

La cartografia vegetazionale come strumento di analisi ecologica del paesaggio: un esempio di applicazione a due biotopi del Parco Naturale Regionale delle Dolomiti d'Ampezzo (Belluno – Italia Nordorientale)

Marcello Tomaselli, Matteo Gualmini, Cesare Lasen,
Alessandro Ferrarini, Alessandro Petraglia

Abstract

Vegetation mapping as a tool for landscape ecological analysis: an example applied to two biotopes in the “Parco Naturale Regionale delle Dolomiti d'Ampezzo” (Belluno – NE Italy)

Two phytosociological maps at 1:5.000 scale were quantitatively analysed through GIS and landscape ecology methods. The maps concern two biotopes “Conca glaciocarsica dei Laghi di Foses” and “Ròzes-Col dei Bòs-Sotecòrdes” within the Parco Naturale Regionale delle Dolomiti d'Ampezzo. The comparison between percent cover of phytosociological classes within both biotopes showed the spatial dominance of basiphytic grasslands. Moreover, Rozes biotope differentiates because of high occurrence of rock-face and scree communities, while Foses one is characterised by water plant and mire communities. The calculation of Connectance Index gave informations about vegetation fragmentation, that is mostly determined by geomorphology and topography. The analysis of adjacency matrix allowed to define the main potential trends of vegetation dynamics. Using Moving Window Analysis, hot spots of phytocoenological diversity within both biotopes were individuated. Index of Vegetation Naturalness resulted in high values for both biotopes, but spatial structure of Vegetation Naturalness is slightly different. The analysis of vegetation rarity enhanced the high percent cover of Eastern-alpine plant communities for both biotopes.

Keywords: vegetation mapping, landscape ecology, Geographic Information Systems, biotopes, natural parks, Dolomites.

1. Introduzione

Le carte della vegetazione sono documenti geografici che riproducono le estensioni dei tipi vegetazionali presenti in un certo territorio, precedentemente definiti tramite caratteri intrinseci della copertura vegetale (PIROLA 1978). Nell'ambito della tradizione geobotanica europea le carte della vegetazione vengono per lo più realizzate sulla base di tipi vegetazionali descritti attraverso la loro composizione floristica e classificati secondo le procedure codificate dal metodo fitosociologico (BRAUN-BLANQUET 1964, WESTHOFF & VAN DER MAAREL 1978).

Dato il ruolo centrale che gli organismi vegetali hanno nei sistemi ambientali terrestri, l'informazione sull'estensione spaziale dei tipi vegetazionali rappresenta un'acquisizione fondamentale ed imprescindibile per chiunque voglia portare a termine un'analisi sulla

struttura e sulla funzione dei sistemi ambientali che compongono il paesaggio (KÜCHLER & ZONNEVELD 1988, ZONNEVELD 1995, BAILEY 1996, FARINA 1998). Le carte fitosociologiche della vegetazione attuale sono ormai da tempo riconosciute come uno strumento noto ed apprezzato per questo tipo di analisi. L'uso della composizione specifica e delle relazioni quantitative tra le specie per la definizione dei tipi vegetazionali e la classificazione gerarchica degli stessi consentono, infatti, di costruire documenti che utilizzano la predittività ecologica delle piante a diversi livelli di scala, con la possibilità di utilizzare livelli gerarchici adeguati al livello di dettaglio cartografico richiesto (FERRARI et al. 2000). L'analisi ambientale realizzata attraverso le carte della vegetazione consente, pertanto, di orientare le scelte decisionali inerenti la gestione del territorio sia negli ambiti antropizzati del cosiddetto paesaggio culturale (VOS & STORTELDER 1992, CHYTRÝ 1998, ZERBE 1998), che in aree protette (TOMASELLI et al. 1994, GARDI et al. 2001, BIONDI et al. 2004). Il sempre più diffuso utilizzo dei Sistemi Geografici Informativi per l'informatizzazione dei documenti cartografici ha conferito un "valore aggiunto" alle carte della vegetazione, consentendo:

- 1) il calcolo dei parametri dimensionali caratteristici delle diverse unità vegetazionali, quali superficie e perimetro;
- 2) il calcolo di parametri morfologici delle unità vegetazionali finalizzati alla stima della loro sensibilità ecologica, quali grado di compattezza, di convoluzione, di isolamento e di frammentazione (FERRARINI et al. 2005);
- 3) la sovrapposizione delle carte vegetazionali con altre carte tematiche al fine di determinare le cause del "pattern spaziale della vegetazione" (DEL BARRIO et al. 1997, FROHN 1998, ROSSI et al. 1998, TAPPEINER et al. 1998).

In questo modo le carte della vegetazione sono divenute parte integrante di Sistemi Informativi Territoriali e la loro valenza come strumenti di monitoraggio ambientale, gestione e pianificazione si è notevolmente accresciuta.

In questa sede vengono presentate due carte della vegetazione attuale, realizzate con il metodo fitosociologico, relative ad altrettanti biotopi situati all'interno del Parco Naturale Regionale delle Dolomiti d'Ampezzo in Provincia di Belluno. Per l'interpretazione dei *pattern* distributivi delle tipologie vegetazionali cartografate si è fatto ricorso a metodologie di analisi tipiche dell'ecologia del paesaggio (FORMAN 1995, TURNER et al. 1991). Le elaborazioni sono state svolte in ambiente GIS. Per le classi vegetazionali, definite in accordo con le procedure illustrate nel paragrafo successivo, sono state calcolate ed analizzate le percentuali di copertura, il grado di frammentazione e le adiacenze perimetrali. Sempre sulle basi delle classi vegetazionali sono state poi stimate la biodiversità cenologica e la dominanza areale locali nei due biotopi. Sono state infine eseguite le analisi della naturalità e della rarità della vegetazione nei due biotopi, sulla base di specifiche categorie ottenute a partire dalle singole unità vegetazionali.

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio

Le carte della vegetazione sono state realizzate sulla base di uno studio geobotanico compiuto all'interno di due biotopi compresi nel Parco Naturale Regionale delle Dolomiti d'Ampezzo. I risultati di questo studio vengono presentati in un altro contributo pubblicato in questo stesso volume.

Le aree cartografate corrispondono rispettivamente alla "Conca glaciocarsica dei Laghi di Foses", situata nel gruppo della Croda Rossa a Nord di Cortina d'Ampezzo ed all'area "Ròzes-Col dei Bòs-Sotecòrdes", a Nord-Est del Passo di Falzarego e non distante dalla già citata cittadina ampezzana. Si tratta di due aree di estensione relativamente limitata (114 ha per Foses e 233 per Ròzes), caratterizzate da un'elevata diversità ambientale e vegetazionale (TOMASELLI et al. 2006) e, pertanto, ideali per un'analisi cartografica a grande scala. I caratteri fisiografici, geologici, climatici, floristici e vegetazionali dei due biotopi sono stati dettagliatamente descritti nel già citato contributo, cui si rimanda per riferimento. Per brevità i due biotopi saranno da qui in avanti rispettivamente denominati Foses e Ròzes.

