

# La rete ecologica del Circondario Empolese-Val d'Elsa: analisi e strumenti di gestione

Iacopo BERNETTI, Gherardo CHIRICI

Corso di laurea in Pianificazione Urbanistica Territoriale e Ambientale. Università degli Studi di Firenze. Via Cavour, Empoli. Tel: 0571-757884. E-mail: [ibernetti@econ.agr.unifi.it](mailto:ibernetti@econ.agr.unifi.it)

## Riassunto

Le tecniche di ecologia del paesaggio implementate in ambiente GIS permettono la caratterizzazione e l'analisi di diversi aspetti del paesaggio, inteso come sistema di ecosistemi. In particolare l'analisi delle reti ecologiche permette di evidenziare la funzionalità degli habitat naturali e semi-naturali e la loro capacità di resistenza e resilienza nei confronti delle diverse tipologie di disturbo naturale o antropico. Nell'ambito del progetto per la realizzazione dell'Atlante Territoriale del Circondario Empolese-Val d'Elsa (FI) sono state realizzate una serie di analisi volte alla qualificazione dei sistemi ambientali presenti nell'area di studio. Sono stati in tal modo individuati gli habitat naturali che sono stati poi oggetto di una serie di analisi GIS volte alla loro caratterizzazione in termini di forma e geometria, connettività, disturbo antropico, diversità a scala di paesaggio, rarità. Tali elaborati sono stati quindi normalizzati e associati tramite tecniche di analisi multicriteriale sfocata (fuzzy) per la macro-caratterizzazione della rete ecologica esistente. I risultati ottenuti hanno permesso l'impostazione di indicazioni gestionali a supporto della pianificazione territoriale volte alla preservazione degli habitat naturali e semi-naturali e, ove possibile, al loro recupero e ripristino.

## Abstract

Landscape ecology techniques implemented with GIS tools are able to characterise and analyse different landscape properties, as ecosystems system. The analysis of ecological networks may help in the evaluation of natural and semi-natural environments functionality and their potential resistance and resilience against natural or anthropogenic disturbances. Within the project for the implementation of a Land Atlas of the area of the Circondario Empolese-Val d'Elsa (Florence, Italy) several analysis have been implemented to qualify local environmental systems. Natural and semi-natural habitats have been identified and then qualified in terms of shape and geometry, connectivity, anthropogenic disturbance, landscape diversity, rarity. Such thematic layers have then been normalised and overlaid with multicriterial fuzzy techniques. Obtained results are able to support landscape planning choices oriented to preserve and, if possible, restore studied habitats.

## Introduzione

Le tecniche di ecologia del paesaggio implementate in ambiente GIS permettono la caratterizzazione e l'analisi di diversi aspetti del paesaggio, inteso come sistema di ecosistemi. In particolare l'analisi delle reti ecologiche permette di evidenziare la funzionalità degli habitat naturali e semi-naturali e la loro capacità di resistenza e resilienza nei confronti delle diverse tipologie di disturbo antropico.

Nell'ambito del progetto per la realizzazione dell'Atlante Territoriale del Circondario Empolese-Val d'Elsa (FI) sono state realizzate una serie di analisi volte alla qualificazione dei sistemi ambientali presenti nell'area di studio.

Il presente contributo illustra una prima fase del progetto durante la quale si è cercato di realizzare un inquadramento complessivo della rete degli habitat naturali e seminaturali dell'area del Circondario e della loro funzionalità ecologica. Questa prima analisi generale è impostata per una restituzione cartografica in scala 1:50.000.

L'approccio seguito è di tipo *specie-specifico*, non si basa quindi sull'analisi dell'idoneità potenziale del territorio sulla base delle esigenze ecologiche di una determinata specie animale, come frequentemente viene inteso il termine di rete ecologica (Boitani et al., 2002), ma analizzando le caratteristiche e la configurazione spaziale di tutti gli ambienti naturali e semi-naturali nel mosaico paesaggistico. Si può parlare in questi casi dello studio della Rete Ecologica Territoriale (RET).

## **Materiali e metodi**

Lo studio della funzionalità della rete ecologica si basa sull'implementazione in appositi ambienti GIS dedicati di una serie di analisi di ecologia del paesaggio; ognuna di queste permette di derivare specifici elaborati tematici rappresentanti ognuno uno dei molti aspetti necessari alla valutazione della funzionalità ecologica del territorio.

