

CAPITOLO 3

GLI OPERATORI FOCALI

Parte A. Teoria e metodi

Introduzione

In questo capitolo analizzeremo in maggiore dettaglio una delle classi di funzioni di map algebra maggiormente impiegate per la costruzione di modelli di analisi territoriale: le funzioni focali. Come definito nel capitolo 1, le funzioni focali, definite anche filtri o operatori a finestra mobile, analizzano l'intorno geografico di un determinato pixel restituendone il risultato al pixel medesimo. Gli algoritmi a finestra mobile ripetono poi l'analisi per tutti i pixel dell'immagine spostando, appunto, la finestra di analisi al pixel successivo fino a completare l'elaborazione per tutti i pixel dell'immagine.

Il campo di applicazione degli operatori focali alla pianificazione territoriale è estremamente ampio: esempi di applicazione di operatori a finestra mobile sono quelli impiegati per derivare immagini di pendenza o di esposizione a partire da un Modello Digitale del Terreno (DEM). Frequenti anche le applicazioni finalizzate all'analisi delle strutture paesaggistiche tramite specifici indici di ecologia del paesaggio o le pre-elaborazioni delle immagini telerilevate.

Tipologie di operatori focali

Senza la pretesa di essere esaustivi, le tipologie di operatori di maggior interesse per la pianificazione territoriale che saranno analizzate nel presente capitolo sono le seguenti:

- Filtri: si basano su funzioni matematiche e statistiche anche elementari ed hanno un impiego generalizzato che può andare dal miglioramento e elaborazione di immagini telerilevate, all'analisi di fenomeni territoriali in modelli anche complessi.

- Indici di ecologia del paesaggio: applicano modelli derivanti da diverse discipline (teoria della localizzazione, teoria della informazione, ecc.) e sono finalizzati ad elaborare dati di interesse ecologico, quali carte dell'uso del suolo, della vegetazione ecc.

- Indici di analisi geomorfologica: sono studiati per descrivere forme di uso del suolo ed estrarre parametri di interesse geografico; si applicano generalmente su modelli digitali del terreno, prevalentemente di elevazione.

Gli operatori focali hanno però un uso che, seppur maggiormente specialistico, può comunque avere rilevante interesse per elaborare modelli di analisi territoriale applicandosi a discipline anche molto diverse fra loro: si può citare la geografia storica quantitativa¹ e la idrologia.

¹ Macchi G. (2007) Geografia storica dell'incastellamento. Edizioni All'insegna del giglio.

I filtri

Per filtro si intende una funzione sfocale che esegue una trasformazione dell'immagine di tipo lineare (generalmente una somma pesata). Elemento caratteristico del filtro è la cosiddetta "finestra mobile", chiamata in inglese anche *template* o *kernel*. Una finestra mobile è una matrice di numeri (generalmente quadrata con numero di righe e colonne dispari, ma possono essere usate anche configurazioni diverse e più complesse) che viene fatta scorrere sistematicamente sul dato raster (figura 1). Ad ogni cella del dato raster sotto elaborazione, viene applicata una somma pesata degli elementi definiti dalla finestra mobile. Ad esempio la finestra mobile della figura 2, avendo tutti i coefficienti uguali ad $1/(\text{numero celle del kernel})$, calcola la media delle 8 celle intorno alla cella in esame. In altre parole, il primo valore della matrice risultato si ottiene con il seguente calcolo:

$$0,15 \times 1/9 + 0,8 \times 1/9 + 0,4 \times 1/9 + 0,8 \times 1/9 + 0,1 \times 1/9 + 0,1 \times 1/9 + 0,75 \times 1/9 + 1 \times 1/9 + 1 \times 1/9 = 0,59$$

Le celle di bordo della matrice spesso non vengono elaborate, e la matrice risultato ha dimensioni effettive minori di quella di input, oppure possono essere stimate con la procedura di "ripiegamento della finestra già illustrata nel capitolo 2.

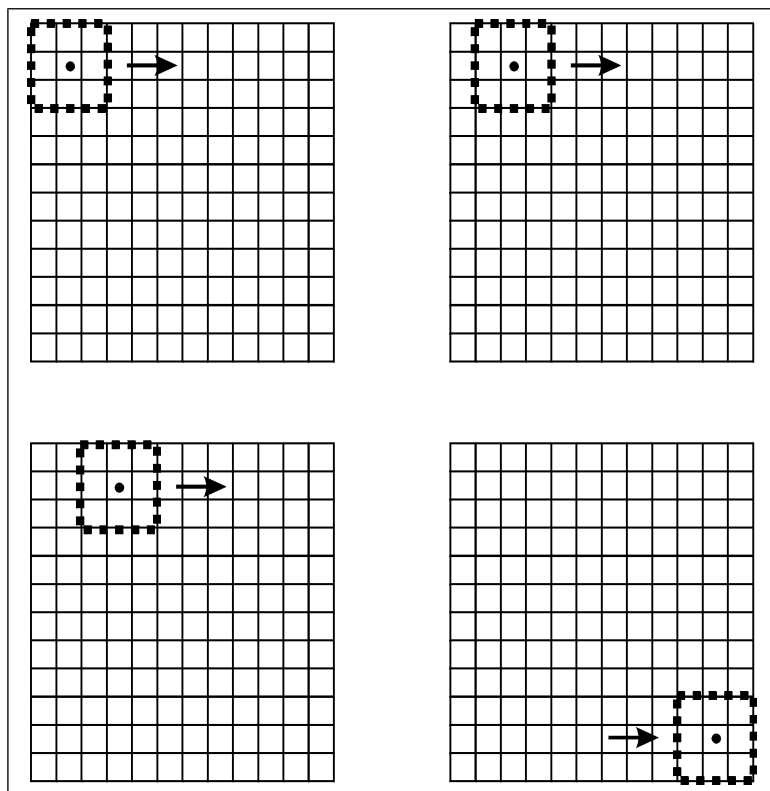


Figura 1. Il concetto di finestra mobile

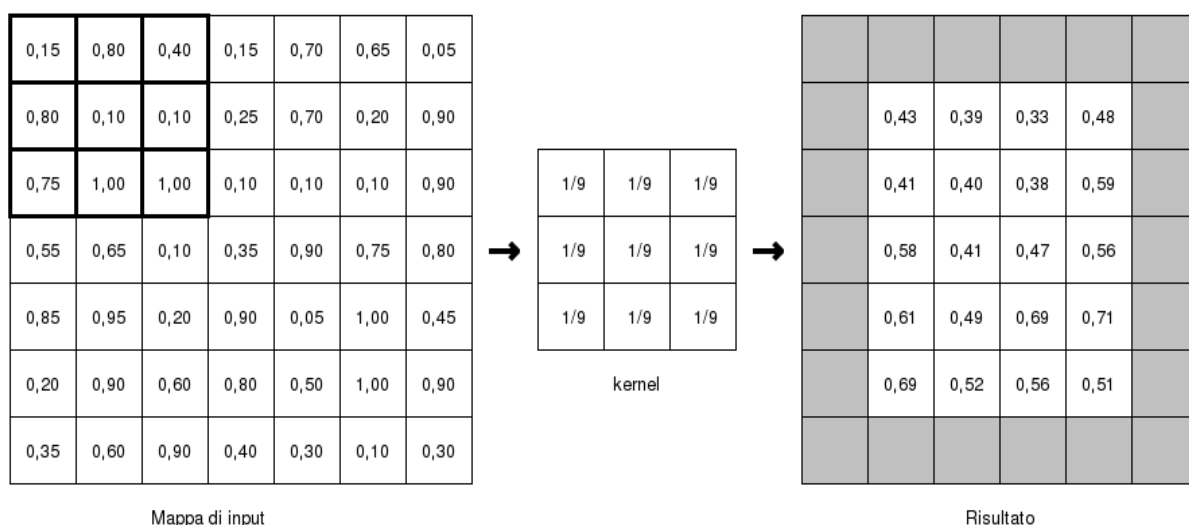


Figura 2. Filtro media

Variando i coefficienti del filtro posso ottenere risultati diversi. Per esempio è possibile definire tramite kernel contenenti valori 0 filtri con forme più o meno complesse, come quell riportata in figura 3 che calcola sempre una media, ma con un kernel che ha la forma di un quadrato snussato.

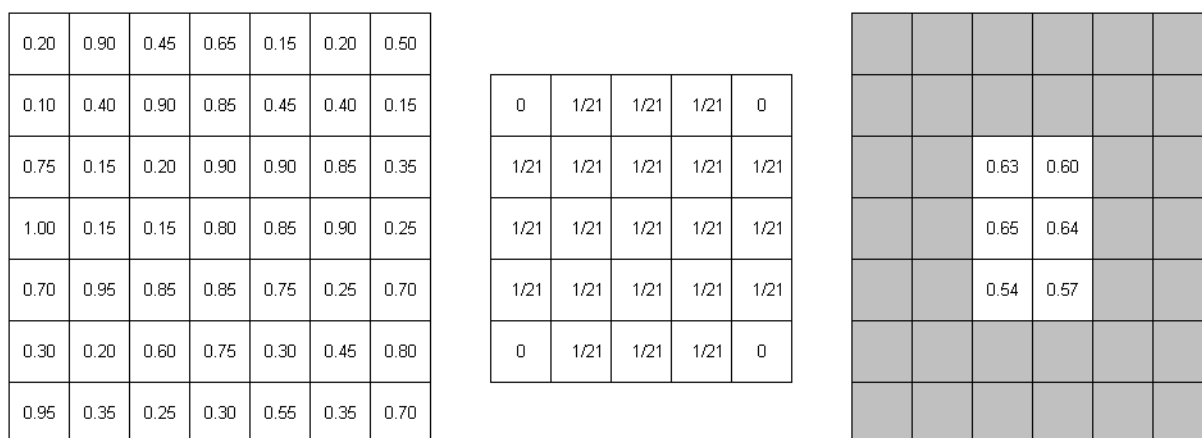


Figura 3. Esempi di diversi tipi di finestra mobile.

Alcuni esempi notevoli di filtro

Oltre alla media, le finestre mobili possono avere diverse formulazioni. Le più semplici sono i cosiddetti “filtri”; originariamente formulati nel settore del telerilevamento per migliorare la leggibilità di immagini, possono avere impieghi molto più generalizzati. In questo capitolo analizzeremo i filtri più comuni.

I filtri passa basso. La caratteristica fondamentale dei filtri passa basso è che i loro coefficienti hanno somma pari a 1. La media è un classico esempio di filtro passa basso, ma esistono altre configurazioni, come la seguente:

	1	2	1
1/5	2	3	2
	1	2	1

Caratteristica dei filtri passa basso è quella di sfocare una immagine (figura 4). Se applicati ad altre tipologie di dati hanno però l'effetto di "generalizzare" il dato sul contesto territoriale e per questa loro caratteristica si prestano, come vedremo, ad interessanti applicazioni.

I filtri passa-alto. Hanno la somma dei coefficienti pari a zero e generalmente combinano coefficienti positivi e negativi. Esempi di filtro passaalto sono i seguenti:

-1	-1	-1	0	-1	0	1	-2	1
-1	8	-1	-1	4	-1	-2	4	-2
-1	-1	-1	0	-1	0	1	-2	1

Caratteristica tipica dei filtri passaalto è quella di esaltare le discontinuità, soprattutto nel caso di elementi lineari (strade, fiumi, ecc.). L'impiego di questo operatore è tipico del telerilevamento.

I filtri gaussiani. Il filtro gaussiano è un particolare tipo di filtro pesato nel quale il contributo di ogni pixel della finestra mobile è inversamente proporzionale alla sua distanza dalla cella centrale secondo una funzione di tipo Gauss (Figura 5). Se applicato a dati tematici il senso dell'analisi è simile a quello del filtro passa basso,, ma il contributo del valore un particolare pixel sul risultato finale è pesato in modo inversamente proporzionale alla distanza dal centro della finestra. Come vedremo, questo tipo di filtro è molto usato in analisi del paesaggio.

Figura 4. Filtri passa basso e passa alto

La notazione esplicita

Per poter costruire operatori focali complessi è utile definire in modo esplicito la struttura di un filtro in modo da poterlo inserire in formulazioni tipiche della map algebra. La notazione generalmente adottata è la seguente.

$$map[r,c]$$

dove r ed s rappresentano lo spostamento (offset) rispetto alla cella a cui si riferisce l'operazione. In una finestra 3x3 i diversi offset sono riportati nella seguente tabella.

-1,-1	0,-1	1,-1
-1,0	0,0	1,0
-1,1	0,1	1,1

In altre parole $map[1,0]$ indica la cella subito a EST nella finestra in esame, $map[-1,-1]$ indica la cella a NordOvest e così via.

Adottando tale convenzione il filtro passa abasso può così essere definito nell'ambito di formule di map algebra:

$$(map[-1,1]+map[0,1]+map[1,-1]+map[-1,0]+map[0,0]+map[1,0]+map[-1,0]+map[0,1]+map[1,1])/9$$

Questa notazione consente di costruire funzioni focali anche complesse che coinvolgono più mappe di input, come nel seguente esempio che assegna valore 1 alle celle che hanno nel kernel contemporaneamente almeno un'area idrica (codice uso 5) e almeno un'area urbana (codice uso 1).

$$(map[-1,1]=1 \text{ OR } map[0,1]=1 \text{ OR } map[1,-1]=1 \text{ OR } map[-1,0]=1 \text{ OR } map[0,0]=1 \text{ OR } map[1,0]=1 \text{ OR } map[-1,0]=1 \text{ OR } map[0,1]=1 \text{ OR } map[1,1]=1) \text{ AND } (map[-1,1]=5 \text{ OR } map[0,1]=5 \text{ OR } map[1,-1]=5 \text{ OR } map[-1,0]=5 \text{ OR } map[0,0]=5 \text{ OR } map[1,0]=5 \text{ OR } map[-1,0]=5 \text{ OR } map[0,1]=5 \text{ OR } map[1,1]=5)$$

L'utilizzo della notazione stesa consente di effettuare elaborazioni anche complesse, costruendo dei veri e propri modelli di simulazione, come verrà illustrato nel capitolo Y.

Figura 5. Esempio di filtro gaussiano 5×5.

Gli indici di diversità paesaggistica

Un impiego di tipo più specifico delle metodologie basate su finestra mobile è l'analisi della eterogeneità dei mosaici paesaggistici. L'eterogeneità territoriale è infatti correlata a molte importanti funzioni ambientali, quali gli equilibri ecosistemici, la capacità di regimare le acque, la biodiversità, ecc.. Queste tecniche di analisi si applicano a mappe di unità di paesaggio e, tramite indici quantitativi, misurano i diversi aspetti di diversificazione spaziale di un mosaico territoriale. La letteratura specializzata ha proposto numerosi indici di eterogeneità, tra i più noti si possono citare i seguenti.

Indice di ricchezza di tipologia. Misura il numero di tipologie presenti nella finestra mobile. Dato l'esempio di figura x, l'indice di ricchezza è riportato in figura x.

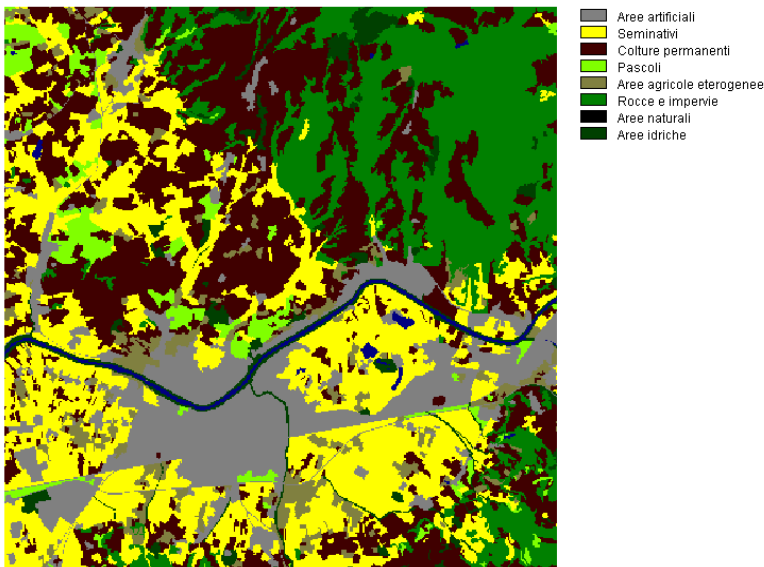


Figura x.

Variety in a radius of 5 in [W1_classi_div]

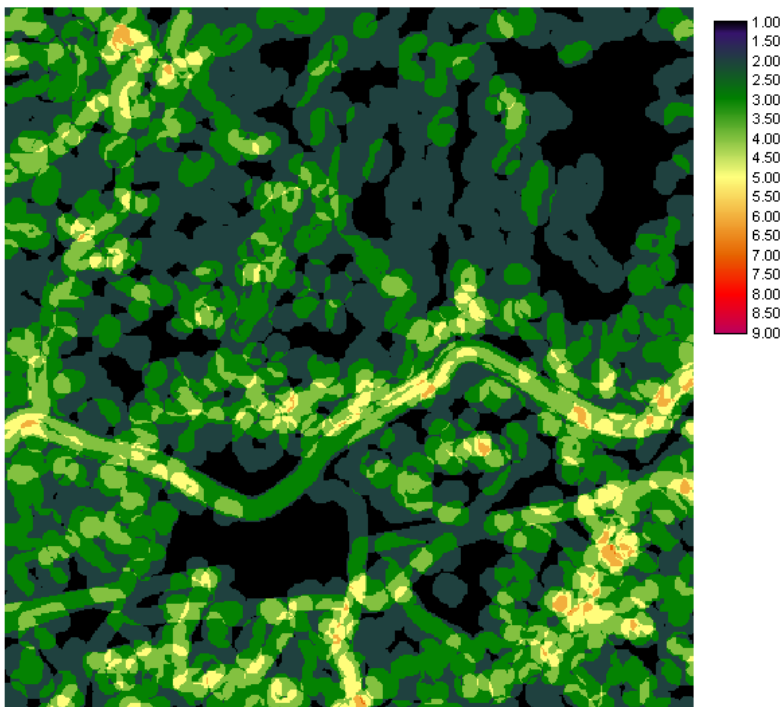


Figura x. Indice di ricchezza calcolato con finestra mobile circolare di 5 celle di raggio.

Indice di diversità di Shannon-Wiener (H). Considera ricchezza e estensione delle tipologie nella finestra combinate nella seguente formula

$$H = - \sum_{k=1}^m (p_k) \log_2(p_k)$$

dove “ p_k ” rappresenta l’area relativa del tipo k -esimo rispetto all’area della finestra mobile e “ m ” il numero totale di tipi. L’indice tende a zero quando la superficie indagata è occupata da pochissime tipologie di copertura dove una sola è dominante (in termini di area relativa) sulle altre, tende ad infinito se un altissimo numero di tipologie (tendente a infinito) occupano la stessa area relativa su una superficie (quindi sono equiripartite). Nella pratica sembra non eccedere il valore di 5. In un sistema ambientale con un numero m di tipi, inoltre, non può assumere un valore maggiore di:

$$H_{\max} = \log_2(m)$$

corrispondente alla diversità che si avrebbe se le m tipologie nel kernel avessero esattamente la stessa estensione, ossia fossero perfettamente equiripartite sull’area.

Equiripartizione (J). Viene calcolata confrontando la situazione di diversità reale con quella potenziale di massima equiripartizione:

$$J = H/H_{\max}$$

Può assumere valori compresi tra zero ed 1. Tende a zero quando all’interno di un pool di tipologie ne esiste una che è fortemente dominante sulle altre, cioè che ricopre quasi interamente l’area; è uguale a 1 quando le estensioni relative delle tipologie sono uguali. L’esempio di calcolo dell’indice di Shannon per l’esempio precedente è riportato in figura x.

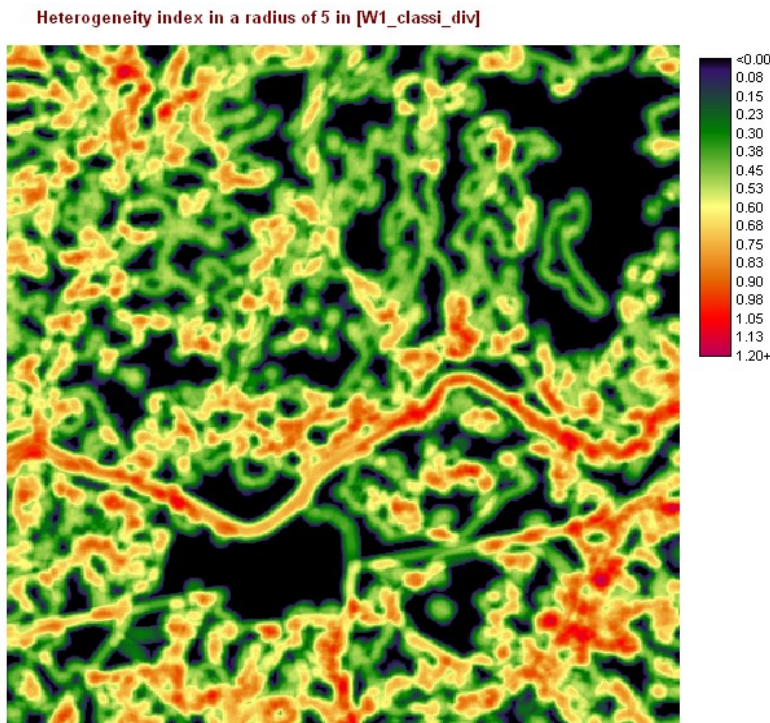


Figura x. Indice di Shannon.

