

La modellazione del reticolo idrografico: elemento cardine per la pianificazione e la tutela del territorio

Elisa Sbrissa, Carla Pendino, Ruggero Valentinotti, Stefano Fait

Provincia Autonoma di Trento, Servizio Bacini montani, Ufficio pianificazione supporto tecnico e demanio idrico
via G. B. Trener, 3 Trento, tel 0461495553, fax 0461495697, bacinimontani.upstdi@provincia.tn.it

Riassunto

La definizione del reticolo idrografico della Provincia Autonoma di Trento (PAT) rappresenta un elemento cardine per la valutazione della pericolosità idrogeologica e la gestione del patrimonio degli interventi strutturali di mitigazione di tale pericolosità, per la pianificazione urbanistica del territorio e la qualità dell'ecosistema. Il reticolo idrografico è stato ricavato a livello preliminare a partire da analisi geomorfometriche sul modello digitale del terreno derivato dal rilievo LiDAR. Successivamente, attraverso valutazioni esperte, sono stati integrati diversi livelli informativi e, con particolare riferimento alle zone fortemente alterate da cause antropiche, si è proceduto ad un controllo sul territorio rilevando circa 28.550 punti GPS. Il reticolo ottenuto ha una densità di 3.4 km/km² ed è orientato e connesso in modo tale da poter essere utilizzato per diversi scopi.

Abstract

The hydrographic network of the Autonomous Province of Trento represents a key element for the hydrogeological hazard assessment and structural work management, for urban planning and the ecosystem quality. Firstly the river network is derived from geomorphometry analysis on the digital terrain model derived from the LiDAR data. Subsequently, through expert evaluations, various levels of information are integrated and, with particular reference to areas heavily altered by anthropic causes, we proceeded to control the territory by detecting about 28,550 GPS points. The hydrographic network obtained has a density of 3.4 km/km² and is oriented and connected, useful for different purposes.

Introduzione

Per le popolazioni alpine i corsi d'acqua rappresentano da sempre un'opportunità per lo sviluppo e per la permanenza delle stesse sul territorio montano. D'altra canto rappresentano però una minaccia per gli insediamenti e le attività economiche di tali popolazioni. La definizione del reticolo idrografico risulta quindi un elemento cardine sia per la gestione delle risorse idriche che per la valutazione della pericolosità da fenomeni alluvionali (torrentizi, fluviali e lacuali), a cui risultano direttamente connesse la gestione del patrimonio degli interventi strutturali di mitigazione del pericolo, la pianificazione urbanistica del territorio e la qualità degli ecosistemi.

Già nel Catasto Fondiario Austro-ungarico era presente una prima rappresentazione grafica dei corsi d'acqua. Ma solo nel 1942, con il regio decreto del 15 gennaio, si ha un primo elenco ufficiale delle acque pubbliche in Provincia di Trento. Si registra un significativo passo avanti negli anni '60 con la prima rappresentazione cartografica dei corsi d'acqua nella carta topografica IGM 1:25000 sostituita poi dalla Carta Tecnica Provinciale del 1980 (1:10000). Infine con il 2010 prende il via il progetto che porterà al nuovo reticolo idrografico basato sul rilievo LiDAR del territorio provinciale.



Figura 1 - Rappresentazione del reticolo idrografico: Catasto Fondiario Austro-Ungarico, carta topografica IGM 1:25000, Carta Tecnica Provinciale e DTM su base LiDAR.

Con il Piano Urbanistico Provinciale (PUP, determinato dalla L.P. n. 1 del 2008 “Legge urbanistica provinciale”) la PAT definisce il reticolo idrografico come un elemento invariante ai fini urbanistici e come base per l’individuazione della pericolosità da fenomeni alluvionali. Inoltre con la L.P. n. 11 del 2007 (Legge Provinciale sulle foreste e sulla protezione della natura) viene rafforzato il concetto di tutela del paesaggio e di conservazione della biodiversità in rapporto alla rete idrografica. Sulla base del ruolo fondamentale riconosciuto al reticolo, anche dal punto di vista normativo, e sulla crescente disponibilità di rilievi LiDAR ad alta risoluzione, la PAT ha avviato un processo di definizione di tale rete. Il DTM ad elevata risoluzione, derivato da rilievi LiDAR, fornisce sicuramente una base topografica di elevata qualità per la rappresentazione della rete idrografica, ma necessita di metodi di analisi innovativi per la gestione della basi di dati e l’elaborazione degli stessi da parte di tecnici esperti nonché di personale territorialmente competente.