Tutte le analisi sono implementate con logica raster in quanto più funzionale alle esigenze di calcolo, la risoluzione geometrica è stata posta pari a 25 m. Il territorio in esame è definito da un'area circa quadrata di dimensioni superiori a quelle del confine del Circondario perché molte delle analisi di ecologia del paesaggio considerano elementi di connettività o di distanza da altri ambienti naturali e semi-naturali che insistono sul territorio travalicando limiti amministrativi. Per evitare di introdurre nell'analisi elementi di discontinuità artificiali nella rete ecologica l'area indagata si spinge quindi oltre i limiti posti dal confine del Circondario per un totale di quasi 4700 km<sup>2</sup> di cui 736 occupati dal Circondario.

Le analisi di ecologia del paesaggio si focalizzano sulle caratteristiche compositive e strutturali dei biotopi naturali e seminaturali. La localizzazione spaziale di queste aree deve essere desunta da specifiche cartografie di uso/copertura del suolo, eventualmente approfondite tematicamente su particolari aspetti. La fonte informativa utilizzata nel progetto è stata recentemente realizzata dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT) nell'ambito del progetto Image & Corine Land Cover 2000 tramite un apposito approfondimento tematico (Bologna et al., 2004). La cartografia CLC2000 ha un'unità minima cartografabile di 25 ha e una scala standard di rappresentazione di 1:100.000.

Le classi di uso del suolo Corine considerate quali biotopi componenti la RET sono:

- tutte le classi 3 di primo livello (ambienti naturali e semi-naturali);
- tutte le classi 4 di primo livello (aree umide);
- le classi 243 (aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti) e 244 (aree agroforestali).

Complessivamente le aree selezionate coprono 179250 ha dell'area di studio (pari al 38%) di cui 22506 ha interni al perimetro del Circondario (pari al 30%). Si consideri che complessivamente in Italia tali aree coprono circa il 50% del territorio nazionale.

Nel perimetro del Circondario sono presenti diverse tipologie di aree protette, regionali e statali. Complessivamente la loro superficie, al netto delle sovrapposizioni, è pari a 3081 ha. Sono inoltre

presenti 4859 ha che, ai sensi dell'Art. 9 del PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale), sono considerate di riferimento per l'istituzione di future aree protette. Complessivamente tali aree rappresentano l'1,7 % del territorio del Circondario, di queste circa il 60% è costituito da biotopi naturali. D'altra parte solo una modesta parte dei biotopi naturali è coperta da una delle due categorie di aree: appena il 2,7% (circa equamente divisi tra le due tipologie).

### ***Analisi della geometria delle tessere dei biotopi***

Le tessere dei biotopi selezionati sono costituite da quelle aree adiacenti aventi uno degli usi del suolo elencati nel § 1. In questa fase ogni tessera è quindi analizzata indipendentemente dal suo uso/copertura del suolo ma solo sulla base di tre proprietà geometriche. Successivamente i tre fattori sono stati aggregati tramite operatore di media.

*Grandezza:* per ogni tessera si è calcolata la dimensione in ettari. La funzionalità ecologica è stata quindi considerata come funzione crescente linearmente nell'intervallo compreso tra 50 e 200 ha. Le tessere sotto i 50 ha hanno funzionalità nulla, le tessere a partire da 200 ha hanno funzionalità ottimale.

*Core area:* per ogni tessera dei biotopi naturali è stata calcolata la distanza interna dal margine esterno della tessera. La funzionalità ecologica è considerata crescente in funzione della distanza dal margine esterno. La funzione [1] (Eastman, 2003) è di tipo logistico con saturazione a 300 m dal margine esterno.

$$\begin{aligned} & \text{se } x > B, \mu = 1 \\ & \text{se } x \leq B \quad \mu = \cos \alpha \quad [1] \\ \text{con} \quad & \alpha = \frac{1 - (x - A)}{B - A} \cdot \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

dove  $x$  è il valore del pixel in entrata esprime la distanza in metri dal margine esterno della tessera,  $\mu$  è il valore del pixel in uscita cioè la sua risultante potenziale funzionalità ecologica,  $A$  è il punto di saturazione inferiore della funzione (in questo caso nullo) e  $B$  è il punto di saturazione superiore (in questo caso posto pari a 300 m).

