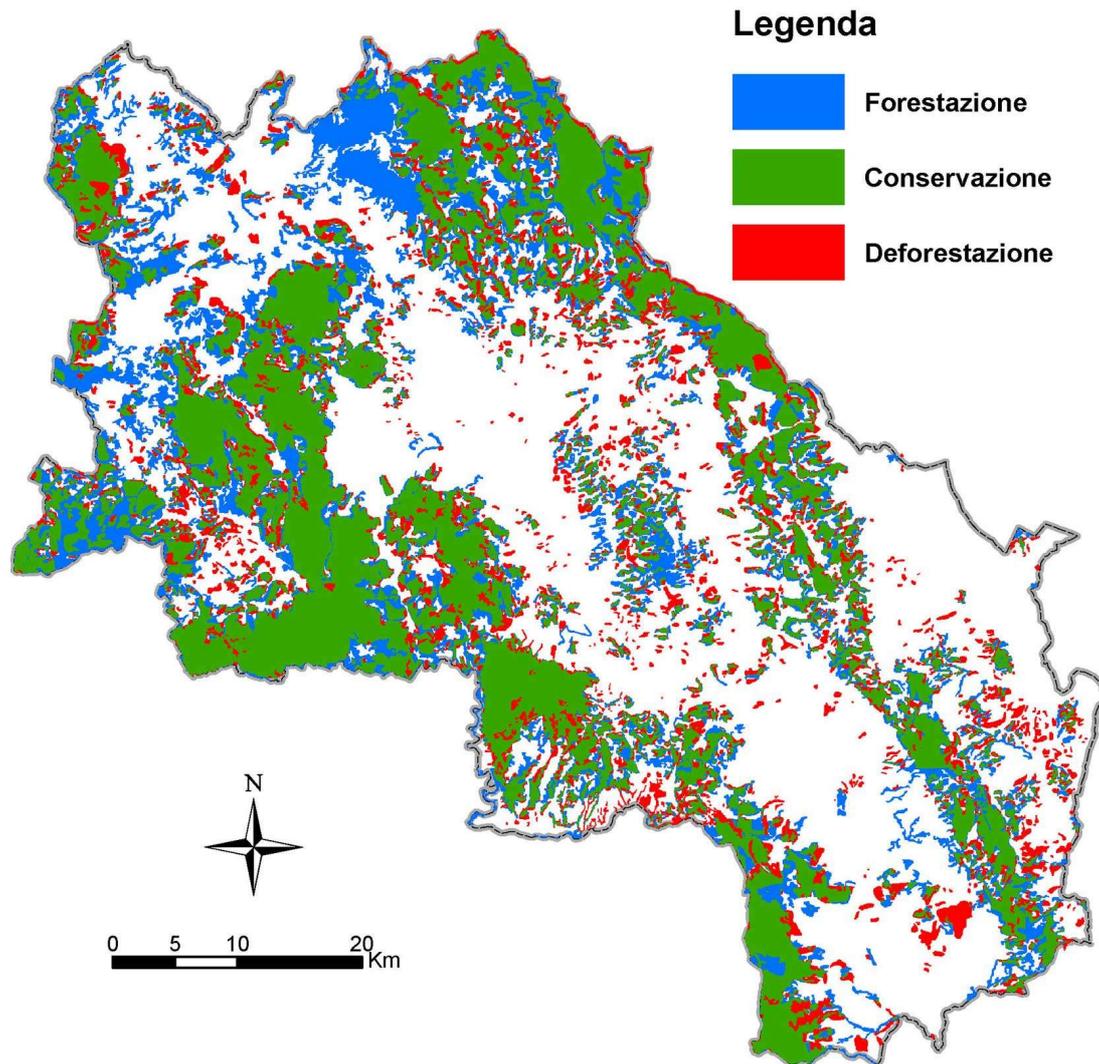


Fig. 2 - Immagine di *cross-classification*, risultato delle procedura di *overlay* tra la carta storica e il *Corine Land Cover 2000*.

particolare è stato possibile ottenere la media angolare utilizzando le seguenti formule di base:

$$\bar{\theta} = \begin{cases} \tan^{-1}(S/C) & \text{if } S > 0, C > 0 \\ \tan^{-1}(S/C) + \pi & \text{if } S > 0 \\ \tan^{-1}(S/C) + 2\pi & \text{if } S < 0, C > 0 \end{cases}$$

$$V = 1 - R$$

$$v = \sqrt{-2 \ln R}$$

dove θ è la media angolare, V indica la varianza circolare (Fisher 1993), v la deviazione standard circolare (Fisher 1993), $C = \cos(\theta)$, $S = \sin(\theta)$ e $R = \sqrt{C^2 + S^2}$.

