

GIS & LANDSCAPE ECOLOGY

L'analisi PCA per lo studio degli indici dell'Ecologia del Paesaggio

Stefano PICCHIO*, Leonardo MAROTTA**, Andrea CATORCI***

(*) Dipartimento di Pianificazione, Università IUAV di Venezia. S.Croce, 1951 – 30135 Venezia.
e-mail: ste.picchio@tiscali.it

(**) Entropia Snc, Via F. Corridoni, 3 – 62019 Recanati (MC). Tel e Fax: +39.071.7575525.
e-mail: entropia@entropia-env.eu

(***) Dipartimento di Scienze Ambientali, Sezione di Botanica ed Ecologia, UNICAM, Via Pontoni 5, 62032 Camerino (Mc), fax 0737404508, e-mail: andrea.catorci@unicam.it

Riassunto

Lo studio di sistemi di paesaggio attraverso metodi di telerilevamento e di analisi *in situ* dimostra quanto questi due metodi siano efficaci se utilizzati in modo integrato.

I risultati di questo lavoro mostrano i trend evolutivi del bosco e delle praterie (dal 1954 al 2001), i sistemi source –sink la diversità paesistica e le aree ecotonali in un sistema paesistico tipo dell'Appennino marchigiano (Italia).

Abstract

Remote sensing and in situ analysis are useful and powerful methods in order to study landscape systems. The results of this work show evolution wood and grass evolution trends (from 1951 to 2001), source sink system, landscape diversity, ecotones in a typical landscape system of Appenines Mountain in Marche Region (Italy).

Introduzione

Le esigenze legate all'analisi, pianificazione e gestione naturalistica del territorio e dei suoi popolamenti biotici, spingono sempre più fortemente verso la realizzazione di documenti cartografici in grado di esprimere la complessità ecosistemica di un ambito geografico. L'attuazione pratica di questo obiettivo presenta tuttavia numerosi problemi, primo tra i quali, la difficoltà di definire cartograficamente il limite spaziale delle diverse unità ecologiche; tale difficoltà deriva in primo luogo dal fatto che la rilevanza delle componenti ambientali su cui si basa l'omogeneità ecologico-funzionale di una porzione di territorio, varia in relazione alla scala di analisi e rappresentazione (Greig-Smith, 1993). La scala di analisi è dunque un elemento fondamentale per la definizione degli ecosistemi, così come postulato anche dalla "teoria gerarchica del paesaggio", la quale tende ad interpretare i fattori che agiscono su di un territorio in intervalli spazio-temporali differenti (King, 1977; Allen, Starr, 1982; O'Neil *et al.*, 1986; O'Neil, King 1998). Secondo questa teoria è possibile interpretare un paesaggio come un sistema gerarchico, in cui ogni elemento, una volta cambiata la scala di analisi, diventa ora parte di un elemento superiore ora struttura che contiene più sistemi di dimensione inferiore (Farina, 2001). La complessità multidimensionale dei sistemi ecologici così approcciata può dunque essere scomposta entro un numero di livelli d'organizzazione contenenti ognuno poche entità interagenti, la cui relazione reciproca e la connettività con i più alti e più bassi livelli d'organizzazione possono essere esplicitamente modellati (Tainton *et al.*, 1996). La teoria gerarchica, dunque, non solo introduce nelle scienze dell'ecologia del paesaggio il paradigma degli insiemi cioè d'elementi tra loro nidificati le cui proprietà individuali attribuiscono nuove proprietà all'elemento superiore, ma consente anche di analizzare i rapporti tra le unità che compongono l'insieme (proprietà emergenti, Farina, 2001). Rimane tuttavia il problema di come definire concettualmente e cartograficamente le unità

costituenti il “paesaggio ecologico” di un territorio. In quest’ottica, l’utilizzo dei metodi e dei concetti della fitosociologia seriale (Ozenda, 1982) e catenale (Gehu *et al.*, 1991) applicati allo studio del paesaggio vegetale può rappresentare un ottimo strumento di base, dato che anch’essi si basano su di una definizione gerarchica delle comunità vegetali e del paesaggio vegetale (Rivas-Martinez, 2005). La geosinfitosociologia è, infatti, una scienza che riconosce intrinsecamente le proprietà spazio-temporali delle fitocenosi (Braun-Blanquet, 1964) e quindi degli ecosistemi di cui esse sono parte integrante, anche se indirettamente e senza poterne dare una quantificazione. Applicando tali metodologie é dunque possibile risolvere il problema della definizione spaziale delle unità ecosistemiche (Blasi *et al.*, 2000a; Blasi *et al.*, 2000b; Blasi *et al.*, 2003) e ciò assume una fondamentale importanza, ad esempio, in riferimento alle analisi necessarie alla definizione di una Rete ecologica (Brandmayr *et al.*, 1997; Battisti 2004; Catorci *et al.*, 2005).