2.2 Cartografia della vegetazione

Per ciascuno dei due biotopi è stata realizzata una carta della vegetazione attuale in scala 1:5.000 secondo la metodologia operativa proposta da PIROLA (1978) ed aggiornata da UBALDI & CORTICELLI (1988). Le unità vegetazionali la cui distribuzione è stata riportata sulle carte sono state definite e classificate da TOMASELLI et al. (2006), in accordo con le procedure del metodo fitosociologico. Per la fotointerpretazione sono stati utilizzati gli aerofotogrammi a colori del "Volo Terra Italy 1998-99". La redazione delle carte è stata eseguita con procedura informatizzata attraverso il programma ArcView 3.2. Le due carte della vegetazione sono inserite in questo stesso volume come allegati.

2.3 Analisi e interpretazione della struttura del mosaico vegetazionale

Tutte le analisi riportate di seguito sono state svolte sulla base dell'accorpamento delle unità vegetazionali riscontrate durante lo studio geobotanico in classi fitosociologiche (9 per Foses e 10 per Ròzes). Le aree caratterizzate da una stretta intersecazione di più unità vegetazionali non risolvibile in termini cartografici alla scala adottata, sono state riunite sotto la voce unica "mosaici" e prese in considerazione solo per la prima elaborazione, basata sul confronto tra le coperture delle classi vegetazionali nei due biotopi. Sono state preliminarmente escluse da tutte le elaborazioni le tipologie vegetazionali riportate sulle carte come punti ed individuate da appositi simboli, in quanto sviluppate su un'area inferiore a 25 mq, considerata come soglia minima per una rappresentazione cartografica in forma di superficie.

In primo luogo è stata calcolata la superficie occupata da ciascuna classe fitosociologica ed espressa in percentuale rispetto all'area totale del biotopo. Nel calcolo sono state

incluse anche due unità cartografiche prive di vegetazione macrofitica (detrito afitoico e corpo idrico).

Il grado di frammentazione delle classi vegetazionali è stato stimato mediante l'indice di connettanza (IC; MLADENOFF et al. 2001). Tale indice stima, per ogni classe, la percentuale delle coppie di unità di quella classe che si trovano entro una distanza prefissata (100, 200, 500 metri...). IC indica, quindi, se una classe si esaurisce su spazi brevi (raggruppamento spaziale, scarsa frammentazione) o su spazi ampi (frammentazione, scarsa attrazione "gravitativa" tra le unità che compongono quella classe). IC viene calcolato come:

$$IC = \frac{\sum c_{ijk}}{0.5 * n * (n - 1)}$$

dove c_{ijk} rappresenta il *joining* funzionale tra l'unità j e l'unità k della classe i e assume valore unitario se le due unità sono situate entro la distanza prefissata (100, 200, 500 metri...) e valore nullo in caso opposto. Il denominatore rappresenta il numero delle coppie di unità della classe i (in termini statistici corrisponde alla combinazione di n oggetti di classe 2).

Le adiacenze perimetrali tra le classi vegetazionali sono state stimate secondo la metodologia proposta da MLADENOFF et al. (2001) sia in metri, che in percentuale per entrambi i biotopi.

L'analisi locale della diversità fitocenologica e della dominanza areale è stata eseguita utilizzando la metodologia delle finestre mobili (moving window analysis, MWA; O'NEILL et al. 1996, RIITERS et al. 2000, FERRARINI 2005) che consente di condurre indagini locali sul mosaico territoriale fornendo un prezioso contributo per l'interpretazione dello stesso. La MWA si basa sull'utilizzo di una finestra di dimensione prefissata a priori che scorre sulla mappa dell'area di studio e calcola alcuni indicatori strutturali scelti a seconda delle esigenze della ricerca. La finestra si sposta con sovrapposizione (*overlapping window*) e, ad ogni spostamento, gli indicatori vengono ricalcolati. Il risultato dell'analisi è la produzione di carte locali degli indicatori prescelti. In questo modo vengono individuati particolari aspetti locali del *pattern* territoriale. La scelta della dimensione della finestra è un processo euristico, a cui concorre solo parzialmente la dimensione media delle classi mappate (nel caso in oggetto, le classi di vegetazione). Nei due biotopi in studio la dimensione più appropriata per la finestra mobile è risultata di 20 x 20 m.

La metodologia delle finestre mobili è stata applicata mediante il programma *Gliding Box* (FERRARINI 2001) ad entrambi i biotopi per sondare due proprietà locali del *pattern* territoriale:

- la ricchezza (numero) in classi vegetazionali;
- la dominanza areale di una certa classe, calcolata mediante l'indice di diversità di Shannon (SHANNON & WEAVER 1962).

2.4 Analisi della naturalità e rarità della vegetazione

L'analisi della naturalità della vegetazione è stata svolta secondo la procedura proposta da PIZZOLOTTO & BRANDMAYR (1996) e modificata da FERRARI et al. (2000), che prevede due passaggi successivi: i) attribuzione delle tipologie vegetazionali alle categorie di naturalità proposte da WESTHOFF (1983); ii) calcolo dell'Indice di Naturalità della Vegetazione (INV) sulla base del valore cumulativo percentuale dell'area delle singole categorie.

Per l'analisi della rarità della vegetazione è stato seguito lo stesso schema operativo riportato sopra, ovvero l'Indice di Rarità della Vegetazione (IRV) è stato calcolato sulla base del valore cumulativo percentuale dell'area delle singole categorie. Queste ultime sono state definite su base sincorologica ed indicate con numeri da 0 a 5 in ordine di rarità crescente:

categoria:

- 0: fitocenosi ad ampia distribuzione geografica e non rare territorialmente;
- 1: fitocenosi a distribuzione panalpica e non rare territorialmente;
- 2: fitocenosi con distribuzione limitata alle Alpi orientali e non rare territorialmente;
- 3: fitocenosi a distribuzione geografica panalpica o più ampia, ma legate ad habitat particolari;
- 4: fitocenosi a distribuzione limitata alla regione dolomitica (endemiche), legate ad habitat particolari;
- 5: fitocenosi a distribuzione geografica panalpica o più ampia, ma legate ad habitat particolari, rare sulle Alpi ed estremamente rare nella regione dolomitica.

