

L'ecologia del paesaggio come metodo nella pianificazione territoriale: riflessioni su un caso di studio

Davide Geneletti ¹
Alberto Pistocchi ²

Sommario

La presente memoria analizza lo stato delle applicazioni di ecologia del paesaggio per la pianificazione territoriale. Dopo aver passato in rassegna i principali approcci metodologici proposti in letteratura, rivolgendo particolare attenzione allo studio delle strutture territoriali, si è valutata l'utilizzabilità di tre tipi di analisi: l'identificazione delle macchie di habitat connesse, la simulazione dei flussi di organismi per la delineazione di possibili corridoi ecologici e la valutazione del grado di esposizione a disturbi esterni delle macchie di habitat. Queste analisi sono state applicate ad un tipico paesaggio italiano, consentendo di mettere in relazione la caratterizzazione del paesaggio con la definizione di criteri praticamente utilizzabili.

Abstract

In this contribution a review of the main applications of Landscape Ecology for landuse planning is presented, giving a special focus to studies on the spatial patterns of the landscape elements. Afterwards, a case study area in northern Italy has been used to test the applicability of three types of analyses: the distribution and connectivity of natural habitat, the identification of possible corridors for organism flow, and the evaluation of how residual habitat is exposed to external disturbance. Conclusions are drawn about the use of the proposed analyses for ecological landscape planning.

1. L'uso dei concetti dell'ecologia del paesaggio nella progettazione

1.1 Le origini dell'ecologia del paesaggio

Il termine 'ecologia del paesaggio' viene utilizzato per la prima volta da Troll nel 1939, ad indicare quell'area disciplinare, a cavallo fra la geobotanica e la geografia regionale, che ha per obiettivo lo studio del legame fra le forme percepibili del paesaggio e il funzionamento dei sistemi fisico-biologici che lo costituiscono. Una prima fonte del pensiero ecologico sul paesaggio è da ravvisare nello studio della vegetazione e delle successioni dinamiche di associazioni vegetali (Clements, 1916). La tradizione geografica del XIX secolo è comunque estremamente ricca di ricerche e riflessioni sulla distribuzione spaziale delle piante e degli animali (p.es. Humboldt, 1807). Secondo Naveh (1982), tuttavia, un passo decisivo per la definizione metodologica dell'ecologia del paesaggio è il superamento della polarità fra ambiente naturale/equilibrio di climax da un lato, e ambiente antropizzato/artificializzato dall'altro. Questa polarità, fortemente radicata nella tradizione ecologica occidentale, è stata messa in discussione solo negli anni '50 del Novecento. Un'idea fondamentale che ha contribuito a questo superamento è secondo Naveh (*ibid.*) il concetto di *noosfera*, introdotto da Vernadsky (1945) per rappresentare il sistema in cui l'azione dell'uomo determina nuovi corsi ai processi naturali. L'azione dell'uomo configura nuovi ecosistemi, sconosciuti in fasi precedenti della civiltà umana, nelle quali la sua influenza era molto più modesta, e il suo ruolo passivo.

¹ International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, Paesi Bassi.

² Dip. to di Ing. Chimica, Mineraria e delle tecnologie Ambientali – DICMA, Università di Bologna.

Il paesaggio deve oggi essere studiato a partire dalla considerazione che non esistono ambienti e forme esclusivamente naturali, ma che ogni paesaggio è *Kulturlandschaft* molto prima che *Naturlandschaft*, e che in ogni caso non è possibile risalire ad un paesaggio naturale originario, dal momento che l'azione modificatrice dell'uomo è pervasiva e antichissima (Schmithüsen, 1961; cit. in Naveh, 1982). Lo studio del paesaggio, prima condotto come analisi delle associazioni vegetali o delle forme geologiche, è stato portato gradualmente al livello di una 'fisiologia del territorio', con crescente attenzione per gli aspetti dinamici e di processo che in esso si consumano. In questo percorso, il superamento di un modello 'di stato stazionario' degli ecosistemi – legato il particolare all'egemonia culturale di MacArthur e al suo concetto dell'equilibrio competitivo (p.es. MacArthur e Wilson, 1967) - per farsi carico pienamente degli aspetti dinamici e della complessità del paesaggio, ha avuto un ruolo fondamentale (Lavers e Haines-Young, 1993). Secondo questi ultimi Autori, il carattere degli studi ecologici che definisce una vera e propria ecologia del paesaggio è rappresentato dall'interpretazione del paesaggio come sistema di flussi (di materia e di energia), e dall'attenzione posta alla scala di analisi. In quest'ottica, il ruolo delle tecnologie dell'informazione si è rivelato essenziale, consentendo, grazie al miglioramento delle tecniche di gestione dell'informazione spaziale, lo sviluppo di nuovi modelli concettuali per descrivere il funzionamento dei sistemi ecologici alla scala del paesaggio (*ibid.*).

Lo sviluppo della cibernetica, della teoria generale dei sistemi e le loro implicazioni (fra cui la definizione di ecosfera, tecnosfera e noosfera, e l'interpretazione cibernetica delle civiltà umane - Laszo, 1972), nonché delle teorie dell'auto-organizzazione ('l'ordine attraverso le fluttuazioni'-Prigogine e Nicolis, 1971) hanno costituito una cornice culturale nella quale collocare la visione degli ecosistemi come risultato degli equilibri dinamici fra i diversi processi naturali e quelli controllati in tutto o in parte dall'uomo (Naveh, 1982).

Il concetto di paesaggio oggi più adottato è strettamente legato ad un approccio olistico, nel quale la totalità degli ambienti fisici, e ciascun suo sottoinsieme significativo, sono visti come prodotti di una azione simultanea dell'uomo e dei processi naturali, sia biologici sia chimico-fisici (*ibid.*).

1.2 'Concetti spaziali' e pianificazione territoriale

Ahern (1999) definisce la pianificazione del paesaggio come la pratica dell'organizzazione dell'uso sostenibile delle risorse fisiche, biologiche e culturali, sviluppatasi dal dialogo con l'ecologia del paesaggio: *"Ci sono molte dimensioni della sostenibilità, e la pianificazione del paesaggio si riferisce essenzialmente alla dimensione spaziale. I piani paesistici sono essenzialmente ipotesi su come vengono influenzati, dai piani stessi, i processi del paesaggio. Il piano paesistico offre specifiche raccomandazioni sull'allocazione dell'uso del suolo, sul progetto di diversi livelli di protezione e gestione, e sulle modalità con cui invertire trasformazioni negative del passato"* (*ibid.*, trad. nostra con lievi modifiche).

La pianificazione del paesaggio si basa su questa dialettica struttura-processo, che, seguendo Turner (1989), rivela strettissimi rapporti di causa ed effetto e deve quindi essere presa come criterio per la gestione delle risorse, soprattutto al livello di vasta scala. Il problema, oggi, è approfondire la conoscenza delle relazioni fra cambiamenti delle strutture e sviluppo dei processi, anche sfruttando tecnologie di indagine oggi sempre più accessibili (*ibid.*).

L'ecologia del paesaggio è da vedersi come una fonte di ispirazione per la produzione di 'concetti spaziali' per la pianificazione: *"Un concetto spaziale esprime attraverso parole ed immagini la visione di un oggetto di piano in relazione all'indirizzo di sviluppo spaziale della società e alla natura degli interventi ritenuti necessari"* (Zonneveld, 1991, trad. it. nostra). I concetti spaziali sono 'concetti attivi' (Langevelde, 1999) nel senso che vogliono colmare il dislivello fra la situazione esistente ed una situazione immaginata, fornendo suggerimenti operativi. Zonneveld (cit. in Langevelde, 1999) distingue cinque funzioni che i concetti spaziali devono possedere: (1) la funzione cognitiva, per cui essi devono rappresentare un pensiero ordinato sulla forma del paesaggio da progettare; (2) la funzione intenzionale, per cui essi devono costituire una visualizzazione delle idee di sviluppo proposte dai progettisti; (3) la funzione istituzionale, per cui essi possono creare consenso politico-amministrativo attorno a scelte di organizzazione del territorio; (4) la funzione comunicativa, per cui attraverso la rappresentazione per immagini si possono svolgere discussioni e si possono definire

accordi su obiettivi e strategie nel progetto del paesaggio; (5) la funzione attuativa, per cui i concetti spaziali costituiscono una guida all'azione di piano e di progetto.

