

CALCOLO DELL'INTERRIMENTO SVILUPPATO IN AMBIENTE GIS. IL CASO STUDIO DELLA DIGA DI RIMASCO (PIEMONTE, ITALIA)

C. Vacca¹, R. Dominici¹ e L. Mao²

¹ Dipartimento DiBEST - Università della Calabria

² Dipartimento di ecosistema e medioambiente - Università Cattolica Pontifici del Cile

1. Introduzione

L'applicazione di modelli empirici sviluppati in ambiente GIS, per il calcolo dell'erosione a scala di bacino e la successiva deposizione del materiale all'interno di un invaso artificiale, potrebbe rappresentare un valido aiuto, in fase di progettazione, per un'adeguata pianificazione di opere antierosive atte al corretto mantenimento in funzione del corpo diga.

La metodologia utilizzata, EPM Model (Erosion Potential Method) elaborato da Gavrilovic (1988), sfrutta la versatilità di elaborazione che offrono le tecniche GIS (Vacca & Dominici, 2015) e permette, quindi, di inserire all'interno della formula multiparametrica dati di input a differenti scale di precisione, ottenendo una stima di perdita di suolo e trasporto di sedimento alla sezione di chiusura del bacino, su base annua.

Dai valori di interrimento dell'invaso di Rimasco (Hinderer et al., 2013), si è notato che il dato di output, restituito dal modello, tende a sovrastimare il valore di sedimento che arriva ad una determinata sezione di chiusura. Ciò richiede una ponderata calibrazione, che non agisca sulla quantità di sedimento potenzialmente prodotta dal bacino, in quanto ampiamente valutata con metodi quantitativi (Vacca et al., 2015a; Vacca et al., 2015b), ma agisca sulle cause che portano il materiale a restare appeso sui versanti e a depositarsi nel fondovalle, senza mai arrivare all'interno dell'invaso.

Applicando questa metodologia è stato possibile definire alcuni scenari di evento, che incrociati con dati morfologici, derivati da elaborazioni a partire dal modello digitale del terreno, DTM, permettono di individuare le aree in connessione con il reticolo idrografico che realmente sono capaci di produrre sedimento e trasportarlo all'interno del serbatoio.

2. Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area montana del territorio piemontese, circa il 48%, rappresenta nel suo piccolo, il risultato di un complesso processo geodinamico attraverso il quale il continente europeo e il Continente africano sono giunti a collisione. Infatti partendo dal basso verso l'alto della catena, si riesce ad osservare la completa evoluzione dell'oceano ligure piemontese, consumato dallo sprofondamento al di sotto del margine africano. Tale convergenza, ha avuto inizio con la subduzione verso E-SE dei settori oceanici al di sotto della litosfera continentale adriatica. Ciò porta alla totale chiusura del bacino oceanico Piemontese ed alla successiva fase di collisione continentale, con la generazione di un sistema a falde a doppia vergenza. Il sistema sud vergente, costituito dalle Unità Sud Alpine, si svincola dal resto del sistema Europa vergente, grazie all'attivazione dell'elemento strutturale periadriatico, definito in letteratura Linea Insubrica. Questa linea è rappresentata da una shear zone costituita da un sistema di faglie regionali collegate fra loro con orientamento prevalente E-W e giacitura subverticale.

