

CHRISTIAN CONOSCENTI

VALUTAZIONE DELL'EROSIONE PRODOTTA DAI PROCESSI
DI DILAVAMENTO NEL BACINO
DEL FIUME DELLA MENDOLA (SICILIA, ITALIA)

RIASSUNTO

L'erosione del suolo costituisce un problema di estrema rilevanza per le conseguenze economiche e ambientali che può determinare. Per tale motivo sono stati condotti numerosi studi con la finalità di elaborare e applicare modelli utili ad una corretta valutazione dell'erosione. Lo scopo di questo lavoro è quello di presentare i risultati ottenuti utilizzando due diverse metodologie di valutazione dell'erosione prodotta dai processi di dilavamento, nel bacino idrografico del Fiume della Mendola. Il lavoro è stato condotto con l'ausilio di un *software GIS* che ha permesso di gestire ed elaborare i dati. Una prima valutazione è stata ottenuta studiando gli effetti prodotti in superficie dall'erosione idrica in termini di forme del rilievo modellate. A tal scopo sono state rilevate, tramite l'analisi di ortofoto ad elevata risoluzione, le forme prodotte dai processi di *rill-interrill erosion*, *rill erosion* e *gully erosion*, e le aree dove si sviluppano *calanchi*. L'analisi ha permesso di riconoscere gli effetti del dilavamento sul 26,5% della superficie totale del bacino, indicando la distribuzione spaziale sul territorio dei diversi processi di erosione del suolo. La seconda metodologia applicata è stata la *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Il modello empirico ha permesso di stimare la perdita di suolo prodotta dai processi di dilavamento nelle 33.926 unità territoriali in cui è stato suddiviso il bacino. La valutazione ottenuta tramite il modello *RUSLE* descrive, con elevato dettaglio, la distribuzione spaziale dell'intensità dell'erosione del suolo nel bacino del Fiume della Mendola. I risultati ottenuti tramite l'applicazione dei due diversi metodi sono stati confrontati, mostrando una buona congruenza tra i relativi dati; nelle unità territoriali che hanno evidenziato gli effetti dei processi di dilavamento, il valore di perdita di suolo, calcolato con il modello *RUSLE*, risulta maggiore al crescere dell'intensità, in termini di erosione prodotta, delle forme rilevate.

SUMMARY

Evaluation of water erosion from Mendola River basin (Sicily, Italy). Soil erosion is a problem of great relevance because of its economic and environmental consequences. Several studies have been carried out to develop and apply models suitable to a correct assessment of erosion intensity. The

aim of this paper is to present the results obtained by applying two different methodologies of water erosion evaluation to the Mendola River drainage basin. A GIS software was used as a tool to manage and elaborate the data. A first assessment was obtained by studying erosional landforms; landforms shaped by *rill-interrill erosion*, *rill erosion* and *gully erosion*, and *calanchi*, have been recognized by analyzing high resolution orthophoto images. Investigations allowed to individuate water erosion effects on 26.5% of the watershed area and to point out the spatial distribution of each erosional processes. The second model applied was the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). The drainage basin has been subdivided into 33.926 square cells and, for each of these, mean annual soil loss has been computed by using the empirical model. The assessment achieved using the RUSLE method, provides an highly detailed spatial distribution of water erosion intensity on the studied drainage basin. Results gained by applying the two different methodologies have been compared with each other, showing a good fit; soil loss values estimated using RUSLE, from cells showing effects of water erosion, grow parallel with intensity of the erosional landforms recognized.

PREMESSA

L'erosione del suolo ad opera delle acque correnti superficiali rappresenta un serio problema per gli effetti dannosi che determina a livello sociale, economico ed ambientale, nelle regioni dove si manifesta con notevole intensità. La stima degli effetti prodotti dall'erosione, in termini di perdita di suolo, costituisce, per tali ragioni, argomento di notevole interesse per la comunità scientifica internazionale. La valutazione dell'erosione idrica rappresenta infatti uno strumento indispensabile per un migliore utilizzo del territorio.