3. Risultati

Il confronto tra le coperture percentuali delle diverse classi fitosociologiche nei due biotopi, riportate in Tab. 1, evidenzia che in ambedue le aree di studio le fitocenosi delle praterie basifitiche (classe *Elyno-Seslerietea*) risultano largamente predominanti come estensione. Nel biotopo di Foses la percentuale di superficie occupata da questa classe supera il 50% e, come appare evidente dall'esame della carta della vegetazione, ad essa contribuiscono soprattutto formazioni erbacee chiuse quali il *Seslerio-Caricetum sempervirentis* ed il *Campanulo scheuchzeri-Festucetum noricae*. A Ròzes le tipologie riconducibili alla classe *Elyno-Seslerietea* superano di poco, nel loro insieme, il 40% di copertura; inoltre la maggiore asprezza orografica del biotopo riduce l'incidenza delle praterie chiuse dinamicamente più evolute, a vantaggio del *Dryadetum octopetalae* e del *Caricetum firmiae*, inclusi i suoi aspetti pionieri.

L'elevata incidenza delle praterie basifitiche è indubbiamente da porre in relazione con la predominanza in ambedue i biotopi dei substrati carbonatici, che ha come corrispettivo la scarsa diffusione e la limitata estensione delle praterie acidofitiche riconducibili alla classe *Caricetea curvulae*. Queste ultime, pressoché inesistenti a Ròzes, raggiungono quasi il 7% di copertura a Foses, concentrandosi in corrispondenza degli affioramenti delle Marne del Puez.

Molto diversa nei due biotopi risulta la copertura delle classi che comprendono fitocenosi di rupi e detriti (*Asplenieta trichomanis* e *Thlaspietea rotundifolii*), che a Foses rimane largamente al di sotto del 10%, mentre a Ròzes sfiora il 40%, per l'imponente sviluppo di pareti rocciose e falde detritiche in corrispondenza del versante meridionale del rilievo a "cuesta".

A Foses condizioni morfologiche ed idrologiche favorevoli consentono lo sviluppo di fitocenosi idrofittiche e di torbiera. La loro copertura complessiva non è percentualmente rilevante, ma l'importanza fitogeografica di queste comunità è in effetti assai notevole (TOMASELLI et al. 2006).

Tab. 1:
Coperture percentuali delle classi fitosociologiche nei due biotopi in studio.

		Foses	Ròzes
	Codice	%	%
Potametea	PO	0.01	-
Scheuchzerio-Caricetea nigrae	SC	3.64	0.06
Montio-Cardaminetea	MC	-	0.02
Asplenetetea trichomanis	AT	0.99	14.39
Thlaspietea rotundifolii	TR	5.93	24.95
Caricetea curvulae	CC	6.60	0.04
Salicetea herbaceae	SH	-	0.84
Elyno-Seslerietea	ES	54.28	40.13
Erico-Pinetea	EP	-	3.80
Loiseleurio-Vaccinietea	LV	5.27	-
Mulgedio-Aconitetea	MA	0.14	0.18
Molinio-Arrhenatheretea	MU	6.12	0.04
Mosaici	MO	10.67	12.95
Laghi	LA	1.43	-
Detrito afitoico	DE	4.92	2.60

Resta infine da sottolineare il rilievo assunto dai cosiddetti "mosaici vegetazionali", la cui copertura complessiva supera, sia pure di poco, il 10% in ambedue i biotopi, a testimonianza della discreta estensione raggiunta dalle aree in cui la diversità microambientale si concentra in spazi ristretti, fenomeno peraltro assai frequente in alta montagna. L'analisi della frammentazione ha permesso di individuare le ragioni della distribuzione spaziale di alcune classi vegetazionali all'interno dei biotopi. Per quanto riguarda Foses (Tab. 2) le classi *Potametea* e *Mulgedio-Aconitetea* sono risultate le meno frammentate, poiché tutte le coppie di distanze tra le unità si esauriscono entro 100 m. Nel caso della classe *Potametea* la ragione dell'elevata connettanza va ricercata nel vincolo costituito dal corpo idrico (Lago Grande di Foses), cui la vegetazione idrofitica è necessariamente collegata; mentre per l'aggruppamento ad *Aconitum tauricum* (classe *Mulgedio-Aconitetea*) la causa è ravvisabile nella concentrazione del disturbo legato al pascolo ovino in una depressione torbosa ormai prosciugata. All'estremo opposto (elevata frammentazione) si colloca il *Rhododendretum ferruginei* (classe *Loiseleurio-Vaccinietea*), in cui il valore di IC è ancora relativamente basso a 1000 m. La frammentazione di questa associazione dipende dal fatto che a Foses essa si concentra sui versanti settentrionali non troppo acclivi e con scarsa petrosità, la cui distribuzione appare relativamente dispersa lungo tutto il lato occidentale del biotopo. Il biotopo di Rozes occupa un'area che è circa il doppio di quella di Foses ed ha un diametro massimo molto più elevato (3057 m). Questi parametri dimensionali, unitamente al fatto che il biotopo è orientato trasversalmente lungo un rilievo "a cuesta", condizionano l'andamento dei valori di IC che in nessuna classe vegetazionale raggiungono il valore 100 per una distanza inferiore a 1000 m (Tab. 2).

Le classi meno frammentate comprendono un numero limitato di stazioni di fitocenosi di torbiera (*Scheuchzerio-Caricetea nigrae*), praterie acidofitiche (*Caricetea curvulae*), vallette nivali (*Salicetea herbaceae*) e praterie intensamente pascolate (*Molinio-Arrhenatheretea*), tutte concentrate sul versante settentrionale a franapoggio, dove si verificano le condizioni morfologiche favorevoli al loro sviluppo e si concentra l'attività di pascolo. A queste vanno aggiunte le mughete della classe *Erico-Pinetea* (*Erico carneae-Pinetum prostratae*), la cui ridotta frammentazione si spiega col fatto che si localizzano esclusivamente alla base delle falde detritiche situate sul versante meridionale a reggipoggio.

Nelle altre tre classi fitosociologiche il valore 100 dell'Indice di Connettanza viene raggiunto solo a 3000m. Per queste classi l'elevata frammentazione appare facilmente riconducibile all'elevata dispersione nel biotopo di affioramenti rocciosi, falde detritiche e praterie basifitiche.

