

GLI ALGORITMI DI *COST-DISTANCE* COME STRUMENTO DI SUPPORTO PER LA PIANIFICAZIONE ALLA SCALA PROVINCIALE DELLE RETI ECOLOGICHE

G. MELIS (*), G. PUDDU (**)

(*) Università degli Studi di Sassari, Facoltà di Architettura, Dipartimento di Architettura e Pianificazione.
Palazzo del Pou Salit - Piazza Duomo 6 07041 Alghero (SS). e-mail: gianluamelis@uniss.it

(**) Università della Tuscia (VT), Dipartimento D.A.F. Via San Camillo de Lellis snc Viterbo 01100 (VT).
e-mail: puddu@unitus.it

Abstract

In this article will be proposed a new method based on GIS analysis (especially the cost-distance algorithm) at the regional scale, able to find the connectivity areas needed to implement an ecological network in a fragmented landscape.

Connectivity areas are characterized as least-cost paths in a matrix modelized as a bio-impedance surface studying the infrastructural fragmentation level, by a new specific index, and the land uses' characteristics.

The new method presented here for landscape continuity analysis offers a quantitative tool to compare alternative land use plans in order to maintain maximum landscape continuity of open areas. This kind of analysis will be applied, as case study, on the new Regional Landscape Plan of Sardinia Region particularly in Olbia-Tempio area (Sardinia, Italy).

Abstract italiano

Il presente studio illustra un metodo, basato su analisi GIS alla scala provinciale, utilizzabile per l'individuazione delle aree di connettività necessarie all'implementazione di una rete ecologica in un territorio frammentato.

Le fasce di connettività sono individuate come percorsi di costo minimo in una matrice territoriale intesa come una superficie di bio-impedenza, e modellizzata attraverso le caratteristiche delle coperture vegetali e il livello di frammentazione infrastrutturale, calcolato mediante un nuovo indice opportunamente strutturato. L'insieme di questi indicatori consente, mediante analisi *raster* su base GIS centrate su algoritmi di *cost-distance* di identificare nei percorsi di "costo minimo" le fasce di connettività preferenziali sul territorio.

Il caso di studio è la Provincia di Olbia-Tempio (Sardegna), e il metodo presentato viene usato, oltre che per delineare una proposta di rete ecologica alla scala provinciale, per verificare la rispondenza agli obiettivi della conservazione della connettività territoriale del Piano Paesaggistico Regionale di recente adozione.

Inquadramento metodologico e disciplinare

Il contesto disciplinare

La ricerca di opportuni modelli e strumenti di pianificazione del territorio ovvero, in termini più generali, la ricerca di metodi operativi per il raggiungimento dell'eco-sostenibilità dell'insediamento e delle forme d'uso del territorio, costituisce lo sfondo del presente tema di ricerca. Lo scopo primario è quello di strutturare un metodo capace di fungere da strumento di

supporto alla decisione per l'implementazione di una rete ecologica in un territorio frammentato, seguendo un modello reticolare semplificato fondato su nodi (*core areas*) interconnessi da corridoi (*ecological corridors*). Il dibattito scientifico ha individuato come principale causa antropica della perdita di biodiversità il processo di frammentazione, che produce l'erosione progressiva degli ambienti naturali e l'aumento costante del loro grado di isolamento (APAT, 2003). Le misure di protezione dagli effetti descritti si sono storicamente concretizzate attraverso politiche volte all'istituzione di aree protette, ma già negli anni '70 si evidenziarono i pericoli di una gestione "ad isole" del territorio, e dai primi anni '80, il modello di organizzazione spaziale proposto è evoluto verso la "rete ecologica", la cui fondamentale innovazione prende le mosse dai concetti propri della *landscape ecology*, e consiste nell'importanza riconosciuta al collegamento ecologico-funzionale tra le aree di maggior pregio ambientale. Tale modello si fonda sulla considerazione che il processo di frammentazione ha come risultato la creazione di "ecomosaici", in cui si possono distinguere una matrice antropizzata più o meno ostile, e frammenti di ambiente naturale (*patches*). Questi, per poter conservare il loro valore ambientale, devono essere connessi attraverso fasce di territorio ad alta naturalità (*ecological corridors*) che garantiscano la possibilità di reciproci flussi di scambio.