Le elaborazioni sono state effettuate utilizzando

ARCVIEW 3.2 e l'estensione GRID TOOLS v. 1.7 della Jenness Enterprise (Jenness 2006).

Dall'immagine di *cross-classification* sono state ricavate mappe binarie di ciascun processo analizzato e sovrapposte alle immagini derivate di esposizione, quota e pendenza.

Risultati

Analisi metrica di paesaggio

Dall'analisi delle immagini di *cross-classification* (Fig. 2) si evidenzia la conservazione dei boschi in larga misura in corrispondenza dei crinali, ed in particolare lungo le due catene montuose principali che delimitano la Provincia di Siena, i Monti del Chianti ed il complesso Montagnola senese - rilievi del Mer-

se - Monte Amiata. Il processo di forestazione è avvenuto prevalentemente nel settore settentrionale della Provincia, con le più ampie *patch* localizzate nei versanti del Chianti, in particolare nell'area attorno a

Castellina in Chianti, e in corrispondenza delle colline Metallifere, nei pressi dei rilievi delle Cornate. Per quanto riguarda invece la deforestazione, non è possibile riportare una localizzazione geografica del

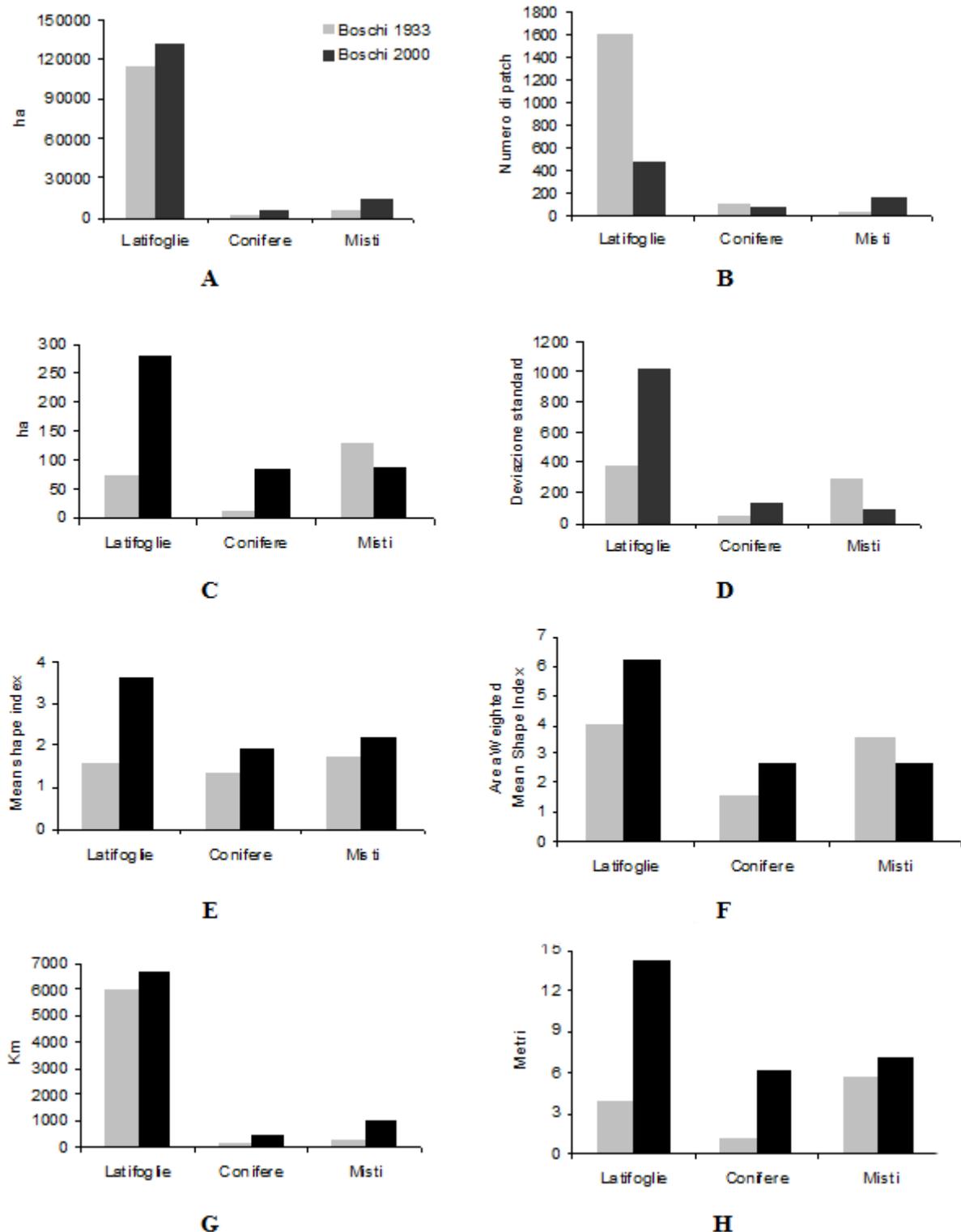


Fig. 3 - Risultati degli indici di metrica del paesaggio. (A): CA; (B): NumP; (C): MPS; (D): PSSD; (E): MSI; (F): AWMSI; (G): TE; (H): MPE.

Tab. 2 - Matrice di contingenza (valori in Km²). Essa mostra quanto ciascuna classe è rimasta tale nel periodo tra i due stadi temporali (frequenza lungo la diagonale della matrice) e quantifica i cambiamenti verso altre classi (frequenza fuori dalla diagonale).

Stadio	Boschi 2000					
	Classe	non bosco	Latifoglie	conifere	misti	totale
Boschi 1933	non bosco	2050.3	502.5	19.5	48.6	2620.8
	latifoglie	262.6	773.9	28.6	67.2	1132.4
	conifere	1.5	2.7	3.7	4.5	12.3
	misti	5.7	30.3	5.4	7.0	48.4
