

HERASE: monitorare l'erosione del suolo nelle Alpi con tecniche Geomatiche

Marco Gianinetto^(a), Francesco Rota Nodari^(a), Martina Aiello^(a), Federico Frassy^(a), Renata Vezzoli^(a), Francesco Polinelli^(a), Daniele Bocchiola^(b), Giovanni Ravazzani^(b), Maria Cristina Rulli^(b), Chiara Corbari^(b), Andrea Soncini^(b), Davide Danilo Chiarelli^(b), Corrado Passera^(b)

(a) Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, via Ponzio, 31, 20133 Milano, e-mail: marco.gianinetto@polimi.it

(b) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci, 32, 20133 Milano

Riassunto

In Italia ci sono circa 4 milioni di ettari di terreno agricolo e forestale a rischio di erosione o frana e recenti stime del Ministero dell'Ambiente (2013) indicano che sarebbero necessari 40 miliardi di Euro per ridurre il rischio dovuto alla perdita di suolo sul territorio nazionale. Il progetto *Hydrogeological modeling for Erosion Risk Assessment from Space* (HERASE), finanziato da Fondazione Cariplo (Grant Nr.2016-0768), affronta questo tema nel bacino camuno del fiume Oglio, un'area alpina dell'Italia settentrionale. Scopo di HERASE è mettere a punto una metodologia di analisi basata sul *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE), reso dinamico dall'uso di mappe di copertura del suolo multi-temporali, per evidenziare le zone potenzialmente soggette a fenomeni erosivi e le dinamiche dei cambiamenti del territorio capaci di influenzarne l'entità. Misure *in situ* di erosione realizzate con un simulatore di pioggia permetteranno la caratterizzazione idrologica di zone rappresentative e la taratura del modello. Infine, le previsioni restituite dai modelli climatici saranno utilizzate per delineare possibili scenari di rischio futuro, in un contesto che vede il territorio montano, e quello alpino in particolare, soggetto a sempre più evidenti cambiamenti climatici. Il presente lavoro riporta alcuni risultati preliminari del progetto HERASE ottenuti sul sotto-bacino del torrente Arcanello (circa 21 km²), dove la stima preliminare dell'erosione è pari a 7,61 [t ha⁻¹ a⁻¹]. Tale risultato è concorde con il valore medio annuo a livello nazionale.

Introduzione

L'erosione è un processo naturale dovuto all'azione di vento, precipitazione e ghiacciai che comporta la disgregazione, il distacco e la rimozione di materiale dallo strato superficiale del terreno. Questo fenomeno si manifesta sotto forma di i) riduzione della fertilità e della produttività del terreno dovuta all'asportazione della componente organica; ii) riduzione della capacità del terreno di assorbire le precipitazioni; iii) incremento nella quantità di sedimenti lungo i versanti, nei corsi d'acqua e negli invasi.

Sebbene, questi ultimi due aspetti contribuiscano ad incrementare il rischio idrogeologico sul territorio, l'erosione spesso non trova adeguata attenzione nella pianificazione locale. In particolare, gli equilibri che regolano l'erosione

dei suoli, il trasporto e la deposizione dei sedimenti in un bacino possono essere alterati da fattori naturali e antropici, ulteriormente accelerati dalle trasformazioni dei suoli e dal cambiamento climatico. Da una parte, le trasformazioni antropiche quali deforestazione e urbanizzazione modificano la risposta dei bacini fluviali aumentandone la superficie di scorrimento, con un conseguente impatto sulla capacità di trasporto dei sedimenti (Citterio *et al.*, 2007; Maragno *et al.*, 2009; Bocchiola e Diolaiuti, 2010). Dall'altra parte, le modificazioni del clima influiscono direttamente e indirettamente sui processi erosivi e sulla produzione di sedimenti ad essi legata. Infatti, l'aumento delle temperature favorisce la desertificazione, incrementando la superficie esposta all'erosione, mentre l'intensificazione delle precipitazioni aumenta la capacità erosiva della pioggia. Allo stesso tempo, il ritiro dei ghiacciai comporta un incremento dei sedimenti rilasciati in alta quota e una modifica del ciclo idrologico (Barontini *et al.*, 2009).

