

Indicatori per il monitoraggio diacronico della componente verde a supporto della pianificazione fluviale

Giancarlo Graci (*), Daniele La Rosa (**), Paolo Pileri (*)

(*)DIAP, Politecnico di Milano, e-mail: giancarlo.graci@polimi.it paolo.pileri@polimi.it

(**) e-mail: sdlarosa@tin.it

Riassunto

Nelle politiche di tutela e valorizzazione delle aree fluviali può essere utile caratterizzare le coperture verdi anche da un punto di vista morfologico poichè spesso la modifica delle forme verdi nel tempo è segnale di perdita o di variazione di funzionalità ecologica o di frammentazione o di indebolimento e quindi di innalzamento della vulnerabilità di tali patch. In particolare, anche per la caratterizzazione dell'ecomosaico, è utile riconoscere le forme allungate da quelle compatte. Nel paper vengono applicati una serie di indicatori di consistenza, forma, frammentazione e continuità per valutare l'evoluzione di boschi e siepi in un'area fluviale, e si propongono due indici in grado di evidenziare strutture verdi capaci di costituire i nodi e le connessioni dell'intero sistema agroforestale. La metodologia utilizzata prevede l'uso congiunto di supporti cartografici e aerofotogrammetrici (attuali e storici) e tecnologie GIS, con procedure sviluppate ad hoc, per il calcolo di opportuni indicatori.

Abstract

Keeping track of shape modifications can be useful to characterize green areas from a morphologic point of view, because often these variations highlight some characteristics useful for planners and policy designers and managers: i.e. the loss of ecological functionality. Shape, consistence, fragmentation and continuity indicators are briefly discussed and used in the paper, in order to assess forests and hedges evolution in a fluvial area. Two indicators are then proposed, to highlight green structures able to carry on node and connections ecological functions. The application uses cartographic and aerophotogrammetric supports (actual and historical) and GIS technologies, with custom indicator assessment procedures.

Il monitoraggio della morfologia della componente verde fluviale.

Le politiche per la tutela delle risorse idriche hanno conosciuto un forte impulso dopo l'introduzione della direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23/10/2000, che ha delineato un nuovo quadro per l'azione comunitaria in materia di acque.

In particolare è il sistema fluviale, e non più il fiume in quanto corpo idrico, l'oggetto delle politiche territoriali fluviali. La qualità ambientale finale non è quindi quella ottenibile attraverso il solo controllo del regime delle acque piuttosto che della qualità delle acque che ivi vi vengono scaricate (sebbene ciò rivesta sempre grande importanza), ma la qualità deriva da una combinazione di componenti che operano su diversi livelli funzionali: ecologico, strutturale, mitigativo, morfologico, paesistico, regolativi, ecc. (Pileri et al., 2004).

Un ruolo sempre più centrale è rivestito dalla componente vegetale (o verde) permanente che costituisce un bio-indicatore insostituibile della qualità ambientale generale del sistema fluviale. La vegetazione ha un ruolo multifunzionale in quanto tampona, mitigandole, le pressioni antropiche provenienti dalle aree urbane e agricole prospicienti e lontane, struttura il corridoio ecologico fluviale, mantiene e potenzia il livello di biodiversità, definisce e disegna il paesaggio fluviale, offre occasioni di fruizione sociale. L'ambiente fluviale è indissociabile dalla componente vegetale perifluviale (generalmente entro i 30 metri dalla sponda) e fluviale (tra i 30 e i 100 m.).

Il disegno a scala territoriale delle coperture vegetali diviene allora un possibile contenuto della pianificazione, in particolare di quella dell'ambiente fluviale che ha, tra i suoi obiettivi, quello di migliorare multifunzionalmente e progressivamente la qualità del corridoio fluviale e, incrementalmente, dello stesso bacino.

In tal senso la caratterizzazione delle coperture diviene un momento importante per il realizzatore e il gestore delle politiche ambientali. Tra gli elementi utili per tale caratterizzazione, lo studio della consistenza e della morfologia delle coperture vegetali (a partire dai boschi) è nodale sia per definire il grado di complessità del paesaggio fluviale (in antitesi alla 'devastante' semplificazione) o anche il relativo ecosistema, sia per monitorare lo stato di continuità ambientale (anche in opposizione al concetto di frammentazione) garantito dalle strutture verdi ripariali e fluviali.