### *Forma*

A parità di altri fattori la maggior estensione dei confini delle aree naturali è considerata fattore favorevole allo scambio tra i diversi ambienti e quindi alla resilienza del biotopo. Quale indicatore è stato utilizzata la dimensione frattale (DF) calcolata come rapporto tra area e perimetro della tessera sulla base della formula:

$$DF = \frac{2 \ln(0,25 \cdot \text{perimetro})}{\ln \text{area}} \quad [2]$$

dove *perimetro* è la lunghezza in metri del perimetro della tessera e *area* ne è la sua estensione in metri quadrati. La funzione utilizzata per derivare la funzionalità ecologica è di tipo logistico con minimo ( $A$ ) pari a 1 e massimo ( $B$ ) pari a 1,34 secondo l'algoritmo [1].

### ***Analisi di rarità***

Tutte le tipologie di biotopi derivati dall'approfondimento tematico di quarto livello, con la sola esclusione delle piantagioni (Bologna et al., 2004), sono stati analizzati in modo da calcolarne la presenza sul territorio della Regione Toscana. Il valore di rarità, ovvero di importanza relativa della tessera analizzata, è definito come inversamente proporzionale rispetto alla presenza regionale sulla base della formula:

$$\text{rarietà} = 1 - \left( \frac{n_i}{\sum_{i=1} n_i} \right) \quad [3]$$

dove  $n$  è la superficie regionale dell' $i$ -esimo biotopo considerato.

### **Analisi di connettività**

L'analisi di connettività delle tessere dei biotopi naturali è stata realizzata tramite filtro a finestra mobile avente lato di 5 km. Il filtro è basato sulla teoria della percolazione (Ingegnoli, 1993) secondo la quale i biotopi naturali hanno funzionalità ecologica crescente in funzione della frequenza di altri biotopi naturali nelle vicinanze. Il concetto di vicinanza, nell'analisi realizzata, è determinato dalla dimensione e dalla forma del filtro a finestra mobile. Nella sperimentazione realizzata è stato preso in considerazione un intorno geografico di 25 km<sup>2</sup>. Il risultato ottenuto con il filtro a finestra mobile è normalizzato in modo tale da esprimere, per ciascun pixel considerato, la percentuale di biotopi naturali presenti nell'intorno geografico. Successivamente tale valore è stato normalizzato secondo la quanto proposto in Ingegnoli (1993) in modo da esprimere in forma diretta il livello di connettività in un intervallo compreso tra 0, connettività di livello insufficiente per la funzionalità ecologiche a scala territoriale, e 1, livello di connettività massimo. La funzione usata è la [1] con saturazione a 0,2 (A) e 0,8 (B).

### **Analisi di diversità**

Anche la biodiversità tra-patch è basata su un'analisi a finestra mobile. Per valutare il livello di diversità di ciascun pixel di biotopo naturale è stata valutata la diversità dei biotopi naturali presenti in un intorno geografico di 5 km e di 250 m.

Tra i molti diversi indici disponibili per la quantificazione della diversità dei biotopi naturali presenti all'interno della finestra di analisi si è scelto di utilizzarne uno dei più comuni: l'indice di Shannon (SHDI, *Shannon Diversity Index*) nella formula implementata nel software di analisi *Fragstats* (McGarigal e Marks, 1995):

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i) \quad [4]$$

dove  $P$  è la proporzione di uso del suolo della  $i$ -esima tipologia di biotopo naturale rilevata all'interno della finestra di analisi secondo il sistema di nomenclatura adottato nell'approfondimento di quarto livello della copertura CLC2000 (Bologna et al., 2004).

L'indice ha valore pari a 0 quando all'interno della finestra di analisi è presente un solo tipo di biotopo, tende poi a crescere verso valori sempre più alti all'aumentare del numero di biotopi presenti e via via che i diversi biotopi sono presenti nella stessa proporzione. La finestra di 250 m permette di individuare prevalentemente aree ecotonali di passaggio tra ecosistemi diversi mentre quella di 5 km permette di verificare il livello di diversità a livello territoriale più ampio.

Si noti che l'analisi è stata condotta solo all'interno dei biotopi naturali in modo da evidenziarne quelle parti che fossero inclusi in ambiti territoriali, entro la distanza raggiunta dalla finestra di analisi, più o meno biodiversi. I valori dell'indice sono stati quindi normalizzati con una funzione lineare crescente tra 0 e il valore massimo individuato nell'area posto pari a 2 per entrambe le finestre di analisi. Le due analisi con finestra di 250 m e di 5 km sono state quindi aggregate tramite operatore di media.