Nei bacini fluviali l'intensità dell'erosione ad opera delle acque correnti superficiali può essere valutata misurando il volume di sedimento trasportato dal corso d'acqua principale, rilevando le morfologie prodotte dall'erosione, o applicando modelli che stimano indirettamente la perdita di suolo dovuta ai processi di erosione idrica. Questi ultimi consentono di quantificare l'entità dell'erosione idrica attesa in un bacino fluviale, sulla base di informazioni che riguardano principalmente le precipitazioni, l'erodibilità dei suoli, l'uso del suolo, le caratteristiche morfometriche dei versanti (FOURNIER, 1960; PSIAC, 1968; WISCHMEIER & SMITH, 1978; CICCACCI *et al.*, 1981; NEARING *et al.*, 1989; RENARD *et al.*, 1997; MORGAN *et al.*, 1998; FLANAGAN *et al.*, 2001; DE VENTE & POESEN, 2005).

Questo lavoro presenta i risultati ottenuti nell'ambito di una ricerca finalizzata alla valutazione dell'erosione prodotta dai processi di dilavamento nel bacino del Fiume della Mendola. Tali fenomeni sono legati all'azione erosiva delle acque meteoriche che si esplica durante gli eventi pluviali, e si arresta poco dopo che questi cessino. L'acqua agisce da un parte, tramite l'impatto con il suolo, e dall'altra, attraverso lo scorrimento in superficie, che si realizza durante gli eventi meteorici. L'erosione dovuta al dilavamento è quindi fortemente legata alle caratteristiche delle precipitazioni.

L'impatto delle gocce d'acqua sul suolo innesca il fenomeno della *splash erosion* (*erosione della pioggia battente*; CASTIGLIONI, 1989). Quando le precipitazioni sono sufficientemente prolungate da produrre un deflusso superficiale (*ruscellamento*), l'acqua può asportare dal suolo particelle solide e trasportarle verso valle; a seconda della tipologia di scorrimento dell'acqua in superficie si hanno i processi di *rill-interrill erosion*, *rill erosion* e *gully erosion*. Con il termine *rill-interrill erosion*, equivalente di *sheet erosion* (*erosione areale*; CASTIGLIONI, 1989), si indica il fenomeno erosivo che si realizza quando il ruscellamento si manifesta in modo diffuso. Dove il deflusso avviene seguendo linee di scorrimento preferenziali si innesca il fenomeno della *rill erosion* (*erosione a rivoli*; CASTIGLIONI, 1989). Una forte concentrazione del ruscellamento può produrre la *gully erosion* (*erosione a solchi*; CASTIGLIONI, 1989), processo che determina un'intensa erosione lineare.

I processi di tipo *rill-interrill*, *rill* e *gully erosion* possono produrre gravi danni in termini di perdita di suolo. L'erosione areale determina l'asportazione di un sottile strato di suolo ed i suoi effetti si manifestano soprattutto in corrispondenza delle porzioni convesse dei versanti. L'erosione a rivoli modella sul suolo sistemi di solchi profondi pochi centimetri (*rills*), organizzati come piccoli reticoli idrografici, che intaccano il suolo e la vegetazione. Il fenomeno della *gully erosion* incide, raggiungendo talvolta anche il substrato roccioso, profondi solchi di erosione (*gully*), di dimensioni tali da non potere essere cancellati con normali lavorazioni agricole. I *gully* tendono ad allungarsi e ramificarsi, arretrando spesso la loro testata. Laddove si realizza la combinazione di attributi territoriali favorevoli, l'azione intensa dei processi di dilavamento può produrre delle forme particolari definite *calanchi*. I *calanchi* sono incisioni profonde, simili a piccole valli con versanti ad elevata pendenza, che si impostano su aree con scarsa o nulla presenza di vegetazione, molto inclinate, caratterizzate spesso dall'affioramento di rocce argillose. Questo tipo di forme si trovano frequentemente in gruppi, interessando talvolta interi versanti, in cui le singole incisioni sono separate da sottili creste aguzze.