Densità di margini (Edge Density). Con il termine edge si indica il confine tra due classi differenti. La densità i margine (misurata in metri per ettaro) è uguale alla somma di tutti i perimetri di una data classe divisa per l'area totale della finestra mobile, espressa in ettari.

La densità di mkargine (ED) si calcola:

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{i,k}}{A} \cdot 10000$$

con $e_{i,k}$ lunghezza totale in metri del bordo del patch k della classe i , ed A la superficie totale (m^2) dell'area indagata. L'indice cresce al crescere della complessità della distribuzione dei pixel di una classe, nonché dell'eterogeneità del mosaico che costituisce la scena. Può assumere qualunque valore maggiore od uguale a zero. L'esempio di calcolo dell'*edge density* è riportato in figura x.

Perimeter/area ratio in a radius of 5 in [W1_classi_div]

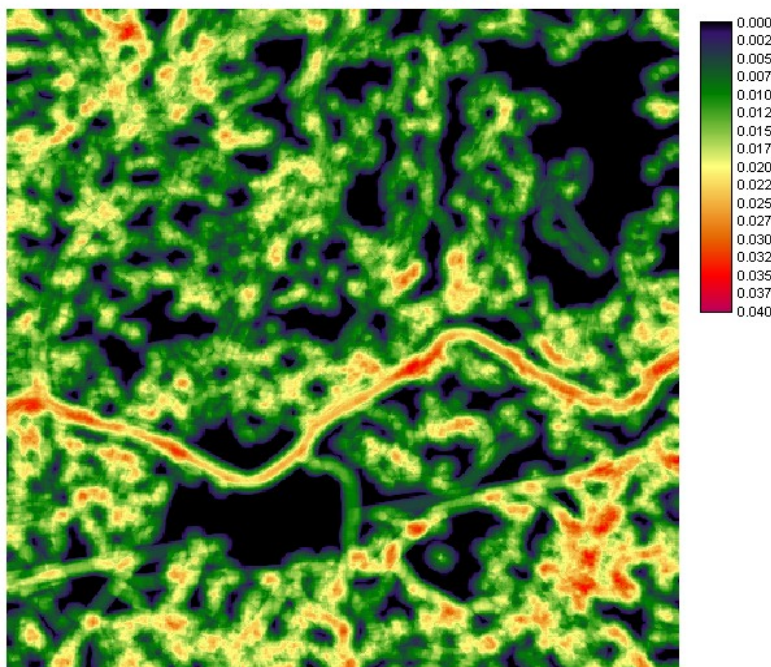


Figura x. Edge density index

E' evidente come la elaborazione degli indici di diversità paesistica sia fortemente influenzata dalla scelta di due elementi tipici e critici:

- la cosiddetta "risoluzione tematica" del dato di input, cioè il maggior o minore dettaglio di diversificazione dei tipi territoriali che compongono il mosaico paesistico;
- la dimensione della finestra mobile.

La tematica in esame è ancora piuttosto complessa e dibattuta; sintetizzando un ampio dibattito i principali temi di discussione sono i seguenti.

Identificazione dei tipi territoriali a cui riferire l'analisi paesistica. Tale problematica è strettamente legata allo scopo della valutazione della eterogeneità. Inanzitutto è opportuno distinguere fra analisi di ecologia del paesaggio e analisi di qualità visiva del paesaggio. Nel primo caso il dato tematico in input è costituito dai diversi habitat presenti nell'area, mentre nel secondo caso si farà riferimento a mappe di uso del suolo. Problematica comune è poi quella di definire unità

omogeneamente diverse fra di loro, in modo da non creare situazioni di eterogeneità fittizie. A titolo di esempio possiamo esaminare la classificazione utilizzata per la basi dati CORINE Land Cover, già incontrata al precedente capitolo e riportata per esteso in appendice al presente capitolo. La legenda è basata su codici scalari su tre livelli di successivo dettaglio². Ai fini di una analisi paesistica, si possono fare le seguenti considerazioni. Innanzitutto è da valutare, sulla base dello scopo della valutazione della eterogeneità, a quale livello effettuare l'analisi: a scala ampia per valutazioni di tipo paesaggistico molti autori utilizzano solamente il secondo livello. Inoltre le classi dei territori artificiali (da 11 a 14 considerando i codici di secondo livello. non riportano reali differenziazioni, al contrario alcune classi, come la 24 “Zone agricole eterogenee” è sono caratterizzate da una diversità intrinseca. Per tale motivo è spesso necessaria una riclassificazione dei dati per poter compensare queste fenomeni; allo scopo si riporta una riclassificazione dell'uso del suolo ufficiale dell'Unione Europea impiegata a fini di analisi su scala regionale (tabella x).

code	CLC (level 2)	code	Aggregation
1.1	Urban fabric	1	Artificial surfaces
1.2	Industrial, commercial and transport units		
1.3	Mine, dump and construction sites		
1.4	Artificial, non-agricultural vegetated areas		
2.1	Arable land	2	Arable land
2.2	Permanent crops	3	Permanent crops
2.3	Pastures	4	Pastures
2.4	Heterogeneous agricultural areas	5	Heterogeneous agricultural areas
3.1	Forests	6	Forests
3.3	Open spaces with little or no vegetation	7	Mineral surfaces
3.2	Shrub and/or herbaceous vegetation associations	8	Natural vegetation
4.1	Inland wetlands		
4.2	Coastal wetlands		
5.1	Continental waters	9	Water bodies
5.2	Marine waters		

Tabella x. Classificazione del Corine Land Cover in nove classi per analisi paesaggistiche.

Identificazione della dimensione della finestra mobile. Finestre ampie rischiano di “appiattare” l'analisi, mentre finestre strette esaltano solamente le zone di confine fra le diverse unità territoriali, come evidenziato in figura x.

² L'applicazione illustrata è contenuta in: "From land cover to landscape diversity in the European union" – joint publication DG AGRI, Eurostat, JRC Ispra, EEA - 2000 - 112 pages.

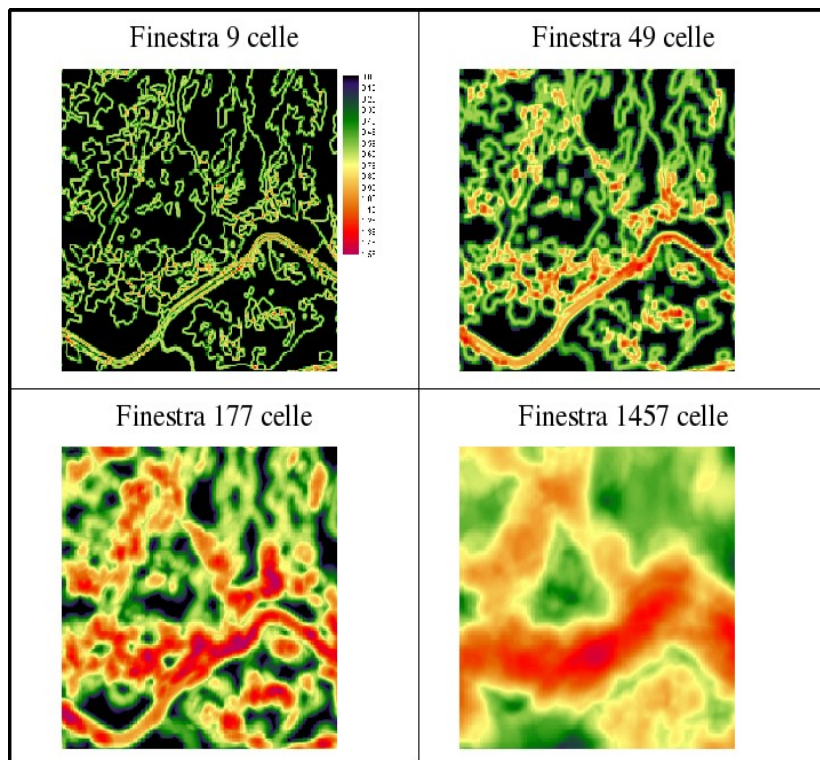


Figura x.

Sulla base di tali considerazioni la dimensione della finestra dipende quindi: a) dal tipo di analisi: se si vogliono enfatizzare fenomeni di transizione fra classi si debbono usare finestre piccole, se invece sono importanti fenomeni derivanti dal mosaico territoriale sono preferibili finestre ampie; b) dalla risoluzione dell'immagine: la dimensione della finestra sarà inversamente proporzionale alla risoluzione.

Per poter razionalizzare il più possibile la scelta di una dimensione appropriata è inoltre necessario considerare che all'aumentare della dimensione della finestra mobile aumenta la probabilità di comprendere al suo interno un maggior numero di tipologie di unità territoriali. Considerando la presente classificazione, finestre di piccola dimensione avranno poche probabilità di avere al loro interno tutte e le classi presenti in legenda mentre tale probabilità aumenterà con finestre di maggiori dimensioni.

Come evidenziato in figura x, la dimensione più efficiente della finestra è quella che rende massimo il campo di variazione dell'indice e dipende fortemente dal numero di classi che definiscono le unità territoriali: sempre in linea generale al crescere del numero di classi dovrà crescere la dimensione della finestra.

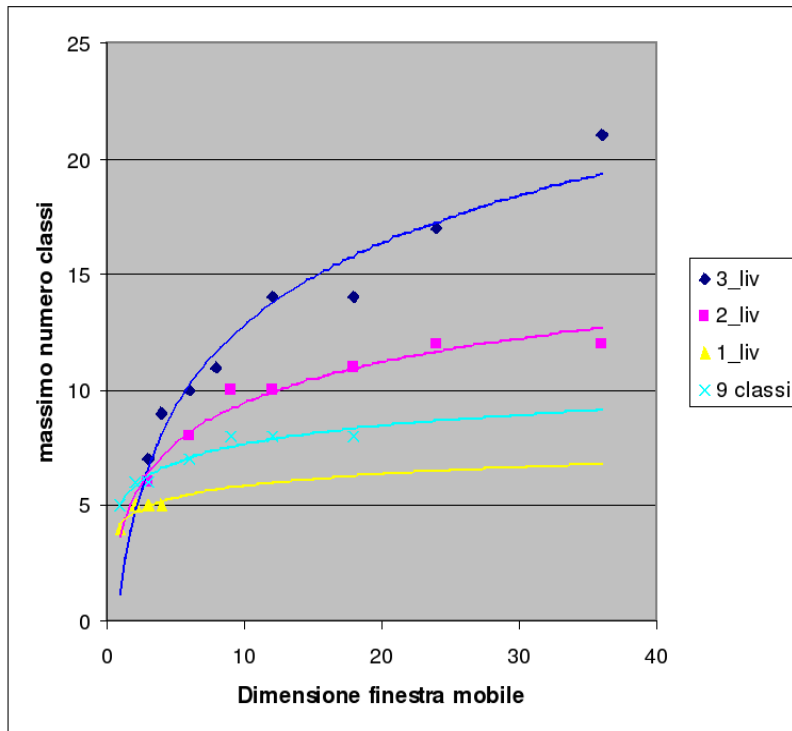


Figura x.

Gli indici di analisi geomorfologica

La geomorfologia quantitativa (detta anche geomorfometria) permette di ottenere una misura della forma del paesaggio. Al contrario del caso precedente, gli indici di analisi geomorfologica analizzano il paesaggio sulla base di un parametro quantitativo prevalente cioè l'elevazione. Gli indici geomorfometrici hanno utilità in numerose discipline in quanto permettono di caratterizzare fenomeni di erosione, di rischio idrogeologico, di habitat per specie vegetali e animali. Hanno inoltre particolare importanza nella definizione di unità di paesaggio per analisi ambientali e territoriali.

Gli indici geomorfometrici, a livello teorico, fanno largo uso del concetto di derivata di funzioni matematiche rappresentative delle forme del terreno ricavate per interpolazione; dal punto di vista pratico però la difficoltà e la complessità di tale procedimento hanno portato all'impiego sempre più diffuso di formule approssimate basate sul modello raster. Dato il tema trattato, nella trattazione si privilegerà quest'ultimo approccio adottando la notazione esplicita per definire le celle confinanti alla cella corrente in una mappa generica. Ciò premesso, gli indici geomorfometrici maggiormente utilizzati sono i seguenti.

Indici di base: pendenza. Può essere definita come un gradiente unitario di elevazione ed è il più semplice indice geomorfometrico. A livello di calcolo differenziale la formula di base è quella di Dozier e Strahler³:

$$pendenza = \text{atan} \sqrt{(\delta z / \delta x)^2 + (\delta z / \delta y)^2}$$

³ Dozier, J., and Strahler, A. H., 1983, Ground Investigations in Support of Remote Sensing, In Manual of Remote Sensing, Vol. 1, edited by R. N. Colwell (Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry).

Con $\delta z/\delta x$ e $\delta z/\delta y$ derivate parziali della elevazione z rispettivamente nelle direzioni E-O e N-S e \arctan arcotangente o tangente inversa. L'approssimazione delle derivate su una finestra 3x3 può essere effettuata tramite il metodo di Horn⁴:

$$[\delta z/\delta y]_{y,x} = \frac{(DEM(-1,-1) + 2 \cdot DEM(0,-1) + DEM(-1,1) - DEM(1,1) - 2 \cdot DEM(0,1) - DEM(1,1))}{8 \cdot \Delta X}$$

$$[\delta z/\delta x]_{y,x} = \frac{(DEM(-1,-1) + 2 \cdot DEM(-1,0) + DEM(-1,1) - DEM(1,-1) - 2 \cdot DEM(1,0) - DEM(1,1))}{8 \cdot \Delta Y}$$

con DEM modello digitale di elevazione del terreno, definito come un dato raster della elevazione sul livello del mare; Δx e Δy risoluzione verticale e orizzontale del dato raster. In notazione matriciale si può scrivere:

$$\delta z/\delta x = \frac{\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}}{8 \cdot \Delta X}$$

$$\delta z/\delta y = \frac{\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}}{8 \cdot \Delta Y}$$

Le approssimazioni suindicate possono essere calcolate anche per finestre più ampie, come dimostra il metodo proposto da Frank⁵ basato su una finestra 5x5.

$$\delta z/\delta x = \frac{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 8 & 0 & -1 & -8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}{12 \cdot \Delta X}$$

$$\delta z/\delta y = \frac{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}}{12 \cdot \Delta Y}$$

⁴ Horn, B. K. P., 1981, Hill Shading and the Rectance Map, Proceedings of the I.E.E.E., 69, 14

⁵ Frank T.D. (1988). Mapping dominant vegetation communities in the Colorado mountain front range with landsat thematic mapper and digital terrain data. Photogrammetric engineering and remote sensing Vol. 54 p. 1724-1734

Indici di base: esposizione. Può essere calcolata sulla base delle derivate di cui sopra attraverso la seguente equazione.

$$esposizione = \frac{(\delta z / \delta x)}{(\delta z / \delta y)}$$

Indici di base: curvatura planare e verticale. La forma dei versanti può essere descritta attraverso la combinazione di valori di due indici: la curvatura planare e quella verticale. La curvatura verticale può essere definita come il profilo di un versante tagliato lungo la linea di massima pendenza (figura x); tramite la curvatura verticale è quindi possibile distinguere creste, versanti inclinati in modo concavo o convesso, oppure depressioni e impluvi. La curvatura planare è invece relativa ad una sezione ortogonale alla massima pendenza, in altre parole lungo le curve di livello (figura x).

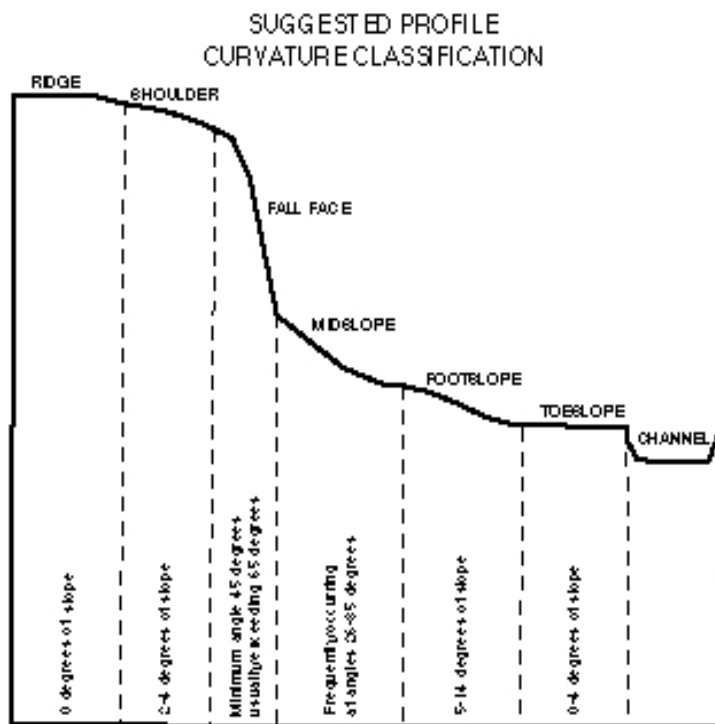


Figura x. Curvatura verticale

Esistono diversi metodi per calcolare tali indici. Il più semplice (anche se ancora abbastanza complesso) è quello approssimato di Zevenbergen e Thorne⁶, sempre basato su un intorno 3x3, che richiede il calcolo dei seguenti 5 coefficienti.

$$D = \frac{(DEM(0,-1) + DEM(0,1))/2 - DEM(0,0)}{L^2}$$

$$E = \frac{(DEM(1,0) + DEM(-1,0))/2 - DEM(0,0)}{L^2}$$

$$F = \frac{(-DEM(1,-1) + DEM(1,1) + DEM(-1,-1) - DEM(-1,1))}{4 \cdot L^2}$$

⁶ Zevenbergen, L.W. and Thorne, C.R. (1987) Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms* 12, pp.47-56. Vedi anche Klingseisen B, Matternich G., Gernot P. (2008) Geomorphometric landscape analysis using a semi-automated GIS approach. *Environmental modelling and software* 1-13

$$G = \frac{-DEM(0,-1) + DEM(0,1)}{2 \cdot L}$$

$$H = \frac{DEM(1,0) + DEM(-1,0)}{2 \cdot L}$$

Con L risoluzione del modello raster. Sulla base di questi parametri è possibile calcolare le seguenti equazioni.

$$plancurvature = \frac{-2(DH^2 + EG^2 + FGH)}{G^2 + H^2}$$

$$verticalcurvature = \frac{-2(DG^2 + EH^2) + FGH}{G^2 + H^2}$$

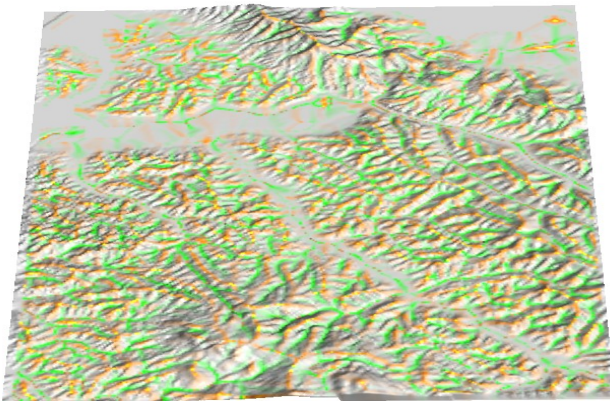


Figura x. Risultato di una operazione di calcolo della curvatura planare: in arancione i valori inferiori, negativi in corrispondenza dei crinali, in verde i valori positivi, corrispondenti agli impluvi, in grigio i valori prossimi allo zero, corrispondenti ai versanti⁷.

⁷ I colori sono stati assegnati sulla base del seguente comando grass:

```
> r.colors map=planar21 color=rules
Enter rules, "end" when done, "help" if you need it.
fp: Data range is -0.7362061226410711034517931 to 1.0116840786162546450555055
> -0.74 white
> -0.02 yellow
> -0.01 orange
> 0 grey
> 0.01 green
> 0.02 brown
> 1.1 black
> end
```

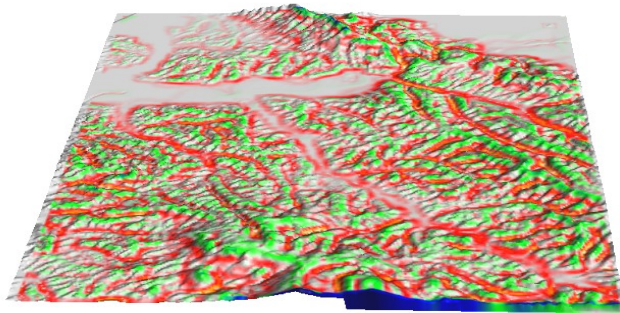


Figura x. Curvatura verticale. In rosso impluvi ed in verde crinali e profili più aspri, grigio versanti lineari e pianure⁸.

