

# **Analisi della struttura del paesaggio mediante dati telerilevati del sensore MIVIS: il bacino del torrente Baganza (Parma)**

**Pierfrancesca Rossi\* e Alessandro Ferrarini, Orazio Rossi, Giovanni Zurlini**

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

\* Autore referente per la corrispondenza (p.rossi@nemo.unipr.it)

*Pervenuto l'1.7.2002; accettato il 25.11.2002*

## **Riassunto**

È stata condotta un'analisi ad elevata risoluzione spaziale del mosaico di habitat del bacino idrografico del torrente Baganza (Prov. Parma). Le caratteristiche strutturali del territorio influenzano i processi che avvengono entro e tra gli habitat: il monitoraggio dei processi è lungo e costoso, quello delle strutture è più agevole, soprattutto se si utilizza uno strumento idoneo per questo tipo di analisi quale il telerilevamento.

Allo scopo di riconoscere con elevata accuratezza gli habitat presenti all'interno dell'area di studio, sono state classificate mediante un algoritmo a reti neurali dodici immagini telerilevate del sensore iperspettrale MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*). Le classificazioni territoriali ottenute sono state georeferite e mosaicate tra loro. Sulla mappatura risultante sono stati calcolati diversi indici del paesaggio utilizzando il programma informatico FRAGSTAT. Tali indici sono stati poi analizzati allo scopo di ricavare la massima informazione possibile sulle caratteristiche del paesaggio. La classificazione dell'area di studio è stata quindi sovrapposta al modello digitale del terreno (DEM) allo scopo di suddividere la valle in fasce altimetriche (planiziale, collinare e montana). In tali fasce sono stati nuovamente calcolati gli indici del paesaggio allo scopo di individuarne le caratteristiche strutturali. Lo studio ha evidenziato l'utilità e la potenzialità del telerilevamento ad alta risoluzione per l'analisi delle caratteristiche strutturali dell'ecomosaico ambientale.

**PAROLE CHIAVE:** mosaico ambientale / analisi strutturale / sensore iperspettrale MIVIS / telerilevamento

## **Abstract**

### **Land-mosaic structural analysis through MIVIS sensor remotely sensed data**

This work aims to analyse land mosaic within the Val Baganza stream watershed (Parma, Italy) using a fine spatial resolution. The analysis of landscape structural properties is important because habitat spatial configuration influences ecological processes within and among habitats. Furthermore while processes monitoring is difficult and expensive, the analysis of landscape structure is much easier. The actual scientific literature enhances the importance of remote sensing for this kind of analyses. Twelve remotely sensed hyperspectral MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) images of the study area have been classified using a neural network algorithm. The aim of this operation was the high accurated recognition of habitats inside the Val Baganza stream watershed. MIVIS classifications have been georeferenced and conjoined. The resulting map has been used to calculate some landscape indices using FRAGSTAT software. These indices have been analysed aiming to get as much information as possible about structural landscape properties. The map of the study area has been overlaid to the digital terrain model (DEM). Then, the whole watershed has been divided into three altitudinal belts (lowland, hill land and mountain) and landscape indices have been calculated again to enhance structural characteristics of these altitudinal regions.

The study enhanced the utility and potential of high resolution remote sensing for the analysis of land mosaic structural properties.

**KEY WORDS:** land mosaic / structural analysis / hyperspectral MIVIS scanner / remote sensing

## INTRODUZIONE

L'ecologia del paesaggio è stata definita in modi diversi dagli studiosi nel corso del tempo. Troll (SCHREIBER, 1990) la definisce come "lo studio delle complesse relazioni di causa-effetto esistenti tra le biocenosi e le condizioni ambientali in una data porzione di territorio". La definizione corrente più nota è quella di Risser (SCHREIBER, 1990), secondo cui l'ecologia del paesaggio è "la disciplina che studia lo sviluppo e le dinamiche dell'eterogeneità spaziale, la gestione di tale eterogeneità e la sua influenza sui processi biotici e abiotici".

Nell'ecologia del paesaggio il *landscape* viene descritto attraverso i concetti di forma, funzione e cambiamento nel tempo. La forma (struttura) del paesaggio è generata dai flussi di materia, energia ed informazione e, viceversa, i flussi sono determinati dalla forma del landscape, nonché ne determinano il cambiamento nel tempo. Gli ecologi utilizzano vari strumenti per lo studio del paesaggio tra i quali gli esperimenti alla microscala, la modellistica matematica (TURNER e GARDNER, 1991), la geostatistica (autocorrelazione spaziale, semivariogrammi, analisi tessiturale) (RIPLEY, 1981) e le foto aeree, ma ciò che ha effettivamente rivoluzionato la percezione e l'approccio alla conoscenza del paesaggio è stato l'utilizzo del telerilevamento (HALL *et al.*, 1988; JOHNSTON e BONDE, 1989). Il *remote sensing* costituisce un approccio sinottico alla mappatura del territorio, che permette la mappatura e l'analisi delle caratteristiche strutturali dell'ecomosaico ambientale e lo studio dei suoi cambiamenti nel corso del tempo (SINGH, 1989). Gli ecosistemi della regione mediterranea presentano un elevato grado di frammentazione (NAVEH e LIEBERMAN, 1994; PIGNATTI, 1994) dovuto ad un incessante impatto antropico; ne consegue la necessità di operare a grana fine nel riconoscimento di habitat a diverso grado di naturalità. Per gli scopi del presente lavoro è stato utilizzato il sensore MIVIS, la cui elevata risoluzione spaziale e spettrale è idonea all'analisi di un mosaico ambientale estremamente frammentato come quello tipico del nostro paese.