La combinazione di questi fattori rende sempre più rilevante e urgente considerare i processi erosivi nella gestione dei rischi idrogeologici, come già evidenziato dalla Commissione Europea nella *Soil Thematic Strategy* (COM (2012) 46 final). In tale documento, la Commissione infatti identifica i fenomeni erosivi come uno dei problemi maggiormente rilevanti nell'Unione Europea e, in special modo, nelle regioni alpine che presentano i tassi di perdita di suolo più elevati (Panagos *et al.*, 2015).

In quest'ottica, il progetto *Hydrogeological modeling for Erosion Risk Assessment from Space* (HERASE) finanziato da Fondazione Cariplo per gli anni 2017-2019 (Grant Nr.2016-0768), si pone l'obiettivo di mettere a punto una metodologia di analisi per evidenziare le zone potenzialmente soggette a fenomeni erosivi e le dinamiche dei cambiamenti del territorio capaci di influenzarne l'entità. Inoltre, HERASE vuole anche delineare possibili scenari di rischio futuro, in un contesto che vede il territorio montano soggetto a sempre più evidenti cambiamenti climatici.

Area di studio

L'area di studio del progetto HERASE è il bacino del fiume Oglio, situato nell'area alpina e pre-alpina della Lombardia (Figura 1a). Con un'estensione di circa 1800 km², l'area di studio interessa l'intera Val Camonica, il gruppo montuoso delle Orobie, dell'Adamello (con l'area pertinente all'omonimo Parco Nazionale) e il gruppo dell'Ortles-Cevedale a Nord, nel Parco dello Stelvio.

La topografia presenta un dislivello di oltre 3.300 metri, dai 185 m s.l.m. di Sarnico ai 3.538 m s.l.m. dell'Adamello. Le precipitazioni medie annue sono pari a 1.300 [mm a⁻¹]. I valori massimi di precipitazione liquida si verificano alla fine del periodo estivo/autunnale, mentre i minimi si raggiungono in inverno. La precipitazione nevosa è frequente da ottobre a maggio e la copertura nivale persiste ad elevate altitudini fino a luglio. Di conseguenza, lo scorrimento superficiale è principalmente influenzato da fusione nivale e precipitazione rispettivamente in primavera e autunno.

In questo lavoro si è studiato il sotto-bacino del torrente Arcanello. Si tratta di un'area che si estende per circa 21 km² nella Valle di Viso, all'estremo Nord del bacino dell'Oglio, all'interno del gruppo dell'Ortles-Cevedale (Figura 1a). La quota varia tra 1.400 m s.l.m. all'immissione nel fiume Oglio e 3.360 m s.l.m.

a Corno dei Tre Signori. La pendenza media è pari a circa 18° e non sono presenti ghiacciai.

Dal punto di vista idrogeologico l'area è caratterizzata da un complesso di rocce cristalline (igneie e metamorfiche) nella porzione occidentale, mentre la porzione orientale presenta un complesso di rocce impermeabili (marne e argille). La vegetazione è prevalentemente costituita da vasti pascoli d'alta quota con cespuglieti alle quote più elevate, e limitata copertura di conifere e latifoglie nella parte inferiore.

Dati

Per quanto riguarda i dati territoriali si è fatto riferimento ai geoportali di Regione Lombardia (<http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>) e della comunità montana della Valle Camonica (www.geoportale.cmvallecamonica.bs.it/). In particolare, sono stati usati i seguenti dati:

- Mappa di copertura e uso del suolo DUSAF;
- Mappe di permeabilità del terreno;
- Modello Digitale di Elevazione del terreno.

Per quanto attiene ai dati meteorologici (precipitazione e temperatura), questi sono stati reperiti dal portale di ARPA Lombardia (<http://www.arpalombardia.it/siti/arpalombardia/meteo>).