Elaborazioni derivate: classificazione morfologica. Tramite gli indici precedentemente esaminati è possibile elaborare metodi di classificazione automatica delle forme morfologiche del terreno (figura x).

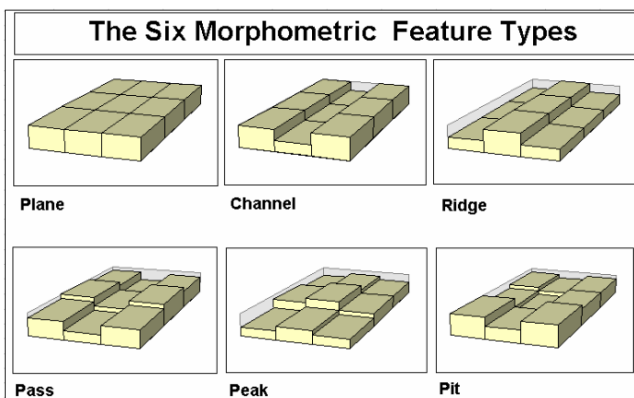


Figura x. Schematizzazione di tipi morfometrici tramite una finestra mobile 3x3.

Tali elaborazione si basano prevalentemente sull'esame dei valori che i parametri pendenza, curvatura verticale e planare assumono a geomorfismi di base. La tabella x riporta alcuni tipi geomorfologici ed i relativi valori degli indici geomorfometrici.

Curvatura verticale

```

8 > r.colors map=vertc21 color=rules

Enter rules, "end" when done, "help" if you need it.
fp: Data range is -0.0006813245390636158728415 to 0.0024811981082411890126016
> -0.0007 white
> -0.0004 orange
> -0.0002 red
> 0 grey
> 0.0003 green
> 0.0009 blue
> 0.003 black
> end

```


		> 0	≈ 0	< 0
Curvatura planare	> 0	Picco	Crinale	Passo
	≈ 0	Versante concavo	Piano o versante piano	versante convesso
	< 0	Passo	Impluvio	Fossa (serbatoio)

Tabella x. Classificazione tipi morfologici.

La figura x riporta un esempio di classificazione morfologica realizzata con il metodo proposto da Wood⁹.

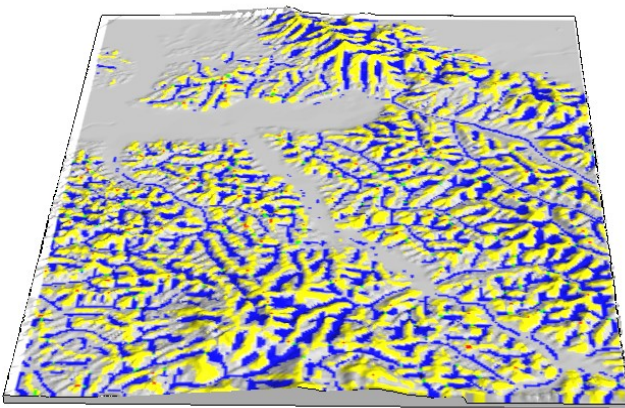


Figura x. Esempio di classificazione morfologica. In grigio le pianure ed i versanti, in bleu gli impluvi, in giallo i crinali, in verde i passi e in rosso i picchi.

Indici geomorfometrici empirici: Sono misure che cercano di caratterizzare il paesaggio sulla base delle differenze di quota. I più utilizzati sono i seguenti.

L'indice di rugosità (ruggedness index) è stato proposto da Riley et al.¹⁰ per evidenziare la differenza di elevazione in un paesaggio. L'indice si basa sul calcolo della radice quadrata della somma delle differenze di quota fra la cella centrale di una finestra mobile e le celle confinanti ognuna elevata al quadrato:

$$ruggedness = \sqrt{\sum_{i=1}^n (DEM_0 - DEM_n)^2}$$

oppure secondo un'altra formulazione:

⁹ Wood J., (1996) The geomorphological characterisation of digital elevation model. PhD thesis, University of Leicester.

¹⁰ Riley S.J., DeGloria, S.D. and Elliot, R. (1999). A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity, *Intermountain Journal of Sciences*, 5:1-4

$$ruggedness = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sqrt{(DEM_0 - DEM_n)}}$$

O ancora, per semplicità di calcolo, l'indice viene calcolato sulla base della deviazione standard della quota.

$$ruggedness = \sqrt{\sum_{i=1}^n (DEM_n - \overline{DEM})^2}$$

Le differenze sono elevate al quadrato, per renderle comunque positive e far sì che non si compensino falsando il risultato.

L'indice di intensità di rilievo invece si basa, più semplicemente, sulla misura della differenza massima di quota nella finestra mobile. Un esempio di calcolo dei due indici empirici di diversità di rilievo è riportato in figura x.

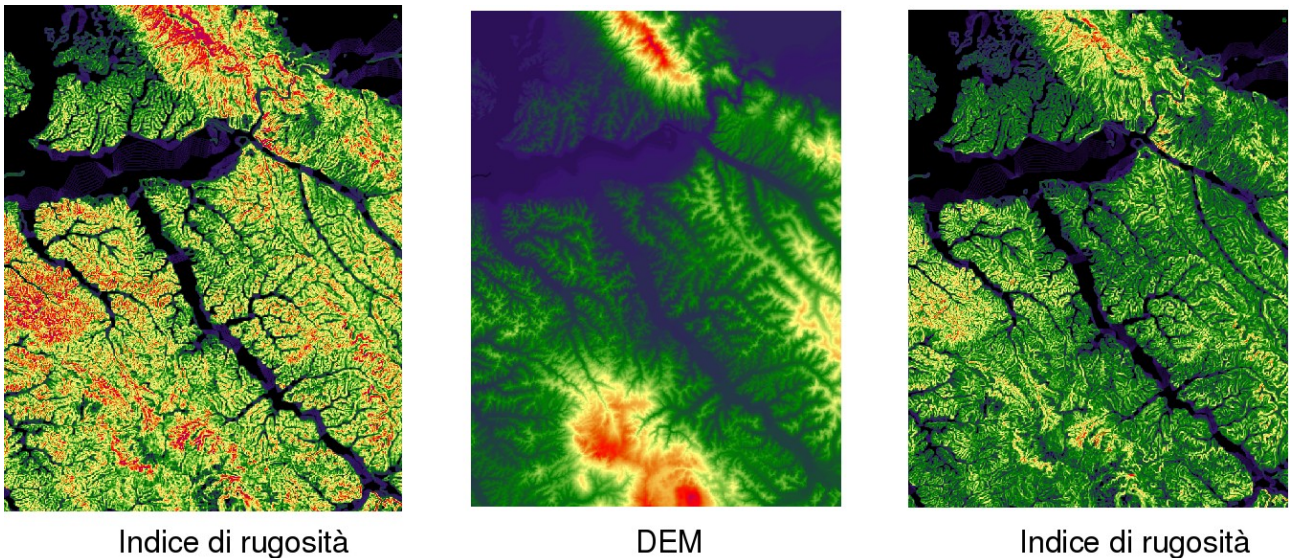


Figura x. Indici empirici di rilievo.

E' da notare che, dividendo il territorio in classi di quota con limiti opportuni, è possibile applicare molti degli indici di diversità paesistica illustrati nel precedente paragrafo anche a dati di elevazione.

Applicazioni dei filtri alla analisi territoriale

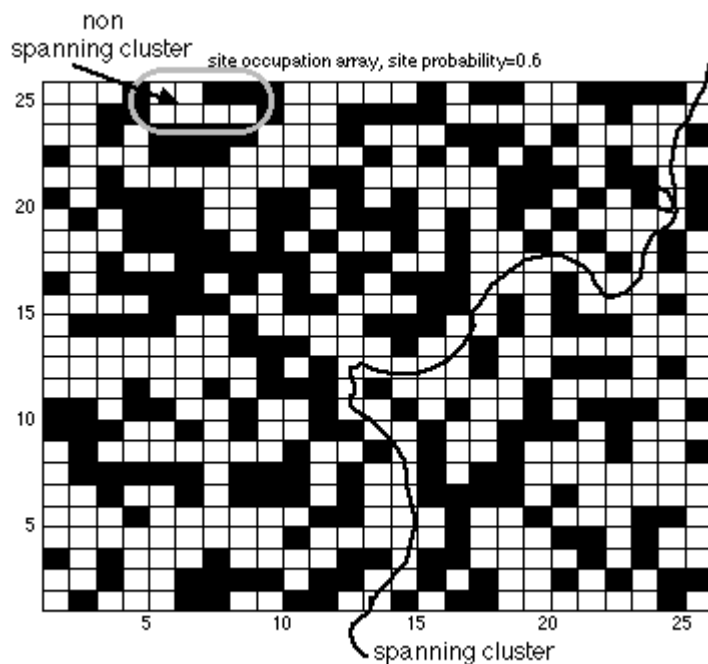
Landscape ecology e teoria della percolazione.

Una interessante applicazione territoriale del filtro passa basso è data dalla valutazione ecologica del territorio tramite la cosiddetta teoria della percolazione¹¹. Tale teoria, nata per descrivere alcune proprietà fisiche dei polimeri, viene comunemente impiegata in Landscape

¹¹ Farina A. (2000). Landscape ecology in action. Kluwer Academic Publisher. Farina A. (2005). Ecologia del paesaggio. UTET, Milano

Ecology per valutare il grado di connettività e/o frammentazione di una determinata matrice paesaggistica. La teoria della percolazione nasce dall'osservazione della diffusione di un organismo (animale ma anche vegetale) nel territorio. Gli spostamenti diretti per proprio movimento (ma anche indiretti per disseminazione e impollinazione come nel caso della vegetazione) di una certa specie sono infatti fortemente condizionati dalla idoneità dell'ambiente incontrato. L'animale si diffonde quindi attraverso successioni di habitat a lui idonei e la diffusione nel territorio può essere modellizzata attraverso un filtro passa basso in quanto, considerando una finestra di analisi quadrata, la probabilità che una certa specie riesca ad attraversare tale finestra cresce proporzionalmente alla percentuale di celle idonee da punto di vista ambientale che si trovano in tale finestra. Prove sperimentali su un grande numero di finestre con disposizioni generate casualmente hanno dimostrato che tale probabilità cresce molto rapidamente e tende a 1 quando la percentuale di pixel attraversabili supera il 60%.

La percorribilità di un territorio per una data specie può quindi essere valutata applicando un filtro media ad una mappa booleana delle localizzazioni territoriali idonee dal punto di vista ecologico. La dimensione della finestra dovrà essere stimata in questo caso in funzione delle capacità di spostamento della specie scelta.



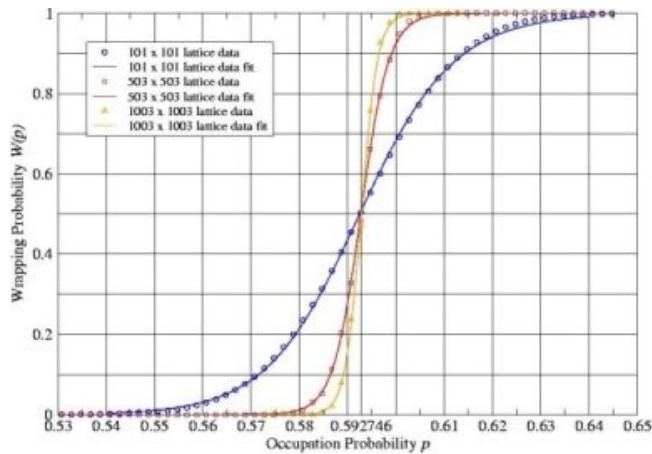


Figura x. Probabilità di attraversamento di una finestra

Per poter applicare la teoria della percolazione per valutare l'idoneità del territorio ad ospitare una certa specie è quindi necessario conoscere le preferenze della specie in termini di caratteristiche ambientali nonché la capacità di spostamento della specie stessa. La capacità di spostamento determinerà la dimensione della finestra del filtro a livello territoriale. La figura x riporta un esempio di scheda, reperibile in internet¹² per tutte le specie di vertebrati, contenente tutte le informazioni necessarie. Seguendo l'esempio riportato le localizzazioni idonee possono essere individuate tramite una mappa dell'uso del suolo ed una mappa delle quote, mentre la dimensione della finestra può essere stimata sulla base della distanza percorsa in fase di dispersione (mediamente 7km) o sulla base dell'home range (mediamente 150 ettari) a seconda della finalità dell'analisi (rispettivamente capacità di diffusione della specie o utilizzo del territorio). La figura x e la tabella x riportano diagramma di flusso e la relativa documentazione del modello.

¹² www.gisbau.uniroma1.it/species.php

Volpe comune
(*Vulpes vulpes*, Linnaeus 1758)

Codice: **526** Corologia: **olartico-orientale**
 Classe: **Mammalia** Origine: **Autoctona**
 Ordine: **Carnivora** Compilatori: **BOITANI L.**
 Famiglia: **Canidae**
 Note: Struttura sociale = alla coppia monogamica possono essere associati individui, generalmente femmine, con ruolo di "helpers".

Dimensione dell'home range: ha
 Dist. percorsa in un ciclo di attività: km
 Dist. percorsa in fase di dispersione: km

RELAZIONE CON L'ALTITUDINE

	Min	Min Opt	Max Opt	Max
Altitudine:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="2000"/>	<input type="text" value="3000"/>

RELAZIONE CON L'USO DEL SUOLO

Categoria CORINE land cover livello 3	Idoneità
1.1.1 Edificato urbano continuo	1
1.1.2 Edificato urbano discontinuo	2
1.2.1 Unità industriali e commerciali	1
1.2.2 Zone di pertinenza delle reti stradali e ferroviarie	1
1.2.3 Aree portuali	1
1.2.4 Aeroporti	1
1.3.1 Aree estrattive	1
1.3.2 Discariche	2
1.3.3 Aree in costruzione	1
1.4.1 Aree urbane verdi	2
1.4.2 Strutture di sport, tempo libero	2
2.1.1 Terre arabili non irrigate	1
2.1.2 Terre irrigate permanenti	1
2.2.1 Vigneti	1
2.2.2 Alberi e arbusti	1
2.2.3 Oliveti	1
2.3.1 Pascoli	1
2.4.1 Seminativi e colture arboree	1
2.4.2 Aree agricole a struttura complessa	2
2.4.3 Aree agricole interrotte da vegetazione naturale	3
2.4.4 Aree agro-forestali	3
3.1.1 Boschi di latifoglie	3
3.1.2 Foreste di conifere	2
3.1.3 Boschi misti	3
3.2.1 Praterie naturali	3
3.2.2 Brughiere	2
3.2.3 Vegetazione a sclerofille	3
3.2.4 Aree di transizione cespugliato-bosco	3
3.3.1 Spiagge e dune	1
3.3.3 Aree con vegetazione sparsa	2

PUNTEGGI DI IDONEITA' AMBIENTALE
 0: non idoneo
 1: bassa idoneità
 2: media idoneità
 3: alta idoneità

Figura x. Esempio di scheda di idoneità territoriale per la volpe comune¹³.

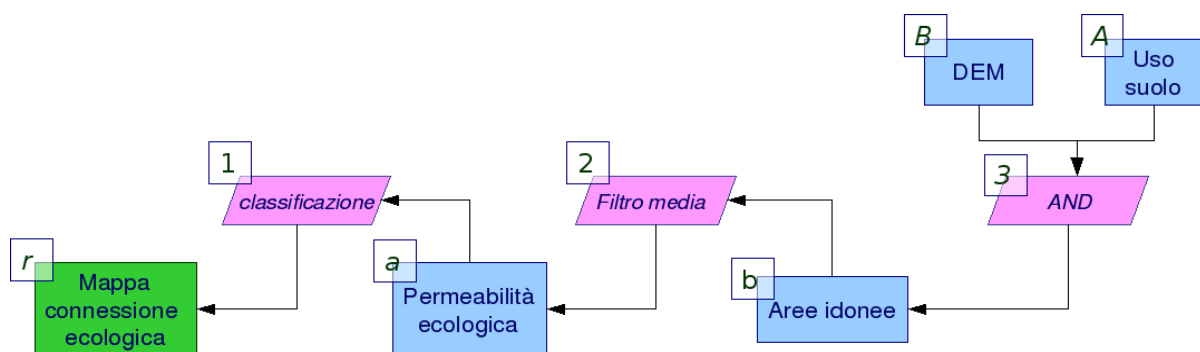


Figura x. Diagramma di flusso rete ecologica

¹³ Tratto da www.gisbau.uniroma1.it

Tabella basi dati			
simbolo	Nome file	Unità misura	Descrizione e legenda
r	ecorete	Binaria	Mappa della connessione ecologica
a	permeabilita	Percentuale	Mappa della permeabilità ecologica
b	idoneita	binaria	Mappa dell'idoneità territoriale per la volpe
A	uso_suolo	Codice	Mappa dell'uso del suolo
B	DEM	Metri	Modello elevazione del terreno

Tabella operatori		
Numero	operatore	Parametri
1	Classificazione	Ecorete = SE permeabilita >= 0.6 ALLORA 1 ALTRIMENTI 0
2	Filtro media	Permeabilita = media_focale(idoneita) dimensione finestra = 7km/risoluzione se applicata al calcolo della connessione per diffusione della specie altrimenti si considera il raggio equivalente ad un home-range di forma circolare e di superficie pari a 150 ettari dimensioni finestra = $\sqrt{1.5/\pi}$
3	AND	Idoneita = SE uso_suolo = (codici alta idoneità) AND DEM < 2000 ALLORA 1 ALTRIMENTI 0

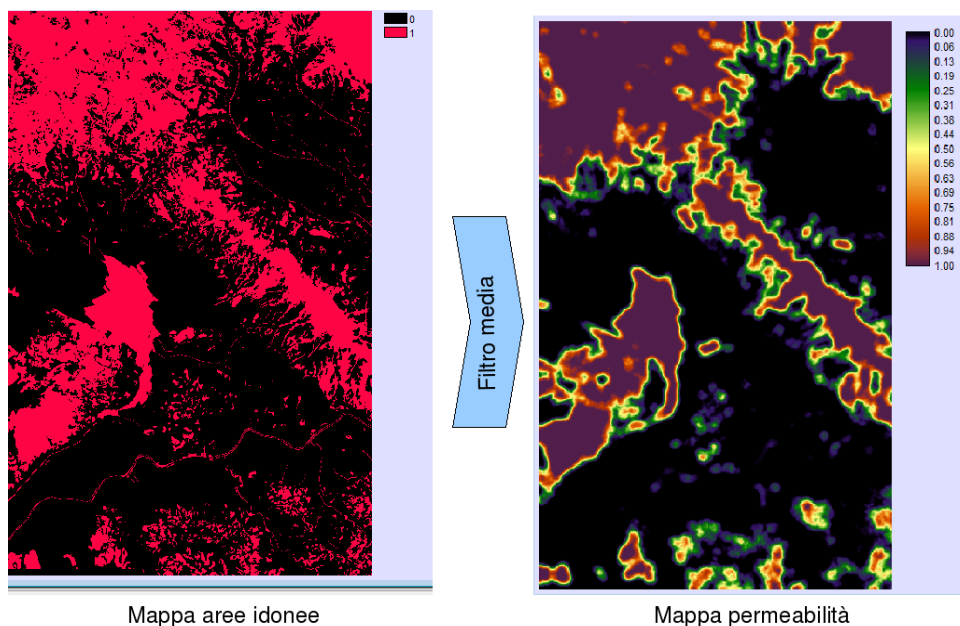


Figura x. Dalla mappa dell'idoneità ambientale alla mappa della (bio)permeabilità.