La finalità della ricerca è stata quella di valutare gli effetti dei processi di dilavamento nel bacino del Fiume della Mendola, utilizzando due differenti metodi: il primo è consistito nel rilevamento delle forme di erosione modellate dai processi di *rill-interrill*, *rill* e *gully erosion*, e delle aree dove si sviluppano *calanchi*; il secondo metodo applicato è stato il modello della *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. L'individuazione degli effetti prodotti dai processi di dilavamento ha consentito di conoscere in che modo tali fenomeni si distribuiscono nel territorio indagato. L'applicazione del metodo *RUSLE* ha permesso, invece, di quantificare la perdita di suolo dovuta al dilavamento, fornendo una zonazione di estremo dettaglio dell'intensità con cui tali processi si manifestano nell'area.

AREA DI STUDIO

Il bacino del Fiume della Mendola, situato nella Sicilia centro-occidentale, si estende per 54,3 km², costituendo uno dei maggiori sottobacini del Fiume San Leonardo, il maggiore corso d'acqua siciliano con foce lungo il litorale tirrenico (Fig. 1). L'asse idrografico principale presenta una lunghezza di circa 13 km ed è orientato in direzione SW-NE (Fig. 2). La linea di spartiacque, lunga circa 34 km, si sviluppa dalla confluenza con il Torrente Gudдеми, posta a quota 407 m s.l.m., e separa il suddetto bacino da quello del Torrente Giardo, a Est, e dall'area di drenaggio dello stesso Torrente Gudдеми, a Nord; negli altri tratti, la linea di spartiacque del bacino del Fiume della Mendola coincide con quella dell'intero bacino del Fiume San Leonardo, passando per le cime di Monte Cardellia (1.265 m s.l.m.) e Monte Barracù (1.437 m s.l.m.), e raggiungendo la massima quota in corrispondenza di Pizzo Cangialoso (1.456 m s.l.m.). La quota media del territorio drenato dal Fiume della Mendola, pari a 718 m s.l.m., è piuttosto elevata, così come l'energia del rilievo, caratterizzata da un dislivello di oltre 1.000 metri.



Fig. 1 — Inquadramento geografico del bacino idrografico del Fiume della Mendola.

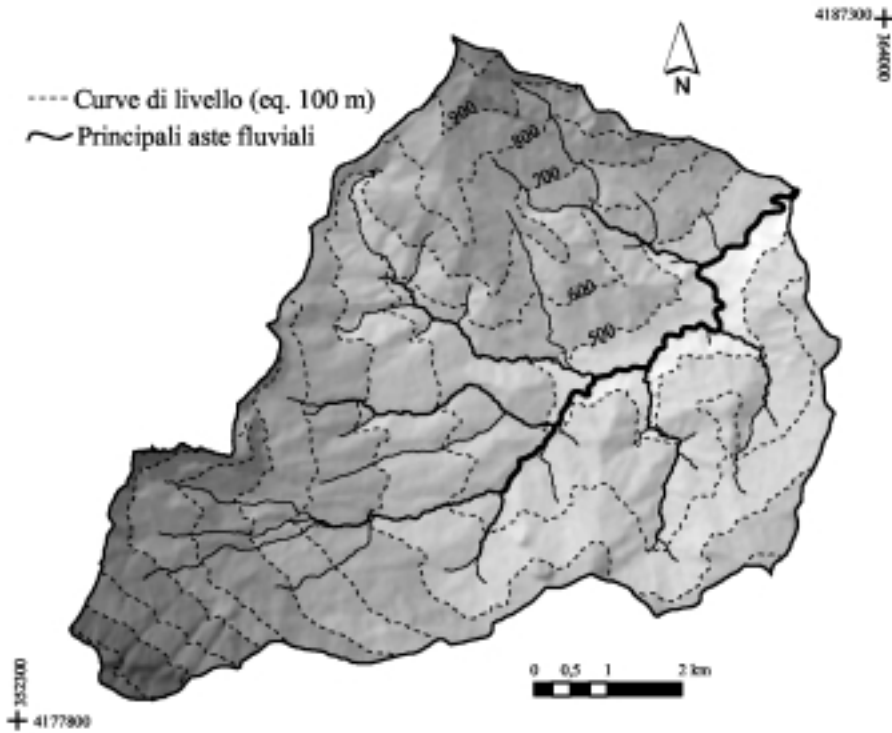


Fig. 2 — Principali aste fluviali e altimetria del bacino del Fiume della Mendola.

