Applicazione di algoritmi per l'analisi geomorfica quantitativa in ambiente QGIS. Primi risultati ottenuti su un insieme di bacini italiani

Francesco Pasanisi([a]), Sergio Grauso([b]), Carlo Tebano([a]), Marcello Grillini([b])

([a]) ENEA, Centro Ricerche Portici, Piazzale E. Fermi 1, 80055, Portici (NA), tel. 081.7723306, 081.7723200, francesco.pasanisi@enea.it, carlo.tebano@enea.it

([b]) ENEA, Centro Ricerche Casaccia, Via Anguillarese 301, 00123, S. Maria di Galeria (Roma), tel. 06.30484888, 06.30486668, sergio.grauso@enea.it, marcello.grillini@enea.it

Riassunto

Nel presente documento sono riportati i risultati dell'applicazione dell'analisi geomorfica quantitativa ad un insieme di bacini fluviali italiani. L'analisi è stata condotta utilizzando il toolset originale QMorphoStream, sviluppato in ambiente QGIS. I risultati presentati rappresentano il primo step di un programma di ricerca più ampio, finalizzato allo sviluppo di metodi per la stima, a scala nazionale, del potenziale apporto sedimentario dai bacini idrografici alle unità fisiografiche costiere.

Abstract

In the present paper, results of the quantitative geomorphic analysis on a set of Italian river basins are reported. The analysis was performed using the original toolset QMorphoStream, developed in QGIS environment. The results hereby presented are the first step of a wider research programme aimed at developing methods for the estimate, at national scale, of the potential sediment supply from river basins to coastal physiographic units.

Introduzione

L'analisi geomorfica quantitativa (AGQ) comprende un insieme di procedure per la descrizione dei reticoli e dei bacini idrografici (Horton, 1945; Strahler, 1957), che vengono descritti attraverso un insieme di parametri standardizzati. Le principali proprietà dei bacini idrografici descritte quantitativamente dall'AGQ possono essere raggruppate in tre categorie:

1. Proprietà lineari, ovvero le caratteristiche del reticolo, schematizzato attraverso un insieme di segmenti;
2. Proprietà areali, legate alla forma e dimensioni del bacino;
3. Proprietà orografiche, che dipendono dall'altimetria del bacino.

Tra le proprietà lineari, in particolare, è compreso l'ordinamento gerarchico del reticolo, ovvero l'assegnazione a ciascuna asta di un numero d'ordine legato alla propria posizione all'interno dell'organizzazione topologica del reticolo idrografico ed alla sua connessione con le altre aste.

Tra i principali motivi di interesse per l'analisi geomorfica, numerosi lavori presenti in letteratura (Anderson, 1957; Ciccacci et al., 1977, 1980; Cooke, Doornkamp, 1974; de Vente, Poesen, 2005) hanno dimostrato l'esistenza di correlazioni tra le misure di portata torbida ed i parametri geomorfici del bacino idrografico. Pertanto, utilizzando tecniche di regressione o altri metodi di analisi è possibile ricavare formule previsionali per la stima della portata solida nei casi in cui non sono disponibili misure dirette.
Sulla base delle considerazioni precedenti, gli autori del presente lavoro stanno portando avanti un programma di ricerca finalizzato alla valutazione degli apporti sedimentari dei bacini idrografici alle coste italiane, nella prospettiva del rischio di sommersione delle aree costiere legato agli scenari di cambiamento climatico e di sollevamento del livello del mare.
In tale ambito, è prevista l'applicazione di procedure di AGQ ad un ampio insieme di bacini del territorio nazionale su cui sono disponibili dati storici di portata solida.
Nel presente lavoro sono presentati i risultati delle prime elaborazioni di AGQ fin qui condotte, insieme alla descrizione degli strumenti di calcolo sviluppati appositamente nell'ambito del programma di ricerca. Vengono, infine, brevemente delineate le attività previste nel proseguimento del programma.

Materiali e metodi

Le analisi dei bacini sono state condotte utilizzando il *toolset* originale QMorphoStream, sviluppato in linguaggio Python, che opera in ambiente QGIS (Tebano et al., 2016a, 2016b).
QMorphoStream è stato concepito con lo scopo di fornire un insieme di strumenti di calcolo per l'esecuzione delle procedure di AGQ in uno schema logico integrato.
Il *toolset* è composto da 5 geo-algoritmi che vengono aggiunti al pannello degli strumenti di *processing* di QGIS (Figura 1).

