
IMPIEGO DI DTM AD ALTA RISOLUZIONE PER LA MISURA AUTOMATICA DI LARGHEZZE AL BANKFULL

High Resolution DTMs for the automatic measurement of bankfull widths

G. Sofia¹, P. Tarolli¹, F. Cazorzi², G. Dalla Fontana¹

Sommario

Lo studio delle caratteristiche morfologiche dei corsi d'acqua e del loro grado di alterazione è una delle attività conoscitive base per una corretta gestione dei bacini montani, e a tale proposito poter disporre di dettagliati dati topografici è un requisito fondamentale. La valutazione della variabilità geometrica dell'alveo fluviale determinata dal libero svolgimento dei processi idrodinamici e geomorfologici è solitamente ottenuta mediante rilievi sul campo o interpretazioni speditive di ortofoto digitali. Tuttavia i dati topografici derivabili dall'interpretazione fotografica sono spesso non sufficientemente accurati per consentire l'individuazione e la mappatura delle geometrie. Nel contempo, a fronte di una maggiore accuratezza, i rilievi sul campo richiedono notevoli risorse temporali e finanziarie, e sono spesso limitati dall'inaccessibilità delle aree in analisi. Risulta quindi strategico adottare nuove e più precise metodologie di stima delle dimensioni e delle geometrie del reticolo, basate sulla disponibilità di dati ad alta risoluzione, come quelli derivanti da rilievi laser scanner aereo (LiDAR). La tecnologia LiDAR consente infatti l'acquisizione di dati topografici ad alta risoluzione su vaste aree, con accuratezza verticale e orizzontale di pochi centimetri (10-20 cm per la componente verticale e 0.5-2 m per quella orizzontale), contribuendo ad una migliore rappresentazione della superficie terrestre a costi sempre più accessibili. In ambiente montano numerosi lavori hanno esplorato le potenzialità dei DTM LiDAR per la corretta caratterizzazione del reticolo; l'obiettivo di questo contributo è quello di mettere in luce le loro potenzialità nella determinazione automatica di valori rappresentativi delle larghezze al bankfull.

L'analisi è basata sull'applicazione di un indice topografico (Elevazione Percentile) utilizzato per misurare, a partire dal DTM a risoluzione 1 m, la variabilità delle quote. Tale indice si deriva calcolando all'interno di una finestra mobile il numero di celle con quota maggiore di quella centrale, rapportando poi tale numero all'estensione della finestra mobile: aree fortemente canalizzate hanno un valore di EP maggiore rispetto ad aree convesse. Grazie ad una soglia statistica da questo indice è possibile ricavare una

¹ Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università di Padova, Viale dell'Università, 16 -35020 Legnaro (PD), giulia.sofia@unipd.it

² Dipartimento Scienze Agrarie e Ambientali, Università di Udine, Viale delle Scienze, 208 -33100 Udine (UD)

mappa booleana del potenziale alveo. Le geometrie derivate da questa mappa subiscono un'approssimazione dovuta alla risoluzione della cella del DTM; è tuttavia possibile considerare la rappresentazione topografica delle sole sponde ed approssimarne la dimensione. In maniera automatica, muovendosi lungo il thalweg da monte verso valle, è possibile stimare in direzione perpendicolare alle direzioni di deflusso la larghezza dei canali in ogni punto del reticolo, fermo restando il già citato limite della risoluzione di cella. Le larghezze derivate automaticamente mostrano una buona corrispondenza con quelle rilevate in campo, con valori piuttosto contenuti di errore quadratico medio (RMSE), e il range dei valori stimati è compatibile con quello dei dati misurati. L'elevato numero di dati ricavabili automaticamente dal DTM permette di avere uno strumento di supporto per analizzare nel dettaglio le geometrie dei canali, senza le classiche limitazioni di costi e tempi legati alle tradizionali misure sul campo.

