

Analisi mediante tecniche GIS delle relazioni tra variabili ecologiche e vegetazione forestale nelle Prealpi Giulie.

Turco S ⁽¹⁾, Napolitano R ⁽²⁾, Alberti G* ⁽¹⁾, Altobelli A ⁽²⁾, Ganis P ⁽²⁾, Bonfanti PL ⁽¹⁾

(1) Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali, Università di Udine; (2) Dipartimento di Biologia, Università di Trieste - * Corresponding author: Alberti G, alberti@uniud.it

Abstract: *Analysis of relationship between ecological variables and forest communities in the Prealps of north-eastern Italy by Geographical Information System.* The forest communities distribution in mountainous areas is strongly related to some primary ecological factors (e.g. water, temperature, geology) and to some other factors derived from the soil morphology (e.g. slope, aspect and solar radiation). The aim of this study is to investigate and express quantitatively the relationships between ecological factors and forest communities through geospatial analysis in a GRASS GIS. There are significant statistical differences between forest communities according to environmental factors (Kruskal-Wallis test, T2 of Tamhane, PCA). Some ecological factors studied (e.g. solar potential radiation) are useful to describe forest communities in indirect gradient analysis. The study area is located in the Eastern Prealps of Friuli Venezia Giulia (Italy) and is characterized by a large environmental variability (climate, natural and human disturbances).

Keywords: categorie forestali, fattori ecologici, Geographic Information System, Principal Component Analysis, Prealpi Giulie.

Received: Sep 06, 2004 - Accepted: Dec 13, 2004

Citation: Turco S, Napolitano R, Alberti G, Altobelli A, Ganis P, Bonfanti PL, 2004. Analisi mediante tecniche GIS delle relazioni tra variabili ecologiche e vegetazione forestale nelle Prealpi Giulie. *Forest@* 1 (2): 88-99. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

Introduzione

Negli studi di ecologia forestale l'analisi dei fattori ambientali riveste un aspetto estremamente importante per comprendere la distribuzione spaziale delle diverse categorie forestali (Codogno & De Fabris 1999). I fattori climatici, quelli edafici, la morfologia del territorio e le alterazioni indotte dall'uomo sono i parametri che condizionano maggiormente lo stato e la distribuzione della vegetazione.

Le caratteristiche del clima, in una data area della superficie terrestre, sono rappresentate dalla radiazione solare, dalla temperatura dell'aria, dalla pressione atmosferica, dall'umidità dell'aria e dalle precipitazioni. Tali fattori condizionano la presenza delle diverse specie vegetali e di conseguenza la composizione delle diverse comunità vegetali presenti. Anche le caratteristiche del substrato geologico influiscono direttamente sulla presenza della vegeta-

zione, in quanto determinano le condizioni favorevoli per l'insediamento delle comunità biologiche dando così inizio al processo di formazione del suolo (pedogenesi). Questo ultimo può essere visto come il risultato dell'interazione tra biosfera, atmosfera e litosfera cioè degli effetti del clima, della costituzione litologica, della morfologia e dell'attività biotica (Giordano 2003).

Un discorso a parte meritano le aree montane dove sono soprattutto le caratteristiche topografiche (esposizione, pendenza e altitudine) ad influenzare la vegetazione determinando variazioni in termini di radiazione solare, di precipitazioni e di temperatura.

Ultimo, ma non per importanza, è l'effetto dovuto all'uomo che nel corso della storia ha sempre tratto beneficio dalle risorse forestali, non sempre in modo razionale, passando dal disboscamento all'abbandono temporaneo o definitivo del bosco (Tappeiner et al. 1998, Piussi 2002).