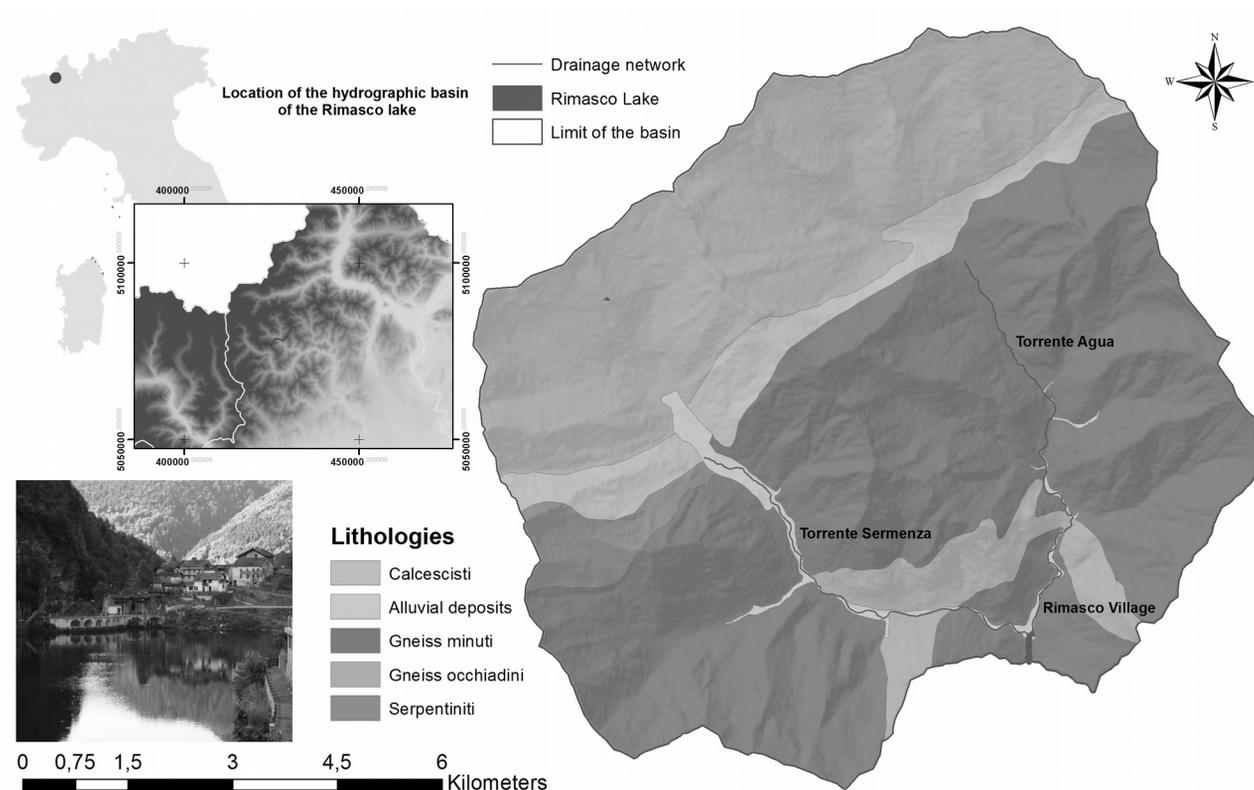


Fig. 1 – *Mappa geologica del bacino a monte della diga di Rimasco, con particolare sulla localizzazione geografica*

Nell'area esaminata, l'assetto geologico (fig. 1), può essere schematizzato evidenziando la presenza di distinti complessi sovrastanti l'uno all'altro, portati in superficie e tiltati durante l'orogenesi alpina.

In affioramento si ritrovano le successioni del massiccio della Dora Maira (crosta continentale), passanti alle rocce giurassico-cretaceo della Zona Piemontese (crosta oceanica), in contatto con le rocce gneissiche del Monte Rosa (fig. 1). Le prime, sono costituite da rocce metamorfosate derivate da un'antica successione detritica tardo Paleozoica (Rolfo et al., 2015), costituita prevalentemente da micaschisti, gneiss a grana fine e metabasiti. Le rocce della Zona Piemontese, sono costituite prevalentemente da serpentiniti, calcescisti e quarziti con quarzoscisti.

Sono anche presenti estesi depositi morenici Wurmiani e post-Wurmiani, intercalati da depositi alluvionali di fondovalle e di versante, generalmente costituiti da ghiaie grossolane con ciottoli passanti a sabbie e lenti di limi.

La morfologia dell'area alpina possiede un'elevata energia di rilievo, che si traduce in dislivelli molto accentuati, con pendenze medie di circa 35° (fig. 2).

Nelle forme del paesaggio si possono riconoscere i segni, antichi e recenti, lasciati dall'azione dei processi morfogenetici. Infatti, queste morfologie rappresentano il risultato combinato delle deformazioni tettoniche e del modellamento glaciale. Ciò è testimoniato dalle numerose valli a "U" e dai corrispettivi depositi morenici. Inoltre, il materasso fluviale e fluvioglaciale quaternario, che costituisce il naturale riempimento di parte del solco vallivo, risulta costantemente modellato durante eventi meteorologici estremi, quando ampie porzioni di versante vengono interessate da movimenti franosi di differente entità. Nel territorio della Val Sermenza i fenomeni gravitativi maggiormente diffusi sono quelli da crollo e ribaltamento di roccia, seguiti da colamenti superficiali che evolvono in alcuni casi in fenomeni estremamente rapidi di debris flow.

