

VERONICA CICOGNA – PAOLA DE AGOSTINI – FEDERICO PERALI

ANALISI DELL'OFFERTA DELLE FUNZIONI DI UN'AREA NATURALE UTILIZZANDO INFORMAZIONI «GIS» UN'APPLICAZIONE DELL'ANALISI DEI GRUPPI (*)

Introduzione. – Le risorse forestali presentano molte caratteristiche peculiari rispetto alle altre risorse naturali. Il processo produttivo forestale è in grado di fornire sia beni di mercato sia beni collettivi. Mentre i beni di mercato, quali la produzione di legname e i frutti del sottobosco, richiedono lo sfruttamento del territorio, i beni collettivi, quali la protezione della fauna e la ricreazione all'aperto, implicano la conservazione del territorio. Per questa caratteristica la gestione di tali risorse risulta complessa in relazione al problema di conciliare obiettivi contrastanti tra loro. Un secondo aspetto tipico di un processo produttivo forestale è rappresentato dalla sua durata poliennale. Ne segue che la decisione di destinare un'area naturale alla realizzazione di un obiettivo specifico lo vincola per un certo numero di anni, limitandone l'utilizzo per altri scopi. E anche quando se ne decida una diversa destinazione funzionale, è necessario diverso tempo per ottenere i risultati desiderati. Infine, si riscontra un incremento nella domanda dei servizi sociali forniti dal bosco e una crescente attenzione verso le modalità di gestione delle superfici forestali. Questo ha fatto nascere conflitti fra le parti sociali a causa del disaccordo sugli obiettivi, i mezzi per raggiungerli e le diverse aspettative riguardo determinate produzioni.

L'ente pubblico preposto alla gestione di risorse forestali deve definire una politica ambientale che tenga conto della molteplicità degli aspetti territoriali, ecologici, economici e sociali che caratterizzano la zona. Si rende quindi necessario che l'organismo gestore disponga di adeguati strumenti di supporto alle decisioni, tali da poter razionalizzare il processo decisionale, da un lato rispettando le caratteristiche intrinseche all'area naturale considerata, dall'altro risolvendo concretamente i conflitti tra le parti sociali.

L'esigenza di armonizzare gli obiettivi in conflitto si può soddisfare utilizzando tecniche di programmazione matematica (Nijkamp e Rietveldt, 1996; Rehman e Romero, 1993).

Il nucleo centrale dell'analisi finalizzata all'ottimizzazione dei processi decisionali è rappresentato dall'attribuzione di un valore alle funzioni offerte da un'area naturale. La

(*) Una differente versione di questo articolo è stata pubblicata nel volume *Per Vittorio Castagna. Scritti di geografia e di economia*, a cura di G. Gaburro, C. Robiglio Rizzo e G. Zalin, Padova, CEDAM, 2000.

zona analizzata in questo studio riguarda la «Foresta demaniale regionale Gardesana Occidentale» (Lombardia); essa produce un insieme di beni e servizi ambientali classificati per categorie omogenee che corrisponde a quattro funzioni principali: funzione naturalistica, funzione produttiva, funzione protettiva e funzione turistica. In questo lavoro il *data base* utilizzato deriva da uno studio svolto con l'ausilio di un sistema informativo geografico (GIS), condotto sulla base di materiale cartografico e di rilievi di campagna, che fornisce uno scenario molto particolareggiato dello stato attuale del territorio: l'informazione di base infatti si riferisce a celle della dimensione di un ettaro, consentendo di analizzare con elevata precisione la capacità del territorio di offrire funzioni e servizi ambientali. Ma il dettaglio di questi dati risulta troppo elevato per permettere all'ente gestore di utilizzare l'informazione risultante nel processo di formazione delle decisioni. Mediante tecniche di analisi multivariata è possibile aggregare i dati e individuare delle aree di più ampia dimensione, diverse tra loro e al contempo omogenee al loro interno per caratteristiche funzionali. Ciò permette all'ente pubblico di poter determinare la combinazione ottimale delle funzioni e di poter definire la politica di gestione più appropriata secondo la propensione naturale delle zone omogenee individuate.

In questa sede ci si propone di preparare i dati derivanti dalla tecnica GIS, che esprimono la capacità dell'area di offrire dei servizi naturalistici, produttivi, protettivi e turistici, per l'utilizzo nel processo delle decisioni.

Questo lavoro è organizzato come segue. Nel secondo paragrafo viene descritta la tecnica dell'analisi dei gruppi utilizzata per la riduzione del *data set* derivante dai dati GIS. Tra i metodi dell'analisi dei gruppi, quello che abbiamo ritenuto più appropriato per la dimensione del *data set* e per le caratteristiche dei dati è il metodo delle «*k-medie*». Il terzo paragrafo descrive l'area e le funzioni ambientali oggetto di indagine. Il quarto paragrafo contiene l'elaborazione dei dati e l'interpretazione dei risultati ottenuti dall'applicazione dell'analisi dei gruppi. Per implementare l'interpretazione e identificare la vocazione oggettiva di ogni area individuata, è stata applicata l'analisi fattoriale. Questa mette in evidenza le attitudini intrinseche a ogni area individuata, indipendentemente da quelle che possono essere le preferenze dei turisti, dei residenti, dei fruitori o dell'ente gestore. Le caratteristiche vocazionali dell'area costituiscono dei vincoli di cui è necessario tener conto nel definire la politica di gestione da attuare e di cui si tiene conto nell'analisi delle alternative gestionali derivanti dallo studio delle preferenze dei gruppi decisionali interessati.

La base dei dati GIS e la definizione delle funzioni dell'area naturale. – Il Parco dell'Alto Garda Bresciano si estende su una superficie di 38.000 ettari. Il territorio è ripartito tra nove comuni, di cui sette si affacciano sul lago e due si estendono esclusivamente nell'entroterra. Procedendo da sud verso nord i sette comuni che toccano il lago sono Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno, Gargnano, Tignale, Tremosine, Limone sul Garda. I due comuni dell'entroterra sono Valvestino e Magasa. L'Azienda Regionale delle Foreste della Regione Lombardia gestisce la parte del parco che appartiene al demanio dello Stato, nota con il nome di Foresta demaniale regionale Gardesana Occidentale. Questa zona, oggetto del nostro studio, ricopre una superficie di 11.064 ettari.

