

2° Giornata di Studio

Il monitoraggio idrotorbidimetrico dei corsi d'acqua
per la stima dei processi erosivi e il bilancio dei solidi sospesi

8 ottobre 2004

**Stima dell'erosione del bacino montano del T. Sillaro
con l'applicazione del modello RUSLE
e attraverso il monitoraggio del trasporto in sospensione**

**Prof. Gilmo Vianello^{*}, Dott.ssa Samanta Lorito^{*},
Dott.ssa Donatella Pavanelli^{**}, Ing. Alessandro Bigi^{**}**

Università di Bologna - Facoltà di Agraria

^{*}DiSTA – CSSAS (Centro Sperimentale per lo Studio e l'Analisi del Suolo)

^{**}DEIAgra –

Introduzione

L'erosione è un fenomeno complesso influenzato da fattori rilevanti quali il clima, il suolo, la morfologia, l'idrologia, la vegetazione e l'eccessiva antropizzazione del territorio da parte dell'uomo.

Si stima che, allo stato attuale nella regione Meditteranea, l'erosione idrica possa provocare la perdita di 20-40 tonnellate/ettaro di suolo in un singolo nubifragio e oltre 100 tonnellate/ettaro in casi estremi (Morgan, 1992).

Il seguente studio è volto a stimare la perdita di suolo del bacino montano del torrente Sillaro, nell'Appennino bolognese, attraverso due procedimenti:

- l'applicazione dell'equazione di perdita universale di suolo (modello RUSLE) al bacino,
- il trasporto torbido rilevato nel periodo 1997-2004 alla chiusura del bacino montano.

Come noto, il trasporto solido in sospensione dei corsi d'acqua, detto anche trasporto torbido, può essere considerato un valido indicatore dei fenomeni d'erosione che avvengono, ad opera delle acque dilavanti, sui versanti del bacino, quali i movimenti di massa, i calanchi e l'erosione diffusa.

La stima dell'erosione del suolo è stata ottenuta applicando la RUSLE implementata in un idoneo Sistema Informativo Geografico (GIS), che consente una gestione efficace della notevole mole di dati richiesti dal modello: piovosità, uso del suolo, caratteristiche pedologiche e morfologia dei versanti.

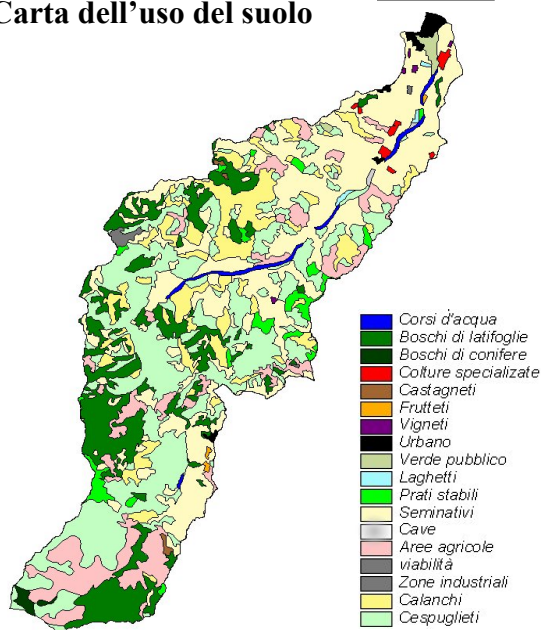
I risultati di stima della perdita di suolo a scala di bacino ottenuti attraverso le due procedure, modellistica e sperimentale, sono stati messi a confronto e hanno permesso di stimare il bilancio dei solidi a livello di bacino (sediment delivery).

Caratterizzazione del bacino

La morfologia del bacino del Sillaro, affluente di destra del fiume Reno, è abbastanza dolce, risentendo della litologia prevalentemente argillosa delle formazioni presenti: il Pliocene e le Argille Scagliose, dove sono numerosi ed estesi i calanchi, mentre verso sud si trovano lembi della Marnoso Arenacea.