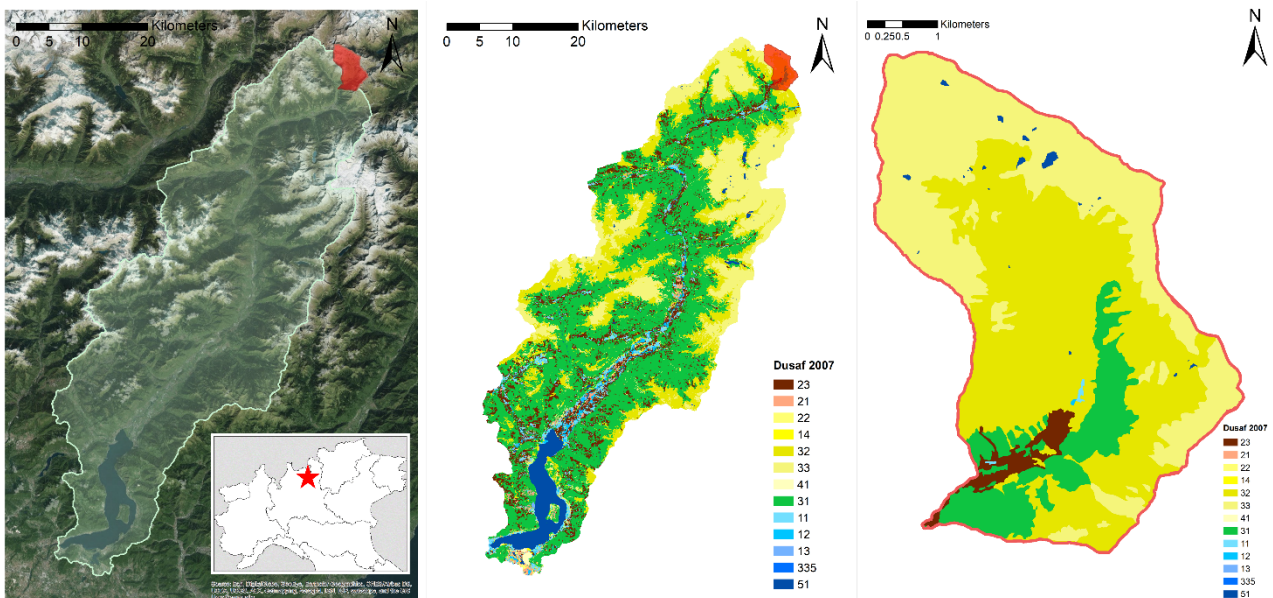


Figura 1 – (a) Area di studio del progetto HERASE (in verde), situata nel bacino del fiume Oglio. Sotto-bacino del torrente Arcanello (in rosso) analizzato in questo lavoro. (b) Mappa di copertura e uso del suolo DUSAF (2007) dell'intera area di studio. (c) Mappa di copertura e uso del suolo DUSAF (2007) nel sotto-bacino del torrente Arcanello.

Legenda: 23=prati stabili; 21=seminativi; 22=colture permanenti; 14=aree verdi non agricole; 32=ambienti con vegetazione arbustiva e/o erbacea in evoluzione; 33=zone aperte con vegetazione rada e assente; 41=aree umide interne; 31=aree boscate; 11=aree urbanizzate; 12=insediamenti produttivi, grandi impianti e reti di comunicazione; 13=aree estrattive, discariche, cantieri, terreni artefatti e abbandonati; 335=ghiacciai e nevi perenni; 51=acque interne.

Metodologia

Il *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) (Renard *et al.*, 1997) è un modello empirico ampiamente riconosciuto come valido per la stima dell'erosione del suolo (Fernandez *et al.*, 2003; Beskow *et al.*, 2009; Panagos *et al.*, 2015). Da un punto di vista strettamente modellistico, l'implementazione del RUSLE secondo la metodologia proposta da Sun *et al.* (2002) con l'uso di dati orari di precipitazione e discretizzazione del territorio in celle, fornisce una stima dell'erosione (A [$\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]) come prodotto dei cinque fattori indicati nell'equazione [1]:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad [1]$$

Il parametro R rappresenta l'erosività della precipitazione, definita dall'equazione [2]:

$$R = 0,0138i_t^2 \quad [2]$$

dove i_t [mm h^{-1}] è l'intensità della precipitazione liquida, stimata utilizzando dati di temperatura.

Il parametro K [$\text{h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$] dell'equazione [1] rappresenta l'erodibilità del suolo (figura 2b), che dipende da tessitura, struttura e componenti del terreno e dal valore dei parametri idraulici che definiscono i rapporti acqua-terreno. La topografia dell'area di studio è descritta dal parametro LS [-], funzione della pendenza media θ [°] di ogni singola cella calcolata secondo la relazione dell'equazione [3]:

$$LS = 1,05 - 0,8e^{-4\text{sen}(\theta)} \quad [3]$$

Il parametro C [-] dell'equazione [1] dipende dalla copertura e dall'uso del suolo.

Infine, il parametro P [-] è rappresentativo della pratica colturale (o antierosiva) attuata per prevenire l'erosione del suolo. In assenza di informazioni specifiche, questo parametro è convenzionalmente posto pari a 1.