La Foresta demaniale regionale Gardesana Occidentale produce una serie di beni e servizi ambientali, la cui classificazione può avvenire per categorie omogenee, corrispondenti alle diverse funzioni considerate in questo studio; ne sono state considerate principalmente quattro: funzione naturalistica, funzione produttiva, funzione protettiva e funzione turistica-ricreativa, che vanno intese come segue: la funzione naturalistica rias-

sume le due caratteristiche vegetazionale e faunistica, intese rispettivamente come grado di naturalità della vegetazione e idoneità del territorio a ospitare una o più specie animali. Essa esprime la capacità di conservazione della natura, intesa come protezione delle specie animali e dei diversi ecosistemi; la funzione produttiva fornisce un'indicazione sulla capacità dei soprassuoli di fornire un prodotto competitivo sul mercato del legno e dei prodotti non legnosi, quali alimentari, foraggio, resine, tannini, funghi, muschi, licheni ecc.; la funzione protettiva esprime la funzione di protezione da fenomeni di smottamento idrogeologico causati dall'erosione della pioggia, del vento, delle valanghe o delle piene. La valutazione di tale servizio ha considerato due fattori: le caratteristiche strutturali della copertura forestale, riconosciuta come il tipo di copertura a maggior valore protettivo, e i caratteri geomorfologici del territorio (come pendenza, caratteristiche idrogeologiche e di erodibilità del suolo); la funzione turistica descrive il potenziale ricreativo dell'area, inteso come capacità di offrire servizi turistico-ricreativi, quali possono essere l'attività sportiva (escursionismo a piedi, in *mountain bike* o a cavallo ecc.), le attività faunistiche (caccia e pesca o raccolta di frutti di bosco, funghi, fiori o altro), l'attività naturalistica (intesa come osservazione del panorama e del paesaggio).

La valutazione delle funzioni considerate deriva da un'analisi delle attitudini territoriali condotta sulla base di informazioni GIS (parametri territoriali, ambientali, ecologici e antropici) e di rilievi cartografici. Attraverso la combinazione degli strati informativi GIS sono stati espressi mediante indici il valore quantitativo delle funzioni offerte dalla FDR Gardesana Occidentale. Per ogni micro-area di un ettaro è stato stimato in modo oggettivo (1) un indicatore del livello delle funzioni compreso nell'intervallo [0-10], con i seguenti significati: 0-2 bassa, 3-4 medio-bassa, 5-6 media, 7-8 medio-alta, 9-10 alta.

Sulla base dei dati GIS sono stati calcolati il valore medio, lo scarto quadratico medio, il valore minimo e massimo assunto (tab. 1) e riportate in forma grafica le distribuzioni delle frequenze per ognuna delle quattro variabili considerate.

Da un primo esame si nota che l'area oggetto di studio risulta formata da particelle caratterizzate da scarsa attitudine protettiva (20,96% bassa e 62,04% medio-bassa), mentre la capacità di offrire servizi naturalistici e turistici risulta media nel 87,15% del territorio. Per quanto riguarda la funzione produttiva (46,93% bassa, 53,07% medio-alta) risulta evidente che esiste una netta separazione tra zone con bassa capacità competitiva e zone fortemente competitive.

Dato il forte contrasto esistente tra obiettivi funzionali perseguibili, per esempio lo sfruttamento della capacità di protezione idrogeologica del territorio e la competitività produttiva, lo studio prosegue applicando tecniche di analisi dei dati che mettono in luce le differenze funzionali presenti e la dipendenza esistente tra le variabili ambientali analizzate.

Interpretazione dei risultati. – Analisi dei gruppi: il metodo delle «k-medie». La *cluster analysis* è stata elaborata con il programma statistico SPSS (SPSS, 1997) applicando il metodo delle «k-medie».

La partizione desiderata della FDR Gardesana Occidentale deve individuare delle aree di superficie diverse in quanto ad attitudini funzionali, tali da poter essere poi gestite in modo differenziato. A questo scopo l'insieme di variabili su cui basare le simulazioni per determinare l'appartenenza di ogni particella di territorio a un gruppo sono le

(1) Secondo le metodiche della *fuzzy logic* e di sistemi esperti (Gallinaro, Carta e Perali, 1997).

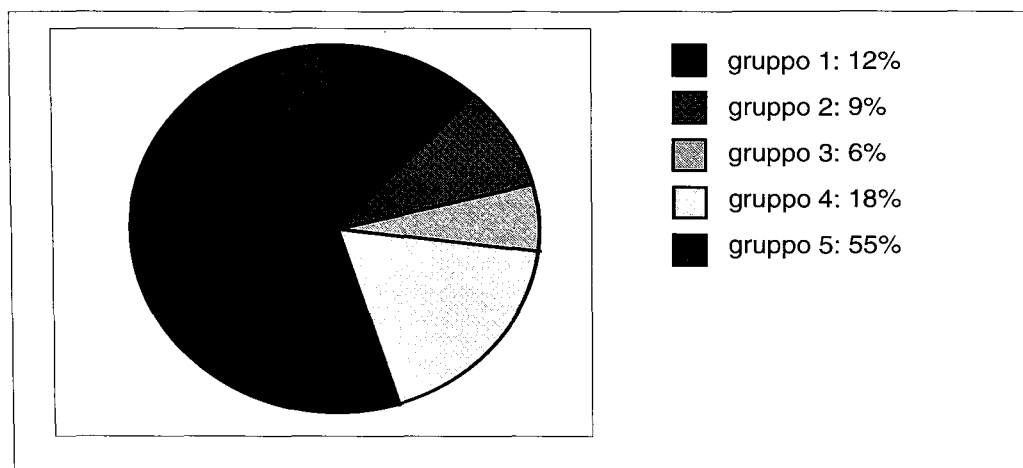


Fig. 1 – *Distribuzione percentuale della superficie ricadente in ogni gruppo (FDR Gardesana Occidentale)*

funzioni naturalistica, produttiva, protettiva e turistica.