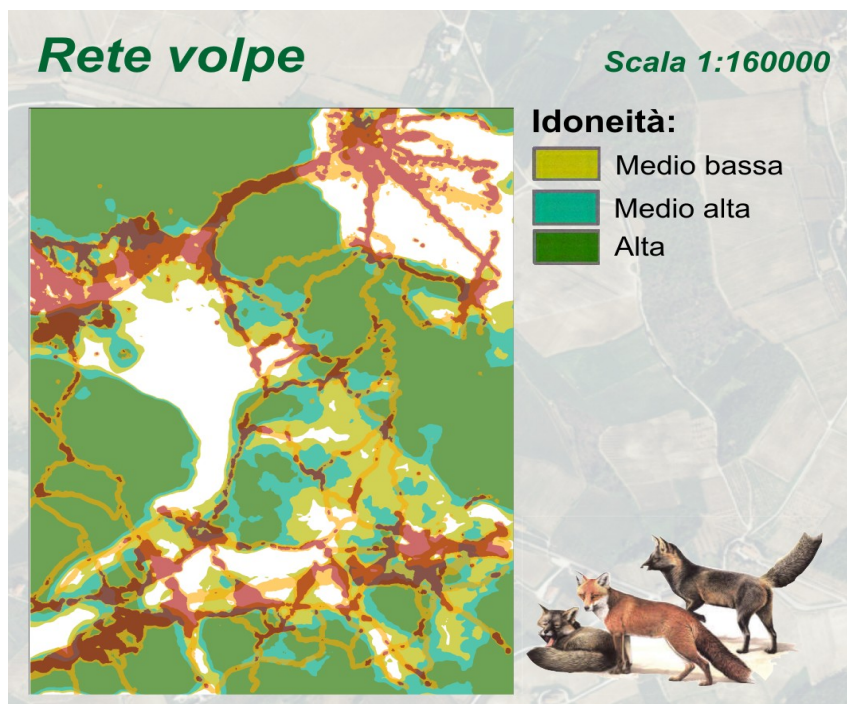


Figura x. Rete ecologica della volpe¹⁴

La densità dell'urbanizzato

Un'altra applicazione dell'analisi focale alla pianificazione territoriale è l'analisi delle forme di espansione dell'urbanizzato. Rimandando alla letteratura specializzata per una analisi del fenomeno dal punto di vista della pianificazione territoriale¹⁵, di seguito si riporterà un semplice metodo di l'analisi delle forme dell'urbanizzazione, derivante dai risultati delle recenti ricerche in materia¹⁶.

L'applicazione del metodo si basa sull'impiego di quattro soglie da individuare sperimentalmente sulla base delle caratteristiche delle superfici urbane presenti nell'area in esame. Le soglie sono descritte in tabella x.

Soglia	Unità di misura	descrizione
alpha	pixels	Dimensione dell'intorno (kernel) del filtro media per il calcolo della densità urbana territoriale
beta	%	Percentuale di densità urbana che individua un nucleo urbano compatto
gamma	Metri quadri	Superficie minima per definire un nucleo urbano come "principale"

¹⁴ Tratto da Belfiore J. Flosi E. Pianificare il territorio per una riconnessione ecologica: una applicazione per la sostenibilità delle infrastrutture stradali. Tesi di laurea in Urbanistica e Pianificazione Territoriale e Ambientale. Università di Firenze.

¹⁵ EEA, Urban sprawl in Europe - The ignored challenge. Document Actions. EEA Report No 10/2006

¹⁶ Angel, S, J. R. Parent, and D. L. Civco. May 2007. Urban Sprawl Metrics: An Analysis of Global Urban Expansion Using GIS. ASPRS May 2007 Annual Conference. Tampa, FL.

Martin Herold, Noah C. Goldstein, Keith C. Clarke, 2003. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. Remote Sensing of Environment 86 (2003) 286 – 302.

H.S. Sudhira, T.V. Ramachandra, , K.S.Jagadish, 2004. Urban sprawl: metrics, dynamics and modelling using GIS. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.

delta	metri	Distanza massima per poter definire una urbanizzazione come “frangia urbana”
-------	-------	--

Tabella x.

Sulla base delle tre soglie il metodo proposto attraverso analisi focali e operatori binari classifica le aree urbane nelle seguenti categorie:

- nuclei urbani principali
- nuclei urbani minori
- aree di frangia urbana
- urbanizzazione dispersa (sprawl)

Il diagramma di flusso impiegato è illustrato in figura x, le tabelle x ed x riportano la documentazione necessaria alla costruzione del modello, infine in figura x mostra i risultati del metodo applicati alla Toscana centrale.

Tabella basi dati			
simbolo	Nome file	Unità misura	Descrizione e legenda
R1	nuclei_principali	binaria	Mappa binaria ei nuclei urbani principali
R2	nuclei_secondari	binaria	Mappa dei nuclei urbani secondari
R3	aree_frangia	binaria	Mappa delle aree di frangia
R4	sprawl	binaria	Mappa delle aree urbane disperse
A	urbanizzato	binaria	Mappa delle aree urbanizzate
a	densita_urbana	percentuale	Densità urbana
b	nuclei_compatti	binaria	Nuclei urbani compatti
c	non_compatto	binaria	Urbanizzato non compatto
d	sup_nuclei_urbani	ettari	Superficie dei singoli nuclei urbani
e	Frangia	binaria	Zone di frangia urbana

Tabella x.

Tabella operatori		
Numero	operatore	Parametri
1	Filtro media	densita_urbana=media_focale(urbanizzato) dimensione della finestra = alpha
2	selezione	nuclei_compatti = SE densita_urbana > beta ALLORA 1 ALTRIMENTI 0
3	selezione	non_compatto = SE densita_urbana < beta ALLORA 1 ALTRIMENTI 0
4	Calcolo area	Calcolo dell'area in ettari dei nuclei compatti contigui. La procedura è specifica per ciascun software.
5	selezione	nuclei_principali = SE (sup_nuclei_urbani > gamma AND urbanizzato = 1) ALLORA 1 ALTRIMENTI 0
6	selezione	nuclei_secondari = SE (sup_nuclei_urbani < gamma AND urbanizzato = 1) ALLORA 1 ALTRIMENTI 0
7	buffer	Frangia = buffer _{delta} (nuclei_compatti)
8	AND	Aree_frangia = Frangia AND non_compatto AND urbanizzato
	AND	Sprawl = non_compatto AND NOT Frangia AND urbanizzato

Tabella x.

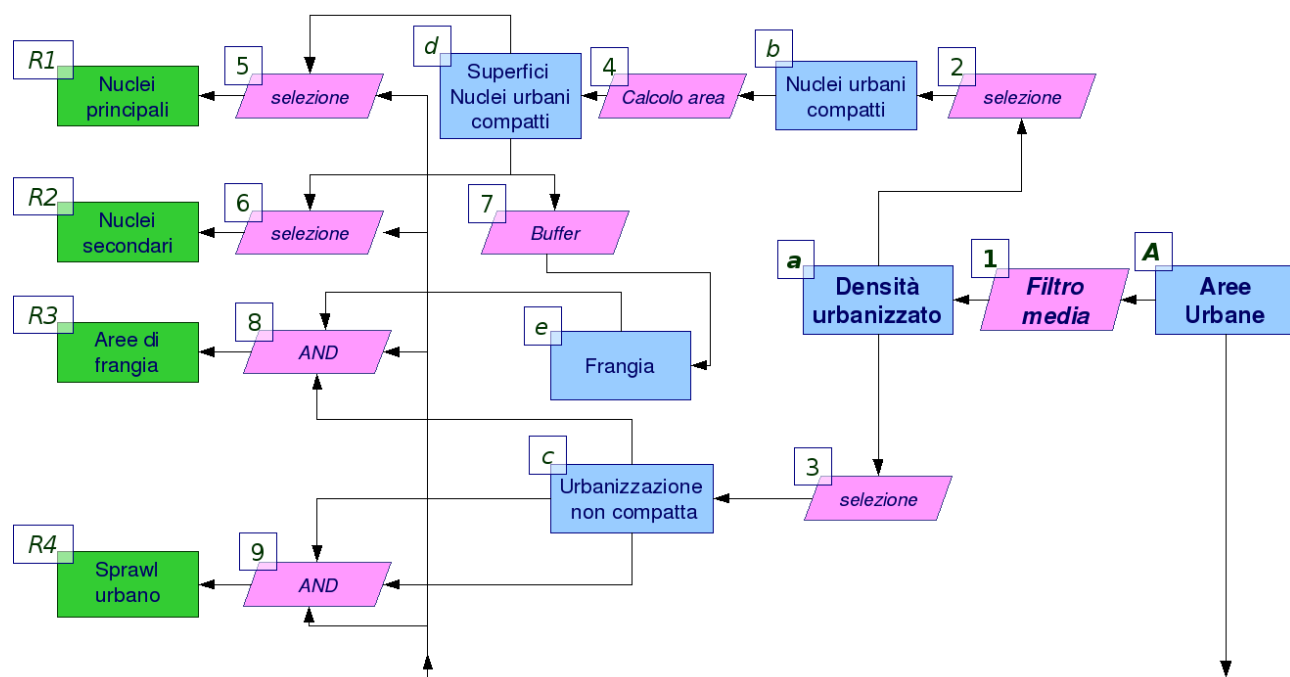


Figura x.

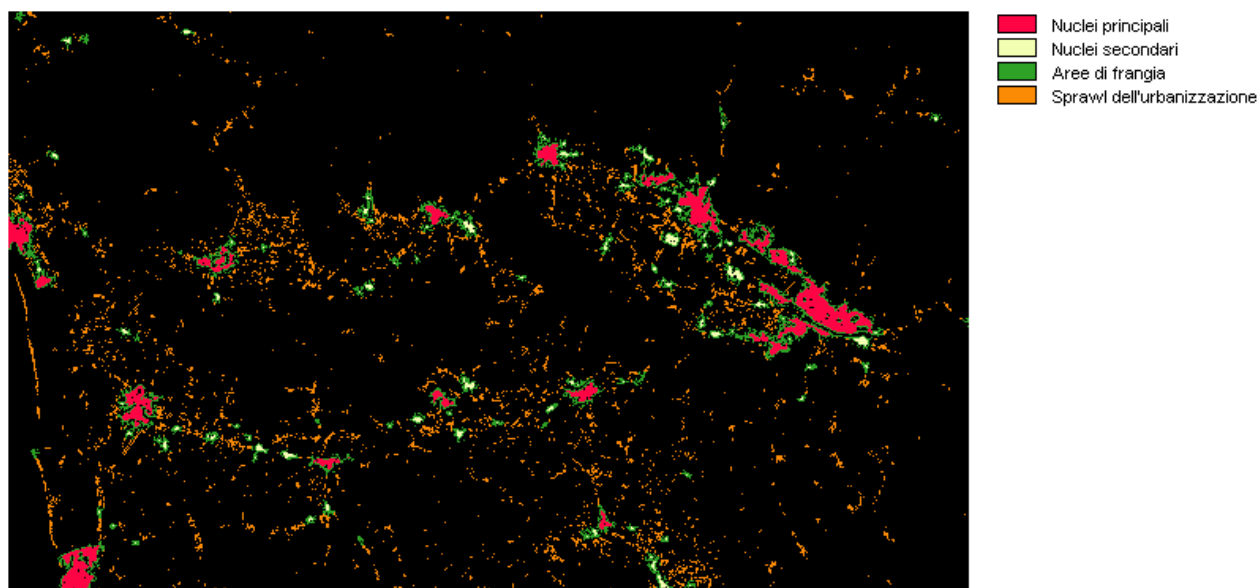


Figura x. Classificazione dell'urbanizzazione nella Toscana centrale. Parametri impiegati: alpha = 250 m, beta = 80%, gamma = 100 ha, delta = 500 m.

La valutazione ecologica del territorio

Il metodo combina le due precedenti applicazioni attraverso le seguenti fasi.

Fase 1. Individuazione delle fonti informative di base. Gli strati informativi necessari sono i seguenti:

- mappa dell'uso del suolo;
- mappa dell'edificato;
- mappa delle infrastrutture di comunicazione.

Fase 2. Analisi della connessione ecologica. La connessione ecologica territoriale è valutata attraverso la cosiddetta teoria della percolazione. La dimensione della finestra mobile viene generalmente scelta sulla base della mobilità degli organismi maggiormente rappresentativi della biodiversità a livello territoriale¹⁷.

Fase 3. Analisi della frammentazione di origine antropica. L'edificato e le infrastrutture di comunicazioni costituiscono localizzazioni territoriali particolarmente ostili alle popolazioni naturali¹⁸. L'effetto di frammentazione e di disturbo di tali manufatti è direttamente proporzionale alla loro densità territoriale ed è quindi anch'esso analizzato sulla base di un indice costruito con il metodo dell'analisi focale¹⁹.

Fase 4: Individuazione delle strutture della rete ecologica. Le strutture funzionali della rete ecologica sono individuate tramite una operazione di map overlay delle due basi dati precedentemente calcolate (mappa della permeabilità ecologica e mappa della densità del costruito) sulla base delle classi riportate in figura x.

La metodologia proposta è stata applicata all'analisi dei sistemi agricoli della Toscana centrale, nell'ambito del progetto di ricerca²⁰ "Il parco agricolo: un nuovo strumento di pianificazione territoriale degli spazi aperti". Questo sistema regionale (la media e bassa Valle dell'Arno) si presenta come il territorio più urbanizzato della regione, dove sono avvenuti i processi di industrializzazione maggiormente intensi. Le figure x ed x riportano la legenda e la mappa della connettività ecologica realizzata, con evidenziate le localizzazioni critiche in cui il mantenimento di una efficiente matrice agroecologica è essenziale per garantire la connessione della rete ecologica regionale. Il dettaglio riportato in figura x consente di apprezzare l'utilità della classificazione ecologica delle aree rurali al fine di individuare possibili futuri interventi di riqualificazione territoriale rurale e ambientale.

¹⁷ MASSA M., BAULETTO M. BANI L. BOTTONI L. (2000) "L'uso di specie focali quali indicatori per l'individuazione di reti ecologiche". *Informatore Botanico Italiano*, 32 Suppl. 1, 26-30

¹⁸ Greenhill D., Ripke L., Hitchman A.P., Jones G.A., Wilkinson G.G., (2003). "Use of Lacunarity index to characterize suburban areas for land use planning using IKONOS-2 multispectral imagery". 2nd GRSS ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Berlin.

Gulinck, H. e Wagendorp, T. (2002). "References for fragmentation analysis of the rural matrix in cultural landscapes". *Landscape and Urban Planning* 58 (2002) 137-146.

Richard T. Forman T. (2000a) "Estimate area affected ecologically by the road system in the United States". *Conservation Biology*, V. 14 N.1. pp 31-35.

Richard T. Forman T. Deblinger D. (2000b). "The ecological road-effect zone of a Massachusetts (U.S.A.) suburban highway". *Conservation Biology* V.14 N.1 pp. 36-46.

¹⁹ BIANCHINI A., BRAVIN L. 2004. "Defining and detecting changes in urban areas". XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey

²⁰ Fondi MURST PRIN, Coordinatore Nazionale Alberto Magnaghi, Università di Firenze.

Permeabilità ecologica

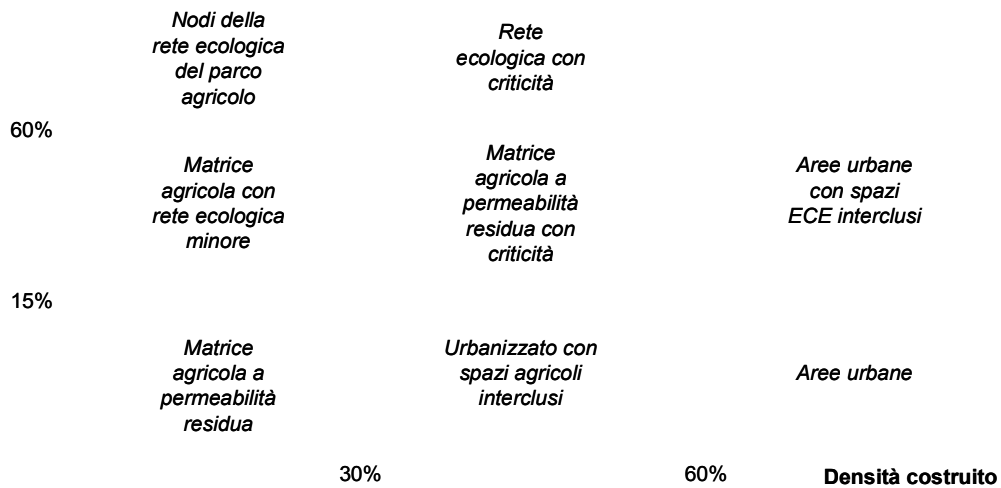














Figura x. Individuazione delle strutture della rete ecologica

Legenda

-  Urbanizzato
-  Urbanizzato con spazi naturali o agricoli interclusi
-  Matrice agricola permeabile
-  Matrice agricola permeabile frammentata
-  Matrice agricola con rete minore disturbata
-  Matrice agricola con rete minore disturbata e frammentata
-  Matrice agricola con rete ecologica minore o ecotonale
-  Matrice agricola con rete ecologica minore o ecotonale frammentata
-  Rete ecologica disturbata
-  Rete ecologica disturbata e frammentata
-  Nodi della rete (aree core)
-  Nodi della rete frammentati

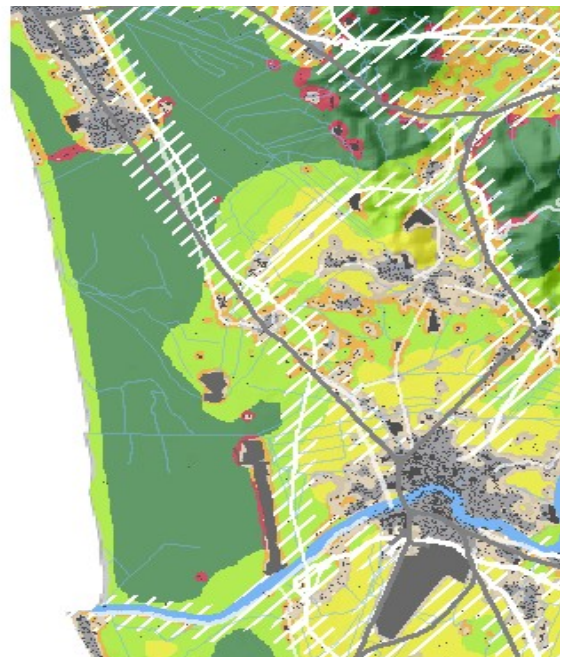


Figura x. Legenda della carta

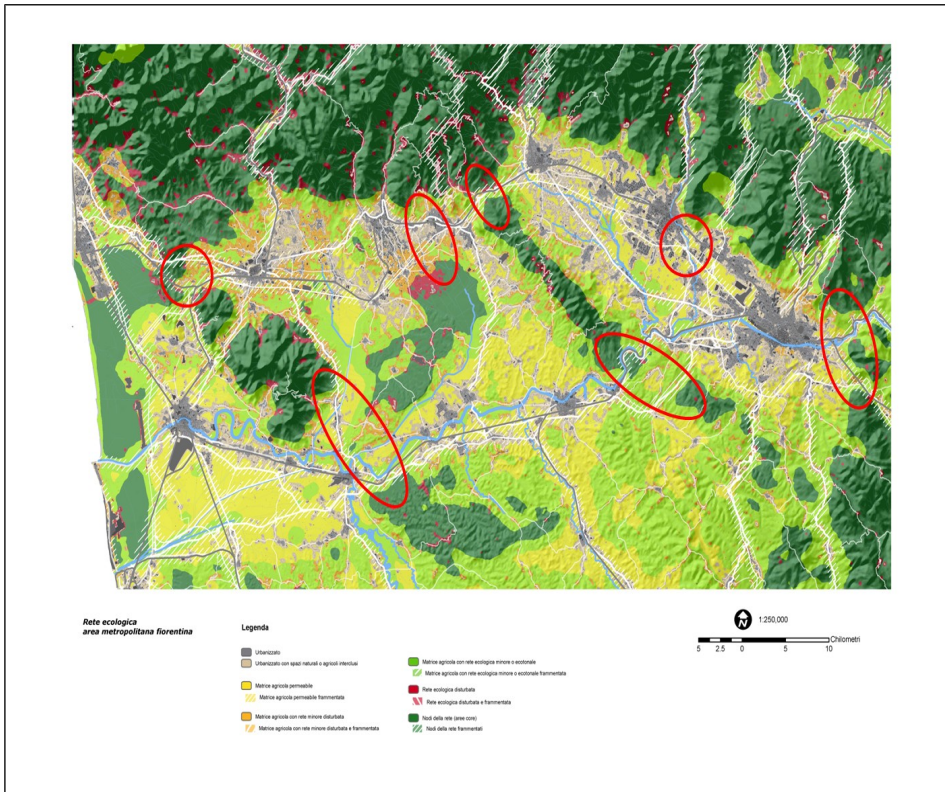


Figura x. Carta della permeabilità ecologica con identificazione delle aree agricole critiche per interventi di riconnessione



Figura x. Esempio di dettaglio della carta precedente.

In figura x ed in tabella x sono rispettivamente riportati il digramma di flusso e la documentazione el modello impegnato.