L'acclività che caratterizza i versanti dell'area studiata è generalmente debole, presentando un valore medio di $10,4^\circ$; tuttavia, nei settori di testata del bacino, soprattutto laddove affiorano rocce meno erodibili, l'inclinazione della superficie topografica si mantiene più elevata, raggiungendo in qualche caso anche valori nell'ordine di 40° .

Il clima dell'area, caratterizzato da estati calde e asciutte e da inverni piovosi, può essere identificato, facendo riferimento alla classificazione di KÖPPEN (1923), come di tipo *Csa* (clima mediterraneo). Per la definizione della piovosità sono stati utilizzati i dati pluviometrici registrati nelle stazioni del Servizio Idrografico Italiano che, secondo il metodo dei topoieti (THIESSEN, 1911), influenzano l'area: Palazzo Adriano, che influenza un'area pari all'84% dell'intero bacino, Prizzi e Campofelice di Fitalia, che con lo stesso peso (8%) coprono la restante porzione dell'area indagata. Le precipitazioni medie annue relative all'intero bacino sono pari a 779 mm, distribuite su 79 giorni piovosi (periodo di osservazione 1956-2000). Le medie mensili indicano che il 77% delle precipitazioni medie annue si concentrano nel semestre

invernale, registrando il massimo valore nel mese di dicembre (137 mm) e il minimo nel mese di luglio (7 mm); anche il numero medio mensile dei giorni piovosi ha il valore massimo a dicembre (12) e minimo a luglio (1).

Il bacino del Fiume San Leonardo ricade all'interno di un settore della catena siciliana (CATALANO & LO CICERO, 1998; CATALANO *et al.*, 2004). I corpi geologici affioranti nell'area costituiscono più unità tettoniche derivanti dalla deformazione di successioni di terreni di differenti domini paleogeografici mesozoico-terziari, quali quelli appartenenti alla Piattaforma Carbonatico-Pelagica Trapanese e ai bacini Sicano, Imerese, Numidico e Sicilide. Queste unità si sono messe in posto durante il Neogene e, successivamente, sono state prima parzialmente ricoperte dai depositi della Formazione Terravecchia, della Serie Gessoso-solfifera e dei Trubi, e poi ulteriormente deformate dalla tettonica plio-quadernaria responsabile dell'attuale assetto strutturale.

La definizione delle caratteristiche geologiche dell'area di studio è stata improntata tenendo conto della finalità geomorfologico-applicativa della ricerca; in tal senso è stata elaborata, sulla base delle informazioni ricavate da carte pubblicate (CATALANO & MONTANARI, 1979; CATALANO & LO CICERO, 1998) e da controlli di campagna, una carta delle litologie affioranti, distinte anche sulla base delle differenti risposte all'azione dei processi morfogenetici (Fig. 3).

L'area è prevalentemente occupata dagli affioramenti dei depositi terrigeni del Flysch Numidico [FLY], delle marne e marne sabbiose [CPR], e delle rocce carbonatiche delle unità bacinali sicane [SPL]. In testata del bacino si ritrovano le calcareniti, calcilutiti e brecce risedimentate sicane [SPL], che affiorano in corrispondenza del versante NE del rilievo di Monte Barracù. Il settore medio del bacino è invece caratterizzato dall'affioramento delle marne e marne sabbiose a foraminiferi planctonici [CPR], e da un piccolo lembo delle biocalcareniti glauconitiche sicane [BCL], che costituiscono la porzione sommitale del rilievo di Monte Cardellia. La porzione bassa, infine, è quasi del tutto occupata dall'affioramento dei depositi terrigeni del Flysch Numidico [FLY], ad eccezione di un piccolo lembo di argille e marne varicolori derivanti dalla deformazione del bacino Sicilide [VRC] e dei depositi alluvionali che si ritrovano lungo il tratto finale del corso d'acqua principale.

L'assetto geomorfologico dell'area di studio è influenzato dal differente grado di erodibilità delle rocce affioranti. Nei settori medio e basso del bacino la presenza di termini litologici "teneri" favorisce l'innescio di fenomeni gravitativi e l'attività dei processi di erosione idrica; questi ultimi si esplicano sia tramite l'azione di incisione fluviale che attraverso l'erosione legata al dilavamento.

