

CALCOLO DELLA PRODUZIONE DI SEDIMENTI NEI BACINI IDROGRAFICI DELLA F.RA SARACENO, T.TE PAGLIARA E AVENA, MEDIANTE IL METODO DI GAVRILović IN AMBIENTE GIS

C. Vacca¹ F.A. Casuscelli¹ A. Di Bello¹ e R. Dominici¹

¹ Università della Calabria - Dipartimento DiBEST (Biologia, Ecologia e Scienze della Terra)

1 – Introduzione

Uno dei fattori principali che controlla il rischio idrogeologico è il trasporto di sedimenti di un torrente. La stima media annua dell'erosione di sedimenti per un bacino è un passo fondamentale per garantire una buona gestione del territorio, individuando le aree a maggiore rischio idrogeologico.

La valutazione della produzione di sedimenti a scala del bacino idrografico è stata eseguita mediante l'utilizzo del modello multiparametrico di Gavrilović (1972) in ambiente GIS.

L'area di studio si estende e costituisce un articolato sistema idrografico che drena terreni 'flyscioidi e argillosi' su una superficie di circa 147 km² nel settore nord-orientale della Calabria ed alimenta un'area costiera che si sviluppa per circa 12 km .

Il metodo semiquantitativo di Gavrilović è stato applicato mediante le funzionalità dei software GIS (ArcGIS e QGIS). In dettaglio attraverso la costruzione di cartografie di base e database relative ai parametri di controllo del 'Modello' (geomorfologia γ , clima T ed h, litologia Y, copertura e/o uso del suolo X) ed all'utilizzo di tabelle elaborate attraverso l'impiego di dati geomeccanici e morfometrici è stata valutata la stima di produzione sedimenti e di trasporto verso la costa dell'intera area di studio.

2 – Inquadramento geologico

La successione stratigrafica che caratterizza il settore nord-orientale della Calabria è costituita da unità basali calcareo dolomitici meso-cenozoici, definiti in letteratura Complesso Panormide, coperti da Unità tettoniche appartenenti al Complesso Liguride (Ogniben, 1969). In discordanza tettonica per alcuni autori, il Complesso Liguride è coperto da successioni di peliti arenarie e conglomerati della Formazione del Saraceno e di Albidona. La prima risulta essere costituita, nella parte inferiore, da una fitta alternanza di arenarie calcaree e calcilutiti grigiastre. Verso l'alto si ha un progressivo aumento di intercalazioni silicoclastiche arenitiche e microconglomeratiche, fino a passare ad un'alternanza di arenarie ibride ed argille siltose grigio-avana (Monaco et al., 1995).

In continuità stratigrafica, per alcuni autori, la Formazione del Saraceno passa alla Formazione di Albidona. La porzione basale è costituita da arenarie grigio-giallastre in strati da sottili a medi alternate a marne ed argille siltose. Nella porzione mediana, la successione è costituita da torbiditi pelitico-arenacee passanti verso l'alto della formazione (Membro arenaceo) a un sub-sistema torbiditico localmente erosivo sui sottostanti depositi distali. Sull'Unità precedentemente descritte giacciono direttamente in discordanza i Depositi Marini Pleistocenici, rappresentati da sedimenti terrigeni infrapleistocenici e depositi conglomeratici dislocati in più ordini di terrazzati da strutture tettoniche orientate N-S ed NW-SE (Ferranti et al., 2009).

3 – Metodologia

Nel presente lavoro si è optato per l'uso del modello multiparametrico di Gavrilović (1972) modificato da Zemljic e applicato per i corsi d'acqua a carattere torrentizio nel Sud Est della ex Jugoslavia (Gavrilović, 1959; Zemljic, 1971; Gavrilović, 1972;), studiato e modificato da altri autori per i bacini a carattere torrentizio in Slovenia, nei Balcani occidentali (Lazarević, 1985), in Svizzera (Beyer Portner, 1998), tarato in alcune regioni italiane (Bazzoffi, 1985; Auddino et al., 2015; Vacca & Dominici, 2015).

Il modello applicato, per valutare la produzione di sedimenti ed il trasporto solido è stato scelto perché sviluppato in ambiente mediterraneo e su bacini di piccole dimensioni a carattere torrentizio.