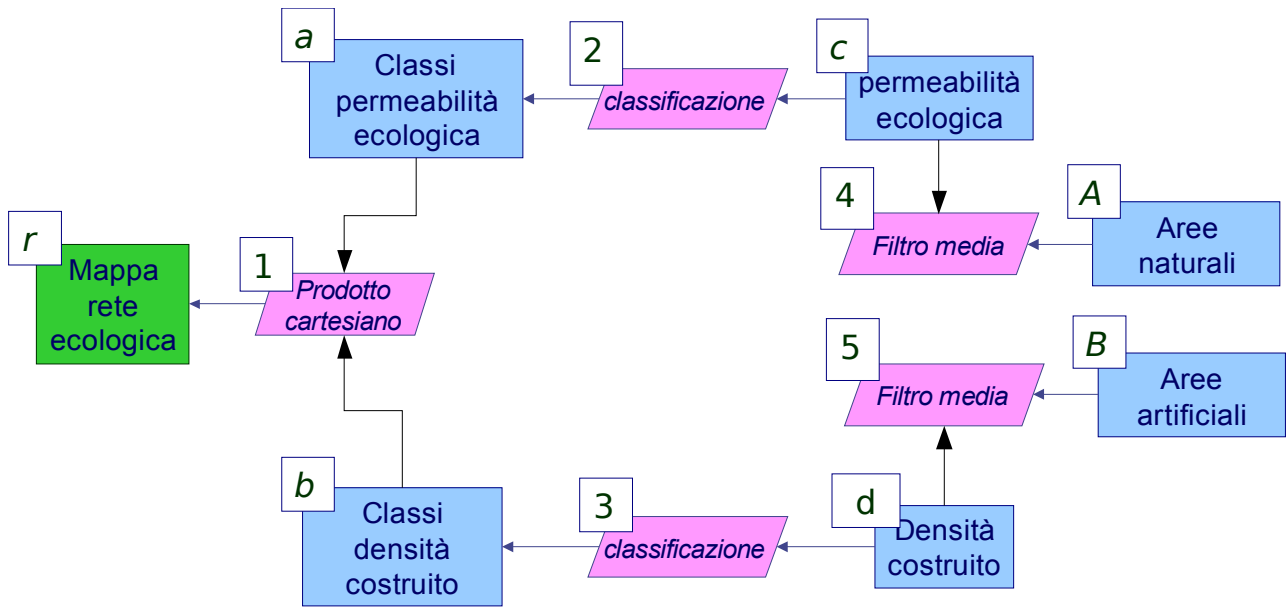


Figura x. Diagramma di flusso rete ecologica

Tabella basi dati			
simbolo	Nome file	Unità misura	Descrizione e legenda
<i>r</i>	mappa_rete_ecologic a	codice	Mappa della rete ecologica
<i>a</i>	classi_ecopermabilita	codice	Classi di permeabilità della rete ecologica 1. permeabilità alta 2. permeabilità media 3. permabilità bassa
<i>b</i>	classi_costruito	Codice	Classi di densità del costruito 1. densità alta 2. densità media 3. densità bassa
<i>c</i>	ecopermeabilita	indice	Mappa della permeabilità ecologica
<i>d</i>	densita	indice	Mappa della densità del costruito
<i>A</i>	naturali	binaria	Mappa delle aree naturali
<i>B</i>	artificiali	binaria	Mappa delle aree artificiali

Tabella xa.

Tabella operatori		
Numero	operatore	Parametri
1	Prodotto cartesiano	mappa_rete_ecologica = classi_ecopermeabilit� × classi_costruito Legenda: 1-1 rete ecologica con criticit� 1-2 rete ecologica con criticit� 1- 3 nodi della rete ecologica 2 - 1 aree urbane con spazi naturali interclusi 2 - 2 matrice agricola a permabilit� residua con criticit� 2 - 3 Matrice agricola a rete ecologica minore 3 - 1 Aree urbane 3 - 2 Aree urbane con spazi agricoli interclusi 3 - 3 Matrice agricola a permeabilit� residua
2	Classificazione	classi_ecopermeabilita = SE ecopermeabilita>0.6 ALLORA 1 ALTRIMENTI SE ecopermeabilita<30 ALLORA 3 ALTRIMENTI 2
3	Classificazione	classi_costruito = SE densita_costruito>0.6 ALLORA 1 ALTRIMENTI SE densita_costruito<30 ALLORA 3 ALTRIMENTI 2
4	Filtro media	ecopermeabilita = media_focale(naturali) finestra pari a 1000 metri
5	Filtro media	densita_costruito = media_focale(artificiali) finestra pari a 1000 metri

Tabella xb.

L'individuazione del paesaggio dominante tramite filtro gaussiano

L'Agencia Europea per l'Ambiente ha proposto un sistema di contestualizzazione delle tipologie di paesaggio dominanti dal punto di vista territoriale, detto CORILIS, basato sull'impiego di una analisi focale con filtro gaussiano. Ogni classe di uso del suolo   riportata in un griglia booleana nella quale le celle con valore 1 sono caratterizzatoo dall'uso del suolo in esame e quelle con valore 0 dall'assenza di tale caratteristica. Per poter valutare le caratteristiche prevalenti di una certa localizzazione, per ciascuna cella della griglia e per ciascuna griglia di uso del suolo,   analizzata attraverso il metodo dell'analisi focale. Per esempio applicando tale metodo a una griglia che rappresenta l'uso del suolo urbano il metodo attribuir  valori pi  elevati ai nuclei urbani densi e compatti piuttosto che all'urbanizzazione diffusa²¹. Un valutazione simile pu  essere fatta per tutte le diverse classi di uso del suolo. Il risultato finale di tale elaborazioni   una mappa delle tipologie di paesaggio ottenibile sovrapponendo le mappe ottenute con una operazione di "map overlay" sulla base dell'uso del suolo dominante nell'intorno di ciascuna localizzazione.

La metodologia   stata applicata alle basi dati Corine land Cover per la regione Toscana. Tramite una analisi focale su un intorno circolare di diametro pari a 1,5 chilometri si possono identificare i seguenti paesaggi a dominanza di uso del suolo:

- Paesaggio a dominanza di tessuto urbano
- Paesaggio a dominanza di seminativi
- Paesaggio a dominanza di coltivazioni legnose agrarie
- Paesaggio a dominanza di mosaici particellari eterogenei
- Paesaggio a dominanza silvopastorale

La mappa x riporta i sistemi di paesaggio dominanti per la Toscana su dati CLC 1990.

²¹ Tale mappa   detta "mappa delle temperatura urbana" o *Map of urban temperature*. L'analoga mappa realizzata con le aree naturali e seminaturali   chiamata in questo contesto "mappa dello sfondo verde" o *Map of Green Background* e corrisponde all'indice di percolazione preesistentemente definito.

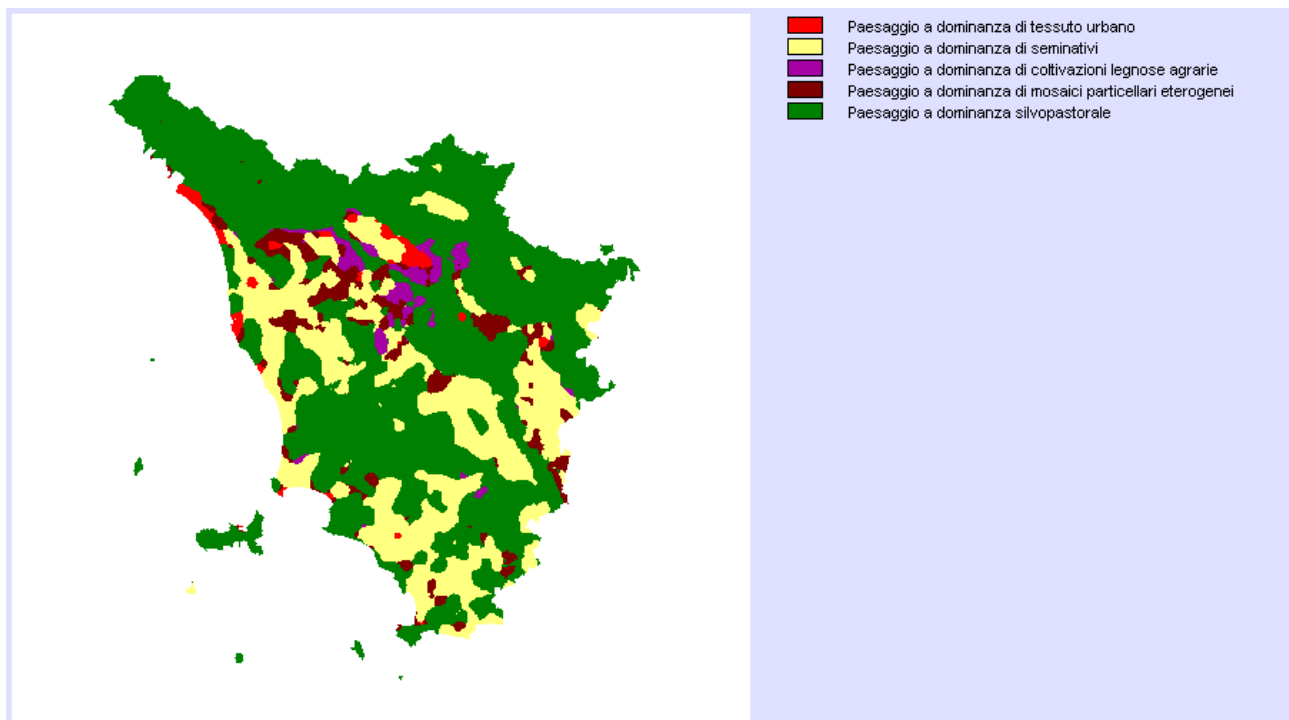


Figura x. Paesaggi a dominanza di uso del suolo da CLC 1990.

Gli operatori focali e la valutazione del paesaggio

La valutazione della qualità del paesaggio consente di utilizzare molte tipologie di operatori focali illustrati nella parte teorica. Infatti, la letteratura specializzata²² è piuttosto concorde nell'individuare le seguenti tipologie di parametri che concorrono a determinare la qualità estetico-visuale di un paesaggio:

- la variazione del rilievo
- la densità di aree umide e di corsi d'acqua
- la diversità nelle forme di uso del suolo
- l'antropizzazione del territorio.

Semplificando le applicazioni riportate in bibliografia, si propone la seguente procedura, che classifica e valuta il territorio sulla base del paesaggio prevalente, della diversificazione del rilievo nonché della diversità nell'uso del suolo valutata tramite indici di ecologia del paesaggio, che possono essere calcolati sulla base della riclassificazione proposta dall'UE e illustrata nella parte teorica.

In figura x ed in tabella x sono rispettivamente riportati il digramma di flusso e la documentazione del modello impegnato.

²² Ayad Y.M. (2005) Remote sensing and GIS in modeling visual landscape change: a case study of the northwestern arid coast of Egypt. *Landscape and Urban Planning* 73 (2005) 307–325

Germino, M.J., Reiners, W.A., Blasko, B.J., McLeod, D., Bastian, C.T., 2001. Estimating visual properties of rocky mountain landscapes using GIS. *Landscape Urban Plan.* 53, 71–83

Crawford, D., 1994. Using remotely sensed data in landscape visual quality assessment. *Landscape Urban Plan.* 30.

Wu, Yingxin; Bishop, Ian; Hossain, Hemayet; Sposito, Victor. 2007. 'Using GIS in Landscape Visual Quality Assessment'. *Applied GIS* 2 (3): pp. 18.1–18.20. DOI: 10.2104/ag060018.

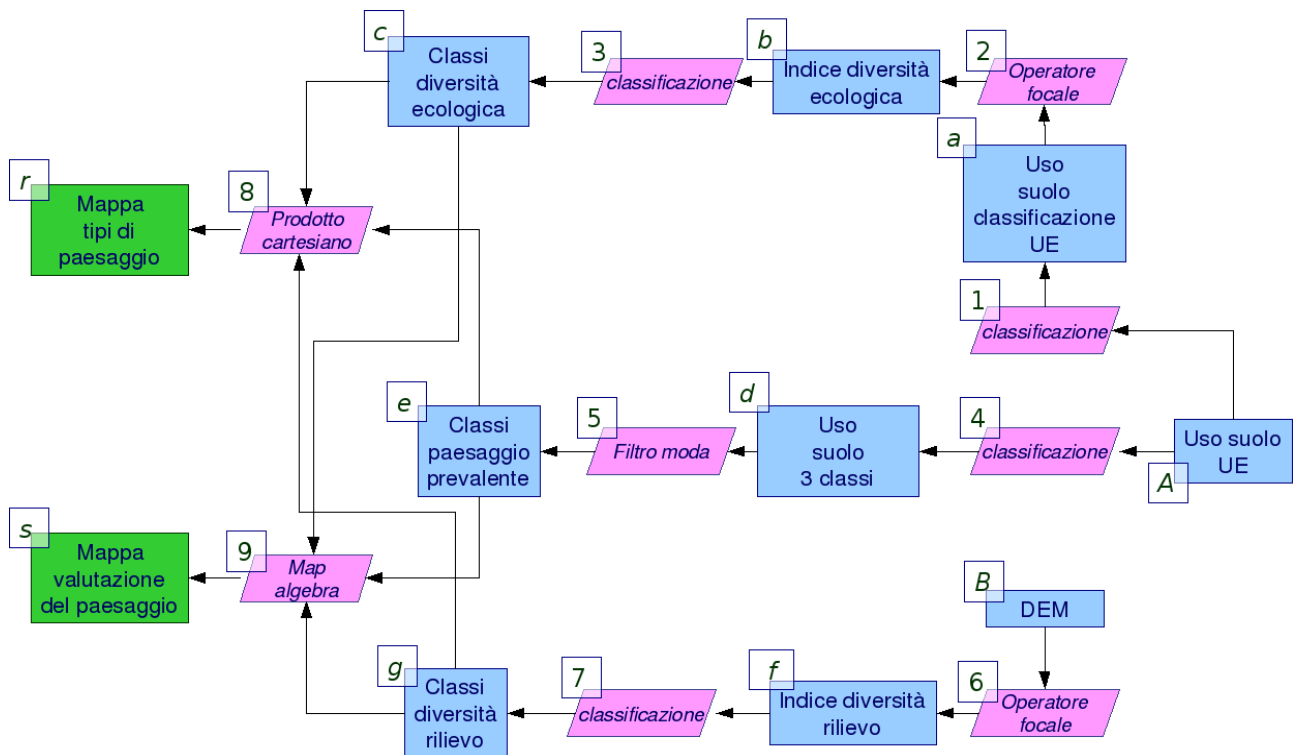


Figura x. Diagramma di flusso valutazione di qualità.

Tabella basi dati			
simbolo	Nome file	Unità misura	Descrizione e legenda
<i>r</i>	mappa_sistemi_VQ	codice	Mappa dei sistemi di paesaggio classificati sulla base dei parametri di valutazione.
<i>s</i>	VQ	punteggio	Mappa di valutazione del paesaggio
<i>A</i>	Uso_suolo	codice	Uso suolo Corine Land Cover
<i>B</i>	DEM	metri	Modello elevazione del terreno
<i>a</i>	uso_div	codice	Uso suolo secondo la classificazione proposta dalla UE-EEA per l'analisi di indici di diversità paesistica
<i>b</i>	uso_ecol	indicatore	Valore dell'indicatore di diversità paesistica adottato: p.e. Shannon o interspersione
<i>c</i>	classl_eco	punteggio	Punteggio di valutazione della diversità ecologica
<i>d</i>	Uso_id	codice	Classificazione dell'uso del suolo in classi di antropizzazione
<i>e</i>	uso_prev	codice	Paesaggio prevalente per classi di antropizzazione
<i>f</i>	rugge	indicatore	ruggedness
<i>g</i>	Classi_rugge	punteggio	Punteggio di valutazione della ruggedness

Tabella xa.

Tabella operatori		
Numero	operatore	Parametri
1	Classificazione	<p>uso_div =</p> <p>SE uso suolo <210 ALLORA 1 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso suolo <220 ALLORA 2 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso suolo <230 ALLORA 3 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso suolo <240 ALLORA 4 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso suolo <310 ALLORA 5 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso suolo <320 ALLORA 6 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso suolo <330 ALLORA 8 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso suolo <410 ALLORA 7 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso suolo <510 ALLORA 8 ALTRIMENTI 9</p>
2	Operatore focale ecologia del paesaggio	<p>uso_ecol=indicatore_focale_diversità ecologic(uso_div)</p> <p>Finestra da definire sulla base di quanto spiegato nella parte teorica</p>
3	Classificazione	<p>classi_eco =</p> <p>SE uso_ecol<BASSO ALLORA 1 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso_ecol<MEDIO ALLORA 2 ALTRIMENTI 3</p> <p>I parametri <i>BASSO</i> ed <i>MEDIO</i> debbono essere definiti sulla base dell'indicatore di ecologia del paesaggio adottato</p>
4	Classificazione	<p>uso_id=</p> <p>SE uso suolo <200 ALLORA 1 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso suolo <300 ALLORA 2 ALTRIMENTI 3</p>
5	Filtro moda	<p>uso_prev = media_focale(uso_id)</p> <p>finestra da definire c.s.</p>
6	Operatore focale ruggedness	<p>uso_rugge=standard_deviation(DEM)</p>
7	Classificazione	<p>classi_rugge =</p> <p>SE uso_rugge<BASSO ALLORA 1 ALTRIMENTI</p> <p>SE uso_rugge<MEDIO ALLORA 2 ALTRIMENTI 3</p> <p>I parametri <i>BASSO</i> ed <i>MEDIO</i> debbono essere definiti sulla base del paesaggio in esame</p>
8	Prodotto cartesiano	<p>SistemiVQ = classi_eco \otimes classi_prev \otimes classi_rugge</p>
9	Map algebra	<p>SistemiVQ = classi_eco + o classi_prev + vclassi_rugge</p>

Tabella xb.

Parte B. Applicazioni informatiche

Q-GIS - GRASS

r.mapcalc

Il modo più generale per poter impostare funzioni focali nella shell comandi QGIS – GRASS è attraverso il modulo di map-algebra *r.mapcalc*, Il comando infatti supporta la notazione di offset relativo delle coordinate $map[r,c]$ dove r è l'offset di riga e c quello relativo alle colonne. Per esempio la notazione $map[1,2]$ si riferisce alla cella posizionata una posizione a Nord e due posizioni a Ovest rispetto alla cella corrente nella mappa raster *map*, mentre $map[-2,-1]$ si riferisce alla posizione 2 celle a SUD e una cella a EST.

Dovendo impostare quindi filtri visti nel capitolo precedente si hanno le seguenti notazioni.

Filtro passa basso

Applicando il filtro passabasso più complesso visto nella parte teorica ad una mappa binaria dell'edificato al fine di calcolare tramite una finestra 3x3 la densità percentuale dell'edificato, si ottiene la seguente impostazione

filtro:

	1	2	1
1/15	2	3	2
	1	2	1

```
r.mapcalc 'passabasso=(urba_bool[1,-1]+urba_bool[1,0]*2+urba_bool[1,1]+urba_bool[0,-1]*2+urba_bool[0,0]*3+urba_bool[0,1]*2+urba_bool[-1,1]+urba_bool[-1,0]*2+urba_bool[-1,1])*100/15'
```

Risultato:

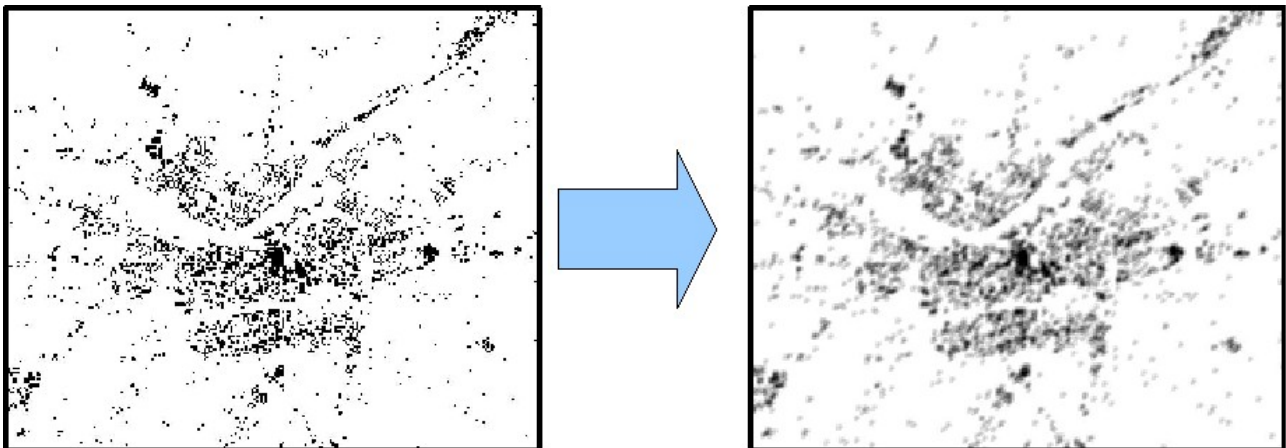


Figura x. Filtro PassaBasso

Filtri passa-alto

Riprendendo gli l'esempio di filtro passaAlto seguente:

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

```
r.mapcalc 'passaaalto=(dem[1,0]*(-1)+dem[0,-1]*(-1)+dem[0,0]*4+dem[0,1]*(-1)+dem[-1,0]*(-1))'
```

Con la stessa notazione è possibile calcolare anche gli altri indici visti nella parte teorica, tra cui pendenza, esposizione e rugosità. Di seguito l'esempio per l'indice di rugosità.

```
r.mapcalc ruggedness=sqrt((dem[1,-1]-dem[0,0]),2)+exp((dem[1,0]-dem[0,0]),2)+exp((dem[1,-1]-dem[0,0]),2)+exp((dem[0,-1]-dem[0,0]),2)+exp((dem[0,1]-dem[0,0]),2)+exp((dem[-1,-1]-dem[0,0]),2)+exp((dem[-1,0]-dem[0,0]),2)+exp((dem[-1,1]-dem[0,0]),2))'
```