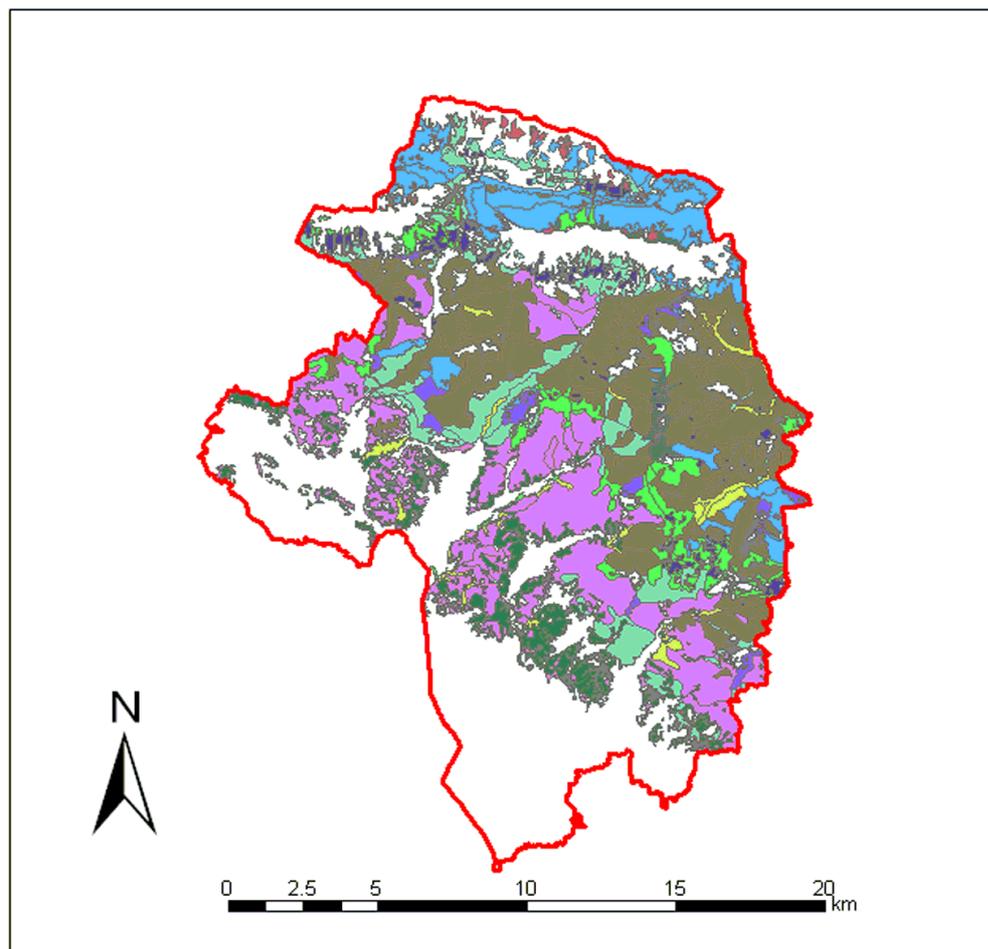
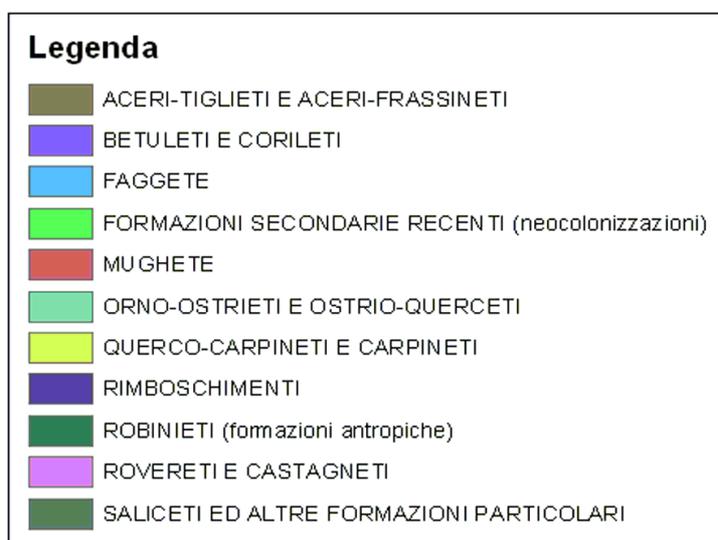


Fig. 1 - Tipi forestali presenti nel Comprensorio Valli del Torre e del Natisone (da: Carta dei Tipi Forestali della Regione Friuli Venezia Giulia).



Lo scopo di questo studio è, quindi, indagare ed esprimere quantitativamente le relazioni esistenti tra categorie forestali e alcuni dei fattori ambientali più importanti attraverso l'impiego di analisi geospaziali operate in ambiente GIS. In questo lavoro non viene considerato l'effetto operato dall'uomo ma vengono

considerati i seguenti parametri ecologici: radiazione solare, temperatura, precipitazione e substrato geologico.

Area di studio

L'area di studio (lat. 46°12', long. 13°20') è situata

Tab. 1 - Categorie forestali e loro superfici all'interno dell'area di studio.

Categoria forestale	Superficie	
	ha	%
Mughete	146	1%
Saliceti ed Altre Formazioni Particolari	188	1%
Betuleti e Corileti	388	2%
Quercio-Carpineti e Carpineti	530	3%
Rimboschimenti	629	3%
Formazioni Secondarie Recenti (Neocolonizzazioni)	1321	7%
Robineti (Formazioni Antropiche)	1359	7%
Orno-Ostrieti e Ostrio-Querceti	2167	11%
Faggete	2426	12%
Rovereti e Castagneti	4592	23%
Aceri-Tiglieti e Aceri-Frassineti	5891	30%
Totale Superficie Area di Studio	31378	
Totale Superficie Forestale	19635	63%

nella parte orientale del Friuli Venezia Giulia e ricade interamente all'interno del Comprensorio Montano delle Valli del Torre e del Natisono (fig. 1) e presenta una superficie complessiva di 31.378 ha, di cui 19.635 ha (63%) rappresentati da bosco (Carta dei Tipi Forestali della Regione Friuli Venezia Giulia, anno 1998). Il territorio si estende dalla pianura all'arco prealpino giuliano ed è quindi caratterizzato da un'elevata eterogeneità sia degli ambienti naturali che di quelli antropici. La temperatura media annua è compresa tra 9 e 13°C e la piovosità è di circa 3000 mm anno⁻¹.

Dal punto di vista geolitologico, la parte superiore dell'area di studio è delimitata a nord dalla muraglia dei Monti Musi ed è caratterizzata dalla presenza di dolomia e calcari dolomitici con ampie zone di accumulo di detriti soprattutto al di sotto di zone ad elevata pendenza; la parte centrale è costituita prevalentemente da calcari, mentre la parte collinare posta a sud è costituita da rilievi di brecce a variabile grado di cementificazione che vanno degradando verso zone alluvionali; a sud-ovest sono presenti colline di origine morenica formatesi durante il wurmiano, mentre a sud est sono tipiche le formazioni calcaree *fliscioidi*. Le zone di deposito alluvionale sono localizzate lungo le aste fluviali dei torrenti Torre,

Cornappo e Lagna.

Elevata piovosità, temperature relativamente miti ed escursioni termiche abbastanza limitate concorrono a determinare un regime climatico che favorisce lo sviluppo di una vegetazione ricca e diversificata. Il 63% della superficie totale del territorio è coperta da boschi (fig. 1 e tab. 1), che sono rappresentati in massima parte da *acero-tiglieti* ed *acero-frassineti* (30%), derivanti da processi di ricolonizzazione di coltivi e prati abbandonati nell'ultimo cinquantennio (AA VV 1998); *rovereti e castagneti* (23%); *faggete* (12%); *orno-ostrieti* ed *ostro-querceti* (11%); *robineti* (7%) e *formazioni secondarie recenti* (7%).

