

CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ ALL'EROSIONE: ANALISI E CONFRONTO FRA MODELLI DI EROSIONE DEL SUOLO

Luca ANGELI (*), Lorenzo BOTTAI (**), Roberto COSTANTINI (**), Raffaella FERRARI (*),
Lucia INNOCENTI (*), Michael MÄRKER (***)

(*) Centro Ricerche Erosione Suolo (LaMMA-CRES) – Via Cavour 16, 58100 Grosseto - Tel. 0564 22098 Fax 0564 428332 - email innocenti@lamma-cres.rete.toscana.it

(**) CNR-IBIMET - Via Caproni 8, Firenze - Tel. 055 3033702 Fax 055 308910 - email bottai@lamma.rete.toscana.it

(***) Università di Firenze Dipartimento di Scienza del Suolo Piazzale delle Cascine 18, 50144 Firenze - Tel. 055 3288214 Fax 055 333273 – email mmaerker@rz.uni-potsdam.de

Riassunto

Il problema del confronto modelli nasce dall'esigenza di poter meglio valutare il loro utilizzo nell'ambito della gestione e pianificazione del territorio al fine della mappatura le zone più a rischio erosione. L'obiettivo di questo contributo è quello di comparare alcuni dei modelli utilizzati per la predizione del quantitativo di suolo eroso, con una metodologia di valutazione qualitativa derivante dalla diretta osservazione dei vari tipi di processi erosivi, sia superficiali che profondi, sviluppata dal LaMMA CRES (Centro Ricerche Erosione Suolo) per un bacino della Toscana meridionale (bacino del fiume Albegna, provincia di Grosseto). A tal fine sono stati messi a confronto due modelli di calcolo del tasso di erosione con la carta della Suscettibilità all'Erosione realizzata sulla base di una struttura distribuita che consta di entità aventi lo stesso comportamento nei confronti della dinamica erosiva, definite Erosion Response Units (ERU) (Maerker et al., 2001). In particolare sono stati messi a confronto i risultati quantitativi ottenuti dall'applicazione del modello empirico di predizione della perdita media annuale di suolo dovuta ai processi erosivi superficiali dell'acqua RUSLE (Renard et al., 1997) e del modello di simulazione della distribuzione spaziale delle aree in erosione e deposizione USPED (Mitasova H. et al., 1996) che parte dall'assunzione che il processo d'erosione sia limitato dalla capacità di trasporto del ruscellamento superficiale.

Dal confronto fra i due modelli quantitativi e quello qualitativo è risultato che la modellizzazione dell'erosione del suolo attraverso l'utilizzo di modelli distribuiti in ambiente GIS a scala di bacino, deve essere intesa come la descrizione spaziale della distribuzione delle aree più predisposte all'erosione, piuttosto che come stima quantitativa effettiva. Ai fini della pianificazione territoriale l'individuazione delle aree soggette a rischio erosione è comunque di estrema importanza per la prevenzione in quanto le misure di controllo possono essere ottimizzate e propriamente localizzate.

Abstract

A comparative analysis of soil erosion models is necessary to better understand their application in environmental management and planning that require the mapping of the highest risk areas. The present work focuses on the comparison of two quantitative soil loss models with a qualitative methodology, developed by the Soil Erosion Research Centre (LaMMA-CRES, Grosseto) for the Abegna River (Southern Tuscany), that is based on the direct observation of different erosion processes (both superficial and deep erosion processes). This qualitative method, uses a combined distributed approach that is able to model erosion risk areas based on the concept of Erosion Response Units (ERU) (Maerker et al., 2001), entities that are homogeneous in respect to their erosion process dynamics. The Erosion Susceptibility Map resulting from it was compared to the quantitative empirical models RUSLE (Renard et al., 1997) that is based on the Universal Soil Loss

Equation (USLE), and USPED (Mitasova H. et al., 1996) that computes net erosion/deposition (ED) as the divergence in sediment transport capacity.