In accordo con quanto proposto da Gavrilović (1959, 1972) la produzione media annua di sedimento (espressa in m³/anno), si ottiene con la seguente formula analitica:

$$W = T \cdot h \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot S \quad (\text{m}^3/\text{anno})$$

(W) volume di materiale medio annuo prodotto per erosione in m³; (T) coefficiente di temperatura,

$$T = \sqrt{\left(\frac{t'}{10}\right) + 0,1}$$

risulta: $T = \sqrt{\left(\frac{t'}{10}\right) + 0,1}$; dove (t') temperatura media annuale in °C; (h) precipitazione media annuale in mm; (t' e h sono state ricavate dalle 'serie storiche mensili' del Centro funzionale Multirischi dell'Arpacal (<http://www.cfd.calabria.it/>), considerando le stazioni di misura che ricadono all'esterno e all'interno dei bacini idrografici); (S) superficie del bacino in Km²; (Z) coefficiente di erosione relativa determinabile con la seguente espressione analitica: $Z = X \cdot Y \cdot (\gamma + \sqrt{I_m})$) dove (X) fattore di protezione del suolo; (Y) fattore geolitologico di erodibilità del suolo; (γ) fattore che esprime i processi geomorfologici ed erosivi e la loro intensità; (I_m) pendenza media del bacino calcolata attraverso la funzionalità *tool Slope* in ArcGIS mediante il DTM-20 m (Digital Terrain Model, Geoportale Nazionale). Il calcolo dei sedimenti trasportati ad una specifica sezione di chiusura, si basa attraverso la determinazione di un Fattore di riduzione (R) basato su alcune caratteristiche morfometriche del bacino e del reticolo idrografico. L'uso di tali formulazioni consente di ottenere il volume di sedimenti che arriva ad una specifica sezione di chiusura (G).

$$R = \frac{\sqrt{P \cdot H_m \cdot (L + L_i)}}{S \cdot (L + 10)} ; \quad G = R \cdot W \quad (\text{m}^3/\text{anno})$$

dove:

- (P) perimetro del bacino espresso in km;
- (H_m) altezza media del bacino, espressa in km;
- (L) lunghezza dell'asta principale del bacino fino alla sezione, espressa in km;
- (L_i) lunghezza complessiva degli affluenti espressa in km.

La metodologia permette di ottenere una stima del volume di materiale prodotto per erosione dal bacino idrografico, definendo anche il dato quantitativo dei detriti trasportati dal corso d'acqua, una volta ottenuto il coefficiente di riduzione (R).

4 – Applicazione del metodo

L'applicazione del modello è stata eseguita in diversi calcoli, al fine di ottenere una più accurata e corretta valutazione nella scelta dei parametri meglio rappresentativi dell'area esaminata ed ottenere una produzione di sedimenti realisticamente paragonabile con la realtà torrentizia delle fiumare dell'alto Ionio cosentino, caratterizzate da grossi apporti di materiale alla sezione di chiusura, durante eventi di piena e fasi di deposizione intrabacinale durante i periodi di magra.

4.1 - Primo calcolo

La prima applicazione ha previsto l'utilizzo di documenti bibliografici opportunamente verificati in relazione al dettaglio e tipologia dei dati (vettoriali, raster, cartografia, database, ecc.), per avere un confronto con studi effettuati nella medesime aree precedentemente. (ATI Technital *et al.*, Regione Calabria, 2003).

Successivamente è stata eseguita una caratterizzazione morfometrica del bacino idrografico, attraverso funzioni di *analisi geomorfologiche* e funzionalità del *calcolatore di campi* dei software GIS (QGIS, ArcGIS), ricavando così alcune grandezze morfometriche, estrapolate da diversi *layers* come (S, P, Im, Hm, L, Li), utili per essere inseriti all'interno della formula di Gavrilović (1972).

L'elaborazione delle mappe (Corine Land Cover 2006, 3° livello scala 1:100.000; Carta Geologica della Calabria, scala 1:25000; Carta Geomorfologica (PAI, Autorità di Bacino Regione Calabria)), ha permesso di ricavare i parametri (X,Y,γ) mediante l'utilizzo delle tabelle proposte da Zemljic (1971),

senza apportare alcuna modifica alla cartografia di riferimento (Vacca & Dominici, 2015), ma semplicemente adattando questi parametri alla realtà locale anche in funzione della scala di dettaglio con cui è stato redatto il database.