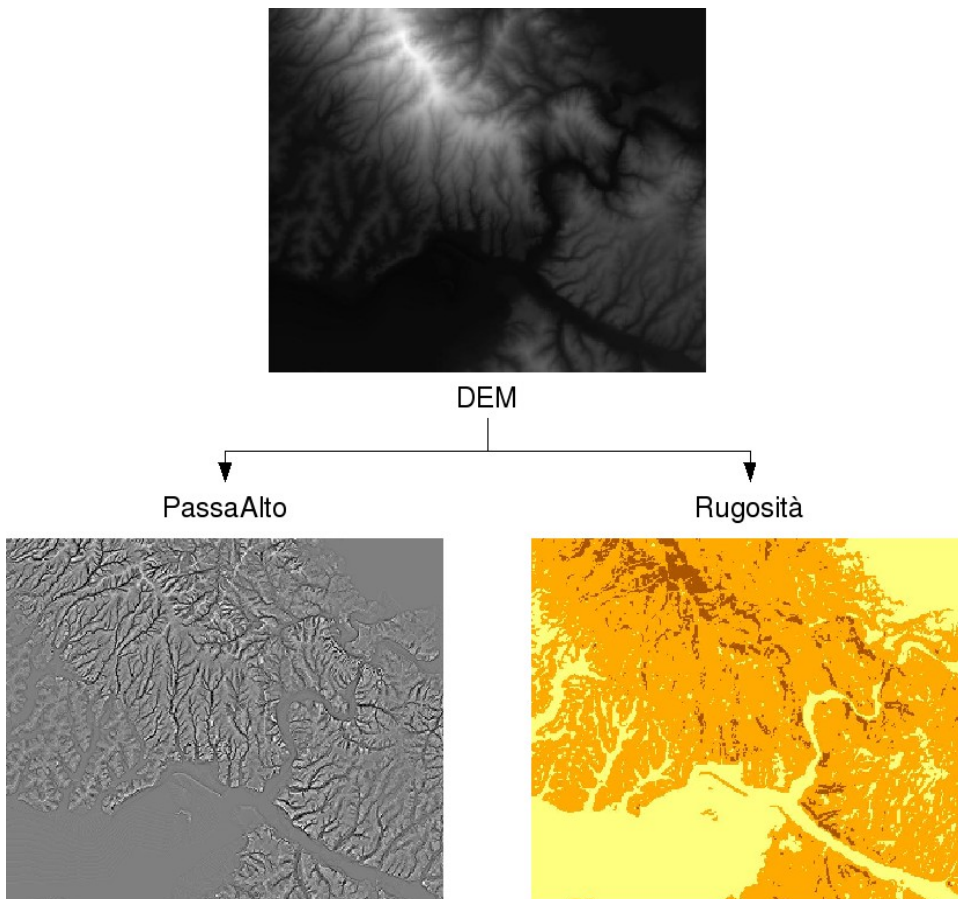


Figura x. Filtri derivanti dal DEM.

r.neighborhood

L'operatore *r.neighborhood* consente di impostare le operazioni focali più comuni su una finestra di dimensioni variabili fino ad un massimo di 25x25. La sintassi richiede di specificare la mappa di input (*input=*), l'operatore da utilizzare (*method=*), la dimensione della finestra quadrata

(size=) ed il nome della mappa risultato (output=). Di seguito l'esempio di calcolo della densità dell'urbanizzato su una finestra 13x13,

```
r.mapcalc urba_float=float(urbano_bool)
r.neighbors input=urbano_bool method=average size=13 output=urba_dens_13
```

La prima operazione serve a convertire la mappa binaria in mappa a virgola mobile in modo che anche il risultato della elaborazione sia in virgola mobile. Gli operatori disponibili sono i seguenti:

stddev: deviazione standard;

sum: somma;

variance: varianza statistica;

diversity: numero di valori diversi all'interno della finestra mobile;

interspersion: La percentuale di celle contenenti valori che differiscono dal valore della cella centrale + 1, generalmente si utilizza per dati codificati.

r.slope.aspect

E' il modulo per l'elaborazione degli indici geomorfometrici di base, sulla base delle formule di Horn, La sintassi è la seguente:

```
r.slope.aspect [-aq] elevation=string [slope=string] [format=string]
[prec=string] [aspect=string] [pcurv=string] [tcurv=string][dx=string]
[dy=string] [dxx=string] [dyy=string] [dxy=string][zfactor=value]
[min_slp_allowed=value] [--overwrite]
```

Con le seguenti possibilità di calcolo:

slope = nome mappa pendenza

aspect = nome mappa esposizione

pcurv = nome mappa planare

tcurv = nome mappa curvatura verticale

dx = nome mappa derivata prima dx (E-W)

dy = nome mappa derivata prima dy (N-S)

dxx = nome mappa derivata seconda dxx

dyy = nome mappa derivata seconda dyy

dxy = nome mappa derivata dxy

format = formato pendenza options: degrees,percent default: degrees

prec = Tipo di mappa per esposizione e pendenza options: default,double,float,int, default: float

r.param.scale

Questo modulo consente di calcolare sia gli indici geomorfometrici di base sia, sulla base di quest'ultimi, di effettuare una classificazione dei tipi geomorfologici tramite una finestra mobile quadrata. La sintassi è la seguente:

```
r.param.scale [-c] input=name output=name [s_tol=value] [c_tol=value]
[size=value] [param=string] [exp=value] [zscale=value] [--overwrite]
```

Con i seguenti parametri:

`input` = nome della mappa dem di input
`output` = nome della mappa di output
`s_tol` = limite di pendenza per la definizione di una superficie piana (gradi) default: 1.0
`c_tol` = limite di curvatura per la definizione di un versante default: 0.0001
`size` = dimensione della finestra di analisi (deve essere un valore dispari, max: 69)
`param` = parametro da calcolare options: elev, slope, aspect, profc, planc, longc, crosc, minic, maxic, feature; default: elev
Per il parametro “feature” le categorie sono le seguenti:
1: Planar
2: Pit
3: Channel
4: Pass (saddle)
5: Ridge
6: Peak
`exp` = esponente per la funzione di distanza (0.0-4.0); default: 0.0
`zscale` = Vertical scaling factor; default: 1.0

r.le

I moduli della famiglia `r.le` sono un insieme di procedure per l'analisi di parametri di ecologie del paesaggio. La famiglia di comandi è composta dalle seguenti procedure: `r.le.setup`, consente di impostare i parametri generali della elaborazione; `r.le.pixel`, per l'analisi dei parametri di ecologia del paesaggio in finestra mobile; `r.le.dist`, per l'analisi dei parametri di ecologia del paesaggio basati su indici di posizione di usi del suolo omogenei. Nel presente paragrafo si esamineranno sinteticamente i comandi `r.le.setup` e `r.le.pixel`. Per ciò che riguarda l'analisi in finestra mobile, rimandando alla documentazione della procedura per maggiori dettagli.

`r.le.setup`

Questo comando, a differenza della maggior parte dei comandi GRASS-QGIS, funziona in modo interattivo. Un esempio di procedura in ambiente GRASS è il seguente. Innanzitutto, solo nel sistema operativo Linux, è necessario aprire una finestra di visualizzazione con il comando `d.mon`.

```
GRASS 6.2.3 (GBW):~ > d.mon x1
```

E' ora possibile eseguire il comando `r.le.setup`.

```
GRASS 6.2.3 (GBW):~ > r.le.setup
```

Ottenendo nel terminale il seguente output.

```
OPTION:   Raster map to use to setup sampling
          key: map
          format: name
required: YES
Enter the name of an existing raster file
Enter 'list' for a list of existing raster files
```

Hit RETURN to cancel request

Inserire al prompt il nome della mappa da analizzare.

```
> uso_DIV
<uso_DIV>
```

Il programma chiede il nome di un eventuale mappa vettoriale da coinvolgere nell'analisi, ignorare la richiesta tramite un invio.

```
OPTION: Vector map to overlay
      key: vect
      format: name
required: NO
Enter the name of an existing vector file
Enter 'list' for a list of existing vector files
Hit RETURN to cancel request
```

E' così possibile accedere al menu dei parametri. Selezionare la voce n. 4.

```
CHOOSE THE SETUP OPTION:
  Draw sampling regions           1
  Setup a sampling frame         2
  Setup sampling units           3
  Setup a moving window          4
  Setup group or class limits    5
  Change the raster map color table 6
  Exit and save setup           7
                                Which Number? 4
```

Il programma chiede la modalità di definizione della finestra mobile, generalmente questa viene impostata da tastiera, quindi selezionare la voce 1. Si richiede se la finestra deve essere circolare o rettangolare. e successivamente specificare le dimensioni desiderate separandole con uno spazio.

```
HOW WILL YOU SPECIFY THE MOVING WINDOW?
  Use keyboard to enter moving window dimensions 1
  Use mouse to draw moving window                2
                                                Which Number? 1
Do you want to sample using rectangles
(including squares) (y) or circles (n)? (y/n) [y] y
Enter number of COLUMNS & ROWS for the dimensions of
the moving window (e.g., 10 10): 5 5
Is the displayed moving window as you wanted it (y) or
do you want to redo it? (n) (y/n) [y] y
```

Alla successiva comparsa del menu selezionare la voce 7 per salvare i parametri di setup.

r.le.pixel

Il comando opera con la seguente sintassi.

```
r.le.pixel map=string [sam=string] [att=string[,string,...]]  
[div=string[,string,...]] [te1=string] [te2=string[,string,...]]  
[edg=string[,string,...]]
```

Con i seguenti parametri.

map = nome della mappa da analizzare

sam = metodo di analisi, per elaborazioni in finestra mobile impostare sam=m

E' successivamente necessario specificare le elaborazioni da effettuare. E' possibile calcolare contemporaneamente molti parametri fra i quali i più interessanti sono i seguenti.

att Specifica le analisi quantitative, utili per mappe contenenti valori cardinali (p.e. DEM). Le mappe di output hanno nomi fissati dalla procedura a seconda del parametro calcolato: b1 = media nella finestra mobile; b2 = deviazione standard; b3 = minimo; b4 = massimo.

div Imposta l'elaborazione di indici di diversità: d1 = richness; d2 = Shannon; d3 = dominance; d4 = inv. Simpson

te1 Analisi della tessitura (in questo caso è possibile specificare solo un metodo). La tessitura è data dal numero di pixel uguali al pixel centrale della finestra nelle posizioni specificate dai parametri sottoriportati (vedi anche figura x).

m1 = 2N-H m2 = 2N-45 m3 = 2N-V m4 = 2N-135
m5 = 4N-HV m6 = 4N-DIAG m7 = 8N

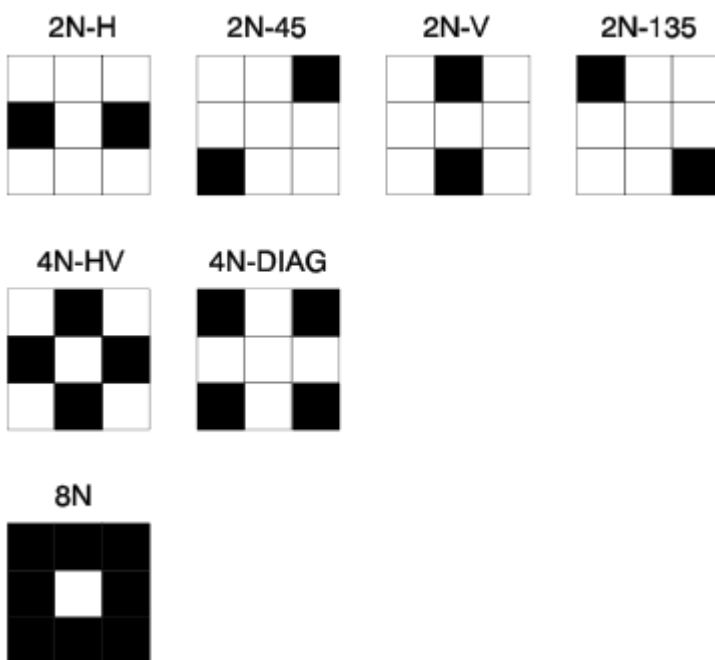


Figura x.

te2 Seconda serie di indici di tessitura.

t1 = contagion t2 = ang. sec. mom. t3 = inv. diff. mom.

t4 = entropy t5 = contrast

edg Indici di margine: e1 = somma dei margini

Di seguito sono riportati due esempi di comando, con output riportato in figura x e x.

```
r.le.pixel map=uso_DIV sam=m div=d1,d2,d3,d4 edg=e1  
r.le.pixel map=uso_DIV sam=m tel=m7 te2=t1,t2,t3,t4,t5
```

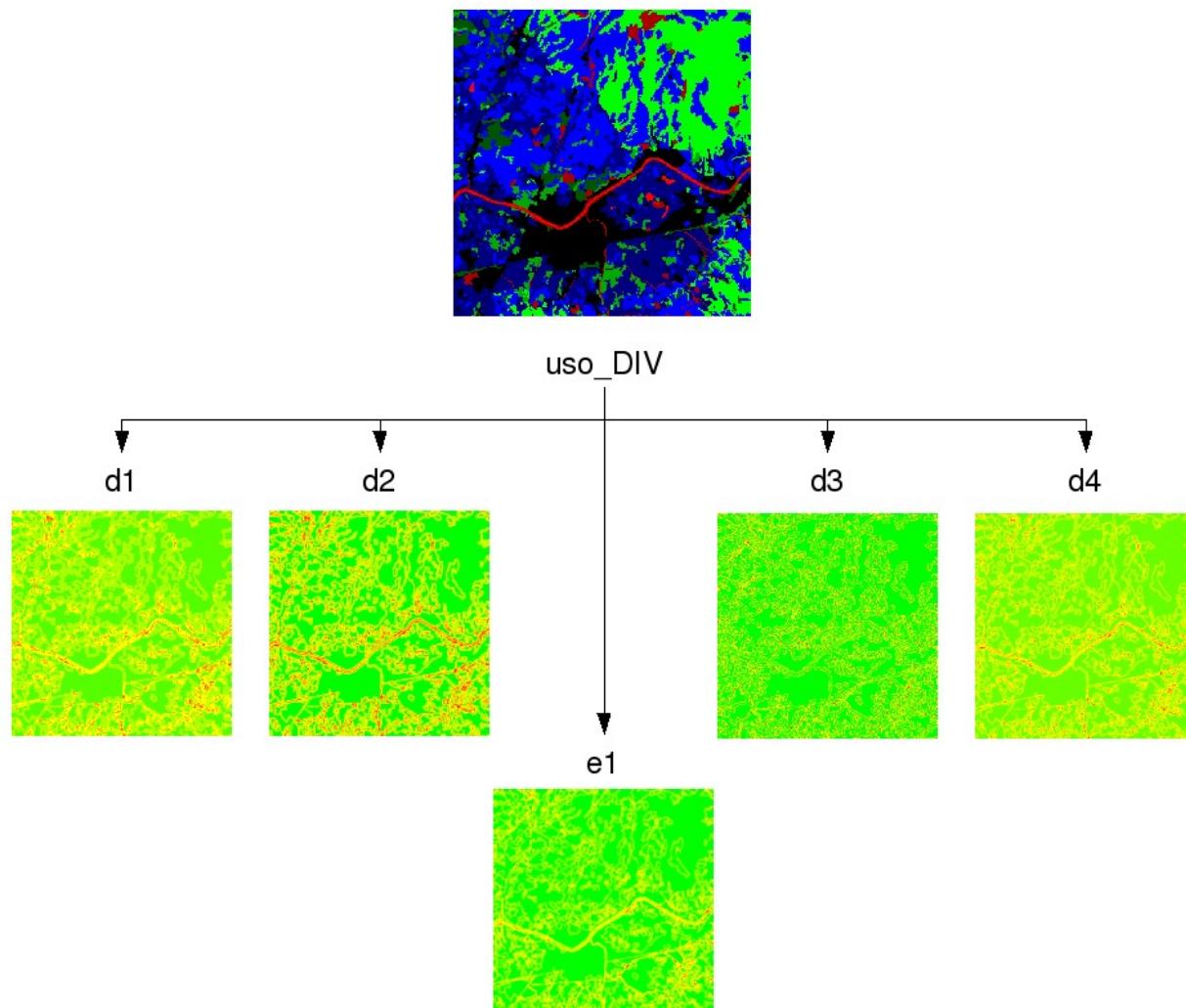


Figura x. Risultato del primo comando `r.le.pixel`.

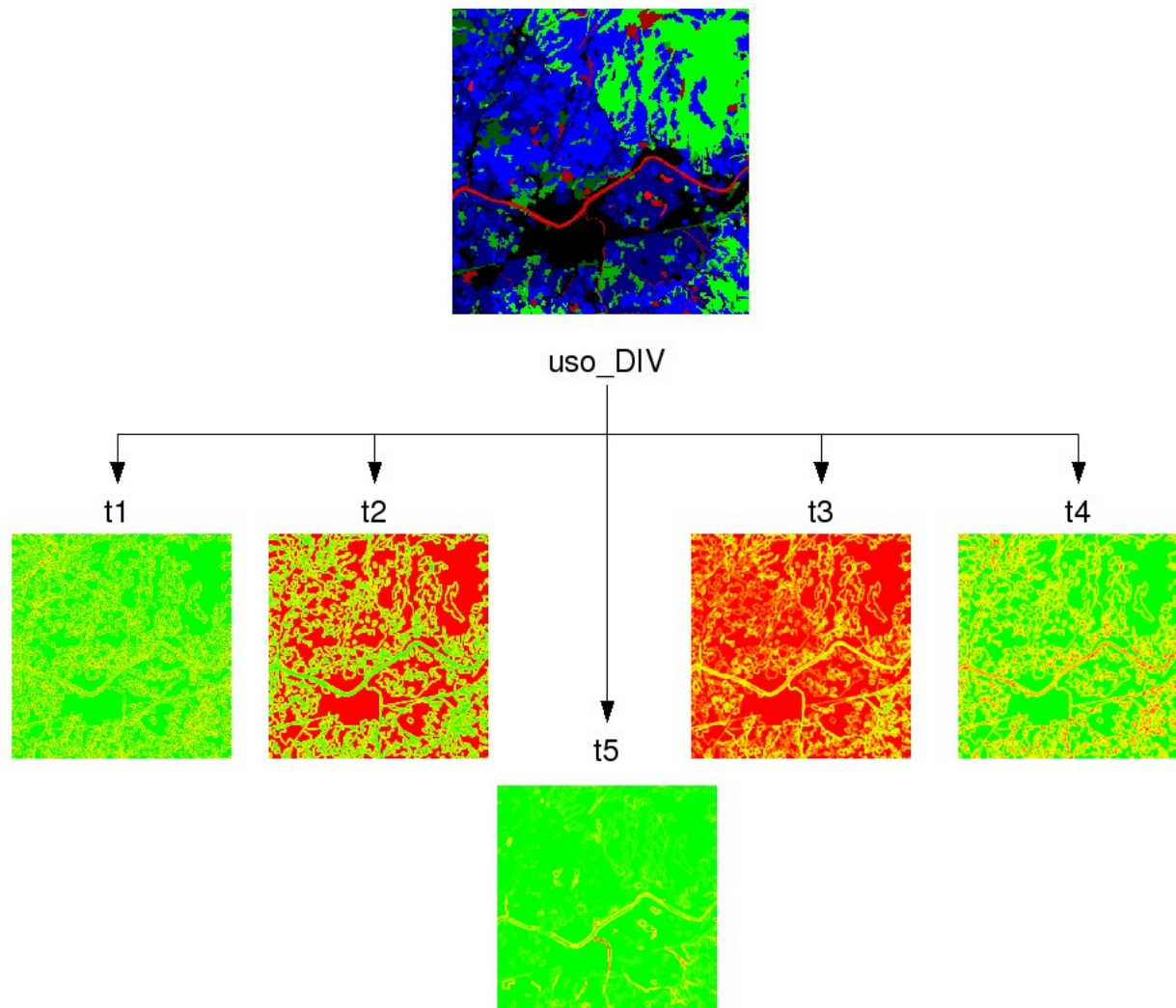


Figura x. Risultato del secondo comando r.le.pixel.