The analysis of the comparison shows that the quantitative distributed soil erosion GIS models for medium size watersheds, allow to successfully predict the patterns of soil erosion for areas more prone to soil loss rather than a real quantitative estimation. These models are thus well-suited for use in conservation and basin management and master plans where soil erosion is one of the major components of hydrogeological hazard.

Introduzione

L'erosione, quale processo di degradazione del suolo, è una fra le gravi minacce all'ambiente prodotte dalle pratiche agricole intensive. In tutti i tipi di colture agrarie il suolo subisce un'erosione accelerata rispetto a quella naturale con un notevole impatto sia ambientale che economico che risulta in estesi danni e costi. La relazione dell'Agenzia Europea dell'Ambiente su "L'ambiente nell'Unione Europea alle soglie del 2000", fornisce un'analisi dettagliata dei danni ambientali causati da alcune pratiche agricole.

Negli ultimi decenni la richiesta di rimedi all'erosione ha spinto il mondo scientifico allo sviluppo di modelli, anche complessi, per la determinazione delle relazioni fra alcune variabili idrologiche quali precipitazione, deflusso e infiltrazione, per giungere a quantificare il tasso di erosione idrica. Lo sviluppo della tecnologia GIS e il sempre più facile accesso ai dati digitali, ha permesso l'incremento nella realizzazione di tali modelli che è diventato più efficiente ed economicamente tollerabile. L'importanza nel considerare i vari tipi di modelli a seconda del tipo di elaborazioni e dei risultati che forniscono, è fondamentale per la scelta del tipo di modello da utilizzarsi, soprattutto in funzione delle differenti aspettative degli utenti.

In questo contesto si inserisce il presente lavoro, il cui scopo è quello di valutare la valenza di alcuni modelli predittivi quantitativi ai fini della pianificazione territoriale a scala di bacino.

Il Bacino idrografico in studio è quello del Fiume Albegna situato nella Toscana meridionale (provincia di Grosseto) con un'estensione territoriale di 746 Km². L'area è caratterizzata da un clima tipicamente mediterraneo temperato, con precipitazioni di circa 600 mm annui concentrate prevalentemente nei mesi autunno-invernali e durante eventi temporaleschi primaverili e di fine estate. L'uso del suolo presenta un'agricoltura di tipo estensivo (cereali, pascoli) frammezzata a boschi di leccio e macchia più o meno degradata. Il substrato geologico è costituito per la maggior parte da argille plioceniche e da unità tettoniche alloctone, fra loro sovrapposte, formate da torbiditi calcaree e arenacee.

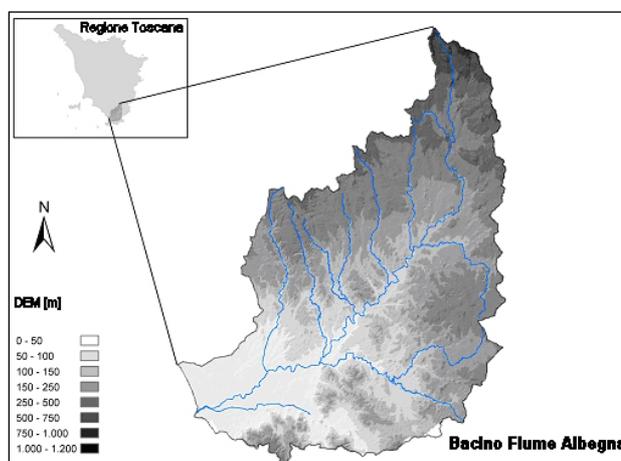


Figura 1 – Area di studio

Carta della Suscettibilità all'Erosione

La metodologia per la realizzazione della carta della Suscettibilità all'Erosione del Bacino del Fiume Albegna si basa sul concetto sviluppato nell'ambito del progetto europeo IWRMS (Integrated Water Resources Management System). Tale concetto si basa sull'identificazione di aree soggette a processi erosivi diversi per natura e dinamica sulla base di una struttura distribuita che consta di entità aventi lo stesso comportamento nei confronti della dinamica erosiva, definite Erosion Response Units (ERU) (Maerker et al., 2001). L'applicazione del concetto delle ERU permette di individuare delle entità omogenee che opportunamente classificate, permettono la mappatura delle zone suscettibili al rischio erosione.