Il risultato ottenuto ha stimato una quantità di materiale prodotto per erosione (W) di 96000 m³/anno.

4.2 - Secondo Calcolo

Dopo aver eseguito un primo calcolo basato soltanto sull'utilizzo di una cartografia e lavori scientifici di riferimento è stato eseguito un secondo calcolo attraverso un'analisi di maggior dettaglio delle caratteristiche litologiche, della copertura e dell'uso del suolo e dei processi geomorfologici ed erosivi dell'area di studio.

Nella seconda applicazione sono state effettuate delle modifiche ai parametri X , Y e γ mediante l'utilizzo dei valori tabellari proposti da Beyer Portner (1998) ideate per terreni Flyshioidi.

Il parametro X è stato modificato attraverso la foto interpretazione e la rivettorializzazione del layer dell'uso del suolo (Corine Land Cover 2006) sulle ortofoto del 2008 (Centro Cartografico della Regione Calabria), definendo con maggior dettaglio le diverse tipologie di uso del suolo (maggior numero di aree per tipologie di uso del suolo) e soprattutto sono stati definiti con maggior precisione i limiti delle diverse tipologie di uso del suolo.

Le modifiche apportate al parametro Y sono state basate sull'utilizzo di una Carta Geologica più recente e dettagliata, (Foglio 535 Trebisacce, Ispra 2009) in scala 1:50.000. Dalle osservazioni effettuate in campo e dalla sovrapposizione della carta geologica sulle ortofoto (2008), si è ritenuto opportuno rimappare i depositi alluvionali distinguendo tra alluvioni mobili e fissate che presentano, da un punto di vista della produzione di sedimenti, coefficienti erosivi differenti.

Per costruire la carta del fattore (γ) nel primo calcolo abbiamo considerato solo le frane riportate dalla Carta Geomorfologica (PAI, Autorità di Bacino Regione Calabria) e della Carta Geologica della Calabria (scala 1:25.000).

In questo secondo calcolo invece il parametro γ è stato ricavato applicando una nuova metodologia per ridurre la soggettività con la quale vengono assegnati i coefficienti erosivi. Essa è basata sulla costruzione di una 'Mappa del coefficiente di deflusso' (fig. 1) generata attraverso un'operazione d'*Intersect* di tre carte tematiche (Acclività dei versanti, permeabilità dei terreni affioranti, copertura vegetale) originando un documento definitivo in formato Raster tramite le funzionalità di ArcGis (Spatial analyst tool > Interpolation > Kriging).