Il metodo

I nodi della Rete Ecologica Regionale della Regione Sardegna (R.E.S.), vengono presi come *input* iniziale, la matrice che li contiene è quindi rappresentata dal resto del territorio. La valutazione delle caratteristiche di connettività della matrice, fondante per la ricerca delle fasce di connessione, prende le mosse dal concetto di biopermeabilità (Romano, 2000) che verrà reso operativo ragionando sul concetto complementare di bio-impedenza, e associando ad ogni porzione del territorio esterno ai nodi della R.E.S., una sua valutazione quantitativa.

Il metodo proposto si articola in tre fasi:

- Generazione di un modello dell'ecomosaico mediante la scelta di adeguate unità ambientali derivate da opportune aggregazioni delle classi della Carta di Uso del Suolo della Regione Sardegna (scala 1:25000);
- Generazione di un modello di dispersione sul territorio in funzione della valutazione del livello di bio-impedenza territoriale come somma di bassa qualità naturale e alto livello di frammentazione infrastrutturale;
- Individuazione, mediante algoritmi di *cost-distance*, delle fasce di connettività come aree di minimo impedimento per gli spostamenti attraverso la matrice territoriale.

Le tre fasi sono state ripetute per due distinti modelli di territoriali, producendo due ipotesi di strutture connettive tra i nodi della Rete Ecologica Regionale.

Un metodo per l'individuazione delle aree di connettività alla scala territoriale

Il modello dell'ecomosaico

Le strutture dell'ecomosaico implementate sono due, e ciascuna propone una valutazione del livello di naturalità che sarà funzionale a quantificare la bio-impedenza della matrice territoriale. La prima, proposta dal Piano Paesaggistico Regionale della Regione Sardegna (PPR), articola il territorio secondo una classificazione paesaggistico-ambientale valutando il livello di intervento antropico sul territorio, quindi il livello di conservazione della naturalità, mediante una suddivisione in otto classi. La seconda, proposta dall'Osservatorio Città Sostenibili (OCS) del Dipartimento Interateneo Territorio del Politecnico e dell'Università di Tornio (Socco, 2001), è invece funzionale alla definizione di un indicatore del grado di naturalità per la pianificazione e la gestione territoriale, che opportunamente adattato alla particolare situazione ecologica dell'Isola, ha prodotto un modello territoriale articolato in undici classi. Alle due articolazioni dell'ecomosaico prodotte sono stati applicati tre indici molto diffusi, in combinazione tra loro, per valutare la bontà dell'articolazione territoriale prodotta in confronto all'informazione contenuta nella Carta di Uso del Suolo. L'indice

di Shannon e l'indice di Simpson, sono stati applicati al territorio in studio *ex-ante* ed *ex-post* la riorganizzazione delle classi di uso del suolo secondo i due criteri citati, mentre l'indice ILC (Pizzolotto e Brandmayr, 1996) è stato applicato solo *ex-post*.

In particolare, la classificazione che sta alla base del PPR della Sardegna, produce un indice di Shannon inferiore a quello derivante dalla classificazione secondo l'OCS e ciò è avvalorato dall'indice di Simpson che riporta per il PPR un'aggregazione maggiore rispetto all'alternativa. Un ulteriore confronto tra i due sistemi è stato realizzato con l'applicazione dell'indice ILC. Anche in questo caso l'indice numerico è più basso per la classificazione che sta alla base del PPR, rispetto a quella del sistema dell'OCS.

Si può concludere che l'articolazione dell'ecomosaico in sole otto classi, così come proposto dalla Regione Sardegna, risulta troppo sintetica sia in relazione all'informazione originaria contenuta nella lettura territoriale derivante dalla Carta di Uso del Suolo sia se confrontata con la classificazione alternativa organizzata invece in undici categorie.

La valutazione del livello di frammentazione infrastrutturale

La frammentazione dovuta alla rete viaria è, in genere, misurata tramite l'indice IFI (indice di frammentazione infrastrutturale (Romano, 2000)) che tiene conto della lunghezza dell'infrastruttura e del suo potere frammentante in funzione della tipologia ed in relazione all'area dell'unità ambientale scelta. Ma ulteriori caratteristiche dell'indice, necessarie ad una corretta modellizzazione del fenomeno, sono soprattutto: la capacità di tener conto del valore dell'unità ambientale attraversata e del tipo di partizione imposto dalla rete della viabilità stradale.