Ahern (op.cit.) riporta più generali esempi di concetti spaziali, come quelli di 'contenimento' (p.es. fasce verdi attorno alle città), griglia (come nell'organizzazione spaziale di molte bonifiche, delle centuriazioni, di coltivazioni negli Stati Uniti, etc.), interdigitazione (come i cunei verdi), segregazione (p.es. le riserve naturali), rete (i 'corridoi' e le 'macchie'). Sull'uso dei concetti spaziali, l'Autore sottolinea come essi possano produrre 'scenari-stato', oppure 'scenari-processo'. Nel primo caso si definisce semplicemente una situazione futura, senza chiarire i passi operativi e temporali necessari a pervenirvi. Nel secondo caso, che viene indicato come più appropriato per la pianificazione del paesaggio, si considerano invece i passaggi che portano dallo stato attuale ad uno scenario di progetto, che può essere *beginning state driven* (quando si considera la situazione esistente e si riflette su quali azioni migliorative sono effettivamente possibili) o *end state driven* (quando si identifica a priori una situazione finale soddisfacente e si definiscono i passaggi per arrivarci). Compito esplicito dell'ecologia del paesaggio sarebbe l'assistenza nello sviluppo di nuovi concetti spaziali, e nella loro valutazione.

McHarg (1997) definisce la pianificazione ecologica come *"il processo nel quale una regione è descritta come un fenomeno bio-fisico e sociale comprensibile attraverso l'azione di leggi fisiche e del tempo. Questo fenomeno può essere reinterpretato in termini delle opportunità e dei vincoli che mostra per ogni specifico uso umano"* (tr.it. nostra).

Il 'progettare con la natura' di MchHarg esprime un legame strettissimo fra le discipline ecologiche e la creatività progettuale: *"C"è chiaramente un disperato bisogno di professionisti che siano conservazionisti per natura, ma che si preoccupino non solo di conservare, ma anche di creare e di gestire. Queste persone non possono essere impeccabili scienziati, perché tale purezza li paralizzerebbe. Devono essere degli operatori che si interessano istintivamente di scienze fisiche e biologiche, e che cercano da esse informazioni per poter applicare le loro capacità creative al territorio.[...]Questo è il metodo: un semplice esame sequenziale del territorio al fine di comprenderlo e di considerarlo un sistema interattivo, un 'magazzino attivo' e un sistema di valori. In base a queste informazioni è consentito prescrivere gli usi del suolo possibili, non come attività singole, ma come associazioni di attività. Non è una piccola pretesa, non è un piccolo contributo: dovrebbe essere evidente che il metodo dell'ecologia può essere usato per comprendere e per elaborare un piano con la natura, forse per progettare con la natura."* (McHarg, 1969; tr.it. Muzzio).

L'approccio 'topologico' proprio dell'ecologia tradizionale, orientata alla comprensione 'in verticale' dei processi, dovrebbe però essere integrato con un approccio 'corologico', volto allo studio delle relazioni spaziali, orizzontali fra gli elementi ambientali (Zonneveld, cit.; Ahern, cit.). In questo, l'ecologia del paesaggio – come branca emergente dell'ecologia 'classica' e dell'ecologia umana, dovrebbe fornire un paradigma sostantivo (Faludi, 1973; Ndubisi, 1997) per la pianificazione territoriale, nel senso che dovrebbe indicare nuovi contenuti e nuove forme di ispirazione della creatività progettuale.

Recenti esperienze nel campo della pianificazione territoriale (Arts *et al.*, 1995) mostrano come siano in forte crescita le iniziative di conservazione della natura condotte a maturo livello geografico. Si evidenziano diverse prospettive, che spaziano dall'analisi delle strutture fisiche del paesaggio, all'esame delle caratteristiche biotiche, con particolare attenzione per gli aspetti di isolamento e frammentazione delle macchie paesistiche. Sono stati presentati numerosi modelli di gestione del paesaggio, da quelli che integrano strettamente conservazione e fruizione, a quelli specializzati su uno solo dei due aspetti. Tuttavia carattere comune ai vari approcci è l'esigenza di integrare conoscenze scientifiche nel processo di piano (*ibid.*). In tal senso, il piano attuato diventa un esperimento di campagna da cui l'ecologia del paesaggio può ricavare nuove conoscenze (Golley e Bellot, 1991, cit. in Ahern, 1999), caratterizzandosi al contempo come un processo di *adaptive management* (*ibid.*). Vari modelli interdisciplinari sono stati proposti per un simile processo di piano. P.es. Berger (1987) propone una 'land use ecology' che integri i risultati e l'approccio dell'ecologia del paesaggio con l'ecologia umana (Ahern, cit.), mentre Naveh (cit.) richiama la natura dell'ecologia del paesaggio come disciplina essenzialmente relativa agli ecosistemi umani, per i quali dovrebbe indicare le condizioni dell'integrazione dei diversi oggetti del paesaggio nella gestione degli usi del suolo. In particolare, l'Autore richiama l'attenzione sul concetto di *total human ecosystem* (Egler, 1970) come

passaggio essenziale per il superamento della crisi dei sistemi antropici nel rapporto colle loro basi ecologiche.

Oggi sembrerebbe non darsi alcuna progettazione dell'ambiente e del territorio in assenza di una solida base di ecologia del paesaggio. Esistono molti esempi di progettazione eco-paesistica in Europa e, anche se le origini concettuali delle scelte sono molto diverse, pare possibile parlare di un loro esito sostanzialmente congruente (Jongman, 1995). Tuttavia, finora è parso che i concetti ispiratori delle politiche sul paesaggio abbiano privilegiato gli aspetti geografici, rispetto agli aspetti più genuinamente ecologici, della disciplina. Del resto, hanno contribuito ad un allontanamento dalla base 'scientifica', offerta dall'ecologia del paesaggio alla pianificazione, da un lato il crescente livello simbolico al quale gli studi e le analisi si esprimono, e dall'altro la bassa definizione dei loro oggetti. Il paradigma americano della progettazione per percorsi, o *greenways* (Little, 1990; Fabos, 1991, in Jongman, cit.), ha avuto molto più successo pratico rispetto alle concettualizzazioni legate a sistemi gerarchici e metapopolazioni (Langevelde, cit.). Oggi rimane problematico stabilire fino a che punto la pianificazione territoriale abbia bisogno delle analisi eco-paesistiche, o come sia possibile muoversi sulla scorta di alcune semplici e relativamente intuitive regole di 'buona organizzazione' dello spazio. L'analisi ecopaesistica mostra aporie a molti livelli, riconducibili alle seguenti:

- difficoltà di definizione del supporto, ovvero dell'unità spaziale elementare a cui riferire le elaborazioni (p.es. nel calcolo di indici spaziali quali frammentazione o diversità, e' necessario definire sottoaree omogenee dell'area di studio, ma mancano basi teoriche per la scelta di queste sottoaree);
- difficoltà di interpretazione degli indici. Nonostante le analisi siano basate su concetti teorici condivisi, risulta poi difficile estrarre indicazioni univoche dai risultati (p.es. gli indici di frammentazione, valutati con varie tecniche, sono quasi sempre interpretati sulla base di considerazioni *ad hoc*);
- difficoltà di individuazione delle priorità di analisi e delle loro concatenazioni. Il problema e' legato ai precedenti, e si manifesta al momento di decidere quali analisi siano effettivamente utili, e come possano essere sinergiche.

In effetti, pare che l'ecologia del paesaggio giunga ad un circolo vizioso: da un lato, essa ha posto attenzione alla diffusione di rilevanti concetti spaziali, che oggi sono sempre più usati nella pianificazione; dall'altro, si è evoluta in una direzione spesso formalmente quantitativa, senza però avere alle spalle una solida base concettuale per l'impostazione delle sue valutazioni, giungendo ad uno *status* per cui le sue analisi paiono spesso astruse e di scarsa utilità pratica. E tanto più questa incomunicabilità fra pianificazione ed ecologia del paesaggio cresce, quanto più le analisi si fondano su concetti simbolicamente evoluti, quali le dimensioni frattali o indici prestazionali non solidamente basati su fenomeni verificabili.

Per le loro caratteristiche e funzioni, i concetti spaziali devono essere fatti di immagini e parole facilmente visualizzabili: devono essere intuitivi e pronti per la comunicazione. Se l'analisi perde la capacità di tradursi in questo tipo di indicazioni, risulta inefficace. Se poi non si esplicitano le capacità descrittive e predittive di ciascuno strumento di analisi, esso è destinato a non poter essere utilizzato neppure per scopi relativamente specializzati, come la conservazione della fauna o la delimitazione di riserve naturali.