Nella porzione di testata, il bacino del Fiume Mendola è delimitato da due rilievi a struttura monoclinale: Monte Cardellia e Monte Barracù. Il

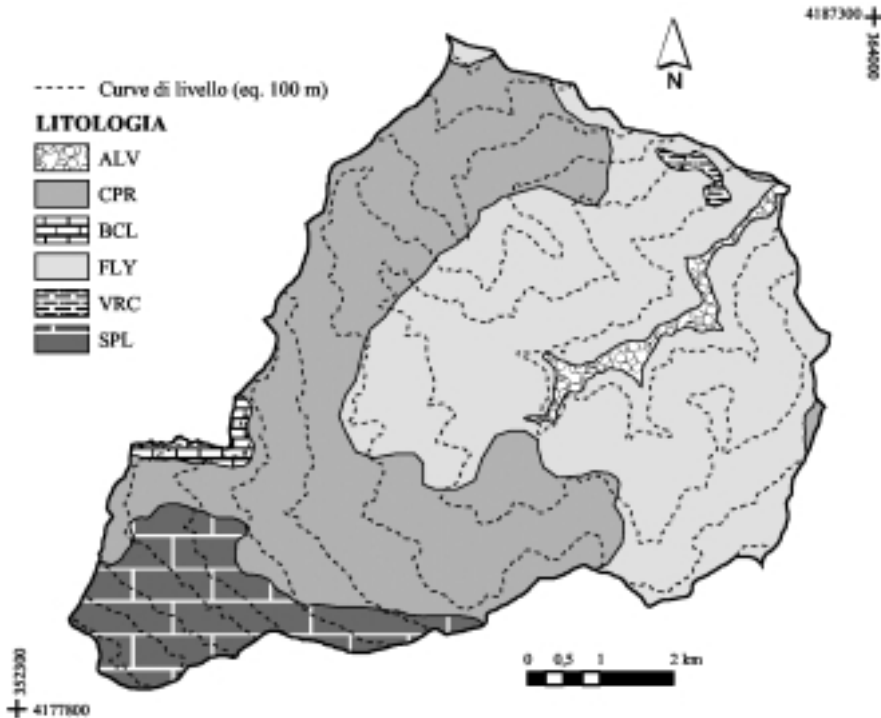


Fig. 3 — Carta delle litologie affioranti nell'area di studio. Legenda: [ALV] Alluvioni antiche e recenti; [CPR] Marne e marne sabbiose a foraminiferi planctonici (Tortoniano inf. - Serravalliano); [BCL] Biocalcareni glauconitiche (Langhiano); [FLY] Marne con intercalazioni arenacee a foraminiferi planctonici, argilliti marnose e calcareniti a lepidocicline, argille sabbiose e quarzareniti (Flysch Numidico, Miocene inf. - Oligocene sup.); [VRC] Argille e marne varicolori, spesso con giacitura caotica per tettonizzazione (Oligocene inf. - Cretaceo sup.); [SPL] Calcareni e calcilutiti bianche e avana a radiolari, lamellibranchi e breccie risedimentate ad elementi di piattaforma carbonatica (Lias inf. - Carnico sup.).

primo è costituito dalla sovrapposizione di un pacco di strati “duri” che poggiano su rocce “tenere”; in sommità affiorano infatti le calcareniti glauconitiche delle Unità Sicane [BCL], mentre nel settore più a valle si ritrova la frazione marnosa delle stesse unità [CPR]. La *fronte* (CASTIGLIONI, 1989) del rilievo (versante Sud) mostra le testate degli strati duri ed è caratterizzato da pendenze elevate, nell'ordine di 35°-40°. Il versante è interessato, a causa dell'elevata pendenza, da crolli diffusi che coinvolgono le testate degli strati calcarenitici. Il settore più a valle del versante è caratterizzato da un brusco cambio di pendenza, in corrispondenza del passaggio litologico ai depositi marnosi [CPR], che danno luogo ad una superficie topografica debolmente

inclinata. In questa porzione del versante i processi fluviali hanno modellato valli *monoclinali* (CASTIGLIONI, 1989) molto incise, orientate in direzione E-W. L'incisione fluviale al piede del versante, in combinazione con le scarse caratteristiche litotecniche dei terreni affioranti, costituiscono elementi di instabilità che favoriscono l'innescò di fenomeni franosi, sia nella porzione marnosa (colamenti e scorrimenti rotazionali) sia in quella più a monte, costituita dai banchi calcarenitici (crolli).