## AREA DI STUDIO, MATERIALI E METODI

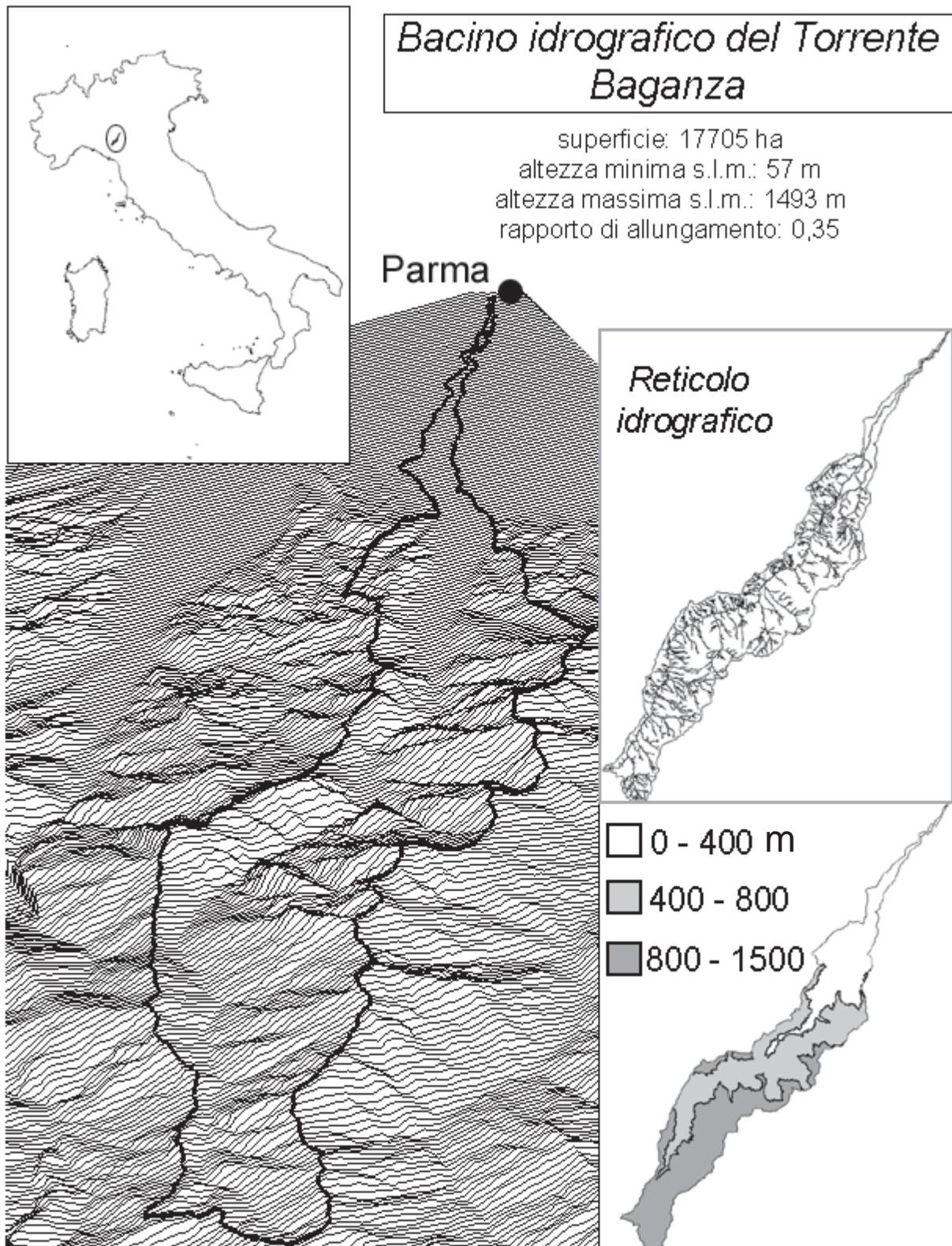
L'area di studio è rappresentata dal bacino idrografico del Torrente Baganza, posto nel versante emiliano dell'Appennino settentrionale in provincia di Parma (Fig. 1).

Chiusa fra la valle del torrente Parma a est e quella del torrente Taro a ovest, la Val Baganza si estende per un'area compresa fra i 57 m sul livello del mare e il suo punto più alto, la cima del monte Cervellino, 1493 m. La forma del bacino risulta molto allungata nel senso della linea di drenaggio con un rapporto di allungamento di 0,35 ed un'orientazione SO-NE. La lunghezza complessiva longitudinale dell'asta fluviale del torrente

Baganza è di 57,37 km, mentre in senso trasversale si passa da un minimo di 3 km ad un massimo di 6. Rilevante è anche la differenza fra i due versanti che risultano asimmetrici nel rapporto di 1:3 fra sinistro e destro. Ne consegue che i maggiori affluenti, per portata e per lunghezza, scorrono sul versante di destra che presenta una maggiore densità di drenaggio e una conseguente concentrazione dei deflussi nel reticolo idrografico. Sul versante sinistro prevale un ruscellamento superficiale con brevi e ripidi rii ad alta capacità erosiva per effetto delle pendenze e di un substrato a terreni argillosi, spesso caotici per frane. Nel versante destro del bacino si trova una struttura idrografica dendritica, discretamente gerarchizzata a struttura elementare con bacini di primo e secondo ordine. 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 ed in parte quella collinare risentono, al contrario, di un decennale processo di spopolamento ed invecchiamento con un progressivo abbandono della presenza umana sul territorio. La valle del torrente Baganza si configura quindi come una tipica valle appenninica, sia dal punto di vista geomorfologico che dell'influenza antropica. Questo aspetto rende paradigmatico lo studio della struttura assunta dal suo mosaico ambientale.

Le immagini dell'area di studio sono state acquisite dallo scanner MIVIS (*Daedalus AA5000 Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer* del Consiglio Nazionale Ricerche, Progetto L.A.R.A.-Laboratorio Aereo per Ricerche Ambientali) che opera con 102 bande spettrali ripartite su quattro sensori, il primo con 20 bande nel visibile (0,43-0,83  $\mu\text{m}$ ), il secondo con 8 bande nel vicino infrarosso (1,15-1,55  $\mu\text{m}$ ), il terzo con 64 bande nell'infrarosso medio (2,00-2,50  $\mu\text{m}$ ) e l'ultimo con 10 bande nel termico (8,20-12,70  $\mu\text{m}$ ). L'intero bacino idrografico del Torrente Baganza è stato ripreso in dodici immagini MIVIS, disposte parallelamente all'asse longitudinale della valle e realizzate in data 10 luglio 1998 (con inizio alle ore 13,35) alla quota di volo di 3000 m assoluti. A tale quota, la risoluzione spaziale del sensore (dimensione di un *pixel*) è mediamente di 4 metri (corrispondente ad una scala pari circa a 1:7500).

In un precedente lavoro (FERRARINI *et al.*, 2001) la classificazione dell'area di studio è stata realizzata inserendo l'informazione spettrale fornita dal sensore MIVIS all'interno di una rete neurale di tipo MLP (multiperceptrone; RUMELHART e McCLELLAND, 1986). I notevoli livelli di accuratezza raggiunti (intorno al 98%) nel riconoscimento degli habitat dell'area di studio assicurano grande precisione nel modo in cui sono



**Fig. 1.** Limite vettoriale (in nero) del bacino idrografico del torrente Baganza sovrapposto al modello digitale del terreno (DEM). In alto a sinistra, la posizione della Val Baganza rispetto all'Italia. A destra, il reticolo idrografico del bacino e la suddivisione in fasce altitudinali.

state colte le caratteristiche dell'arrangiamento spaziale del paesaggio. Il sistema di classificazione degli habitat adottato è quello proposto nel progetto Biotopi del programma CORINE della UE (C.E.C., 1991), finalizzato a riconoscere ed elencare i siti di maggiore importanza per la conservazione della natura nel territorio comunitario. Gli habitat, individuati sulla base di variabili ecologiche, vengono identificati da un codice numerico gerarchico in cui la prima cifra definisce una delle sette categorie di base (comunità costiere e alofittiche, comunità di acque dolci, praterie e arbusteti, foreste, acquitrini e paludi, spiagge e pareti rocciose, aree agricole e antropizzate) e, insieme alla seconda, denota il tipo generico di habitat. Le prime due cifre sono seguite da un numero di decimali, fino ad un massimo di cinque, utilizzati per descrivere con maggiore precisione i singoli tipi di habitat. In tabella 1 è riassunta la corrispondenza tra le tipologie di habitat riconosciute mediante il sensore MIVIS ed il sistema di classificazione CORINE.