Il paesaggio attuale deve inoltre essere inteso come prodotto storico della cultura e del lavoro dell’uomo sulla natura, ciò rende indispensabile per la comprensione delle dinamiche interne ad esso, un approccio cognitivo alla dimensione storica.

Dal punto di vista ecologico-vegetazionale, infatti, in assenza di intervento umano la vegetazione climacica é omogenea all’interno dei limiti di una unità ambientale poiché essa è in equilibrio con le condizioni ecologiche del momento (Clements, 1916). In realtà però, al di fuori di rari casi, all’interno dei limiti di una stessa unità ambientale si possono osservare mosaici di comunità vegetali che hanno quasi sempre un determinismo antropico ed economico-funzionale (cellule isofunzionali di paesaggio - Gehu, 1988). Inoltre, anche all’interno della stessa cellula isofunzionale di paesaggio si rinvencono spesso delle diversità imputabili soprattutto agli interventi umani del passato (Decocq, 2003), che hanno inciso sulle caratteristiche pedologiche del territorio, originando su substrati geologici omogenei “catene di suoli” (Cremaschi, Rodolfi, 1991) costituite da tipologie pedologiche diversificate. L’uomo, infatti, può perturbare l’equilibrio dei fattori naturali o intervenendo direttamente sulla vegetazione o sulle condizioni del suo habitat o su entrambe contemporaneamente (Basnou, Pedrotti, 2001). Il disturbo antropico va a modificare le dinamiche naturali di questo equilibrio facendole deviare almeno temporaneamente, verso un altro stato di equilibrio o verso un equilibrio mantenuto artificialmente.

Questo stato di cose é particolarmente cogente nei settori montani appenninici dove un’apparente naturalità del paesaggio vegetale cela un susseguirsi storico di modificazioni della copertura vegetale e delle modalità di attivazione delle risorse naturali (Giraudi, 1999; Anselmi, 1975; Castagnari, 2002; Gobbi, 1988; Foglia *et al.*, 2006), che sicuramente hanno avuto un effetto molto importante nel determinare l’attuale stato ecologico e floristico-vegetazionale dei luoghi.

Sulla base di queste premesse scientifico-culturali il presente studio si è proposto, attraverso l’integrazione dell’analisi geo-sin-fitosociologica del territorio, associata a quella multitemporale dell’uso del suolo, di accertare e georeferenziare la cesura nella continuità ecologica degli ecosistemi naturali e seminaturali verificatesi nel passato, così da individuare la presenza di importanti aree in cui non si è verificata una variazione di uso del suolo (almeno negli ultimi 50 anni). I risultati di queste indagini sono stati poi integrati e confrontati con i metodi dell’analisi della diversità locale del paesaggio calcolata sulla base degli indici di Shannon. I risultati del confronto delle fotogrammetrie aeree hanno consentito di sviluppare un modello per valutare quantitativamente e qualitativamente le variazioni, e le modificazioni della struttura e delle funzioni del mosaico ambientale avvenuti tra le due epoche e di ipotizzare le future evoluzioni alla luce del contesto socio-economico di progressivo spopolamento e abbandono delle attività agro-silvo-pastorali.

Materiali e metodi

L’interpretazione geosinfitosociologica del paesaggio vegetale e la conseguente individuazione delle unità ambientali è stata compiuta sulla base dei dati riportati in Catorci, Ballelli, Vitanzi, Gatti (Il paesaggio vegetale della Val d’Ambro – Monti Sibillini, *Work in progress*), mentre la definizione delle unità gerarchiche di paesaggio é stata realizzata con il metodo proposto da Blasi *et*

