

## L'analisi da remoto del paesaggio mediante finestre mobili: il caso di studio della Val Baganza (Parma)

Alessandro Ferrarini\*, Pierfrancesca Rossi, Mauro Migliazzi, Orazio Rossi, Giovanni Giavelli

*Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Parma, Viale delle Scienze 11/A - 43100 Parma*

\* Autore referente per la corrispondenza: [al.ferr@nemo.unipr.it](mailto:al.ferr@nemo.unipr.it); [sgtpm@libero.it](mailto:sgtpm@libero.it)

*Pervenuto il 24.11.2003; accettato il 3.3.2004*

### Riassunto

La geometria non euclidea amplia la capacità di descrizione della natura, permettendo l'analisi anche di oggetti e strutture irregolari. Per un paesaggio dalla forte impronta antropica, dove linee diritte e figure regolari sono state create trasformando aree naturali in zone urbanizzate o rurali è sufficiente l'utilizzo degli strumenti euclidei per descriverne i semplici motivi spaziali. Al contrario, se si considera un paesaggio più naturale, prevale l'irregolarità delle forme degli habitat e l'approccio frattale risulta il più idoneo e soddisfacente per la descrizione e lo studio del territorio. I frattali sono oggetti di dimensione non intera, la cui struttura geometrica è così complicata da non permettere di attribuire loro una dimensione geometrica di tipo euclideo.

In questo lavoro vengono analizzate le forme di alcune tipologie di habitat presenti nel bacino idrografico del torrente Baganza mediante l'utilizzo della metodologia di Krummel delle finestre mobili applicata ad immagini telerilevate Landsat. I risultati vengono discussi in termini di gestione e conservazione del territorio.

PAROLE CHIAVE: paesaggio / telerilevamento / analisi a finestre mobili / forma degli habitat

### Remotely sensed landscape moving window analysis: the case study of the Baganza stream watershed (Parma, Italy)

The not euclidean geometry widens the ability of nature description, allowing the analysis both of regular and irregular structures. Let consider a landscape with a strong anthropic imprint, where right lines and regular figures have been created transforming natural areas in developed regions; in this case it will be sufficient the use of euclidean tools to describe the spatial patterns through the perimeter-area relationship, the area of an habitat or its distance from other habitats. On the contrary, if a more natural landscape is considered, then the irregularity of the shapes largely prevails. Fractals are objects whose geometric shape is so complex and distant from the simplicity of euclidean features, that don't allow to attribute them a "whole" dimension. The fractal approach results the most satisfactory for the description and the study of the landcover.

In this paper, the shapes of some kinds of habitats inside the Baganza stream watershed have been analyzed by means of Krummel's moving window method applied to Landsat satellite images. The results have been inserted into a GIS and then discuss in terms of landscape management and conservation.

KEY WORDS: landscape / remote sensing / moving window analysis / habitat shape

### INTRODUZIONE

L'ecologia del paesaggio ha ormai dimostrato numerose proprietà ecologico-ambientali della forma degli habitat presenti sul territorio. Alcune di queste sono:

- a) le forme degli habitat rappresentano il risultato di processi che operano su tempi lunghi (FORMAN e GODRON, 1986; FORMAN, 1995, HAMMETT, 1992);
- b) le forme degli habitat rappresentano la risultante di un

- bilancio tra forze interne all'habitat e forze esterne della matrice adiacente (FORMAN, 1995, FOSTER, 1983);
- c) la forma incide sui processi tra gli habitat, condizionando la migrazione di piccoli mammiferi (BUECHNER, 1989), la colonizzazione delle piante (HARDT e FORMAN 1989), le strategie di foraggiamento degli animali (FORMAN e GODRON, 1986);

d) ci sono tre principi, cosiddetti di “forma e funzione” (THOMPSON, 1961; FORMAN, 1995), che risultano, in genere, rispettati:

- le forme compatte sono utili per conservare le risorse in quanto viene minimizzato il perimetro esposto all'esterno
- le forme perimetralmente complesse sono utili nel favorire le interazioni con l'intorno poiché viene massimizzata la probabilità di attraversamento del confine dell'habitat
- le forme disposte come un labirinto tendono a rappresentare un sistema di trasporto trasmettendo l'informazione da una porzione all'altra del mosaico degli habitat;

e) le forme degli habitat variano soprattutto con la topografia e con l'intensità dell'attività umana. In genere, in pianura gli habitat hanno forme compatte e poco variabili e confini regolari. In collina gli habitat hanno forme intermedie e confini meno regolari. In montagna, nelle zone più naturali e a maggiore pendenza, le forme sono più complesse perimetralmente e lunghe e la variabilità di forme è molto elevata. Esistono anche molte forme miste che combinano gli effetti di meccanismi umani e naturali;

f) gli habitat grandi sono caratterizzati da condizioni proprie della zona interna (*interior*) e quindi anche da specie dell'habitat interno che non sono presenti negli habitat piccoli (FORMAN, 1981);