La selezione del metodo da usare dipende dagli obiettivi dell'analisi e dalle caratteristiche dei dati da analizzare. Considerata l'ampiezza del *data set* costituito da una matrice di 11.064 osservazioni per quattro funzioni, è stato usato il metodo delle «*k*-medie», che è particolarmente adatto a grandi insiemi di dati, senza richiedere particolari capacità delle risorse del *computer*. Questa procedura fornisce i risultati solo per il numero di *clusters* richiesti, che deve essere specificato a priori dall'utente. Per scegliere il numero di gruppi più opportuno abbiamo tenuto conto delle esigenze gestionali riducendo la scelta tra un numero di tre e un numero di otto gruppi. L'ente gestore di un'area naturale infatti non può gestire il territorio in dettaglio, ma definisce la politica ambientale per macro-aree. La determinazione di macro-aree omogenee per caratteristiche funzionali permette di definire la migliore politica da attuare per soddisfare le preferenze dei fruitori e ottimizzare i risultati della gestione per l'ente pubblico.

Dopo successive elaborazioni e confronti, è stato scelto un numero di gruppi pari a cinque, poiché l'analisi della varianza relativa all'applicazione del metodo delle «*k*-medie», per $k=5$ ha mostrato la massima diversificazione tra i gruppi stessi, rispetto all'analisi della varianza relativa a numeri di gruppi diversi da 5.

L'elaborazione dei dati. Considerando i dati ambientali descritti nel secondo paragrafo, abbiamo identificato cinque aree omogenee per funzionalità. Il metodo applicato inizia l'elaborazione scegliendo in modo casuale i centri iniziali dei gruppi e dopo ventidue iterazioni determina le coordinate dei centri finali (tab. 2). La tabella 3 contiene le distanze euclidee calcolate tra i centri dei gruppi finali (la distanza minima è quella fra i centri finali dei gruppi tre e quattro). Nella tabella 4 e nella figura 1 sono riportati il numero di ettari di superficie destinati a ogni gruppo finale individuato e le relative frequenze.

La tabella dei centri finali (tab. 2) contiene i valori medi delle variabili per ogni gruppo, ma non ne riporta la variabilità. Un modo per esaminare la variabilità tra e nei *clusters* è di compiere un'analisi della varianza per ogni variabile usata per formare i gruppi ed esaminare il rapporto fra la varianza tra i gruppi e la varianza nei gruppi, attraverso il rapporto «*F* di Snedecor».

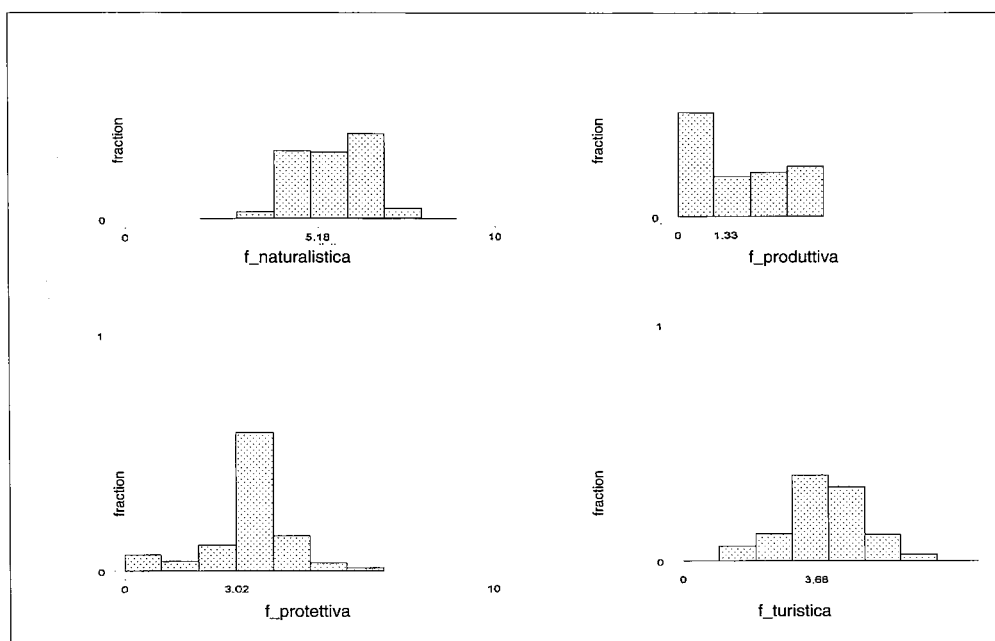


Fig. 2 – Distribuzione di frequenza delle funzioni nella seconda area individuata mediante l'analisi dei gruppi (FDR Gardesana Occidentale)

L'ipotesi nulla dell'analisi della varianza è data dall'uguaglianza delle medie. La tabella 5 mostra i risultati del *test*: essa contiene i valori delle varianze tra e nei gruppi e il loro rapporto, indicato dai valori di F , per ognuna delle quattro variabili. Un valore elevato di F e un basso livello di significatività sono associati a variabili che differiscono tra i *clusters*. Tuttavia, i *tests F* devono essere utilizzati per motivi descrittivi poiché i gruppi sono stati scelti per ottimizzare le differenze tra i casi in diversi *clusters*. I livelli di significatività osservati non sono perciò corretti e non possono quindi essere interpretati come test dell'ipotesi che le medie dei *clusters* siano uguali.

Dall'analisi della varianza i gruppi appaiono sufficientemente omogenei al loro interno e diversi tra loro.