Lo scopo del presente lavoro è quello di presentare l’esperienza della Provincia Autonoma di Trento nella definizione del reticolo idrografico non solo attraverso lo sviluppo di metodi per la derivazione semi-automatica della rete idrografica con strumenti GIS, ma anche attraverso l’integrazione di dati LiDAR con valutazioni esperte e rilievi sul campo. Tutto ciò nell’ottica di una fruizione condivisa dei dati che mirano all’ottimizzazione delle scelte pianificatorie, di tutela e di gestione del territorio.

Area di studio

L’area di studio coincide con l’intero territorio provinciale che copre una superficie di circa 6300 km². Il modello idrogeologico della provincia è piuttosto complesso a causa delle caratteristiche geologico-strutturali e morfologiche del territorio in prevalenza montano. La distribuzione altimetrica ha una elevata dispersione con quote comprese tra la più bassa rappresentata dal lago di Garda (65 m s.l.m) e la quota più alta raggiunta dal Cevedale (3764 m s.l.m.). La presenza dei rilievi montuosi e delle profonde incisioni fluvio-glaciali ne hanno determinato l’assetto e modellato le valli principali. Il Servizio Bacini montani ha organizzato la gestione del territorio provinciale suddividendolo in quattro zone sulla base dell’aggregazione dei principali bacini idrografici (Adige, Avisio, Brenta, Fersina, Cismon, Noce, Sarca, Chiese), a cui fanno capo quattro rispettivi Uffici di zona.

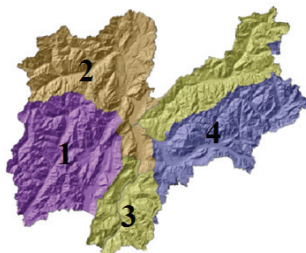


Figura 2 - Aree di competenza degli uffici di zona del Servizio Bacini montani.

Metodo e dati in input

Per la definizione del reticolo a livello preliminare la PAT ha stipulato una convenzione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI) di Padova. La metodologia utilizzata si basa fondamentalmente sull'utilizzo del DTM, derivato da rilievo LiDAR da aeromobile, come base topografica. Il modello digitale del terreno della Provincia Autonoma di Trento è costituito da blocchi di lato pari a 2 km ad una risoluzione di 1x1 m o 2x2 m, a seconda che l'area rilevata si trovi nel fondovalle o nella parte montana del territorio. Il DTM è stato poi ricampionato con risoluzione omogenea per tutta la provincia pari a 4x4 m, come buon compromesso fra l'elevato dettaglio richiesto per l'estrazione del reticolo idrografico minore e la necessità di condurre le analisi su ampie porzioni di territorio. Tale DTM, ancora allo stato grezzo, è stato in seguito sottoposto ad un "depittaggio" per eliminare le depressioni locali (celle la cui quota è inferiore alla quota delle otto celle circostanti) e per renderlo idoneo a condurre analisi idrologiche in ambiente GIS, punto di partenza per l'applicazione dell'algoritmo di estrazione del reticolo sintetico. La scelta è ricaduta sul "*Curvature-based method*" (Tarboton e Ames, 2001) in cui sono state implementate sostanzialmente analisi geomorfometriche operate sul DTM utilizzando valori soglia di parametri quali area contribuyente e curvatura. Tale metodo ha il vantaggio di adattarsi bene alle caratteristiche morfologiche del territorio provinciale e di ovviare alle criticità insite nei metodi basati sul solo utilizzo di un valore di area drenata di soglia costante per discriminare le celle "versante" da quelle appartenenti al reticolo stesso. Questi ultimi infatti, individuano un reticolo sintetico caratterizzato da densità uniforme sull'intero del territorio analizzato, quindi con una tendenza a sovrastimare la densità reale nei fondovalle ed a sottostimarla in altre aree (Cavalli et al., 2013). Nello specifico il *Curvature-based method* prevede l'identificazione delle celle localmente concave utilizzando l'algoritmo sviluppato da Peucker e Douglas (1975) descritto da Band (1986). Questo algoritmo seleziona la cella a quota più alta all'interno di ogni possibile matrice di 4 celle e al termine dell'elaborazione, restituisce un primo reticolo dato dalle celle non selezionate che rappresentano le celle con concavità verso l'alto.