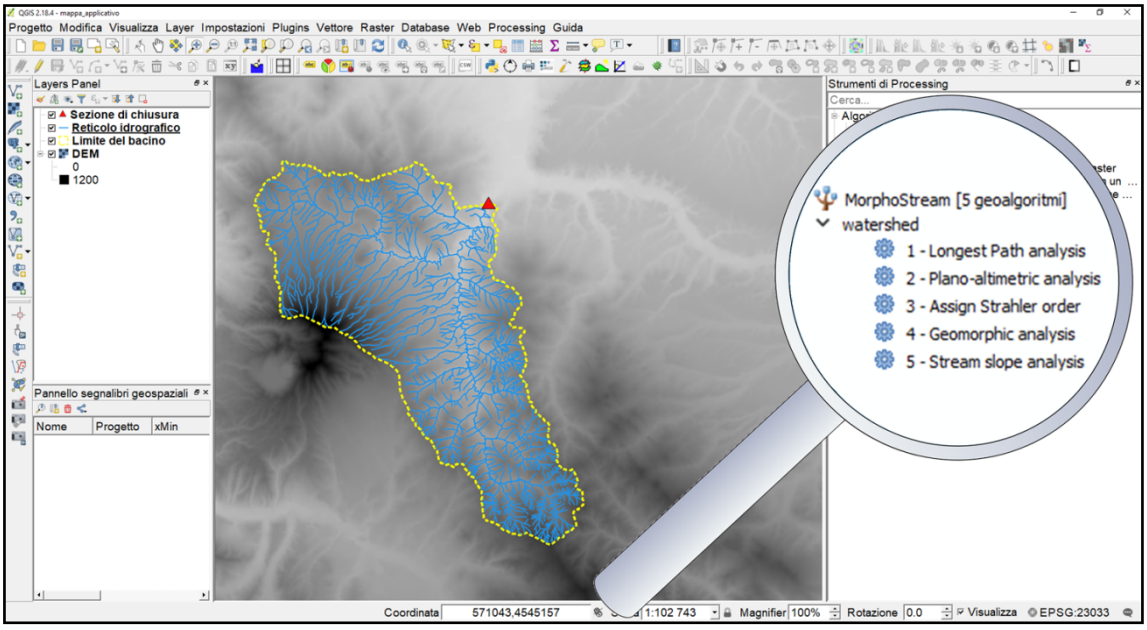

Figura 1 – Schermata di QGIS in cui sono visibili i vari strumenti di QMorphoStream

Per l'esecuzione dell'analisi geomorfica è necessario che nella mappa QGIS siano presenti come dati di input i seguenti *layer*:

- reticolo idrografico (*layer* vettoriale di tipo linea);
- contorno del bacino (*layer* vettoriale di tipo poligono);
- DEM del bacino (*layer* di tipo *raster*);
- foce o sezione di chiusura del bacino (*layer* vettoriale di tipo punto).

In aggiunta ai *layer* precedenti, è necessario aggiungere alla mappa un *layer* puntuale corrispondente alla "sorgente" del reticolo idrografico. A tale scopo, all'interno di QMorphoStream sono stati implementati specifici strumenti per l'individuazione della "sorgente" come il punto del reticolo più lontano dalla foce o quello situato a quota più elevata; in alternativa, l'utente può scegliere di aggiungere alla mappa un *layer* generato esternamente, in caso di sorgente già riportata sulla base cartografica.
In Figura 2 è illustrato uno schema concettuale di QMorphoStream, che evidenzia i dati di input e la connessione tra i diversi algoritmi disponibili. Per una descrizione dettagliata degli algoritmi e del funzionamento dell'applicativo si rimanda ai lavori citati in precedenza.