La presentazione dei risultati. La tabella 6 riporta la media, lo scarto quadratico medio, i valori minimo e massimo delle funzioni naturalistica, produttiva, protettiva e turistica per ogni gruppo. Le distribuzioni delle funzioni nei cinque gruppi sono influenzate dalle condizioni ambientali del territorio: clima, altimetria, geomorfologia, rete idrografica, uso del suolo, favorendo o limitando ciascuna specie o popolazione vegetale e animale condizionano anche la capacità del territorio di offrire i servizi considerati in questo studio. Le distribuzioni di frequenza delle funzioni in ciascuna delle cinque aree sono riportate su grafici da cui è possibile notare alcune caratteristiche dei gruppi individuati. Ad esempio il secondo gruppo (fig. 2) rivela che la zona non ha capacità produttiva competitiva, ma la vegetazione presente le fornisce un'alta vocazione naturalistica. Il quinto gruppo, invece, risulta caratterizzato da micro-aree con media capacità naturalistica e turistica, rispettivamente il 95,12% e il 91,2 %, e alcune con capacità produttiva medio-alta (78,93 %).

Lo studio fin qui effettuato, pur mettendo in evidenza l'esistenza di gruppi omogenei, non rivela le vocazioni funzionali intrinseche a ogni macro-area individuata dall'analisi dei gruppi. Informazioni più precise sulle vocazioni funzionali possono essere ottenute dall'applicazione dell'analisi fattoriale.

Individuazione della vocazione funzionale di ciascuna area attraverso l'analisi fattoriale. Dopo aver individuato le aree omogenee per caratteristiche funzionali, è necessario identificare per ogni area l'attitudine funzionale *prevalente*. Una delle tecniche statistiche che permettono di ottenere dei risultati di questo tipo è nota con il nome di «analisi fattoriale» (Cailliez e Pagès, 1996). Questa analisi si basa sull'idea che spesso alla base dei fenomeni oggetto di osservazione vi sono altri fenomeni «latenti», inosservabili, che però sono decisivi nel determinare le variabili statistiche oggetto di studio e le loro interrelazioni. Ad esempio, l'attitudine funzionale di un'area naturale è un fenomeno inosservabile, mentre ciò che può essere osservato sono le caratteristiche fisiche dell'area, quali la pendenza del terreno o i tipi di vegetazione presenti, attraverso cui si può spiegare la maggiore propensione di un'area a un utilizzo piuttosto che a un altro.

Nello studio di un fenomeno in cui si ha a disposizione un elevato numero di variabili, ognuna delle quali tende a cogliere uno o più aspetti del fenomeno stesso, può essere utile cercare di rappresentare il fenomeno con un numero piccolo di variabili ottenute a partire da quelle originarie e che tuttavia conservino quanta più informazione possibile in relazione al fenomeno stesso. Tecnicamente il metodo dell'analisi fattoriale cerca di risolvere questo problema costruendo un insieme di nuove variabili che siano delle combinazioni lineari di quelle originarie osservate, e tali che siano tra loro correlate e ognuna di esse abbia varianza massima (2).

I fattori individuati hanno principalmente l'obiettivo di spiegare la dipendenza tra le variabili statistiche osservabili. Ad esempio, un'area caratterizzata da una prevalenza di zone boschive ad alto fusto e ampie praterie con bassi dislivelli, dall'analisi risulta essere, per sua natura, prevalentemente adatta all'utilizzo turistico.

L'obiettivo è quindi quello di trasformare le k variabili iniziali, tutte più o meno correlate tra loro, in k nuove variabili, non correlate, chiamate «componenti principali». E poiché il metodo permette di determinare le nuove variabili in modo da massimizzare il contributo di ognuna di esse alla variabilità totale, la maggior parte della variabilità complessiva delle k variabili di partenza si può esprimere mediante alcune componenti soltanto. La ricerca dei fattori principali implica la proiezione delle n osservazioni appartenenti allo spazio a k dimensioni, su uno spazio di dimensioni più ridotte. Ciò permette di facilitarne la visualizzazione.

Presentazione e interpretazione dei risultati dell'analisi fattoriale. Nell'analisi fattoriale sono state incluse le variabili selezionate nell'analisi dei gruppi per ogni area individuata. Il programma usato permette di scegliere quanti fattori principali considerare e quindi quanti assi utilizzare nella rappresentazione grafica. L'idea prevalente è quella di far riferimento a una struttura semplice, adottando il minimo

(2) Se si vuole costruire una variabile artificiale che misuri un fenomeno inosservabile, è necessario assicurarsi che essa riesca a fornire un «contributo informativo» rilevante, ossia che abbia un'alta variabilità. In questo modo si garantisce che la variabile artificiale in questione generi la massima differenza fra gli individui oggetto di studio. Dal momento che la misura di variabilità più utilizzata è la varianza, si tratta di costruire una variabile che abbia varianza massima.

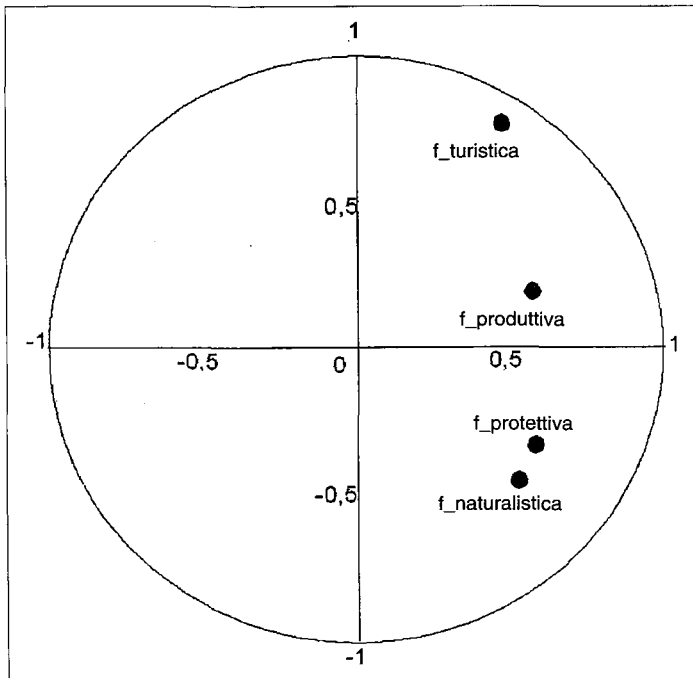


Fig. 3 - Cerchio delle correlazioni per le variabili del primo gruppo (FDR Gardesana Occidentale)

numero di fattori comuni in grado di spiegare con la minor perdita di informazioni possibile le osservazioni.