al. (2000a), utilizzando come supporti informativi sia dei documenti geomorfologici (Regione Marche., 1991) che fitoclimatici (Biondi *et al.*, 1995, Rivas-Martinez, 2005). Per l'analisi multitemporale sono stati utilizzate le riprese aeree del volo GAI del 1954, opportunamente geocodificate e mosaicate nonché le ortofoto del 2001. All'interno di ciascuna unità ambientale sono stati messi in luce i principali *trends* evolutivi della vegetazione (come ad esempio la velocità di espansione del bosco in ha/anno e la relativa curva logistica), e le caratteristiche dinamiche (aree stabili - aree source), integrando le discipline dell'ecologia classica, della geobotanica e della landscape ecology. I risultati di queste indagini sono state poi integrati con la *Principal Component Analysis* effettuata su una ripresa del satellite Landsat sensore ETM+. L'applicazione dell'algoritmo PCA è servita per elaborare la carta della diversità locale del paesaggio di Shannon utilizzando il software LaDy© - *Landscape Diversity software*, dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali. Il contributo della tecnologia "remote sensing" ha consentito di tarare un modello per l'analisi della diversità locale del paesaggio integrato con le indagini di ecologia storica e del paesaggio.

Risultati: il paesaggio vegetale

L'interpretazione geosinfitosociologica del paesaggio vegetale ha permesso di riconoscere nella valle oggetto di studio due Sistemi di paesaggio, cinque sottosistemi di paesaggio e undici Unità ambientali, di seguito delineati sinteticamente.

Sistema di paesaggio dei substrati calcarei centro-appenninici. Il substrato geologico è costituito da calcari, spesso intercalati con livelli marnosi o silicei, a cui si devono versanti aspri ed acclivi, che talvolta si placano in ampie sommità semipianeggianti o leggermente inclinate (paleosuperfici); i rilievi superano generalmente i 1000 m di altitudine, spingendosi oltre i 2000 m nel massiccio dei Monti Sibillini.

Sottosistema di paesaggio dei versanti con bioclina mesotemperata superiore. Riguarda i rilievi posti a quote comprese tra 450-500 e 900-1000 m. E' contraddistinto da: temperature medie annue di circa 10-11°C; precipitazioni medie generalmente comprese tra 900 e 1100 mm/anno; assenza di un periodo di aridità estiva, che si manifesta solo sui versanti meridionali delle quote più basse, generalmente nel mese di luglio; media delle temperature minime invernali dei mesi di gennaio-febbraio prossime o leggermente inferiori a 0°C, con episodi di gelo che possono verificarsi da novembre a tutto marzo e innevamento del suolo relativamente frequente (4-5 episodi annuali) ma con durata modesta (4-6 giorni). La durata del periodo vegetativo è di circa 180-190 giorni. La vegetazione forestale è composta da caducifoglie termofile e semimesofile (quereti, cerrete, ostrieti e castagneti) ed è priva di elementi mediterranei, che si possono rinvenire solo nelle aree rupestri calcaree più assolate, all'interno di lembi boschivi con leccio. Nella fascia inferiore di questo piano bioclimatico trova il limite ecologico la coltivazione della vite (*Vitis vinifera*). Le serie di vegetazione (Unità ambientali) che caratterizzano questo sottosistema di paesaggio sono la: Serie climatofila, neutro-basifila del carpino nero (*Scutellario columnae-Ostrya carpinifoliae* violo *reichembachianae* sigmetosum); Serie edafo-xerofila delle colluvioni, neutro-basifila della roverella (*Cytisus sessilifolius-Quercus pubescens* *Cytisus sessilifolius* sigmetosum)

Sottosistema di paesaggio dei versanti con bioclina supratemperata inferiore. Interessa quote comprese tra 900-1000 m e 1350-1400 m circa. Le sue caratteristiche salienti sono: temperatura media annua di 8-9°C; precipitazioni comprese tra 1200 e 1400 mm/anno; temperatura media delle minime inferiore a 0°C almeno nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio. Forti gelate si possono verificare da novembre a marzo e sporadicamente fino alla metà di aprile. In queste zone la neve può ricoprire il suolo per diversi giorni consecutivi (10-15), con fasi ripetute e ravvicinate nel tempo, mentre in estate le precipitazioni diminuiscono, senza tuttavia arrivare ad estremi siccitosi. La durata del periodo vegetativo è di circa 150-160 giorni. La vegetazione forestale è composta da caducifoglie semimesofile e mesofile (cerrete, castagneti e faggete) che sovrastano un sottobosco in

cui si consociano elementi floristici collinari e specie montane. In questo ambito trovano il limite ecologico la cerealicoltura e la foraggicoltura. Le serie di vegetazione (Unità ambientali) che caratterizzano questo sottosistema di paesaggio sono la: Serie climatofila, neutrofila del faggio (*Lathyro veneti-Fago sylvaticae lathyro veneti sigmetosum*); Serie edafo-xerofila degli espluvi, basifila del carpino nero (*Scutellario columnae-Ostryo carpinifoliae seslerio nitidae sigmetosum*)