Il rilievo carbonatico di Monte Barracù occupa l'estremità Sud-occidentale dell'area di studio, e costituisce la porzione più elevata del bacino del Fiume della Mendola. Il *dorso* del rilievo (CASTIGLIONI, 1989) è costituito da una superficie sub-strutturale, con un'inclinazione di circa 15°, coincidente con il tetto degli strati carbonatici affioranti [SPL]; su questa superficie sono impostate alcune valli *cataclinali* (CASTIGLIONI, 1989), disposte in modo parallelo lungo la direzione di massima pendenza. Spostandosi verso valle, l'affioramento delle marne delle Unità Sicane [CPR], determina una netta diminuzione di pendenza; i terreni marnosi, più erodibili, sono maggiormente soggetti ai processi di denudazione, che in quest'area producono movimenti franosi di tipo scorrimento rotazionale e colamento, e forme di dilavamento come rivoli e solchi. Nel settore del bacino situato più valle, dove affiorano i termini argillosi del Flysch Numidico, la rete fluviale, più fitta, è di tipo dendritico. Lungo l'asse idrografico principale si sviluppa, inoltre, una modesta pianura alluvionale che si restringe sensibilmente nel tratto terminale del corso d'acqua.

VALUTAZIONE DELL'EROSIONE PRODotta DAI PROCESSI DI DILAVAMENTO

Nell'ambito della presente ricerca, la valutazione degli effetti prodotti dai processi di dilavamento nel bacino del Fiume della Mendola è stata ottenuta utilizzando due differenti metodologie. Il primo metodo applicato è consistito nel rilevamento, tramite analisi *remote sensing* e verifiche in campagna, delle forme modellate sui versanti dell'area di studio; la seconda metodologia utilizzata, il modello *RUSLE* (RENARD *et al.*, 1997), ha invece consentito di valutare l'erosione prodotta dal dilavamento nel bacino in termini di perdita di suolo media annua.

Rilevamento delle forme di erosione

Nella presente ricerca le morfologie modellate, dai fenomeni di dilavamento, nei versanti del bacino idrografico del Fiume della Mendola, sono state rilevate tramite l'analisi di ortofoto ad elevata risoluzione, tutte relative

all'anno 1992, integrata, laddove si è reso necessario, da controlli di campagna. Le ortofoto sono state analizzate con il software *GIS Arcview 3.2*, sovrapponendo alle immagini, i *layer* delle corrispondenti Carte Tecniche Regionali (C.T.R.; scala 1:10.000); in tal modo è stato possibile accoppiare alla visione bidimensionale delle ortofoto, l'informazione dell'andamento nelle tre dimensioni della superficie topografica.

Le forme riconosciute interessano complessivamente il 26,5% del territorio indagato (Fig. 4). In particolare sono state riconosciute forme modellate dai processi di *rill-interrill erosion* nel 16,8% dell'area, mentre le zone che mostrano gli effetti della *rill erosion* e *gully erosion* e dell'erosione a *calanchi* occupano rispettivamente il 8,7%, 0,7% e il 0,2% della superficie totale (Fig. 5).

Nel bacino indagato, gli effetti dell'erosione areale, sono stati riconosciuti prevalentemente nei settori più alti dei versanti ed in corrispondenza delle aree di displuvio, ovvero delle porzioni dei versanti a profilo convesso. La collocazione preferenziale di questo tipo di forme è dovuta alle condizio-