	totale	2320.0	1309.4	57.3	127.2	-

fenomeno, essendo esso caratterizzato da grande dispersione e frammentazione.

L'analisi quantitativa delle trasformazioni mostra come in Provincia di Siena vi sia stato un generalizzato aumento delle superficie boscate, con una netta prevalenza di forestazione a latifoglie, a testimonianza di una colonizzazione forestale secondaria di tipo spontaneo. La tendenza generale alla riconquista del territorio da parte dei boschi è comprovata dai risultati delle matrici di contingenza (Tab. 1). Globalmente i boschi sono aumentati di circa 300 Km² pari a circa il 25% dei boschi di inizio secolo. I boschi di latifoglie sono aumentati proporzionalmente del 114%, mentre i boschi di conifere rappresentano la categoria che ha fatto registrare l'incremento più elevato con una crescita del 456% (da 12 a 57 Km²), localizzato prevalentemente nell'area dell'Alto Merse.

L'analisi metrica del paesaggio mostra la tendenza alla deframmentazione delle aree boscate nel territorio senese. L'indice CA (Fig. 3a) conferma i risultati della matrice di contingenza evidenziando una crescita della superficie coperta da bosco in tutte e tre le categorie analizzate. L'indice NP (Fig. 3b) mostra una diminuzione netta della quantità delle *patch* di bosco, e coerentemente l'indice MPS (Fig. 3c) evidenzia come la grandezza media delle *patch* sia aumentata sensibilmente: per i boschi a prevalenza di latifoglie si è passati da una media di 72 ettari all'inizio del secolo ai 279 ettari di oggi, mentre per i boschi a prevalenza di conifere si è passati da 13 ettari a 87 ettari. Solo i boschi misti fanno registrare una dinamica opposta. L'indice PSSD (Fig. 3d) segue l'andamento dell'indice MPS con una variabilità maggiore per i boschi di latifoglie.