Sottosistema di paesaggio dei versanti con bioclima supratemperato superiore. Interessa quote comprese tra 1350-1400 e 1800-1850 m circa. Le sue caratteristiche salienti sono: temperatura media annua generalmente inferiore a 8°C; precipitazioni comprese tra 1300-1500 mm/anno; temperatura media delle minime inferiore a 0°C almeno nei mesi di novembre, dicembre, gennaio e febbraio. Forti gelate si possono verificare da ottobre alla metà di maggio. In queste zone la neve può ricoprire il suolo per intere settimane, anche consecutive. La durata del periodo vegetativo è di circa 140 giorni. La vegetazione forestale è composta da caducifoglie mesofile (faggete) in cui sono assenti gli elementi floristici collinari. Le uniche forme di coltivazione possibili sono legate alle coltivazioni di alcune leguminose da granella (lenticchia) e foraggiere (sulla, lupinella). Le serie di vegetazione (Unità ambientali) che caratterizzano questo sottosistema di paesaggio sono la: Serie climatofila, sub-acidofila del faggio (*Cardamino kitaibelii-Fago sylvaticae sigmetum*); Serie edafo-xerofila delle creste, basifila della sesleria dell'Appennino (*Carici humilis-Seslerio apenninae sigmetum*).

Sottosistema di paesaggio dei versanti con bioclima orotemperato. Interessa quote poste oltre i 1800-1850 m s.l.m.. Le caratteristiche salienti sono: temperatura media annua generalmente inferiore ai 5-6°C; precipitazioni comprese tra 1400-1600 mm/anno; temperatura media delle minime inferiore a 0°C per oltre 5 mesi. Forti gelate si possono verificare da settembre alla fine di maggio. In queste zone la neve può ricoprire il suolo da novembre/dicembre ad aprile/maggio. La durata del periodo vegetativo è di circa 100-120 giorni. La vegetazione forestale è assente. Le serie di vegetazione (Unità ambientali) che caratterizzano questo sottosistema di paesaggio sono la: Serie climatofila, acidofila del salice retuso (*Carici kitaibeliana-Salico retusae sigmetum*); Serie edafo-xerofila degli espluvi, neutro-basifila del ginepro nano (*Helianthemo grandiflori-Junipero alpinae sigmetum*); Serie edafo-xerofila delle creste, basifila della sesleria dell'Appennino (*Carici humilis-seslerio apenninae dryado octopetalae sigmetosum*)

Sistema di paesaggio dei substrati marnoso-calcarei preappenninici. Il substrato geologico è costituito da marne alternate a calcari, che originano morfologie mediamente ondulate, talvolta con versanti aspri ed acclivi; i rilievi raggiungono normalmente i 500-700 m di altitudine. Nell'area di studio di questo sistema di paesaggio è presente il solo *Sottosistema di paesaggio dei versanti con bioclima mesotemperato superiore*. Le serie di vegetazione (Unità ambientali) che caratterizzano questo sottosistema di paesaggio sono la: Serie climatofila, neutro-basifila del carpino nero (*Scutellario columnae-Ostryo carpinifoliae pruno avii sigmetosum*); Serie edafo-xerofila, neutro-basifila della roverella (*Peucedano cervariae-Quercu pubescentis peucedano cervariae sigmetosum*).

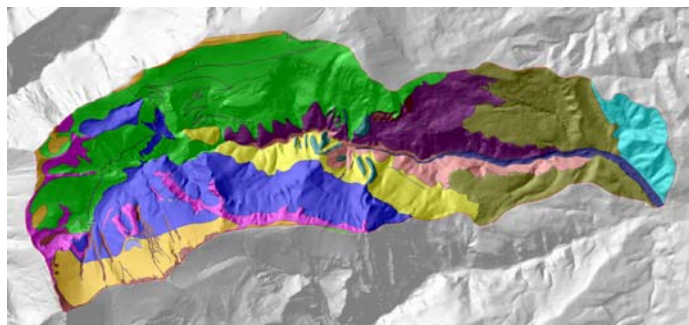


Figura 1 – Carta delle Unità Ambientali (su base geosinfitosociologica) della Val d'Ambro.