Per quanto riguarda la copertura vegetale, il bacino è interessato principalmente da zone scarsamente vegetate, frequentemente calanchive, da bosco ceduo, pascolo e, dove la pendenza lo consente, da seminativo; per la restante quota da arboreti, vigneti, aree di cava ed ex cava nei pressi dell'alveo, ecc.. (fig.1). In tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche geomorfologiche del bacino.

Carta dell'uso del suolo



Carta geolitologica

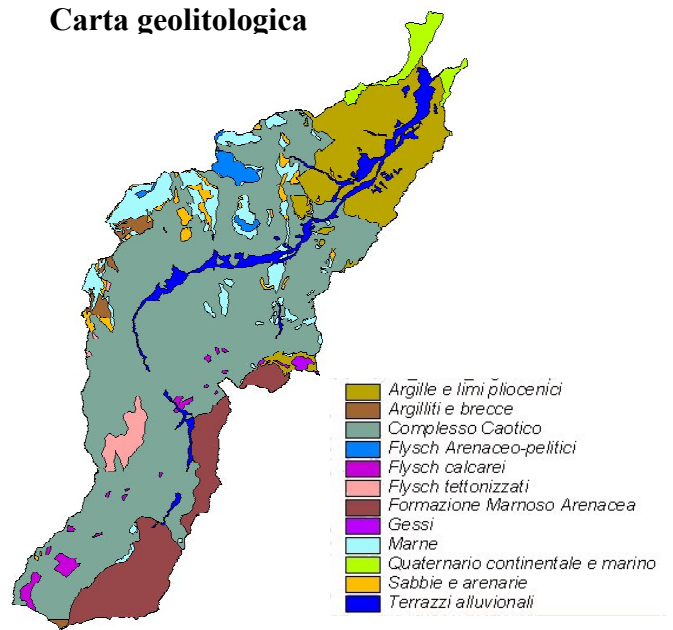


Fig.1 - Rappresentazione cartografica dell'uso del suolo e della conformazione geologica del bacino montano del Torrente Sillaro

Lo studio delle precipitazioni trentennali, relativamente alle stazioni del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (S.I.M.N.), ha evidenziato la presenza di due massimi principale in autunno e un massimo secondario in primavera e da un minimo assoluto in estate, caratteristici del regime pluviometrico appenninico, andamento che si ripercuote sul regime tipicamente torrentizio del Sillaro.

Tabella 1 - Principali caratteri geomorfici caratterizzanti il bacino montano del T. Sillaro		
Superficie bacino	km ²	137,6
Perimetro	km	67,5
Quota massima	m s.l.m.	993
Quota media	m s.l.m.	256
Quota minima	m s.l.m.	75
Pendenza media	%	11,2
Lunghezza asta Sillaro	km	34
Lunghezza rete idrica	km	494,8
Densità di drenaggio		3,6

Tab.1 - Caratteristiche geomorfiche del bacino montano del Torrente Sillaro.

Stima della perdita di suolo con l'applicazione del modello RUSLE

Tra i diversi modelli atti alla stima dell'erosione del suolo tra i più noti vi è certamente l'equazione elaborata da Wischmeier e Smith nel 1978 denominata USLE (Universal Soil Loss Equation), ed adottata dal U.S. Department of Agriculture [Wischmeier W.H et al.,1978]: si tratta di un modello parametrico su base empirica che fornisce una stima della perdita annua di suolo, causata dall'erosione idrica superficiale, in parcelle omogenee per dimensione, caratterizzate in base al tipo e all'uso del suolo, ai fattori topografici, alle tecniche di gestione e alla aggressività delle precipitazioni.

Tale modello è stato modificato dando origine alla cosiddetta equazione RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) che si basa sugli stessi principi empirici della USLE, ma introduce alcuni nuovi parametri che permettono un miglior adattamento del modello anche su terreni morfologicamente complessi.