Tab. 2:

Valori dell'indice di connettanza (IC) per le classi vegetazionali cartografate a Foses (a) e a Ròzes (b). Sono stati esclusi dall'analisi i mosaici e le classi vegetazionali con un numero limitato di unità.

a)										
Classe (m)	100	200	300	400	500	1000	1500			
Potametea	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00			
Scheuchzerio-Caricetea nigrae	24.24	48.48	57.58	60.61	63.64	100.00	100.00			
Asplenetetea trichomanis	23.53	25.74	25.74	40.44	44.12	92.65	100.00			
Thlaspietea rotundifolii	21.43	26.98	33.60	39.68	62.96	94.97	100.00			
Caricetea curvulae	7.58	24.24	30.30	45.45	54.55	89.39	100.00			
Elyno-Seslerietea	10.55	16.56	23.40	31.54	44.31	88.34	100.00			
Loiseleurio-Vaccinietea	23.68	31.95	37.47	46.21	50.34	60.23	100.00			
Mulgedio-Aconitetea	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00			
Molinio-Arrhenatheretea	51.11	62.22	68.89	77.78	86.67	100.00	100.00			
Detrito afitoico	22.22	22.22	27.78	30.56	36.11	83.33	100.00			
b)										
Classe (m)	100	200	300	400	500	1000	1500	2000	2500	3000
Scheuchzerio-Caricetea nigrae	33.33	33.33	33.33	33.33	33.33	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Asplenetetea trichomanis	5.46	10.94	16.86	23.29	28.46	53.49	73.77	89.36	99.39	100.00
Thlaspietea rotundifolii	4.57	9.92	15.50	20.55	25.48	46.64	69.99	83.91	96.85	100.00
Caricetea curvulae	0	0	0	0	0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Salicetea herbaceae	42.86	53.57	67.86	75.00	75.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Elyno-Seslerietea	4.85	9.89	15.74	22.34	28.47	51.38	68.37	84.83	98.24	100.00
Erico-Pinetea	41.76	50.55	50.55	51.65	54.95	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Mulgedio-Aconitetea	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	83.33	100.00	100.00	100.00	100.00
Molinio-Arrhenatheretea	33.33	33.33	33.33	33.33	33.33	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tab. 3:

Matrice delle adiacenze perimetrali in metri (a) ed in percentuale (b) tra le classi vegetazionali cartografate a Foses. Il termine "esterno" indica i metri di contatto con il bordo del biotopo. L'ultima riga della matrice a) rappresenta la somma delle precedenti, ovvero il perimetro totale esposto dalle classi.

a)											
	ES	AT	TR	SC	MA	LV	CC	DE	MU	LA	PO
Elyno-Seslerietea		1590	4880	1260	285	4720	1420	1765	1795	145	0
Mosaici	8500	175	410	0	0	660	60	0	185	0	0
Asplenetetea trichomanis	1590		425	0	0	0	0	0	0	0	0
Thlaspietetea rotundifolii	4880	425		0	0	35	35	1060	0	0	0
Scheuchzerio-Caricetetea nigrae	1260	0	0		105	0	650	75	2220	550	30
Mulgedio-Aconitetetea	285	0	0	105		0	0	0	0	0	0
Loiseleurio-Vaccinietetea	4900	0	35	0	0		415	0	55	0	0
Caricetetea curvulae	1420	0	35	650	0	415		385	1680	0	0
Detrito afitoico	1765	0	1060	75	0	0	385		160	20	0
Molinio-Arrhenatheretetea	1795	0	0	2220	0	55	1680	160		85	0
Laghi	145	0	0	550	0	0	0	20	85		40
Potametetea	0	0	0	30	0	0	0	0	0	40	
Esterno	4140	570	405	0	0	545	325	255	0	0	0
	30680	2760	7250	4890	390	6430	4970	3720	6180	840	70
b)											
	ES	AT	TR	SC	MA	LV	CC	DE	MU	LA	PO
Elyno-Seslerietea		57.61	67.31	25.77	73.08	73.41	28.57	47.45	29.05	17.26	0
Mosaici	27.71	6.34	5.66	0	0	10.26	1.21	0	2.99	0	0
Asplenetetea trichomanis	5.18		5.86	0	0	0	0	0	0	0	0
Thlaspietetea rotundifolii	15.91	15.40		0	0	0.54	0.70	28.49	0	0	0
Scheuchzerio-Caricetetea nigrae	4.11	0	0		26.92	0	13.08	2.02	35.92	65.48	42.86
Mulgedio-Aconitetetea	0.93	0	0	2.15		0	0	0	0	0	0
Loiseleurio-Vaccinietetea	15.97	0	0.48	0	0		8.35	0	0.89	0	0
Caricetetea curvulae	4.63	0	0.48	13.29	0	6.45		10.35	27.18	0	0
Detrito afitoico	5.75	0	14.62	1.53	0	0	7.75		2.59	2.38	0
Molinio-Arrhenatheretetea	5.85	0	0	45.40	0	0.86	33.80	4.30		10.12	0
Laghi	0.47	0	0	11.25	0	0	0	0.54	1.38		57.14
Potametetea	0	0	0	0.61	0	0	0	0	0	4.76	
Esterno	13.49	20.65	5.59	0	0	8.48	6.54	6.85	0	0	0

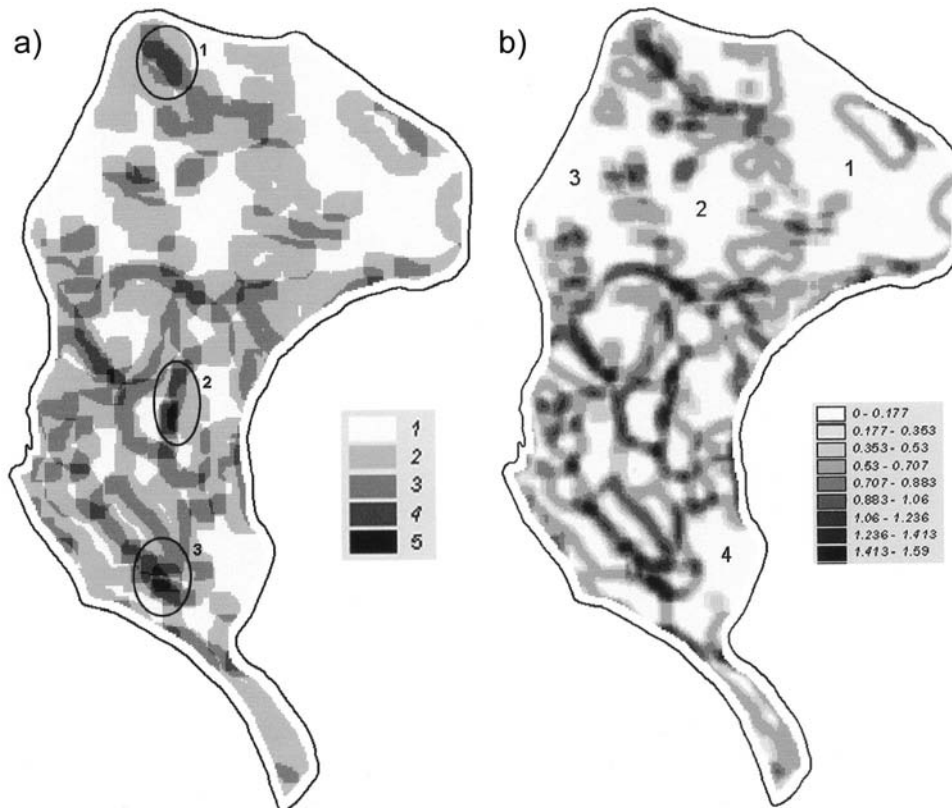
Tab. 4:

Matrice delle adiacenze perimetrali in metri (a) ed in percentuale (b) tra le classi vegetazionali cartografate a Ròzes. Il termine "esterno" indica i metri di contatto con il bordo del biotopo. L'ultima riga della matrice a) rappresenta la somma delle precedenti, ovvero il perimetro totale esposto dalle classi.

a)											
	DE	ES	TR	MA	SH	AT	CC	SC	MU	MC	EP
Detrito afitoico		45	565	0	0	110	0	0	0	0	0
Elyno-Seslerietea	45		30820	255	600	15585	220	190	115	90	2785
Thlaspietea rotundifolii	565	30820		260	1775	15000	0	150	40	0	2705
Mulgedio-Aconitetea	0	255	260		10	20	0	0	10	0	0
Salicetea herbaceae	0	600	1775	10		0	0	0	45	0	0
Mosaici	495	15035	6245	75	0	3045	0	0	25	0	760
Asplenetea trichomanis	110	15585	15000	20	0		0	0	0	0	390
Caricetea curvulae	0	220	0	0	0	0		0	0	0	0
Scheuchzerio-Caricetea nigrae	0	190	150	0	0	0	0		0	0	0
Molinio-Arrhenatheretea	0	115	40	10	45	0	0	0		0	0
Montio-Cardaminetea	0	90	0	0	0	0	0	0	0		0
Erico-Pinetea	0	2785	2705	0	0	390	0	0	0	0	
Esterno	615	3990	3460	40	20	100	0	0	15	0	1150
	1830	69730	61020	670	2450	34250	220	340	250	90	7790
b)											
	DE	ES	TR	MA	SH	AT	CC	SC	MU	MC	EP
Detrito afitoico		0.06	0.93	0	0	0.32	0	0	0	0	0
Elyno-Seslerietea	2.46		50.51	38.06	24.49	45.50	100.00	55.88	46.00	100.00	35.75
Thlaspietea rotundifolii	30.87	44.20		38.81	72.45	43.80	0	44.12	16.00	0	34.72
Mulgedio-Aconitetea	0	0.37	0.43		0.41	0.06	0	0	4.00	0	0
Salicetea herbaceae	0	0.86	2.91	1.49		0	0	0	18.00	0	0
Mosaici	27.05	21.56	10.23	11.19	0	8.89	0	0	10.00	0	9.76
Asplenetea trichomanis	6.01	22.35	24.58	2.99	0		0	0	0	0	5.01
Caricetea curvulae	0	0.32	0	0	0	0		0	0	0	0
Scheuchzerio-Caricetea nigrae	0	0.27	0.25	0	0	0	0		0	0	0
Molinio-Arrhenatheretea	0	0.16	0.07	1.49	1.84	0	0	0		0	0
Montio-Cardaminetea	0	0.13	0	0	0	0	0	0	0		0
Erico-Pinetea	0	3.99	4.43	0	0	1.14	0	0	0	0	
Esterno	33.61	5.72	5.67	5.97	0.82	0.29	0	0	6.00	0	14.76

L'analisi della matrice delle adiacenze perimetrali calcolate per i due biotopi (Tab. 3 e Tab. 4) consente di evidenziare i rapporti preferenziali di contiguità tra classi di vegetazione diverse e di interpretarli in chiave dinamico-evolutiva (contatti seriali), oppure in termini di zonazione (contatti catenali). A Foses (Tab. 3) assumono il significato di contatti seriali le adiacenze "preferenziali" tra le fitocenosi detriticole (TR) ed il *Rhododendretum ferruginei* (LV) con le praterie basifitiche (ES) dall'altro, che individuano una linea successionale primaria, mentre la ripartizione delle adiacenze delle formazioni prative intensamente pascolate (MA) tra praterie basifitiche primarie e fitocenosi di torbiera (SC) evidenzia le dinamiche regressive in atto in queste due ultime tipologie in conseguenza del persistere del pascolamento ovino. La contiguità preferenziale tra fitocenosi rupicole (AT) e praterie assume, invece, il significato di contatto catenale. L'analisi della matrice delle adiacenze perimetrali nel biotopo di Ròzes (Tab. 4) evidenzia rapporti preferenziali di contiguità di chiaro significato successionale tra le fitocenosi detriticole, le praterie basifitiche e le mughete (EP), agevolmente verificabili sulla

Fig. 1: Risultato del passaggio di una finestra mobile di 20*20 metri con stima a) del numero locale di tipologie vegetazionali e b) dell'indice di diversità di Shannon nel biotopo di Foses. Sono evidenziate 3 aree caratterizzate dalla massima eterogeneità vegetazionale (a) e 4 aree caratterizzate dalla dominanza delle praterie basifitiche chiuse della classe *Elyno-Seslerietea* (b).