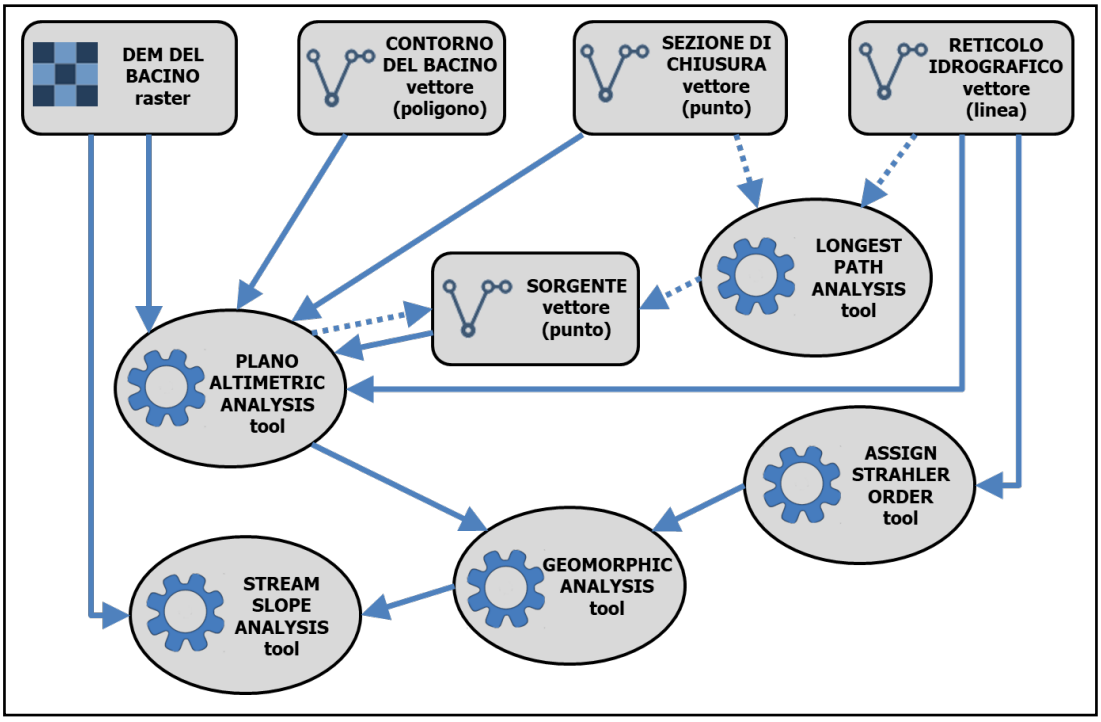

Figura 2 - Schema concettuale del toolset QMorphoStream. Le linee tratteggiate indicano che l'esecuzione del tool è a discrezione dell'utente

Si osserva che QMorphoStream richiede, come dati di input, il contorno del bacino ed il reticolo idrografico in formato vettoriale. Questa soluzione corrisponde ad una precisa scelta effettuata in fase di progettazione del *toolset*, maturata considerando principalmente l'esigenza di utilizzare bacini e reticoli generati da cartografia o, anche se generati da DEM, comunque sottoposti a una validazione su base cartografica.
Nel presente lavoro è stata adottata come riferimento per i reticoli idrografici la cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare in scala 1:25000. Per l'altimetria sono stati utilizzati DEM con risoluzione al suolo 20 m.

Risultati

I bacini idrografici analizzati nel presente studio sono illustrati in Figura 3.