Summary

The study of the morphological characteristics of rivers and of their degree morphological alterations, is a basis for a proper management of mountain watershed: the availability of detailed topographic data is a key tool. The evaluation of channel geometry variability, determined by hydrodynamic and geomorphological processes, is usually gathered through field surveys, or through visual interpretations of digital orthophotos. However, the topographic data obtained through visual interpretation are not sufficiently accurate to allow the identification and the correct mapping of channel geometries. On the other hand, even if they provide more reliable data, field surveys require considerable time and financial resources, and they are often challenged by the inaccessibility of the areas under analysis. It is therefore strategic to adopt new and more accurate methods to estimate channel geometries, based on the availability of high-resolution data, such as the one derived from airborne laser scanner (LiDAR). LiDAR technology enables the acquisition of high resolution topographic data over large areas, with vertical and horizontal accuracy of a few centimeters (10-20 cm for the vertical component and 0.5-2 m for horizontal), contributing to a better representation the Earth's surface at more affordable costs. In mountain areas many studies have explored the potential of LiDAR DTM for the proper characterization of the network and the objective of this paper is to highlight their potential in the automatic determination of values representative of bankfull widths.

The analysis is based on a topographic index (Elevation Percentile) used to measure the variability of the elevation from 1 m DTM resolution. This index is derived by calculating within a moving window the number of cells with elevation higher than the central pixel. This number is then normalized to the extension of the moving window: channelized areas have an EP value greater than convex areas. Applying a statistical threshold to the EP, it is possible to obtain a Boolean map of potential river bed. The geometries derived from this map are approximated due to the resolution of the DTM, but it is possible to consider the topographic representation of the banks and to approximate the bankfull width. In an automatic manner, moving downstream along the thalweg, it is possible to estimate perpendicularly to the flow directions, the bankfull width at each point of the network, with the above-mentioned limit of the DTM resolution. Automatically derived widths show a good agreement with those detected in the field, with low values of RMSE, and the range of the estimated values is compatible with the surveyed ones.

The high number of data obtained automatically from the DTM allows to have a support tool to analyze in detail the geometry of the channels, without the usual cost and time constraints associated with traditional field measurements.

1. Introduzione

Lo studio delle caratteristiche morfologiche dei corsi d'acqua e del loro grado di alterazione è una delle attività conoscitive base per una corretta gestione dei bacini montani, e a tale proposito la disponibilità di dettagliati dati topografici è un requisito fondamentale (i.e. *Vianello e D'agostino 2007, Cavalli et al. 2008, Vianello et al. 2008, D'agostino e Vianello 2009*). I processi idromorfologici che condizionano l'assetto dei corsi d'acqua infatti, vengono generalmente valutati attraverso l'analisi e la valutazione di un insieme di parametri e/o indicatori. La larghezza al bankfull è il parametro geometrico di un canale più significativamente correlato ai processi di rimodellamento delle sezioni (*Vianello e D'agostino, 2007*) e tale relazione è stata verificata anche per torrenti montani (*D'Agostino e Vianello, 2009*)

La valutazione della variabilità geometrica dell'alveo fluviale è solitamente ottenuta mediante rilievi sul campo o interpretazioni speditive di ortofoto digitali. Tuttavia i dati topografici derivabili dall'interpretazione fotografica sono spesso non sufficientemente accurati per consentire l'individuazione e la mappatura delle geometrie. Nel contempo, a fronte di una maggiore accuratezza, i rilievi sul campo richiedono notevoli risorse temporali e finanziarie, e sono spesso limitati dall'inaccessibilità delle aree in analisi.