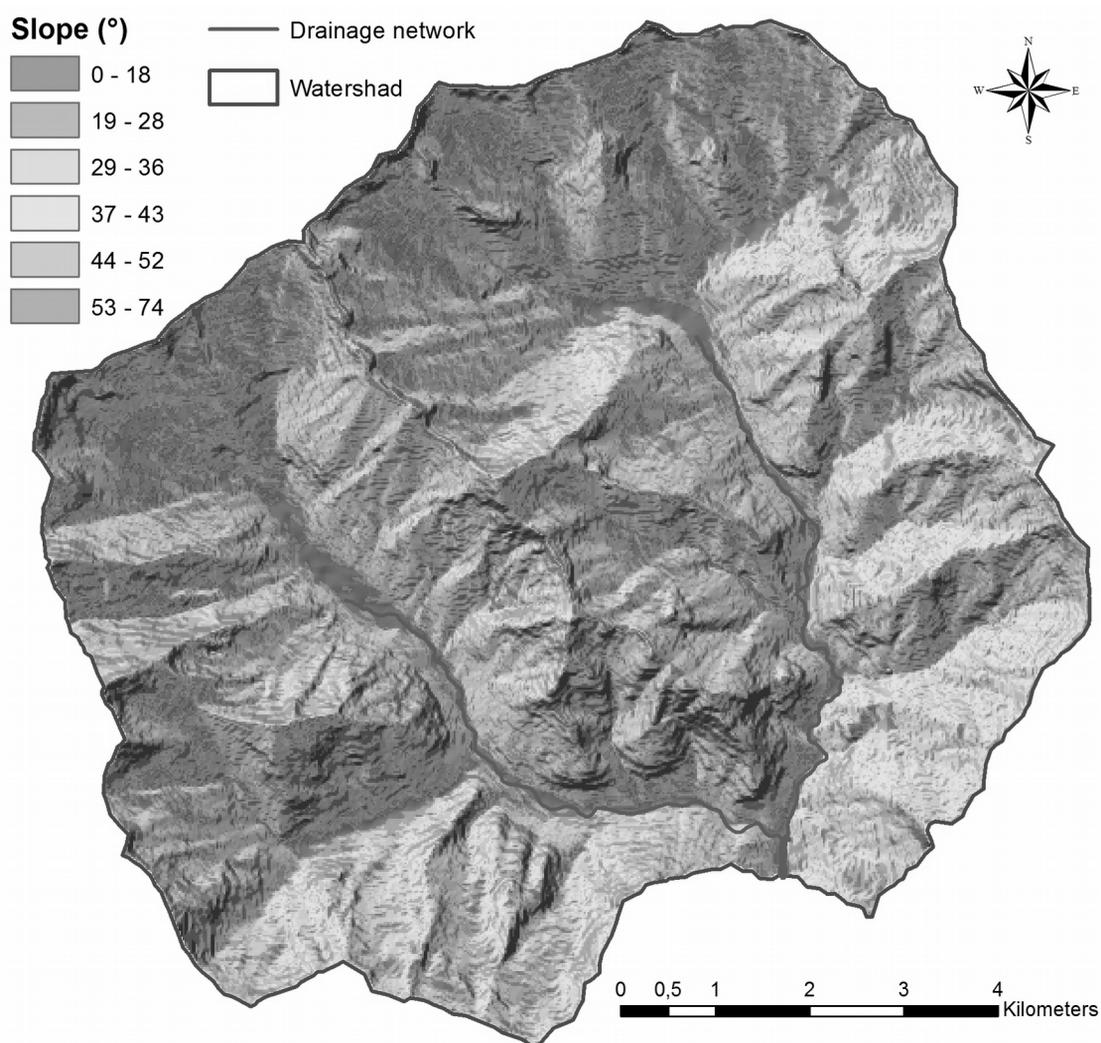


Fig. 2 – Mappa della pendenza del bacino a monte della diga di Rimasco

All'interno del bacino esaminato sono presenti inoltre, estese conoidi incastrate con le alluvioni recenti, generalmente sedi di piccoli centri abitati.