Chi scrive ritiene che per valutare il paesaggio e fornire concetti spaziali ed indicazioni operative alla pianificazione, occorra ricorrere a metodi trasparenti. Fra essi possiamo includere i modelli ecologici distribuiti, quali i modelli di flusso di animali, e la ricognizione della struttura spaziale dell'uso del suolo.

1.3 Le valutazioni dell'ecologia del paesaggio

L'ecologia del paesaggio è oggi una disciplina multiforme, che attinge a molteplici tradizioni culturali, e questa caratteristica di eclettismo la rende particolarmente interessante, fra le discipline del territorio, come luogo di discussione dei piani territoriali alla luce della razionalità da essa rappresentata. In quanto produttrice di concetti spaziali, l'ecologia del paesaggio invoca un legame, oltre che con la teoria sostantiva della pianificazione, con la scienza dell'informazione geografica (Goodchild, 1992).

Nonostante già da alcuni anni sia diffusa la consapevolezza che i sistemi informativi geografici (GIS) possono potenziare enormemente la capacità di analisi ecologica del territorio (Bridgewater, 1993; Haynes-Young *et al.*, 1993), e se, come detto, l'ecologia del paesaggio fornisce idee su come orientare la pianificazione e le scelte sul territorio, ci sono ancora molte cose da esplorare circa:

- la natura delle rappresentazioni del territorio prodotte da questa disciplina;
- l'uso dell'informazione spaziale che in essa viene richiesto;
- la natura delle affermazioni e delle predizioni che vengono prodotte.

Le analisi dell'ecologia del paesaggio dovrebbero essere dirette allo studio del rapporto forma-funzione. In questo, dovrebbero sostanzialmente diversificarsi tanto dalle analisi di tipo tradizionalmente naturalistico (che tipo di oggetti possono essere osservati in un certo luogo), quanto da quelle ecologiche (che processi si svolgono, e quali ne sono cause ed effetti, ad un livello locale).

Turner (1989) propone una lettura delle teorie dell'ecologia del paesaggio nei termini dello studio dell'effetto delle strutture sui processi. In questo quadro, dopo aver passato in rassegna alcuni indici per la quantificazione delle strutture (in genere riconducibili a indici prestazionali applicabili a qualunque grafo, come ad es. le reti tecnologiche o di trasporto), l'Autrice esamina alcuni approcci ricorrenti nel descrivere la relazione fra processi e strutture. Questi approcci sono:

- 1- modelli neutri di struttura o di processo, che mirano a riprodurre una particolare ed osservata struttura senza dover esplicitare i termini del processo che l'ha generata (appartengono a questa categoria la teoria della percolazione di Gardner *et al.*, 1987, e le più recenti tecniche di *pattern recognition*, come ad es. in Chiarello *et al.*, 1995);
- 2- modelli di propagazione di *disturbance*, che tengono conto di molteplici fattori causali e delle eterogeneità. Si pensi a modelli di propagazione degli incendi, o a modelli di predisposizione di una certa classe di uso del suolo ad essere modificata da un prefissato fenomeno: si tratta nei due casi di modelli di propagazione di *disturbance* condizionata in modo vario dall'eterogeneità del paesaggio;
- 3- modelli di movimento e di persistenza di organismi: si tratta di modelli volti a identificare e valutare gli effetti delle strutture del paesaggio sull'abbondanza locale e i flussi delle popolazioni. Possono essere di vario tipo e basati su algoritmi molto diversi, da semplici ottimizzazioni di funzioni di costo a modelli fluidodinamici di elevata complessità;
- 4- modelli relativi alla redistribuzione di materiali e nutrienti, volti a caratterizzare le interazioni fra flussi orizzontali o verticali, p.es. di azoto o di sedimenti in un bacino, e strutture del paesaggio;
- 5- modelli di processo ecosistemico alla scala del paesaggio, finalizzati alla stima di funzioni ecologiche (produzione primaria, evapotraspirazione, decomposizione, etc.). Esistono alcuni rilevanti esempi di applicazioni di questo genere in letteratura, spesso basate sull'elaborazione di immagini telerilevate.

Questa classificazione può essere considerata tuttora valida. In merito alla quantificazione delle strutture, si può affermare che molti indici fra quelli noti in letteratura siano fra loro equivalenti. A tal proposito, Giles e Trani (1999) illustrano come le misure della struttura del paesaggio, riportate in letteratura, possano essere espresse in termini di un numero ristretto di variabili, da cui tutte le altre possono essere dedotte. Gli Autori propongono le seguenti variabili fondamentali:

- 1- area totale;
- 2- numero di classi di uso/copertura del suolo significative;
- 3- percentuale dell'area ricadente nella classe dominante;
- 4- numero di poligoni omogenei costituenti l'area di studio;
- 5- lunghezza totale stimata del confine dei poligoni;
- 6- quota topografica.

Queste variabili fondamentali rappresentano una caratterizzazione del paesaggio provatamente collegata alle sue proprietà funzionali: “Cosa ogni pianificatore possa fare per cambiare valore alle variabili, e con ciò influenzare il valore di una risorsa, y , pare difficile da interpretare”, e tuttavia “se la struttura del paesaggio influenza y , [...] ciò sarà ben espresso dalle variabili [fondamentali]” (Giles e Trani, cit., tr.it. nostra).

Esistono molti altri tentativi di studio quantitativo delle strutture del paesaggio. Patrono e Feoli (1997) utilizzano la dimensione frattale e l'indice di diversità per caratterizzare ogni classe di copertura del suolo, evidenziando come ciascuna mostri una sua specifica traiettoria nello spazio vettoriale definito dai due indici in relazione ai gradienti di fattori geografici significativi (influenza dell'uomo, quota topografica, orientamento del versante). Altobelli *et al.* (1999) utilizzano la dimensione frattale (FD) delle macchie paesistiche, come proposto in precedenza da Burrough e de Jong (1995), insieme all'indice normalizzato di vegetazione (NDVI) calcolato da immagini telerilevate SPOT-XS, per evidenziare le strutture del paesaggio in un caso di studio. Incrociando i due indicatori, si distinguono secondo gli Autori le aree rurali con elevata diversità di colture (elevati valori di NDVI e di FD), da altri tipi di uso del suolo (come l'urbano e industriale, con NDVI basso e FD elevata, oppure aree rurali e periurbane degradate, con entrambi gli indicatori a valori bassi).

Meltzer e Hastings (1992) utilizzano la dimensione frattale per evidenziare gli impatti dovuti all'aumento della pressione di pascolo di bestiame sul territorio. Lo studio mette in evidenza il legame fra la dimensione frattale e il grado di stabilità dei processi di trasformazione del territorio.

Kenkel e Walker (1996) sottolineano tuttavia come, benché la natura frattale degli oggetti ecologici sia *self-evident*, la diffusione di analisi basate sulla geometria frattale ancora non abbia prodotto modelli complessivi dei processi e delle strutture che si osservano in natura.

Un approccio molto promettente nello studio del paesaggio viene dall'applicazione di modelli di simulazione del movimento di animali. A differenza di altri modelli tradizionali di spostamento (p.es. nelle reti di trasporto: Ferrari, 1996), in questi casi gli algoritmi non cercano tanto leggi esplicite che descrivano i fattori determinanti i flussi di individui, ma ottimizzano una funzione di resistenza. Questa viene definita in base a parametri legati all'uso del suolo e ai suoi attributi di idoneità per il passaggio o la permanenza di animali, o ad altri fattori determinanti le funzioni del paesaggio. Ad esempio, Langevelde (1999) descrive i modelli MENTOR ed ENLARGE, che si fondano sulla massimizzazione vincolata di una funzione delle variabili binarie di presenza-assenza di una specie, tenendo conto dell'idoneità dei diversi usi del suolo e del valore locale derivante dalla presenza della specie.

Westervelt e Hopkins (1999) descrivono un sistema di simulazione spaziale della dinamica delle popolazioni. Il sistema è configurato in un'architettura di calcolo 'aperta' e considera la possibilità di molteplici modelli dinamici. Questo tipo di strumenti è indicato nella gestione delle risorse biologiche.