Il recente progresso nella tecnologia di telerilevamento con l'introduzione del laser scanner aereo (LiDAR), ha permesso l'acquisizione rapida, precisa ed efficace di informazioni topografiche di elevata qualità (*Slatton et al., 2007; Tarolli et al., 2009*). Attualmente, molti comparti della Pubblica Amministrazione hanno a disposizione accurate informazioni altimetriche sotto forma di modelli digitali del terreno (DTM) LiDAR ad elevata risoluzione e in letteratura numerosi recenti studi hanno dimostrato l'efficienza di questi modelli per l'estrazione e la caratterizzazione del reticolo idrografico. *Cavalli et al. (2008)* hanno dimostrato l'affidabilità di tali mappe nella caratterizzazione delle diverse forme morfologiche dei torrenti montani. In *Vianello et al (2009)* è stata fatta un'analisi della qualità delle informazioni morfologiche ricavabili manualmente dai DTM LiDAR. La letteratura più recente, proprio grazie alla disponibilità di DTM ad elevata risoluzione, ha aperto la strada ad approcci automatici di caratterizzazione del reticolo. Diversi autori hanno evidenziato come i processi fisici lascino firme importanti sulle statistiche dei parametri morfologici derivanti da DTM LiDAR, e hanno sottolineato come, quantificando queste firme in dettaglio, la statistica possa essere utilizzata per individuare automaticamente soglie di inizio o fine di particolari processi (*Tarolli e Dalla Fontana, 2009; Passalacqua et al. 2010; Pirotti and Tarolli 2010; Sofia et al. 2011; Tarolli et al. 2012; Cazorzi et al. 2012*). Seguendo questo filone scientifico, l'obiettivo di questo contributo è quello di mettere in luce nuove potenzialità dei DTM LiDAR per la determinazione automatica di valori rappresentativi delle larghezze al bankfull.

2. Materiale e metodo

Gli elementi del reticolo sono zone di concavità accentuata del terreno, ed è quindi possibile utilizzare per la loro individuazione un parametro morfometrico che

rappresenta l'indice di convergenza/divergenza della superficie: l'Elevazione Percentile (Wilson e Gallant 2001). Tale indice (Eq. 1) si deriva calcolando all'interno di una finestra mobile il numero di celle con quota maggiore di quella centrale, rapportando poi tale numero all'estensione della finestra mobile.

$$E\%_c = \frac{\text{count}(z_i > z_0)}{n_c} \quad (1)$$

dove E% è l'Elevazione Percentile, c è l'intorno in analisi, n_c il numero di celle considerate per il calcolo e z_0 è la quota della cella centrale. Tale indicatore varia tra 0 e 1, con valori elevati nelle zone convesse e valori ridotti per quelle concave, e con valori assoluti maggiori a indicare punti di maggiore convergenza (Fig. 1a) rendendo gli elementi del reticolo più evidenti.

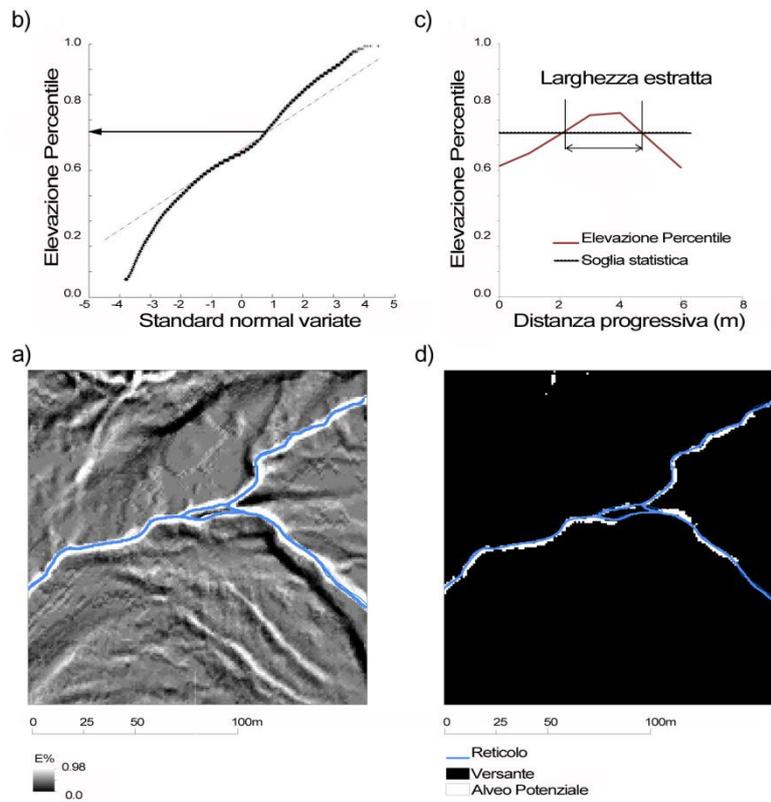


Fig. 1. Mappa dell'Elevazione Percentile (a); calcolo del QQ-Plot e identificazione della soglia (b). Applicazione della soglia su un profilo derivato dall'Elevazione Percentile per determinare la larghezza al bankfull (c) e alveo potenziale estratto (d).

