

Analisi topografica finalizzata allo studio di processi di erosione nel bacino della Val Febbraro (SO)

Rossi Marcello*

Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio" - Università degli Studi di Milano. Email: *marcello.rossi@unimi.it



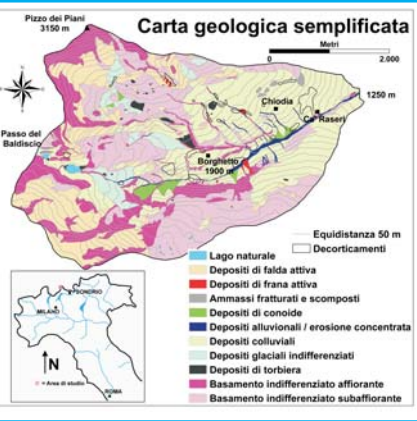
Riassunto

In relazione allo studio di erosione e di trasporto di sedimenti nel bacino della Val Febbraro (N della Valchiavenna, SO), è proposto un esempio di analisi topografica mediante GIS. Durante sopralluoghi di terreno sono stati individuati 88 decorticamenti, di dimensione massima decametrica. L'analisi è finalizzata a descrivere la morfologia dei siti in termini di: quota, pendenza, esposizione, curvature. In seguito sono state determinate le proprietà derivate: lunghezza di flusso, accumulo di flusso, indici di umidità naturale, erosione e di energia dei canali. La determinazione degli indici ha richiesto un'analisi idrologica preliminare mediante applicazione sia del metodo D8, che a flusso multiplo ed attraverso la combinazione dei due metodi. A partire dalla carta degli accumuli di flusso i decorticamenti sono stati classificati in funzione del tipo di deflusso: laminare (83 casi) ed incanalato (5). I processi erosivi sono localizzati in aree ad alto valore degli indici di erosione e di energia di canale; tale situazione definisce processi legati ad un deflusso con alta capacità erosiva e di trasporto solido. Gli indici calcolati sono maggiormente influenzati dalla pendenza e dagli accumuli di flusso, rispetto a quota ed esposizione.

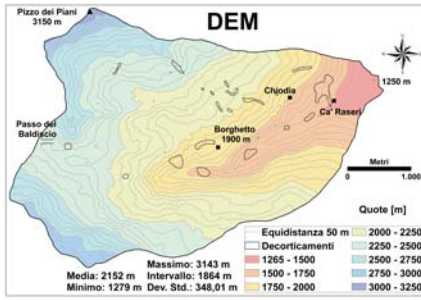
Inquadramento geologico

Il substrato roccioso della Val Febbraro è costituito da gneiss, e subordinati micascisti ed anfiboliti affioranti nei settori nord ed occidentale della valle. Il versante sud è formato da gneiss con carbonati, quarziti, marmi, micascisti e migmatiti. Le coperture detritiche sono rappresentate prevalentemente da depositi colluviali e glaciali, con alla base delle principali scarpate delle falde di detrito attivo. Prevalentemente all'interno dei depositi colluviali sono stati individuati 88 decorticamenti superficiali localizzati prevalentemente nel settore NE del bacino, e con pochi casi nel settore occidentale. Questi fenomeni di instabilità superficiale portano al distacco della cortice erosa e della porzione di suolo superficiale portando in esposizione i depositi incoerenti sottostanti. Le dimensioni sono da metriche a decametriche, con una profondità della superficie di scivolamento massimo metrica.

Fig. 1: Ubicazione dell'area di studio e carta geologica semplificata della Val Febbraro.



Analisi morfologica: parametri primari



Quota

La distribuzione delle quote è regolare in fasce tra loro parallele.

Sintesi dei valori di quota dei siti con decorticamenti (valori in metri)

Media: 1975; Minimo: 1494; Mediana: 1977; Massimo: 2465; Moda: 2445, 2448; Dev. Std.: 296,58; Asimmetria: 0,086

I decorticamenti si concentrano prevalentemente nelle fasce altimetriche inferiori, sotto i 2000 m s.l.m..

Fig. 2: Modello digitale del terreno. Sono riportati i valori statistici di media, minimo, massimo, intervallo e deviazione standard delle quote.