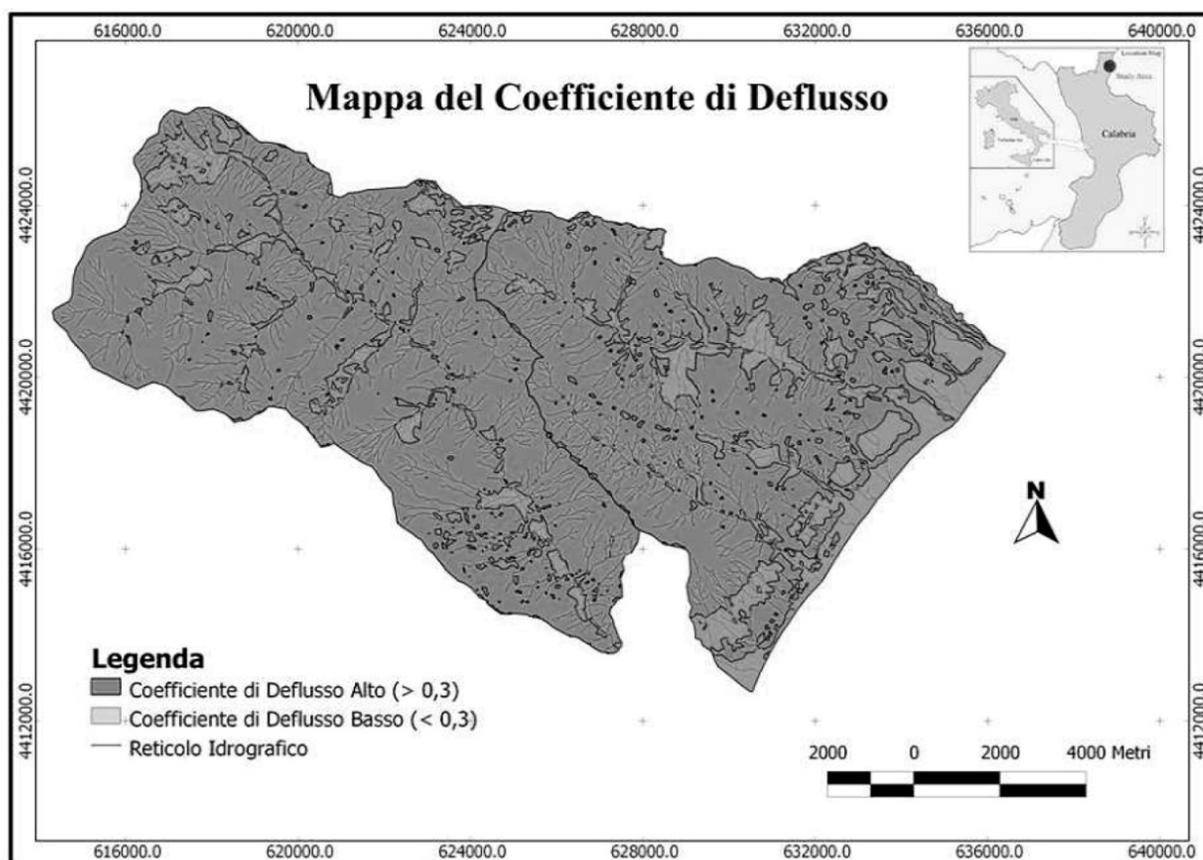


Fig. 1 – Mappa del Coefficiente di Deflusso dei bacini Idrografici del Saraceno, Pagliara e Avena.

La Mappa del coefficiente di deflusso si rileva molto utile per poter definire i processi erosivi (areali e lineari) e le aree di deflusso concentrato in grado di trasportare quantità consistenti di detriti.

Inoltre nel ridefinire γ , è stato proposto un differente criterio per la mappatura dei corpi di frana, in quanto i rilievi dei processi di versante del PAI, sono relativi ai soli centri urbani, con popolazione superiore ai 200 abitanti, per cui gran parte delle superfici dell'area di studio sono prive di rilievi geomorfologici. A tale proposito mediante fotointerpretazione, delle ortofoto 2008, sono stati considerati solo i corpi di frana attivi con forte potenziale di ricarica di sedimenti, presenti all'interno dei bacini idrografici considerati; a cui associare il coefficiente massimo (1) della tabella di Beyer Portner (1998). Tale approccio è stato utilizzato prendendo spunto dallo studio proposto da Liebault et alii (2001).

Nella metodologia di Liebault et alii (2001) vengono considerate le frane come processo di alimentazione del reticolo idrografico e non vengono prese in considerazione le aree in cui agiscono processi come degradazione delle rocce (chimica-fisica). L'erosione fluviale lungo le sponde, che in un contesto come quello dei bacini idrografici compresi tra la F.ra Saraceno ed i T.ti Pagliara e Avena costituisce un'importante input, contribuisce nettamente alla produzione di sedimenti.

Sulla base di queste modifiche al calcolo, basate su nuovi rilievi ed analisi morfometriche, è stata prodotta la nuova mappa dei processi geomorfologici ed erosivi. In dettaglio vengono descritte le aree per ogni tipologia proposta:

- *Erosione debole del bacino (Beyer Portner, 1998):* Vengono considerate le aree che presentano una pendenza $< 5^\circ$, i boschi costituiti da una vegetazione molto densa e le aree urbane.
- *Erosione laminare sul 20-50% del bacino (Beyer Portner, 1998):* Viene attribuita alle superfici con pendenze comprese tra 5° e 20° ed un coefficiente di deflusso $< 0,3$.
- *Erosione laminare, detriti di falda e depositi incisi, erosione carsica (Beyer Portner, 1998):* Viene attribuita ai versanti che presentano una pendenza $> 20^\circ$ ed un coefficiente di deflusso $> 0,3$.