La mappa dell'Elevazione Percentile può essere riclassificata per identificare l'alveo potenziale. La soglia per la riclassificazione è quantificata tramite l'utilizzo del QQ-Plot. Secondo tale approccio, il punto in cui la distribuzione del parametro topografico

devia rispetto ad una distribuzione normale, come riportato in Figura 1b, può essere considerato come indice di riclassificazione (*Passalacqua et al. 2010; Sofia et al. 2011; Tarolli et al. 2012*). In Figura 1c è riportato il grafico di un profilo estratto sulla mappa dell'Elevazione Percentile: applicando la soglia scelta è possibile individuare il letto potenziale del canale e quindi ricavare una mappa booleana dell'alveo potenziale (d). Dal prodotto finale delle elaborazioni (d) è possibile derivare le informazioni che descrivono il reticolo. La larghezza al bankfull infatti corrisponde con la larghezza dell'estrazione e l'asse mediano di tale estrazione può essere considerato il thalweg del canale. Muovendosi lungo il thalweg, da monte verso valle, è possibile calcolare la perpendicolare alle direzioni di deflusso in ogni punto, e quindi calcolare la larghezza del canale in funzione del numero di pixel-alveo lungo la perpendicolare, e della loro dimensione (Figura 2).

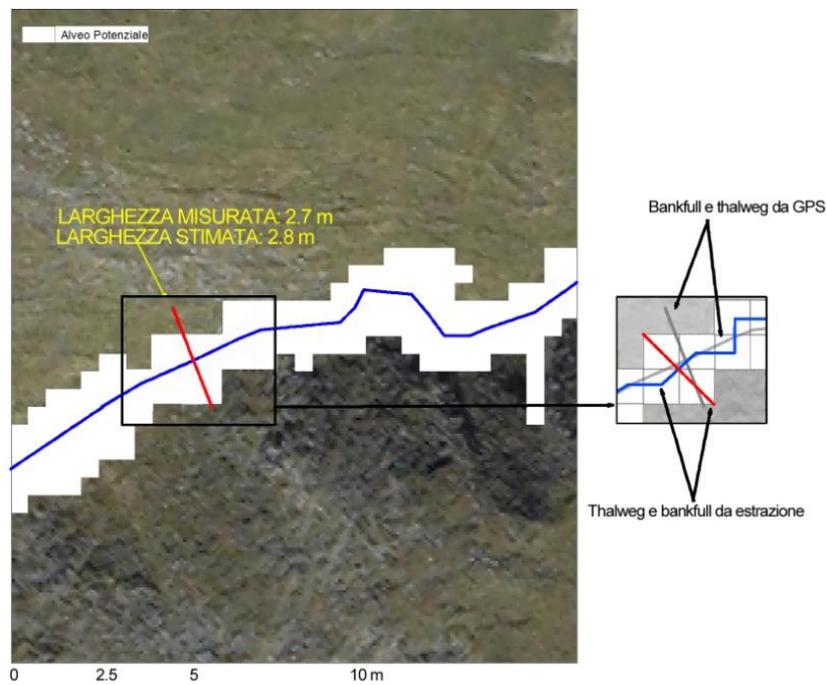


Fig. 2. Utilizzo della mappa dell'alveo potenziale per il calcolo delle larghezze

2.1 Aree di studio

La procedura è stata applicata per la determinazione delle larghezze al bankfull di due torrenti dell'area dolomitica (Figura 3): il Rio Col Duro (affluente del Cordon), e l'asta principale del Rio Vauz (affluente del Cordevole).