Materiali e metodi

Le elaborazioni geospaziali sono state condotte mediante GIS GRASS, *free software open source* (www.grass.itc.it) che mette a disposizione numerose e potenti funzioni di analisi di dati spaziali, in particolare attraverso moduli di algebra delle mappe e *reporting* ed è uno strumento particolarmente adatto in analisi di tipo ambientale (Mitchell et al. 2002).

Dalla Carta Tecnica Regionale in formato Numerico (CTRN) della regione Friuli Venezia Giulia (FVG) a scala 1:25000 sono stati estratti i punti di quota per

Tab. 2 - Tabella di contingenza categorie forestali - geologia. Le percentuali si riferiscono alla superficie totale occupata dalla categoria.

Categoria Forestale	Substrati Geologici													Totale
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	
Quercio carpineti e carpineti	4%	1%	37%	44%		6%	4%	1%			2%	1%		100%
Rovereti e castagneti	1%		55%	39%	1%	2%					1%	1%		100%
Orno-ostrieti ed ostrio-querceti	50%		36%	5%	2%	7%								100%
Acero-tiglieti ed acero-frassineti	6%	1%	72%	17%		3%		1%						100%
Betuleti e corileti	46%	13%	37%	2%	1%	1%								100%
Faggete	62%	6%	7%	6%	2%	16%								100%
Mughete	89%					11%								100%
Saliceti ed altre form. particolari	24%		72%			4%								100%
Robinieti			10%	71%		1%	2%	1%		3%	2%	9%	1%	100%
Rimboschimenti	30%		40%	5%	6%	19%								100%
Formazioni secondarie	16%		74%	5%	1%	1%					2%			100%

Legenda Substrati Geologici:

(A) Masse rocciose calcaree e dolomitiche stratificate generalmente omogenee e scarsamente degradabili - (B) Masse rocciose arenacee e siltose laminate nettamente stratificate. Generalmente omogenee e molto degradabili - (C) Masse rocciose in facies fliscioide: arenarie con intercalazioni di marne, conglomerati, calcareniti, o di brecciole calcaree. - (D) Masse rocciose in facies gessosa. Include gessi, saccaroidi, gessi laminati, marne gessose - (E) Sedimenti ghiaiosi ciottolosi mal graduati con scarso fino o ben graduati con scarso fino - (F) Sedimenti ghiaiosi variamente graduati con sabbia localmente ciottoli grossolani e blocchi - (G) Sedimenti ghiaiosi ben graduati con sabbia: sedimenti ghiaiosi ben graduati con eccesso di fino, sedimenti sabbiosi mal graduati con scarso fino - (H) Localmente sedimenti ghiaiosi ben graduati con scarso fino. Prevalentemente sedimenti ghiaiosi ben graduati con buon legante limoso argilloso - (I) Sedimenti ghiaiosi ben graduati con variabili quantità di fino includenti orizzonti più o meno tenacemente cementati, di potenza anche rilevante - (L) Sedimenti ghiaiosi graduati con buon legante limoso-argilloso. Sedimenti ghiaiosi uniformi con eccesso di fino. Localmente sedimenti sabbiosi ben graduati con abbondante fino in lenti - (M) Sedimenti sabbiosi ben graduati con eccesso di fino. Sedimenti sabbiosi mal graduati con eccesso di fino. Sedimenti sabbioso-limosi a bassa complessità - (N) Sedimenti sabbioso-ghiaiosi mal graduati con eccesso di fino. Sedimenti sabbiosi ben graduati con eccesso di fino. Sedimenti sabbioso-limosi mal graduati con eccesso di fino - (O) Sedimenti limoso-argillosi a bassa compressibilità. Sedimenti sabbioso-limosi mal graduati con eccesso di fino.

derivare il modello digitale del terreno (DEM), da cui sono stati ricavati i dati di pendenza ed esposizione necessari per il successivo calcolo dell'irraggiamento potenziale annuo. Quest'ultimo è stato ottenuto utilizzando il modello *r.sun* (Hofierka &

Suri 2002) implementato in ambiente GIS GRASS. Tale modello consente di calcolare la radiazione solare giornaliera in condizioni di cielo sereno tenendo conto della posizione geografica (latitudine e longitudine), della posizione e dell'angolo d'inci-

Tab. 3 - Matrice di correlazione tra i parametri analizzati.

Parametro	Altitudine	Irraggiamento	Temperatura	Piovosità
Altitudine	1.00	-0.16	-0,64	0,62
Irraggiamento	-0.16	1.00	0.14	-0.16
Temperatura	-0,64	0.01	1.00	-0,79
Piovosità	0,62	-0.16	-0,79	1.00

denza del sole e dell'effetto ombra. Uno *script* ha poi permesso di calcolare l'energia globale incidente cumulata annua.

Utilizzando i dati delle stazioni termo-pluviometriche di rilievo presenti nell'area, sono state calcolate le mappe di piovosità e temperatura media annua mediante interpolazione di tipo *universal kriging* (Eccel & Rea 2004) con una risoluzione geometrica di 50 metri per l'intera area di studio.