Risultati: l'analisi multitemporale

Al fine di produrre una banca dati vettoriale in cui interrogare le patch in base al criterio di persistenza o di evoluzione, le carte della copertura del suolo (risalenti al 1954 ed al 2001) sono state intersecate con l'algoritmo *cracking features* disponibile in ArcToolbox. Il risultato ottenuto (valutato in maniera separata per ogni unità ambientale) ha permesso di evidenziare tutte le patch persistenti (dove non si è registrato alcun cambiamento della forma di uso del suolo), cioè quelle aree dove gli ecosistemi sono rimasti stabili da almeno 50 anni. Al contrario sempre con lo stesso criterio sono state evidenziate tutte le patch che si sono modificate. In linea generale si può affermare che in tutte le Unità Ambientali si è registrato un aumento delle superfici boscate chiuse e dei pascoli che presentano una cotica erbosa compatta. Sono invece sensibilmente diminuite le aree con vegetazione scarsa o nulla (ghiaioni, brecciai, etc), i pascoli ed i boschi aperti, nonché, laddove erano presenti, le aree agricole. Si può dunque dire che, in linea generale, tutte le unità ambientali hanno subito un processo di rinaturalizzazione (Figura 2).

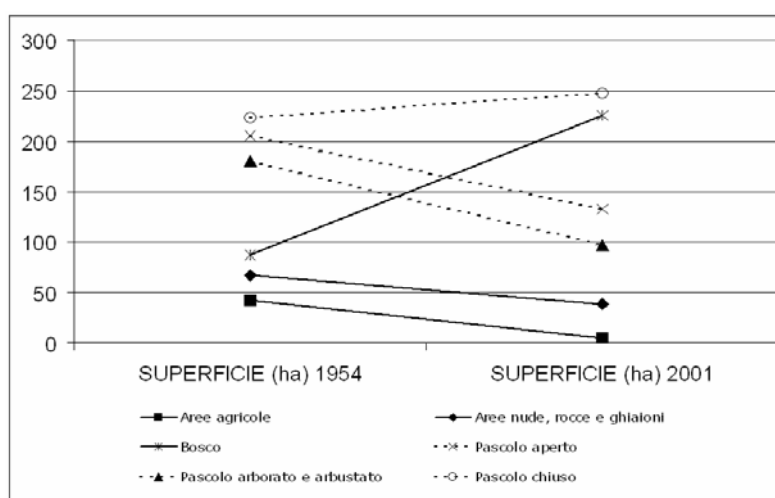


Figura 2 – I trends evolutivi delle principali tipologie di paesaggio

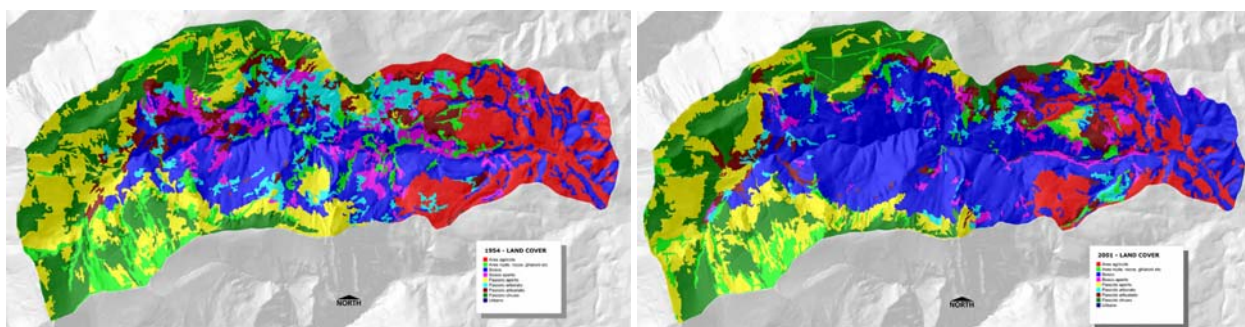


Figura 3 – Carta della copertura vegetale al 1954 (a sinistra) e al 2001 (a destra); si nota chiaramente l'aumento del colore blu riferito alle formazioni forestali, la diminuzione del rosso (campi) e, meno accentuato, l'aumento del verde (pascoli chiusi).