Il paper si sofferma allora sulla messa a punto di alcuni indicatori utili per il monitoraggio della morfologia della componente verde a partire da informazioni deducibili da basi dati geografiche, ovvero da basi dati uniformi e uniformemente disponibili su un territorio.

Indicatori capaci di rappresentare la forma delle coperture verdi sono stati messi a punto e sono studiati in letteratura. Generalmente lo studio della struttura del verde che caratterizza un sistema ambientale (come quello fluviale) si preoccupa sempre di distinguere due famiglie morfologiche principali: la *forma compatta* che può essere associata ad una prevalente funzione di nucleo ecologico portante, anche in dipendenza della dimensione ed estensione (è il caso, ad esempio, dei boschi) e la *forma allungata* che assume una prevalente connotazione connettiva garantendo una continuità ecologica tra nuclei.

Disporre di indicatori in grado di distinguere e classificare le diverse forme può allora essere utile quando il monitoraggio costituisce la base per la definizione delle politiche e delle azioni sul sistema fluviale. In molti casi tale utilità aumenta se metodi e strumenti (in questo caso gli indicatori) per avviare la caratterizzazione sono scalabili su diverse soglie temporali, sono altamente fattibili, ben interpretabili e facilmente trasferibili alle opzioni decisionali fornendo così un quadro di partenza sul quale predisporre possibili azioni di ripristino, contenimento, conservazione, realizzazione del verde fluviale.

Metodologia utilizzata

Il lavoro qui presentato si è posto come obiettivo la valutazione quantitativa e diacronica dell'assetto della componente bosco attraverso una metodologia di campionamento speditivo dei poligoni boscati, in modo da riconoscerne le diverse forme, come indicatrici dello stato della componente verde. A tal fine ci si è preoccupati dapprima di selezionare degli indicatori in grado di leggere efficacemente il sistema verde fluviale contestualmente alla scelta di opportune soglie storiche, connesse all'esistenza di corrispondenti cartografie o riprese aeree attraverso cui calcolare gli indicatori selezionati.

La zona di studio, utilizzata per l'applicazione, si trova nell'alta pianura occidentale lombarda (province di Como e Milano) e coincide con un buffer di 2 km intorno al fiume Seveso¹; è caratterizzata da una rilevante presenza di bosco, ma anche da una densa rete infrastrutturale che fa di questo territorio un ambito soggetto a frammentazione e a indebolimento del sistema del verde nella fascia fluviale.

L'approccio scelto è stato di tipo diacronico basato su due soglie

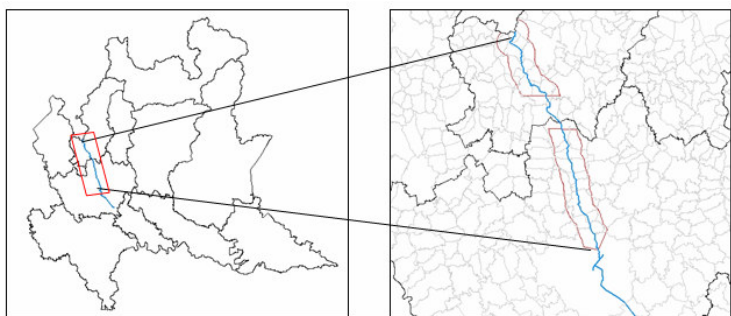


Fig.1 - Inquadramento dell'area di studio

¹ Da sottolineare che i poligoni con coperture a bosco e urbanizzato non sono stati tagliati dal buffer (confine dell'area di studio), ma mantenuti nella loro interezza se il centroide dei poligoni risultava interno all'area, esclusi altrimenti.

temporali: 1954 e 2000. Per quanto riguarda la prima soglia temporale, sono state acquisite con uno scanner piano (300 dpi) le riprese aeree effettuate dal Gruppo Aereo Italiano (GAI) nel 1954-55², georeferenziate e successivamente digitalizzate. Attraverso una ulteriore fase di lettura e studio sono state estratte le coperture identificabili come boschi, terreni agricoli e superfici urbanizzate. I dati sono stati elaborati in maniera automatica tramite GIS per effettuare i calcoli necessari ed ottenerne opportune rappresentazioni.