In generale i modelli USLE e RUSLE possono essere definiti come un set di equazioni matematiche che, opportunamente combinate, forniscono un valore medio del tasso di perdita di suolo, dovuto ad erosione laminare e rill erosion, fenomeni determinati dall'impatto della pioggia al suolo e dal deflusso superficiale.

La formula generale, alla base del modello USLE-RUSLE è, com'è noto, la seguente:

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

Dove:

A = stima della perdita media annua di suolo [$t \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$]

R = fattore erosività della pioggia [$\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$]

K = fattore erodibilità del suolo [$t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$]

LS = fattore topografico o slope length factor (coefficiente adimensionale calcolato)

C = copertura del suolo (coefficiente adimensionale stimato, variabile tra 0 e 1)

P = pratiche di controllo dell'erosione (coefficiente adimensionale stimato, variabile tra 0 e 1).

Il prodotto tra i fattori elencati escluso R (erosività della pioggia) fornisce una misura della resistenza dell'ambiente all'erosione.

Ovviamente, trattandosi di una relazione moltiplicativa, è sufficiente che uno dei valori inseriti tenda a zero per annullare il risultato finale.

Il fattore R è influenzato da intensità e durata delle precipitazioni, ovvero dall'energia cinetica della pioggia che può trasformarsi in energia meccanica all'impatto con la superficie: esso dipende quindi dalla collocazione geografico-climatica della stazione.

Per il presente studio i dati pluviometrici usati sono stati quelli delle stazioni di Prugnolo, Castel del Rio, San Benedetto del Querceto, San Clemente e Borgo Tossignano, ricavati dalla banca dati del S.I.M.N. e Autorità di Bacino Reno e corrispondenti ad una serie storica di circa 20 anni.

Il fattore R è stato calcolato utilizzando il metodo proposto da Arnoldous (1980) che riprende i concetti dell'Indice di Fournier.

Secondo Fournier e Arnoldous la diversa erosione non dipende tanto dalla quantità assoluta delle precipitazioni quanto dalla frequenza e dall'intensità delle stesse.

Il fattore K è una misura della suscettibilità del suolo all'erosione e pertanto dipende da specifiche proprietà fisiche del suolo influenzanti la capacità di infiltrazione delle precipitazioni e il movimento dell'acqua all'interno del suolo, nonché da proprietà che intervengono sulla dispersione, l'abrasione, la mobilità delle particelle costituenti il suolo.

Il calcolo del fattore K è stato effettuato utilizzando il nomogramma proposto da Wischmeier e Smith, prendendo in considerazione parametri tessiturali, strutturali del suolo e il contenuto di sostanza organica degli orizzonti superficiali.

Il fattore C, che quantifica l'effetto della copertura del suolo viene influenzato sia dall'uso del suolo (bosco, pascolo, prato ecc.), sia dalla densità del popolamento vegetale.

Valori di C uguali o prossimi a 0 hanno come effetto un contenimento del tasso potenziale di erosione del suolo e vengono quindi attribuiti ad aree con fitta vegetazione arborea.

Al contrario valori prossimi a 1 vengono assegnati a colture scarsamente protettive per copertura vegetale o perché subiscono lavorazioni agricole meccaniche che possono favorire il fenomeno erosivo.

Il valore 1 viene inoltre assegnato alle aree "impermeabili" del tessuto urbano e alla rocciosità affiorante.

Il fattore P fa riferimento ad eventuali pratiche di contenimento dell'erosione, volte essenzialmente ad arginare il deflusso superficiale (es. terrazzamenti, ciglionamenti, lavorazioni del terreno).

Il fattore LS prende in considerazione la lunghezza (L) e la pendenza (S) del versante in quanto l'entità dei processi erosivi è influenzata dalla concomitanza dei due fattori.