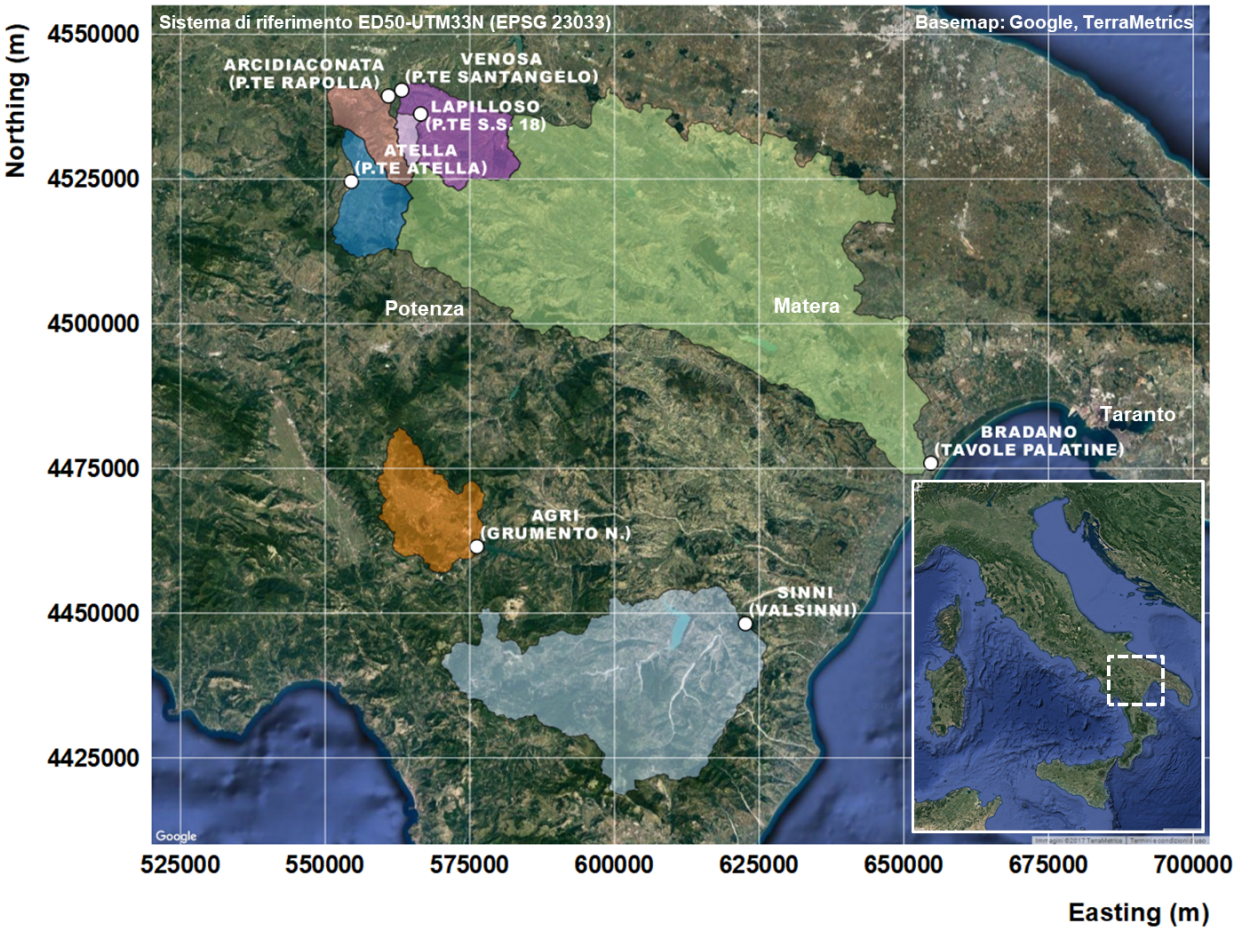

Figura 3 – Inquadramento geografico dei bacini investigati. Per ogni bacino è evidenziata la posizione della sezione di chiusura in corrispondenza della rispettiva stazione idrotorbiometrica

I bacini selezionati, appartenenti, almeno per la gran parte della loro estensione, al territorio della Basilicata, sono molto diversi per dimensioni e condizioni altimetriche, oltre che per regime idrologico.
In Tabella 1 sono riportate alcune tra le loro principali caratteristiche plano-altimetriche.

	P (km)	A (km^2)	Δh (m)	L_{max} (km)	L_{tot} (km)	Dd (km^{-1})
Agri (Grumento N.)	97.76	275.61	1301.0	35.34	791.35	2.87
Bradano (Tavole Pal.)	361.22	2942.09	1197.0	173.10	11639.54	3.96
Sinni (Valsinni)	216.62	1131.13	2101.0	73.41	5038.79	4.46
Arcidiaconata (P. Rapolla)	66.22	124.29	1101.0	24.94	513.70	4.13
Atella (P. Atella)	67.86	173.04	938.0	21.43	710.43	4.11
Lapilloso (P. S.S. 18)	31.32	28.86	510.0	12.84	141.64	4.91
Venosa (P. S. Angelo)	92.39	265.61	680.0	50.53	1330.82	5.01

Tabella 1 – Legenda: P=perimetro del bacino; A=area del bacino; Δh=dislivello tra quota max e min; L_{max}=distanza lungo il reticolo tra la sezione di chiusura e la sorgente più lontana; L_{tot}=sviluppo lineare complessivo del reticolo; Dd=densità di drenaggio

In Figura 4 sono riportate le curve ipsometriche dei bacini, in forma adimensionalizzata, insieme ai valori dell'integrale H_y, pari all'area sottesa dalla curva. Nelle curve, *x* rappresenta il rapporto tra l'area del bacino al di sopra di una determinata quota *h* e l'area totale, mentre *y* è il rapporto tra la differenza di quota h-h_{min} ed il dislivello complessivo Δh del bacino.