Pendenza (gradiente)

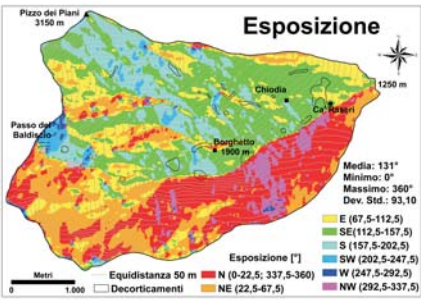
Scarpate con pendenza maggiore di 40° orientate NE-SW, parallele all'asse della valle, corrispondenti ai principali affioramenti del substrato. Meno diffuse sono scarpate con direzione NW-SE, presenti nel settore N del bacino. Estese aree con pendenza inferiore a 20° nei settori occidentali e meridionali del bacino

Sintesi dei valori di pendenza dei siti con decorticamenti (valori in gradi):
Media: 25; Minimo: 7; Mediana: 25; Massimo: 47; Moda: 30,35 - 30,55; Dev. Std.: 8,45; Asimmetria: 0,11

La distribuzione è simmetrica, con i decorticamenti che si impostano prevalentemente in aree a pendenze di 25 - 30°.



Fig. 3: Carta della pendenza. Sono riportati i valori statistici di media, minimo, massimo, intervallo e deviazione standard delle pendenze.



Esposizione

Il bacino è caratterizzato, sul versante sinistro, da fasce NW-SE ed E-W con esposizione media a SE, con intercalata una fascia ad esposizione S e SW. Il versante destro ha esposizione regolare a N e NW ed il settore occidentale ha esposizione dominante a NE.

Sintesi dei valori di esposizione dei siti con decorticamenti (valori in gradi):
Media: 136; Minimo: 9; Mediana: 140; Massimo: 222; Moda: 164 - 172; Dev. Std.: 44,26; Asimmetria: -0,72;

Decorticamenti su versanti prevalentemente esposti a SE a S.

Curvature

La curvatura piana rappresenta la curvatura delle isoipse (Fig. 5a). La curvatura del profilo descrive la curvatura nella direzione della pendenza (Fig. 5b). In entrambe le situazioni valori positivi descrivono curvature convesse (Wilson & Gallant, 2004).

Sintesi dei valori di curvatura piana dei siti con decorticamenti (valori in m⁻¹):
Media: 0,07; Minimo: -1,89; Mediana: -0,02; Massimo: 3,12; Moda: 0,76, 0,79; Dev. Std.: 0,71; Asimmetria: 0,61;

Sintesi dei valori di curvatura del profilo dei siti con decorticamenti (valori in m⁻¹):
Media: 0,013; Minimo: -1,66; Mediana: 0,074; Massimo: 1,74; Moda: -1,66 - 1,26; Dev. Std.: 0,62; Asimmetria: -0,46

I decorticamenti si impostano in corrispondenza di profili divergenti (curvatura piana positiva). I valori della curvatura del

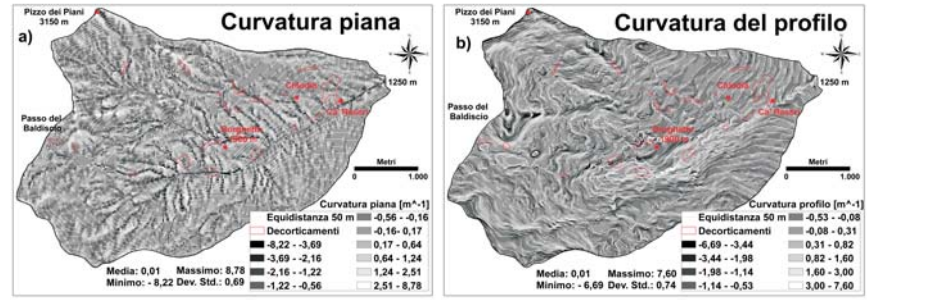
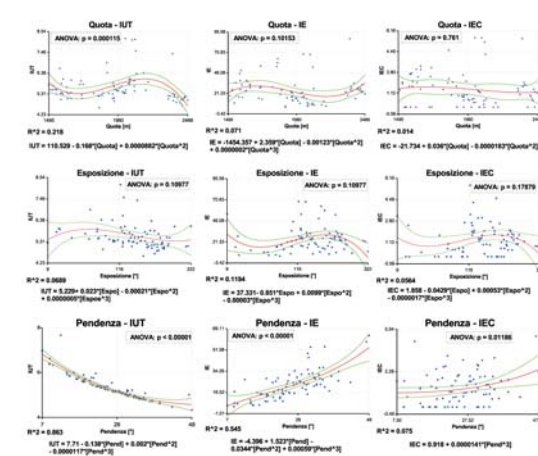


Fig. 5: Carta delle curvature. Sono riportati i valori statistici di media, minimo, massimo, intervallo e deviazione standard delle curvature. a) Curvatura piana; b) Curvatura del profilo.