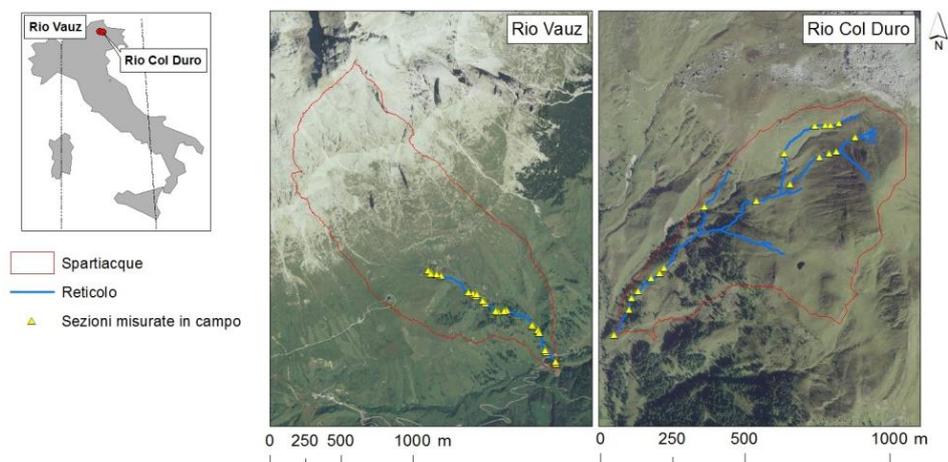


Fig. 3. Torrenti considerati: asta principale del Rio Vauz e Rio Col Duro.

Per entrambi i torrenti esistono rilievi di campo e dati precisi relativi alle larghezze, già sfruttati in letteratura (*Vianello e D'Agostino 2007, Vianello et al. 2008, D'Agostino e Vianello 2009; Pirotti e Tarolli 2010*). I due torrenti presentano larghezze caratteristiche contenute ma diverse (Tab. 1, Figura 4), e sono stati quindi scelti come ideali per testare la procedura.

Tab. 1. Larghezze caratteristiche (m) per i due torrenti in analisi

	min	max	media
Rio Vauz	0.85	4.1	2.3
Rio Col Duro	1	2.2	1.6

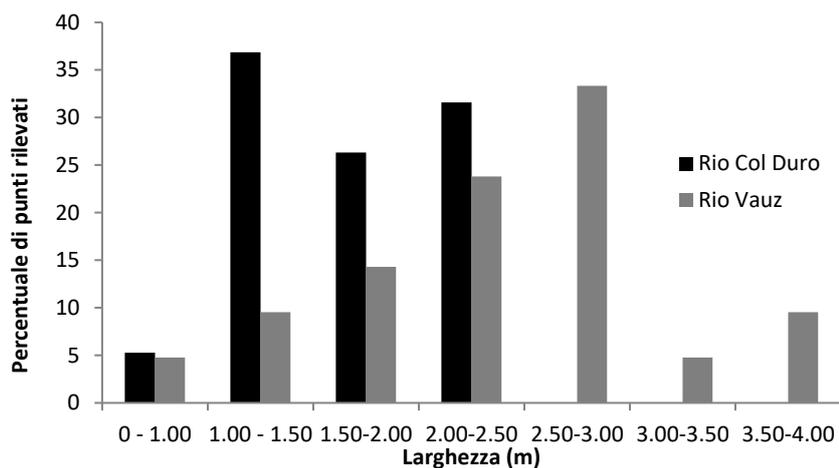


Fig. 4. Larghezze caratteristiche dei torrenti considerati

3. Risultati e discussione

In figura 5 e 6 sono riportate, rispettivamente, le larghezze al bankfull stimate per l'intero reticolo del Rio Col Duro e per l'asta principale del rio Vauz.