Per gli scopi del presente lavoro, le dodici classificazioni delle immagini MIVIS sono state georiferite sulla base di ortofoto digitali dell'area di studio e successivamente mosaicate per ottenere la mappa finale degli habitat. Tale mappatura è stata vettorializzata

**Tab. 1** Corrispondenza tra le classi di habitat riconosciute nel bacino idrografico del torrente Baganza mediante il sensore MIVIS e i codici delle tipologie di habitat CORINE Biotopes dell'Unione Europea.

| Classe MIVIS | Codice CORINE | Tipologia di Habitat                      |
|--------------|---------------|---|
| abete bianco | 42.1B1        | Rimboschimenti ad abete bianco            |
| acqua        | 22.1          | Corpi d'acqua (laghi, bacini)             |
|              | 24.1          | Corsi d'acqua                             |
| carpino nero | 41.813        | Boschi di carpino nero submontani         |
| cerro        | 41.74         | Boschi di cerro                           |
| faggio       | 41.1744       | Faggete neutrofile                        |
| pino nero    | 42.67         | Rimboschimenti di pino nero               |
| pioppo       | 44.614        | Pioppeti ripariali                        |
| robinia      | 83.3234       | Formazioni di <i>Robinia pseudoacacia</i> |
| roverella    | 41.7312       | Boschi di roverella                       |
| prato        | 34.3266       | Praterie semiaride appenniniche           |
|              | 38.13         | Prati abbandonati                         |
|              | 38.2          | Prati da sfalcio submontani e montani     |
|              | 36.334        | Praterie a brachipodio                    |
|              | 82.11         | Seminativi di foraggiere                  |
| litoide      | 86.2          | Aree urbanizzate, piccoli agglomerati     |
|              | 62.4          | Affioramenti litoidi e suolo nudo         |
|              | 82.11         | Seminativi arati di foraggiere            |

all'interno del GIS ArcView e quindi inserita all'interno del software FRAGSTAT (McGARIGAL e MARKS, 1995) per procedere all'analisi degli aspetti strutturali del mosaico ambientale. Gli indici del *pattern* del paesaggio possono essere calcolati a tre livelli gerarchici: dell'intero paesaggio (livello A), di tipologie di habitat (livello B) e di singoli habitat. Il terzo livello non è stato considerato per gli scopi del presente lavoro. Nella scelta degli indici da utilizzare sono stati seguiti due criteri (FROHN, 1998): il loro contenuto doveva a) fornire informazioni sulle caratteristiche di area, forma, frammentazione e densità degli habitat e b) presentare un basso grado di ridondanza.

Successivamente la mappa degli habitat dell'area di studio è stata sovrapposta al modello digitale del terreno (DEM) allo scopo di suddividerla in tre fasce altitudinali (planiziale, collinare, montana). Sono state scelte le quote altimetriche di 400 e 800 metri, per suddividere rispettivamente la zona di pianura da quella di collina e quest'ultima dalla regione montana. Tale suddivisione risponde ad una ben precisa zonazione fitoclimatica (Rossi, 1999): oltre i 400 m è presente la fascia dei querceti a roverella e dei boschi a carpino nero, mentre oltre gli 800 m dominano incontrastate le faggete. Dal DEM sono state ricavate anche la mappa delle pendenze e quella dei versanti, allo scopo di ottenere ulteriori informazioni sulla distribuzione spaziale dei biotopi CORINE mappati. Per ognuna delle tre fasce altimetriche considerate sono stati calcolati gli indici descritti in tabella 2. L'indice di distanza media dal vicino più prossimo (DMVP) fornisce informazioni sul grado di frammentazione a livello A o B. Bassi valori di DMVP indicano che gli habitat tendono ad avere nell'intorno più prossimo un vicino appartenente alla stessa classe (basso grado di frammentazione); all'opposto se i valori assunti dall'indice sono elevati. La DMVP influenza molti importanti processi del paesaggio e gioca un ruolo fondamentale nella teoria della biogeografia delle isole (MACARTHUR e WILSON, 1967) e delle metapopolazioni (LEVINS, 1970). La distanza tra gli habitat ha avuto un ruolo fondamentale anche nei recenti sforzi di conservazione di specie minacciate (LAMBERSON et al., 1992). L'indice di dispersione (ID) descrive il grado di "mescolanza" tra gli habitat: assume valori bassi se esiste una polarizzazione dei confini, ossia se una certa tipologia di habitat tende a confinare in modo preferenziale con un'altra; in caso opposto assume valori prossimi a 100.

L'indice di uguaglianza di Shannon (IS) descrive il grado di dominanza di una certa tipologia di habitat: assume valori prossimi a 0 quando esiste una classe dominante (in termini di area occupata) e valori prossimi a 1 se l'area di studio è distribuita in modo pressoché uguale tra le diverse tipologie. La densità di habitat

**Tab. 2.** Sono elencati gli indici, a livello di paesaggio e di singole tipologie di habitat, calcolati utilizzando il software FRAGSTAT sulle classificazioni realizzate con il sensore MIVIS.

| livello: paesaggio                     |                                    |       |                 |                 |   |
|--|------------------------------------|-------|-----------------|-----------------|---|
|  | Nome                               | Sigla | Range di valori | Unità di misura | Descrizione   |
| 1                                      | Habitat di maggiori dimensioni     | HMD   | da 0 a 100      | percentuale     | rappresenta il rapporto tra l'area dell'habitat di maggiori dimensioni e l'area totale di studio  |
| 2                                      | Indice di dispersione              | ID    | da 0 a 100      | percentuale     | assume valori prossimi a 100 quando ogni tipologia di habitat tende a confinare in modo uguale con ogni altra tipologia. Tende a 0 in caso opposto  |
| 3                                      | Indice di uguaglianza di Shannon   | IS    | da 0 a 1        | nessuna         | è pari a 0 quando il paesaggio contiene un solo habitat e cresce verso 1 all'aumentare del numero di habitat e di una uguale distribuzione degli habitat dentro ogni tipologia                        |
| 4                                      | Densità di habitat                 | DH    | da 0 in poi     | nessuna         | rappresenta il numero di habitat per ogni ettaro di area di studio  |
| 5                                      | Distanza media dal vicino prossimo | DMVP  | da 0 in poi     | metri           | rappresenta la distanza media di un habitat dal vicino più prossimo appartenente alla stessa classe. Il valore viene mediato su tutti gli habitat del paesaggio                                       |
| livello: tipologie di habitat (classe) |                                    |       |                 |                 |   |
|  | Nome                               | Sigla | Range di valori | Unità di misura | Descrizione   |
| 1                                      | Habitat di maggiori dimensioni     | HMD   | da 0 a 100      | percentuale     | rappresenta il rapporto tra l'area dell'habitat di maggiori dimensioni di una certa classe e l'area totale di studio  |
| 2                                      | Indice di dispersione              | ID    | da 0 a 100      | percentuale     | assume valori prossimi a 100 quando una classe tende a confinare in modo uguale con ogni altra tipologia. Tende a 0 nel caso opposto  |
| 3                                      | Densità di habitat                 | DH    | da 0 in poi     | nessuna         | rappresenta il numero di habitat appartenenti ad una certa classe per ogni ettaro di area di studio   |
| 4                                      | Indice frattale                    | IF    | da 1 a 2        | nessuna         | assume valori prossimi a 1 per habitat con forme semplici (circolari o quadrate) e cresce fino a 2 per habitat con forme complesse. Il valore viene mediato per tutti gli habitat di una certa classe |
| 5                                      | Distanza media dal vicino prossimo | DMVP  | da 0 in poi     | metri           | rappresenta la distanza media di un habitat dal vicino più prossimo appartenente alla stessa classe. Il valore viene mediato su tutti gli habitat di una certa classe                                 |