L'indice MSI (Fig. 3e) e l'indice AWMSI (Fig. 3f) mostrano un aumento nei valori in tutte e tre le classi considerate, da una condizione iniziale molto vicina all'unità, indicativa di popolamenti forestali di forma definita e circolare. La tendenza generale è quella di una complessità geometrica crescente nelle forme delle *patch* di bosco, strettamente relazionata all'aumento dimensionale (si veda Fig. 3c).

L'esame del perimetro totale del paesaggio (indice TE, Fig. 3g) mostra un leggero incremento nella lunghezza totale dei bordi, mentre la lunghezza media dei perimetri delle *patch* (indice MPE, Fig. 3h) evidenzia una crescita sostanziale, confermando il risultato degli indici di dimensione e forma.

Analisi topografica

La comparazione dei fenomeni di forestazione e deforestazione con i parametri topografici ha portato a risultati differenti. L'esame delle variazioni di superficie in relazione alla quota (Tab. 3) delle *patch* caratterizzate da forestazione ha rilevato un'altitudine media di 386 metri contro un'altitudine media di 359 metri delle *patch* caratterizzate da perdita di bosco. Il dato è indicativo di una forestazione avvenuta in aree più elevate, anche se lo scarto rilevato è minimo, soprattutto in virtù delle alte deviazioni standard. L'esame della pendenza media ha rilevato risultati analoghi: la ricolonizzazione del bosco ha avuto luogo

Tab. 3 - Relazione tra processi di trasformazione delle formazioni forestali e i parametri di quota, pendenza ed esposizione più i corrispondenti valori di deviazione standard.

Processi	Altitudine (m)	Pendenza (°)	Esposizione (°)
Forestazione	387 ± 172	7.58 ± 4.36	334.3 ± 137.7
Deforestazione	359 ± 150	6.12 ± 3.78	91.8 ± 139
Conservazione	436 ± 185	8.73 ± 4.69	30.5 ± 139.4

go in media in versanti più acclivi (pendenza media 7.58 gradi) rispetto a quelli interessati da deforestazione (pendenza media 6.12 gradi). L'analisi della media angolare ha evidenziato come l'aumento della superficie boscata sia avvenuto in corrispondenza di esposizioni settentrionali, mentre la contrazione delle aree boscate si è verificata prevalentemente in territori esposti a est.

Discussione

Il territorio della Provincia di Siena è dominato da un trend comune, ovvero dall'espansione delle neoformazioni forestali legato all'abbandono dei pascoli e dei terreni coltivati. Le cause di tale fenomeno sono da ricercarsi nei cambiamenti socio-economici, avvenuti in modo determinante in Italia a partire dagli anni cinquanta del secolo scorso, che hanno portato a profonde trasformazioni dell'uso del territorio. Il processo di colonizzazione di queste aree da parte della vegetazione spontanea è avvenuto con meccanismi e tempi diversi, che hanno portato ad una composizione specifica delle formazioni di post-coltura diversificata a seconda delle condizioni stazionali, dell'uso del suolo precedente e della struttura del paesaggio agro-forestale (Pelleri & Sulli 2000, Piussi 2002).

L'analisi del paesaggio forestale ha mostrato come la generale tendenza alla forestazione si sia sviluppata nella diminuzione dei frammenti naturali residui inseriti in una matrice a carattere prevalentemente agricolo, caratteristica del paesaggio di inizio secolo, e nel corrispondente aumento delle dimensioni medie delle *patch* forestali. L'indice MPS mostra infatti un passaggio dai 72 ettari del 1933 agli attuali 279, mentre il numero dei frammenti diminuisce da 1584 a 469 (boschi di latifoglie). La tendenza alla deframmentazione delle aree boscate ha prodotto anche un'alterazione della regolarità nella conformazione dei frammenti forestali, come mostrato dai risultati degli indici di forma e di analisi dei margini. Quindi la situazione attuale del paesaggio forestale senese è caratterizzata da pochi ma più grandi nuclei di bosco, che si differenzia dalla situazione di inizio secolo dove numerosi frammenti di bosco erano inclusi in un territorio dominato dalla componente agro-silvopastorale, e delimitati artificialmente da confini netti e forme più regolari. Questo *trend* è evidenziato da altri autori in Italia (Agnoletti 2007) e in Europa (Lasanta et al. 2006), e può essere interpretato come una lenta riconquista del bosco e della vegetazione naturale che ha prodotto un inglobamento dei frammenti in nuclei progressivamente più grandi. L'irre-