Casi di studio

Permeabilità ecologica volpe

Questo esercizio riprende l'esempio di rete ecologica specie-specifica relativa alla volpe, già illustrata nella parte teorica. Volendo elaborare una finestra circolare non è possibile impiegare il comando r.neighbors. Per tale motivo è necessario calcolare la densità urbana realizzato con i moduli r.le. Di seguito si riporta l'impostazione della elaborazione per una finestra di analisi circolare con raggio pari all'home range della volpe, cioè $\sqrt{150\text{ha}/\pi} \approx 700\text{m}$.

```
g.region rast=uso_cod3@basi_dati
r.mask -o input=uso_cod3@basi_dati maskcats='1 thru 600'
g.region rast=uso_cod3@basi_dati res=100
```

```

r.mapcalc 'idoneita_volpe=if(uso_cod3@basi_dati==243||
uso_cod3@basi_dati==244||uso_cod3@basi_dati==311||
uso_cod3@basi_dati==313||uso_cod3@basi_dati==321||
uso_cod3@basi_dati==324,1,0) '
r.mapcalc 'dem_volpe=if(dem<2000,1,0) '
r.mapcalc 'aree_idonee=float(idoneita_volpe*dem_volpe) '
#
# d.mon x1
r.le.setup map=aree_idonee
#
# CHOOSE THE SETUP OPTION:
#   Draw sampling regions                1
#   Setup a sampling frame                2
#   Setup sampling units                  3
#   Setup a moving window                 4
#   Setup group or class limits           5
#   Change the raster map color table     6
#   Exit and save setup                   7
#
#                                     Which Number?  4
# HOW WILL YOU SPECIFY THE MOVING WINDOW?
#   Use keyboard to enter moving window dimensions  1
#   Use mouse to draw moving window                2
#
#                                     Which Number?  1
#
# Do you want to sample using rectangles
#   (including squares) (y) or circles (n)?   (y/n) [y] n
# What radius do you want for the circles? Radius
#   is in pixels; add 0.5 pixels, for the center
#   pixel, to the number of pixels outside the
#   center pixel. Type a real number with one
#   decimal place ending in .5 (e.g., 4.5):      7,5
# Is the displayed moving window as you wanted it (y) or
#   do you want to redo it? (n)   (y/n) [y] y
# Refresh the screen before choosing more setup? (y/n) [y] n
# CHOOSE THE SETUP OPTION:
#   Draw sampling regions                1
#   Setup a sampling frame                2
#   Setup sampling units                  3
#   Setup a moving window                 4
#   Setup group or class limits           5
#   Change the raster map color table     6
#   Exit and save setup                   7
#
#                                     Which Number?  7
#
r.le.pixel map=aree_idonee sam=m att=b1
r.mapcalc 'rete_volpe=if(b1>0.6,1,0) '

```

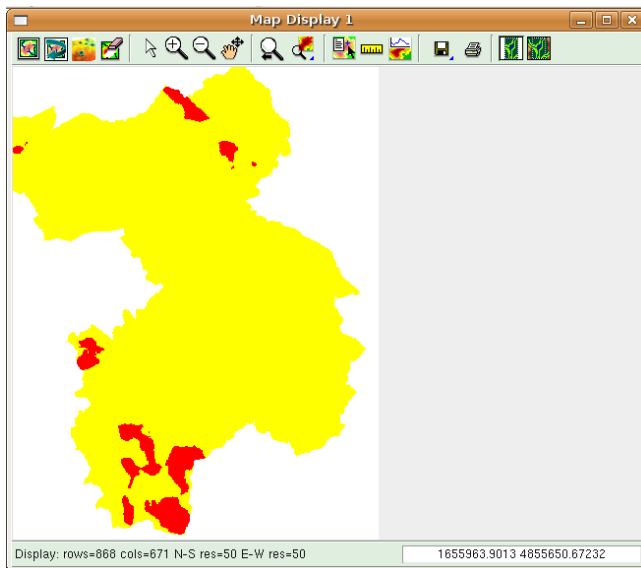


Figura x. Risultato dell'esercizio risolto.

Classificazione della densità dell'urbanizzato

Sulla base di quanto esposto nella parte teorica, i parametri scelti per l'analisi della densità dell'urbanizzato sono $\alpha=600\text{m}$, $\beta=0.6$, $\gamma=100\text{ha}$ e $\delta=250$ metri. Dal momento che la risoluzione del raster `urba_bool` è di 50 metri la finestra mobile ha la dimensione di $600/50=12$; volendo elaborare una finestra circolare non è possibile impiegare il comando `r.neighbors`. Per tale motivo è necessario calcolare la densità urbana realizzato con i moduli `r.le`. Di seguito si riporta l'impostazione della elaborazione per una finestra di analisi circolare con raggio pari a 6 pixel.

```
# Inizializzazione
r.mask -o input=uso_cod3@basi_dati maskcats='1 thru 600'
g.region rast=uso_cod3@basi_dati res=50
r.mapcalc
'urba_float=float(if(uso_cod3@basi_dati>0&&uso_cod3@basi_dati<200,
1,0))'
# d.mon x1
r.le.setup map=urba_float
# CHOOSE THE SETUP OPTION:
# Which Number? 4
# HOW WILL YOU SPECIFY THE MOVING WINDOW?
# Which Number? 1
# Do you want to sample using rectangles
# (including squares) (y) or circles (n)? (y/n) [y] n
# What radius do you want for the circles? Radius 6,5
r.le.pixel map=urba_float sam=m att=b1
# L' elaborazione delle aree negli ambienti di elaborazione raster
avviene di regola tramite un processo in due fasi:
# innanzitutto si individuano gruppi di pixel contigui
codificandoli in modo progressivo:
# successivamente si eseguono le elaborazioni di superficie sui
gruppi di pixel caratterizzati dal singolo codice.
```

```

# In GRASS il comando che individua gruppi di celle confinanti e
r.clump (vedi appendice)
# e la selezione di superfici caratterizzate da una certa soglia
dimensionale può essere effettuata tramite r.reclass.area (vedi
appendice).
r.mapcalc 'nuclei_compatti=if(b1>0.6&&urba_float>0,1,null())'
r.mapcalc 'nuclei_non_compatti=if(b1<=0.6&&urba_float>0,1,null())'
r.clump --o nuclei_compatti out=nuclei_clump
r.reclass.area --o in=nuclei_clump out=nuclei_princ great=100
r.reclass.area --o in=nuclei_clump out=nuclei_sec lesser=100
r.buffer --o nuclei_compatti output=nuclei_buff dist=400
r.mapcalc 'aree_frangia=if(nuclei_non_compatti==1 &&
nuclei_buff==2,1,null())'
r.mapcalc 'sprawl=if(nuclei_non_compatti==1 &&
isnull(aree_frangia),1,null())'
r.mapcalc
'classificazione_urbano=if(isnull(nuclei_princ),0,1)+if(isnull(nuc
lei_sec),0,2)+if(isnull(aree_frangia),0,3)+if(isnull(sprawl),0,4)'

```

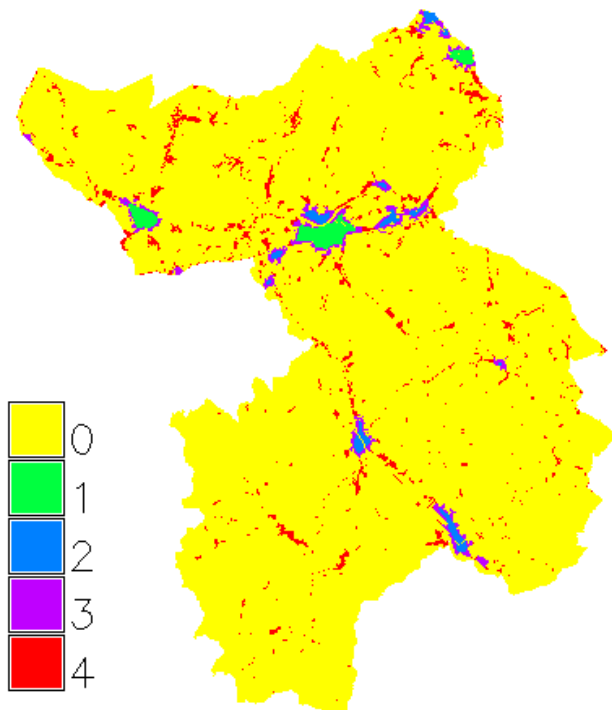


Figura x. Risultato dell'esercizio risolto

L'analisi ecologica del territorio

L'applicazione segue il metodo proposto nella parte teorica.

```

# Inizializzazione
r.mask -o input=uso_cod3@basi_dati maskcats='1 thru 600'
g.region rast=uso_cod3@basi_dati res=100

```

```

r.mapcalc
'urba_float=float(if(uso_cod3@basi_dati>0&&uso_cod3@basi_dati<200,
1,0))'
r.mapcalc 'naturali=float(if(uso_cod3@basi_dati >299 &&
uso_cod3@basi_dati<400,1,0))'
r.mapcalc 'artificiali=float(if(uso_cod3@basi_dati >0&&
uso_cod3@basi_dati <200,1,0))'
# d.mon x1
r.le.setup naturali
# What radius do you want for the circles?: 5.5
r.le.pixel map=naturali sam=m att=b1
g.rename rast=b1,percolazione
d.mon x2
r.le.setup artificiali
# What radius do you want for the circles?: 5.5
r.le.pixel map=artificiali sam=m att=b1
g.rename rast=b1,densita_urbano
r.mapcalc 'classe01=if(percolazione<0.15&&densita_urbana<0.3,1,0)'
r.mapcalc
'classe02=if(percolazione<0.15&&densita_urbana>=0.3&&densita_urban
a<0.6,1,0)'
r.mapcalc 'classe03=if(percolazione<0.15&&densita_urbana>0.6,1,0)'
r.mapcalc
'classe04=if(percolazione>=0.15&&percolazione<0.6&&densita_urbana<
0.3,1,0)'
r.mapcalc
'classe05=if(percolazione>=0.15&&percolazione<0.6&&densita_urbana>
=0.3&&densita_urbana<0.6,1,0)'
r.mapcalc
'classe06=if(percolazione>=0.15&&percolazione<0.6&&densita_urbana>
=0.6,1,0)'
r.mapcalc 'classe07=if(percolazione>=0.6&&densita_urbana<0.3,1,0)'
r.mapcalc 'classe08=if(percolazione<0.6&&densita_urbana>=0.3,1,0)'
r.mapcalc
'classe08=if(percolazione>=0.6&&densita_urbana>=0.3&&densita_urban
a<0.6,1,0)'
r.mapcalc
'ecol=classe01+classe02*2+classe03*3+classe04*4+classe05*5+classe0
6*6+classe07*7+classe08*8'

```

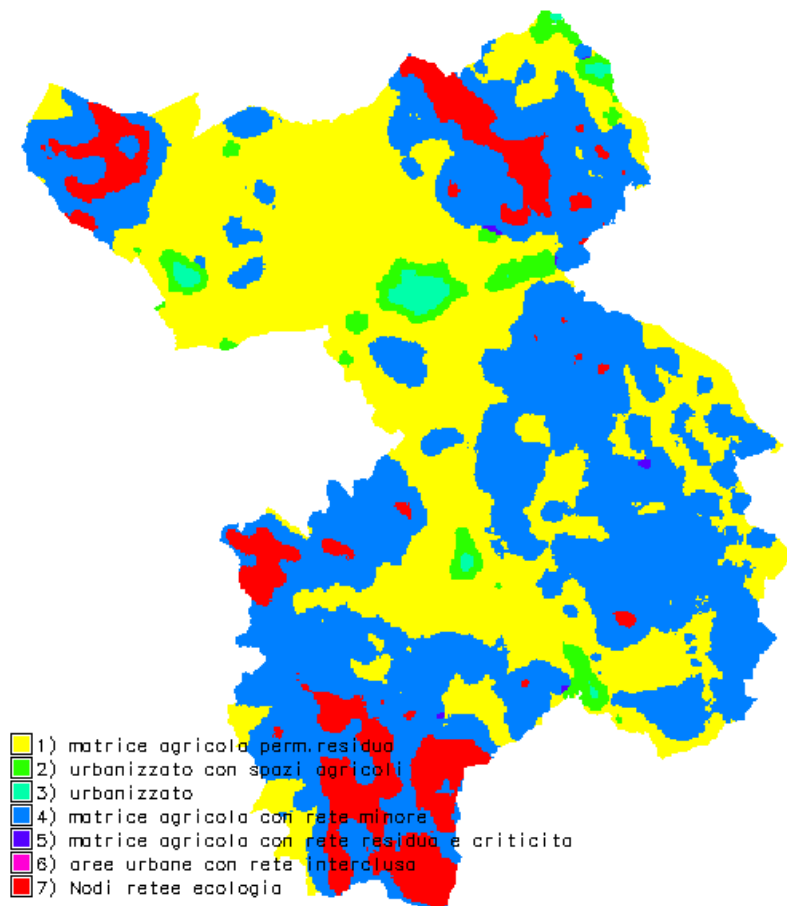


Figura x. Risultato dell'esercizio risolto

Visual quality

L'applicazione segue il modello proposto nella parte teorica. Innanzitutto viene definita la maschera che delimita la zona da elaborare.

Successivamente viene riclassificato l'uso del suolo, originariamente basato su una legenda Corine 3° livello, ai fini della identificazione del paesaggio prevalente (urbano, agricolo o boscato) e ai fini della valutazione della diversità paesistica.

```

# Inizializzazione
r.mask -o input=uso_cod3@basi_dati maskcats='1 thru 600'
g.region rast=uso_cod3@basi_dati res=100
r.mapcalc
'uso_id=if(uso_cod3@basi_dati<200,1,if(uso_cod3@basi_dati
<300,2,3))'
r.mapcalc 'uso_div=if(uso_cod3@basi_dati
<210,1,if(uso_cod3@basi_dati <220,2,if(uso_cod3@basi_dati
<230,3,if(uso_cod3@basi_dati <240,4,if(uso_cod3@basi_dati
<310,5,if(uso_cod3@basi_dati <320,6,if(uso_cod3@basi_dati

```

```

<330,8,if(uso_cod3@basi_dati <410,7,if(uso_cod3@basi_dati
<510,8,9))))))))) '
# Vengono calcolati gli operatori focali impiegati nella
valutazione
# Nel caso dell'indice di ecologia del paesaggio si adotta
l'interspersione.
r.neighbors --o input=uso_id output=uso_prev method=mode size=11
r.neighbors --o input=dtm method=stddev size=11 output=rugge
r.neighbors --o input=uso_div output=uso_interspersion
method=interspersion size=11
# Gli operatori ruggedness e interspersion vengono poi ordinati
secondo tre classi di valore: 1<<2<<3.
r.mapcalc
'classi_interspersion=if( uso_interspersion<10,1,if( uso_intersper
sion<80,2,3)) '
r.mapcalc 'classi_rugge=if(rugge<1,1,if(rugge<10,2,3)) '
#Infine vengono identificati 9 sistemi di paesaggio a diverso
valore visuale
#e viene effettuata una valutazione addittiva sommando i punteggi
ottenuti.
r.cross --o input=uso_prev,classi_interspersion,classi_rugge
output=sistemiVQ
r.mapcalc 'VQ=uso_prev+ classi_interspersion+classi_rugge'

```

Il risultato della procedura è riportato in figura x.

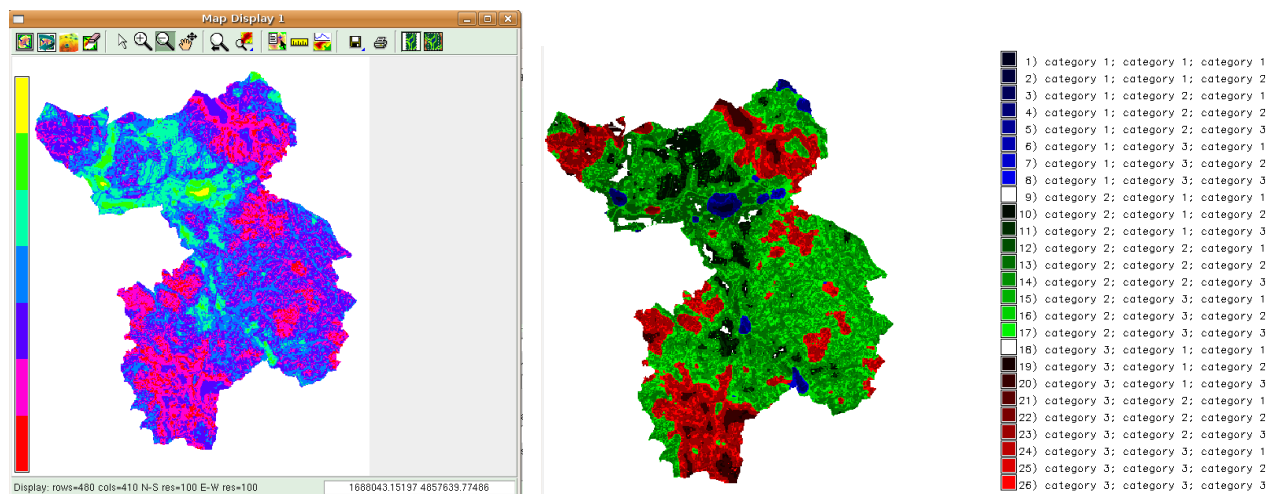


Figura x. Risultato dell'esercizio risolto: a sinistra valore visuale VQ, a destra sistemi di paesaggio SistemiVQ

La notazione esplicita

Scenario 1

```

# Scenario di espansione urbana per nuclei compatti
#
# crea la mappa di base dell'urbanizzato

```

```

r.mapcalc 'urba=if(urbano_anno>0,1,0)'
# primo scenario al tempo t1:
# 1) si valuta la densità dell'urbanizzato
# 2) si calcola una mappa di probabilità della urbanizzazione
# se la cella in esame è già urbana si assegna valore 1 altrimenti
# se la densità nella finestra mobile è superiore a 4 celle
# e l'uso del suolo è agricolo
# si assegna un numero casuale fra 2 e 3
# 3) si assegna una soglia di probabilità per l'effettiva
# trasformazione a urbanizzato
# per esempio 50%, se il valore della mappa è 1 (vecchia
# urbanizzazione) si assegna 1,
# altrimenti se è sotto 1.5 (pari alla soglia di probabilità 50%,
# si assegna 2 (nuova urbanizzazione).
r.mapcalc 'scenario_t1 = eval(densita=urba[-2,0]+urba[2,0]+urba[0,-
2]+urba[0,2]+urba[-1,1]+urba[0,1]+urba[1,1]+urba[-
1,1]+urba[1,0]+urba[1,0]+urba[-1,-1]+urba[0,-1]+urba[1,-1],
scenario_rand=if(urba==1,1,if(usosuolo_cod1>2,null(),if(densita>4,rand(2.0,3.0),
0))),if(scenario_rand==1,1,if(scenario_rand>1&&scenario_rand<2.5,2,0)))'
# secondo step al tempo t2
# ripetere "a piacere"
r.mapcalc 'urba=if(scenario_t1>0,1,0)'
r.mapcalc 'scenario_t2 = eval(densita=urba[-2,0]+urba[2,0]+urba[0,-
2]+urba[0,2]+urba[-1,1]+urba[0,1]+urba[1,1]+urba[-
1,1]+urba[1,0]+urba[1,0]+urba[-1,-1]+urba[0,-1]+urba[1,-1],
scenario_rand=if(urba==1,1,if(usosuolo_cod1>2,null(),if(densita>4,rand(2.0,3.0),
0))),if(scenario_rand==1,1,if(scenario_rand>1&&scenario_rand<2.5,2,null())))'

```

Scenario 2

```

# analogo a scenario 1, ma con espansione urbana lungo le strade
r.mapcalc 'urba=if(urbano_anno>0,1,0)'
r.mapcalc 'stradef=if(isnull(strade),0,1)'
r.mapcalc 'scenario2_t1 = eval(densita=urba[-2,0]+urba[2,0]+urba[0,-
2]+urba[0,2]+urba[-1,1]+urba[0,1]+urba[1,1]+urba[-
1,1]+urba[1,0]+urba[1,0]+urba[-1,-1]+urba[0,-1]+urba[1,-1],
dens_strade=stradef[0,0]+stradef[-1,1]+stradef[0,1]+stradef[1,1]+stradef[-
1,1]+stradef[1,0]+stradef[1,0]+stradef[-1,-1]+stradef[0,-1]+stradef[1,-1],
if(urba==1,1,if(usosuolo_cod1>2,null(),if(densita>1&&dens_strade>0,rand(2.0,3.0),
0)))))'
r.mapcalc 'urba=if(scenario2_t1>0,1,0)'
r.mapcalc 'scenario2_t2 = eval(densita=urba[-2,0]+urba[2,0]+urba[0,-
2]+urba[0,2]+urba[-1,1]+urba[0,1]+urba[1,1]+urba[-
1,1]+urba[1,0]+urba[1,0]+urba[-1,-1]+urba[0,-1]+urba[1,-1],
dens_strade=stradef[0,0]+stradef[-1,1]+stradef[0,1]+stradef[1,1]+stradef[-
1,1]+stradef[1,0]+stradef[1,0]+stradef[-1,-1]+stradef[0,-1]+stradef[1,-1],
if(urba==1,1,if(usosuolo_cod1>2,null(),if(densita>1&&dens_strade>0,rand(2.0,3.0),
null()))))'

```

Scenario 3

```

# Scenario di espansione delle aree naturali ai margini dei coltivi
# e lungo i fiumi
#
# crea la mappa di base delle aree naturali e dei fiumi floating point
r.mapcalc 'natura=if(usosuolo_cod1==3,1,0)'
r.mapcalc 'fiumif=if(isnull(fiumi),0,1)'
# automa cellulare deterministico

```



```
r.mapcalc 'natura_1 = eval(densita_n=natura[-2,0]+natura[2,0]+natura[0,-2]+natura[0,2]+natura[-1,1]+natura[0,1]+natura[1,1]+natura[-1,1]+natura[1,0]+natura[1,0]+natura[-1,-1]+natura[0,-1]+natura[1,-1], dens_fiumi=fiumif[0,0]+fiumif[-1,1]+fiumif[0,1]+fiumif[1,1]+fiumif[-1,1]+fiumif[1,0]+fiumif[1,0]+fiumif[-1,-1]+fiumif[0,-1]+fiumif[1,-1], if(natura==1,1,if(usosuolo_cod1>2,null(),if(densita_n>0&&dens_fiumi>0,2,0))))'
r.mapcalc 'natura=if(natura_1==2,1,natura_1)'
```

Idrisi-Circular Analysis

Permeabilità ecologica della volpe

Nota bene: contrariamente all'applicazione grass si è mantenuta la risoluzione a 25 metri. Il raggio del kernel circolare è quindi pari a $700/25=28$ pixels.

```
Modulo: RECLASS
input file: uso_suolo
output file: idoneita_volpe
assign new value of: 0 from 0 to just less than 243
assign new value of: 1 from 243 to just less than 245
assign new value of: 0 from 245 to just less than 311
assign new value of: 1 from 311 to just less than 312
assign new value of: 0 from 312 to just less than 313
assign new value of: 1 from 313 to just less than 322
assign new value of: 0 from 322 to just less than 323
assign new value of: 1 from 323 to just less than 325
assign new value of: 0 from 325 to just less than 399
```

```
Modulo: RECLASS
input file: dtm
output file: dtm_volpe
assign new value of: 1 from 0 to just less than 2000
assign new value of: 0 from 2000 to just less than 4000
```

```
Modulo: Image calculator
Operation type (.) Mathematical expression
Output file name: aree_idonee
Expression to process:
idoneita_volpe*dtm_volpe
```

```
Modulo: Circular Analysis
Input map: aree_idonee
Output map: percolazione_volpe
Statistics 1: Frequency of occurrence [%]
Radius: 28
```

```
Modulo: RECLASS
Input file: percolazione_volpe
Output file: rete_volpe
assign new value of: 0 from 0 to just less than 60
assign new value of: 1 from 60 to just less than 101
```

Classificazione della densità dell'urbanizzato

I parametri di questo caso di studio sono gli stessi dell'applicazione GRASS-QGIS, ma con risoluzione di 25 metri.