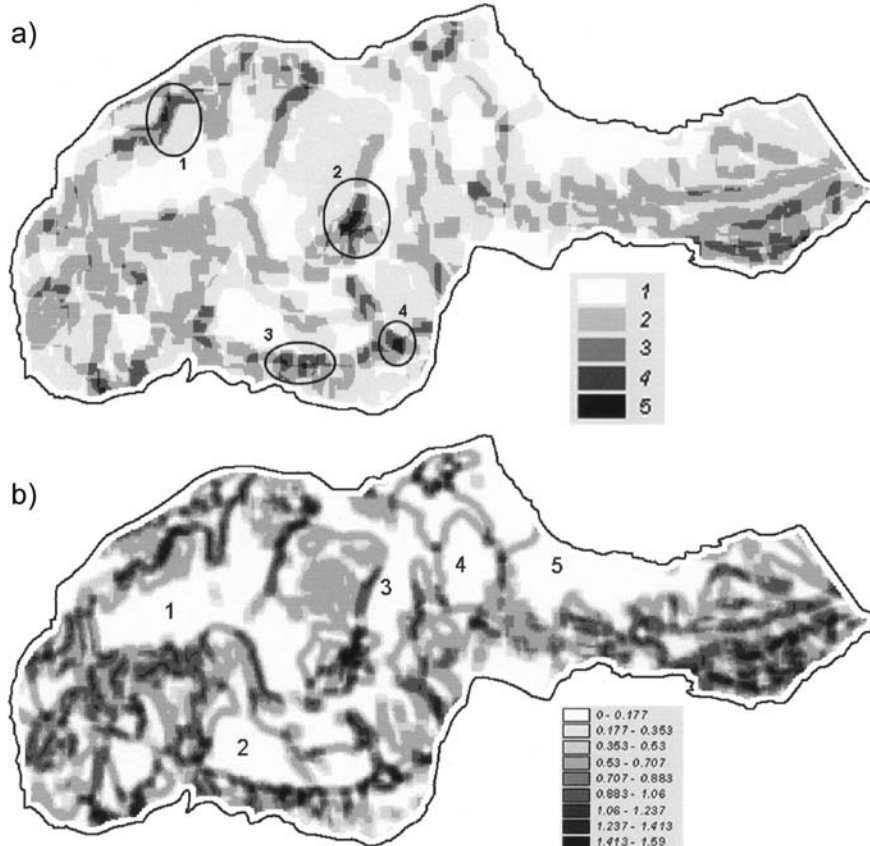


carta della vegetazione alla base delle pareti delle Torri di Falzarego e del Col dei Bos. La vegetazione rupicola presenta adiacenze pressoché esclusivamente con le fitocenosi dei detriti e con le praterie basifitiche. In ambedue i casi si tratta di contatti di tipo catenale. Tra le praterie basifitiche è il *Caricetum firmae*, nella sua forma tipica o con le sue subassociazioni, ad avere una contiguità preferenziale con le fitocenosi rupicole. L'elevata percentuale di adiacenza tra vallette nivali e fitocenosi dei detriti può essere interpretata analizzando la carta della vegetazione, dove si può osservare la stretta relazione di contiguità tra il *Salicetum herbaceae* e il *Salicetum retuso-reticulatae* che colonizza i detriti stabilizzati a lungo innevamento.

Nelle Fig. 1 e 2 vengono presentati i risultati dell'analisi locale della diversità fitocenologica e della dominanza areale eseguita con la tecnica delle finestre mobili. Nel biotopo di Foses sono state individuate 3 aree caratterizzate dalla massima eterogeneità vegetazionale (fino a 5 classi presenti entro la finestra mobile) (Fig. 1a). L'area 1 corrisponde ad un

Fig. 2:

Risultato del passaggio di una finestra mobile di 20*20 metri con stima a) del numero locale di tipologie vegetazionali e b) dell'indice di diversità di Shannon nel biotopo di Ròzes. Sono evidenziate 4 aree caratterizzate dalla massima eterogeneità vegetazionale (a) e 5 aree caratterizzate da una forte dominanza areale di una o al massimo due tipologie vegetazionali (b).



settore particolarmente articolato dal punto di vista morfologico all'interno dell'ampia e inclinata superficie strutturale costituita da Calcari Grigi giurassici che occupa tutta la parte settentrionale del biotopo, mentre le aree 2 e 3 comprendono i due laghi e le circostanti torbiere. Nella Fig. 1b vengono invece evidenziate 4 aree caratterizzate dai valori minimi dell'Indice di Shannon caratterizzate dalla dominanza delle praterie basifitiche chiuse della classe *Elyno-Seslerietea* (*Seslerio-Caricetum semperverentis* o *Campanulo scheuchzeri-Festucetum noricae*). È stato calcolato l'indice di correlazione di Pearson tra le due cartografie (diversità fitocenologica e dominanza areale) ottenendo un valore pari a +0,85. In genere, quindi, laddove la densità delle classi vegetazionali è elevata tende a verificarsi una buona equiripartizione areale tra le classi stesse (nessuna dominanza) e viceversa nel caso di un basso valore di diversità fitocenologica. Dall'analisi di Fig. 1 emerge però che questa regola spaziale non si verifica ovunque a Foses, poiché sono presenti alcune porzioni del biotopo in cui ad un'elevata densità di classi corrisponde comunque la dominanza areale di una di queste (bassi valori dell'indice di Shannon) e, viceversa, alcune porzioni in cui, pur in presenza di una bassa densità di classi, si presenta una situazione di buona equiripartizione areale.

Nel biotopo di Ròzes le zone caratterizzate dalla massima diversità fitocenologica sono situate in un'area morfologicamente tormentata presso Forcella Travenanzes (area 1), sui versanti orientale (area 2) e meridionale (area 3 e 4) del Col dei Bòs e nel sito di Sotecórdes (area 5) in settori dove su una superficie ristretta si alternano pareti rocciose, falde detritiche, praterie primarie a diverso grado di evoluzione, mughete (Fig. 2a). Le aree caratterizzate dalla dominanza di una o due classi fitosociologiche coincidono con il versante nordorientale di Cima Falzarego (area 1), la parete Sud-Ovest ed il versante nordorientale del Col dei Bòs (aree 2 e 3) e con l'ampia fascia detritica a vario grado di consolidamento situata alle pendici del Castelletto (aree 4 e 5) (Fig. 2b). Anche in questo caso è stato calcolato l'indice di correlazione di Pearson tra le due cartografie (diversità fitocenologica e dominanza areale) ottenendo un valore pari a +0,86. Il valore elevato dell'*r* di Pearson conferma che il *pattern* spaziale dominante prevede una forte correlazione positiva tra densità di tipologie vegetazionali ed equiripartizione areale. Così come nel caso di Foses, anche a Ròzes sono presenti alcune aree in cui i due indicatori non sono correlati o lo sono negativamente.

I valori decisamente elevati dell'Indice di Naturalità della Vegetazione riscontrati in ambedue i biotopi (Fig. 3) confermano quanto emerso dall'analisi delle coperture percentuali delle classi vegetazionali, che mostra un'assoluta preminenza delle fitocenosi naturali o prossimo-naturali. La struttura della naturalità della vegetazione, descritta dalle curve cumulative, appare tuttavia diversa nei due biotopi (Fig. 3). A Ròzes l'incidenza della vegetazione antropogena, seminaturale e subnaturale è praticamente irrilevante, mentre notevole è l'estensione delle tipologie caratterizzate da uno stress ecologico naturale, che comprendono tutte le fitocenosi di rupi e detriti e le formazioni erbacee pioniere. Nel biotopo di Foses la superficie occupata da queste ultime tipologie è molto inferiore, mentre maggiore è l'incidenza rispetto a Ròzes delle fitocenosi appartenenti alla categoria della vegetazione erbacea derivata da usi prolungati ed a quella della vegetazione climax o prossima al climax.

L'analisi della rarità della vegetazione (Fig. 4) mostra una sostanziale identità dei due biotopi sia nel valore dell'indice, che nell'andamento delle curve cumulative, che rivela una preminenza in termini di copertura (60%) delle fitocenosi ad ampia distribuzione geografica o a distribuzione panalpica. Rilevante appare anche la percentuale di copertura delle fitocenosi con distribuzione limitata alle Alpi orientali (quasi il 40%).

Fig. 3: Indici di naturalità della vegetazione (INV) relativi ai biotopi in studio. Le curve descrivono le corrispondenti strutture della naturalità.