golarità delle forme e dei bordi delle tessere di bosco presenti nell'attuale paesaggio è una conferma del fatto che la trasformazione sia stata provocata da fenomeni di ricolonizzazione spontanea da parte della vegetazione naturale (Rocchini 2005).

L'incremento della superficie boscata ha caratterizzato tutte e tre le tipologie forestali analizzate, ma la categoria che ha avuto in proporzione la crescita maggiore è stata quella dei "boschi di conifere", con un incremento maggiore del 400%. Il dato rispecchia fedelmente ciò che è accaduto in Toscana nel dopoguerra quando moltissimi terreni furono acquisiti dall'A.S.F.D. (Azienda di Stato per le Foreste Demaniali, che nel 1974 gestiva una superficie che superava i 110 mila ettari) e destinati all'impianto di conifere esotiche a rapido accrescimento (AA VV 2000).

La correlazione delle dinamiche forestali con i valori medi di quota e pendenza ha mostrato una generale tendenza alla riconquista del bosco in aree mediamente più alte e più pendenti, anche se le deviazioni standard rilevate suggeriscono un cauto approccio in questo senso. Ciò comunque conferma i mutamenti nelle modalità di sfruttamento del territorio da parte delle attività agricole, con una diffusione della meccanizzazione che però non ha permesso di sfruttare in maniera omogenea tutte le superfici a disposizione (Rühl et al. 2005).

La statistica univariata circolare elaborata per analizzare le differenze di esposizione negli aspetti di forestazione e deforestazione ha mostrato una tendenza nettamente diversa nei territori che sono stati riconquistati dal bosco rispetto a quelli che sono stati occupati da attività agricole. Nel primo caso infatti le esposizioni prevalenti risultano essere esposizioni settentrionali, e quindi esposizioni fredde, non adatte alla coltivazione agricola, mentre nel secondo caso risultano essere prevalentemente esposizioni orientali, più adatte a seminativi e coltivazioni arboree (Monticelli 1998).

Conclusioni

Il paesaggio agro-forestale toscano, nel corso dell'ultimo secolo, è stato interessato da un'estesa crescita della superficie dei boschi, fenomeno principalmente dovuto a cambiamenti socio-economici che hanno provocato l'abbandono delle campagne e delle montagne e la riconquista dei campi e dei pascoli da parte della vegetazione naturale. Lo stesso trend è stato osservato anche da altri autori in studi simili (Agnoletti & Paci 1998, Paci et al. 2006, Agnoletti 2007). L'estensivizzazione e l'abbandono delle terre meno produttive sono spesso correlate con il feno-

meno opposto, e cioè l'intensificazione, caratteristica invece di aree ampie e pianeggianti favorevoli ad una intensa meccanizzazione delle colture (Vos & Stortelder 1992). L'estendersi della monocoltura rappresenta uno dei principali fattori di riduzione della diversità sia a livello di paesaggio, che a livello biologico (Luoto 2000, Zechmeister & Moser 2001, Barbero et al. 1990, Baessler & Klotz 2006). Quindi, se da un lato la riconquista di territorio da parte della vegetazione naturale comporta un incremento di naturalità, in particolare nelle aree montane o particolarmente acclive, dall'altro il declino delle forme tradizionali dell'agricoltura, con la parallela intensificazione delle modalità di sfruttamento delle risorse agricole, causa un sostanziale cambiamento nella struttura dei sistemi territoriali, con una riduzione della diversità e una omogeneizzazione del paesaggio (Pinto-Correia & Vos 2004, Baessler & Klotz 2006).

Ringraziamenti

Si ringrazia il Dott. Fontana, Comandante Regionale del Corpo Forestale dello Stato, e l'Isp. Tortelli per la preziosa collaborazione.