Patrono e Saldana (1997) mettono a punto una procedura di calcolo, basata sull'uso estensivo di operatori di vicinaggio (si veda, p.es., Burrough e McDonnell, 1999) applicati a cartografia raster, per la delineazione di corridoi, a connessione di macchie di habitat, lungo i quali risulta minima la resistenza al movimento degli animali. Il modello prende in considerazione vincoli sulla distanza massima percorribile, la presenza di barriere per il movimento (quali insediamenti, strade, etc.) e consente di evidenziare i corridoi che riescono a connettere più macchie, rispetto a quelli a fondo cieco. Il modello si ispira al lavoro di Knaapen *et al.*, 1992, che introduce il concetto di minima resistenza cumulativa (MCR). Questi Autori sottolineano come il loro approccio non serva a riprodurre i flussi di animali o le effettive traiettorie degli stessi, quanto a valutare l'isolamento delle macchie nella matrice del paesaggio.

Oltre agli approcci sopra citati, poche altri studi hanno applicato tecniche specifiche dell'ecologia del paesaggio. Più frequente è l'uso di modelli propri di altre discipline (idrologici, geomorfologici, ecologici, etc.), riportati alla scala del paesaggio. La gran parte delle analisi specifiche dell'ecologia del paesaggio viene di fatto effettuata mediante l'uso di indici geometrici o prestazionali delle strutture osservabili del territorio. Molti di questi indici (connettività, circuitazione, etc.) hanno origini piuttosto remote e nascono dallo studio di strutture topologiche generiche, mentre in campo eco-paesistico sono stati introdotti da lavori come quello di Forman e Godron (1986). Altri indici derivano dalla teoria dell'informazione (indice di Shannon, Shannon and Weaver, 1962) o dalla geometria frattale (Mandelbrot, 1975).

E' da segnalare che in Italia non sempre si è mantenuta una chiara distinzione fra indici che esprimono un giudizio di qualità sulle proprietà locali del territorio, e indici che derivano dall'analisi della struttura, delle proprietà topologiche e geometriche del paesaggio. Ad es. Ingegnoli (op.cit.) comprende fra gli indici

dell'ecologia del paesaggio anche indici tradizionalmente ecologici *stricto sensu*, come il notissimo EBI (indice biologico esteso); Bernini e Padoa-Schioppa (1997) trattano come indice ecopaesistico un giudizio a punteggi quale è la bio-potenzialità territoriale o BTC (Ingegnoli, cit.), e Siligardi (1997) inserisce fra gli indici il giudizio fornito da un altro sistema a punteggi, l'RCE (Petersen, 1991).

2 Un caso di studio: il comprensorio cesenate

2.1 Introduzione: area di studio ed obiettivi

L'area assunta per lo studio è il comprensorio cesenate, al margine sud-orientale della Pianura Padana. Il confine ideale fra le zone a maggiore pressione antropica e quelle di più elevata naturalità è dato dalla via Emilia, che rappresenta anche il margine pedecollinare.

Il territorio si caratterizza per un gradiente paesistico che comprende le seguenti fasce (si veda la carta dell'uso del suolo dell'area, in Figura 1):

- costa sabbiosa adriatica (Cesenatico);
- pianura con usi del suolo agricoli fortemente artificializzati e frammisti a insediamenti produttivi, commerciali e residenziali diffusi con relativamente elevata densità infrastrutturale;
- zone di collina con grado di naturalità crescente allontanandosi dalla via Emilia;
- rilievi prossimi al crinale appenninico.

Nella pianura sono presenti siti ad alto valore naturalistico e paesistico, che risultano isolati in una matrice fortemente disturbata. Questo carattere del paesaggio sfuma a monte con il diminuire dei disturbi.

Lo studio ha avuto lo scopo di sperimentare alcune analisi spaziali dell'ecologia del paesaggio, valutandone il possibile contributo alla pianificazione territoriale. Particolare attenzione è stata data all'identificazione di corridoi ecologici potenziali e alla valutazione del grado di isolamento delle macchie paesistiche costituite da habitat naturale residuo, identificato con le aree boschive, secondo la legenda della carta dell'uso del suolo della regione Emilia Romagna (URL1). Sia dal punto di vista della pianificazione di riserve naturali, sia, più in generale, per lo sviluppo territoriale sostenibile, è fondamentale considerare le strutture paesistiche esistenti e potenziali, cercando di interferire quanto meno possibile con le loro forme e funzioni.

2.2 Il metodo utilizzato

Il problema della pianificazione di un assetto sostenibile del paesaggio può essere impostato, pur con i limiti dell'approccio, nei termini della teoria biogeografica di MacArthur e Wilson (cit.), che guarda alla connettività delle reti ecologiche e al non-isolamento delle macchie paesistiche come valori del paesaggio. Per pianificare gli interventi di salvaguardia, occorrerebbe prima di tutto identificare le macchie paesistiche di maggiore pregio per la conservazione della natura o per la fruizione ed individuare corridoi effettivi o potenziali per la loro connessione. Successivamente, si possono progettare interventi di riqualificazione o salvaguardia dei corridoi, in modo da rendere efficaci i collegamenti. Malcevski *et al.* (1996) trattano in dettaglio questo approccio, sottolineando come la presenza di corridoi ecologici sia determinante per la dispersione di numerosi organismi e contribuisca anche ad aumentare il valore estetico del paesaggio.

Il presente studio mira ad un'interpretazione del territorio basata sulle seguenti analisi:

- analisi della distribuzione e connessione dell'habitat naturale (§ 2.2.1);
- analisi dei possibili corridoi di flusso per organismi (§ 2.2.2);
- analisi dell'esposizione a disturbi esterni delle macchie di habitat naturale (§ 2.2.3).

Lo studio è stato condotto utilizzando come documento di base la carta di uso del suolo dell'area di studio, realizzata dalla Regione Emilia-Romagna in scala 1:25.000 (URL1, cit.). Le unità paesistiche di partenza sono state identificate con porzioni di territorio caratterizzate da un medesimo uso del suolo, secondo la classificazione riportata in Tabella 1. Nonostante questo approccio sia stato criticato (per es. in Ingegnoli, 1993, pag. 71), le carte di uso e copertura del suolo rappresentano uno degli strumenti più comunemente

usati negli studi di ecologia del paesaggio, visto il vantaggio che offrono in termini di reperibilità ed oggettività'. Altre forme di rilevamento paesistico, in cui, cioè, le unità vengono classificate in base alla loro funzione ecologica anziché urbanistica, richiedono, infatti, studi specifici e non si avvalgono ancora di una metodologia rigorosa e ripetibile. Utilizzare come strumento di partenza il rilievo dell'uso del suolo, inoltre, ha avuto il significato di investigare fino a che punto gli indici e le analisi spaziali teorizzate dall'ecologia del paesaggio potessero fornire un valore aggiunto agli strumenti pianificatori tradizionali. In altre parole, si è voluta sperimentare l'effettiva possibilità di trattare una comune carta di uso del suolo per estrarre informazioni ecologiche a supporto alla pianificazione.

Il rilievo dell'uso del suolo è stato acquisito in formato digitale e l'intera analisi è stata condotta nel software GIS di tipo raster ILWIS 2.23 (ILWIS 1997).

2.2.1 Distribuzione e connessione dell'habitat naturale

L'habitat naturale nell'area di studio è stato identificato con le formazioni boschive di origine spontanea, più o meno trasformate da parte dell'uomo. Questa scelta ha un carattere puramente convenzionale: non si vuole asserire che si tratti effettivamente dell'habitat potenziale della zona di studio, in assenza di disturbi antropici. Tuttavia, rispetto ad altre classi di uso del suolo, le aree boschive rappresentano sicuramente, nel caso in esame, un buon indicatore di condizioni di basso disturbo, e come tali esse saranno considerate nel seguito.

Le formazioni boschive sono distribuite prevalentemente nell'alta collina e in prossimità del crinale, e sono costituite da boschi di latifoglie con composizione floristica tipica della zona. Le specie dominanti sono querce e carpini alle quote più basse, progressivamente sostituite dal castagno e, a quote più alte, dal faggio; sono presenti coperture di conifere, spesso a seguito di rimboschimenti più o meno recenti. Nelle zone di pianura si incontrano relitti di boschi ripariali, costituiti da salici, pioppi e in minor misura da ontani, presso i corsi d'acqua naturali maggiori, e in particolare il fiume Savio. Nelle zone di pianura a monte della via Emilia, i corsi d'acqua hanno importanti funzioni connettive, soprattutto quando il territorio circostante è soggetto ad elevata pressione antropica. In questi casi, il reticolo idrografico rappresenta pressoché l'unica porzione di territorio relativamente indisturbata. Questa caratteristica, nel caso del fiume Savio, è conservata fino alla foce, se si escludono alcuni tratti arginati a marcato carattere artificializzato. In generale, il fiume Savio costituisce un macro-corridoio con caratteri di naturalità e di pregio ambientale lungo tutto il suo corso nella pianura antropizzata. Verso la costa si trovano alcune aree naturali, frammentate e di piccole dimensioni, immerse in una matrice agricola.