Nella stesura originale di Wischmeier & Smith, la lunghezza del pendio (L) viene calcolata come la distanza orizzontale media dal punto di origine del deflusso al punto in cui la pendenza (S) decresce ed inizia l'attività deposizionale.

Questa approssimazione può risultare valida in un ambiente agricolo di pianura, ma non è applicabile in zone montuose e collinari.

In tali ambienti, la micromorfologia del terreno è resa complessa dalla presenza di concavità e convessità localizzate, che determinano rapide variazioni di direzione e intensità del deflusso.

Molti metodi sono stati proposti per migliorare il calcolo del fattore topografico (LS), ma solo nell'ultimo decennio si è raggiunta una accuratezza apprezzabile grazie all'introduzione dei GIS e dei modelli digitali (DEM) per il calcolo RUSLE.

Per poter tenere in considerazione la convergenza o divergenza del deflusso superficiale, il fattore L è stato sostituito dal concetto di "unit contributing area" (Moore and Burch, 1986; Mitasova et al., 1995, 1996; Desmet and Govers, 1996).

In questo modo è possibile valutare quali-quantitativamente le aree territoriali che contribuiscono al run-off e della direzione del deflusso superficiale in corrispondenza delle variazioni del terreno cella per cella (flow accumulation grid), condizione necessaria per poter applicare l'equazione a differenze finite introdotta per il calcolo di LS in ambiente raster bidimensionale da Desmet and Govers (1996).

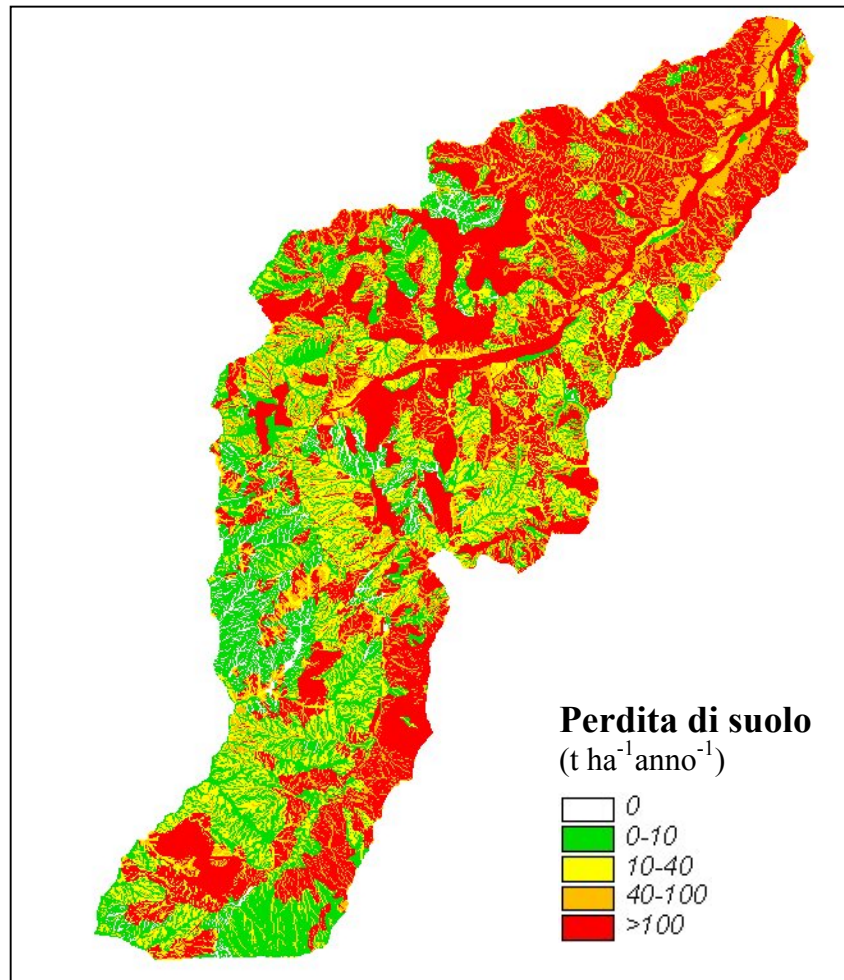


Fig. 2 Stima della distribuzione spaziale della perdita di suolo ottenuta tramite l'applicazione della RUSLE