Geograficamente, la Val Sermenza, conosciuta anche come Val Piccola o Val Pitta, è una valle tributaria della Val Sesia. La valle ha inizio dall'abitato di Balmuccia a 557 m s.l.m. e si estende per 18 km fino al monte Rima, passando per i comuni di Rossa, Boccioleto, Rimasco e Rima San Giuseppe.

All'altezza del lago di Rimasco si apre un'ulteriore valle laterale, la Val d'Egua, che prosegue fino all'abitato di Carcoforo.

3. Metodologia e dati

La parte applicativa delle attività di ricerca è stata dedicata ad implementare la procedura GIS per la valutazione, mediante la delimitazione cartografica delle aree potenzialmente instabili e connesse, della produzione di sedimento del bacino idrografico e dell'effettivo volume di interrimento, in termini di m³/anno.

Con il software GIS sono stati trattati e creati una serie di database e cartografie tematiche mediante tecniche di *geoprocessing* (sovrapposizione, intersezione e *merging*), su dati *raster* e vettoriali (*shapefile*).

A partire dal modello digitale del terreno, DTM a 20 m, identificata la sezione di chiusura posta sul reticolo idrografico in corrispondenza della diga di Rimasco, grazie all'utilizzo di apposite *tools* di ArcMap (*Hydrology tools*), che determinano il flusso accumulato (*flow accumulation*) secondo le direzioni di drenaggio (*flow direction*), è stato possibile effettuare la perimetrazione automatica del bacino. Altre informazioni ricavate direttamente dal DTM sono le caratteristiche geomorfometriche del bacino, quali:

quota massima e minima, i percentili della curva ipsografica, la lunghezza dell'asta principale, la densità di drenaggio e la pendenza.

Il bilancio del volume solido (W) prodotto annualmente dal bacino è stato calcolato mediante la seguente formula:

$$W = T \cdot h \cdot \pi \cdot \sqrt{(Z^3)} \cdot S \quad (\text{Equazione 1})$$

T è il coefficiente di temperatura che deriva da:

$$T = \sqrt{((t'/10) + 0,1)} \quad (\text{Equazione 2})$$

t' rappresenta la temperatura media del bacino.

h è l'altezza media delle precipitazioni espressa in mm

S è la superficie del bacino espressa in kmq

Z è il coefficiente di erosione relativo, che dipende da:

$$Z = X \cdot Y \cdot (\gamma + \sqrt{Im}) \quad (\text{Equazione 3})$$

X è il coefficiente di erodibilità legato ai vari usi del suolo

Y è il coefficiente di erodibilità legato alle litologie affioranti

γ è il coefficiente di erodibilità legato ai processi geomorfologici

Im è la pendenza media del bacino espressa in %.

Il metodo permette di calcolare il volume di sedimento, al netto della rideposizione, che arriva alla sezione di chiusura del bacino.

$$G = W \cdot R \quad (\text{Equazione 4})$$

R rappresenta un fattore di riduzione (Zemljic, 1971), dato da:

$$R = (\sqrt{(P \cdot H_m) \cdot (L + L_i)}) / (S \cdot (L + 10)) \quad (\text{Equazione 5})$$

P è il perimetro del bacino (km)

Hm è la quota media (km)

L è la lunghezza dell'asta principale (km)

Li è la lunghezza degli affluenti (km)

Con riferimento ad opportune tabelle proposte in letteratura (Zemljic, 1971), ad ognuno degli elementi che costituiscono X-Y-γ, gli è stato assegnato un valore sulla base di una stima qualitativa e quantitativa (Vacca et al., 2015a; Vacca et al., 2015b).

I dati meteo climatici (t' ed h), sono stati acquisiti dai database (Dati meteo-idro-nivologici, Annali dell'Arpa-Piemonte. Le mappe di uso del suolo (parametro X), derivano da elaborazioni eseguite sulla Corine (COOrdinate INformation on the Environment) Land Cover (2012). I dati litologici e morfologici (parametri Y-γ), sono stati acquisiti dai database (Dati in scarico - Database GeoTopografico) del GeoPortale Piemonte.

Il bacino da cui derivano le acque della diga di Rimasco, è stato suddiviso in celle con lato 20x20 m (Larosa et al., 2015), al cui interno è stato possibile calcolare la produzione di sedimento (W) e i tassi di erosione relativa (Z – Gavrilovic et al., 2008) mostrati in tabella 1.