(DH) quantifica l'abbondanza di habitat per unità di superficie a livello A o B. Un paesaggio con una maggiore densità di habitat presenta una maggiore eterogeneità spaziale, in grado di influenzare un numero elevato di processi ecologici tra cui le interazioni tra sub-popolazioni di una certa metapopolazione (GILPIN e HANSKI, 1991) e la propagazione del disturbo (fuoco, malattie) nel paesaggio: ad un grado maggiore di DH, corrisponde una minore probabilità di propagazione del disturbo (FRANKLIN e FORMAN, 1987). L'indice HMD (habitat di maggiori dimensioni) evidenzia la presenza o meno di un habitat di grandi dimensioni, a livello A o B. Valori elevati di HMD evidenziano grande omogeneità spaziale con un habitat che tende ad occupare una percentuale elevata dell'area di studio. Questo tipo di situazione tende a facilitare i flussi di materia ed energia (vettori biotici ed abiotici) nel paesaggio, perchè all'aumentare di HMD diminuiscono le aree di transizione tra gli habitat. L'indice frattale (IF) tiene

conto della complessità della forma degli habitat che influenza alcuni processi ecologici come la migrazione dei mammiferi (BUECHNER, 1989), la colonizzazione da parte di piante (HARDT e FORMAN, 1989) e le strategie di foraggiamento degli erbivori (FORMAN e GODRON, 1986). L'indice IF è stato calcolato (a livello B) come valore medio di IF di tutti gli habitat appartenenti ad una certa tipologia. Il grado di complessità della forma viene spesso usato nella letteratura scientifica come indicatore del livello di pressione antropica agente sugli habitat: la presenza dell'uomo tende a semplificare le forme abbassando il valore di IF verso il valore unitario, all'opposto un alto grado di naturalità è evidenziato da valori di IF prossimi a 2.

## RISULTATI

L'intera area di studio occupa una superficie di 17705 ettari di cui il 35,09% a prato (prati naturali e agricoli), il 20,57% a bosco di carpino nero, il 16,59%

a litoide (urbanizzato, suolo nudo e affioramenti rocciosi), il 15,02% a bosco di faggio, il 5,08% a roverella ed il 4,09% a cerro. Percentuali minori della valle sono occupate da pinete (1,71%), pioppeti (1,07%), boschi ad abete (0,61%), robinieti (0,15%) e acque lentiche o lotiche (0,01%). Le acque lentiche sono rappresentate da alcuni laghetti appenninici di modeste dimensioni, mentre il basso valore di superficie occupata dalle acque lotiche dipende dalla scarsità d'acqua del greto del Torrente Baganza (e dei suoi affluenti) durante i mesi estivi (periodo della ripresa con il sensore MIVIS).

Le aree boscate ammontano quindi al 48,3% dell'intera area di studio (8551 ettari) di cui circa la metà a carpino nero. L'elevatissima risoluzione spaziale del sensore MIVIS ha permesso di riconoscere un numero molto elevato di habitat (47088) con una densità complessiva di 2,65 habitat per ettaro. L'intero bacino presenta un indice di dispersione pari 63,26, ovvero le tipologie di habitat (classi) risultano tra loro ben "mescolate" con rari casi di isolamento geografico rappresentati dagli habitat a pioppo (ID = 42,44). Il valore elevato dell'indice di uguaglianza di Shannon (0,72) indica una ripartizione non polarizzata dell'area di studio con 4 classi (prato, carpino, faggio e litoide), ognuna delle quali occupa più del 15% del bacino. In media ogni habitat della valle dista 99,1 m dal suo vicino più prossimo appartenente alla stessa classe, ma tale valore risulta poco significativo poiché varia moltissimo a seconda della classe che si considera: assume valore di 70,76 m per gli habitat a prato, di 77,79 m per i carpineti, di 81,07 m per le faggete e sale fino a 827,31 m per i boschi a robinia. Il valore risultante di 2742,63 m per gli habitat acquatici è scarsamente significativo per via delle già citate condizioni di scarsità d'acqua del bacino idrografico al momento della ripresa. Le classi che presentano habitat ininterrotti di maggiori dimensioni sono quella dei boschi di faggio nella fascia montana (6% dell'intera superficie della valle), dei boschi di carpino (3% dell'intero bacino) nella fascia collinare e dei prati (3%) nella zona di pianura.

La zona di pianura è costituita per più del 53% da prati (quasi esclusivamente di tipo agricolo) e per il 30% circa da aree a litoide (urbanizzato e seminativi arati). Le aree boschive occupano circa il 17% della fascia pianiziale con dominanza di roverella (6,17%), di carpino (5,3%) e pioppo (4,23%). In misura minore sono presenti boschi di origine antropogenica quali pinete (0,51%) e robinieti (0,49%). La zona collinare è ancora dominata dalle aree prative (36,68%, principalmente agricole, ma con presenza anche di numerosi prati abbandonati o adibiti a pascolo). Seguono, in termini di importanza, la classe dei boschi di carpino

(30,26%) e quella del litoide (15,56%). Ben rappresentate sono anche le classi dei boschi di roverella (8,94%) e di cerro (5,83%). In misura esigua sono presenti boschi di pino nero (1,38%), faggio (0,92%), abete (0,27%), robinia (0,08%) e pioppo (0,08%). La fascia montana è dominata dalle faggete (36,55%) e dalle aree a prato (22,19%) prevalentemente di tipo naturale. I boschi a carpino rappresentano il 21% della superficie totale di questa fascia, mentre il litoide (prevalentemente sotto forma di affioramenti rocciosi) occupa poco meno del 9%. Sono presenti, in misura inferiore, boschi a cerro (5%), pino nero (2,79%), roverella (2,18%) e abete (1,31%). La classe acqua (rappresentata da piccoli laghetti appenninici e pre-appenninici) occupa appena lo 0,03% della fascia montana.