Le carte dei Tipi Forestali in scala 1:25.000 (anno 1998) e dei substrati geolitologici in scala 1:50.000 (anno 2000) sono state convertite da formato vettoriale a formato raster con risoluzione 50 metri. Quindi, tutte le mappe utilizzate sono state omogeneizzate alla scala 1:50000 (risoluzione del pixel = 50 m). Nel presente lavoro, con il termine *tipo forestale* si intende una unità tipologica caratterizzata da un elevato grado di omogeneità sotto l'aspetto floristico, ecologico e selvicolturale. E' individuabile dal punto di vista floristico dalla presenza delle specie indicatrici e viene denominata impiegando termini in uso nella pratica corrente, in particolare può contenere nella sua denominazione qualche caratteristica ecologica, geografica e talvolta anche floristica importante per la sua distinzione. L'espressione *categorie forestali* è stata invece utilizzata per indicare un insieme di tipi che hanno in comune la specie dominante (aspetto fisionomico) ed che corrispondono alle grandi unità di vegetazione usualmente impiegate in selvicoltura: faggete, abetine, ecc.

L'incrocio delle mappe ottenute ha consentito di ottenere una matrice di dati in cui, per ogni punto spaziale, sono presenti le informazioni relative alla categoria forestale ed ai parametri ambientali associati. La matrice ottenuta dall'incrocio delle mappe in formato *raster* è stata sottoposta alle seguenti analisi statistiche mediante il software SPSS v.11 (SPSS Inc 2003) per studiare le preferenze ecologiche e le differenze tra categorie forestali: analisi della varianza (ANOVA), test robusti per l'uguaglianza delle medie (Walch e Brown-Forsythe), test post-hoc, test

non parametrici (Kruskal-Wallis) e l'analisi delle componenti principali (PCA). Quest'ultima analisi, applicata alle variabili ecologiche nel loro insieme e per ogni singola categoria forestale presa in esame è stata utilizzata per stabilire quali variabili ecologiche siano più determinanti a spiegare la distribuzione dei popolamenti (Horsch 2003). Queste analisi non sono state applicate ai dati relativi alla geologia in quanto questi ultimi sono solo di tipo qualitativo. In questo caso, per analizzare le preferenze delle categorie forestali, è stata prodotta una tabella di contingenza.

Tab. 4 - Varianza totale spiegata usando come metodo la PCA: per due componenti estratte si spiega più dell'80% della varianza totale; nella parte B della tabella sono riportati i pesi dei fattori più significativi.

(A)

Componenti (Assi PC)	Autovalori iniziali		
	Totale	% di varianza	% cumulata
1	2.41	60.38	60.38
2	0.95	23.77	84.15
3	0.42	10.52	94.67
4	0.21	5.33	100.00

(B)

Fattore	Componente	
	PCA1	PCA2
Altitudine	0,83	0.08
Irraggiamento	-0.29	0,96
Temperatura	-0,91	-0.13
Piovosità	0,9	0.10

Risultati

Poiché alcune delle assunzioni a cui devono sottostare l'ANOVA ed i test robusti per l'uguaglianza delle medie erano violate (per es. omogeneità delle varianze), i risultati di tali test, anche se significativi, non sono stati presi in considerazione, mentre si è preferito impiegare i test non parametrici. In particolare, tra questi, il test di Kruskal-Wallis ha mostrato che le categorie sono significativamente differenti per i quattro parametri considerati ($p < 0.001$).

Test *post hoc* a confronti multipli che non ipotizzano varianze uguali (T2 di Tamhane, T3 di Dunnett, Games-Howell e C di Dunnett) hanno dato risultati analoghi e quindi di seguito saranno citati solo i risultati ottenuti dal T2 di Tamhane. Per quanto riguarda l'altitudine, tutte le categorie forestali sono diverse l'una dall'altra (in tutti casi $p < 0.05$). Considerando l'irraggiamento, i *querco-carpineti* e *carpineti* non si differenziano molto dagli *aceri-frassineti* ($p = 0.991$), dai *betuleti e corileti* ($p = 0.975$), dai *robinieti* ($p = 1.000$) e dalle *formazioni secondarie recenti* ($p = 1.000$); gli *orno-ostrieti e ostrio-querzeti* hanno comportamento simile ai *rimboschimenti* ($p = 0.086$),

anche se al limite del livello di significatività; i *betuleti e corileti* sono simili anche ai *robinieti* ($p = 0.624$) e alle *formazioni secondarie recenti* ($p = 0.995$); i *robinieti* sono simili alle *formazioni secondarie recenti* ($p = 1.000$). In relazione alla temperatura, le uniche categorie non significativamente diverse tra loro sono le *faggete* e le *mughete*. Riguardo la piovosità, i *querco-carpineti e carpineti* non hanno una differenza significativa con i *betuleti e corileti* ($p = 0.433$) e con le *formazioni secondarie recenti* ($p = 0.067$, al limite della soglia); mentre gli *orno-ostrieti e ostrio-querzeti* sono simili alle *formazioni secondarie recenti* ($p = 1.000$).

Per quanto riguarda i substrati geologici, i risultati per categoria forestale sono riportati in Tab. 2.

La PCA ha permesso di classificare le categorie forestali in base alla loro distribuzione spaziale lungo i gradienti ecologici più importanti e di ottenere ulteriori informazioni riguardanti l'importanza relativa dei fattori ambientali per singola categoria. In tab. 3 viene riportata la matrice di correlazione tra i parametri considerati. Nel caso in cui si prendano in considerazione le prime due componenti estratte è possibile spiegare più dell'80% della varianza totale