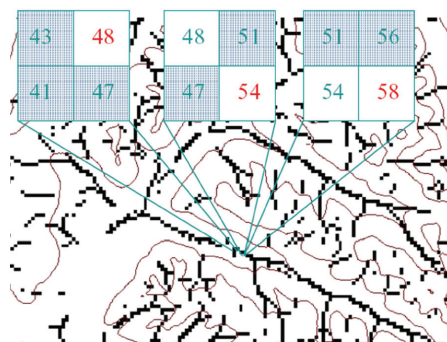


Figura 3 - Metodo di Peucker e Douglas (1975) per l'identificazione delle celle con concavità verso l'alto, i pixel localmente concavi sono rappresentati dalle celle in nero non selezionate. (Cavalli et al., 2013).

Sulla base di queste celle concave è stato calcolato un raster dell'area contribuyente, utilizzando le direzioni di deflusso, e con un valore di soglia di tale area si è identificato l'inizio dei canali e di conseguenza un primo reticolo continuo e orientato (secondo le direzioni di deflusso).

Successivamente la rete idrografica preliminare estratta dal DTM è stata oggetto di verifiche di tipo esperto finalizzate alla modifica, estensione e/o riduzione della stessa mediante interpretazione di diversi livelli informativi. I tematismi utilizzati vanno dalle ortofoto acquisite nel 2006 e nel 2008, carta IGM 1:25000, Carta Tecnica Provinciale (scala 1:10000), Carta morfologica e sedimentologica, Carta Geologica provinciale, Catasto opere idrauliche, Carta di uso del suolo,

viabilità e ponti, alle particelle demaniali. A questi si aggiungono indicatori di tipo geomorfometrico derivati direttamente da elaborazioni del DTM, utili soprattutto nei casi di difficile interpretazione delle ortofoto e della cartografia esistente (ad esempio nelle aree boscate).

Per una prima individuazione degli impluvi è stata creata la mappa ombreggiata del rilievo simulando un'illuminazione proveniente da Nord-Ovest, dunque con un azimut di 315° , e con angolo verticale della fonte di illuminazione di 45° . Un altro parametro geomorfologico che permette di mettere in luce le morfologie del terreno è l'Openness (Yokoyama et al., 2002), a differenza della mappa di ombreggiatura del terreno, rappresenta la topografia senza la necessità di una scelta a priori della posizione della sorgente di illuminazione, svincolandosi così dalla presenza di zone d'ombra. Esso esprime il grado di dominanza o depressione topografica di un luogo in una superficie irregolare ed è rappresentato dalla misura angolare della relazione tra il rilievo della superficie ed una distanza orizzontale. La misura è calcolata a partire dagli angoli zenitali e nadirali lungo otto direzioni azimutali. L'Openness ha due prospettive visuali e dunque può essere espresso da due indici differenti. L'indice positivo di Openness, quello di interesse per il presente caso di studio, che restituisce solamente valori positivi che esprimono l'"apertura" al di sopra della superficie e che sono maggiori per le forme convesse, viceversa l'indice di Openness negativo produce valori negativi che descrivono questo attributo al di sotto della superficie e che sono maggiori per le forme concave (Yokoyama et al., 2002). Altro parametro geomorfologico molto utile è la curvatura che permette di riconoscere le forme riconducibili ad un possibile reticolo idrografico: aree che presentano una superficie concava sono associabili a convergenza del deflusso, mentre le forme convesse possono essere relazionate a divergenza del deflusso (Cavalli et al., 2013). È rappresentata dalla variazione della pendenza nello spazio e può essere calcolata: lungo la direzione della linea di massima pendenza (*profile curvature*) oppure ortogonalmente ad essa (*plane curvature*), quest'ultima fornisce un'importante misura della convergenza o divergenza del deflusso quindi è utilizzata in letteratura come indice per individuare e classificare creste e canali (Rana, 2006; Haneberg et al., 2005).