Regressione lineare

Regressione lineare - introduzione

La regressione lineare è eseguita con l'estensione Grid and Theme regression 3.1e, che permette l'applicazione di 6 trasformazioni per le variabili indipendenti per riportare i dati ad una relazione di tipo lineare. L'esistenza di una relazione lineare è testata attraverso l'analisi della varianza, con ipotesi nulla (H₀) di non esistenza di un gradiente (Ciotoli & Finaio, 2005). Se p < 0,00001 la relazione tra le variabili è di tipo lineare. Per ogni relazione viene calcolato il valore di R² (coefficiente di determinazione) che quantifica la percentuale della variabilità della variabile indipendente sull'incertezza della variabile dipendente (Jenness, 2006).

Regressione lineare - risultati

Gli indici calcolati non presentano relazioni di tipo lineare con quota ed esposizione, come descritto dai valori di p sempre maggiori di 0,0001. I valori di R² sempre inferiori a 0,21, indicando una variabilità degli indici scarsamente influenzata dalla variabilità di quota e pendenza. Al contrario rispetto alla pendenza IUT e IE presentano una relazione di tipo lineare, se viene applicata una trasformazione di tipo cubico polinomiale. La variabilità dei valori di pendenza definisce l'86,3% su IUT, e per il 54,4% su IE. Al contrario IEC non presenta relazione lineare con la pendenza (p = 0,012). Gli accumuli di flusso hanno sempre relazioni lineari con gli indici (modello di trasformazione logaritmico). L'influenza della variabilità degli indici è di: 38,1% (IUT), 55,5% (IE) e 95,5% (IEC).

Fig. 12: Regressione lineare tra quota, esposizione pendenza, accumuli di flusso (variabili indipendenti) e gli indici calcolati (IUT, IE, IEC) (variabili dipendenti).

Introduzione

La topografia rappresenta uno dei principali fattori nei processi di erosione, trasporto e deposizione di materiale solido in un bacino idrografico. L'analisi della topografia eseguita mediante GIS determinando: parametri topografici primari e secondari. I primi sono derivati direttamente dal DEM (pendenza, esposizione, curvature piana e del profilo, lunghezza di flusso), mentre i secondi sono calcolati per combinazione dei primari (carta degli accumuli) o determinando indici basati su relazioni fisiche od empiriche che descrivono differenti processi: indice di umidità topografica (IUT), di energia dei canali (IEC) e di erosione (IE). Viene qui proposta un'analisi del bacino della Val Febbraro (SO) (Fig. 1), in relazione alla caratterizzazione di decorticamenti superficiali. Per tutti i siti vengono definiti i valori dei parametri considerati; è così possibile descrivere i siti attraverso la statistica descrittiva. Dopo la descrizione morfologica del bacino e dei siti (parametri primari) è stata eseguita un'analisi idrologica. Attraverso quest'analisi sono determinate le carte delle lunghezze di flusso e degli accumuli di flusso (Ac). A partire da Ac sono stati in seguito classificati i singoli decorticamenti. Infine è eseguita una regressione lineare per valutare la tipologia di relazione tra quota, pendenza ed esposizione (variabili indipendenti) e gli indici considerati (variabili dipendenti). Inoltre è stato possibile quantificare il grado di variabilità delle variabili dipendenti in relazione alle variabili indipendenti. Il modello digitale di terreno utilizzato come base ha celle quadrate di 20 m. Per la determinazione dei parametri e per l'esecuzione della regressione lineare sono state utilizzate estensioni per ArcView 3.2 disponibili sul sito: www.esri.com. Per la creazione delle immagini è stato utilizzato ArcMap 9.1.