g) processi ad alta entropia e casualità danno luogo a forme casuali caratterizzate soprattutto da convoluzione e da perimetri aspri. Forze direzionali, quali vento, acqua, ghiaccio tendono ad allungare gradualmente gli habitat. L'effetto netto di queste forze è quello di attendersi forme allungate, con molti lobi e perimetri aspri, poiché è necessaria una grande quantità di energia per mantenere forme circolari con perimetri regolari (FORMAN, 1995);

h) la forma di un habitat può essere descritta mediante quattro attributi

- area
- perimetro
- elongazione (allungamento in una direzione preferenziale)
- complessità dei bordi con presenza di molti lobi

i) gli habitat il cui perimetro presenta molti lobi hanno, in generale, ampi scambi con la matrice esterna e una suddivisione di popolazioni in sottopopolazioni che produce una maggiore variazione genetica rispetto ad un habitat circolare dove il flusso genico è più diffuso; infine producono l'incanalamento degli animali da un'area ampia (matrice) in un'altra stretta come un lobo.

Il presente contributo si focalizza sulla complessità perimetrale degli habitat, espressione di processi natu-

rali e/o antropici, mediante l'applicazione del metodo della finestra mobile proposto da Krummel (KRUMMEL *et al.*, 1987).

#### AREA DI STUDIO, MATERIALI E METODI

L'area di studio coincide con il bacino idrografico del Torrente Baganza (Fig. 1) posto nel versante emiliano dell'Appennino settentrionale nella provincia di Parma. Nella zona pianeggiante, la vegetazione naturale è limitata alle aree soggette a minor pressione antropica in prossimità del greto del torrente, con pioppo nero e robinia. Nell'area collinare è presente la vegetazione submediterranea con boschi misti a roverella sui versanti caldi e secchi e a carpino nero in condizioni più mesofile. Nell'area submontana, che si estende fino alla quota di circa 1000 m s.l.m., sono frequenti prati da sfalcio, cerrete sui versanti meno acclivi ed ostrieti su quelli a prevalente esposizione nord. Infine, alle quote più elevate, dominano pressoché incontrastati i boschi neutrofilo a faggio, con zone a castagno, oggi non più curato. Le formazioni erbacee sono per lo più rappresentate da praterie a *Brachypodium genuense* (ROSSI, 1999). L'attività umana si concentra nei nuclei urbani limitrofi al capoluogo di provincia. L'area pianiziale e di prima collina è dominata da un'agricoltura intensiva legata alle necessità produttive della filiera agro-alimentare del parmense. La zona montana risente, al contrario, di un ventennale processo di spopola-



Fig. 1. Posizione del bacino idrografico del Torrente Baganza (18000 ettari, prov. Parma).

mento ed invecchiamento, con un progressivo abbandono della presenza umana sul territorio. La conservazione di prati a sfalcio per la produzione a foraggiera ha un qualche impatto estensivo, mentre scarso è lo sfruttamento delle risorse forestali nel settore della lavorazione del legno.

Per indagare l'area di studio, è stata utilizzata una scena Landsat TM5 del 24-7-95. Integrando il dato satellitare con ricognizioni *in situ* (ROSSI, 1999) è stata realizzata entro il Progetto Carta della Natura (ROSSI, 2001; ROSSI *et al.*, 2002) la mappatura degli habitat del bacino idrografico del Torrente Baganza su base CORINE *Biotopes* dell'UE (C.E.C., 1991) e relativa all'anno 1999. Tale mappatura è stata successivamente aggiornata nell'anno 2000 (TOMASELLI, 2000; non pubblicato). L'analisi frattale è stata applicata a sei tipologie di habitat CORINE caratteristiche della Val Baganza:

- a) prati da sfalcio submontani e montani (codice CORINE: 38.2). Si tratta di prati da sfalcio mesofili, fertilizzati e ben drenati, con *Arrhenatherum elatius*, *Trisetum flavescens*, *Bromus hordeaceus*, *Poa pratensis*, *Galium album*;
- b) boschi di cerro (codice CORINE: 41.74). Si tratta di boschi a dominanza di cerro (*Quercus cerris*), con *Ostrya carpinifolia*, *Fraxinus ornus*, *Quercus pubescens*, maggiociondolo (*Laburnum anagyroides*) e pioppo tremolo (*Populus tremula*). Lo strato arbustivo è caratterizzato dalla predominanza di *Corylus avellana*; un'altra specie arbustiva relativamente frequente è *Rosa arvensis*. Nello strato erbaceo predominano specie mesofile quali *Primula vulgaris*, *Hepatica nobilis*, *Listera ovata* e *Geranium nodosum*. Sono diffusi nella fascia submontana in stazioni fresche con suoli da basici a subacidi;
- c) boschi di carpino nero e supramediterranei (codice CORINE: 41.812). Sono boschi a dominanza di carpino nero, con orniello, querce, aceri (*Acer opulifolium*, *Acer campestre*), e sottobosco di essenze mesofile. Sono diffusi prevalentemente sui versanti freschi della fascia supramediterranea. Le specie diagnostiche principali sono: *Acer opulifolium*, *Hepatica nobilis*, *Lilium croceum*;
- d) cesuglieti di tipo medio-europeo (codice CORINE: 31.81). Si tratta di mantelli di bosco o cesuglieti secondari composti da *Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Rosa canina*, *Cornus sanguinea*. Sono diffusi dalla fascia supramediterranea calda a quella submontana;
- e) praterie semiaride appenniniche (codice CORINE: 34.3266). Sono praterie chiuse da moderatamente aride a semimesofile, di suoli relativamente profondi e per lo più carbonatici, caratterizzate dalla dominanza di erbe perenni, come *Bromus erectus*, *Brachypo-*