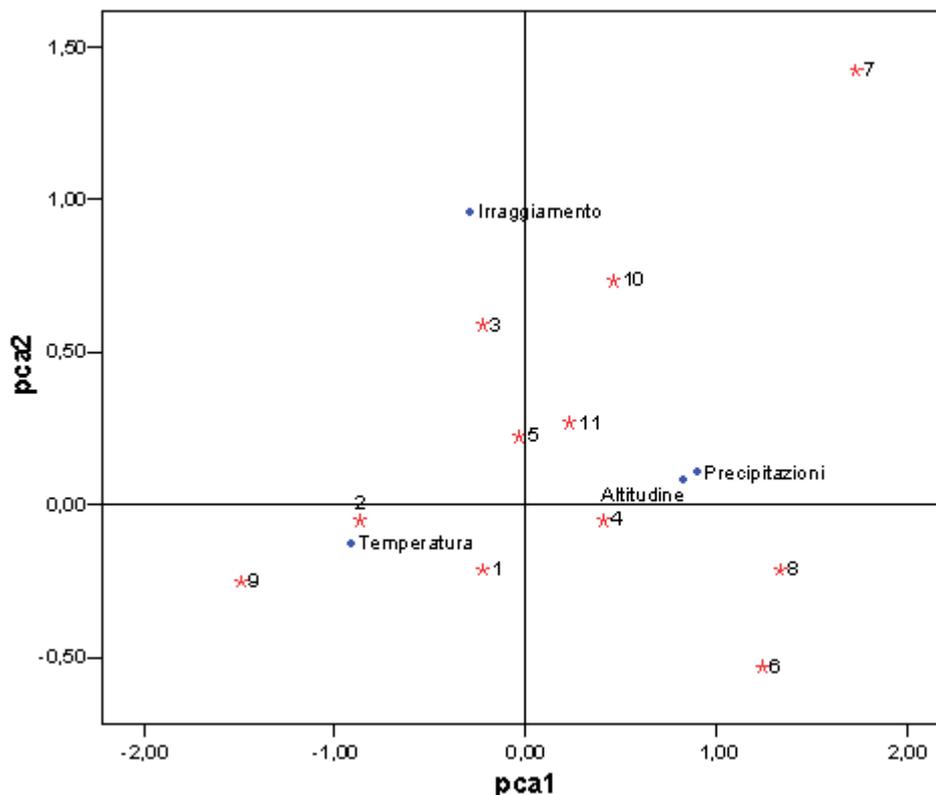


Fig. 2 - Posizione delle categorie forestali (*) e delle variabili ecologiche (•) nello spazio bidimensionale (pca1, pca2). (1- *querco-carpineti e carpineti*, 2- *rovereti e castagneti*, 3- *orno ostrieti ed ostrio-querzeti*, 4- *aceri-tiglieti ed aceri-frassineti*, 5- *betuleti e corileti*, 6- *faggete*, 7- *mughete*, 8- *saliceti ed altre formazioni particolari*, 9- *robinieti*, 10- *rimboschimenti*, 11- *formazioni secondarie recenti*).

Tab. 5 - Distribuzione delle categorie forestali e dei tipi forestali nelle classi di altitudine (le percentuali sono riferite alla superficie totale occupata dalla categoria). Sono riportati solo i tipi con superficie superiore al 7% sul totale categoria.

Categoria	Tipi Forestali	Classe di Altitudine (m)					Totale su sup. categoria
		0-400	400-600	600-800	800-1000	> 1000	
Aceri-frassineto ed aceri-tiglieto	<i>Aceri-frassineto con faggio</i>		2%	4%	1%		6%
	<i>Aceri-frassineto con ontano nero</i>		6%	12%	2%		20%
	<i>Aceri-frassineto con ostria</i>	1%	4%	5%	1%		11%
	<i>Aceri-frassineto tipico</i>	1%	8%	15%	5%		30%
	<i>Aceri-frassineto tipico, var. con tiglio</i>	1%	5%	2%	0%		8%
	<i>Aceri-tiglieto</i>	2%	9%	11%	2%		24%
	TOTALE SU SUP. CATEGORIA	4%	34%	49%	12%	0%	100%
Castagneti e rovereti	<i>Castagneto con frassino</i>	1%	4%	1%			6%
	<i>Castagneto dei suoli acidi</i>	14%	10%	2%			26%
	<i>Castagneto dei suoli mesici</i>	30%	24%	6%			60%
	<i>Rovereto dei suoli acidi, var. con faggio</i>	4%					4%
	TOTALE SU SUP. CATEGORIA	48%	38%	10%	0%	0%	96%
Faggete	<i>Faggeta montana tipica esalpica</i>					32%	33%
	<i>Faggeta submontana con ostria</i>		2%	7%	11%	5%	25%
	<i>Faggeta submontana dei suoli mesici carbonatici</i>		1%	1%		1%	4%
	<i>Faggeta submontana dei suoli mesici silicatici</i>			3%	6%		9%
	<i>Faggeta submontana tipica</i>			8%	10%	8%	26%
	TOTALE SU SUP. CATEGORIA	0%	3%	19%	26%	47%	96%
Orno-ostrieti ed ostrio-querceti	<i>Orno-ostrieto primitivo di falda detritica</i>			2%	2%		4%
	<i>Orno-ostrieto primitivo di rupe</i>		1%		2%	2%	5%
	<i>Orno-ostrieto tipico</i>	8%	19%	13%	7%	4%	51%
	<i>Orno-ostrieto tipico, var. con carpino bianco</i>		4%	3%	1%		8%
	<i>Orno-ostrieto tipico, var. con faggio</i>		1%	2%	1%		4%
	<i>Ostrio-querceto tipico</i>	3%	3%	2%	1%		9%
	<i>Ostrio-querceto tipico, var. con rovere</i>	11%	4%	2%	1%		18%
	TOTALE SU SUP. CATEGORIA	22%	32%	24%	14%	6%	100%

(tab. 4) ed è quindi possibile illustrare le differenze ecologiche delle categorie forestali in un piano bidimensionale (fig. 3).