Primi risultati

Come ricordato, sebbene l'area di studio di HERASE sia più ampia del piccolo sotto-bacino del torrente Arcanello, il modello RUSLE è stato preliminarmente testato in questo sito poiché è presente una stazione meteorologica di ARPA Lombardia che dal 2004 misura precipitazione e temperatura a scala oraria.

Il parametro C è stato stimato dalle mappe di copertura e uso del suolo DUSAF (Regione Lombardia, 2007), assegnando ad ogni classe di interesse un valore ricavato adattando la corrispondenza tra classi di copertura e uso del suolo USGS e classi CORINE (Curci *et al.*, 2012; Ranzi *et al.*, 2012). Il criterio utilizzato è quello della similarità delle entità fisiche delle classi di copertura, effettivamente presenti in Val Camonica. La figura 2a mostra la parametrizzazione del parametro C per il sottobacino del torrente Arcanello.

Il parametro K (figura 2b) è stato stimato a partire dalla permeabilità del suolo, ricavata dalla cartografia disponibile nel portale cartografico di Regione Lombardia. Ad ogni classe di permeabilità (bassa, media, alta) è stato quindi assegnato un valore di K , secondo la seguente associazione: $K = 0,052$ per bassa permeabilità, $K = 0,027$ per media permeabilità e $K = 0,015$ per alta permeabilità (Stone e Hilborn, 2015).

Usando la metodologia illustrata nel paragrafo 2 e utilizzando le stime dei parametri mostrati in Figura 2a e 2b, l'erosione stimata è pari a $7,61 \text{ [t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$ (Figura 2d). Tale valore è coerente con il valore medio annuo a livello nazionale ($8,46 \text{ [t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$) stimato in un recente studio sull'Europa (Panagos *et al.*, 2015).