L'informazione fornita dai fattori comuni è espressa dagli autovalori calcolati attraverso la diagonalizzazione della matrice delle correlazioni tra le variabili (3). Ogni autovalore (tabb. 7, 9, 11, 13, 15) esprime la varianza dei casi osservati su ogni asse principale. Per sapere quanti assi principali è necessario tenere in considerazione per il seguito dell'analisi, conviene interpretare gli autovalori relativamente alla varianza totale, che è data dalla loro somma ed è anche pari al numero delle variabili in quanto standardizzate (4). Il rapporto tra ogni autovalore e la varianza totale esprime la percentuale di variazione spiegata dall'asse principale relativo. Per esempio nel terzo gruppo (tab. 11), il primo fattore spiega il 38,4% della variabilità totale. Due assi spiegano più del 70% dell'informazione disponibile (5), tre assi più del 90%. Analizzando in questo modo gli autovalori, si ottiene la stessa informazione per ogni gruppo. La rappresentazione più facile da cogliere ci è sembrata quella sul piano, perciò abbiamo individuato due assi principali.

L'esame delle correlazioni tra le variabili e gli assi principali ci permette di studiare come sono strutturate le variabili tra loro: le tabelle 8, 10, 12, 14, 16 contengono rispettivamente, per ognuno dei cinque gruppi individuati, le correlazioni tra ogni variabile e i primi due assi principali nelle prime due colonne, i valori di tali correlazioni elevati al quadrato nelle colonne terza e quarta, infine, nell'ultima colonna, per ogni variabile, le somme per riga delle colonne terza e quarta. Quest'ultimo valore esprime, per ognuna

(3) Se non fossero standardizzate si dovrebbe diagonalizzare la matrice delle varianze-covarianze.

(4) Nel caso di variabili standardizzate ogni variabile ha varianza pari a 1, quindi ogni autovalore verrà rapportato al numero di variabili investigate, ovvero alla *varianza totale*.

(5) Essendo le componenti principali incorrelate, è possibile farne la somma.

Tab. 1 – *Statistiche descrittive per la Foresta demaniale regionale Gardesana Occidentale (11.064 osservazioni)*

variabile	media	dev. standard	min.	max.
funzione naturalistica	500	141	0	10
funzione produttiva	416	243	0	10
funzione protettiva	353	148	0	9,25
funzione turistica	404	118	0	925

Tab. 2 – *Centri dei gruppi finali (FDR Gardesana Occidentale)*

	cluster				
	1	2	3	4	5
funzione naturalistica	4,92	7,41	2,52	4,15	5,19
funzione produttiva	5,4	0,35	1,3	1,33	5,68
funzione protettiva	1,15	3,02	1,26	3,78	4,26
funzione turistica	5,29	3,68	2,8	4,03	3,95

Tab. 3 – *Matrice delle distanze euclidee tra i centri dei gruppi finali (FDR Gardesana Occidentale)*

cluster	1	2	3	4	5
1		6,142	5,356	5,06	3,412
2	6,142		5,355	3,504	5,91
3	5,356	5,355		3,241	6,049
4	5,06	3,504	3,241		4,498
5	3,412	5,91	6,049	4,498	

Tab. 4 – *Numero di ettari di superficie in ogni gruppo (FDR Gardesana Occidentale)*

cluster	frequenze	
1	1.335	12
2	943	9
3	621	6
4	2.014	18
5	6.151	55
validi	11.064	

Tab. 5 – *Analisi della varianza dei clusters nell'analisi della funzionalità (FDR Gardesana Occidentale)*

	cluster		errore		F	sign.
	varianza tra i gruppi	Gdl	varianza nei gruppi	Gdl		
funzione naturalistica	2740,818	4	0,991	11059	2764,547	0
funzione produttiva	12775,745	4	1,278	11059	9996,176	0
funzione protettiva	3608,1	4	0,877	11059	4115,134	0
funzione turistica	805,206	4	1,094	11059	735,883	0

Tab. 6 – *Statistiche descrittive per le cinque aree individuate mediante la cluster analysis (FDR Gardesana Occidentale)*

Gruppo 1	n. oss.	media	dev. standard	min.	max.
variabile					
funzione naturalistica	1335	4,915169	0,978816	2	8
funzione produttiva	1335	5,395693	1,220695	1,75	9,5
funzione protettiva	1335	1,152247	0,995584	0	4,25
funzione turistica	1335	5,29176	0,855842	2,75	875
Gruppo 2	n. oss.	media	dev. standard	min.	max.
variabile					
funzione naturalistica	943	7,408537	1,010323	5,25	10
funzione produttiva	943	0,354189	0,80476	0	3,75
funzione protettiva	943	3,02492	1,112043	0	6,25
funzione turistica	943	3,684252	1,146651	0	725
Gruppo 3	n. oss.	media	dev. standard	min.	max.
variabile					
funzione naturalistica	621	2,523349	1,193083	0	5,5
funzione produttiva	621	1,30475	1,306321	0	5
funzione protettiva	621	1,258857	1,036201	0	3,75
funzione turistica	621	2,798712	1,642352	0	8
Gruppo 4	n. oss.	media	dev. standard	min.	max.
variabile					
funzione naturalistica	2014	4,147468	0,998652	0,5	6,5
funzione produttiva	2014	1,332423	1,282708	0	3,75
funzione protettiva	2014	3,780412	0,916489	0	9,25
funzione turistica	2014	4,026564	1,196888	0,25	925
Gruppo 4	n. oss.	media	dev. standard	min.	max.
variabile					
funzione naturalistica	6151	5,185011	0,973998	1,5	8
funzione produttiva	6151	5,681596	1,079458	3	10
funzione protettiva	6151	4,264103	0,88829	2	9,25
funzione turistica	6151	3,94757	0,93087	1,25	825