La PCA ha messo in evidenza come vi siano delle

differenze nelle loro esigenze ecologiche e come i fattori altitudine e piovosità si collochino vicini tra loro nello spazio bidimensionale (fig. 2). La distribuzione dei *rovereti* e *castagneti* è maggiormente in

Tab. 6 - Distribuzione delle categorie forestali e dei tipi forestali nelle classi di irraggiamento (le percentuali sono riferite alla superficie totale occupata dalla categoria). Sono riportati solo i tipi con superficie superiore al 7% sul totale categoria.

Categorie Forestali	Tipologie Forestali Forestali	Classi di Irraggiamento (MJ m ⁻² giorno ⁻¹)					Totale su sup. categoria
		<8	8-11	11-14	14-17	>17	
Aceri-frassineto ed aceri-tiglieto	<i>Aceri-frassineto con faggio</i>		2%	2%	2%		6%
	<i>Aceri-frassineto con ontano nero</i>		7%	6%	3%	3%	20%
	<i>Aceri-frassineto con ostria</i>	1%	4%	2%	3%	1%	11%
	<i>Aceri-frassineto tipico</i>	1%	9%	7%	8%	6%	30%
	<i>Aceri-frassineto tipico, var. con tiglio</i>		3%	1%	2%	2%	9%
	<i>Aceri-tiglieto</i>		8%	10%	2%	5%	24%
	TOTALE SU SUP. CATEGORIA	2%	32%	28%	19%	17%	100%
Castagneti e rovereti	<i>Castagneto con frassino</i>		3%	1%	1%	1%	6%
	<i>Castagneto dei suoli acidi</i>		4%	11%	1%	9%	26%
	<i>Castagneto dei suoli mesici</i>		9%	30%	1%	19%	60%
	<i>Rovereto dei suoli acidi, var. con faggio</i>		2%	1%		1%	4%
	TOTALE SU SUP. CATEGORIA	0%	18%	44%	3%	30%	96%
Faggete	<i>Faggeta montana tipica esalpica</i>	4%	8%	4%	16%	1%	33%
	<i>Faggeta submontana con ostria</i>	2%	3%	4%	4%	12%	25%
	<i>Faggeta submontana dei suoli mesici carbonatici</i>	1%	1%	1%	2%		4%
	<i>Faggeta submontana dei suoli mesici silicatici</i>		5%	2%	1%		9%
	<i>Faggeta submontana tipica</i>	4%	4%	8%	9%	1%	26%
	TOTALE SU SUP. CATEGORIA	11%	22%	18%	31%	14%	96%
Orno-ostrieti ed ostrio-querzeti	<i>Orno-ostrieto primitivo di falda detritica</i>			1%		3%	4%
	<i>Orno-ostrieto primitivo di rupe</i>	1%	1%			4%	5%
	<i>Orno-ostrieto tipico</i>	2%	3%	8%	4%	34%	51%
	<i>Orno-ostrieto tipico, var. con carpino bianco</i>					8%	8%
	<i>Orno-ostrieto tipico, var. con faggio</i>			1%		2%	4%
	<i>Ostrio-querceto tipico</i>			3%	1%	5%	9%
	<i>Ostrio-querceto tipico, var. con rovere</i>		1%	6%		12%	18%
	TOTALE SU SUP. CATEGORIA	2%	5%	19%	4%	68%	100%

fluenzata dalla temperatura e dall'irraggiamento, mentre per le faggete e gli orno-ostrieti ed ostrio-querzeti è il gradiente di piovosità il fattore più determinante, assieme all'irraggiamento. Infine, gli aceri-fras-

sineti ed acero-tiglieti sono maggiormente influenzati dal regime climatico e dall'irraggiamento, mentre meno influente è il gradiente altitudinale.

Le due procedure utilizzate, test *post hoc* e analisi

Tab. 7 - Distribuzione delle categorie forestali e dei tipi forestali nelle classi di temperatura media annua (le percentuali sono riferite alla superficie totale occupata dalla categoria). Sono riportati solo i tipi con superficie superiore al 7% sul totale categoria.

Categorie	Tipologie Forestali	Classi di temperatura media annua (°C)					Totale su sup. categoria
		9	10	11	12	13	
Aceri-frassineto ed aceri-tiglieto	<i>Aceri-frassineto con faggio</i>	2%	4%	1%			6%
	<i>Aceri-frassineto con ontano nero</i>	2%	12%	5%	1%		20%
	<i>Aceri-frassineto con ostria</i>		4%	2%	5%	1%	11%
	<i>Aceri-frassineto tipico</i>	1%	18%	8%	2%	1%	30%
	<i>Aceri-frassineto tipico, var. con tiglio</i>		1%	6%	1%		8%
	<i>Aceri-tiglieto</i>	2%	10%	8%	3%		24%
TOTALE SU SUP. CATEGORIA		7%	48%	30%	13%	1%	100%
Castagneti e rovereti	<i>Castagneto con frassino</i>		2%	2%	1%		6%
	<i>Castagneto dei suoli acidi</i>			10%	11%	6%	26%
	<i>Castagneto dei suoli mesici</i>		2%	14%	19%	25%	60%
	<i>Rovereto dei suoli acidi, var. con faggio</i>				2%	2%	4%
TOTALE SU SUP. CATEGORIA		0%	4%	26%	33%	32%	96%
Faggete	<i>Faggeta montana tipica esalpica</i>		28%	4%			33%
	<i>Faggeta submontana con ostria</i>		10%	12%	2%		25%
	<i>Faggeta submontana dei suoli mesici carbonatici</i>		4%				4%
	<i>Faggeta submontana dei suoli mesici silicatici</i>		8%	1%			9%
	<i>Faggeta submontana tipica</i>		12%	10%	4%		26%
TOTALE SU SUP. CATEGORIA		0%	62%	27%	6%	0%	96%
Orno-ostrieti ed ostrio-querzeti	<i>Orno-ostrieto primitivo di falda detritica</i>		1%	3%			4%
	<i>Orno-ostrieto primitivo di rupe</i>		4%			1%	5%
	<i>Orno-ostrieto tipico</i>		15%	16%	11%	9%	51%
	<i>Orno-ostrieto tipico, var. con carpino bianco</i>			8%			8%
	<i>Orno-ostrieto tipico, var. con faggio</i>			2%	1%		4%
	<i>Ostrio-querceto tipico</i>			2%	5%	3%	9%
	<i>Ostrio-querceto tipico, var. con rovere</i>		3%	2%	14%		18%
TOTALE SU SUP. CATEGORIA		0%	23%	33%	31%	12%	100%