Se il primo risultato è di facile raggiungimento mediante la valutazione del livello di naturalità attraverso opportuni coefficienti, il secondo implica che si debba tener conto dei diversi effetti del tipo di partizione dell'area partendo dall'assunto che, date due possibili partizioni che delimitino lo stesso numero di aree, la suddivisione in parti di simili dimensioni è peggiore di una partizione che produca un'area sensibilmente maggiore delle altre.

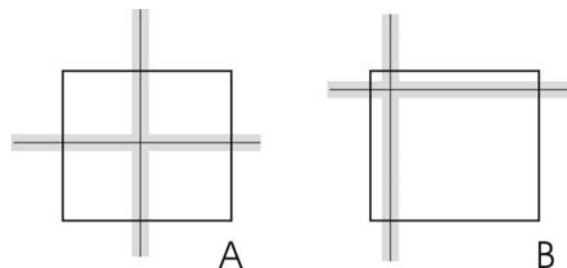


Figura 1 – Esempio diagrammatico di frammentazione: il valore dell'IFI nel caso A deve essere più alto che nel caso B, nonostante il numero di parti e la lunghezza delle infrastrutture frammentanti sia uguale.

Inoltre per i fini del presente studio, è necessaria una differente lettura del significato del suddetto indice, sia per quanto concerne l'idea di base sia l'utilizzo: l'indice IFI non può qui usato in "accezione negativa" per determinare semplicemente un livello di pressione antropica, ma piuttosto deve essere sfruttato come "rivelatore di opportunità" con lo scopo dichiarato di evidenziare le potenzialità connettive del territorio. Nei limiti di questo studio, è ritenuto di poter incorporare le suddette caratteristiche in una nuova struttura dell'indice di frammentazione infrastrutturale:

$$IFI_k = \frac{IP_k}{A_k} \cdot \sum_{j=tipolo. viaria} L_{k,j} (P_{k,j} + IN_k^2) \quad [1]$$

con IP_k , indice di partizione:

$$IP_k = \left(1 - \frac{A_{\max,k}}{A_k}\right) \cdot N_k^{\left(1 - \frac{A_{\max,k}}{A_k}\right)} \quad [2]$$

dove A_k = area del k-esima unità ambientale; $A_{\max,k}$ = area della partizione più grande individuata dalla porzione dell'infrastruttura lineare di categoria j sulla k-esima unità ambientale; $L_{k,j}$ = lunghezza dell'infrastruttura di categoria j ; $P_{k,j}$ = potere frammentante dell'infrastruttura; IN_k^2 = indice di naturalità al quadrato; N_k = numero di partizioni in cui il unità ambientale è suddiviso.

La differenza principale è costituita dall'elaborazione della struttura dell'indice di partizione IP_k , questo si basa sulla differenza percentuale tra l'area totale e la partizione di area massima che la frammentazione infrastrutturale crea sul unità ambientale. All'aumentare di A_{\max} deve diminuire la misura della frammentazione imposta, dato che una partizione è sensibilmente più grande delle altre, inoltre tanto più è grande la partizione di area massima tanto meno importante diventa il numero delle parti in cui la rete infrastrutturale suddivide il unità ambientale, di ciò tiene conto l'elevazione a potenza di N , di contro, se A_{\max} tende all'area del unità ambientale A_k , l'indice di partizione tende a zero portando a zero anche l'IFI.

La frammentazione da infrastrutture lineari è stata calcolata separatamente per ciascuna unità ambientale di ciascuna classe di entrambi i modelli territoriali citati, permettendo così di associare in modo quantitativo, oltre ad un valore di naturalità, un livello di frammentazione.

Il calcolo della bio-impedenza territoriale

Dopo aver definito su ciascuna unità ambientale il valore naturale e lo stato di frammentazione, si può procedere con la valutazione della bio-impedenza, intesa come la difficoltà di attraversamento che ciascuna unità ambientale oppone ad eventuali flussi migratori, di ognuna e quindi dell'intera matrice.