L'individuazione delle ERU consiste nella sovrapposizione spaziale dei principali elementi ambientali che condizionano la stabilità (fattori predisponenti) e nell'analisi dei processi erosivi in atto di un'area di studio pilota rispetto a ognuno di essi. Questo per definire le condizioni in corrispondenza delle quali tali processi si verificano e per valutare l'influenza di ciascuna di esse per arrivare ad estendere la classificazione all'intero bacino del Fiume Albegna. Dalla distribuzione dei processi rispetto a fattori predisponenti l'erosione quali litologia, morfologia del terreno, uso del suolo, esposizione, è stato possibile caratterizzare l'erosione potenziale dell'area pilota. Per la definizione dell'erosione potenziale il metodo utilizzato, basato su analisi statistica bivariata (Wan Western, 1993), è consistito nella sovrapposizione della carta dei processi erosivi con ognuno dei tematismi di analisi, in modo da calcolarne la densità in ogni classe, da cui derivare un indice di erosione atto a definire la potenzialità all'erosione in presenza di ciascun fattore predisponente.

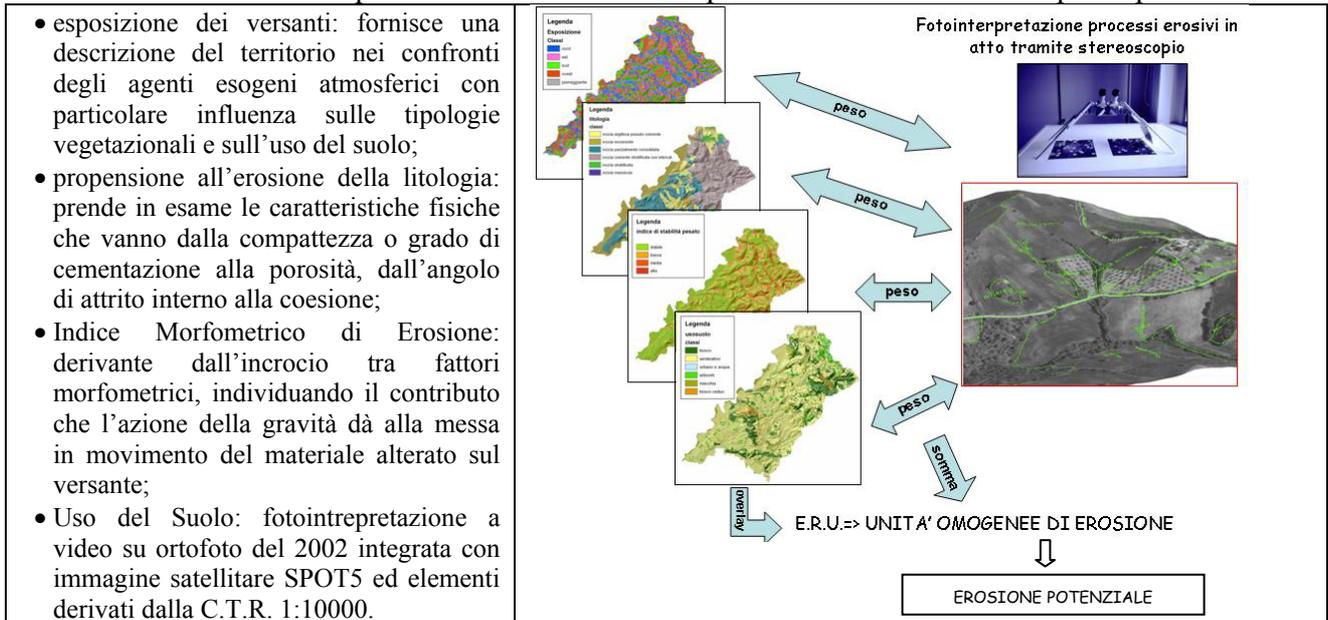


Figura 2 – Fattori predisponenti e realizzazione della Carta dell'Erosione Potenziale