### **Analisi di disturbo antropico**

Il disturbo antropico è un fattore che limita la potenziale funzionalità ecosistemica dei biotopi naturali e semi-naturali. Nell'analisi è stato modellizzato il disturbo antropico proveniente da tre

diverse fonti: la rete stradale, la rete ferroviaria e le aree urbanizzate. In particolare sono state create tre classi di elementi sorgente del disturbo che è stato quindi modellizzato in funzione della distanza lineare dalla sorgente.

La distanza lineare da aree urbane residenziali disperse e rade (classe CLC 112 e 14x) assieme alla viabilità stradale è stata normalizzata attraverso una funzione esponenziale crescente del tipo:

$$\text{se } x > B, \mu = 1$$

$$\text{se } x \leq B \quad \mu = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - A}{B - A}\right)^2} \quad [5]$$

dove  $A$  e  $B$ , punti di saturazione della funzione analogamente all’algoritmo [1], sono stati posti a 100 e 500 m rispettivamente.

La distanza dalle aree urbane residenziali dense (classe CLC 111) è stata normalizzata con funzione lineare crescente sempre fra l’intervallo 100 – 500 m. La distanza dalla viabilità autostradale, ferroviaria e dalle aree urbane industriali e commerciali (classi CLC 12x e 13x) sono state normalizzate con una funzione logistica analoga alla [1] sempre con  $A=100$  e  $B=500$ . I tre fattori sono stati infine aggregati tramite operatore di massimo.

### Aggregazione dei fattori

Tutti i cinque fattori considerati sono stati analizzati tramite un operatore di somma. Il risultato dell’analisi permette di caratterizzare la potenziale funzionalità ecologica della RET del Circondario (Figura 1).