- Spatial Analyst: carta della pendenza ed esposizione;
- DEMAT: curvatura piana e del profilo;
- Hydrotools 1.0 e Basin 1.0: analisi idrologica (carta degli accumuli e lunghezze di flusso);
- Terrain Analysis: indice di umidità topografica e di energia dei canali;
- Map Calculator (ArcMap): indice di erosione;
- Grid and Theme regression 3.1e: regressione lineare e ANOVA

Analisi idrologica

Analisi idrologica - introduzione

L'analisi idrologica è eseguita con le estensioni HydroTools 1.0 (Schäuble, 2004) e Basin 1.0 (Petras, 2003). La procedura seguita è riportata in Fig. 6. La prima fase è l'eliminazione delle aree depresse (errori morfologici del DEM) eseguita direttamente da HydroTools. La seconda fase è l'eliminazione delle aree piatte per confronto tra il DEM, privo di depressioni, e la carta delle direzioni di flusso. La determinazione dell'area di accumulo è basata sull'applicazione di tre algoritmi: D8 (a flusso singolo) (O'Callaghan, 1984), a flusso multiplo (FM) (Quinn, et alii, 1991) e un algoritmo che combina i due precedenti (D8FM). Per l'applicazione del terzo metodo è necessario determinare l'area di soglia, oltre la quale la carta degli accumuli viene calcolata mediante FM, e sotto attraverso D8 (Schäuble, 2004). Per la definizione dell'area di soglia viene utilizzato l'estensione Basin 1.0.

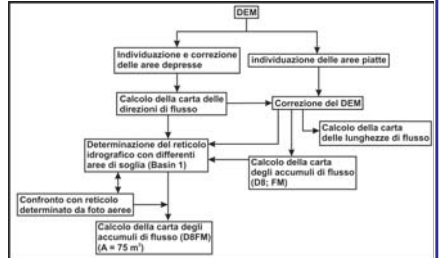
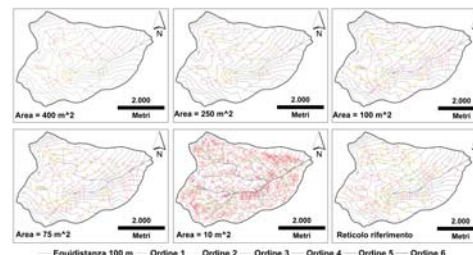


Fig. 6: Schema dell'analisi idrologica eseguita.



Determinazione dell'area di soglia

Utilizzando differenti valori dell'area di soglia (400, 250, 100, 75, 10 m²) (Fig. 7a) sono calcolati differenti reticoli idrografici. Al diminuire del valore utilizzato si osserva una progressiva diminuzione della complessità del reticolo idrografico calcolato. Per confronto con il reticolo di riferimento (da foto aeree) è ricercata il valore che restituisce un reticolo con proprietà simili alla situazione reale (esempio la densità di drenaggio: rapporto tra lunghezze delle aste e area del bacino). La migliore coincidenza è per un'area di 75 m² (Fig. 7b). Con tale valore viene calcolata Ac con FMD8.

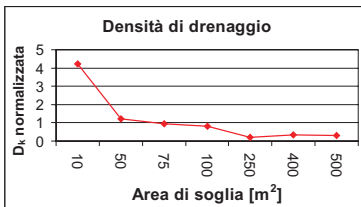


Fig. 7: a) Confronto tra i reticoli calcolati per differenti aree di soglia ed il reticolo definito a partire dalle foto aeree. b) Esempio di confronto tra proprietà derivate dai reticoli calcolati e quello reale. Valori di densità di drenaggio normalizzati rispetto al valore del reticolo di riferimento.

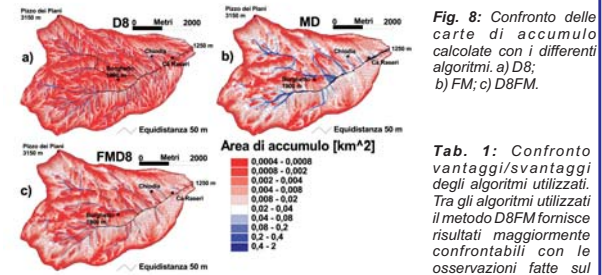


Fig. 8: Confronto delle carte di accumulo calcolate con i differenti algoritmi. a) D8; b) FM; c) D8FM.

Tab. 1: Confronto vantaggi/svantaggi degli algoritmi utilizzati. Tra gli algoritmi utilizzati il metodo D8FM fornisce risultati maggiormente confrontabili con le osservazioni fatte sul terreno.