*dium rupestre*, *Ranunculus bulbosus*, *Sanguisorba minor*, diverse leguminose (*Lotus corniculatus*, *Medicago lupulina*, *Hippocrepis comosa*) e orchidee (*Orchis morio*, *Anacamptis pyramidalis*, *Gymnadenia conopsea*, *Ophrys apifera*). Sono diffuse nelle fasce supramediterranea e submontana;

- f) praterie a *Brachypodium genuense* (codice CORINE: 36.334). Sono praterie chiuse a dominanza di *Brachypodium genuense* limitate alla fascia montana. Le specie accompagnatrici più frequenti sono: *Luzula multiflora*, *Anthoxanthum alpinum*, *Avenella flexuosa*.

Rispetto all'approccio classico euclideo (ZURLINI *et al.*, 2001a), la geometria frattale permette una descrizione più realistica della forma degli oggetti naturali. Questi ultimi, poiché non interessati dalle attività umane, mostrano forme molto irregolari. Il grado di complessità di queste forme può essere espresso in termini di dimensione frattale perimetrale ( $D$ ). Per i singoli habitat di un mosaico  $D$  è data da (NIKORA *et al.*, 1999):

$$(1) \quad D = \alpha \cdot (1+H)$$

dove  $\alpha$  è l'esponente nella relazione perimetro-area (MANDELBROT, 1983),  $P$  è il perimetro,  $A$  l'area e  $c$  una costante.  $H$  è l'esponente di Hurst detto «*shape exponent*» nella relazione area-lunghezza (MANDELBROT, 1983):

$$(2) \quad A = b \cdot L^{1+H}$$

dove  $b$  è una costante. In particolare,  $H$  è uguale a 1 quando gli habitat a scale differenti sono geometricamente molto simili (*self-similar*). Qualora si verifici questa condizione (MILNE, 1991; HASTINGS e SUGIHARA, 1993), si ha che:

$$(3) \quad \alpha = D/2$$

con  $\alpha$  che fornisce una stima diretta di  $D$  dalle relazioni empiriche perimetro-area (LOVEJOY, 1982) entro ogni dominio scalare. Dati l'area ed il perimetro di  $n$  habitat irregolari, la relazione perimetro-area è:

$$(4) \quad P_i = c \cdot A_i^\alpha$$

dove  $P_i$  e  $A_i$  sono rispettivamente il perimetro e l'area dell'habitat  $i$ -esimo. Passando alla trasformazione logaritmica si ottiene:

$$(5) \quad \ln(P_i) = \ln(c) + \alpha \cdot \ln(A_i)$$

dove  $D$  è il doppio del coefficiente angolare  $\alpha$  del modello di regressione lineare.  $D$  è vincolato ad un piano ed assume valori prossimi od uguali ad 1 per forme euclidee semplici (cerchi e rettangoli) ed aumenta fino a 2 per quelle più complesse. Un salto nella dimensione frattale perimetrale, o nei parametri frattali connessi, potrebbe essere indice di un cambiamento sostanziale nei processi che generano e mantengono gli habitat del paesaggio alle differenti scale (KRUMMEL *et al.*, 1987; MILNE, 1991).

Il metodo di Krummel (KRUMMEL *et al.*, 1987), studia la relazione tra area e perimetro degli habitat

mediante una regressione a finestra mobile che evidenzia l'eventuale esistenza di punti di rottura nei parametri di forma. Il metodo può essere così schematizzato:

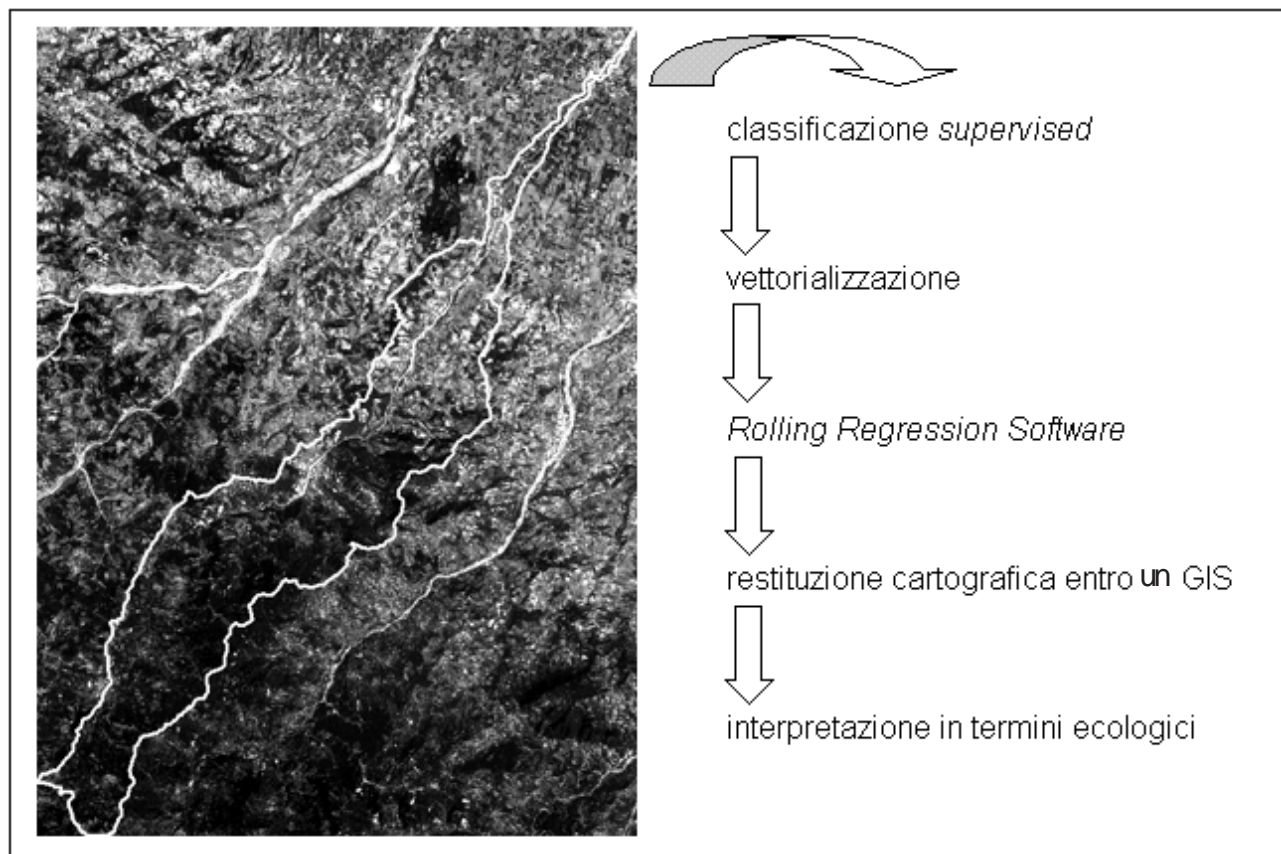
- 1) siano dati  $n$  habitat ognuno con perimetro  $P_i$  e area  $A_i$ ,  $1 \leq i \leq n$
- 2) si attua la trasformata logaritmica dell'area e del perimetro degli  $n$  habitat
- 3) sia data una finestra iniziale di dimensioni  $m$
- 4) si calcola la regressione tra  $P$  ed  $A$  per i primi  $m$  habitat
- 5) la finestra si sposta di una osservazione
- 6) si calcola la regressione tra  $P$  ed  $A$  per gli habitat da 2 ad  $m+1$
- 7) la finestra si sposta di una osservazione
- 8) si calcola la regressione tra  $P$  ed  $A$  per gli habitat da 3 ad  $m+2$
- 9) la finestra mobile si ferma quando  $i + m = n$ , dove  $i$  è l' $i$ -esimo habitat da cui parte la regressione
- 10) la dimensione della finestra viene aumentata da  $m$  ad  $m_2 = m + k$ , con  $k$  a piacere
- 11) si riprende dal punto 4) con la sola differenza che  $m$  è sostituito da  $m_2$
- 12) l'iterazione del processo avviene un numero di

$$\text{volte pari a } g = [(n - m) / k] + 1$$

I *break point* individuati dividono le osservazioni analizzate in più intervalli; ciascun intervallo è chiamato dominio frattale ed è caratterizzato da un coefficiente di regressione  $D$ . Individuati i punti di rottura nella regressione area-perimetro, vengono calcolati i valori di  $\ln(A_i)$  corrispondenti. La differenza tra i coefficienti di regressione dei diversi domini funzionali tra  $P$  ed  $A$  è indice dell'efficacia del metodo, una variazione anche se lieve è sufficiente a dimostrare la validità del metodo.