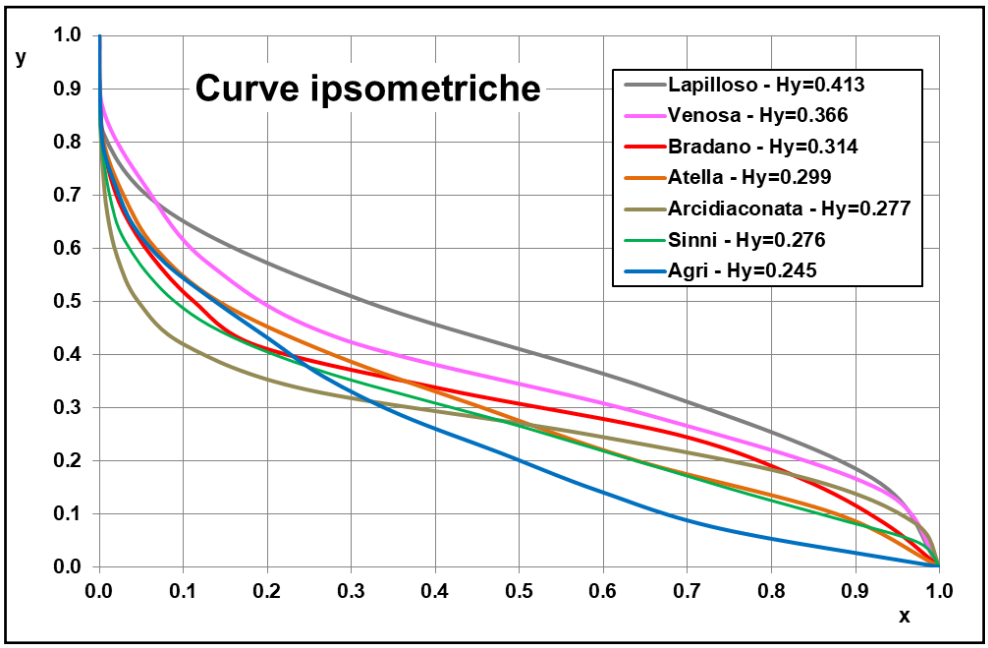

Figura 4 – Curve ipsometriche dei bacini investigati

Come è noto, la curva ipsometrica di un bacino idrografico descrive come la sua superficie è distribuita rispetto alla quota (Strahler, 1952). La forma della curva, inoltre, insieme al valore dell'integrale ipsometrico, fornisce un'indicazione del grado di evoluzione morfologica del bacino indotta dalle piogge e dal deflusso fluviale. Generalmente, i bacini poco evoluti ovvero in fase "giovanile" presentano curve concave verso il basso e valori elevati dell'integrale (Hy>0.6); i bacini più "maturi" sono caratterizzati da una curva a forma di *S* e valori di *Hy* compresi tra 0.3 e 0.6; infine, i bacini in fase "senile" mostrano curve con concavità verso l'alto e valori dell'integrale minori di 0.3.
I risultati illustrati mostrano per l'Agri una configurazione compatibile con un grado di evoluzione abbastanza avanzato da potersi definire "senile", mentre tutti gli altri bacini possono essere considerati in fase "matura" di evoluzione, al limite della "senilità", ad eccezione del Lapilloso, che presenta il valore dell'integrale ipsometrico più elevato tra quelli calcolati.
Un altro aspetto fondamentale dell'AGQ è costituito dall'organizzazione gerarchica dei reticoli idrografici.
A scopo di esempio, in Figura 5 è illustrato l'ordinamento gerarchico secondo Strahler del reticolo del Bradano. Nella mappa è visualizzata anche la posizione della "sorgente" individuata tramite il *tool* "*Longest Path Analysis*", corrispondente all'estremo dell'asta di ordine 1 più distante dalla sezione di chiusura.
Il grado di organizzazione, anch'esso legato allo sviluppo evolutivo del reticolo, viene descritto attraverso l'indicizzazione delle "anomalie" nelle confluenze tra i

vari ordini di aste fluviali rispetto ad un reticolo teorico perfettamente gerarchizzato. Un riepilogo dei principali risultati ottenuti sull'ordinamento gerarchico dei bacini analizzati è riportato in Tabella 2 dove si può vedere che l'Agri, pur essendo caratterizzato dal minor valore del Rapporto di biforcazione (*Rb*) presenta tuttavia una discreta incidenza di aste anomale, rispetto a bacini come l'Arcidiaconata e l'Atella, in rapporto alla superficie del bacino (*Da*). Questa discrepanza è ancor più evidente nel caso del Sinni.