Una volta selezionate le aree costituite da habitat naturale, con i criteri di cui sopra, si è effettuata un'operazione di *area numbering*. Questa consiste nell'identificare tutti i gruppi di pixel appartenenti alla medesima classe e che presentano una connessione verticale, orizzontale o diagonale fra loro. L'analisi, con funzione essenzialmente esplorativa, consente di delineare le connessioni esistenti fra le varie macchie di habitat naturale.

Il risultato (Figura 2) rivela un'estensione di bosco pressoché continua nell'alta collina e nei versanti montani, mentre le macchie di bosco di pianura e della media e bassa collina sono molto più frammentate, con l'eccezione di una macchia di una certa dimensione posta all'incirca al centro dell'area in esame. Queste considerazioni valgono alla scala del presente studio, mentre a scale diverse possono assumere significato non trascurabile interruzioni o riconessioni dovute ad elementi più fini.

2.2.2 Analisi dei possibili corridoi di flusso per organismi

La capacità di organismi di spostarsi attraverso la matrice in cui si collocano le unità frammentate di habitat è influenzata dalle distanze reciproche tra le unità stesse e dalla permeabilità della matrice, che può costituire un ostacolo maggiore o minore allo spostamento. Si è ritenuto che l'approccio di Patrono e Saldana (cit.) fosse soddisfacente per lo scopo della pianificazione, sulla base della sua capacità di

identificare le strutture connettive del territorio e le loro caratteristiche. Il modello prevede l'applicazione di un algoritmo con cui vengono calcolati e delineati i possibili percorsi di connessione fra macchie di habitat (aree-sorgente) all'interno della zona di studio. L'algoritmo è basato sulla ottimizzazione locale di una funzione di distanza $\text{dist}(X,Y)$ così descritta:

$$\begin{aligned} &\forall (X_0, Y_0) \in D, \min [\text{dist}(X, Y)] \\ &\text{sotto i vincoli:} \\ &\text{dist} < d_{\max} \\ &X, Y \in I_{3*3}(X_0, Y_0) \end{aligned}$$

dove

X_0, Y_0 = punto di partenza della ricerca operativa
 D = mappa della distanza pesata dalle sorgenti
 d_{\max} = massima distanza ammissibile per il percorso della specie bersaglio
 I_{3*3} = intorno 8-connesso con il punto (pixel) considerato

Con una semplice verifica dell'accessibilità di ogni pixel, basata sul fatto che la distanza dalle sorgenti (pesata con le resistenze, ossia con un fattore di permeabilità assegnato alle varie classi di uso del suolo) sia minore o maggiore della distanza massima ammessa, si giunge alla identificazione dei percorsi chiusi e aperti, che consente la riclassificazione del territorio in:

- aree sorgente (nel nostro caso le macchie boschive descritte nel paragrafo 2.2.1);
- matrice paesistica;
- percorsi che non uniscono tra loro aree sorgente;
- percorsi di connessione tra aree sorgente, ossia possibili corridoi ecologici.

I parametri di controllo nel modello sono costituiti dai fattori di permeabilità assegnati alle varie classi di matrice paesistica e dalla distanza limite, d_{\max} . Il loro significato deriva da considerazioni diverse a seconda dell'applicazione. Se si desidera studiare una specie definita, tali parametri possono essere valutati in base all'effettivo comportamento dell'animale, mentre se, come in questo caso, l'interesse è per l'accessibilità 'aspecifica' delle macchie, si potrà fare riferimento a criteri di permeabilità generali e a distanze rappresentative dell'assetto del territorio considerato. I valori di resistenza delle diverse classi di uso del suolo utilizzati nel presente studio sono riportati nella Tabella 1. Essi sono stati assegnati in base a considerazioni euristiche; in un contesto differente, la scelta avrebbe potuto essere fatta con altre tecniche di analisi multicriterio. Come distanza massima di spostamento è stato considerato il valore di 5 km. Alcuni esperimenti numerici hanno mostrato comunque che il modello è poco sensibile a questo parametro. Utilizzando dati non specifici per un singolo animale, le indicazioni fornite dal modello sono necessariamente di carattere generale. Tuttavia esse riescono a suggerire un possibile 'buon assetto' del paesaggio, valido tanto per la fruizione del verde quanto per la conservazione e il miglioramento del territorio. Il modello può infatti essere utilizzato in fase di pianificazione ai fini dell'individuazione di aree dove localizzare interventi di protezione della fauna, di miglioramento della naturalità, di rimozione di disturbi causati da manufatti, insediamenti e infrastrutture.

Nel condurre l'analisi, si è integrata l'informazione disponibile sull'uso del suolo con quella relativa al reticolo stradale, cui si è assegnato un punteggio di resistenza elevata (nel caso delle strade comunali) o una funzione di barriera invalicabile (nel caso delle strade provinciali o statali, della ferrovia e dell'autostrada). Inoltre, si è considerata la presenza di corsi d'acqua, ai quali è stata assegnata una funzione connettiva mediante l'assegnazione di basse resistenze al moto (nel caso dei corsi a monte della via Emilia, e del fiume Savio per tutto il suo corso), o una funzione di barriera invalicabile (nel caso dei corsi d'acqua in pianura, caratterizzati da arginature, assenza di vegetazione e elevato grado di artificialità).

Il risultato dell'analisi è mostrato in Figura 3. Come si può notare, rispetto all'analisi illustrata nel paragrafo precedente, questo tipo di modellazione consente di valutare il ruolo connettivo di tutte le classi di uso del suolo. Questo ha permesso di delineare nell'area di studio i principali corridoi di

connessione fra le macchie del paesaggio, mettendo in evidenza le interruzioni provocate da usi del suolo caratterizzati da elevata resistenza al movimento di organismi. L'indicazione che ne deriva può essere utilizzata per la pianificazione degli interventi di salvaguardia o di rinaturalizzazione.

2.2.3 Analisi del grado di esposizione a disturbi esterni dell'habitat naturale

Nel paragrafo precedente si è discussa la caratterizzazione delle connessioni fra macchie di habitat. Un altro parametro che può rivestire notevole importanza è l'esposizione delle macchie di habitat ad effetti di margine, e in particolare alla diffusione dei disturbi indotti da aree esterne. Forma e dimensione di ciascuna macchia sono le principali determinanti, a parità di altre condizioni, di questi effetti. Un indice molto comune per caratterizzare la forma di una macchia è il rapporto fra area e perimetro: quanto maggiore è questo rapporto, tanto maggiore è la possibilità che la macchia presenti una parte interna relativamente protetta dagli effetti esterni. Nel presente studio, anziché caratterizzare ciascuna macchia di habitat, si è scelto di valutare il grado di esposizione a disturbi esterni di ciascun singolo pixel. Diversi indici sono stati proposti per questo scopo, per lo più basati sull'applicazione di filtri numerici, comunemente usati nell'elaborazione di immagini telerilevate.

Per il presente studio è stato scelto un indice relativamente semplice proposto da Murphy (1985) e applicato per analisi eco-paesistiche in Geneletti (2000): il CVN (Center versus Neighbours). Questo indice calcola il numero di celle diverse da quella centrale in ogni intorno di 7x7 celle, ed è stato utilizzato per ogni cella coperta da boschi naturali, valutando il numero di celle circostanti appartenenti a classi di uso del suolo diverse. Ogni cella è stata così classificata come cella di bosco non esposta, mediamente esposta o molto esposta in base al valore dell'indice, secondo le soglie riportate in Tabella 2. Come si osserva in Figura 4, il filtro si comporta essenzialmente come *edge detector*. Tuttavia, in alcuni casi esso è servito a mettere in luce la frammentazione causata dalla crescente pressione antropica e dalle conseguenti variazioni di uso del suolo.

3 Conclusioni

La presente memoria analizza lo stato delle applicazioni di ecologia del paesaggio per la pianificazione territoriale. Si è evidenziata una notevole incertezza, a tutt'oggi, circa l'effettiva applicabilità degli strumenti di analisi finora proposti. In molti casi, infatti, le analisi di ecologia del paesaggio si dirigono verso concettualizzazioni di elevato livello simbolico che rendono difficoltosa la comprensione ecologica del paesaggio da parte di chi si occupa di pianificazione e gestione territoriale.