L'intero processo è piuttosto oneroso dal punto di vista computazionale. Per tale motivo abbiamo realizzato un applicativo in linguaggio *Visual Basic* chiamato "*Rolling Regression Software*" (MIGLIAZZI *et al.*, 2002). Il programma (che può essere richiesto al primo autore del presente lavoro) realizza tutti i passaggi sopra descritti e restituisce i risultati in un formato immediatamente importabile entro un GIS per una rappresentazione cartografica dei domini frattali individuati. Il *software* richiede in *input* tre parametri:

- a) *number of observations* ( $n$ ): indica il numero di osservazioni (habitat) su cui operare
- b) *first lag* ( $m$ ): indica la dimensione del primo intervallo



**Fig. 2** Algoritmo utilizzato nell'individuazione dei domini frattali per le sei tipologie di habitat CORINE analizzati. Sulla sinistra, l'immagine satellitare Landsat TM5 dell'area di studio.



per il calcolo della regressione.

c) *increment* (k): indica l'incremento cioè il valore che sarà sommato ad m ad ogni regressione

L'algoritmo utilizzato per la determinazione dei domini frattali viene, in sintesi, illustrato nella figura 2.

**RISULTATI**

Nell'area di studio le tipologie CORINE considerate sono così quantificate:

- a) codice 31.81: 302 habitat;
- b) codice 34.3266: 84 habitat;
- c) codice 36.334: 129 habitat;
- d) codice 38.2: 375 habitat;
- e) codice 41.74: 32 habitat;
- f) codice 41.812: 65 habitat.

Relativamente al codice CORINE 31.81, il punto di rottura della relazione area-perimetro si ha per  $\ln(A)=9,13$  ovvero  $A=9228$  mq. Si possono, quindi, calcolare i coefficienti di regressione per i 2 intervalli scalari:

$$D_1 = 1,15$$

$$D_2 = 1,36$$

La differenza tra i due coefficienti di regressione è 0,21. Questo significa che, relativamente al codice CORINE 31.81, gli habitat con un valore areale inferiore a 9228 mq presentano una relazione area-perimetro molto più semplice rispetto a quelli con superficie maggiore di quel valore. È quindi possibile suddividere i 302 habitat di questo codice in due *cluster*, il primo caratterizzato da forme mediamente semplificate e compatte, il secondo da forme mediamente complesse (Fig. 3).

Relativamente al codice CORINE 34.3266, il punto di rottura della relazione area-perimetro si ha per  $\ln(A)=9,05$  cioè  $A=8518$  mq. Si possono calcolare i coefficienti:

$$D_1 = 1,14$$

$$D_2 = 1,31$$

La differenza tra i due coefficienti di regressione è 0,17. Per il codice 36.334, il punto di rottura si ha per  $\ln(A)=9,21$  (Fig. 4 e Fig. 5) cioè  $A=9996$  mq. I coefficienti di regressione per i 2 intervalli scalari sono rispettivamente:

$$D_1 = 1,23$$

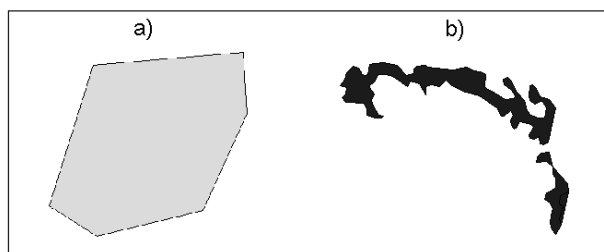
$$D_2 = 1,58$$

La differenza tra i due coefficienti di regressione è 0,35. Per il codice 38.2, il punto di rottura si ha per  $\ln(A)=9,32$  cioè  $A=11158$  mq. Si possono calcolare i coefficienti di regressione:

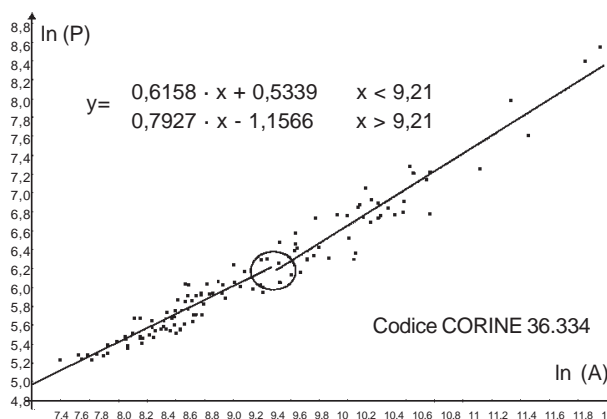
$$D_1 = 1,11$$

$$D_2 = 1,39$$

La differenza tra i due coefficienti di regressione è 0,28. Per il codice CORINE 41.74 non è stato possibile rilevare alcun punto di rottura nella relazione area-perimetro. Il codice 41.812 ha un punto di rottura per



**Fig. 3** Esempio di un habitat appartenente al primo dominio frattale (a) del Codice 31.81 e di un habitat del secondo dominio sempre del Codice 31.81 (b). Si nota con nettezza la differenza nella complessità della forma (convoluzione).