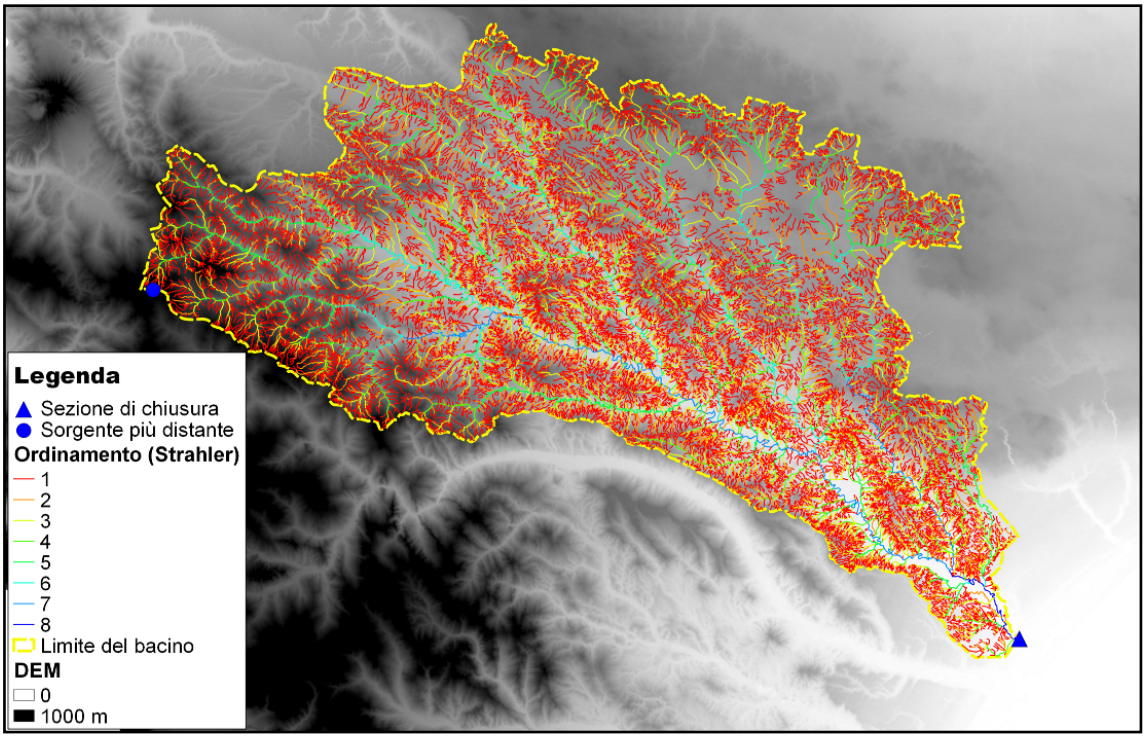

Figura 5 – Ordinamento gerarchico del Bradano

	Ordine	Rb_{arit}	Rbd_{arit}	Rb_{pon}	Rbd_{pon}	Na	Ia	Da
Agri (Grumento N.)	7	3.37	2.70	3.77	2.88	2654	1.88	9.63
Bradano (Tavole Pal.)	8	4.36	3.33	4.03	3.03	37867	1.78	12.87
Sinni (Valsinni)	8	3.90	3.05	4.23	3.08	26372	2.11	23.32
Arcidiaconata (P. Rapolla)	5	5.49	4.59	4.50	3.21	860	1.12	6.92
Atella (P. Atella)	6	4.05	3.29	3.93	2.82	1370	1.46	7.92
Lapilloso (P. S.S. 18)	5	4.05	2.85	4.72	3.21	398	1.60	13.79
Venosa (P. S. Angelo)	6	5.01	3.68	4.61	3.18	4417	1.61	16.63

Tabella 2 – Parametri gerarchici dei reticoli. Legenda: Ordine=valore max dell'indice di Strahler; Rb_{arit}/Rb_{pon}=media aritmetica/ponderata dei rapporti di biforcazione; Rbd_{arit}/Rbd_{pon}= media aritmetica/ponderata dei rapporti di biforcazione diretta; Na=numero di anomalia gerarchica; Ia=indice di anomalia gerarchica; Da=densità di anomalia gerarchica (km^{-2})

Oltre al calcolo dei parametri relativi alle dimensioni dei bacini ed all'analisi topologica, il *toolset* QMorphoStream esegue anche i calcoli morfometrici relativi al gradiente di pendio delle singole aste fluviali nei vari ordini gerarchici ed alla forma e sviluppo altimetrico dei bacini (Tabella 3). Dalla tabella si evince che, tra i bacini esaminati, il Bradano è quello caratterizzato dalla forma più allungata e da uno sviluppo orografico modesto.