Fig. 2 - Riconoscimento e digitalizzazione delle coperture a bosco; in rosso il limite del buffer.

Le coperture relative alla seconda soglia temporale sono state ricavate dalla cartografia DUSAF³ della Regione Lombardia, a sua volta basata sulle ortofoto IT2000, previa definizione di categorie d'uso del suolo omogenee per garantire un confronto il più corretto possibile tra le due soglie temporali⁴.

L'area di studio risulta composta da una zona nord, meno estesa ma in cui la presenza di boschi è ragguardevole, e una zona sud, più estesa ma attraversata da un elevato numero di infrastrutture stradali e ferroviarie.

Gli indicatori selezionati

In letteratura esistono diversi indicatori proposti per caratterizzare composizione, forma e configurazione delle patch relative alla componente verde (McGarigal, Marks, 1995).

Gli indicatori qui scelti cercano di dare una lettura di quattro aspetti del tessuto forestale legati al suo stato funzionale: consistenza, forma, frammentazione, continuità. Gli indicatori utilizzati nel lavoro, insieme ad un breve commento sono riportati in fig. 3.

Indicatori di consistenza	Sigla	Definizione	Descrizione
Coefficiente di boscosità	FR	$FR = \frac{A_w}{A_{tot}}$	Consistenza delle superfici a bosco, espressa in percentuale di area naturale
Indicatori di frammentazione	Sigla	Definizione	Descrizione
Numero delle patch	PN	$PN = \sum_i p_i$	Numero totale di patch
Densità delle patch	PD	$PD = \frac{PN}{A}$	Numero di patch per unità di superficie
Dimensione media delle patch	MPS	$MPS = \frac{\sum_i A_i}{PN}$	Superficie media delle patch
Indicatori di connessione	Sigla	Definizione	Descrizione
Densità di siepi-filari	HRD	$HRD = \frac{\sum_i l_i}{A}$	Grado di connessione del sistema verde, espresso come sviluppo delle forme verdi lineari (siepi e filari)

² I fotogrammi GAI sono stati scattati da aereo da un'altezza media di 5500 metri. Ogni fotogramma misura 23x23 cm. e comprende un'area di circa 56 kmq.

³ DUSAF (Destinazione d'Uso del Suolo Agricolo Forestale) è una cartografia vettoriale messa a punto da ERSAF della Regione Lombardia, largamente disponibile e utilizzabile, che copre tutto il territorio regionale, scala 1:10.000, con aggiornamento medio all'anno 2000.

⁴ Sono state aggregate le coperture a bosco di latifoglie e misto e a vegetazione naturale ottenendo uno strato assimilabile a bosco. Non sono state considerate le coperture ad urbanizzato, aree sterili, quelle non fotointerpretabili e aree idriche, non pertinenti alle finalità di questo lavoro dedicato al monitoraggio e valutazione della componente verde.

Indicatori di forma	Sigla	Definizione	Descrizione
Rapporto perimetro/area corretto	CPAR	$CPAR = \frac{0,282 \cdot P}{\sqrt{A}}$	Irregolarità della forma, espressa come scostamento rispetto ad una forma compatta circolare

Fig. 3 – Alcuni indicatori per la caratterizzazione delle aree verdi

La proposta di una coppia di indicatori per il riconoscimento automatico di allungamento/compattezza delle coperture vegetali

Gli indici di forma tentano di quantificare la complessità delle patch, che può essere un fattore di rilievo per alcuni processi ecologici e, di conseguenza, per sostenere azioni di planning. Forme compatte si caratterizzano da bassi valori di perimetro e, potenzialmente, *core area* maggiore. Altre forme dai caratteri allungati o ristretti come siepi e filari alberati, o tortuosi come le aree fluviali possono avere una *core area* esigua se paragonata all'area totale della patch. Di contro, forme compatte possono essere meno efficienti nell'intercettazione di specie che si diffondono attraverso il territorio, mentre forme lineari possono intercettare meglio le traiettorie di più organismi (Forman, 1995) e comunque sono predisposte a consentire i flussi della biocenosi lungo di esse. Molte misure di forma vertono sullo studio di alcune variazioni del rapporto perimetro/area (Krummel et al. 1987); a parità di superficie, sagome maggiormente complesse hanno margini più estesi e dunque un maggior frastagliamento dei margini.