**Fig. 4** Rappresentazione per il codice CORINE 36.334 della regressione spezzata, risultante dall'applicazione del metodo di Krummel. Il punto di rottura (evidenziato dal circolo) è posizionato in  $\ln(A)=9,21$ . La dimensione frattale  $D_1$  del primo gruppo di habitat è 1,23 ( $D_1 = 2 \cdot 0,6158$ ), mentre  $D_2$  è pari a 1,58 ( $D_2 = 2 \cdot 0,7927$ ).



**Fig. 5** Rappresentazione GIS dei 2 domini frattali del codice CORINE 36.334: in grigio chiaro il primo dominio, in grigio scuro il secondo. Il primo dominio si trova esclusivamente a destra del torrente Baganza dove le pendenze dolci permettono la presenza dell'uomo, mentre il secondo si trova quasi esclusivamente sul versante sinistro dove, per l'alta acclività, l'uomo è quasi totalmente assente.

$\ln(A) = 10,7$  cioè  $A = 44355$  mq. I coefficienti di regressione per i 2 intervalli scalari sono rispettivamente:

$$D_1 = 1,23$$

$$D_2 = 1,66$$

La differenza tra i due coefficienti di regressione è 0,43. I risultati ottenuti sono riportati nella tabella I.

## DISCUSSIONE

Il metodo di Krummel presenta alcuni evidenti punti di forza. Si tratta di una metodologia concettualmente semplice e relativamente intuitiva che prevede che il legame tra una variabile dipendente ed una indipendente possa non essere costante lungo tutto il dominio della funzione. Essa permette inoltre di individuare gli eventuali punti di rottura. Il metodo consente inoltre di trovare punti di rottura anche su un campione minimo di osservazioni: nel caso del codice 41.812, è stato trovato un punto di rottura nonostante fossero presenti solo 65 osservazioni. Avvalendosi di esperienze empiriche, si può porre uguale a 40 il numero di osservazioni sotto il quale il metodo non è in grado di trovare *breakpoint*.

Il metodo presenta tuttavia alcuni limiti. Innanzitutto è un metodo semi-quantitativo e, a differenza di altre metodologie con finalità simili (GROSSI *et al.*, 2001; ZURLINI *et al.*, 2001b; ZURLINI *et al.*, 2002), non esiste alcun *test* che restituisca con esattezza il punto di rottura della relazione area-perimetro. I punti di *shift* della funzione vengono individuati per ispezione visuale del *biplot* avente  $\ln(A)$  sull'asse delle ascisse e  $D$  su quello delle ordinate. I punti di rottura possono essere individuati solo per una certa dimensione della finestra che scorre sulle osservazioni: le altre finestre generalmente non sono in grado di rivelare i *breakpoint* presenti. Questo è il motivo per cui è necessario usare un numero elevato di finestre di dimensione variabile. La scelta della dimensione ottimale della finestra deriva dal compromesso fra due opposte esigenze. Da un lato, la dimensione frattale deve essere calcolata su un insieme di habitat relativamente omogenei: ovviamente, più piccola è la finestra, maggiormente omogenei sono gli habitat che ricadono al suo interno. Dall'altro lato, per ottenere stime statisticamente significative della dimensione frattale, la finestra non deve essere troppo piccola. La dimensione ottimale della finestra viene quindi ottenuta iterativamente partendo dalla dimensione più piccola possibile ed incrementandola finché non vengono prodotte stime significative della dimensione frattale. Per esempio, il ritrovamento dei domini frattali per le sei tipologie studiate ha richiesto le seguenti dimensioni della finestra mobile: 245 osservazioni per il codice 31.81, 65 per il codice 34.3266, 110 per il codice 36.334, 305 per il codice 38.2, 60 per il codice 41.812. Non esiste una regola, né teorica né

**Tab. I.** Risultati dell'applicazione del metodo della finestra mobile di Krummel ad alcuni codici CORINE presenti nel bacino idrografico del torrente Baganza. La colonna D1 rappresenta il coefficiente di regressione del primo dominio frattale, D2 del secondo. La colonna D2-D1 rappresenta il salto tra il primo e il secondo dominio frattale. Tanto maggiore è questo valore, tanto maggiore è la differenza nella complessità media delle forme degli habitat appartenenti ai due domini. È stato tralasciato il codice 41.74 per il quale non sono stati rinvenuti punti di rottura nella regressione perimetro-area.

Codice CORINE	D1	D2	D2-D1
31.81	1,15	1,36	0,21
34.3266	1,14	1,31	0,17
36.334	1,23	1,58	0,35
38.2	1,11	1,39	0,28
41.812	1,23	1,66	0,43

empirica, per determinare la dimensione ottimale di tale finestra, se non che essa deve essere maggiore di 30 osservazioni affinché la regressione calcolata sia significativa. Inoltre, l'incremento  $k$  deve essere scelto con la sola accortezza che  $m+k$  sia minore del numero totale  $n$  delle osservazioni.