In affiancamento al controllo di tipo esperto sopra esposto, si è proceduto alla verifica ed al controllo dell'idrografia direttamente sul territorio grazie alla collaborazione del personale territorialmente competente del Servizio Bacini montani della Provincia. In particolare sono state rilevate quelle zone in corrispondenza dei fondovalle e delle aree urbane, dove il reticolo idrografico è stato fortemente alterato da cause antropiche (coperture dei corsi d'acqua, aree urbane, etc.) e quindi non individuabili dalle elaborazioni geomorfometriche e dalla fotointerpretazione dei diversi livelli informativi. I rilievi di campo sono stati effettuati con strumentazione GPS con la quale sono stati rilevati circa 28550 punti georeferenziati con annessa documentazione fotografica, su circa 2000 aree di controllo per una estensione totale di 14000 ha circa.



Figura 4 - Sopralluoghi in campo.

Oltre all'identificazione del reticolo il CNR-IRPI ha curato anche una prima classificazione dei tratti della rete, affinata poi da controlli esperti e verifiche sul campo. Sono stati suddivisi i vari tratti per tipo in: reali, fittizi e virtuali, nonché tra il resto per il tipo di deflusso: perenne o effimero-episodico e secondo la copertura o meno. I tratti reali costituiscono il reticolo idrografico vero e proprio, mentre i tratti virtuali e fittizi servono solamente a dare continuità alla rete. Questi ultimi individuano rispettivamente i tratti all'interno del perimetro dei laghi e i tratti di connessione tra un corso d'acqua che termina senza uno sbocco in un corso ricevente e un altro tratto della rete.

I tratti coperti corrispondono principalmente agli attraversamenti della rete stradale e sono ottenuti, in un primo momento con una procedura automatica sfruttando la sovrapposizione con il tematismo delle reti stradali ricavato dall'uso del suolo reale, per poi essere affinati con l'analisi interpretativa dei livelli informativi e i rilievi di campo soprattutto per le coperture estese nelle aree urbane. Per quanto riguarda la classificazione sul tipo di deflusso sono considerati tratti effimeri-episodici gli impluvi con presenza solo occasionale di deflusso, identificati sulla base di osservazioni in campo.

Per dare continuità al reticolo idrografico sono stati individuati e perimetrati gli specchi d'acqua che comprendono laghi, sia di origine naturale che artificiale, stagni e paludi. La metodologia utilizzata, simile peraltro a quella individuata per l'estrazione del reticolo, si basa fondamentalmente su una prima estrazione delle curve di livello sulla base delle quote individuate dal rilievo LiDAR, integrate da analisi geomorfometriche e verifiche di tipo esperto dei diversi livelli informativi.



Figura 5 - Esempio di analisi di diversi livelli informativi per il lago di Costabrunella.

Risultati

La metodologia sopra esposta è stata applicata sistematicamente a tutto il territorio della Provincia Autonoma di Trento ottenendo un reticolo idrografico orientato, connesso e categorizzato con una densità media di circa 3.4 km/km^2 , nettamente superiore allo stesso tematismo precedentemente utilizzato, e 433 specchi d'acqua comprensivi di laghi, stagni e paludi.

Tale reticolo risulta uno strumento fondamentale nell'ambito della pianificazione del territorio e nella gestione della rete stessa. La Provincia Autonoma di Trento ha adottato d'intesa con lo Stato il Piano Generale di utilizzazione delle acque pubbliche (PGUAP, D.P.R. n. 119 del 2006) quale strumento di governo delle risorse idriche. Tale piano è diretto a programmare l'utilizzazione sostenibile delle acque per i diversi usi e contiene le linee fondamentali per una sistematica regolazione dei corsi d'acqua, con particolare riguardo alle esigenze di funzionalità idrologica, sicurezza idraulica e difesa del suolo, di qualità ecologica dell'ambiente e del paesaggio. Equivale ad un vero e proprio Piano di Bacino di rilievo nazionale e pertanto le sue previsioni e prescrizioni costituiscono direttive nei confronti degli strumenti di pianificazione territoriale come il Piano Urbanistico Provinciale ed i Piani Regolatori Generali.