	Hf	Rc	Rh	Re
Agri (Grumento N.)	0.0028	0.36	0.0737	0.76
Bradano (Tavole Pal.)	0.0001	0.28	0.0117	0.59
Sinni (Valsinni)	0.0005	0.30	0.0421	0.71
Arcidiaconata (P. Rapolla)	0.0025	0.36	0.0835	0.79
Atella (P. Atella)	0.0028	0.47	0.0945	1.00
Lapilloso (P. S.S. 18)	0.0106	0.37	0.0877	0.65
Venosa (P. S. Angelo)	0.0008	0.39	0.0366	0.76

Tabella 3 – Parametri morfometrici dei bacini. Legenda: Hf=Coefficiente orografico di Fournier; Rc=Rapporto di circolarità; Rh=Rapporto di rilievo; Re=Rapporto di elongazione

Conclusioni e prospettive

L'applicazione degli strumenti GIS, ed in particolare del *toolset* QMorphoStream qui presentato, consente di ottenere una grande mole di parametri descrittivi delle caratteristiche geomorfometriche di bacini idrografici di varie dimensioni.

Nell'intento di sviluppare dei modelli di previsione del trasporto solido fluviale basati su parametri di facile determinazione, questa metodologia risulta molto efficace rispetto ad altre di maggior complessità. Ai parametri qui descritti andranno affiancati altri tipi di parametri relativi, per esempio, all'uso o copertura del suolo, all'erodibilità del substrato litologico, all'aggressività delle piogge o agli afflussi e deflussi idrici, nonché alla efficienza della rete di trasporto dei sedimenti, ovvero alla cosiddetta "connettività" idrologica e sedimentaria. Quest'ultima viene intesa come l'insieme dei legami interni tra i versanti, ove si originano ruscellamento e produzione di sedimenti, ed i punti di recapito finale.

L'insieme dei parametri citati consentirà, in ultima analisi, di descrivere in maniera oggettiva le condizioni e le caratteristiche fisiche del bacino che possono influenzarne e determinarne la "resa solida" e come tali potranno essere trattati statisticamente in combinazione con le serie storiche dei dati torbiometrici disponibili.

Bibliografia

Anderson H.W. (1957), "Relating sediment yield to watershed variables", *Transactions, American Geophysical Union*, 38: 921–924

Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E. (1977), "Rapporti fra trasporto solido e parametri climatici e geomorfici in alcuni bacini idrografici italiani", Workshop "Misura del trasporto solido al fondo nei corsi d'acqua", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Firenze

Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E., Pugliese F. (1980), "Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali", *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 99: 455–516

Cooke R.U., Doornkamp J.C. (1974), *Geomorphology in Environmental Management. An Introduction,* Clarendon Press, Oxford, UK

de Vente J., Poesen J. (2005), "Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models", *Earth-Science Reviews*, 71: 95–125
Horton R.E. (1945), "Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative analysis", *Bulletin of the Geological Society of America*, 56: 275–370
Strahler A.N. (1952), "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography", *Bulletin of the Geological Society of America*, 63: 1117–1142
Strahler A.N. (1957), "Quantitative analysis of watershed geomorphology", *Transactions, American Geophysical Union*, 38: 913–920
Tebano C., Pasanisi F., Grauso S. (2016a), "QMorphoStream: processing tools in QGIS environment for the quantitative geomorphic analysis of watersheds and river networks", *Earth Science Informatics*, 10: 257–268
Tebano C., Pasanisi F., Grauso S. (2016b), *QMorphoStream: strumenti per l'analisi geomorfica quantitativa in ambiente QGIS. Esempi applicativi su due bacini fluviali dell'Italia meridionale,* Rapporto Tecnico RT/2016/33/ENEA, Roma