L'ispezione visuale degli habitat appartenenti a diversi domini frattali evidenzia che effettivamente cambia in modo netto il grado di convoluzione (Fig. 3 e Fig. 5). Da qui il significato ecologico delle analisi realizzate: suddividere l'intero *range* degli habitat appartenenti ad una certa tipologia CORINE in due o più *cluster* a cui, a parità di complessità morfologica (dominio frattale), corrispondano processi naturali/antropici simili che creano e mantengono quel gruppo di habitat. Un salto di dominio frattale lascia, viceversa, supporre che cambino i processi dominanti entro o al confine degli habitat.

Sotto l'ipotesi che a gradi di complessità differenti corrisponda una differente embriologia e diversi processi dominanti negli ecosistemi, sono in corso ulteriori analisi per saggiare questa ipotesi. Ciò permetterebbe anche l'individuazione delle variabili ecologiche e/o antropogeniche che possono effettivamente spiegare i salti di dominio scalare rinvenuti. Particolarmente utile risulta l'uso congiunto di questa metodologia e delle tecniche di telerilevamento come strumento d'indagine del territorio (FERRARINI *et al.*, 2002a; FERRARINI *et al.*, 2002b; FERRARINI *et al.*, 2002c).

## CONCLUSIONI

Il metodo di Krummel individua gli eventuali punti di rottura della funzione di regressione della relazione area-perimetro degli habitat e, quindi, la presenza di due o più funzioni, in dipendenza dalla forma degli

habitat stessi.

La suddivisione degli habitat in due o più gruppi (domini) permette di avanzare alcune ipotesi pianificatorie plausibili sulla loro conservazione. Per esempio, forme maggiormente regolari e compatte sono meno sensibili rispetto alla matrice esterna, risentono meno dell'influenza degli habitat adiacenti, i loro confini netti agiscono maggiormente da barriere o da filtri. La loro conformazione minimizza l'esposizione dei confini e questo è molto utile al fine di una maggior conservazione delle risorse interne. Confini diritti facilitano, inoltre, il movimento dei predatori lungo gli stessi e questo rende l'habitat ancor più difficilmente penetrabile da parte di specie estranee. Habitat circolari, o comunque regolari, sono caratterizzati, in genere, da un flusso genico ristretto rispetto ad habitat convoluti, dove le popolazioni si suddividono in sottopopolazioni localizzate nei diversi lobi dei lobi e dei loro microhabitat, e questo comporta una minor varietà di specie.

Gli habitat frastagliati e con molti lobi sono utili nel favorire le interazioni con l'intorno, vi è una massimizzazione della probabilità di attraversamento del confine poiché più lungo. I lobi originano un effetto imbuto, una concentrazione di specie in un piccolo spazio, che facilita l'entrata e/o l'uscita dall'habitat. Molte specie possono attraversare un habitat solo attraverso i lobi. Questi spazi hanno, inoltre condizioni microclimatiche

proprie e generano microambienti dove aumentano le probabilità di nascondersi ed evitare predatori, mantenendo in tal modo una diversità genetica elevata nell'habitat. Maggior interesse conservazionistico dovrà in generale essere posto nei riguardi degli habitat convoluti piuttosto che ad habitat compatti, difficilmente perturbabili.

Nel presente lavoro, il metodo di Krummel è stato applicato a sei tipologie di habitat CORINE la cui mappatura proviene da immagini telerilevate Landsat. Mediante l'utilizzo di un *software* realizzato appositamente per questo lavoro, è stato possibile individuare diversi domini frattali per ogni singola tipologia CORINE e riportare il tutto all'interno di un GIS. Ulteriori approfondimenti dovranno spiegare l'appartenenza di un habitat ad un certo dominio frattale sulla base di variabili naturali e/o antropogeniche che, con riferimento alla letteratura scientifica disponibile, si ritiene siano in grado di influenzare e spiegare i punti di rottura della relazione area-perimetro. Tali *breakpoint* sono determinanti ecologico-ambientali di fondamentale importanza per un'analisi sinottica del mosaico degli habitat naturali mediante immagini telerilevate.

### Ringraziamenti

Si ringraziano i *referees* anonimi per i consigli forniti.