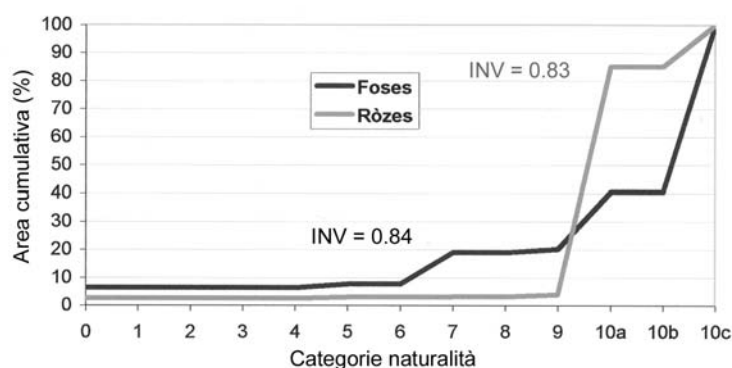
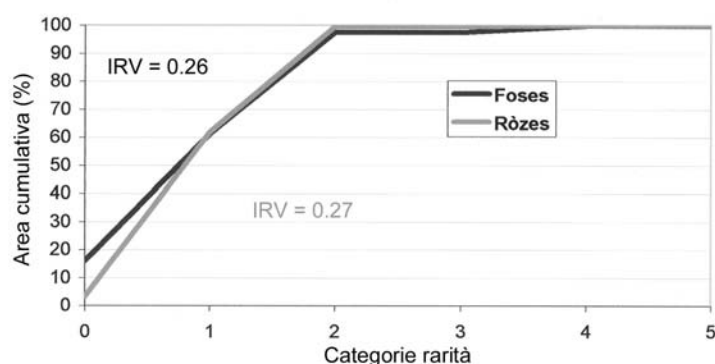


Fig. 4: Indici di rarità della vegetazione (IRV) relativi ai biotopi in studio. Le curve descrivono le corrispondenti strutture della rarità.



4. Considerazioni conclusive

I casi di studio analizzati in questa ricerca corrispondono a realtà territoriali molto simili: due biotopi di grande pregio naturalistico situati all'interno di un parco naturale e caratterizzati, pertanto, da un'elevata estensione di tipi vegetazionali naturali o vicini alla naturalità.

L'analisi quantitativa delle carte della vegetazione attuale, resa possibile dal loro inserimento in un Sistema Geografico Informativo, ha consentito di evidenziare che anche in questo tipo di biotopi livelli tutto sommato contenuti di pressione antropica possono determinare differenze nella struttura della naturalità della vegetazione.

L'uso di alcune aggiornate metodologie di ecologia del paesaggio ha permesso di interpretare il mosaico vegetazionale, valutando il significato della frammentazione e della disposizione reciproca delle fitocenosi ed individuando le aree a maggiore eterogeneità, ovvero gli autentici "hot spots" territoriali di diversità fitocenologica.

L'analisi ha evidenziato che in un paesaggio di alta montagna, assai scarsamente antropizzato e caratterizzato da un'elevata omogeneità geopedologica, dovuta all'assoluta predominanza dei substrati carbonatici, il *pattern* vegetazionale risponde sostanzialmente all'andamento della morfologia del rilievo ed a variazioni nei parametri topografici, come d'altronde già evidenziato in altri contesti territoriali da altri autori (GERDOL et al. 1985, DEL BARRIO et al. 1997, TAPPEINER et al. 1998, ed altri ancora). In ambienti di alta montagna i parametri morfologici e topografici regolano, infatti, l'entità della radiazione solare incidente e lo spessore e la durata della copertura nevosa, condizionando quindi in modo indiretto le risposte funzionali delle specie e la distribuzione delle comunità vegetali (KÖRNER 1999). La quantificazione dei contatti seriali ha permesso di definire le principali linee evolutive potenziali della vegetazione ed ha fornito una stima indiretta dell'entità dei fenomeni degenerativi legati alla pressione antropica. Questo risultato, unito all'individuazione delle aree a più elevata diversità fitocenologica, costituisce un'acquisizione teoricamente spendibile sul piano della gestione del territorio all'interno di un parco naturale, in cui la conservazione di un patrimonio vegetale di grande pregio rappresenta una delle principali ragioni di esistenza. La valenza dei Sistemi Geografici Informativi e delle metodologie dell'ecologia del paesaggio come strumenti di monitoraggio ambientale utilizzabile per la gestione e pianificazione del territorio appare quindi confermata anche per gli ambienti di alta montagna ad elevata naturalità.

Riassunto

Vengono presentati i risultati dell'analisi quantitativa, realizzata mediante Sistemi Geografici Informativi e metodologie dell'ecologia del paesaggio, di due carte fitosociologiche della vegetazione attuale alla scala 1:5.000, realizzate nella "Conca glaciocarsica dei Laghi di Foses" e nell'area "Ròzes-Col dei Bòs-Sotecòrdes", all'interno del Parco Naturale Regionale delle Dolomiti d'Ampezzo, in Provincia di Belluno. Il confronto tra le coperture percentuali delle diverse classi fitosociologiche nei due biotopi ha dimostrato la predominanza delle praterie basifitiche. Il biotopo di Rozes si differenzia per l'elevata incidenza delle fitocenosi di rupi e detriti, mentre quello di Foses è caratterizzato da comunità idrofittiche e di torbiera, poco estese, ma molto rilevanti dal punto di vista fitogeografico. In ambedue i biotopi dal calcolo dell'Indice di Connettanza è emerso che la frammentazione della vegetazione è fondamentalmente determinata da variazioni nella morfologia e nella topografia del rilievo. L'analisi della matrice delle adiacenze perimetrali ha permesso di definire le principali linee evolutive potenziali della vegetazione. Attraverso l'analisi locale dell'eterogeneità fitocenologica e della dominanza areale, eseguita utilizzando la metodologia delle finestre mobili, sono stati individuati gli "hot spots" di diversità vegetazionale all'interno dei due biotopi. I valori ottenuti dal calcolo dell'Indice di Naturalità della Vegetazione sono risultati molto elevati, ma la struttura della naturalità vegetazionale appare leggermente diversa nelle due aree in studio. L'analisi della rarità della vegetazione ha evidenziato l'importanza delle fitocenosi corologicamente legate alle Alpi orientali.

Ringraziamenti

La ricerca è stata svolta grazie al supporto economico fornito dal Parco Naturale Regionale delle Dolomiti d'Ampezzo sulla base di un finanziamento ottenuto dalla Regione Veneto.