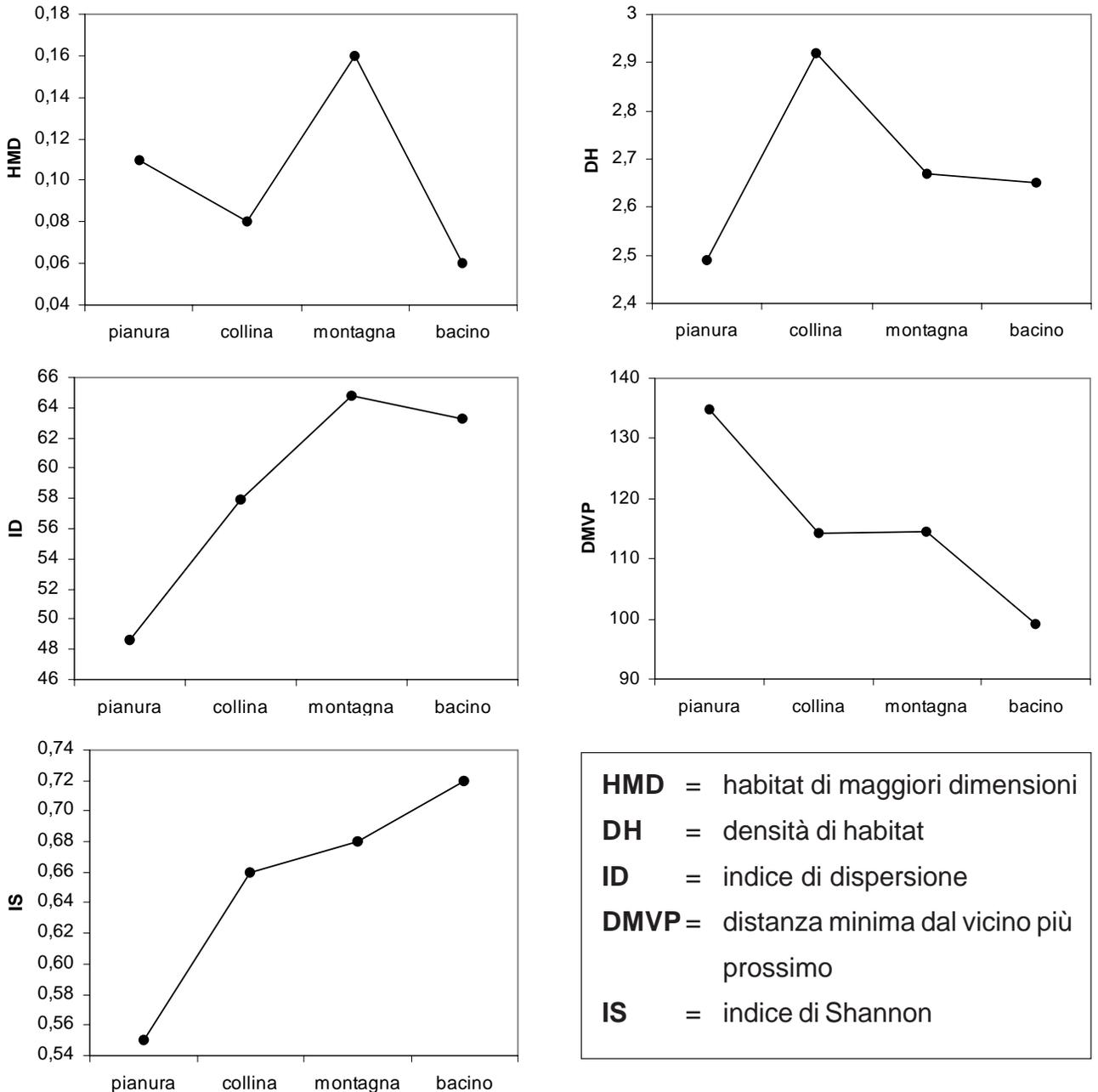
Il confronto tra gli indici calcolati a livello di paesaggio e delle tre fasce di pianura (4337 ettari), collina (6533 ettari) e montagna (6835 ettari) è riassunto in figura 2. L'indice HMD assume il valore dell'11% per la fascia di pianura, dell'8% per la fascia di collina e del 16% per la fascia di montagna. I valori delle zone di pianura e di collina sono attribuibili a due habitat adibiti ad uso agricolo, mentre quello della fascia montana ad un habitat di faggio di quasi 1100 ettari, situato oltre i 1000 metri. La densità di habitat è massima in collina (2,92 habitat/ettaro) e minima nella zona di pianura (DH pari a 2,49) dove sono presenti campi agricoli di grandi dimensioni. L'indice ID aumenta dalla pianura (48,64) in direzione della montagna (64,78), all'opposto la DMVP è massima in pianura (134,8 m) e simile nelle fasce di collina (114,3 m) e di montagna (114,6 m). L'indice di Shannon mostra un andamento chiaramente crescente nel passare dalla pianura (0,55) alla montagna (0,68). I cinque indici considerati risultano ben differenziati per fasce altimetriche supportando la suddivisione dell'intero bacino secondo il gradiente altimetrico. Inoltre tre (IS, ID, DMVP) dei cinque indicatori hanno un andamento marcato crescente o decrescente passando dalla pianura alla montagna.

Gli indicatori calcolati a livello di classe sono stati analizzati mediante la tecnica delle componenti principali (PCA; Fig. 3, 4, 5 e 6) per facilitarne l'interpretazione. Se si considera l'intera area di studio (Fig. 3), le prime due componenti riassumono più del 90% della varianza iniziale. Sul primo asse (correlato positivamente con gli indici ID e DMVP e negativamente con gli indici DH, IF e HMD) vengono distinte le classi faggio (valori negativi) e acqua (valori positivi). Le faggete presentano, in effetti, valori elevati dell'IF (1,53) e dell'indice HMD (6%), mentre la classe acqua ha un valore molto elevato di DMVP (2742 m) che rappresenta la distanza tra i laghetti nella fascia montana e pedemontana. Le classi cerro e roverella hanno

valori quasi uguali su entrambe le componenti a indicare una forte somiglianza di quasi tutti gli indici presi in considerazione. Il punteggio elevato della classe robinia sulla prima componente è ascrivibile principalmente al valore elevato di DMVP (827 m), mentre il punteggio basso della classe a prato sulla seconda è causato sia da valori elevati sia di DH (88,69) che di ID (69,78).