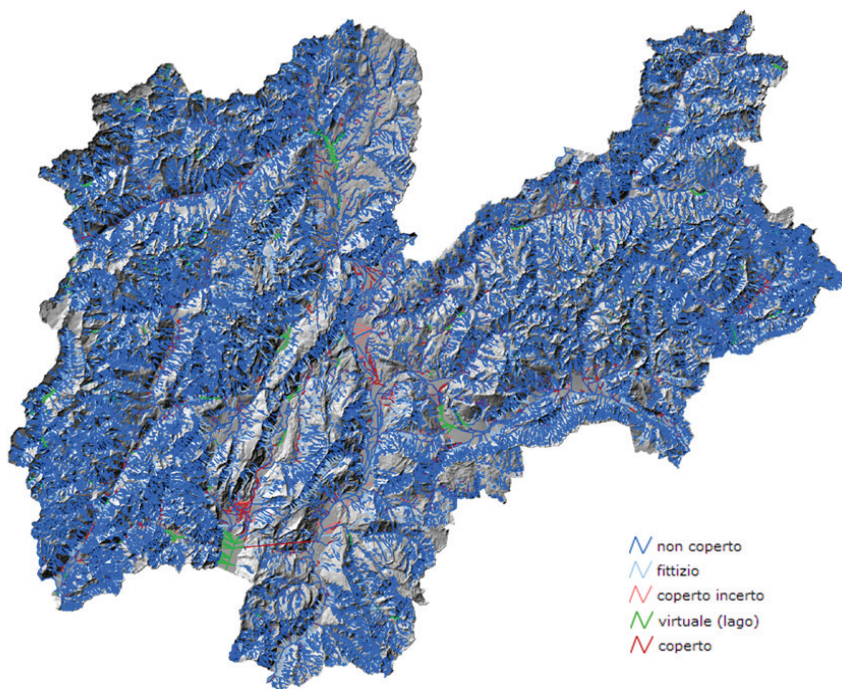


Figura 6 - Reticolo idrografico provinciale.

La definizione del reticolo idrografico risulta quindi fondamentale per l'ottimizzazione delle scelte pianificatorie. Per questo scopo con il Piano Urbanistico Provinciale (PUP, determinato dalla L.P. n. 1 del 2008) il reticolo idrografico viene definito come elemento invariante meritevole di tutela e valorizzazione ai fini urbanistici e paesaggistici. Mentre a livello locale con il Piano Regolatore Generale (PRG), strumento che regola l'attività edificatoria all'interno di un territorio comunale, vengono date indicazioni sul possibile utilizzo o tutela, delle porzioni del territorio cui si riferisce, anche con espliciti riferimenti ai corsi d'acqua. Pertanto tutti gli interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia sul territorio provinciale sono subordinati alle norme di rispetto dei corsi d'acqua. Inoltre con il PUP la Provincia si è dotata del primo importante strumento per la gestione dei pericoli associati a fenomeni idrogeologici la cui individuazione è basata sulla rete idrografica stessa. La rappresentazione dei corsi d'acqua, infatti, ha effetto sulla pericolosità da fenomeni torrentizi e fluviali, sia per il fatto che risulta direttamente legata all'esistenza del reticolo, sia per quanto riguarda le modellazioni afflussi/deflussi, in cui la densità di drenaggio condiziona la risposta idrologica dei bacini idrografici e quindi la magnitudo degli eventi schematizzati.

Strettamente legata all'ottimizzazione della pianificazione risulta la gestione delle risorse idriche, che avviene attraverso il demanio idrico secondo la L.P. n. 18 del 1976 "Norme in materia di acque pubbliche, opere idrauliche e relativi servizi provinciali". I procedimenti amministrativi (concessioni, autorizzazioni, ecc.) sono associati ai singoli tratti di reticolo appartenente al demanio idrico o intavolato nell'elenco delle acque pubbliche. La definizione del reticolo idrografico di competenza esclusiva della Provincia, ai fini della gestione delle acque pubbliche e delle sistemazioni idraulico-forestali, è affidato ai Piani Forestali e Montani (PFM) secondo quanto stabilito dalla L.P. n. 11 del 2007 (Legge Provinciale sulle foreste e sulla protezione della natura). Oltre ai corsi d'acqua attualmente iscritti all'elenco delle acque pubbliche e alle particelle appartenenti al demanio idrico, tale competenza può infatti essere estesa anche ad altri corsi d'acqua o parti del reticolo idrografico. Inoltre con la stessa norma viene rafforzato il concetto di tutela del

paesaggio e di conservazione della biodiversità in rapporto alla rete idrografica, regolamentando gli interventi di trasformazione e gestione del suolo per una fascia estesa almeno 10 m dalle sponde che delimitano l'alveo.