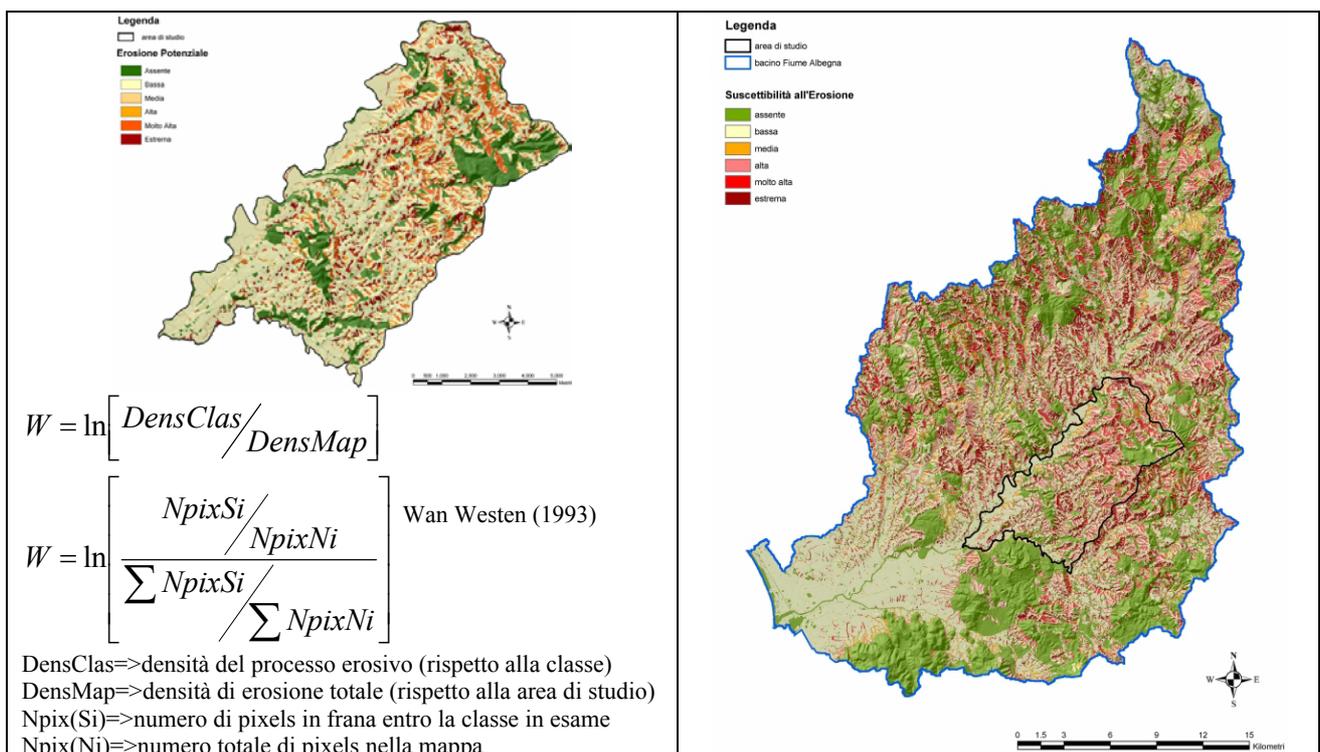


Figura 3 – Erosione potenziale dell'area pilota e Susceptibilità all'Erosione del Bacino

Successivamente un procedimento di semplice somma algebrica ha fornito una quantificazione complessiva dell'erosione potenziale riclassificata in 6 livelli a erosione crescente (assente, bassa, media, alta, molto alta, estrema). Quest'ultima riclassificazione è stata attribuita alle combinazioni ERU dell'area pilota e calibrata in base all'occorrenza dei singoli processi con verifiche di campo, quindi regionalizzata all'intero bacino, ottenendo la Carta della Suscettibilità all'Erosione.