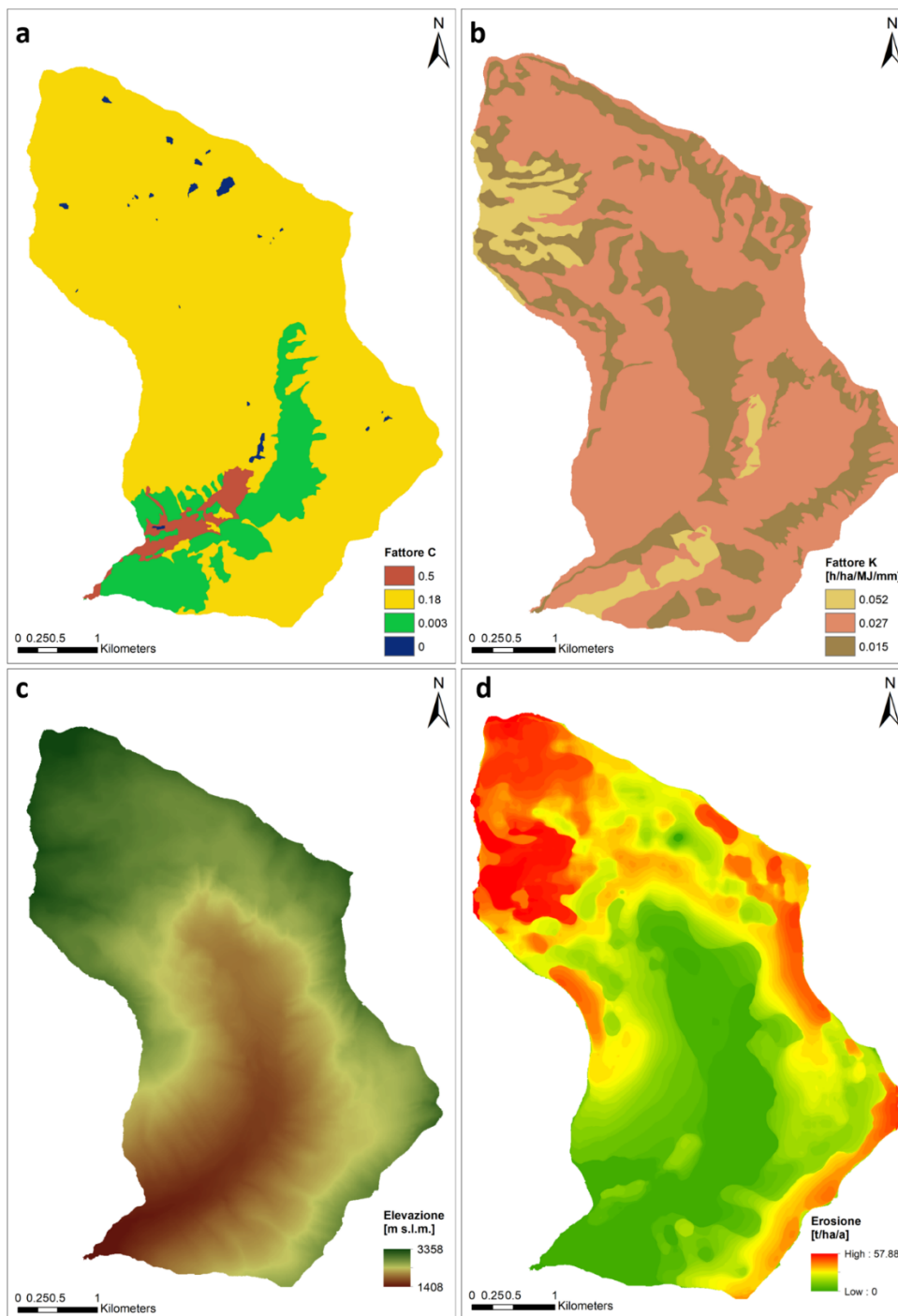


Figura 2 – Spazializzazione dei coefficienti del modello RUSLE nel sotto-bacino del torrente Arcanello: (a) fattore di copertura e uso del suolo (C), (b) fattore di erodibilità del suolo (K), (c) elevazione. (d) Stima dell’erosione.

La mappa di erosione ottenuta per il sotto-bacino del torrente Arcanello (Figura 2d) mostra come l’erosione superficiale sia più intensa nelle zone montane di alta quota, prive di vegetazione rada o arbustiva, dove il modello stima una erosione fino a oltre 50 [$t\ ha^{-1}\ a^{-1}$]. Il fenomeno è sicuramente più accentuato nelle zone dove la litologia è caratterizzata da detriti di granulometria fine e in assenza di strutture lapidee massicce che può favorire l’erosione. Un’analisi di dettaglio mostra inoltre zone dove l’erosione segue direzioni preferenziali legate alla morfologia del versante.

Sviluppi futuri

In futuro l’analisi sarà estesa al bacino del fiume Oglio.

Si prevede di rendere dinamico il modello di stima mediante l’utilizzo delle mappe di copertura e uso del suolo DUSAF multi-temporali presenti nel geoportale di Regione Lombardia. Inoltre, le informazioni disponibili saranno integrate con indicatori spettrali derivati da immagini satellitari. Così come le dinamiche stagionali del parametro C saranno analizzate con dati di osservazione della Terra (Pradhan *et al.*, 2012; Leh *et al.*, 2013; Yang, 2012). I risultati ottenuti saranno validati mediante i) confronto con le mappe di erosione prodotte a livello nazionale dall’Istituto Superiore per Protezione e la Ricerca Ambientale e quelle prodotte a livello europeo dallo European Soil Data Centre; ii) misure sperimentali in siti caratterizzanti l’area di studio; iii) dati di interrimento di bacini artificiali presenti nell’area di studio.

Uno dei maggiori vantaggi dell’utilizzo di immagini satellitari è la possibilità di effettuare analisi multi-temporali e retrospettive. Nell’ambito del progetto HERASE, tale operazione è particolarmente significativa se rapportata alla possibilità di valutare l’erosione potenziale dei suoli in futuri scenari di cambiamento climatico. A questo scopo, il confronto tra i risultati ottenuti dall’analisi dei dati storici e le previsioni modellistiche permetterà di selezionare il modello climatico che meglio rappresenta i cambiamenti già avvenuti. Le simulazioni di lungo termine di precipitazioni e temperatura, unite a scenari futuri relativi alla disponibilità di risorse idriche e ai cambiamenti della copertura del suolo, permetteranno, dunque, di fornire una valutazione dell’erosione in condizioni di cambiamento climatico.

Conclusioni

L’erosione dei suoli è un fenomeno con dinamica estremamente lenta se confrontata con le altre tipologie di dissesto idrogeologico. Ciononostante, gli eventi connessi all’erosione, quali frane o colate, provocano un grande impatto sull’ambiente montano, con conseguente attenzione dell’opinione pubblica.