Bibliografia

- AA VV (2000). La Toscana dei boschi. Regione Toscana, Giunta Regionale e Fondazione S. Giovanni Gualberto. Edizioni Vallombrosa, Firenze, pp. 141.
- Agnoletti M, Paci M (1998). Landscape evolution on a Central Tuscan estate between the Eighteenth and the Twentieth centuries. In: The ecological history of European forests (Kirby KJ, Watkins C eds). CAB International, Oxon-New York, pp. 117-127.
- Agnoletti M (2007). The degradation of traditional landscape in a mountain area of Tuscany during the 19th and 20th centuries: Implications for biodiversity and sustainable management. *Forest Ecology and Management* 249 (1-2): 5-17.
- Ales RF, Martin A, Ortega F, Ales EE (1992). Recent changes in landscape structure and function in a Mediterranean region of SW Spain (1950-1984). *Landscape Ecology* 7: 3-18.
- Baessler C, Klotz S (2006). Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115: 43-50.
- Barbero M, Bonin G, Loisel R, Quézel P (1990). Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the Mediterranean basin. *Plant Ecology* 87: 151-173.
- Bender DJ, Contreras TA, Fahrig L (1998). Habitat loss and population decline: a meta-analysis of the patch size effect. *Ecology* 79: 517-533.
- Bossard M, Feranec J, Otahel J (2000). Technical report no. 40. CORINE land cover technical guide. Addendum 2000. European Environment Agency.
- Braimoh AK (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 254-263.
- Brown DJ, Duh J, Drzyzga SA (2000). Estimating error in an analysis of forest fragmentation change using north American landscape characterization (NALC) data. *Remote Sensing of Environment* 71: 106-117.
- Chen J, Franklin JF (1990). Microclimatic pattern and basic biological responses at the clearcut edges of old-growth Douglas-fir stands. *Northwest Environmental Journal* 6: 424-425.
- Covas R, Blondel J (1998). Biogeography and history of the Mediterranean bird fauna. *Ibis* 140: 395-407.
- De Blois S, Domon G, Bouchard A (2002). Landscape issues in plant ecology. *Ecography* 25: 244-256.
- Debussche M, Lepart J, Dervieux A (1999). Mediterranean landscape changes: evidence from old postcards. *Global Ecology and Biogeography Letters* 8: 3-15.
- Defries RS, Townshend JRG (1999). Global land cover characterization from satellite data: from research to operational implementation. *Global Ecology and Biogeography Letters* 8: 367-379.
- Eastman JR (2003). IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing. Idrisi production, Clark University, Worcester MA, USA.
- Falcucci A, Maiorano L, Boitani L (2007). Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecology* 22: 617-631.
- Fisher NI (1993). *Statistical analysis of circular data*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Forman RTT (1995). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology* 10: 133-142.
- Garcia-Ruiz JM, Lasanta T, Ruiz-Flano P, Ortigosa L, White S, Gonzales C, Martí C (1996). Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology* 11: 267-277.
- Innes JL, Koch B (1998). Forest biodiversity and its assessment by remote sensing. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7: 347-419.
- Jenness J (2006). Grid Tools (Jenness Enterprises) v. 1.7 (grid_tools_jen.avx) extension for ArcView 3.x. Jenness Enterprises.
- Lambin EF (1994). Modelling deforestation processes: a review. *TREES Publications Series B: Research Report 1*. Office of Official Publications of European Community, Luxembourg, pp. 113.