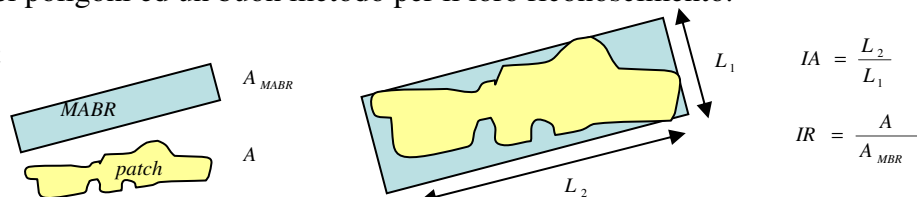
Questo genere di indicatori risente però di alcuni limiti ad esempio legati alle dimensioni delle patch: il fatto che superficie e perimetro crescano in misura diversa non permette agli indicatori di rappresentare con pari efficacia piccoli e grandi poligoni.

In particolare il riconoscimento delle due principali caratteristiche di forma (allungamento vs. compattezza) è stato l'obiettivo dello studio che qui ora viene presentato. L'intento è stato triplice: cercare di contribuire a ridurre alcune delle limitazioni riscontrate nell'uso degli indicatori 'tradizionali' attraverso la definizione di nuove misure in grado di descrivere con minor incertezza le due principali caratteristiche di forma basando il calcolo esclusivamente su basi dati geografiche predefinendo una procedura appositamente sviluppata e applicata con l'uso di un GIS⁵.

Il ragionamento seguito si basa sull'idea che per caratterizzare allungamento (o compattezza) di un qualsiasi poligono rappresentante una delle componenti di verde territoriale è possibile *inscrivere* lo stesso poligono in un rettangolo (più precisamente nel rettangolo avente area minima - **MABR** - tra tutti quelli circoscrivibili) e quindi ridurre il fattore forma a due sole variabili o dimensioni principali (i lati del rettangolo circoscritto), di cui una associata alla prevalente direzione di sviluppo. Dalle due dimensioni del rettangolo circoscritto è possibile, in via automatica, fornire un rapporto di allungamento o, viceversa, di compattezza. Attraverso tale processo geometrico, però, si ottiene anche una terza variabile fondamentale. Circoscrivere un rettangolo attorno ad una qualunque forma consente infatti di ottenere, come variabile, anche la superficie del rettangolo che, confrontata con quella del poligono inscritto, determina un rapporto di riempimento, precisando ulteriormente la forma del poligono considerato (fig. 4). La lettura combinata delle due informazioni (allungamento e grado di riempimento) può allora restituire una buona misura delle caratteristiche di forma dei poligoni ed un buon metodo per il loro riconoscimento.

Fig. 4 – Il Minimum Area Bounding Rectangle;

A = Area del poligono
 A_{MABR} = Area del MABR



Il processo di calcolo del MABR è così schematizzabile:

⁵ MABR 4.0, script realizzato in Avenue in ambiente ArcView 3.2

1. ottenere il rettangolo con lati paralleli agli assi coordinati (extent) che contiene il poligono e calcolarne la relativa area
2. ruotare il poligono di un determinato angolo (parametro)
3. iterare il procedimento di calcolo dell'area del rettangolo fino a trovare il rettangolo avente la minima area (fig. 5). Effettuando la rotazione del poligono il rettangolo che la circoscrive cambia; calcolandone l'area ad ogni passo della rotazione si può determinare il rettangolo a superficie minima [1].

$$A_{MABR} = \min\{A_i\} \quad [1]$$

Gli indici IA e IR

Una volta calcolato per ogni poligono il corrispondente rettangolo ad area minima circoscritto è possibile definire:

- **L'indice di allungamento del MABR (IA)**, dato dal rapporto tra la dimensione maggiore e quella minore (L_2/L_1). La misura risultante indica dunque quanto il MABR, e quindi la patch in esso contenuta, siano allungati rispetto alla loro sezione; l'indice assume valori sempre maggiori all'unità a meno che una patch non sia inscritta in un quadrato.
- **L'indice di riempimento del MABR (IR)**, dato dal rapporto tra l'area della patch e la superficie del rettangolo ad area minima che la circoscrive (fig.3). Tale indice può assumere valori tra 0 e 1 ed è una misura di quanto il poligono 'riempie' il rettangolo che lo circoscrive; infatti in caso di 'vuoti' all'interno della patch (si pensi ad una figura ad 'U' o ad 'L') il suo valore di superficie decresce, ma poiché quella del MABR rimane invariata, l'indice risulta inferiore.