- 50-80% del bacino eroso per erosione lineare e per franamenti (Beyer Portner, 1998): Viene attribuita applicando un *buffer* di 10 m alle aste secondarie.
- Bacino interamente eroso per erosione lineare e per franamenti (Beyer Portner, 1998): Viene attribuita alle aree in frana mappate sull'ortofoto (2008).

L'assegnazione dei coefficienti erosivi attraverso nuove metodologie e cartografie di dettaglio elaborate in ambiente GIS ha prodotto un aumento di (W) rispetto al primo calcolo con un risultato finale di 106.000 m³/anno.

4.3 - Terzo Calcolo

Per poter ridurre ancora la soggettività con la quale vengono assegnati i coefficienti erosivi è stata eseguita una modifica al parametro geolitologico Y, attraverso una caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi tramite il sistema classificativo (RMR, Rock Mass Rating) sviluppato da Bieniawski 1973, (aggiornato nel 1989) e dal sistema classificativo GSI (Geological Strength Index), proposto da Marinós e Hoek (2000).

I risultati ottenuti evidenziano come l'utilizzo del RMR determina una sovrastima della resistenza meccanica dei litotipi affioranti in quanto vengono caratterizzati solo gli strati litoidi e non l'alternanza pelite/marna – arenaria/arenite tipica delle successioni flyshioidi. Il GSI è stato più indicativo, nel dare realistica valutazione sulle condizioni delle discontinuità e della struttura dell'ammasso roccioso eterogeneo quale il flysch. Sulla base di questi elementi si è proceduto all'assegnazione dei valori della tabella di Beyer Portner (1998) alle successioni flyshioidi, attraverso una suddivisione del range dei valori GSI da 5 a 75 in classi di 10, correlandoli ad una suddivisione dei valori del coefficiente d'erosione da 0,6 a 1,2 della tabella di Beyer Portner (1998) in classi di 0,1.

Valori di Beyer Portner	Indici GSI
0,6-0,7	65-75
0,7-0,8	55-65
0,8-0,9	45-55
0,9-1,0	35-45
1,0-1,1	25-35
1,1-1,2	15-25
1,2-1,3	5-15

Tab. 1 - La tabella riporta l'intervallo degli indici GSI proporzionato all'intervallo dei valori dei coefficienti erosivi proposti da Beyer Portner, (1998).

Sulla base dei rilievi eseguiti nelle stazioni di misura geomeccaniche, vengono proposte le seguenti classificazioni GSI per i diversi litotipi affioranti nel bacino idrografico, ed a ognuno di essi viene assegnato un valore di resistenza all'erosione.

Litologie	Indice GSI	Valore assegnato
Membro arenaceo torbiditico	50	0,85
Fm del Saraceno	45	0,9
Fm Albidona (Litofacies di calcilutiti e marne calcaree)	35	1
Fm Albidona (pelitica-arenacea)	30	1,05

Tab. 2 - Valore del coefficiente erosivo assegnato secondo l'indice GSI ottenuto per ogni tipo litologico.

In questo modo è stata ridotta la soggettività con la quale vengono assegnati i coefficienti erosivi. Questa procedura ha prodotto un aumento del parametro Y e di conseguenza un aumento di (W) con un risultato finale di 134.000 m³/anno.

5 – Calcolo del volume di sedimenti ad una specifica sezione di chiusura

La stima dei sedimenti che giungono ad una specifica sezione di chiusura è definita da Fattore R che dipende esclusivamente da parametri geometrici del bacino idrografico. Il valore G stima il volume di sedimenti che giungono alla costa senza nessuna differenziazione in termini granulometrici e litologici.

Analisi condotte attraverso 8 stazioni di misure di 100 ciottoli lungo le aste principali dei torrenti ha permesso di evidenziare le variazioni granulometriche, morfometriche e litologiche dei sedimenti alluvionali da monte verso valle.