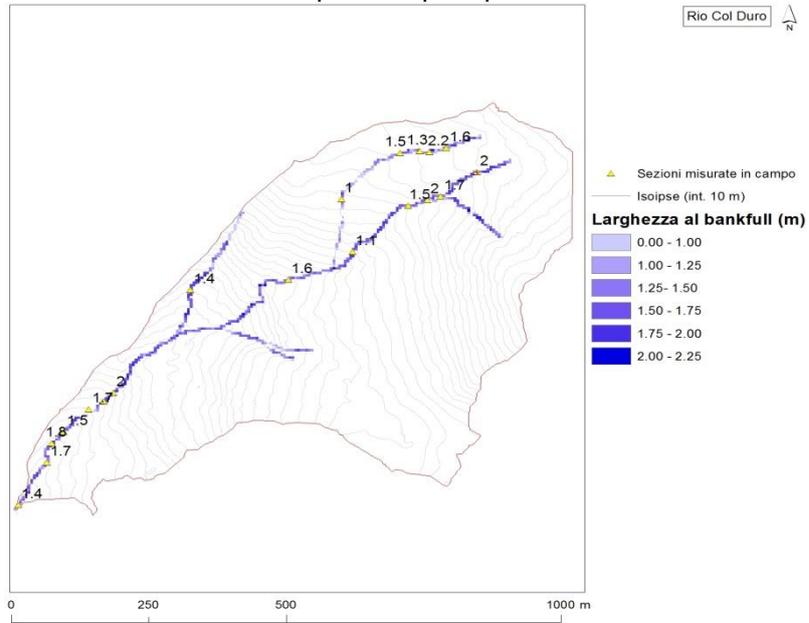


Fig. 5. Larghezze stimate per il Rio Col Duro

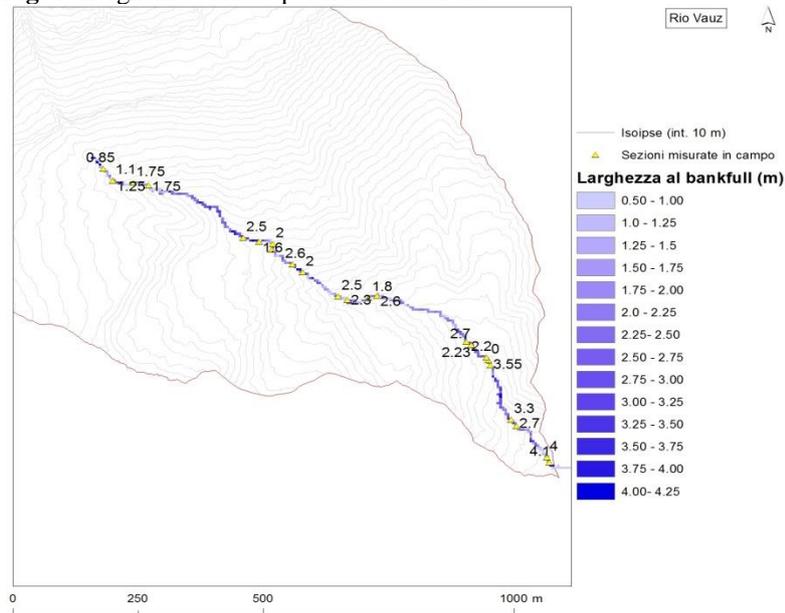


Fig. 6. Larghezze stimate per il Rio Vauz

L'accuratezza del metodo è stata testata confrontando i risultati con i dati misurati in campo. In entrambi i casi di studio, i range di larghezza estratti corrispondono con quelli di larghezza misurati. L'accuratezza è stata valutata in termini di scarto quadratico medio (RMSE). Per il Rio Col Duro l'RMSE stimato è di ± 0.18 m, mentre per il Rio Vauz, dove esiste una maggiore variabilità del bankfull, l'errore aumenta leggermente (± 0.29 m). Le differenze tra estrazione e misura reale sono dovute principalmente al fatto che la dimensione minima del reticolo estratto è necessariamente di 1 m (dimensione del pixel del DTM), tuttavia dato che il range di larghezze reali è dello stesso ordine di grandezza, l'errore medio rimane contenuto.