Gavrilovic et al., (2008)	Area km ²	Area %	Qualitative name of erosion	
Category - V	< 0,19	26,03	32	very slight erosion
Category - IV	0,2 - 0,4	25,05	31	slight erosion
Category - III	0,41 - 0,7	20,38	25	medium erosion
Category - II	0,71 - 1	5,94	7	heavy or milder forms of excessive erosion
Category - I	> 1	4,52	6	excessive erosion (gullies, rills, rockslides, etc.)

Tab. 1 – Tabella rappresentante le aree del bacino caratterizzate da differenti categorie di erosione relativa, in accordo con Gavrilovic et al.

Ottenuti i valori di produzione di sedimento, è stata applicata l'equazione 4 per determinare la quantità volumetrica di materiale che potenzialmente potrebbe depositarsi nell'invaso.

Questo valore è stato confrontato con il dato di interrimento (Hinderer et al., 2013; Bartolini et al., 1996), che risulta essere nettamente inferiore (tab. 2).

Da elaborazioni eseguite sul modello digitale del terreno, adoperando una Toolbox per ArcGis (Index of Connectivity - IC), elaborata da Cavalli et al. (2013), sono state individuate le aree che realmente alimentano il reticolo idrografico. Questo indice, può essere facilmente derivato da elaborazioni eseguite su una coppia di DTM a differente risoluzione spaziale e temporale, oppure inserendo un fattore peso alle varie tipologie di uso del suolo (Borselli et al., 2008), incrociato con dati morfologici derivanti sempre da elaborazioni sul DTM (fig. 3).

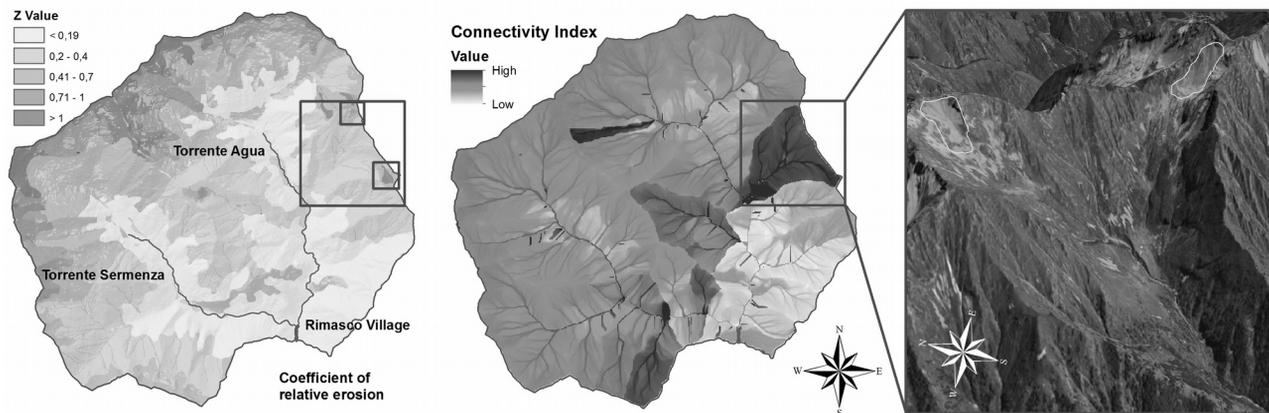


Fig. 3 – Rappresentazione cartografica delle mappe di erosione relativa (suddivisioni riferite alla tab.1) e indice di connettività, con particolare riferimento alle due aree di ricarica che si osservano nell'immagine satellitare

Osservando la mappa di connessione in figura 3, ci si rende immediatamente conto che ci sono porzioni del bacino che non risultano essere collegate con il “nastro trasportatore” di sedimenti, rappresentato dal reticolo idrografico principale.

Nella mappa di Z (coefficiente di erosione relativo), si individuano le aree maggiormente produttive di sedimenti, che si concentrano principalmente lungo i versanti dove non si ha una copertura vegetale adeguata a ridurre l'erosione e i fenomeni gravitativi.

Sovrapponendo le due mappe in figura 3, si osserva che solo in poche aree si ha un'elevata produzione di materiale e una connessione elevata. Ciò permette di escludere porzioni del bacino che, pur avendo un elevato potenziale di ricarica non risultano in connessione con il reticolo idrografico.