La lettura combinata dei due indici IA e IR può allora fornire alcune indicazioni sulle caratteristiche morfologiche delle patch: una schematizzazione del loro comportamento è riportata in fig. 6, sotto forma di abaco di combinazioni dei valori degli indici per il caso studiato⁶.

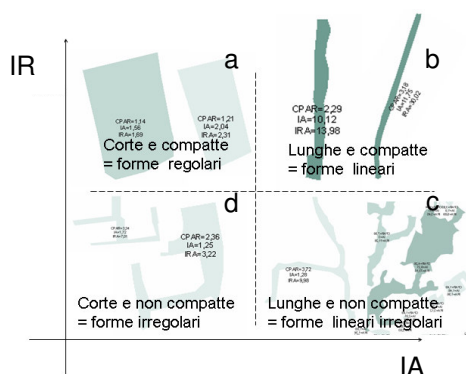


Fig. 6 – classificazione per valori di IR e IA

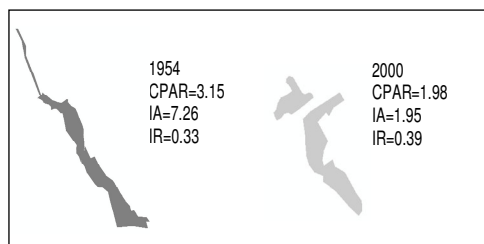


Fig. 7 – Variazione di allungamento di una patch tra il 1954 e il 2000

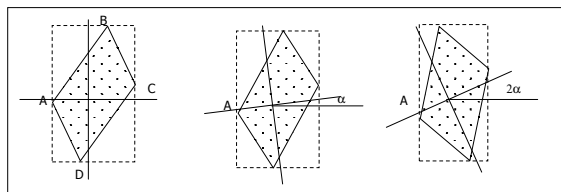


Fig. 5 – rotazione del poligono per gradi

Più in dettaglio, a IR elevati sono associabili forme compatte (fig.6,a), in grado cioè di riempire il loro MABR; per valori elevati di IA vengono identificate forme prevalentemente allungate (fig.6,b), mentre valori bassi di questo indice caratterizzano forme non allungate.

Primi risultati

Tornando all'applicazione relativa all'area di studio introdotta sopra, il confronto tra i valori di IA su due differenti soglie temporali permette di stimare la variazione

di allungamento delle formazioni lineari: la fig. 7 mostra come, per una stessa patch, l'indice di allungamento IA sia diminuito di circa 4 volte (a parità di IR) in 45 anni modificando, quindi, la funzione originale di quella particolare copertura verde.

Se si tenta un confronto tra IA e un altro indicatore di forma,

CPAR, si può notare che la maggiore variazione numerica di IA risulta facilitare il riconoscimento dei fattori di forma

⁶ Ogni applicazione territoriale richiede di fissare un relativo abaco e calcolare valori e soglie di riferimento. Infatti questi indicatori continuano ad essere *sito specifici* e di conseguenza i valori numerici di riferimento cambiano da territorio a territorio.

cercati. Inoltre, osservando i risultati riportati in fig. 8,a,b, si nota come CPAR presenti alti valori (bassa compattezza) in corrispondenza di poligoni frastagliati e di grandi dimensioni (rappresentati in scuro), ma non sempre ciò identifica un allungamento; IA al contrario, presenta valori bassi per tali poligoni, distinguendo meglio quindi le formazioni lineari da quelle semplicemente irregolari e/o molto estese.