La PCA delle classi di pianura (Fig. 4) riassume

sulle prime due componenti l'88,4% dell'informazione contenuta negli indici calcolati. Sul primo asse viene separata la classe robinia che, pur avendo un IF basso (1,17), presenta valori molto elevati di ID (67,29) e di DMVP (785,3 m). Le classi prato e litoide si distinguono per punteggi molto bassi sul primo asse dovuti a valori molto elevati sia di DH (107,12 per i prati e 75,6 per il litoide) che di HMD (11% per i prati e 7% per il litoide). Le posizioni ravvicinate nel piano delle compo-



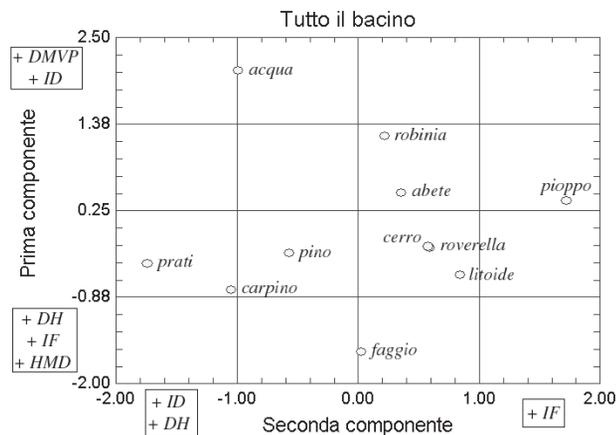
**Fig. 2.** Grafici relativi ai 5 indici del paesaggio calcolati sia a livello dell'intero bacino idrografico del Torrente Baganza che delle tre fasce altitudinali (pianura, collina, montagna) considerate.

nenti delle classi carpino, roverella e pioppo evidenziano la forte somiglianza per i 5 indici considerati. La classe a pino si stacca da queste tre classi per i valori bassi di DH (2,31) e di HMD (40,88).

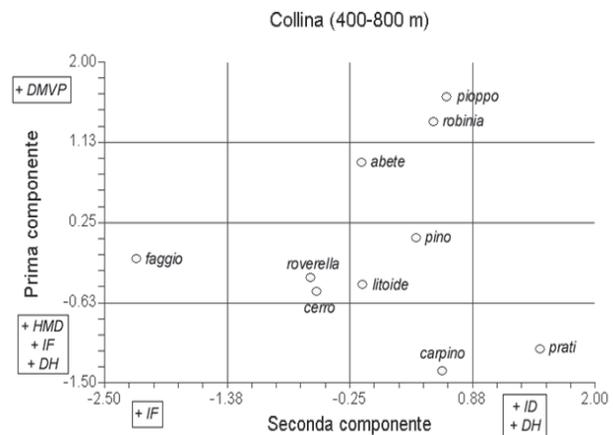
Le classi della fascia di collina risultano ben distinte sia sulla prima che sulla seconda PCA (Fig. 5). Pioppetti e robinieti assumono punteggi elevati sulla prima componente dovuti a valori molto alti di DMVP (1831,15 m e 1443,27 m rispettivamente), mentre i

punteggi negativi di carpineti e prati sono dovuti a valori elevati di IF (1,42 e 1,4 rispettivamente) e di DH (78,37 e 100,38 rispettivamente).

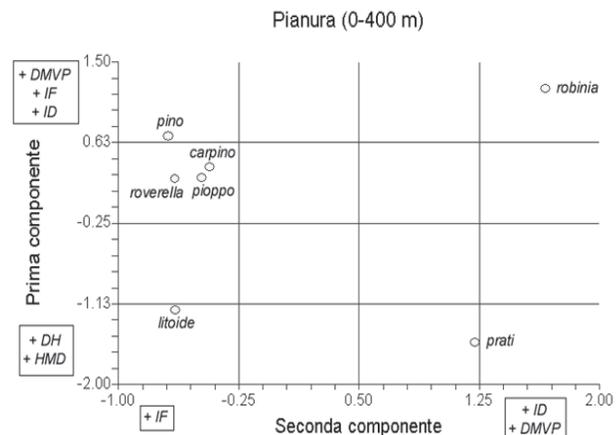
L'analisi delle PCA per la fascia di montagna (Fig. 6) mette in evidenza le caratteristiche peculiari delle classi acqua e faggio, che assumono valori estremi sulla prima componente. Il valore elevato di DMVP (2742,6 m) per la classe acqua giustifica il valore elevato positivo sul primo asse, mentre i valori elevati di IF (1,53) e di HMD (16%) della classe faggio ne determinano il valore negativo. La classe prato si caratterizza per il punteggio elevato sulla seconda componente, risultato che è determinato principalmente dal valore elevato di ID (70,07). I prati della fascia di montagna sono quasi esclusivamente prati naturali con



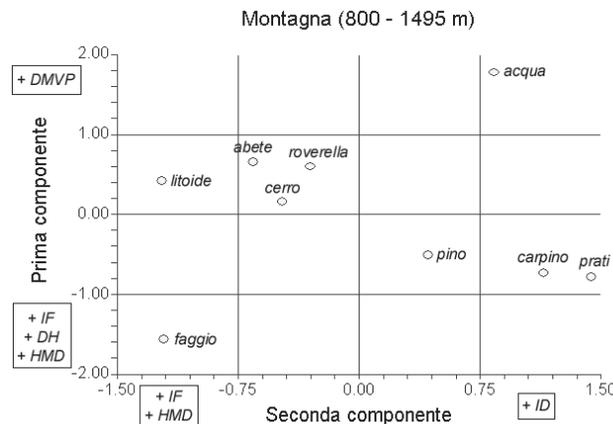
**Fig. 3.** Analisi delle componenti principali (calcolate sulla matrice di correlazione) degli indici relativi alle tipologie di habitat di tutto il bacino del torrente Baganza. Sono rappresentate la prima (59,4% della varianza iniziale) e la seconda componente (30,2% della varianza iniziale). Di ogni componente vengono fornite le correlazioni (solo quelle significative) con le variabili di partenza all'interno dei box rettangolari. Per esempio, valori alti sulla prima componente sono attribuibili alle classi con valori elevati dell'indice DMVP e dell'indice ID mentre punteggi bassi sono dovuti a valori elevati degli indici DH, IF e HMD.



**Fig. 5.** Analisi delle componenti principali (calcolate sulla matrice di correlazione) degli indici relativi alle tipologie di habitat della zona di collina. Sono rappresentate la prima (58,3% della varianza iniziale) e la seconda componente (26,8% della varianza iniziale).



**Fig. 4.** Analisi delle componenti principali (calcolate sulla matrice di correlazione) degli indici relativi alle tipologie di habitat della zona di pianura. Sono rappresentate la prima (63,5% della varianza iniziale) e la seconda componente (24,9% della varianza iniziale).



**Fig. 6.** Analisi delle componenti principali (calcolate sulla matrice di correlazione) degli indici relativi alle tipologie di habitat della zona di montagna. Sono rappresentate la prima (57,3% della varianza iniziale) e la seconda componente (27,8% della varianza iniziale).

un valore di IF (1,42) superiore a quello della classe carpino (1,37). Queste due classi presentano valori praticamente uguali sul primo asse poiché molto simili per tutti e cinque gli indicatori considerati. La classe prato presenta una complessità media delle forme (indice IF) nettamente crescente andando dalla pianura (1,15), alla collina (1,38) fino alla fascia montana (1,42). Il *trend* è giustificato dal fatto che i prati in pianura sono fondamentalmente superfici agricole con forme semplificate tipiche degli habitat antropogenici, mentre in collina e montagna sono fondamentalmente abbandonati o adibiti al pascolo.