Modello RUSLE

In accordo con Renard et al. (1997), la perdita annua media di suolo causata da erosione laminare (*sheet*) e incanalata (*interrill* e *rill*) è espressa dalla seguente equazione: $A = R \cdot L \cdot S \cdot K \cdot C \cdot P$. Figura 4 mostra le formule e i criteri applicati dal Lamma-CRES nell'elaborazione della Carta della perdita del suolo del Bacino del Fiume Albegna descritte in dettaglio da Angeli et al. (2004):

R=>fattore erosività della pioggia	$R = 4.17 \cdot \sum_1^{12} (p^2 / P) - 152$	p=pioggia mensile P= pioggia annuale
LS=>fattore topografico	$L \cdot S = \left(\lambda / 22.13\right)^m \cdot (65.41 \sin^2 \beta + 4.56 \sin \beta + 0.065)$	λ (m)=lunghezza pendio β (°)=pendenza m=parametro dipendente dalla pendenza
K=>fattore erodibilità del suolo	$K = 7.594 \left\{ 0.0034 + 0.0405 \cdot \exp \left[\left(-\frac{1}{2} \frac{\log D_g + 1.659}{0.7101} \right)^2 \right] \right\}$ corretto con f_c per valutare la variazione stagionale (fortemente influenzata dall'andamento termo-pluviometrico): $f_c = \frac{T_m}{T_a} = a + b \frac{2\pi \cos(t - c)}{12}$	D_g (mm) = $e^{\left(0.01 \sum_i f_i \ln m_i \right)}$ f_i = frazione della classe dimensionale primaria m_i = media aritmetica dei limiti della i-esima classe dimensionale
C=>fattore copertura vegetale	$C = UPS \cdot CA \cdot CSC \cdot SS$	UPS=utilizzo precedente del suolo CA=copertura aerea CSC=copertura a contatto con il suolo SS=scabrezza della superficie del suolo

Figura 4 – Formule applicate per la determinazione dei fattori della RUSLE

Modello USPED (Unit Stream Power Erosion/Deposition model)

Il modello *USPED* per la simulazione della distribuzione spaziale delle aree in erosione e deposizione, assume valori di precipitazioni costanti e condizioni di capacità di trasporto limitato. Esso si basa sul presupposto che il tasso di erosione o deposito, non dipende dal valore in sé della capacità di trasporto quanto, piuttosto, dall'entità della variazione, da un punto all'altro della stessa (Moore e Burch, 1986, Mitsova et al., 1996). L'erosione, cioè, si verifica laddove c'è un incremento della capacità di trasporto dell'acqua, mentre, dove c'è una diminuzione della capacità di trasporto l'acqua rilascia i sedimenti che sta trasportando provocando deposizione.

$T = K_t q^m (\sin b)^n$	T = capacità di trasporto K_t = coefficiente di trasportabilità che dipende dalle caratteristiche del suolo e dalla copertura vegetale q = flusso d'acqua b [gradi] = pendenza m, n = parametri che variano in accordo al tipo di flusso e alle proprietà del suolo (per un flusso d'acqua superficiale a questi parametri è generalmente attribuito il valore di $m=1.6$ e $n=1.3$ (Foster 1990))
--------------------------	--

Figura 5 - Equazione della capacità di trasporto

Il modello *USPED* assume che il tasso di flusso dei sedimenti q_s sia rapportabile alla capacità di trasporto T . Tale uguaglianza determina praticamente che la presa in carico da parte dell'acqua è pari a quanto essa stessa è in grado di trasportare. Inoltre, il flusso dell'acqua stazionario q può essere espresso come una funzione dell'area contribuyente $A[m]$, quindi $q = A i$; dove i è l'intensità di pioggia uniforme senza considerare il cambiamento della velocità di flusso dovuta alla copertura vegetale). Di conseguenza $q_s = K_t (A i)^m (\sin b)^n$.