Dopo aver passato in rassegna i principali approcci metodologici proposti in letteratura, rivolgendo particolare attenzione allo studio delle strutture territoriali, si è valutata l'utilizzabilità di tre tipi di analisi:

- l'identificazione delle macchie di habitat connesse;
- la simulazione dei flussi di organismi per la delimitazione di possibili corridoi ecologici;
- la valutazione del grado di esposizione a disturbi esterni delle macchie di habitat.

Queste analisi, applicate ad un tipico paesaggio italiano, hanno consentito di mettere in relazione la caratterizzazione del paesaggio con la definizione di criteri praticamente utilizzabili. In particolare, le tre analisi condotte hanno mostrato rispettivamente come:

- nelle zone maggiormente antropizzate le macchie di habitat siano fortemente frammentate, ma esistano strutture paesistiche da tutelare e potenziare nel loro insieme, come il bosco collinare di latifoglie situato nella porzione centrale dell'area di studio);
- i diversi usi del suolo determinino corridoi che possono o meno connettere macchie di habitat. La distribuzione di questi corridoi fornisce indicazioni sulle strategie di miglioramento e protezione delle reti ecologiche e il ripristino ambientale;

- nonostante la distribuzione dei boschi piu' o meno esposti al disturbo esterno segua quella delle dimensioni delle macchie, si trovano macchie esposte ad effetti di margine significativi in molte parti dell'area di studio. Questo fornisce un criterio per individuare aree maggiormente vocate alla conservazione della natura.

Per quanto le analisi abbiano prodotto risultati in qualche modo prevedibili, si ritiene, concludendo, che lo studio della struttura del paesaggio, con tecniche come quelle mostrate, rivesta una notevole importanza nel rappresentare in termini chiari le sue proprietà e orientare di conseguenza le azioni antropiche.

Bibliografia

1. Ahern, J., *Spatial Concepts, planning strategies and future scenarios: a framework method for integrating landscape ecology and landscape planning*, in Klopatek, J.M., Gardner, R.H., (eds.) *Landscape ecological analysis: issues and applications*, Springer-Verlag, NY, 1999.
2. Altobelli, A., Feoli, E., Ourabia, L., *An overview of landscape structure through the application of fractal dimension to remotely sensed images using GIS technology*, in prep., 1999.
3. Arts, G.H.P., Buuren, M. van, Jongman, R.H.G., Nowicki, P., Wascher, D., Hoek, I.H.S., (eds.), *Ecological Networks*, Special Issue, Landschap n.3, 1995.
4. Berger, J., *Guidelines for landscape synthesis: some directions – old and new*, Landscape and Urban Planning, n. 14, 1987.
5. Bernini, F., Padoa-Schioppa, E., *Stima della biopotenzialità territoriale*, in Ingegnoli, V., (ed.), *Esercizi di ecologia del paesaggio*, CittàStudi, Milano, 1997.
6. Bridgewater, P.B., *Landscape ecology, GIS and nature conservation*, in: Haines-Young, R., Green, D.R., Cousins, S., (eds.), *Landscape ecology and GIS*, Taylor & Francis, London, 1993.
7. Burrough, P.A., De Jong, S.M., *A fractal approach to the classification of mediterranean vegetation types in remotely sensed images*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, n.8, 1995.
8. Burrough, P.A., McDonnell, R., *Principles of GIS (II ed.)*, Oxford Univ. Press, Oxford, 1999
9. Chiarello, E., Jolion, J.M., Amoros, C., *Regions growing with the stochastic pyramid: application in landscape ecology*, Pattern Recognition, n. 1, vol. 29, 1996.
10. Clements, F.E., *Plant succession: an analysis of succession of vegetation*, Canergie Inst. Wash. Publ. 242, 1916
11. Petersen, R.C., *The Rce: a riparian channel and environmental inventory for small streams in agricultural landscape*, Freshwater Biology, March 1991.
12. Egler, F.E., *The way of science. A philosophy of ecology for the Layman*, Haffner, NY, 1970.
13. Fabos, J.G., *From parks to greenways into the 21th century*, ASLA Annual Meeting. Proceedings, American Society of Landscape Architects, Washington, 1991.
14. Faludi, A., *Planning theory*, Pergamon, Oxford, 1973.
15. Ferrari, P., *Assegnazione del traffico alle reti di trasporto*, in Aa.vv., *Manuale dell'Ingegnere*, Zanichelli-ESAC, Bologna, 1996.
16. Forman, R.T.T., Godron, M., *Landscape ecology*, Wiley, NY, 1986.
17. Gardner, R.H., Milne, B.T., Turner, M.G., O'Neill, R.V., *Neutral Models for the analysis of broad scale landscape pattern*, Landscape Ecol, n.1, 1987.
18. Geneletti, D., *Using classification and spatial index techniques on remotely sensed data for environmental impact assessment*, Proceedings of the 28th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Cape Town 27-31 March 2000.
19. Giles, R.H., Trani, M.K., *Key elements of landscape pattern measures*, Environmental Management, n.4, vol. 23, 1999.
20. Golley, F.B., Bellot, J., *Interactions of landscape ecology, planning and design*, Landscape and Urban Planning, n. 21, 1991.
21. Goodchild, M.F., *Geographical information science*, International Journal of Geographical Information Systems 6(1): 31-45, 1992.

22. Humboldt, A.von, *Ideen zu einer geographieder pflanzen nebat einem naturgemalde der tropenlander*, Tubingen, 1807.
23. Ingegnoli, V., *Fondamenti di Ecologia del Paesaggio*, CittàStudi, Milano, 1993.
24. Jantsch, E., *Design for evolution. Self-organisation and planning in the life of human systems*, Braziller, NY, 1975.
25. Jongman, R.H.G., *Ecological Networks in Europe: congruent developments*, in Arts, G.H.P., Buuren, M. van, Jongman, R.H.G., Nowicki, P., Wascher, D., Hoek, I.H.S., (eds.), *Ecological Networks*, Special Issue, Landschap n.3, 1995.
26. Kenkel, N.C., Walker, D.J., *Fractals in the biological sciences*, Coenoses, n. 11(2), 1996.
27. Knaapen, J.P., Scheffer, M., Harms, B., *Estimating habitat isolation in landscape planning*, Landscape and Urban Planning, n.23, 1992.
28. Kuhn, T., *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, IL, 1970.
29. Langevelde, F. van, *Habitat Connectivity and fragmented nuthatch populations in agricultural landscapes*, PhD thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1999.
30. Laszo, E., *Introduction to systems philosophy: towards a new paradigm of contemporary thought*, Gordon & Breach, NY, 1972.
31. Lavers, C.J., Haines-Young, R., *Equilibrium landscapes and their aftermath: spatial heterogeneity and the role of new technology*, in: Haines-Young, R., Green, D.R., Cousins, S., (eds.), *Landscape ecology and GIS*, Taylor & Francis, London, 1993.
32. Little, C.E., *Greenways for America*, J.Hopkins Univ. Press, Baltimore, MD, 1990
33. MacArthur, R.H., Wilson, E.O., *The theory of island biogeography*, Princeton Univ.Press, Princeton, NJ, 1967.
34. Malcevschi S. et. al, *Reti ecologiche ed interventi di miglioramento ambientale*, Il Verde Editoriale, Milano, 1996.
35. Mandelbrot, B., *Les objets factales: forme, basard et dimension*, Flammarion, Paris, 1975.
36. McHarg, I., *Design with nature*, Natural History Press, Garden City, NY, 1969; tr.it. Muzzio, Padova, 1969.
37. McHarg, I., *Ecology and design*, in Thompson, G.F., Steiner, F.R.,(eds.), *Ecological design and planning*, Wiley, NY, 1997.
38. Meltzer, M.I., Hastings, H.M., *The use of fractals to assess the ecological impact of increased cattle population: case study from the Runde Communal Land, Zimbabwe*, Journal of Applied Ecology, n. 29, 1992
39. Naveh, Z., *Landscape ecology as an emerging branch of human ecosystem science*, Adv.Ecol.Res., n.12, 1982
40. Ndubisi, F., *Landscape ecological planning*, in Thompson, G.F., Steiner, F.R.,(eds.), *Ecological design and planning*, Wiley, NY, 1997.
41. Opdam, P., *Metapopulation theory and habitat fragmentation: a review of holartic breeding bird studies*, Landsc.ecol., n.4, 1991.
42. Patrono, A., Feoli, E., *Characterisation of landscape pattern for environmental assessment. A GIS approach based on remotely sensed data*, Proc. of the 3rd Joint European Conference on GIS, Vienna, 1997.
43. Patrono, A., Saldana A., *Modeling with neighbourhood operators*, ILWIS 2.1 Application Guide, ITC, Enschede, 1997.
44. Pignatti, S., *Ecologia del paesaggio*, UTET, Torino, 1994.
45. Prologine ,I., Nicolis. G., *Biological order, structure and instabilities*, Quarterly Review of Biophysics, n.4, 1971.
46. Schmithüsen, *Allgemeine vegetationsgeographie*, De Gruyter &Co., Berlin, 1961.
47. Sereni, V., *Storia del paesaggio agrario italiano*, Laterza, Bari, 1961.
48. Shannon, C.E., Weaver, W., *The mathematical theory of communication*, Urbana, Illinois Univ. Press, 1962.
49. Siligardi, M., *Ecologia del paesaggio e sistemi fluviali*, in Ingegnoli, V., (ed.), *Esercizi di ecologia del paesaggio*, CittàStudi, Milano, 1997.
50. Stow D.A., *The role of geograbic information systems for landscape ecological studies*, in Landscape Ecology and Geographic Information Systems, Haines-Young et al. (ed), Taylor & Francis, 1993.
51. Troll, C., *Luftbildplan und ökologische bodenforschung*, Z. Ges.Erdkunde, Berlin, 1939.