Risultati: analisi delle componenti principali da immagini telerilevate

Le aree a più bassa diversità paesistica, sono risultate aree core o aree centrali dal punto di vista spaziale e, allo stesso tempo, sono risultate essere aree persistenti nei risultati dell'analisi multitemporale, elaborata all'interno dello stesso studio. L'algoritmo elaborato ha consentito inoltre di individuare le aree ecotonali, le quali indicano la reale dimensione dei bordi e la superficie di scambio tra un sistema ed un altro. L'immagine Landsat elaborata (Figura 4) evidenzia come nei due sottosistemi collinari (calcareo-marnoso) è presente una forte diversità che in questo caso si

correla ad una bassissima persistenza dei sistemi naturali e semi-naturali; l'alta variabilità, pertanto, spiega le intense dinamicità in atto in questo sottosistema di paesaggio. Nei sottosistemi montani l'indice di Shannon mostra valori moderati, coincidenti con le aree persistenti e che, dal punto di vista geobotanico, si riferiscono alle formazioni "testa di serie" (la cui forma più evoluta è la serie del *Fagus sylvaticae*); negli altri casi si riferiscono alle forme di praterie più evolute. Il piano subalpino mostra una diversità medio/alta, correlata alla forte variabilità dei fattori microtopografici e microclimatici.

Conclusioni:

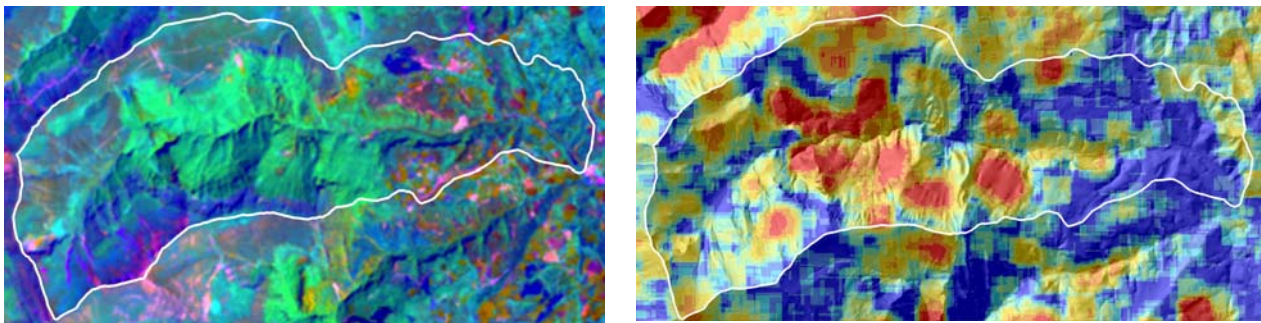


Figura 4 - A sinistra il risultato dell'analisi PCA che mostra in formato RGB complessivamente il 99.20% dell'informazione contenuta nelle 7 bande originali. A destra il risultato dell'analisi della diversità locale del paesaggio che mostra in rosso le aree core o source.

I risultati delle elaborazioni sopra esposte, possono essere considerati come una base informativa indispensabile per effettuare ulteriori analisi di tipo integrato che coniughino ad esempio le tendenze dinamiche con l'effettiva ricchezza biologica, da verificare solo con l'analisi sul terreno (Tab.1).

L'analisi ha dimostrato quanti sia importante definire le unità di paesaggio e le aree persistenti al loro interno, per la conservazione degli habitat naturali. Per ogni Unità Ambientale sono state definite le aree core e le aree *source*, cioè sorgenti di diversità genetica, con una metodologia che risulta apparire, pertanto, esportabile. In questo quadro e, alla luce del modello di analisi ecologico-funzionale esposto precedentemente, sono state individuati gli habitat che stanno evolvendo nel verso della successione naturale e quelli che stanno evolvendo nel senso opposto (degradazione), distinguendo, all'interno di ciascuna unità ambientale, le aree in cui sono presenti habitat naturali da conservare ai sensi dell'Allegato I della direttiva CEE. Quegli Habitat che hanno mostrato nell'analisi un'alta vulnerabilità di scomparsa, necessitano di un urgente intervento di management, come ad esempio quelli in forte riduzione areale e che presentano oggi una piccola estensione.