dei gradienti da una parte e la PCA dall'altra, sono utili per identificare le variabili responsabili per la presenza delle diverse categorie forestali. Ma mentre la prima metodologia è utile per l'analisi dei dati

nella loro interezza, la PCA si è dimostrata un metodo efficace per identificare le complesse interazioni tra una singola categoria forestale e le variabili ambientali.

Tab. 8 - Distribuzione delle categorie forestali e dei tipi forestali nelle classi di piovosità media annua (le percentuali sono riferite alla superficie totale occupata dalla categoria). Sono riportati solo i tipi con superficie superiore al 7% sul totale categoria. In neretto le percentuali maggiori.

Categorie	Tipologie Forestali	Classi di piovosità media annua (mm)					Totale su sup. categoria
		<1900	1900- 2200	2200- 2500	2500- 2800	>2800	
Aceri- frassineto ed aceri- tiglieto	<i>Aceri-frassineto con faggio</i>			1%	1%	4%	6%
	<i>Aceri-frassineto con ontano nero</i>		1%	4%	5%	9%	20%
	<i>Aceri-frassineto con ostria</i>		4%	2%	1%	4%	11%
	<i>Aceri-frassineto tipico</i>		3%	6%	7%	14%	30%
	<i>Aceri-frassineto tipico, var. con tiglio</i>		3%	1%	4%	2%	8%
	<i>Aceri-tiglieto</i>		6%	6%	7%	5%	24%
TOTALE SU SUP. CATEGORIA		0%	17%	20%	25%	37%	99%
Castagneti e rovereti	<i>Castagneto con frassino</i>			1%	1%	3%	6%
	<i>Castagneto dei suoli acidi</i>	8%	17%	1%			26%
	<i>Castagneto dei suoli mesici</i>	38%	16%	3%		3%	60%
	<i>Rovereto dei suoli acidi, var. con faggio</i>	3%	1%				4%
TOTALE SU SUP. CATEGORIA		49%	34%	5%	1%	6%	96%
Faggete	<i>Faggeta montana tipica esalpica</i>					32%	33%
	<i>Faggeta submontana con ostria</i>		2%	1%		22%	25%
	<i>Faggeta submontana dei suoli mesici carbonatici</i>				2%	2%	4%
	<i>Faggeta submontana dei suoli mesici silicatici</i>		1%	6%	2%		9%
	<i>Faggeta submontana tipica</i>		2%	2%	4%	19%	26%
TOTALE SU SUP. CATEGORIA		0%	4%	9%	7%	74%	95%
Orno- ostrieti ed ostrio- querceti	<i>Orno-ostrieto primitivo di falda detritica</i>					4%	4%
	<i>Orno-ostrieto primitivo di rupe</i>		1%			4%	5%
	<i>Orno-ostrieto tipico</i>	1%	19%	8%	4%	20%	51%
	<i>Orno-ostrieto tipico, var. con carpino bianco</i>	2%	7%				8%
	<i>Orno-ostrieto tipico, var. con faggio</i>			1%		2%	4%
	<i>Ostrio-querceto tipico</i>	3%	6%				9%
<i>Ostrio-querceto tipico, var. con rovere</i>	14%		5%			18%	
TOTALE SU SUP. CATEGORIA		18%	33%	14%	4%	30%	98%

Discussione

I *castagneti e rovereti* (tab. 5) sono localizzati soprattutto nella fascia collinare (0-400 m), in ambienti con caratteristiche moderatamente xeriche e su substrati principalmente fliscioidi e secondariamente

gessosi. Dall'analisi del gradiente di temperatura (tab. 7) si può notare come queste formazioni si distribuiscono principalmente nelle zone più calde. Tuttavia, la loro distribuzione spaziale, soprattutto per quanto riguarda i castagneti, è stata profon-

damente influenzata dalle attività antropiche e dagli attacchi parassitari avvenuti a partire dagli anni cinquanta (Bernetti 1998).

Gli *acero-frassineti* preferiscono ambienti più freschi e con elevata piovosità (tab. 8). In tali situazioni, è sicuramente il frassino ad essere la specie maggiormente favorita in accordo con quanto riportato da Ellenberg (1986) e Oberdorfer (1992). Alcuni popolamenti sono stati anche individuati in ambienti con maggiore xericità e/o con maggiori temperature. In questo caso, alle due specie principali si associa il carpino nero dando origine all'*acero-frassineto con ostrya* (tab. 7). Per quanto riguarda la fascia altitudinale (tab. 5), queste formazioni appaiono essere prevalenti nel piano collinare e basso montano (400-1000 m) dove hanno dato origine a neoformazioni derivanti da processi di ricolonizzazione di coltivi o prati abbandonati nell'ultimo cinquantennio (Guidi et al. 1994). Sono distribuite principalmente sui versanti mediamente soleggiati (tab. 6), probabilmente perché qui erano localizzati i coltivi ed i pascoli, e su substrati con facies fliscioide (specialmente arenarie con intercalazioni di marne, conglomerati, calcareniti o bracceole calcaree) (tab. 2).