Modulo: RECLASS
Input file: uso_suolo
Output file: urbanizzato
ssign new value of: 1 from 1 to just less than 200
assign new value of: 2 from 200 to just less than 999

Modulo: Circular Analysis
Input map: urbanizzato
Output map: densita_urba
Statistics 1: Frequency of occurrence [%]
Radius: 24

Modulo: RECLASS
Input file: densita_urba
Output file: densita_60
ssign new value of: 0 from 0 to just less than 60
assign new value of: 1 from 60 to just less than 101

Modulo: Image calculator
Operation type (.) Mathematical expression
Output file name: nuclei_compatti
Expression to process:
urbanizzato*densita_60

Modulo: Image calculator
Operation type (.) Mathematical expression
Output file name: nuclei_non_compatti
Expression to process:
urbanizzato*(1- densita_60)

Modulo: GROUP
Input image: nuclei_compatti
Output_image: nuclei_group
(x) Include diagonal
(x) Ignore background

Modulo: AREA
Output format (.) Image
Input image: nuclei_group
Output image: nuclei_area
Calculate area as: (.) Hectares

Modulo: RECLASS
Input file: nuclei_area
Output file: nuclei_princ
ssign new value of: 0 from 0 to just less than 100
assign new value of: 1 from 100 to just less than 999

Modulo: RECLASS
Input file: nuclei_area
Output file: nuclei_sec
ssign new value of: 1 from 0.0001 to just less than 1
assign new value of: 0 from 1 to just less than 999

Modulo: BUFFER
Feature image: nuclei_princ

Buffer width: 400
Value for target area: 0
Value for buffer zone: 1
Value for non buffer zone: 0
Output image: nuclei_buff

Modulo: Image calculator
Operation type (.) Mathematical expression
Output file name: aree_frangia
Expression to process:
nuclei_non_compatti*nuclei_buff

Modulo: Image calculator
Operation type (.) Mathematical expression
Output file name: sprawl
Expression to process:
nuclei_non_compatti*(1-nuclei_buff)

Modulo: Image calculator
Operation type (.) Mathematical expression
Output file name: classificazione_urbano
Expression to process:
nuclei_princ+2*nuclei_sec+3*aree_frangia+4*sprawl

L'analisi ecologica del territorio

Analoga al caso GRASS-QGIS, ma con risoluzione pari a 25 metri.

Modulo: RECALSS
Input file: uso_suolo
Output file: artificiali
assign new value of: 1 from 1 to just less than 200
assign new value of: 200 from 1 to just less than 999

Modulo: RECALSS
Input file: uso_suolo
Output file: naturali
assign new value of: 0 from 1 to just less than 300
assign new value of: 1 from 300 to just less than 999

Modulo: Circular Analysis
Input map: naturali
Output map: percolazione
Statistics 1: Frequency of occurrence [%]
Radius: 20

Modulo: Circular Analysis
Input map: artificiali
Output map: densita_urba
Statistics 1: Frequency of occurrence [%]
Radius: 20

Modulo: RECALSS
Input file: percolazione
Output file: percolazione15
assign new value of: 1 from 1 to just less than 15,1
assign new value of: 0 from 15.1 to just less than 101

Modulo: RECALSS
Input file: percolazione
Output file: percolazione15_60
assign new value of: 0 from 1 to just less than 15,1
assign new value of: 1 from 15.1 to just less than 60.1
assign new value of: 0 from 60.1 to just less than 101

Modulo: RECALSS
Input file: percolazione
Output file: percolazione60
assign new value of: 0 from 1 to just less than 60,1
assign new value of: 1 from 60.1 to just less than 101

Modulo: RECALSS
Input file: densita_urba
Output file: densita_urba30
assign new value of: 1 from 1 to just less than 30,1
assign new value of: 0 from 30.1 to just less than 101

Modulo: RECALSS
Input file: densita_urba
Output file: densita_urba30_60
assign new value of: 0 from 1 to just less than 30,1
assign new value of: 1 from 30.1 to just less than 60.1
assign new value of: 0 from 60.1 to just less than 101

Modulo: RECALSS
Input file: densita_urba
Output file: densita_urba60
assign new value of: 0 from 1 to just less than 60,1
assign new value of: 1 from 60.1 to just less than 101

Modulo: Image calculator
Operation type (.) Mathematical expression
Output file name: eco
Expression to process:
 $(\text{percolazione15} * \text{densita_urba30}) + 2 * (\text{percolazione15} * \text{densita_urba30_60}) + 3 * (\text{percolazione15} * \text{densita_urba60}) + 4 * (\text{percolazione15_60} * \text{densita_urba30}) + 5 * (\text{percolazione15_60} * \text{densita_urba30_60}) + 6 * (\text{percolazione15_60} * \text{densita_urba60}) + 7 * (\text{percolazione60} * \text{densita_urba30}) + 8 * (\text{percolazione60} * \text{densita_urba30_60})$

Visual quality

L'applicazione è analoga al caso GRASS-QGIS, salvo il fatto che gli operatori focali possono essere calcolati su finestra mobile massima di 7x7, non essendo disponibile l'operatore moda su Circular Analysis.

Modulo: RECALSS
Input file: uso_suolo
Output file: uso_id
assign new value of: 1 from 1 to just less than 200
assign new value of: 2 from 200 to just less than 300
assign new value of: 3 from 300 to just less than 999

Modulo: RECALSS
Input file: uso_suolo
Output file: uso_div
assign new value of: 1 from 1 to just less than 210
assign new value of: 2 from 210 to just less than 220
assign new value of: 3 from 220 to just less than 230
assign new value of: 4 from 230 to just less than 240
assign new value of: 5 from 240 to just less than 310
assign new value of: 6 from 310 to just less than 320
assign new value of: 8 from 320 to just less than 330
assign new value of: 7 from 330 to just less than 410
assign new value of: 8 from 410 to just less than 510
assign new value of: 9 from 510 to just less than 999

Modulo: FILTER
Filter type: (.) Mode
Filter size: (.) 7x7
Input image: uso_id
Output image: uso_prev

Modulo: FILTER
Filter type: (.) Standard deviation
Filter size: (.) Use defined filter:

Row:11
Columns:11

(inserire una matrice di valori 1 nella finestra filtro)
Filter file name: 11x11
Input image: dtm
Output image: rugge

Modulo: PATTERN
Input image: uso_div
Output image: uso_diversity
Pattern measure: (.) Diversity (H)
Size of area for calculation: (.) 7x7

Modulo: RECALSS
Input file: uso_diversity
Output file: classi_diversity
assign new value of: 1 from xx to just less than yy
assign new value of: 2 from yy to just less than zz
assign new value of: 2 from zz to just less than ww

Modulo: RECALSS
Input file: rugge
Output file: classi_rugge
assign new value of: 1 from 0 to just less than 1
assign new value of: 2 from 1 to just less than 10
assign new value of: 2 from 10 to just less than 999

Modulo CROSSTAB
Type of analysis: (.) hard classification
First image (column): uso_prev
Second image (row): classi_diversity
(x) Third image (plane): classi_rugge
Output type: (.) Cross-classification image
Output image: SistemiVQ

Modulo: Image calculator

Operation type (.) Mathematical expression
Output file name: VQ
Expression to process:
uso_prev+classi_diversity+classi_rugge

Parte C: Richiami di matematica

Il concetto di convoluzione

La maggioranza dei filtri utilizzano matrici di convoluzione. Cosa è la convoluzione? Qui è il dominio del matematico. In matematica la convoluzione è una operazione fra funzioni indicata simbolicamente come:

$$g_{hf}(\zeta) = h(x) * f(x)$$

ed è data genericamente dalla espressione:

$$g_{hf}(\zeta) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x)h(\zeta - x) dx$$

Il processo di convoluzione si basa quindi sui seguenti passaggi (figura x):

1. Rendere $g(x)$ e $h(x)$ funzioni della variabile di comodo ξ .
2. Invertire una delle funzioni ed aggiungere x per consentire ad essa di scorrere avanti e indietro sull'asse ξ , mantenendola stazionaria con lo stesso asse rispetto a x .
3. Ad ogni intersezione delle due funzioni, calcolare l'integrale del loro prodotto.
4. La funzione risultante (non mostrata) è la convoluzione delle due funzioni.

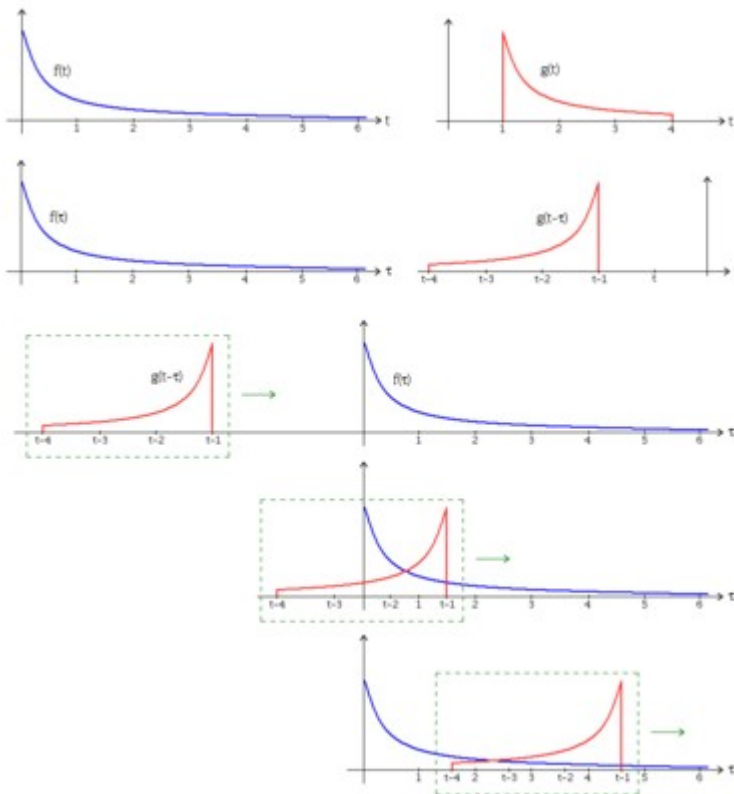


Figura x. Spiegazione visiva della convoluzione²³

²³ Wikipedia. L'enciclopedia libera. Voce Convoluzione.

La convoluzione e le relative operazioni sono usate in diverse applicazioni dell'ingegneria e della matematica.

- In statistica, una media mobile pesata è una convoluzione.
- Anche la distribuzione di probabilità della somma di due variabili casuali indipendenti corrisponde alla convoluzione di ognuna delle loro distribuzioni.
- In ottica, molte specie di "blur" sono descritte tramite la convoluzione. Un'ombra (ad esempio l'ombra su un tavolo che si vede quando si gli si interpone un oggetto innanzi la fonte luminosa) è la convoluzione della forma della fonte di luce che sta proiettando l'ombra dell'oggetto illuminato. Una foto fuori fuoco è la convoluzione dell'immagine a fuoco con la forma del diaframma. Il termine fotografico per tale effetto è bokeh.
- Analogamente, nell'elaborazione digitale delle immagini, i filtri convoluzionali assumono un importante compito negli algoritmi di calcolo dei margini e dei processi correlati.
- Nell'elaborazione digitale dei segnali, il filtraggio di frequenza può essere semplificato convolvendo due funzioni (dati con un filtro) nel dominio del tempo, il che equivale a moltiplicare i dati con un filtro nel dominio di frequenza.
- In acustica lineare, un eco è la convoluzione del suono originale con una funzione geometrica che descrive i vari oggetti che stanno riflettendo il segnale sonoro.
- Nella riverberazione artificiale (elaborazione digitale dei segnali (DSP), audio professionale), la convoluzione è utilizzata per codificare la risposta ad impulso di una stanza reale ad un segnale audio digitale.

La convoluzione spaziale bidimensionale

Sotto questo punto di vista i filtri focali sono *convoluzioni spaziali bidimensionali* definibili come trasformazioni in uno spazio a due dimensioni e nel discreto della formula precedente²⁴.

Operando in uno spazio a due dimensioni si ha infatti:

$$g(x,y) = \int_{\xi} \int_{\eta} h(x-\xi, y-\eta) f(\xi, \eta) d\xi d\eta$$

Nel discreto la funzione $f(.)$ rappresenta l'immagine da elaborare e la $g(.)$ quello che abbiamo definito come kernel o finestra mobile. Il risultato della convoluzione nell'immagine di output $g(i,l)$ è il pixel con coordinate (i,l) al centro della finestra quadrata $h(.)$. Matematicamente:

$$g(i,j) = \sum_{k=i-p}^{i+p} \sum_{m=j-p}^{j+p} h_{k-i, m-j} k_{k,m}$$

Ad esempio per una finestra mobile quadrata di 3x3 si ha $p=1$ e quindi

$$g(i,j) = \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{m=j-1}^{j+1} h_{k-i, m-j} k_{k,m}$$

$$g(i,j) = h_{-1,-1} f_{i-1, j-1} + h_{-1,0} f_{i-1, j} + h_{-1,1} f_{i-1, j+1} + h_{0,-1} f_{i, j-1} + h_{0,0} f_{i, j} + h_{0,1} f_{i, j+1} + h_{1,-1} f_{i+1, j-1} + h_{1,0} f_{i+1, j} + h_{1,1} f_{i+1, j+1}$$

Graficamente l'operazione è riportata in figura x per una finestra 3x3.

²⁴ Vedi Demanis A. Biagi L. (2006). Telerilevamento: informazione territoriale tramite immagini da satellite. Casa Editrice Ambrosiana.

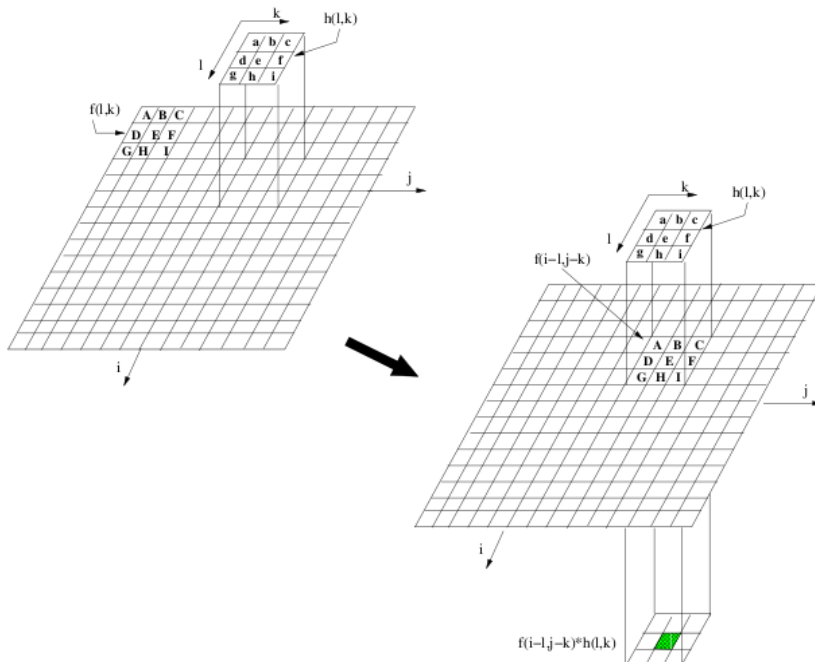


Figura x. Convoluzione bidimensionale discreta.

Per esempio, per il filtro passabasso la funzione $h(\cdot)$ diviene costante e si può scrivere,

$$g(i,j) = \frac{1}{(2p+1)^2} \sum_{k=i-p}^{i+p} \sum_{m=j-p}^{j+p} f_{k,m} .$$

Per esempio, per un kernel 3x3 si ha $p=1$ e la finestra mobile è costante con $h(\cdot)=1/9$ e quindi si ha:

$$g(i,j) = \frac{f_{i-1,j-1} + f_{i-1,j} + f_{i-1,j+1} + f_{i,j-1} + f_{i,j} + f_{i,j+1} + f_{i+1,j-1} + f_{i+1,j} + f_{i+1,j+1}}{9} .$$

Più complesso è il caso della trasformazione di tipo gaussiano, in cui la $h(\cdot)$ assume la seguente forma:

$$h(k,l) = e^{-\frac{(k^2+l^2)}{2\sigma^2}}$$

con σ deviazione standard e quindi parametro caratteristico della funzione gaussiana. Al crescere di σ vengono via via sempre meno pesati i pixel lontani dal centro della finestra, come mostrato in figura x.

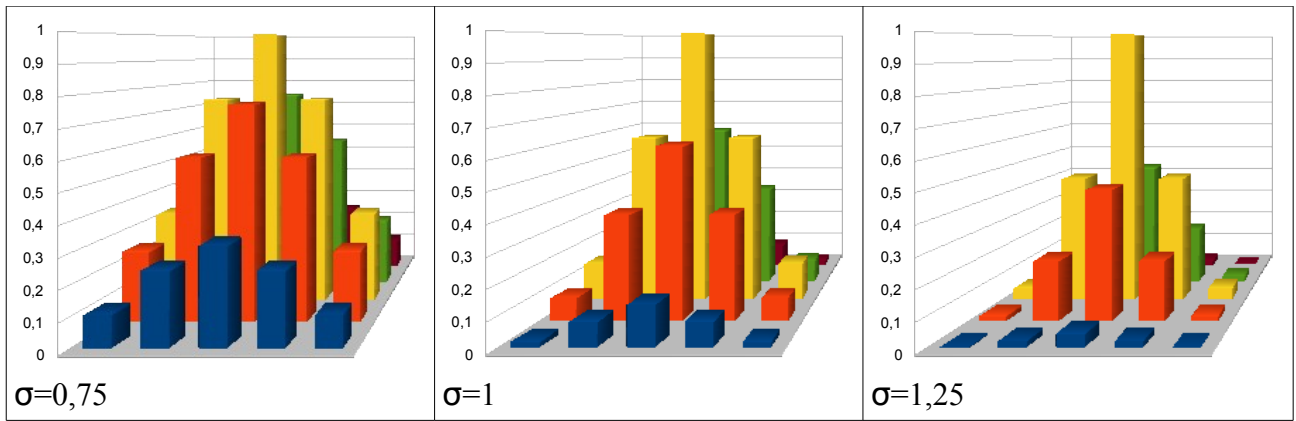


Figura x. Valori del filtro gaussiano su una finestra 5x5 al variare della deviazione standard.

Esercizi