52. Turner, M.G., *Landscape ecology: the effect of pattern on process*, Annu.Rev. Ecol.Syst., n.20, 1989.
53. URL 1, <http://www.regione.emilia-romagna.it/cartto/reper/defaulta.htm>.
54. Vernadsky, W.I., *The biosphere and the noosphere*, Am.Scient. n.33, 1945.
55. Waddington, L.H., *Towards a theoretical biology*, Holdine, Chicago, 1975.
56. Westervelt, J.D., Hopkins, L.D., *Modeling mobile individuals in dynamic landscapes*, Int.J.of GIS, n.3, vol. 13, 1999.
57. Zonneveld, W., *Conceptsvorming in de ruimtelijke planning. Patronen en processen (Vol.1) Encyclopedie van planconcepten (Vol.2)*. Planologische Studies 9, Planologisch en Demografisch Instituut, Universiteit van Amsterdam, 1991.

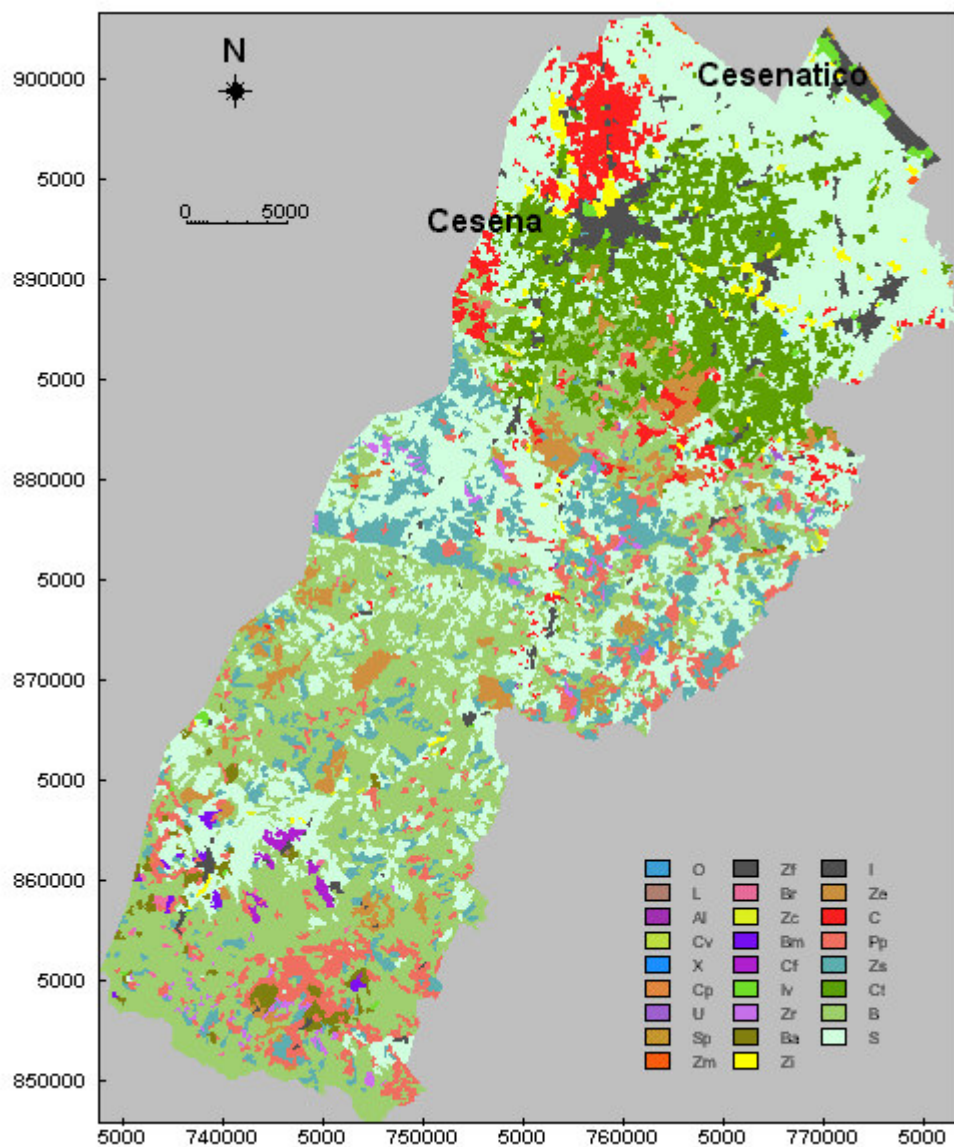


Figura 1: Carta dell'uso del suolo dell'area di studio (cfr. tabella 1 per il significato dei codici)

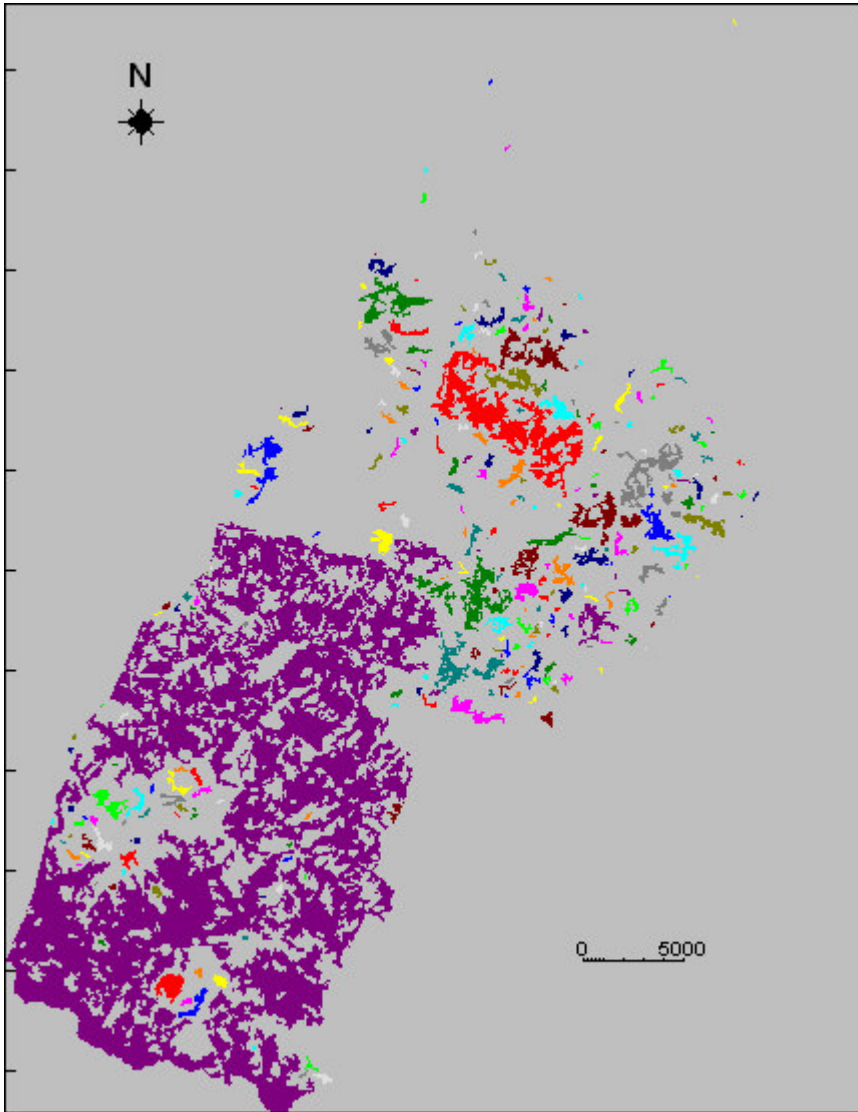


Figura 2: Analisi della connettività dell'habitat naturale (ogni macchia e' rappresentata da un colore diverso).