## DISCUSSIONE

Le emergenze vegetazionali nell'area di studio sono espressione del marcato gradiente altitudinale e morfologico che caratterizza la valle. La sua forma stretta ed allungata determina la presenza di precise zonazioni vegetazionali:

- area pianiziale, da Parma fino alle prime colline;
- area submediterranea, che comprende la fascia collinare dai 400 agli 800 m;
- area submontana e montana al di sopra degli 800 m.

La zona pianeggiante è dominata dall'attività agricola e la vegetazione naturale è limitata alle aree soggette a minor pressione antropica, in prossimità del greto del Torrente Baganza, anche se, per questo, non meno disturbate da altre sorgenti di stress, come i periodi di magra e di piena dei corsi d'acqua. Le limitate zone boscate sono sostanzialmente rappresentate da boschi di pioppo nero (*Populus nigra*) e robinia (*Robinia pseudoacacia*). Nell'area collinare la vegetazione forestale è costituita dai boschi misti dove le specie arboree più abbondanti sono le querce e i carpini. Tra le querce domina la roverella (*Quercus pubescens*), che però perde il suo valore di indicatore di "versante caldo e arido", trovandosi sia in condizioni xerofile che semixerofile. Condizioni di carattere più mesofilo favoriscono il carpino nero (*Ostrya carpinifolia*). L'area submontana vede la forte prevalenza di cerro (*Quercus cerris*) soprattutto sui versanti meno acclivi. La roverella è quasi scomparsa e le aree prative sono in prevalenza prati permanenti ancora sfalciati (arrenate-reti). Infine, la fisionomia dell'area montana è caratterizzata dal bosco neutrofilo a faggio (*Fagus sylvatica*), da praterie arbustate e pascoli a brachipodio. La presenza di rimboschimenti è legata ad essenze come l'abete bianco (*Abies alba*) e il pino nero (*Pinus nigra*).

Nel suo complesso, il bacino idrografico del torrente Baganza presenta una struttura paesistica con tre sottostrutture annidate e ben distinte. Il gradiente altimetrico origina e mantiene questo *pattern* strutturale sia perché influenza la presenza dell'uomo sia perché

determina differenze climatiche e geomorfologiche. La fascia pianiziale presenta una struttura molto omogenea, dominata da habitat antropizzati di tipo agricolo e urbano che si interfacciano quasi esclusivamente tra loro, determinando un grado molto basso di mescolanza tra gli habitat (ID = 48,64). La copertura boschiva pianiziale ha natura prevalentemente antropogenica come testimoniato dai bassi valori di IF delle classi a robinia, pioppo e pino nero (1,17, 1,25 e 1,28 rispettivamente). Le tipologie a carpino nero e a roverella presentano valori frattali superiori (1,33 e 1,38 rispettivamente) dovuti al loro posizionamento ad altitudini intorno ai 300 m dove il disturbo antropico è inferiore. Le tipologie a pioppo e pino nero risultano estremamente confinate (ID pari a 45,75 e 40,88), la prima lungo il greto del torrente e la seconda sotto forma di rimboschimenti isolati di natura artificiale. La fascia pianiziale può essere quindi definita come un paesaggio "culturale" dove le strutture sono semplici, i confini tra gli habitat tendenzialmente lineari e il mosaico ambientale, lungi dall'essere caotico, è completamente determinato dalla presenza dell'uomo.

La fascia di collina è la più eterogenea delle tre fasce dal punto di vista strutturale. Essa presenta la più alta densità di habitat e il più basso valore di habitat di maggiori dimensioni, causati dalla mancanza di una tipologia dominante (come invece accade per i prati in pianura e le faggete in montagna). Tale fascia presenta anche il maggior numero di tipologie di uso del suolo (10, rispetto a 9 della zona di montagna e 7 della fascia pianiziale). Le tipologie di habitat sono maggiormente frammiste (ID pari a 57,93) e la superficie totale è meglio ripartita tra le classi (IS = 0,66) rispetto alla fascia di pianura. I boschi hanno mediamente forme più complesse, indice di un maggior grado di naturalità rispetto alla pianura, se si eccettuano naturalmente i rimboschimenti antropogenici ad abete (IF = 1,17) e le piantagioni a robinia (IF = 1,17). Nel suo complesso, la fascia collinare ha una tessitura a grana fine, risultante dal concorso di forze antropiche e naturali entrambe motrici del cambiamento del mosaico ambientale. Per numero e tipologia di classi presenti, la fascia collinare tende ad assomigliare alla zona montana e i processi socio-demografici lasciano prevedere una tendenza direzionale verso la fascia montana piuttosto che verso quella pianiziale. Questa ipotesi è supportata anche dalle similarità delle caratteristiche geomorfologiche.

La fascia montana ha carattere di forte naturalità con coperture prevalentemente boschive scarsamente influenzate dalla presenza dell'uomo. L'intervento antropico nell'area delle faggete si realizza quasi esclusivamente nella fruizione turistica del bosco. La produzione di legname è limitata all'uso privato e comunque normato sopra i 1200 metri (L.R. 8 agosto 1985).

Questo favorisce una situazione di alto fusto e una condizione di naturalità del bosco. Le tipologie di habitat sono molto frammiste (ID = 64,78), soprattutto i prati, costituiti principalmente da coperture erbacee naturali. Le tipologie di habitat che sono in comune con la fascia di collina presentano maggiore complessità di forma e maggiori valori di dispersione. La fascia montana è costituita quindi da un ecomosaico complesso, con strutture e forme risultanti dal concorso di più cause (clima, pedologia, geomorfologia) in cui, probabilmente, ogni struttura è il risultato di microstrutture a scale ancora più fini rispetto a quella utilizzata per gli scopi del presente lavoro. Le forme degli habitat sono più convolute e più allungate (soprattutto se in concomitanza con le maggiori pendenze) e anche la variabilità di forme è maggiore. Le tendenze demografiche all'invecchiamento e allo spopolamento di questa parte della valle favoriscono i processi di rinaturalizzazione e lasciano prevedere un'evoluzione futura, su tempi lunghi, verso *pattern* spaziali ancora più complessi.

L'analisi delle PCA condotta sulle singole fasce altitudinali ha messo ulteriormente in evidenza la differente complessità del mosaico ambientale. Il metodo di Frontier (LEGENDRE e LEGENDRE, 1998) per le PCA individua due soglie di significatività per la prima e la seconda componente, rispettivamente 45,67% e 25,68% della varianza complessiva. Per la fascia pianiziale, la prima componente spiega il 63,5% della varianza iniziale e la seconda (non significativa) solo il 24,9%. Nelle altre due fasce, entrambe le componenti risultano invece significative. Questo risultato indica una maggiore semplicità strutturale del mosaico di pianura, le cui caratteristiche sono riconducibili ad un solo asse significativo.