Tab. 7 – *Varianza totale spiegata dall'analisi fattoriale per le variabili del primo gruppo (FDR Gardesana Occidentale)*

componente	totale	autovalori iniziali	
		% di varianza	% cumulata
1	1,256	31,411	31,411
2	0,959	23,966	55,377
3	0,897	22,415	77,792
4	0,888	22,208	100,000

Tab. 8 – *Matrice delle correlazioni tra le variabili del primo gruppo e i primi due assi principali (FDR Gardesana Occidentale)*

	correlazioni		correlazioni al quadrato		% (*)
	asse 1	asse 2	asse 1	asse 2	
funz. naturalistica	0,5690	-0,4720	0,3238	0,2228	0,5465
funz. produttiva	0,5950	0,1800	0,3540	0,0324	0,3864
funz. protettiva	0,5920	-0,3460	0,3505	0,1197	0,4702
funz. turistica	0,4790	0,7640	0,2294	0,5837	0,8131

(*) delle correlazioni al quadrato sugli assi 1 e 2

Tab. 9 – *Varianza totale spiegata per le variabili del secondo gruppo (FDR Gardesana Occidentale)*

componente	totale	autovalori iniziali	
		% di varianza	% cumulata
1	151	37,753	37,753
2	1106	27,638	65,391
3	945	23,623	89,014
4	439	10986	100000

Tab. 10 – *Matrice delle correlazioni tra le variabili del secondo gruppo e i primi due assi principali (FDR Gardesana Occidentale)*

	correlazioni		correlazioni al quadrato		% (*)
	asse 1	asse 2	asse 1	asse 2	
funz. naturalistica	0,6900	0,5850	0,4761	0,3422	0,8183
funz. produttiva	-0,4130	-0,1280	0,1706	0,0164	0,1870
funz. protettiva	-0,4090	0,8550	0,1673	0,7310	0,8983
funz. turistica	0,8350	-0,1280	0,6972	0,0164	7136

(*) delle correlazioni al quadrato sugli assi 1 e 2

Tab. 11 – *Varianza totale spiegata per le variabili del terzo gruppo (FDR Gardesana Occidentale)*

componente	totale	autovalori iniziali	
		% di varianza	% cumulata
1	1,537	38,428	38,428
2	1,343	33,586	72,014
3	0,76	18,991	91,005
4	36	8,995	100,000

Tab. 12 – *Matrice delle correlazioni tra le variabili del terzo gruppo e i primi due assi principali (FDR Gardesana Occidentale)*

	correlazioni		correlazioni al quadrato		% (*)
	asse 1	asse 2	asse 1	asse 2	
funz. naturalistica	8420	0,3490	0,7090	0,1218	0,8308
funz. produttiva	0,0006	0,7550	0,0000	0,5700	0,57
funz. protettiva	-0,1610	0,7850	0,0259	0,6162	6421
funz. turistica	0,8960	-0,1870	0,8028	0,0350	0,8378

(*) delle correlazioni al quadrato sugli assi 1 e 2

Tab. 13 – *Varianza totale spiegata per le variabili del quarto gruppo (FDR Gardesana Occidentale)*

componente	autovalori iniziali		
	totale	% di varianza	% cumulata
1	1,474	36,839	36,839
2	1,092	27,312	64,152
3	929	23,227	87,379
4	505	12,621	100,000

Tab. 14 – *Matrice delle correlazioni tra le variabili del quarto gruppo e i primi due assi principali (FDR Gardesana Occidentale)*

	correlazioni		correlazioni al quadrato		% (*)
	asse 1	asse 2	asse 1	asse 2	
funz. naturalistica	0,8430	-0,2300	0,7106	0,0529	0,7635
funz. produttiva	0,7910	0,1300	0,6257	0,0169	0,6426
funz. protettiva	-0,0887	0,8940	0,0079	0,7992	0,8071
funz. turistica	-0,3600	-0,4730	0,1296	0,2237	0,3533

(*) delle correlazioni al quadrato sugli assi 1 e 2

Tab. 15 – *Varianza totale spiegata per le variabili del quinto gruppo (FDR Gardesana Occidentale)*

componente	autovalori iniziali		
	totale	% di varianza	% cumulata
1	1,404	35,099	35,099
2	1,047	26,184	61,283
3	798	19,946	81,228
4	751	18,772	100,000

Tab. 16 – *Matrice delle correlazioni tra le variabili del quinto gruppo e i primi due assi principali (FDR Gardesana Occidentale)*

	correlazioni		correlazioni al quadrato		% (*)
	asse 1	asse 2	asse 1	asse 2	
funz. naturalistica	-0,4780	0,6680	0,2285	0,4462	0,6747
funz. produttiva	0,6590	0,3870	0,4343	0,1498	0,5841
funz. protettiva	0,6130	-0,4160	0,3758	0,1731	0,5488
funz. turistica	0,6050	0,5280	0,3660	0,2788	0,6448

(*) delle correlazioni al quadrato sugli assi 1 e 2

delle quattro variabili, la parte di informazione relativa alla variabile spiegata dagli assi. Per esempio, nel primo gruppo (si veda l'ultima colonna della tab. 8), l'81% dell'informazione sulla funzione turistica è rappresentata sul piano principale. Per un'interpretazione più immediata questi coefficienti di correlazione possono essere rappresentati in un grafico detto «cerchio delle correlazioni». Esso si costruisce partendo dalle correlazioni tra le variabili iniziali e le prime due componenti principali (prime due colonne di tabb. 8, 10, 12, 14, 16). In ogni cerchio delle correlazioni, dato da una circonferenza di raggio unitario, sono rappresentati quattro punti «funzione»: le coordinate che li individuano sono date dai coefficienti di correlazione con gli assi principali. Per un'interpretazione di questo tipo di grafico, si ritorni all'esempio precedente riguardo al primo gruppo: sul piano principale era rappresentato l'81% dell'informazione sulla funzione turistica, mentre veniva rappresentato solo il 39% dell'informazione sulla funzione produttiva. Lo stesso risultato si può ottenere interpretando il cerchio delle correlazioni, secondo cui una variabile è tanto meglio rappresentata quanto più si avvicina alla circonferenza. Dal grafico in figura 3 infatti appare come il punto «funzione turistica» sia il più vicino alla circonferenza, mentre il punto «funzione produttiva» è il più prossimo al centro del cerchio.