Carte degli accumuli - classificazione dei decorticamenti

Dalla carta degli accumuli di flusso sono stati valutati i valori di inizio delle aste fluviali permanenti. Tali valori sono compresi tra 0,002 e 0,096, con valori medi di 0,041 [km²]. I decorticamenti sono caratterizzati dai seguenti valori:

Sintesi dei valori degli accumuli di flusso dei siti con decorticamenti (valori in km²):
Media: 0,019; Minimo: 0,0007; Mediana: 0,00445; Massimo: 0,37; Moda: 0,0022 - 0,0024 - 0,0047 - 0,0049 - 0,0063; Dev. Std.: 0,06
Asimmetria: 4,48

Per confronto dei valori dei singoli decorticamenti con i valori di inizio dei canali permanenti, 83 sono impostati in aree a prevalente deflusso laminare mentre i rimanenti 5 sono impostati lungo i canali.

Carta delle lunghezze di flusso

Massima distanza del flusso idrico da un punto del bacino (Wilson & Gallant, 2004).

Sintesi dei valori della lunghezza di flusso dei siti con decorticamenti (valori in metri):
Media: 230; Minimo: 0; Mediana: 107; Massimo: 1847; Moda: 0; Dev. Std.: 362,82
Asimmetria: 2,79;

Buona parte dei decorticamenti si imposta in siti a lunghezza di flusso nulla, per confronto con la carta delle pendenze si osserva che tali siti sono corrispondenti ad aree ad elevata pendenza, lungo locali spartiacque secondari.

Algoritmo	Vantaggi	Svantaggi
D8	Buona definizione del reticolo	Sovrastima dei processi incanalati sui versanti. Individua canali non osservati in natura
FM	Buona definizione delle aree a deflusso laminare (Ac > 0,004 km ²)	Sovrastima le larghezze dei canali, calcolando dimensioni non corrispondenti alla realtà
D8FM	Buona definizione del reticolo e delle aree a deflusso laminare	Richiede l'introduzione di un parametro aggiuntivo che influisce sulla definizione del reticolo/area a deflusso laminare

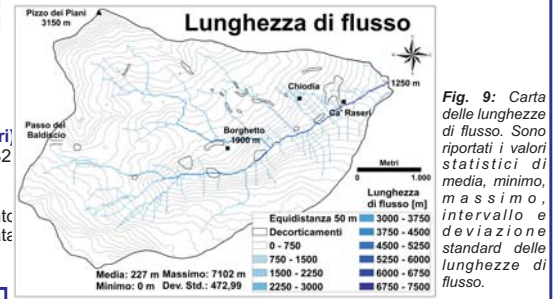
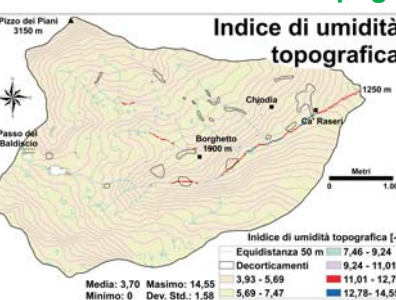


Fig. 9: Carta delle lunghezze di flusso. Sono riportati i valori statistici di media, minimo, massimo, intervallo e deviazione standard delle lunghezze di flusso.

Parametri topografici secondari



Indice di umidità topografica (IUT)

L'IUT calcolato come: $IUT = \ln\left(\frac{Ac}{\sin(\beta)}\right)$. Altri valori indicano potenziali aree sature, bassi valori generalmente corrispondono ai principali affioramenti del substrato. Ac = area di accumulo (qui calcolata con D8); β = pendenza [°] (Wilson & Gallant, 2004).

Sintesi dei valori di IUT dei siti con decorticamenti (adimensionale)

Media: 5,6; Minimo: 4,59; Mediana: 5,39; Massimo: 8,18; Moda: 5,13 - 5,18; Dev. Std.: 0,70; Asimmetria: 2,01

I decorticamenti si formano per aree corrispondenti a situazioni di media saturazione se confrontati con i valori del bacino ($IUT_{max} = 14,55$; $IUT_{med} = 3,70$).

Fig. 10: Indice di umidità topografica (IUT). Sono riportati i valori statistici di media, minimo, massimo, intervallo e deviazione standard dell'indice di umidità topografica.