Il risultato che si ottiene applicando il modello RUSLE in ambiente GIS è una stima della perdita di suolo media annua del bacino montano del torrente Sillaro espressa in tonnellate per ettaro all'anno (t ha⁻¹anno⁻¹). Come si può osservare in figura 2 i fenomeni erosivi all'interno del bacino sono piuttosto consistenti.

Le aree maggiormente soggette al fenomeno erosivo risultano i terreni coltivati a seminativo e/o colture orticole, a stretto contatto con le aree calanchive, nell'insieme occupanti circa il 50% del bacino. Di queste il 26% ricade nella classe considerata ad elevata perdita di suolo (40-100 t ha⁻¹anno⁻¹) e ben il 65% di questi terreni coltivati è soggetto ad un rischio molto elevato di erosione superiore a 100 t ha⁻¹anno⁻¹ (Fig. 2).

L'erosione è notevolmente più contenuta nella parte a monte del bacino, caratterizzata da boschi, prati stabili e cespuglieti. La causa principale della elevata erodibilità di questi terreni risiede nella natura della litologia, caratterizzata da argille abbondantemente soggette a fenomeni calanchivi.

Stima della perdita di suolo attraverso il monitoraggio delle torbide fluviali

In tabella 3 sono rappresentati i valori di perdita di suolo annui stimati con l'analisi dei dati torbidimetrici.

Nel periodo 1998-2003 l'erosione del suolo media è di 0,67 mm, corrispondente ad una perdita di suolo di circa 1005 ton km⁻² anno⁻¹.

I valori annui, se rapportati alla classificazione di Fournier, rientrano nella classe di media gravità, mentre la perdita di suolo è elevata nel 1999 e nel 2001, essendo compresa nella classe tra le 1000 e le 2000 ton km⁻² anno⁻¹.

Anno	Tons Km ⁻²	mm erosi
1997 (apr-dic)	593	0,40
1998	429	0,29
1999	1161	0,77
2000	707	0,47
2001	845	0,56
2002	2042	1,36
2003	879	0,59

Tab.3 - Valori di perdita di suolo del bacino montano del Torrente Sillaro, stimati sulla base del monitoraggio del trasporto torbido e della portata alla chiusura.

Relativamente ad approfondimenti sulla metodologia di monitoraggio e analisi ed elaborazione dei dati del trasporto in sospensione (trasporto torbido) si rimanda alle altre relazioni presentate nell'ambito della manifestazione (Rubbi, et. al.; Pavanelli et al.).

Stima del bilancio dei solidi a livello di bacino e considerazioni conclusive

Il monitoraggio delle torbide fluviali del torrente Sillaro dal 1997 ad oggi consente di stimare quella che può essere definita la perdita effettiva di suolo del bacino. La stazione di monitoraggio è collocata alla chiusura del bacino montano, campionando quindi i solidi che, una volta erosi dalla superficie, escono dal bacino. Questi sedimenti sono originati dalle diverse forme di erosione presenti nel bacino, tra cui erosione superficiale, profonda, calanchiva e in alveo.

La stima ottenuta con l'applicazione del modello RUSLE fornisce indicazioni sul quantitativo di materiale che viene complessivamente movimentato su tutta la superficie del bacino: una particella di suolo, una volta erosa da un sito, può sottostare a cicli di sedimentazione-movimentazione durante tutto il tragitto verso valle, sino ad una definitiva sedimentazione od alla fuoriuscita dal bacino.