L'analisi fattoriale mette in evidenza in modo oggettivo le vocazioni funzionali di ogni area. In particolare rivela, sulla base delle caratteristiche fisiche e ecologiche, che la prima zona ha prevalentemente vocazione turistica, favorita sia dalla struttura vegetazionale sia dalla rete stradale che ne facilita l'accessibilità. La seconda e la quarta area, si caratterizzano per la vocazione protettiva e naturalistica, pur distinguendosi per il diverso livello vocazionale raggiunto. Tale diversità è giustificata dalle caratteristiche ambientali dei territori che le compongono. La seconda area raggruppa le vette più elevate del parco (Monte Caplone, Passo Tremalzo, Passo Nota) e perciò è caratterizzata prevalentemente da zone rocciose e pascoli d'altitudine discontinui per la presenza di vegetazione arbustiva e erbacea. Tale paesaggio testimonia l'elevato valore naturalistico di queste zone, che ospitano camosci e stambecchi, marmotte, poiane, aquile reali e gheppi, e il basso valore produttivo. La quarta area, raggruppa invece le zone montuose prealpine del parco (Monte Pizzoccolo e Passo Spino, la zona di San Michele che da Tremosine porta al Tremalzo), caratterizzate da praterie e boschi di latifoglie, castagno e pino facilmente accessibili, che favoriscono la funzione produttiva. La terza area, costituita prevalentemente da boschi e prati, manifesta vocazione turistica e naturalistica molto elevata, rispettivamente 83,78% e 83,08%, e vocazione protettiva e produttiva intorno al 60%. Il quinto gruppo si presenta come un'area di ampie dimensioni, che pur in grado di offrire tutti i tipi di servizi ambientali considerati con media capacità, rivela una vocazione funzionale prevalente per i servizi naturalistici e turistici.

Questo tipo di analisi ci permette di assegnare a ogni gruppo un nome, che esprime la capacità intrinseca dell'area di essere maggiormente adatta a un utilizzo piuttosto che a un altro: la prima area presenta una vocazione prevalentemente *turistica*; la seconda area rivela una vocazione *protettiva e naturalistica*; la terza area è contraddistinta dalle funzioni *turistica e naturalistica*; la quarta area è caratterizzata da una vocazione *protettiva e naturalistica*; la quinta area manifesta una vocazione *naturalistica e turistica*.

Dall'analisi delle funzioni che risultano prevalere nella zona investigata, appare evidente la forte attitudine naturalistica della Foresta demaniale regionale Gardesana Occidentale e la scarsa capacità produttiva competitiva, che in tutte le cinque aree risulta non essere significativa.

Conclusioni. – Questo lavoro costituisce il collegamento tra i risultati dell'indagine territoriale effettuata con l'ausilio delle tecniche GIS e la determinazione della combinazione ottimale delle funzioni di un'area naturale attraverso l'analisi multicriteriale. A causa del dettaglio che la caratterizza, l'informazione GIS non è immediatamente utilizzabile nel processo di formazione delle decisioni. Ciò ha reso necessario aggregare l'informazione di base individuando delle aree omogenee per caratteristiche funzionali che permettano di usare l'informazione nell'analisi successiva.

In base alle caratteristiche peculiari del *data set* come metodo di aggregazione si è utilizzato il metodo delle «k-medie», elaborato da Forgy, che presenta dei vantaggi rispetto a altri metodi, quali ad esempio il metodo attribuito a MacQueen, poiché propone un ciclo di rielaborazioni che conduce alla stabilità dei gruppi individuati.

Si può ritenere che ogni fase della ricerca abbia contribuito in modo rilevante a mettere in luce gli aspetti chiave che caratterizzano la capacità della Foresta demaniale regionale Gardesana Occidentale di offrire servizi ambientali.

Da un primo sguardo di insieme si può ritenere che l'area oggetto di studio presenti scarsa attitudine produttiva e protettiva, mentre si caratterizza per la dominanza degli aspetti naturalistici e turistici, sebbene questi ultimi siano fortemente dipendenti dal fattore accessibilità.

Nel confermare queste ipotesi e nell'approfondire la conoscenza dei fenomeni osservati, l'analisi multivariata si è rivelata uno strumento molto appropriato. In particolare, si è potuto esplorare l'insieme di relazioni esistenti all'interno del sistema ambientale per mezzo di variabili rilevanti che diventano, allo stesso tempo, criteri di classificazione multipla e oggetto di analisi.

L'*iter* esplorativo multivariato, effettuato in due fasi, ha dato i seguenti risultati: a) analisi dei gruppi: metodo delle «k-medie». Il criterio di classificazione adottato ha permesso di delineare in modo statisticamente robusto delle aree omogenee per caratteristiche funzionali al loro interno e significativamente diverse tra di loro per le funzioni considerate. Secondo lo studio condotto, il 12% del territorio risulta formare il primo gruppo, il 9% il secondo, il 6% il terzo, il 18% il quarto e il 55% il quinto gruppo; b) analisi fattoriale. Questo tipo di analisi si è rivelata uno strumento di eccezionale potenza esplorativa, permettendo di mettere in evidenza in modo oggettivo le differenze e di classificare le aree delineate secondo le caratteristiche funzionali peculiari, esaltate o limitate dalle condizioni ambientali.