Superficie (km ²)	Elevazione (m s.l.m.)		Pendenza (%)	Produzione di sedimenti (m ³ /anno)					
	Min.	Max		Interrimento	W _{Gavrilovic}	R _{Zemljic}	G _R	IC	G _{IC}
81,97	874	2960	72,39	16965	98671,46	0,4	39468,59	0,2	19734,29

Tab. 2 – Tabella riassuntiva dei dati di output dell'elaborazione EPM, calibrata inserendo l'indice di connessione proposto da Cavalli et al.

Assegnando dei fattori peso ai vari intervalli di connessione, è stato possibile individuare un valore di indice di connessione areale, che in questo caso è pari a 0,2 (tab. 2).

Sostituendo nell'equazione 4, il valore di indice di connessione al fattore di riduzione proposto da Zemljic (1971), si ottiene un risultato in linea con i dati di interrimento proposti in letteratura (tab. 2).

4. Conclusioni

Le litologie affioranti e le caratteristiche di uso del suolo presenti in questo bacino (più del 70% del territorio coperto da vegetazione boschiva), non risultano estremamente favorevoli alla produzione di sedimenti. A questa conclusione si è arrivati grazie all'individuazione delle principali aree di ricarica di sedimenti, che sono rappresentate principalmente da quei versanti in cui si verificano estesi movimenti gravitativi.

Dall'analisi di calibrazione si è osservato che non tutte le aree potenzialmente capaci di produrre sedimenti sono in contatto con il reticolo idrografico principale, il quale funge da trasportatore del

materiale detritico all'interno dell'invaso. Ciò ha permesso di individuare delle aree dove, ai fini dell'interrimento, si potrebbero concentrare gli interventi idraulico-forestali, che mitigherebbero l'apporto di materiale solido, consentendo una maggiore prestazione di invaso alla diga di Rimasco. Un esempio dove si dovrebbe intervenire è rappresentato dalle aste che ricadono nei riquadri in figura 3.

Bibliografia

- Borselli L., Cassi P. & Torri, D. (2008) - Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *CATENA*, 75, 268–277.
- Cavalli M., Trevisani S., Comiti F. & Marchi L. (2013) - Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology*, 188, 31–41.
- Hinderer M, Kastowski M, Kamelger A, Bartolini C, Schlunegger F. River loads and modern denudation of the Alps - a review. *Earth Sci Rev* 2013, 118:11- 44.
- Larosa S., Vacca C., Dominici R., Cianflone G., Viscomi A. & De Rosa R. (2015). Un modello per il calcolo della distribuzione del volume dei sedimenti prodotti da un bacino idrografico attraverso l'utilizzo di un plug-in in ambiente PyQGIS. *Conferenza ASITA*, Lecco, 2015.
- Gavrilovic Z., Stefanovic M., Milovanovic I., Cotric J. Milojevic M. (2008). Torrent classification – base of rational management of erosive regions. Proceedings of the *XXIVth Conference of Danubian Countries*, Bled Slovenia, IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, Vol. 4, No.1, pp 1-8.
- Gavrilovic Z. (1988) - The use of an empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. *International Conference on river regime*, Wallingford, England; pp.411-422.
- 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.
- Vacca C., Casuscelli F. A. & Dominici R. (2015a). Calcolo della stima di produzione di sedimenti dei bacini idrografici del torrente Pagliara e Avena (Calabria nord - orientale), mediante il metodo di Gavrilović sviluppato in ambiente GIS. *Atti del III convegno italiano sulla Riqualificazione Fluviale*, Reggio Calabria, 27-30 Ottobre 2015.
- Vacca C., Di Bello A. & Dominici R. (2015b). Produzione di sedimento da ricariche da frane: stima in alcuni bacini idrografici della Calabria Ionica. *Atti del III convegno italiano sulla Riqualificazione Fluviale*, Reggio Calabria, 27-30 Ottobre 2015.
- Zemljic M. (1971) - Calcul du debit solide - Evaluation de la vegetation comme un des facteurs antierosifs. *International symposium interpraevent*. Villach, Austria.

Sitografia

<https://www.arpa.piemonte.gov.it/dati-ambientali>

[http://www.geoportale.piemonte.it/geocatalogorp/?sca\[\]=r_piemon:119f6466-8433-4976-98fe-852b38414543&sezione=mappa](http://www.geoportale.piemonte.it/geocatalogorp/?sca[]=r_piemon:119f6466-8433-4976-98fe-852b38414543&sezione=mappa)