Confrontando i valori sperimentali con quelli ottenuti con l'applicazione della RUSLE si può affermare che il rapporto tra i due fornisce un'interessante indicazione del coefficiente di resa solida o SDR (Sediment Delivery Ratio) del bacino. Il modello non è in grado di simulare adeguatamente l'erosione calanchiva, per movimento di massa e l'erosione in alveo.

$$S.D.R. = \frac{S_p}{S_t} 100 \quad (2)$$

Dove:

S_p = perdita di suolo effettiva media del bacino

S_t = perdita di suolo totale del bacino

Considerando la perdita di suolo media di $1005 \text{ t km}^{-2}\text{anno}^{-1}$ ($=S_p$), ottenuta dalla campagna di monitoraggio, ed il valore stimato con la RUSLE pari a $13000 \text{ t km}^{-2}\text{anno}^{-1}$ ($=S_t$), dal loro rapporto il coefficiente di resa solida (SDR) risulta di circa 8%: tale valore stima la percentuale di suolo eroso che abbandona effettivamente il bacino, rispetto a quello complessivamente "movimentato". Questa stima indica come, potenzialmente, gran parte del materiale eroso sui versanti non arrivi alla chiusura di bacino, ma sedimenti lungo il percorso, in seguito a variazioni di acclività, di scabrosità superficiale, alla presenza di vegetazione o a variazioni di permeabilità del suolo, ecc...Questo risultato risulta tuttavia influenzato dall'incapacità del modello di simulare adeguatamente l'erosione calanchiva e l'erosione per movimenti di massa e l'erosione in alveo. Questi difetti appartengono tuttavia a numerosi modelli di erosione di bacino, e per simulare questi fenomeni sono necessari modelli di simulazione specifici di ciascun fenomeno.

Per poter migliorare il risultato ottenuto è auspicabile una campagna di monitoraggio delle torbide degli affluenti del torrente Sillaro per verificare il modello con maggior dettaglio, oltre ad un miglioramento dell'efficienza di simulazione del bacino attraverso una stima più precisa dei parametri utilizzati, in particolare una valutazione dell'uso del suolo di maggior dettaglio.

Bibliografia

Arnoldous H.M.J. - 1978. *An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation*. In: *Assessment of erosion*, De Boodt M., Gabriels D. Wiley, Chichester 127-132.

Bazzoffi P.- 1984. *Erosione sui versanti e conseguente sedimentazione in piccoli serbatoi artificiali. Nota III: validazione di alcuni modelli di previsione dell'erosione (U.S.L.E., Gavrilovich, P.S.I.A.C.) per mezzo del confronto fra i valori stimati e quelli effettivamente misurati attraverso la sedimentazione negli invasi*. *Annali dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo*, 15: 149-188.

Biancotti A., Bellardone G., Bovo S., Cagnazzi B., Giacomelli L., Marchisio L. – 1998. *Distribuzione regionale di piogge e temperature*. *Collana Studi Climatologici in Piemonte 1*, Regione Piemonte.

Desmet P.J.J., Govers. G. - 1996. *A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units*. *Journal of soil and water conservation*, 51: 427-433.

Milward A.A.,Mersey J.E. - 1999. *Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed*. *Catena*, 38: 109-129.

Mitasova H., Brown W.M. *Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial* Geographic Modeling Systems Lab, University of Illinois at Urbana-Champaign

Moore I., Burch G. - 1986. *Physical basis of lenght-slope factor in the universal soil loss equation*. *Soil Science Society of America Journal*, 50: 1294-1298.

Morgan, R. C. P. – 1992. *Soil Erosion in the Warthen Countries of the European Community*. *EIW workshop*, Brussels, 21-22 May.

Wang G., Gertner G., Liu X., Anderson A. – 2001. *Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation*. *Catena*, 46: 1-14.

Wischmeier W.H., Smith D.D. – 1978. *Predicting rainfall erosion losses- A giude for conservation planning*. In: *Agriculture Handbook 537*, U.S.D.A..