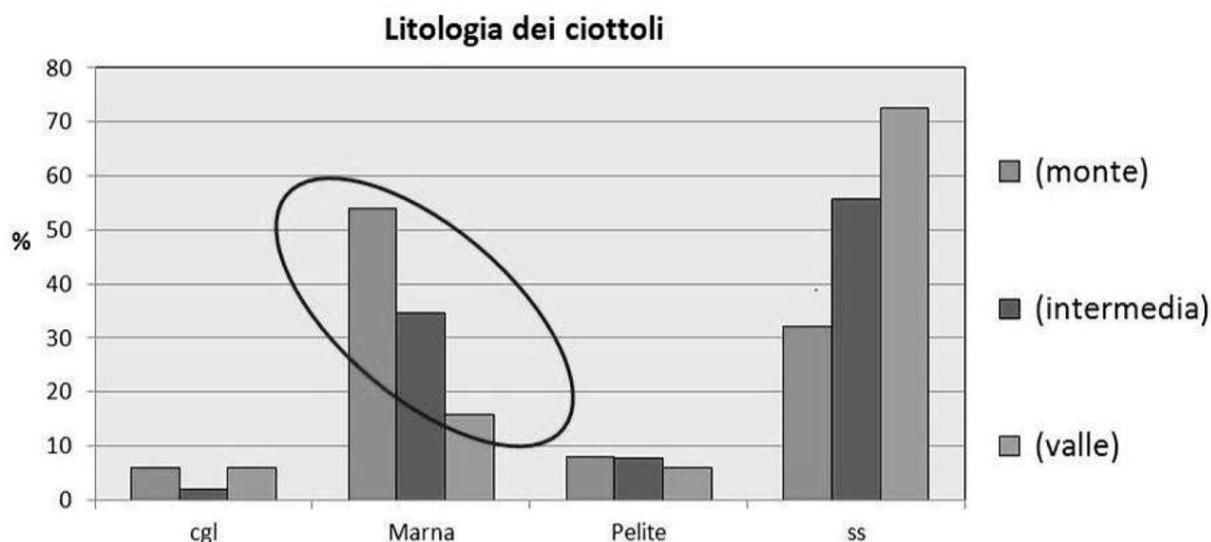


Fig. 2 – Distribuzione della litologia dei ciottoli all'interno degli alvei.

In dettaglio, le analisi hanno evidenziato come le litologie del bacino idrografico, composte da circa il 70 % da Fm. Flyshioidi, caratterizzati da una variabilità spaziale tra livelli meno competenti (marne e peliti) e livelli più competenti (arenacei), porta ad avere durante i processi di trasporto verso valle, un'elevata eterogeneità che si riflette in una riduzione in termini volumetrici di litotipi meno resistenti (marne e peliti) conteggiati nel calcolo di W, in quanto altamente produttivi di sedimenti. Quindi sulla base di questi elementi il calcolo di G, potrebbe essere corretto attraverso l'utilizzo di un fattore di riduzione specifico per singola litologia.

Nel caso dell'area esaminata, la quasi completa assenza di ciottoli di marne e peliti lungo le zone prossimali alle foci, impone che nel calcolo del materiale che arriva alla sezione di chiusura (G), non si tenga in considerazione della produzione di sedimenti dei litotipi come marne e peliti che tendono ad "traformarsi" in materiale fine che non si deposita all'interno dell'alveo ma che arriva direttamente nel bacino marino distale.

6 - Conclusioni

Tale lavoro ha permesso di ottenere, tramite l'applicazione della metodologia Gavrilović in ambiente GIS, la stima del volume medio annuo di sedimenti prodotti per erosione (W) e trasportati dai torrenti Saraceno, Avena e Pagliara su un tratto di costa lungo 12 Km.

La metodologia è stata applicata attraverso l'utilizzo di dati bibliografici, senza particolari analisi e verifiche (1° calcolo) e mediante l'utilizzo di cartografie di maggior dettaglio, e l'utilizzo di un nuovo metodo per la valutazione dei processi geomorfologici ed erosivi integrati da analisi critiche e specialistiche dei dati (2° calcolo). Infine la metodologia è stata integrata con studi ed analisi degli ammassi rocciosi (RMR e GSI) per ridurre la soggettività (3° calcolo).

Il confronto con calcoli di erosione del suolo eseguiti nell'ambito di specifici progetti (ARSSA 2005, Modello Florence CRA-DAF, 2008) ed i calcoli effettuati in questo studio, dimostrano che con l'aumentare del dettaglio e l'utilizzo di metodologie di analisi dei singoli fattori, in grado di diminuire la soggettività dell'operatore nell'attribuire i coefficienti alle singole aree, il modello di Gavrilović in

ambiente GIS rappresenta uno strumento rapido, efficace e di elevata affidabilità per calcolare il volume di sedimenti prodotti alla scala del bacinoidrografico.