La mappatura degli habitat utilizzata per il presente lavoro proviene dalla classificazione di immagini telerilevate del sensore MIVIS. Le caratteristiche del sensore sono di notevole utilità per il riconoscimento di biotopi CORINE: l'elevata risoluzione spaziale (4 metri) ha permesso di riconoscere habitat anche di dimensioni minime, mentre la risoluzione spettrale (102 canali) è talmente elevata da consentire la discriminazione molto accurata delle tipologie di habitat presenti nell'area di studio. Sono stati fatti tentativi per riconoscere gli habitat dell'area di studio anche mediante il satellite Landsat, ma ci si è scontrati con due difficoltà: a) i bassi livelli di accuratezza raggiunti (intorno al 76%) e b) l'impossibilità di cogliere in modo appropriato ed efficace la notevole eterogeneità del *pattern* del mosaico ambientale della fascia di collina.

L'accorpamento dei codici CORINE relativi alla

tipologia prato, in un'unica classe, è dipeso dalla difficoltà di distinguere alcuni biotopi erbacei sulla sola base dell'informazione spettrale. La scelta di accorpare i codici CORINE 62.4, 86.2 e 82.11 nell'unica classe del litoide è motivabile sia alla luce del comportamento spettrale simile di queste superfici che dello scarso interesse nell'analizzarli come singole tipologie di habitat. L'utilizzo del sistema CORINE *Biotopes* ha permesso un approccio standardizzato alla classificazione del paesaggio, con un'attenzione particolare nei confronti degli habitat di tipo naturale e semi-naturale.

## CONCLUSIONI

Utilizzando i dati telerilevati del sensore MIVIS sono stati riconosciuti 47088 habitat presenti nel bacino idrografico del torrente Baganza. Sulla mappatura risultante sono stati calcolati diversi indici del paesaggio, la cui analisi ha permesso di trarre conclusioni sui principali aspetti strutturali dell'ecomosaico ambientale del bacino idrografico del torrente Baganza. Utilizzando il modello digitale del terreno, l'area di studio è stata divisa in tre fasce altitudinali (pianura, collina e montagna) ognuna delle quali è stata analizzata sia a livello di paesaggio che di singole tipologie di habitat. La Val Baganza ha mostrato un marcato gradiente altitudinale, spiegabile sia alla luce della variazione del grado di pressione antropica che delle condizioni climatiche e geomorfologiche. Lungo tale gradiente si sostituiscono classi di habitat, mentre le tipologie in comune a tutte le fasce altitudinali modificano le loro caratteristiche in base all'uso reale che ne viene fatto; il caso tipico riguarda la classe prato, di natura principalmente antropica in pianura, naturale in montagna. La fascia pianiziale e quella montana mostrano attributi quasi opposti in termini di densità, forma, connettività e distribuzione degli habitat. La fascia collinare mostra caratteristiche strutturali più simili a quelle della montagna che della pianura, sia per motivi legati ad aspetti geomorfologici che per i processi di spopolamento ed invecchiamento della popolazione nei centri abitati.

Il sensore iperspettrale MIVIS ha permesso di cogliere con accuratezza la grande eterogeneità della distribuzione spaziale degli habitat (differentemente da quanto ottenuto con il satellite Landsat). L'utilizzo del sistema di classificazione CORINE *Biotopes*, infine, ha assicurato un approccio standard alla classificazione del mosaico ambientale oggetto di studio.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i *referee* anonimi che hanno contribuito al miglioramento della forma e del contenuto del presente lavoro.

## 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, 324 pp.
- FERRARINI A., ROSSI P., ZACCARELLI N., 2001. Classificazioni 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., GODRON M., 1986. *Landscape ecology*. New York, John Wiley & Sons, 619 pp.
- FRANKLIN, J.F., FORMAN R.T.T., 1987. Creating landscape pattern by forest cutting: ecological consequences and principles. *Landscape Ecology*, **1**: 5-18.
- FROHN R.C., 1998. *Remote sensing for landscape ecology, new metric indicators for monitoring, modeling and assessment of ecosystems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Boston, London, New York, Washington D.C., 287 pp.
- GILPIN M.E., HANSKI I. (eds.), 1991. *Metapopulation dynamics: empirical and theoretical investigations*, San Diego, Academic Press, 336 pp.
- HALL F.G., STREBEL D.E. e SELLERS P.J., 1988. Linking knowledge among spatial and temporal scales: vegetation, atmosphere, climate and remote sensing. *Landscape Ecology*, **2**: 3-22.
- HARDT R.A., FORMAN, R.T.T., 1989. Boundary form effects on woody colonization of reclaimed surface mines. *Ecology*, **70**: 1252-1260.
- JOHNSTON C.A. & BONDE J., 1989. Quantitative analysis of ecotones using a GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **55**: 1643-1647.
- LAMBERSON R.H., MCKELVEY R., NOON B.R., VOSS C., 1992. A dynamic analysis of northern spotted owl viability in a fragmented forest landscape. *Conservation Biology*, **6**: 1-8.
- LEGENDRE P. & LEGENDRE L., 1998. *Numerical ecology*. 2nd English edition. Elsevier Science BV, Amsterdam, 853 pp.
- LEVINS, R., 1970. Extinctions. In: Gertenhaber M. (eds.), *Some mathematical questions in biology*. Vol. 2. Providence, RI: American Mathematical Society: 77-107.
- MACARTHUR R.H., WILSON E.O., 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton, Princeton University Press, 203 pp.
- MCGARIGAL K., MARKS B. J., 1995. FRAGSTATS: *spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 122 pp.
- NAVEH Z., LIEBERMAN A., 1994. *Landscape ecology theory and application*. Springer Verlag, New York, 256 pp.
- PIGNATTI S., 1994. *Ecologia del paesaggio*. UTET, Milano, Italia, 236 pp.
- RUMELHART D.E., MCCLELLAND J.L., 1986. *Parallel distributed processing*. MIT Press, Cambridge, MA, 458 pp.
- RIPLEY B. D., 1981. *Spatial statistics*, John Wiley, New York, 428 pp.
- ROSSI P., 1999. *Analisi della diversità vegetazionale mediante la classificazione CORINE Biotopes*. Tesi di Laurea in Scienze Biologiche, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Università di Parma.
- SCHREIBER K.F., 1990. The history of landscape ecology in Europe, in: Zonneveld I.S. e Forman R.T.T. (eds.), *Changing landscapes: an ecological perspective*, Springer-Verlag, New York, 314 pp.
- SINGH A., 1989. Digital change detection techniques using Remotely sensed Data. In: Eden M.J. and Parry J.T. (eds.), *Remote Sensing and Tropical Land Management*. John Wiley & Sons, London, 237-254.
- TURNER M.G. e GARDNER R.H., 1991. *Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity*, Springer-Verlag, New York, 528 pp.