Il progetto HERASE propone un approccio multidisciplinare allo studio dell’erosione per monitorare l’evoluzione di questo rischio tramite l’aggiornamento nel tempo dei parametri di erosività della precipitazione, erodibilità del suolo e copertura del suolo.

Questo primo studio ha verificato la trasportabilità del modello RUSLE alla realtà del territorio Val Camonica. Una prima stima di erosione per il sotto-

bacino del torrente Arcanello restituito un valore di erosione pari a $7,61 \text{ [t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$, corrispondente ad una perdita media di suolo pari circa 2,5 centimetri su un arco di 50 anni (a parametri idrologici e copertura del suolo invariati). Tale risultato, sebbene ancora approssimativo, è in linea con le recenti stime per l'Italia ($8,46 \text{ [t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$) fornite da Panagos *et al.* (2015).

Ringraziamenti

Questo lavoro è parte del progetto *Hydrogeological modeling for Erosion Risk Assessment from Space* (HERASE), finanziato da Fondazione Cariplo per gli anni 2017-2019 (Grant Nr.2016-0768).

Si ringraziano anche: i) il Parco dell'Adamello e la comunità montana della Val Camonica per il supporto fornito nelle fasi di avvio; ii) l'Ufficio Territoriale Regionale di Brescia di Regione Lombardia per la consultazione di dati e documentazione relativa al territorio studiato; iii) ENEL Produzione e Servizio Glaciologico Lombardo per l'interesse manifestato al progetto HERASE.

Riferimenti bibliografici

Panagos P., Borrelli P., Ballabio J.-P.C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewell C., (2015), "The new assessment of soil loss by water erosion in Europe", *Environmental Science & Policy*, 54:438-447.

Stone, R.P, e Hilborn, D., (2015), "Factsheet, Universal Soil Loss Equation (USLE)", Order No. 12-051

(<http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/12-051.htm>)

Curci G., Tuccella P., Tiberi A. (2012). Influenza su simulazioni meteo-chimiche dell'inventario di utilizzo del suolo: risultati preliminari dell'implementazione di CORINE in WRF/Chem. Atti del V Convegno Nazionale "Il controllo degli agenti fisici: Ambiente, salute e qualità della vita". Torino, Italia. ISBN, 978-88.

European Commission (2012), "The implementation of the Soil Thematic Strategy and ongoing activities", COM (2012) 46.

Ranzi R., Le T. H., Rulli M.C. (2012). "A RUSLE approach to model suspended sediment load in the Lo river (Vietnam): effects of reservoirs and land use changes", *Journal of Hydrology*, 422:17-29.

Bocchiola D., Diolaiuti G. (2010). Evidence of climatic trends in the Adamello glacier of Italy. *Theor. App. Climat.*, 100(3-4):351-369

Regione Lombardia (2010). Uso del suolo in Regione Lombardia. I dati DUSAF.

Barontini S. Grossi G., Kouwen N., Maran S., Scaroni P., Ranzi R. (2009), Impacts of climate change scenarios on runoff regimes in the southern Alps. *Hydrol, Earth Syst. Sci. Discuss.*, 6: 3089–3141.

Beskow, S. et al., (2009), "Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modelling", *Catena*, 79(1): 49–59.

Maragno D., Diolaiuti G., D'agata C., Mihalcea C., Bocchiola D., Bianchi Janetti E., Riccardi A., Smiraglia C. (2009), "New evidence from Italy (Adamello

Group, Lombardy) for analysing the ongoing decline of Alpine glaciers". *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 31:31-39.

Citterio M., Diolaiuti G., Smiraglia C., D'agata C., Carnielli T., Stella G., Siletto G.B. (2007). "The fluctuations of Italian glaciers during the last century: a contribution to knowledge about Alpine glacier changes", *Geografiska Annaler*, 89(A3):164-182.

Fernandez C., Wu J.Q., McCool D.K., Stockle C.O. (2003), "Estimating water erosion and sediment yield with GIS, RUSLE, and SEDD", *Journal of Soil and Water Conservation*, 58(3):128-136.

Sun H., Cornish P.S., Daniell T.M. (2002), "Contour-based digital elevation modeling of watershed erosion and sedimentation: Erosion and sedimentation estimation tool (EROSET)", *Water Resour. Res.*, 38(11):1233.

Renard K.G., Meyer L.D., Foster G.R. (1997), *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, USDA, Agricultural Handbook 703, 384 pp.