Gli *orno-ostrieti* e gli *ostrio-querceti* sono in primo luogo localizzati nel piano collinare e basso montano (400-1000 m) dove si alternano per lo più agli *acero-frassineti*. In particolare, sono prevalenti negli ambienti caratterizzati da moderata termofilia (quindi su versanti esposti a sud) e su substrati in facies fliscioide, ma anche su rocce calcaree o dolomitiche stratificate generalmente omogenee e scarsamente degradabili.

Le *fagete* sono distribuite nel piano montano (800-1000 m) e sono localizzate prevalentemente in ambienti caratterizzati da un'elevata piovosità (maggiore a 2500 mm) ad eccezione della *faggeta submontana dei suoli mesici silicatici* (tab. 8). Analogamente agli *acero-frassineti* prediligono gli ambienti freschi, ma rifuggono le aree in cui sono frequenti le gelate tardive. In termini di substrato, le *fagete* sono presenti su masse rocciose calcaree e dolomitiche stratificate generalmente omogenee e scarsamente degradabili, ma sono anche presenti su sedimenti ghiaiosi. Da osservazioni condotte in campo, infatti, emerge che spesso queste formazioni sono localizzate su affioramenti rocciosi di origine calcarea, in quanto queste aree probabilmente non sono state interessate dai dissodamenti che nei secoli passati sono stati effettuati per far posto alle colture agrarie

o ai pascoli.

Per quanto riguarda le formazioni con superficie inferiore al 7%, *mughete* e *saliceti* sono prevalentemente presenti nel piano montano in ambienti freschi ed umidi: le prime preferiscono i versanti soleggiati e i substrati calcarei o dolomitici, i secondi sono presenti anche su arenarie con intercalazioni marnose o su calcareniti; le *formazioni secondarie recenti* sono presenti prevalentemente nella fascia collinare e bassa montana e presentano analogie con gli *acero-frassineti*; i *robinieti* sono presenti nel paesaggio basso collinare dove la loro diffusione è stata favorita dall'uomo per la produzione di paleria per i vigneti (Gras 1991), in ambienti caratterizzati da elevate temperature e minore piovosità e presentano una spiccata eliofilia.

Conclusioni

L'analisi delle complicate interazioni esistenti tra la distribuzione delle categorie forestali e dei fattori ambientali è fondamentale per comprendere i diversi ecosistemi, soprattutto alla luce dei cambiamenti climatici attualmente in atto. I risultati consentono di definire le esigenze ecologiche di ciascuna categoria. In particolare è emerso che alcuni fattori ambientali, come per esempio l'irradiazione solare potenziale, sono di notevole utilità per caratterizzare e definire le categorie forestali nell'analisi indiretta di gradiente.

Lo studio condotto ha confermato la validità degli strumenti GIS in analisi di fattori ecologici a scala territoriale. All'approccio di tipo investigativo adottato nel presente studio potrà seguire un approccio di tipo modellistico, ossia la simulazione a livello territoriale della distribuzione della vegetazione in funzione dei fattori ambientali. Infatti, l'uso di variabili legate alla topografia come indicatori di specifiche richieste di habitat è estremamente promettente per lo sviluppo di modelli della vegetazione (Horsch 2003).

Bibliografia

- AA VV (1998). Le vegetazione forestale e la selvicoltura nella regione Friuli Venezia Giulia. (Del Favero R ed.) Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Servizio della Selvicoltura, 490 pp.
- Bernetti G (1998). Selvicoltura speciale. UTET, Torino, 415 pp.
- Codogno M, De Fabris S (1999). Analisi diretta di gradienti ecologici in fitosociologia: un esempio relativo ad un mosaico vegetazionale delle Alpi Carniche (Italia Nord-

- orientale). Bollettino della Società Adriatica di Scienze, LXXVIII: 61-87.
- Eccel E, Rea R (2004). Utilizzo di GRASS ed R per la spazializzazione di dati meteorologici in una valle alpina. Geomatics Workbooks, 4 [online] URL: <http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/>.
- Ellenberg H (1986). Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. 4 Aufl. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 989 pp.
- Giordano A (2003). Pedologia forestale e conservazione del suolo. UTET, Torino, 600 pp.
- Gras M (1991). Robinia pseudoacacia L. Annotazioni da una rassegna bibliografica. SAF, RESS S.p.A, Roma, 59 pp.
- Guidi M, Piussi P, Lasen C (1994). Linee di tipologia forestale per il territorio prealpino friulano. Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali, vol. XLIII: 221-285.
- Hofierka J, Suri M (2002). The solar radiation model for Open source GIS. Implementation and applications - Proceedings of the Open Source GIS-GRASS user conference 2002. Trento, Italy, 11-13 september 2002.
- Horsch B (2003). Modelling the spatial distribution of mountain and subalpine forests in the central Alps using digital elevation model. Ecol. Model. 168: 267-282.
- Mitchell S, Csillag F, Tague C (2002). Advantages of open-source GIS to improve spatial environmental modelling - Proceedings of the Open Source GIS-GRASS user conference 2002. Trento, Italy, 11-13 september 2002.
- Oberdorfer E (1992). Suddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil 4: Walder und Gebüsche. 2. Aufl. Gustav Fischer, Jena, 282 pp.
- Piussi P (2002). Rimboschimento spontaneo ed evoluzione post-cultura. Monti e boschi 3: 31-37.
- SPSS, Statistical Package for Social Sciences (2003). Version 11.5. SPSS INC, Chicago.
- Tappeiner U, Tasser E, Tappeiner G (1998). Modelling vegetation patterns using natural and anthropogenic influence factors: preliminary experience with GIS based model applied to an Alpine Area. Ecol. Model. 113: 225-237.