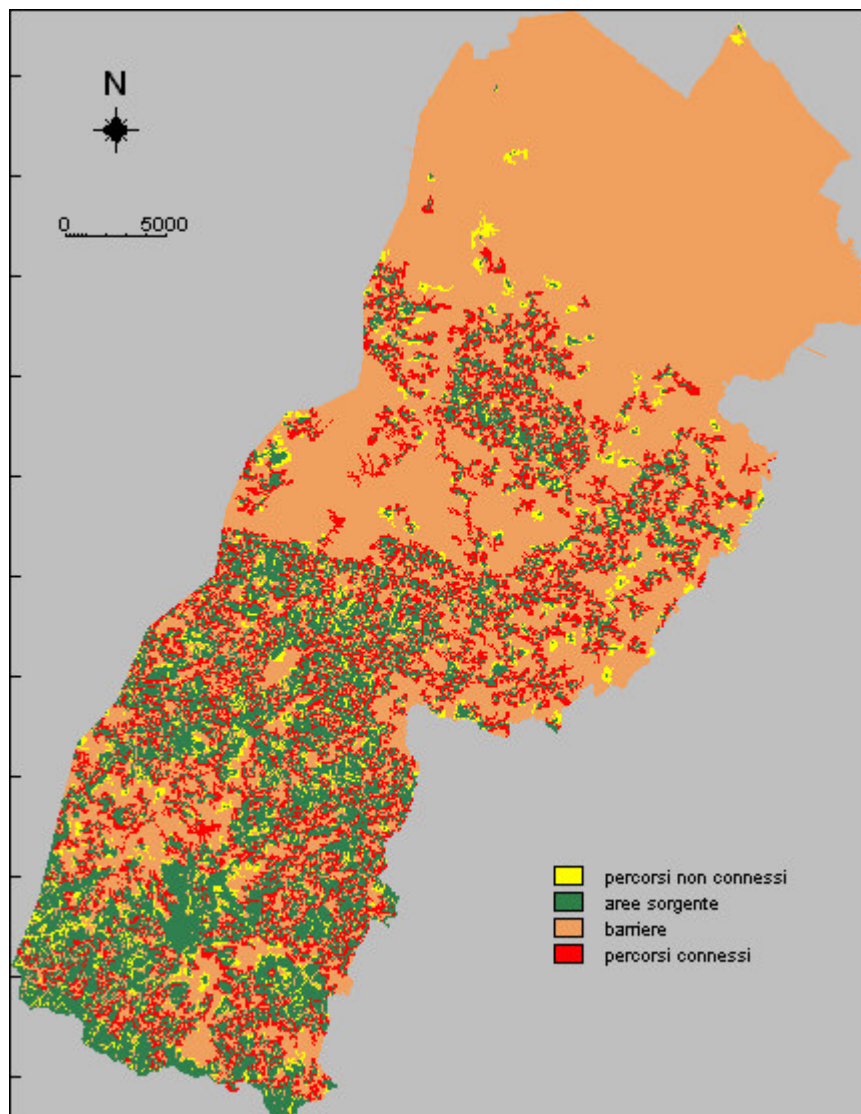


Figura 3: Analisi dei possibili corridoi di flusso per organismi

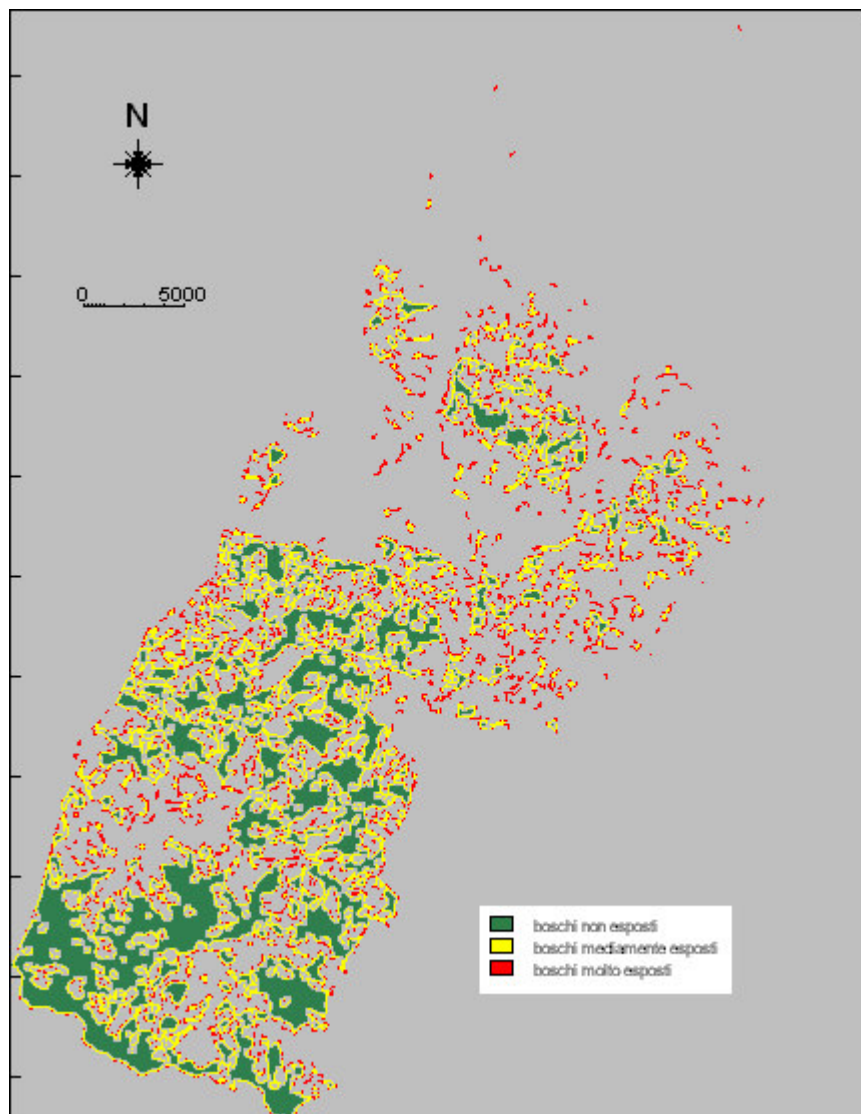


Figura 4: analisi del grado di esposizione a disturbi esterni delle macchie boscate.

Cod..	Classe di uso del suolo	Valore di resistenza
I	Zone urbanizzate	-1.0
Zi	Zone industriali	-1.0
Zf	Reti ferroviarie e stradali	-1.0
Zc	Zone estrattive e discariche	9.0
Iv	Zone verdi urbane e impianti sportivi	7.0
S	Seminativi	8.0
Cv	Vigneti	4
Ct	Frutteti	6
U	Uliveti	4
C	Colture specializzate miste (frutteti e vigneti)	8
O	Orti, vivai, colture sotto tunnel	6
Cp	Colture da legno specializzate (pioppeti, etc.)	4
Cf	Castagneti da frutto	1
Pp	Prati stabili	2
Ze	Aree agricole eterogenee	4
B	Formazioni boschive a prevalenza di latifoglie	0
Ba	Formazioni di conifere adulte	0
Bm	Boschi misti di conifere e latifoglie	0
Br	Rimboschimenti recenti	1
Zs	Cespuglieti	1.5
Sp	Spiagge costiere	3
Zr	Zone a prevalente affioramento litoide	2
Al	Corsi d'acqua	3
L	Corpi d'acqua (laghi, bacini)	3

Tabella 1: Valori di resistenza al flusso delle varie classi di uso del suolo. Il punteggio cresce con la resistenza; il valore -1 indica le classi inaccessibili (barriere), mentre il valore zero si riferisce alle aree-sorgente.

numero di celle di non-habitat in un intorno di 7x7 celle	giudizio sulla cella
0:3	non esposta
3:22	mediamente esposta
22:48	molto esposta

Tabella 2: Classificazione del risultato dell'indice CVN.