Dato che non è stato condotto nessun lavoro sperimentale per la determinazione dei parametri necessari al modello *USPED*, vengono utilizzati i parametri RUSLE (R, K, C, P) per integrare

l'impatto approssimato del suolo e della copertura vegetale ed ottenere una stima relativa di erosione e deposizione. Quindi l'equazione diventa:

$T = R K C P A^m (\sin b)^n$	$R \sim i^m$ $KCP \sim Kt$ $LS = A^m (\sin b)^n$ $m = 1.6, n = 1.3$ per erosione superficiale a rigagnoli $m = n = 1$ per erosione superficiale diffusa
------------------------------	---

Figura 6 - Perdita annuale media di sedimento

In situazioni dove le proprietà del suolo e della copertura vegetale siano considerate costanti ($K_t = const$), il tasso netto erosione/deposizione è stimato come la divergenza del flusso dei sedimenti (Mitas e Mitasova 1998), quindi l'equazione del tasso netto erosione/deposizione diventa: $ED = d(T \cos a)/dx + d(T \sin a)/dy$ con a [deg] => esposizione (o direzione del flusso meno la direzione del gradiente).

Confronto fra modelli e conclusioni

Non avendo a disposizione dei dati quantitativi recenti sulle portate effettive del Fiume Albegna, non è stato possibile calibrare i modelli quantitativi presi in esame. In questo lavoro ci siamo quindi limitati a considerare il livello qualitativo dei modelli predittivi confrontandoli anche con la metodologia derivante dall'individuazione delle ERU realizzata dal laboratorio.

I risultati dell'applicazione del modello USPED al Bacino del fiume Albegna (Fig. 7) mettono bene in evidenza le aree in erosione e in deposizione per di processi erosivi di tipo laminare e per quelli di tipo rill. Comunque, per ottenere delle carte predittive accurate attraverso il modello USPED in bacini con condizioni topografiche complesse, è necessaria una attenta calibrazione (Foster 1990, Mitas et al 1997), in quanto i parametri della RUSLE sono stati sviluppati per la determinazione della perdita di suolo relativa a un semplice versante.



Figura 7- Particolare del modello USPED (a sinistra sono riportate le aree in erosione e in deposizione per di processi erosivi di tipo laminare mentre a destra e per quelli di tipo rill)

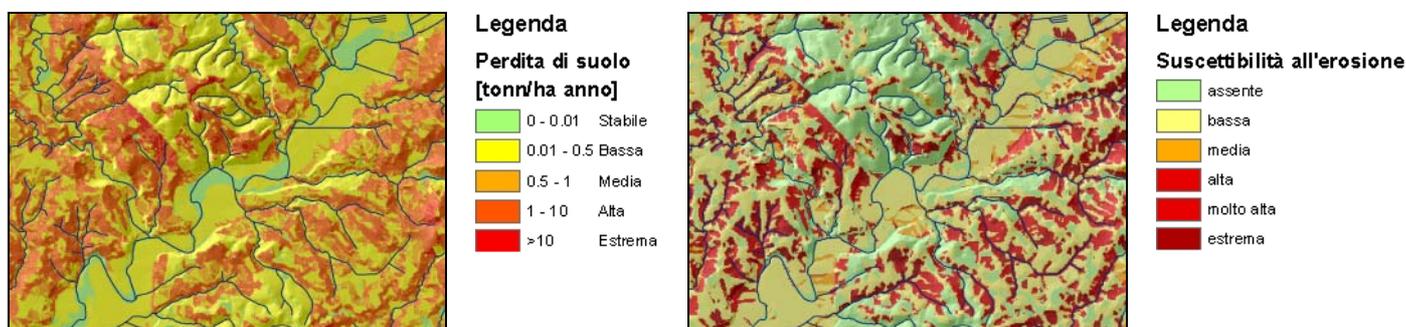


Figura 8 – Confronto fra modello RUSLE (a sinistra) e Carta della suscettibilità all'erosione

Inizialmente sono stati messi a confronto i due modelli quantitativi prendendo in considerazione solo le zone dove il modello USPED predice erosione, il modello RUSLE infatti è in grado di valutare unicamente l'erosione distribuita su tutto il bacino. Dall'analisi sono state escluse anche le

aree di impluvio perché rientranti nel dominio dei processi fluviali. Dal confronto è risultato che USPED riesce a fornire praticamente gli stessi risultati quantitativi della RUSLE, ma con il grande vantaggio di individuare anche le zone in deposizione totalmente trascurate nella RUSLE.