Indici di erosione (IE) e di energia dei canali (IEC)

$IE = \left[\frac{Ac \cdot \sin(\beta)}{22,13}\right]^{0,4} \cdot \left[\frac{\sin(\beta)}{0,0896}\right]^{1,3}$ (Moore & Wilson, 1994). Altri valori indicano processi di erosione, valori bassi deposizione. L'indice di energia dei canali $IEC = Ac \cdot \sin(\beta)$, descrive la capacità di trasporto di materiale solido da parte del deflusso. Altri valori indicano un deflusso con elevata capacità di trasporto solido (Wilson & Gallant, 2004). Ac = Area accumulo (D8FM = IE; D8 = IEC); β = pendenza [°]

I valori di IE medi per i decorticamenti evidenziano una localizzazione in aree caratterizzate da un deflusso laminare con alto potere erosivo. Compatibilmente i valori dell'indice di energia dei canali per i decorticamenti definiscono un deflusso con elevata capacità di trasporto di materiale solido.

Sintesi dei valori di IE dei siti con decorticamenti (adimensionale):
Media: 24,91; Minimo: 4,83; Mediana: 23,25; Massimo: 87,33; Moda: 23,75 - 31,63; Dev. Std.: 15,54; Asimmetria: 1,57

Sintesi dei valori di IEC dei siti con decorticamenti (adimensionale):
Media: 1,43; Minimo: 0,00; Mediana: 1,21; Massimo: 5,59; Moda: 0; Dev. Std.: 1,35; Asimmetria: 1,36

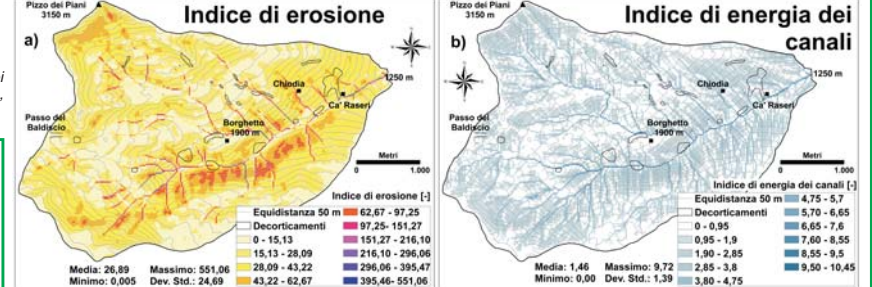


Fig. 11: a) Indice di erosione. b) Indice di energia dei canali. Sono riportati i valori statistici di media, minimo, massimo, intervallo e deviazione standard degli indici.

Conclusioni

A partire dal DEM sono stati ricavati differenti parametri topografici che hanno permesso di quantificare le caratteristiche di 88 decorticamenti presenti in Val Febbraro. A partire dalla carta degli accumuli di flusso, calcolata con il metodo D8FM con un'area di soglia di 75 m², è stato possibile classificare i decorticamenti individuali: 83 sono in corrispondenza di deflusso laminare mentre solo 5 sono localizzati in aree a deflusso incanalato. Le caratteristiche del deflusso sono descritte dai valori degli indici di erosione e di energia dei canali. I valori elevati di entrambi gli indici definiscono situazioni di deflusso laminare con elevato potere erosivo e con alta capacità di trasporto. La regressione lineare ha evidenziato l'esistenza di relazioni lineari tra pendenza e IUT e IE; tra la carta degli accumuli e tutti e tre gli indici. Al contrario tra quota ed esposizione non sono state individuate relazioni di tipo lineare con gli indici derivati.

Bibliografia essenziale

- Ciotoli, G. & Finaio, M.G., (2005) - Dalla statistica alla geostatistica. Introduzione all'analisi dei dati geologici e ambientali. Aracne Editrice, Roma
- Jenness, J., (2006) - Grid and Theme Regression 3.1e manual. www.jennessit.com
- Moore, I.D. & Wilson, J.P., (1994) - Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation. Journal of Soil and Water Conservation, 47, pp.423-428
- O'Callaghan, J.F. 1984. - The extraction of drainage networks from digital elevation data. Comput. vision, graphics, and image processing, 28, 323-344
- Petras, I. 2003. - Instructions - ArcView GIS Basin1 Estension. Department of Water Affairs & Forestry, Pretoria, South Africa. www.esri.com
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., Planchon, O. 1991. - The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. Hydrological processes, 5, 59-79
- Schäuble, H., 2004. - HydroTools 1.0 for ArcView 3.x, user manual. www.esri.com
- Wilson, J.P. & Gallant, J.C., (2004) - Terrain Analysis: Principle and application. John Wiley & Sons, Inc. New York