In questo lavoro, si è cercato di dimostrare quanto sia importante definire le unità di paesaggio e le aree persistenti al loro interno per la conservazione degli habitat naturali e la definizione, per ogni unità ambientale, delle aree core e delle aree *source*. Il Sistema Informativo Territoriale ha consentito di sviluppare una sinergia tra discipline e metodi differenti, consentendo un approccio integrato ovvero interdisciplinare; la tecnologia GIS si è dimostrata strumento indispensabile per integrare discipline e metodologie di analisi differenti.

Unità ambientale	Stato nel 1954	Azioni antropiche	Trend evolutivi	Paesaggio attuale
Alpino	Praterie con segni di sovraccarico; media naturalità ed alta diversità	Abbandono del pascolo	Chiusura della praterie; aree stabili e aree source. Incremento dei ces-puglieti e di ecotoni. Rinaturalizzazione Incremento della bio-	Paesaggio in evoluzione. Le aree stabili sono praterie che si chiudono.

			diversità paesistica e della produttività primaria.	
Montano	Bosco e praterie a medi naturalità; alta diversità	Abbandono del pascolo e della gestione forestale	Ripresa del bosco e dei cespuglietti; rinaturalizzazione aree stabili e aree source.	Paesaggio in evoluzione. Le aree stabili coincidono con le aree source.
Collinare	Aree coltivate, boschi e pascoli; bassa naturalità e diversità. Assenza quasi totale di patch naturali.	Abbandono parziale dei pascoli e delle attività agricole.	Aree sink. Rinaturalizzazione. Lieve aumento della biodiversità.	Paesaggio in evoluzione nel senso della rinaturalizzazione. Non ci sono aree stabili, fatto salvo alcune aree agricole.

Bibliografia

Accademia Italiana di Scienze Forestali © (2001), *LaDy - Landscape Diversity Software Version 1.0 User's Manual*

Allen T.H.F., Starr T.B. (1982), "Hierarchy, Perspectives for Ecological Complexity", *The University of Chicago Press*, Chicago

Anselmi S. (1975), *La selva, il pascolo, l'allevamento nelle Marche dei Secoli XIV e XV*, Università di Urbino, Istituto di economia e Statistica, Argalia Editore, Urbino

Basnou C., Pedrotti F. (2001), "Le tendenze dinamiche della vegetazione dei Prati di Ragnolo (Parco Nazionale dei Monti Sibillini, Italia.)", *Contributii Botanice*, XXXVI: 7-13

Battisti C. (2004), *Frammentazione ambientale, connettività, rete ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica*. Provincia di Roma, Assessorato alle Politiche agricole, ambientali e Protezione civile: 248

Biondi E., Baldoni M.A., Talamonti M.C. (1995), "Il fitoclima delle Marche", In: *Atti del Convegno "Salvaguardia e gestione dei beni ambientali nelle Marche" (Ancona, 8-9 aprile 1991)*, Tipolit. Trifogli, Ancona, 21-70.

Blasi C., Smiraglia D., Carranza M. (2003), "Analisi multitemporale del paesaggio e classificazione gerarchica del territorio: il caso dei Monti Lepini (Italia centrale)", *Inf. Bot. Ital.*, 35 (1): 31-40

Blasi C., Carranza M., Frondoni R., Rosati L. (2000a), "Ecosystem classification and mapping: a proposal for italian landscape", *Applied Vegetation Science*, 3: 233-242

Blasi C., Acosta A., Paura B., Di Martino P., Giordani D.M., Di Marzio P., Fortini P., Carranza M. (2000b), "Classificazione e cartografia del paesaggio: i sistemi e i sottosistemi di paesaggio del Molise", *Atti "XIV Convegno G. Gadio"*, Inf. Bot. Ital., 32 (Suppl. 1): 15-20

Brandmayr P., Cagnin M., Mignozzi T., Scalercio S., Pizzolotto R. (1997), "Misura efficace della biodiversità animale in ambienti mediterranei e sue applicazioni", *Atti S.It.E.*, 18: 581-586

Braun-Blanquet J. (1964), *Pflanzensoziologie*. 3rd ed. Springer, Wien - New York

Castagnari G. (2002), "Lineamenti storico-ambientali", In: *Aspetti geobotanici e lineamenti storico-ambientali dell'Alto Esino (Appennino umbro-marchigiano)*, (a cura di: G. Fortunati), Provincia d'Ancona – Assessorato alla Tutela dell'Ambiente, Tip. La Nuova Stampa, Camerino