- Lambin EF, Geist HJ, Lepers E (2003). Dynamics of land use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources* 28: 205-241.
- Lasanta JC, Gonzalez-Hidalgo SM, Vicente-Serrano, Sferi E (2006). Using landscape ecology to evaluate an alternative management scenario in abandoned Mediterranean mountain areas. *Landscape and Urban Planning* 78: 101-114.
- Lavorel S, Canadell J, Rambal S, Terradas J (1998). Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7: 157-166.
- Luoto M (2000). Modelling of rare plant species richness by landscape variables in an agriculture area in Finland. *Plant Ecology* 149: 157-168.
- MacDonald D, Crabtree JR, Wiesinger G, Dax T, Stamou N, Fleury P, Gutierrez Lazpita J, Gibon A (2000). Agriculture abandonment in mountain areas of Europe: environmental consequences and policy response. *Journal of Environmental Management* 59: 47-69.
- McGarigal K, Marks BJ (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, USA, pp. 122.
- Meeus JHA (1993). The transformation of agricultural landscapes in Western Europe. *The Science of the Total Environment* 129: 171-190.
- Monticelli E (1998). Allevamento e potatura della vite in collina. Edizioni Edagricole. Bologna.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Nagendra H, Munroe DK, Southworth J (2004). From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agriculture Ecosystem and Environment* 101 (2/3): 111-115.
- Paci M, Bianchi L, Travaglini D (2006). Landscape dynamics of the Barbiolla farm (Val d'Egola, province of Florence) in the second half of the 20th century. *Proceedings of the Conference: "Cultural heritage and sustainable management: the role of traditional knowledge"* (Parrotta J, Agnoletti M, Johann E eds). Florence, Italy, 8-11 June 2006. Ministerial Conference of the Protection of Forests in Europe, Warszawa, vol. 2: 322-328.
- Pelleri F, Sulli M (2000). Campi abbandonati e avanzamento del bosco. Un caso di studio nelle Prealpi lombarde (Comune di Brinzio, Provincia di Varese). *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XXVIII*: 89-126.
- Pinto-Correia T, Vos W (2004). Multifunctionality in Mediterranean landscapes - past and future. In: *The new dimensions of the European landscape* (Jongman R ed). Wageningen UR Frontis Series, Springer 4: 135-164.
- Piussi P (2002). Rimboschimenti spontanei ed evoluzioni post-coltura. *Monti e Boschi* (3-4): 31-37.
- Ranney JW, Bruner MC, Levenson JB (1981). The importance of edge in the structure and dynamics of forest islands. In: *Forest island dynamics in man-dominated landscapes* (Burgess RL, Sharpe DM eds). Springer-Verlag, New York, USA, pp. 67-94.
- Richter M (1993). Mediterranean Brachland. Eine Chance für die Rückgewinnung naturnaher Standorte? In: *Aktuelle Strukturen und Entwicklungen im Mittelmeerraum* (Struck E ed). *Passauer Kontaktstudium Erdkunde* 3: 16-23.
- Rocchini D (2005). Resolution problems in calculating landscape metrics. *Spatial Science* 50 (2): 25-35.
- Rocchini D, Perry GLW, Salerno M, Maccherini S, Chiarucci A (2006). Landscape change and the dynamics of open formations in a natural reserve. *Landscape and Urban Planning* 77: 167-177.
- Roy PS, Tomar S (2000). Biodiversity characterization at landscape level using geospatial modelling technique. *Biological Conservation* 95: 95-109.
- Rühl J, Pasta S, La Mantia T (2005). Metodologia per lo studio delle successioni secondarie in ex-coltivi terrazzati: il caso studio di Pantelleria (Canale di Sicilia). *Forest@* 2 (4): 388-398.
- Santos CP (2000). Succession of breeding bird communities after the abandonment of agricultural fields in southeast Portugal. *Ardeola* 47: 171-181.
- Stoms DM, Estes J (1993). A remote sensing research agenda for mapping and monitoring biodiversity. *International Journal of Remote Sensing* 14: 1839-1860.
- Vallejo R, Aronson J, Pausas JC & Cortina J (2005). Restoration of Mediterranean woodlands. In: *Restoration ecology: a European perspective* (van Andel J, Aronson J eds). Blackwell Science, Oxford, UK, 193-207.
- Viedma O, Melià J (1999). Monitoring temporal changes in the spatial patterns of a Mediterranean shrubland using Landsat images. *Diversity and Distributions* 5: 275-293.
- Vos W, Stortelder A (1992). Vanishing Tuscan landscapes. Pudoc Sc. Pub., Wageningen, NL.
- Wilcox BA, Murphy DD (1985). Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. *American Naturalist* 125: 879-887.
- Zechmeister HG, Moser D (2001). The influence of agricultural land-use intensity on bryophyte species richness. *Biodiversity and Conservation* 10: 1609-1625.