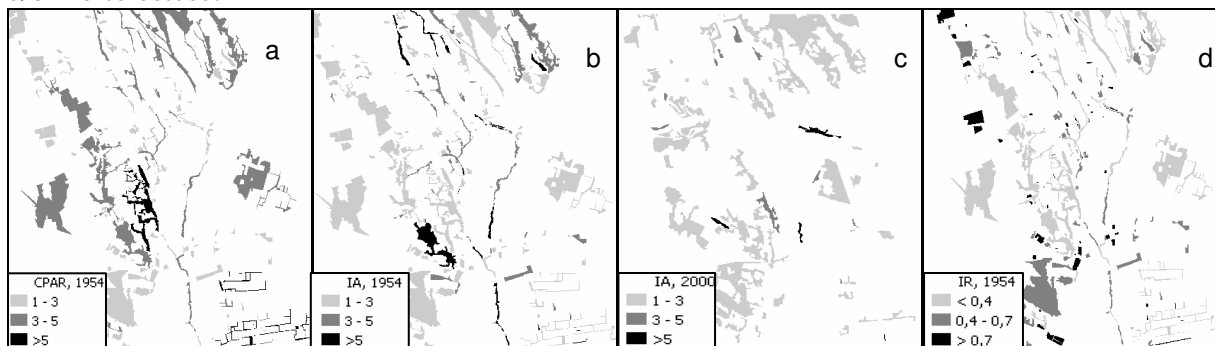


Fig. 8 – a-b: confronto tra CPAR e IA, Zona Sud, 1954; b-c: confronto tra IA alle due soglie; d: l'indice di riempimento IR al 1954. In scuro valori elevati degli indici.

Conclusioni, limiti e ulteriori sviluppi

La metodologia proposta è finalizzata a semplificare e velocizzare alcune operazioni di caratterizzazione geometrica delle patch quando si cerca di qualificarne l'allungamento in opposizione alla compattezza. I primi risultati mostrano che gli indici suggeriti ben si

		NORD			SUD		
		1954	2000	Variazione %	1954	2000	Variazione %
FR	%	35,58	34,94	-1,80%	6,23	5,95	-4,49%
MPS	ha	11,20	11,83	+5,60%	2,44	4,65	+90,74%
PD	n./km ²	8,93	8,45	-5,30%	41,02	21,51	-47,57%
CPAR (media)	-	1,92	1,88	-2,08%	2,13	1,95	-8,45%
HRD	m/ha	9,19	7,64	-16,83%	24,13	4,68	-80,60%
PN	-	158	138	-12,66%	249	122	-51,00%
IA (media)	-	1,98	1,99	+0,51%	3,31	2,72	-17,82%
IR (media)	-	0,55	0,57	+3,63%	0,58	0,53	-8,62%

Fig. 9 – Il calcolo diacronico del set di indicatori scelti

prestano a questa valutazione anche in aree fluviali, dove prevalgono formazioni boscate allungate e irregolari. Sebbene non sia possibile e utile stabilire valori numerici di riferimento, variabili con le aree di studio considerate, alcune classi di forma (es. le forme compatte, allungate o meno) sono più facilmente identificabili di altre (es. le forme frastagliate e poco compatte).

Gli indici discussi, se usati diacronicamente, possono consentire di valutare le modifiche di geometria avvenute nel tempo distinguendo tra allungamento o riempimento; inoltre, messi a sistema con i già consolidati indicatori di frammentazione, composizione e forma, costituiscono un valido strumento per il monitoraggio delle aree fluviali e quindi di sostegno per le politiche di governo del territorio, in tutte le sue componenti ambientali e paesistiche.

Riferimenti

- Baker W.L., Cai Y., (1992), The *r.le* programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographic information system. *Landscape Ecol.* 7:291-302.
- Forman, R.T.T. (1995), *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Krummel, J. R., R. H. Garner, G. Sugihara, R. V. O'Neill, and P. R. Coleman (1987). *Landscape patterns in a disturbed environment*. *Oikos* 48:321-31
- McGarigal K., Marks B. J., (1995), FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351.
- Pileri P., Bocchi S., Gomasca S., Sedazzari M., (2004), L'indicatore siepe-filare per il monitoraggio e la pianificazione; *Atti del Convegno Int.le 'Il sistema rurale - Una sfida per la progettazione tra salvaguardia, sostenibilità e governo delle trasformazioni'*, Milano, ott. 2004.