Il metodo utilizzato per queste analisi si basa su tecniche GIS avanzate, che vertono sull'utilizzo di specifiche funzioni di *cost-distance*, è da intendersi come "un onere di transito" cioè come un dispendio energetico tanto maggiore quanto più ostile è il territorio da attraversare. Il procedimento sovrimpone al territorio una maglia di celle quadrate di 25m di lato e a ciascuna viene associato un valore della bio-impedenza, non più in funzione dei confini delle unità ambientali, ma valutando ciò che ogni cella contiene. Ma, per come è stata definita finora, questa rappresenta un concetto "statico" associato ad una parte del territorio, mentre per gli intenti dichiarati si deve lavorare in modo "dinamico": l'impedimento al moto non è dato solo dalla cella in cui il moto sta avvenendo ma anche dalla "fatica" compiuta ad attraversare tutte le celle precedenti.

Gli algoritmi di *cost-distance* implementati nei sistemi GIS consentono questo passo concettuale fondante producendo, a partire dalla bio-impedenza per cella, una superficie di costo cumulativo calcolato da ogni cella verso un insieme di celle sorgente. L'insieme delle celle esterne alle sorgenti, è modellizzato dal software come una rete in cui i nodi sono i centri geometrici delle celle, e i collegamenti sono segmenti che collegano i nodi secondo otto possibili direzioni. La bio-impedenza è trattata come il costo di attraversamento per metro della cella cui appartiene (nelle direzioni diagonali rispetto ai lati delle celle il fattore sarà 1,41): il costo di attraversamento è dato dalla lunghezza della cella per la sua bio-impedenza.

Su questa matrice è possibile basare il calcolo che produce come risultato il percorso di minor costo tra sorgente e destinazione: l'insieme di celle che, se attraversate in successione, determina il minor "sforzo di attraversamento", in funzione delle caratteristiche di bio-impedenza del territorio.

Conclusioni

Il metodo ha prodotto i risultati attesi, consentendo mediante l'imposizione di una soglia di costo massimo (pari al 0,5% dell'intervallo di costo), la delimitazione delle porzioni di territorio più idonee, secondo i criteri esposti, a recepire le istanze connettive territoriali e ad essere destinate come corridoi ecologici tra i nodi della Rete Regionale. Com'era lecito aspettarsi la forma delle fasce di connessione dipende fortemente dalla struttura dell'ecomosaico scelta per descrivere il territorio, tra i due assetti analizzati per correttezza e attitudini operative alla discesa di scala necessaria ad un progetto reale di rete ecologica, il risultato peggiore è stato quello della classificazione del PPR, che per il basso numero di classi, e per la sovrapposizione tra temi ambientali e puramente paesaggistici risulta scarsamente in grado di fornire spunti operativi.

L'elevata diversità degli orizzonti ambientali presenti nell'area di studio fornisce lo spunto per ulteriori considerazioni: il modello mostra un ottimo funzionamento in aree fortemente frammentate, mentre perde correttamente di significato e di efficacia operative nel caso opposto.

Le potenzialità sono molteplici infatti il metodo proposto può sia funzionare "in positivo" per generare proposte ma può altresì essere utilizzato come efficiente strumento di valutazione *ex-ante* o per un monitoraggio costante dei progetti di rete ecologica implementati sul territorio.