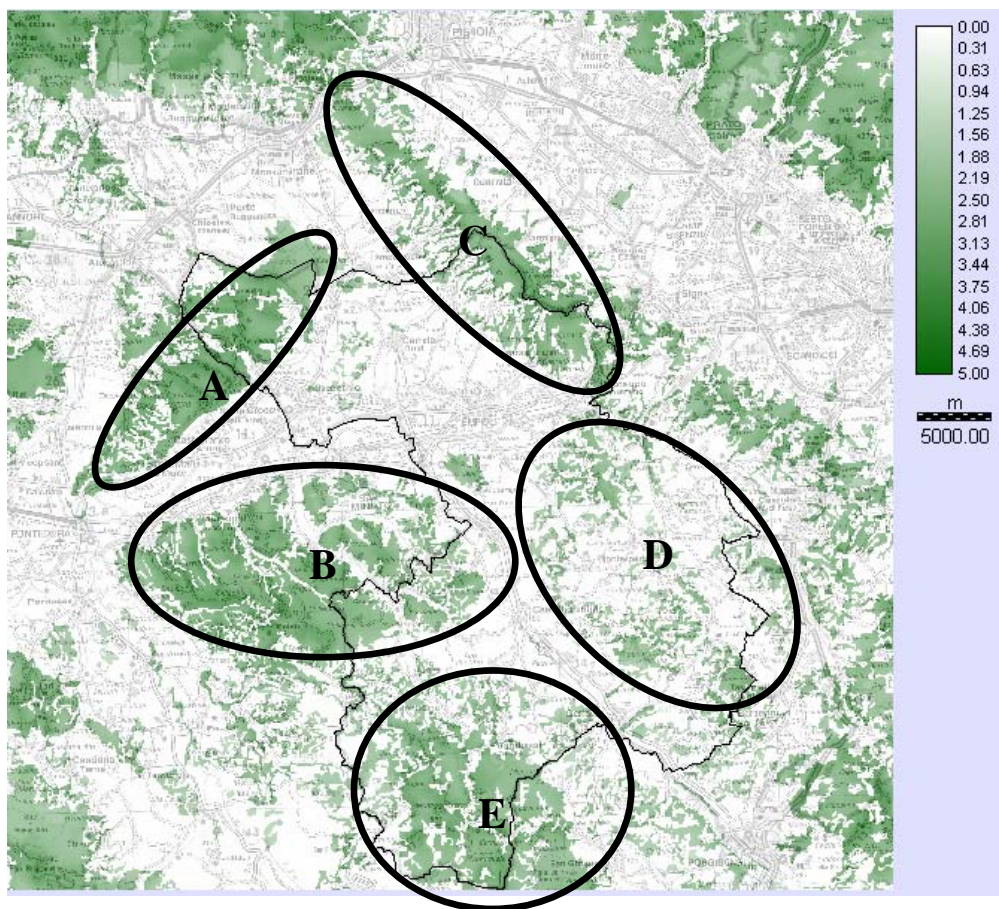


Figura 1 – Risultato dell’aggregazione dei cinque fattori considerati nell’analisi delle caratteristiche dei biotopi della rete ecologica territoriale; i toni di grigio dal bianco al nero indicano valori crescenti di potenziale funzionalità ecologica, in nero il confine del Circondario.

## Risultati e discussione

L'analisi ha permesso una concreta caratterizzazione della potenziale funzionalità ecologico-paesaggistica dei biotopi naturali e semi-naturali. La principale utilità di questo tipo di analisi è quello di individuare le più rilevanti caratteristiche strutturali della RET e di individuarne particolari punti di vulnerabilità e sensibilità, oggetto di successivi approfondimenti di dettaglio.

In tal senso l'area del Circondario Empolese Val d'Elsa ha un livello di antropizzazione molto alto, le principali aree naturali e semi-naturali (schematicamente raffigurate negli ovali di Figura 1) dell'area occidentale e meridionale (A, B ed E) hanno valenza di isole residuali e non risultano interconnesse tra di loro. D'altra parte tra B ed E è possibile una riconnessione tramite un'area di *stepping stones* e di residuali corridoi ecologici che ancora sussiste nella matrice agricola e urbana. Specifiche attività volte, per esempio, a promuovere attività agricole ecosostenibili in cui siano inseriti importanti spazi naturali, potrebbero permettere la ricucitura tra le due isole. L'area D è invece una matrice agricola fortemente disturbata da una forte presenza antropica, ma i torrenti Tubone, Orme e Virgini possono costituire importanti elementi di riconnessione. Discorso a parte per l'area C costituita dal Monte Albano che, al contrario degli altri sistemi, è interconnesso con la dorsale della RET nazionale che collega, senza soluzione di continuità, i biotopi naturali e semi-naturali appenninici, alpini e balcanici. Questa area risulta interconnessa alla dorsale solo tramite un residuale stretto corridoio presso Serravalle Pistoiese, a nord dei confini del Circondario (all'estremità nord dell'ovale A in Figura 1), in un'area fortemente disturbata dal passaggio dell'autostrada A11 Firenze-mare. Infine l'isola del sistema A include l'area umida di Fucecchio che potrebbe essere considerata interconnessa tramite *stepping stones* all'area C di Monte Albano e quindi alla dorsale della RET nazionale.

Tali aree, potenzialmente interessanti per la ricostituzione e il miglioramento funzionale della RET nell'area indagata, dovrebbero essere oggetto di analisi a una scala di maggior dettaglio in modo da poter derivare indicazioni progettuali operative.

Complessivamente la metodologia adottata per la quali-quantificazione di una Rete Ecologica Territoriale specie-aspecifica appare idonea per supportare la macro-caratterizzazione ecologico-funzionale dei biotopi naturali e semi-naturali.

## Bibliografia

Boitani L., Corsi F., Falcucci A., Marzetti I., Masi M., Montemaggiori A., Ottavini D., Reggiani G., Rondinini C. (2002), *Rete ecologica nazionale. Un approccio alla conservazione dei vertebrati italiani. Relazione finale*. Ministero dell'Ambiente, Direzione per la Conservazione della Natura, pp.113.

Bologna S., Chirici G., Corona P., Marchetti M., Pugliese A., Munafò M. (2004), Sviluppo e implementazione del IV livello Corine Land Cover per i territori boscati e ambienti semi-naturali in Italia. *Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA "GEOMATICA: Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie"*, Roma, 14 - 17 dicembre 2004, Vol. 1: 467-472.

Eastman J.R. (2003), *IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing*. Clark Labs, Clark University.

Ingegnoli V. (1993), *Fondamenti di ecologia del paesaggio*. Città studi ed., Torino.

McGarigal K., Marks B. (1995), *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Gen. Tech. rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: US. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Station.