Le analisi tessiturali e litologiche dei sedimenti alluvionali e costieri hanno permesso di evidenziare che nel calcolo della stima dei sedimenti che giungono sulla costa (input sedimentario del bilancio sedimentologico costiero) è necessario tenere conto dei fattori di riduzioni connessi alla resistenza all'erosione dei ciottoli a minore resistenza meccanica.

L'utilizzo del metodo di Gavrilović in ambiente GIS permette di ricavare i valori in mc/anno per singole aree che possono essere distinte sulla base del litotipo, dell'uso del suolo, dei processi geomorfologici o per celle attraverso l'applicazione di un *plugin* messo a punto nell'ambito del progetto SIGIEC.

Le metodologie, i rilievi, le analisi specifiche e l'utilizzo di determinati algoritmi, eseguiti nell'ambito del progetto PON-SIGIEC, applicate su diversi bacini idrografici dell'Italia meridionale, ha permesso di elaborare delle procedure di calcolo della produzione di sedimenti attraverso il metodo semiquantitativo di Gavrilović rapide ed attendibili.

Riferimenti bibliografici

Auddino M., Dominici R., Viscomi A., (2015) - Evaluation of yield sediment in the Sfalassà Fiumara (southwestern, Calabria) by using Gavrilović method in GIS environment. Rend. Online Soc. Geol. It., Vol. 33, pp. 3-7.

Bazzoffi, P., 1985 - Methods for net erosion measurement in watersheds as a tool for the validation of models in central Italy, Workshop on soil erosion and hillslope hydrology with emphasis on higher magnitude events, Leuven.

Beyer Portner, N., 1998 - Erosion des bassins versant alpins suisses par ruissellement de surface. PhD Thesis, Laboratoire de Constructions Hydrauliques-LCH, No. 1815, Lausanne, Switzerland.

Bieniawski, Z.T. 1973. Engineering classification of jointed rock masses. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs 15, 335-344.

Corine Land Cover 2006. European Environment Agency.

Ferranti, L., Santoro, E., Mazzella, M.E., Monaco, C., Morelli, D., 2009. Active transpression in the northern Calabria Apennines, southern Italy. Tectonophysics 476, 226–251.

Gavrilović S., 1972 – Engineering of Torrents and Erosion. Izgradnja, special issue, Beograd.

ISPRA 2009 - Carta geologica d'Italia, Foglio 535 - Trebisacce . Dipartimento Scienze geologiche Università di Catania, S.EL.CA srl – Firenze.

Liebault F., Clement P., Piegay H., 2001 - Analyse géomorphologique de la recharge sédimentaire des bassins versants de la Drôme, de l'Eygues et du Roubion. Unpublished technical report, ONF Service Départemental de la Drôme and CNRS - UMR 5600, 182 pp.

Marinos P., Hoek E., 2000. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation, Proc.GeoEng 2000 Conference, Melbourne. 1422-1442.

Monaco C., Tortorici L., Bianca M., De Guidi G., Di Stefano A., Maniscalco R., Montanari L., Vertino A., Le Pera E. 2009 - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Progetto CARG): Foglio 535 Trebisacce e Note Illustrative. S.EL.CA srl – Firenze Vol. 535, pp. 1-104.

Monaco C., Tortorici L., Morten L., Critelli S. & Tansi C. (1995) - Geologia del versante nord-orientale del Massiccio del Pollino (Confine Calabro-lucano): nota illustrativa sintetica della carta geologica alla scala 1:50.000. Boll. Soc. Geol. It., 114, 277- 291.

Ogniben L. (1969) - Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano. Mem. Soc. Geol. It., 8, 453-763.

Vacca C. & Dominici R. 2015 - Preliminary considerations on the application of the Gavrilović method in GIS environment for the calculation of sediment produced by the catchment area of the Stilaro Fiumara (Calabria southeast). Rend. Online Soc. Geol. It., Vol. 33, pp. 104-107.

Calcolo della produzione di sedimenti nei bacini idrografici della F.ra Saraceno, T.te Pagliara e Avena, mediante il metodo di Gavrilović in ambiente GIS

Zemljic, M., 1971 – Calcul du débit solide – Evaluation de la végétation comme un des facteurs antiérosifs, International Symposium Interpraevent, Villaco.