È stato infine possibile evidenziare come la carta della suscettibilità derivante dalle ERU, comparata al risultato della RUSLE (fig.8), possa essere considerata valida per l'individuazione delle aree più predisposte all'erosione riuscendo anzi a meglio delineare i pattern dei processi in quanto guidata dalla diretta osservazione degli stessi.

Il lavoro ha consentito di arrivare alla conclusione che la modellizzazione a scala di bacino dell'erosione del suolo attraverso l'utilizzo di modelli distribuiti in ambiente GIS, riesce a ben rappresentare qualitativamente le aree predisposte all'erosione. In particolare:

- il modello USPED, una volta calibrato, potrebbe essere considerato come un valido strumento per la determinazione quantitativa dei sedimenti erosi e depositati;
- l'utilizzo della RUSLE risulta giustificato nella determinazione quantitativa dei sedimenti erosi se viene limitato ai versanti o a piccoli bacini dalla morfologia non troppo complessa; essendo comunque una metodologia collaudata, a scala di bacino essa può essere utilizzata in fase di pianificazione territoriale interpretandone il risultato come un'indicazione delle aree più sensibili all'erosione di tipo rill/interrill;
- infine, la metodologia delle ERU permette, dopo un'attenta individuazione dei processi erosivi di un'area di studio rappresentativa, di regionalizzare il risultato all'intero bacino e anche ad altri bacini con caratteristiche fisiografiche, vegetazionali e climatiche simili arrivando alla mappatura delle aree suscettibili al rischio erosione.

Il principale vantaggio dei modelli qualitativi consiste nell'essere facilmente modificabili per la predizione dell'erosione in differenti scenari di uso del suolo e/o variazioni climatiche, e diventare quindi un valido supporto decisionale quale strumento di analisi per la pianificazione razionale e sostenibile del territorio. Il vantaggio delle ERU è che oltre ad arrivare alla carta della suscettibilità, è possibile ricostruire la distribuzione dei vari processi erosivi in atto nel bacino (quindi anche processi di tipo gully e movimenti franosi). Questo permette l'applicazione di modelli specifici per le tipologie dei processi erosivi prese in considerazione (erosione superficiale e profonda).

Bibliografia

- Angeli L., Bottai L., Maerker M., Costantini R., Gardin L., Innocenti L., Ferrari R., Siciliano G. (2004), "Sviluppo di metodologie di analisi per lo studio dell'erosione del suolo in ambienti mediterranei", *Atti della 8ª Conferenza Nazionale ASITA – Roma*, 14-17 Dicembre 2004
- Foster, G. R., (1990), "Process-based modelling of soil erosion by water on agricultural land", *Soil Erosion on Agricultural Land*, Edizioni J. Boardman, I. D. L. Foster and J. A. Dearing, John Wiley & Sons Ltd, 429-445
- Maerker M., Moretti S., Rodolfi G. (2001), "Assessment of water erosion processes and dynamics in semi-arid regions of Southern Africa (Kwazulu-Natal, RSA, and Swaziland) using the Erosion Response Units concept (ERU)", *Geogr. Fis. Din. Quat.* 24: 71-83
- Mitas, L., Brown, W. M., Mitasova, H. (1997), "Role of dynamic cartography in simulations of landscape processes based on multi-variate fields", *Computers and Geosciences*, 23: 437-446
- Mitasova H., Hofierka J., Zolcha M. Iverson L.R. (1996), "Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS", *Journal of geographics information science*, Vol 10, 629-641
- Renard, K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., and Yoder D.C., (1997), "Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Loss Equation (RUSLE)", *USDA Agriculture Handbook* No. 703
- Moore, I.D. and Burch G.J. (1986), "Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation", *Soil Science Society of America Journal* 50(5):1294-1298
- Wan Westen, C. J., (1994), "GIS in Landslide Hazard Zonation: a review, with expamples from Andes of Colombia", *Mountain Environments and Geographic Information Systems*, Price, M. and Heywood, I. (eds), Taylor & Francis, Basingstoke, U.K., 135-165