4. Conclusioni

Lo studio delle caratteristiche morfologiche dei corsi d'acqua e del loro grado di alterazione è una delle attività conoscitive base per una corretta gestione dei bacini montani, e a tale proposito poter disporre di dettagliati dati topografici è un requisito fondamentale. I risultati di questo lavoro mettono in luce le potenzialità dei DTM LiDAR nella determinazione automatica di valori rappresentativi delle larghezze al bankfull. La procedura ha dimostrato come l'uso di un semplice parametro topografico (l'Elevazione Percentile) sia in grado di quantificare efficacemente la variabilità morfologica superficiale legata alla presenza di forme canalizzate e, come già provato in letteratura, l'uso di un parametro statistico garantisce un approccio automatico per l'identificazione di tale forme morfologiche. L'intera procedura, nonostante il limite della risoluzione del DTM, garantisce una stima delle larghezze corretta sia in termini di valori assoluti che di range di dati, ottenendo valori di RMSE estremamente contenuti (< 0.5 m). Nonostante l'approssimazione dovuta alla risoluzione della cella del DTM, l'elevato numero di dati ricavabili automaticamente dal DTM permette di avere uno strumento di supporto per analizzare nel dettaglio le geometrie dei canali, senza le classiche limitazioni di costi e tempi legati alle misure sul campo.

Bibliografia

1. Cavalli M., Tarolli P., Marchi L., Dalla Fontana G., *The effectiveness of airborne LiDAR data in the recognition of channel-bed morphology*. Catena, 73(3), 249-260. (2008)
2. Cazorzi, F., Fontana, G. D., Luca, A. D., Sofia, G. and Tarolli, P., *Drainage network detection and assessment of network storage capacity in agrarian landscape*. Hydrol. Process.. doi: 10.1002/hyp.9224,(2012)
3. D'Agostino, V., Vianello A., *Una ricerca di campo sulla morfologia delle rapide nei torrenti montani*, Quaderni di Idronomia Montana, 27, Ricerche ed esperienze di sistemazioni idraulico-forestali, a cura di G. Bischetti, Nuova Bios, Castrolibero (CS), pp. 323-334 (ISBN 978-88-6093-027-9) (2009).
4. Slatton, K.C., Carter, W.E., Shrestha, R.L., Dietrich, W.E.: *Airborne laser swath mapping: achieving the resolution and accuracy required for geosurficial research*. Geophysical Research Letters 34: L23S10, (2007).
5. Sofia, G., Tarolli, P., Cazorzi, F., Dalla Fontana, G.: *An objective approach for feature extraction: distribution analysis and statistical descriptors for scale choice and channel network identification*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 1387-1402, ISSN: 1027-5606,doi:10.5194/hess-15-1387-2011, (2011).

6. Tarolli, P., Arrowsmith, JR., Vivoni, E.R.: *Understanding earth surface processes from remotely sensed digital terrain models*. *Geomorphology*, 113, 1-3, (2009).
7. Tarolli, P., Dalla Fontana, G.: *Hillslope to valley transition morphology: new opportunities from high resolution DTMs*. *Geomorphology*, 113, 47-56, (2009).
8. Tarolli, P., Sofia, G., Dalla Fontana, G.: *Geomorphic features extraction from high-resolution topography: landslide crowns and bank erosion*. *Natural Hazards*, Vol. 61, N.1, pp. 65-83, DOI: 10.1007/s11069-010-9695-2 (2012)
9. Passalacqua, P., Tarolli, P., Fofoula-Georgiou, E.: *Testing space-scale methodologies for automatic geomorphic feature extraction from lidar in a complex mountainous landscape*. *Water resources research*, 46. doi:10.1029/2009WR008812, (2010).
10. Pirotti, F., Tarolli, P.: *Suitability of LiDAR point density and derived landform curvature maps for channel network extraction*. *Hydrological Processes*. 1187-1197, doi:10.1002/hyp.7582, (2010).
11. Vianello, A., D'Agostino, V., *Bankfull width and morphological units in an alpine stream of the dolomites (Northern Italy)*, *Geomorphology*, 83(3-4), 266-281, ISSN 0169-555X, doi:10.1016/j.geomorph.2006.02.023, (2007)
12. Vianello A., Cavalli M., Tarolli, P. *LiDAR-derived slopes for headwater channel network analysis*. *Catena*, 76(2), 97-106, (2009)
13. Wilson, J.P., Gallant, J.C., Eds., *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley and Sons, Inc, New York, (2000).