Catorci A., Orsomando E., Silvi B. (1995), "Il paesaggio vegetale del foglio Nocera Umbra n. 324 della Carta d'Italia I.G.M., in scala 1.50.000", *Coll. Phytosoc.* XIV: 665-673

- Catorci A., Gatti R., Sparvoli D. (2005), "Gli ecosistemi della Provincia di Macerata: caratterizzazione gerarchica", In: *Caratterizzazione ecologico-strutturale degli ecosistemi della Provincia di Macerata ai fini faunistico-venatori (a cura di: A. Catorci)*", Provincia di Macerata, Ass. Caccia e Pesca, Tip. Azienda Grafica Bieffe, Recanati (MC)
- Clements F.E. (1916), *Plant succession an analysis of the development of vegetation*, Carnegie Institution of Washington
- Cremaschi M., Rodolfi G. (1991), *Il suolo*, La nuova Italia scientifica editrice, Roma
- Decocq G. (2003), "Phytosociologie, sindinamique et archeologie du paysage", *Contributii Botanice*, XXXVIII: 13-23
- Farina A. (1998), *Principles and Methods in landscape ecology*, Chapman & Hall, London
- Farina A. (2001), *Ecologia del paesaggio*, Principi, metodi ed applicazioni, UTET Libreria, Torino
- Foglia M., Sparvoli D., Catorci A. (2006), Analisi multitemporale dell'uso del suolo della dorsale appenninica marchigiana nel XIX e XX secolo, *Braun-Blanquetia*, 43 (in stampa)
- Forman R.T.T., Godron M. (1986), *Landscape Ecology*, John Wiley, New York
- Gehu J.M. (1988), "Sur la notion de cellules paysageres isofonctionnelles", *Colloques Phytosociologiques*, 17: 189-193
- Gehu J.M., Bouzille J.B., Bioret F., Godeau M., Botineau M., Clement B., Touffet J., Lahondere C. (1991), "Approche paysagere symphytosociologique des marais littoraux du centre-ouest de la France", *Coll. Phytosoc. Phytosociologie et paysages*, XVII: 109-127
- Giraudi C. (1999), "Incendi di età pleistocenica superiore ed olocenica sulle montagne dell'Appennino centrale", *Il Quaternario*, 12(1): 257-260
- Gobbi O. (1988), "Il versante adriatico dei Sibillini tra pastorizia ed agricoltura", *Proposte e Ricerche*, 4: 84-1003
- Greig-Smith P. (1983), *Quantitative plant ecology*, University of California Press, Berkley: 19-53
- King A.W. (1977), "Hierarchy teory: A guide to system structure for wildelife biologists", In: *Bissonette A. (a cura di), "Wildelife and Landscape Ecology. Effects of Pattern and Scale"*, Springer, New York: 1717-1725
- O'Neill R.V., King A. W., 1988 - *Homage to St. Michael: or, why are there so many books on scale?*. In: Tereson D.L., Parker V.T. (a cura di), *"Ecological Scale. Theory and Applications"*. Columbia University Press, New York: 3-15.
- O'Neill R.V., DeAngelis D.L., Waide J.B., Allen T.F.H. (1986), *A Hierarchycal Concept of Ecosystems*, Princeton University Press, Princeton
- Ozenda P. (1982), *Les Végétaux dans la biosphere*, Doin Editeurs, Paris, France
- Pedrotti F. (1997), "Les données de la phytosociologie pour la cartographie géobotanique", *Coll. Phytosoc.*, XXVII: 503-541
- Regione Marche (1991), *L'ambiente fisico delle Marche. Geologia, geomorfologia e idrogeologia*, Regione Marche, Giunta Regionale - Assessorato Urbanistica e Ambiente, Tip. S.EL.CA., Firenze
- Rivas-Martinez S. (2005), "Notions on dynamic-catenal phytosociology as a basis of landscape science", *Plant Biosystems*, 139 (2): 135-144
- Tainton N.M., Morris C.D., Hardy M.B. (1996), *Complexity and Stability in Grazing Systems*, In: *"The Ecology and Management of Grazing Systems"* (Hodgson J. e Illius A.W.), CAB INTERNATIONAL, New York, 275-299