Ciò ha consentito di assegnare a ogni area un nome che ne mette in evidenza la vocazione funzionale: primo gruppo: area turistica; secondo gruppo: area protettiva-naturalistica; terzo gruppo: area turistica-naturalistica; quarto gruppo: area protettiva-naturalistica; quinto gruppo: area naturalistica-turistica.

E' da notare che la seconda e la quarta area, si caratterizzano per la vocazione protettiva-naturalistica, pur distinguendosi per il diverso livello vocazionale raggiunto. Tale diversità è giustificata dalle caratteristiche ambientali dei territori considerati, che esaltano nell'una la capacità turistica, nell'altra la funzione produttiva.

Questo risultato è di immediata utilità dal punto di vista gestionale e influenza direttamente la logica di comportamento nella allocazione delle risorse o funzioni naturali. Questi gruppi infatti costituiscono delle unità di pianificazione non definite a priori in modo arbitrario ma che discendono direttamente dalle caratteristiche ambientali della foresta demaniale e sono appropriate per essere prese a riferimento per rendere efficace la politica economica, gestionale e forestale dell'ente gestore.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[«BSGI» = «Bollettino della Società Geografica Italiana», Roma; «MSGI» = «Memorie della Società Geografica Italiana», Roma; «RGI» = «Rivista Geografica Italiana», Firenze; SGI = Società Geografica Italiana]

ANDERBERG M.R., *Cluster Analysis for Applications*, New York, Academic Press, 1973.

ASTRAHAN M.M., *Speech Analysis by Clustering, or the Hyperphoneme Method*, Stanford, Stanford Artificial Intelligence Project Mem. AIM-124, AD 709067, 1970.

BALL G.H., *Classification Analysis*, Stanford, Stanford Research Institute, SRI Project 5533, 1971.

BALL G.H. e D.J. HALL, *A Clustering Technique for Summarizing Multivariate Data*, in «Behavioural Science», Amsterdam, 1967, 12, pp. 153-155.

BALL G.H. e D.J. HALL, *ISODATA: A Novel Method of Data Analysis and Pattern Classification*, Menlo Park (Cal.), Stanford Research Institute, 1965.

BENZÉCRI J.-P., *L'analyse des données. I, La taxinomie*, Parigi, Dunoud, 1973.

CAILLIEZ F. e J.P. PAGÈS, *Introduction à l'analyse des données*, Parigi, Smash, 1976.

CORMACK R.M., *A Review of Classification*, in «Journal of The Royal Statistical Society. Series A», Londra e Oxford, 1971, 3, pp. 20-32

DELVECCHIO F., *Analisi statistica di dati multidimensionali*, Bari, Cacucci, 1992.

DIDAY E. e altri, *Optimisation en classification automatique*, t. 1 e 2, Rocquencourt, INRIA, 1980.

DIDAY E. e altri, *La méthode des nuées dynamiques*, in «Revue de Statistique Appliquée», Parigi, 1971, 2, pp. 19-34.

EASTMAN J.R. e altri, *GIS and Decision Making. Explorations in Geographical Information System Technology*, Ginevra, UNITAR, 1993.

EVERITT B., *Cluster Analysis*, Londra, Heinemann, 1974.

FORGY E.W., *Cluster Analysis of Multivariate Data. Efficiency Versus Interpretability of Classifications*, Riverside (Cal.), Biometric Society Meetings, 1965.

FRIEDMAN H.P. e J. RUBIN, *On Some Invariant Criteria for Grouping Data*, in «Journal of the American Statistical Society», Washington, 1967, 62, pp. 1159-1178.

GORDON A.D., *Classification*, Londra, Chapman and Hall, 1981.

HARTING J.A., *Clustering Algorithms*, New York, Wiley, 1975.

- LAVOIE R., *Statistique appliquée*, Québec, Presses de l'Université du Québec, 1981.
- LEBART L., A. MORINEAU e M. PIRON, *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, Parigi, Dunod, 1997.
- LEBART L., A. MORINEAU e K.M. WARWICK, *Multivariate Descriptive Statistical Analysis. Correspondence Analysis and Related Techniques for Large Matrices*, New York, Wiley, 1984.
- MacQUEEN J.B., *Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations*, in *Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1967, pp. 281-297.
- NIJKAMP P. e P. RIETVELDT, *Multiple Objective Decision Analysis in Regional Economic. Handbook of Regional and Urban Economics*, Amsterdam, North Holland, 1996.
- REHMAN T. e C. ROMERO, *The Application of the MCDM Paradigm to the Management of Agricultural System: Some Basic Considerations*, in «Agricultural Systems», Amsterdam, 1993, 41, pp. 239-255.
- SNEATH P.H. e R.R. SOKAL, *Numerical Taxonomy*, San Francisco, Freeman, 1973.
- SPSS Base 7.5 per Windows (guida dell'utente, release 7.5), Chicago, SPSS Inc., 1977.
- THORNDIKE R.L., *Who belongs in the Family*, in «Psychometrika», Greensboro (Carolina del Nord), 1953, 18, pp. 267-276.

NATURAL AREA'S FUNCTIONS SUPPLY ANALYSIS USING «GIS» INFORMATION: AN APPLICATION OF THE CLUSTERS ANALYSIS. – Natural resources management means making decision with regard to the organization, use and conservation of the resources. The aim of this paper is to analyze the natural resources capacity to produce environmental services. The approach more appropriate seems to be the GIS analysis, but the detail of this information does not allow to police makers using the results for the decision process. Multivariate analysis allows to aggregate microareas and make homogeneous clusters for capacity to offer naturalistic, productive, protective and tourist service, that permit to determinate optimal combinations of the environmental service for every homogeneous macroarea. In this paper Cluster Analysis and Principal Component Analysis have been used together in order to prepare the GIS data base, that analyzes environmental data of the area of Alto Garda Bresciano, for the use in multiple-criteria analysis and in the decision process.

Università di Verona, Dipartimento di Economie, Società e Istituzioni (Sezione di Statistica)

Università di Verona, Dipartimento di Scienze Economiche