Bibliografia

- BAILEY R.G., 1996: Ecosystem geography. Springer-Verlag, New York.
- BIONDI E., FILIGHEDDU R. & FARRIS E., 2004: Cartography and diachronic analysis of the vegetation of S'Ena Arrubia Lagoon (Centre Western Sardinia). *Fitosociologia*, 41(1) suppl. 1: 109-116.
- BRAUN-BLANQUET J., 1964: Pflanzensociologie. 3. Aufl., Vienna.
- CHYTRÝ M., 1998: Potential replacement vegetation: an approach to vegetation mapping of cultural landscapes. *Appl. Veg. Sci.*, 1: 177-188.
- DEL BARRIO G., ALVERA B., PUIGDEFABREGAS J. & DIAZ C., 1997: Response of high mountain landscape to topographic variables: Central Pyrenees. *Landscape Ecol.*, 12 (2): 95-115.
- FARINA A., 1998: Principles and methods in Landscape Ecology. Chapman Hall, London.
- FERRARI C., PEZZI G., DIANI L. & ZITTI S., 2000: Le carte fitosociologiche della vegetazione come strumento di analisi ecologica del paesaggio. Casi di studio nell'Appennino settentrionale. *Arch. Geobot.*, 5(1-2) (1999): 95-108.
- FERRARINI A., 2001: Il *software Gliding Box*, manuale d'uso. Rapporto tecnico non pubblicato.
- FERRARINI A., 2005: Analisi spazio-temporale mediante GIS e Telerilevamento del grado di Pressione Antropica attuale e potenziale gravante sul mosaico degli habitat di alcune aree italiane e formulazione di ipotesi di pianificazione territoriale. Tesi di Dottorato in Ecologia - Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Parma, 209 pp.
- FERRARINI A., ROSSI P. & ROSSI O., 2005: Ascribing ecological meaning to habitat shape through a piecewise regression approach to fractal domains. *Landscape Ecology*, 20: 799-809.
- FORMAN R.T.T., 1995: Land Mosaics. The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press.
- FROHN R.C., 1998: Remote sensing for landscape ecology, new metric indicators for monitoring, modelling and assessment of ecosystems. Lewis Publishers, Boca Raton, Boston, London, New York, Washington D.C.
- GARDI C., GUALMINI M. & TOMASELLI M., 2001: Il ruolo del G.I.S. nella gestione delle risorse ambientali: due esempi relativi ai parchi regionali dell'Appennino emiliano. *Inform. Bot. Ital.*, 33(1): 172-175.
- GERDOL R., FERRARI C., PICCOLI F. & TOMASELLI M., 1985: Vegetation and geomorphology in a fossil glacial cirque of the northern Apennines. *Coll. Phytosoc.*, 13: 293-306.
- KÖRNER C., 1999: Alpine plant life. Springer-Verlag, Berlin.
- KÜCHLER A.V. & ZONNEVELD I.S., 1988: Vegetation mapping. Kluwer, Dordrecht.
- MLADENOFF D.J. & DE ZONIA B., 2001: Apack 2.17 Analysis Software. User's guide.
- O'NEILL R.V., HUNSAKER C.T., TIMMINS S.P., JACKSON B.L., JONES K.B., RIITERS K.H. & WICKHAM J.D., 1996: Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale, *Landscape Ecology*, 11(3): 169-180.
- PIROLA A., 1978: Cartografia della vegetazione: definizioni, tipi e convenzioni. In: PIROLA A. & OROMBELLI G. (eds.), "Metodi di cartografia geo-ambientale e di cartografia della vegetazione". Progr. Final. "Promozione Qualità Ambiente", C.N.R., AC/1, Roma: 27-44.
- PIZZOLOTTO R. & BRANDMAYR P., 1996: An index to evaluate landscape conservation state based on land-use pattern analysis and Geographic Information System techniques. *Coenoses*, 11: 37-44.
- RIITERS K., WICKHAM J., O'NEILL R., JONES B. & SMITH E., 2000: Global-scale patterns of forest fragmentation. *Conservation Ecology*, 4 (2) (online).

- ROSSI G., DOWGIALLO G. & TOMASELLI M., 1998: Cartographic vegetation-soil relationships within a glacial cirque of the northern Apennines (N-Italy). *Ecologie*, 29 (1-2): 193-195.
- SHANNON C. & WEAVER W., 1962: The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, Illinois, USA.
- TAPPEINER U., TASSER E. & TAPPEINER G., 1998: Modelling vegetation patterns using natural and anthropogenic influence factors: preliminary experience with a GIS based model applied to an Alpine area. *Ecological Modelling*, 113: 225-237.
- TOMASELLI M., MANZINI M.L. & DEL PRETE C., 1994: Carta della vegetazione con itinerari naturalistici 1:25000 del Parco Regionale dell'Alto Appennino modenese – Fogli Est ed Ovest. Servizio Cartografico - Regione Emilia-Romagna.
- TOMASELLI M., LASEN C., ARGENTI C., GUALMINI M., PETRAGLIA A. & NASCIBENE I., 2006: Studio geobotanico di due biotopi del Parco Naturale Regionale delle Dolomiti d'Ampezzo (Belluno - Italia Nordorientale). *Gredleriana*, 6: 9-30.
- TURNER M.G. & GARDNER R.H., 1991: Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity. Springer-Verlag, New York.
- UBALDI D. & CORTICELLI S., 1988: Metodo per la cartografia fitosociologica della vegetazione dell'Appennino Emiliano-Romagnolo. *Boll. A.I.C.*, 72-74: 795-801.
- VOS W. & STORTELDER A., 1992: Vanishing Tuscan landscapes. Landscape ecology of a submediterranean-montane area (Solano Basin, Tuscany, Italy). Pudoc, Wageningen.
- WESTHOFF V., 1983: Man's attitude towards vegetation, 7-24. In: HOLZNER W., WERGER M.J.A. & IKUSIMA I., (eds), *Man's impact on vegetation*, Junk, The Hague.
- WESTHOFF V. & VAN DER MAAREL E., 1978: The Braun-Blanquet approach. In: WHITTAKER R.H. (ed.), *Classification of plant communities*. Junk, The Hague: 287-399.
- ZERBE S., 1998: Potential natural vegetation: validity and applicability in landscape planning and nature conservation. *Appl. Veg. Sci.*, 1: 165-172.
- ZONNEVELD I.S., 1995: *Land ecology*: SPB Academic Publishing, Amsterdam.

Indirizzi degli autori:

Marcello Tomaselli, Alessandro Petraglia
Dipartimento di Biologia Evolutiva e Funzionale, Università di Parma
Parco Area delle Scienze 11/A
I-43100 Parma
marcello.tomaselli@unipr.it
alessandro.petraglia@naturmedia.it

Cesare Lasen
Frazione Arson, 114
I-32030 Villabruna (Belluno)
cesarelasen@tele2.it

Alessandro Ferrarini
Via Saragat, 4
I-43100 Parma
sgtpm@libero.it

Matteo Gualmini
Via per Polinago, 32
I-41026 Pavullo (Modena)
gualmini@tiscali.it

presentato: 22.12.2005
accettato: 02.08.2006