### BIBLIOGRAFIA

- BUECHNER M., 1989. Are small-scale landscape features important factors for field studies of small mammal dispersal sinks? *Landscape Ecology*, **2**: 191-199.
- C.E.C. (COMMISSION OF EUROPEAN COMMUNITY), 1991. *CORINE Biotopes Manual, habitats of the European Community. A method to identify and describe consistently sites of major importance for nature conservation*. EUR 12587/3, Bruxelles.
- FERRARINI A., ROSSI P., ZACCARELLI N., 2002a. Un classificatore efficiente di dati iperspettrali MIVIS per la mappatura territoriale: CART (Classification And Regression Trees). *Rivista Italiana di Telerilevamento*, **22**: 3-12.
- FERRARINI A., ROSSI P., ROSSI O., SOLIANI L., 2002b. Metodi avanzati di analisi e progettazione territoriale. *Notiziario della Società Italiana di Ecologia (S.It.E.)*, pp. 7-9.
- FERRARINI A., ROSSI P., ZACCARELLI N., 2002c. Mappature vegetazionali ad elevata accuratezza: la metodologia delle reti neurali applicata ai dati iperspettrali MIVIS. *Rivista Italiana di Telerilevamento*, **22**: 13-22.
- FORMAN R.T.T., 1981. Interaction among landscape elements: a core of landscape ecology. In S. P., Tjallingii e A.A. de Veer, eds. *Perspectives in Landscapes*, pp. 35-48, PUDOC, Wageningen, Netherlands.
- FORMAN R.T.T., GODRON M., 1986. *Landscape ecology*. Wiley & Sons, New York.
- FORMAN R.T.T., 1995. *Land Mosaics. The Ecology of Landscapes and Regions*, Cambridge University Press.
- FOSTER D.R., 1983. The history and pattern of fire in the boreal forest of southeastern Labrador. *Canadian Journal of Botany*, **61**: 2549-71.
- GROSSI L., ZURLINI G., ROSSI O., 2001. Statistical detection of multiscale landscape patterns. *Journal of Ecological and Environmental Statistics*, **8**: 253-267.
- HAMMETT J.E., 1992. The shapes of adaptation: historical ecology of anthropogenic landscapes in the southeastern United States. *Landscape Ecology*, **7**: 121-135.
- HARDT, R.A., FORMAN, R.T.T., 1989. Boundary form effects on woody colonization of reclaimed surface mines. *Ecology*, **70**: 1252-1260.
- HASTINGS, H.M., SUGIHARA, G., 1993. *Fractals - a user's guide for the natural sciences*, Oxford University Press, New York.

- KRUMMEL J.R., GARDNER R.H., SUGIHARA G., O'NEILL R.V., COLEMAN P.R., 1987. Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos*, **48**: 321-324.
- LOVEJOY S., 1982. Area-perimeter relation for rain and cloud areas. *Science*, **216**: 185-187.
- MANDELBROT B.B., 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman (ed.), San Francisco.
- MIGLIAZZI M., ROSSI O. (relatore), FERRARINI A. (correlatore), ROSSI P. (correlatore), ALLESINA S. (correlatore), 2002. *Metodi avanzati di analisi dell'ecomosaico ambientale mediante tecniche quantitative applicate alla base di dati di un Sistema Informativo Territoriale*. Tesi di laurea - Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Università di Parma.
- MILNE B.T., 1991. Lessons from applying fractal models to landscape patterns. In: Turner M.G. and Gardner R.H. (eds.) *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlag: 199-235.
- NIKORA V.I., PEARSON C.P., SHANKAR, U., 1999. Scaling properties in landscape patterns: New Zealand experience. *Landscape Ecology*, **14**: 17-33.
- ROSSI O., 2001. La Carta della Natura del Paese: aspetti generali e prospettive. In: *Cartografia multiscalare della natura*. S.It.E. - Atti XXIII, 11-20.
- ROSSI O., ROSSI P., FERRARINI A., 2002. Principii e metodologie generali per la Carta della Natura del Paese. In: *Le Ofioliti: isole sulla terraferma. Per una rete di Aree Protette*, Regione Emilia-Romagna, 235-242.
- ROSSI P., 1999. *Analisi della diversità vegetazionale in Val Baganza mediante la classificazione CORINE Biotopes*. Tesi di Laurea in Scienze Biologiche, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Università di Parma.
- THOMPSON D.W., 1961. *On Growth and Form*. Cambridge University Press, Cambridge.
- ZURLINI G., ROSSI O., FERRARINI A., ROSSI P., ZACCARELLI N., 2001a. Risultati preliminari sulla relazione tra pattern spaziali di mosaici di habitat CORINE e tassi di disturbo ambientale. S.It.E. - Atti XXV.
- ZURLINI G., ROSSI O., FERRARINI A., ROSSI P., ZACCARELLI N., 2001b. Assessing multi-scale fragility of landscapes: concepts, methods and recent results of the Map of Italian Nature. In Belward A., Binaghi E., Brivio P.A., Lanzarone G.A. e Tosi G. (eds.): *Geospatial knowledge processing for natural resources management*, European Commission, JRC ISPRA, National Research Council, Artestampa, Baveno (Varese), 153-159.
- ZURLINI G., ROSSI O., ZACCARELLI N., PETROSILLO I., FERRARINI A., ROSSI P., 2002. Spatial patterns of ecological change in watershed. in: *Acts of the annual meeting of International Association for Landscape Ecology (IALE)*, Lincoln, NE (USA), pp.73.