Direttamente connessa con la gestione delle risorse idriche e la valutazione della pericolosità da fenomeni torrentizi, fluviali e lacuali, risulta la gestione del patrimonio degli interventi strutturali di mitigazione del pericolo. Il Servizio Bacini montani archivia all'interno del Catasto Opere Idrauliche (COI) tutti i dati relativi alle opere di sistemazione idraulico-forestali, realizzate dal servizio stesso, attraverso uno stretto legame con il reticolo idrografico. I dati relativi alle varie opere vengono inseriti tramite l'uso di schede specifiche differenziate per le varie tipologie di opera. La fruizione di tali informazioni viene agevolata dall'associazione delle singole opere ai tronchi dei corsi d'acqua.

Per quanto riguarda gli aspetti di tutela della qualità degli ecosistemi connessi alla rete idrografica, l'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente (APPA) si occupa del monitoraggio e valutazione della qualità degli ambienti fluviali, delle componenti biologiche e dello stato chimico ed ecologico dei corsi d'acqua. Sulla base della Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE, redige inoltre l'indice di funzionalità fluviale (IFF), il quale permette di studiare il grado di funzionalità di un corso d'acqua, o di parte di questo, attraverso la descrizione dei parametri morfometrici e biotici dell'ecosistema in studio.

Conclusioni

La Provincia Autonoma di Trento ha definito il reticolo idrografico e gli specchi d'acqua per il territorio di propria competenza sulla base del rilievo LiDAR ad alta risoluzione, integrato con analisi geomorfologiche, fotointerpretazioni e verifiche in campo. Tale reticolo risulta adeguato per essere utilizzato per diversi scopi, in particolare per la sua caratteristica di essere orientato e connesso permette di poterlo sfruttare per analisi ambientali a macroscale. Ad esempio risulta importante per lo studio della mobilità dei sedimenti, della fauna ittica e per la gestione dell'emergenza dovuta allo sversamento accidentale nei corpi idrici di sostanze contaminanti. Inoltre la metodologia di rappresentazione della rete idrografica prodotta, caratterizzata dall'elevata qualità della base dati altimetrica, dall'omogeneità delle procedure di estrazione e delle modalità esecutive, risulta funzionale per gli aggiornamenti che potranno rendersi necessari in futuro.

Dal punto di vista delle politiche pianificatorie comunitarie il reticolo funge da elemento di connessione tra la direttiva acque e la direttiva alluvioni, consentendo di applicare i principi di prevenzione, preparazione, protezione del territorio e perseguendo, allo stesso tempo, gli obiettivi di qualità dei corpi idrici. La definizione del reticolo idrografico risulta quindi un elemento cardine sia per la gestione delle risorse idriche che per la valutazione della pericolosità da fenomeni alluvionali, a cui risultano direttamente connesse la gestione del patrimonio degli interventi strutturali di mitigazione del pericolo, la pianificazione urbanistica del territorio e la qualità degli ecosistemi.

Riferimenti bibliografici

- Band L. E. (1986), "Topographic partition of watersheds with digital elevation models", *Water Resources Research*, 22(1): 15-24
- Cavalli M., Trevisani S., Goldin B., Mion E., Crema S., Valentinotti R. (2013), "Semi-automatic derivation of channel network from a high-resolution DTM: the example of an Italian alpine region", *European Journal of Remote Sensing*, 46: 152-174
- Peucker T. K., Douglas D. H. (1975), "Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data", *Comput, Graphics Image Process*, 4: 375-387
- Rana S. (2006), *Use of Plan Curvature Variations for the Identification of Ridges and Channels on DEM*, Progress in Spatial Data Handling, Edizioni Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 789-804
- Yokoyama R., Shirasawa M., Pike R. (2002), "Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68: 257-266
- Tarboton D. G., Ames D. P. (2001), "Advances in the mapping of flow networks from digital elevation data", World Water and Environmental Resources Congress, Orlando, Florida