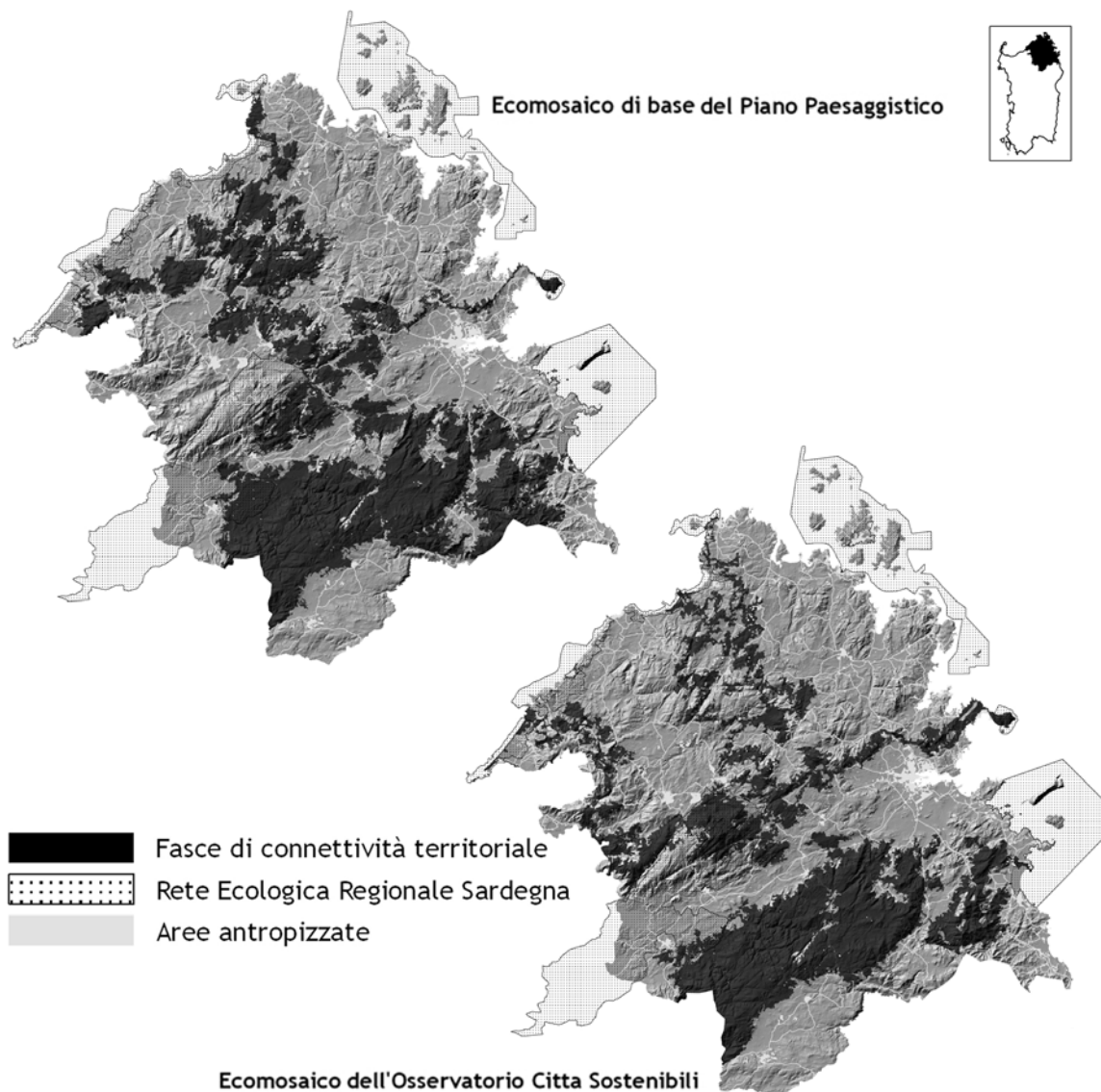


Figura 2 – Comparazione dei risultati finali ottenuti per ciascun ecomosaico utilizzato

Bibliografia

- Termorshuizen J. W., Opdam P., van den Brink A. (2007), "Incorporating ecological sustainability into landscape planning", *Landscape And Urban Planning* 79: 374-384
- Marull J., Mallarach J. M., (2005), "A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area", *Landscape And Urban Planning* 71: 243-262
- Adriaensen F. et alii. (2003), "The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model", *Landscape And Urban Planning* 64: 233-247
- Battisti C, et alii (2003), *Gestione delle aree di collegamento ecologico-funzionale*, APAT, Manuali e linee guida 26/2003, Roma, 45-68
- Osservatorio Città Sostenibili (2002), "Indice del grado di naturalità del territorio", *OCS Doc. 2/2002*, Dipartimento Interateneo Territorio del Politecnico e dell'Università di Torino
- Romano B. (2000), *Continuità ambientale, pianificare per il riassetto ecologico del territorio*, Andromeda Edizioni, Teramo, 25-28
- Pizzolotto R., Brandmayr P. (1996), "An index to evaluate landscape conservation state based on land-use pattern analysis and Geographic Information System techniques", *Coenoses* 1: 37-44