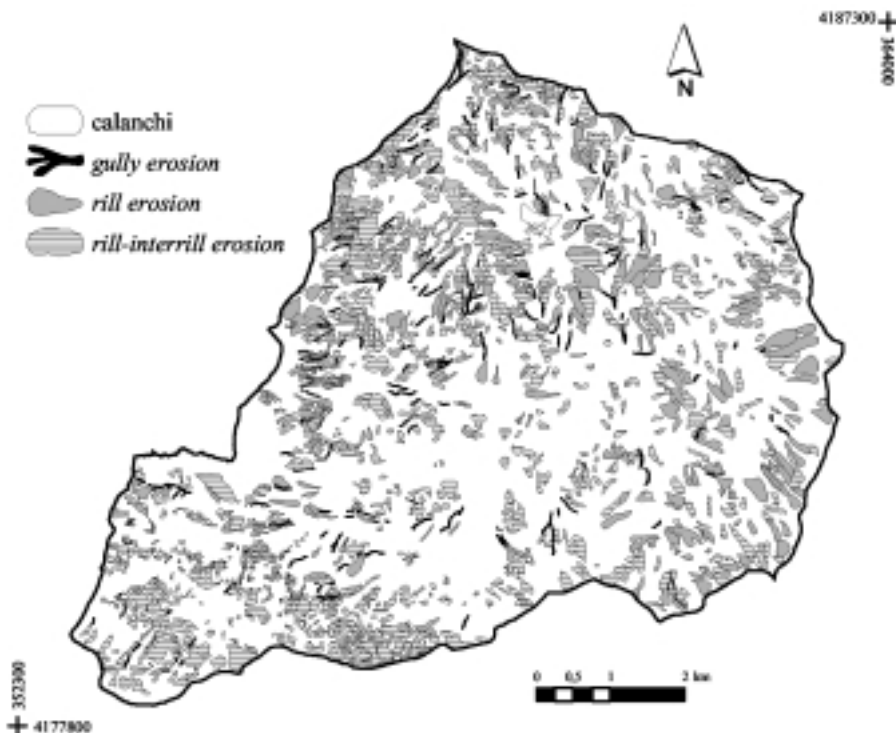


Fig. 4 — Calanchi e forme di erosione modellate dai fenomeni di *rill-interrill*, *rill* e *gully erosion* nel bacino del Fiume della Mendola.

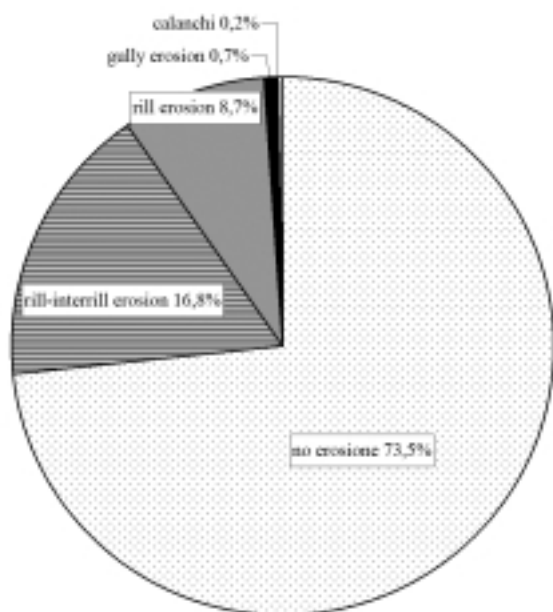


Fig. 5 — Percentuali dell'area di studio interessate da forme di erosione.

ni che controllano lo scorrimento dell'acqua di ruscellamento; la *rill-interrill erosion* si realizza, infatti, dove l'acqua scorre sul versante in modo diffuso, senza seguire allineamenti preferenziali. Tale condizione si configura proprio nelle porzioni sommitali dei versanti e nelle zone subito sotto le linee di displuvio, dove, durante gli eventi meteorici, ha inizio il deflusso dell'acqua in superficie. I volumi d'acqua di ruscellamento in queste aree sono tali da determinare uno scorrimento laminare, ma non sufficienti affinché l'acqua possa organizzarsi seguendo linee preferenziali.

L'organizzazione del ruscellamento in linee di deflusso ben definite, si realizza laddove i volumi dell'acqua sono più consistenti; tale condizione si realizza spesso, a valle delle aree interessate dalla *rill-interrill erosion*, laddove l'acqua di ruscellamento passa da uno scorrimento diffuso ad un deflusso a rivoli. Tale modalità di scorrimento dell'acqua può innescare il fenomeno della *rill erosion*. Gli effetti di questo processo si manifestano con sistemi di piccoli canali che intaccano la vegetazione ed il suolo. Nel bacino del Fiume della Mendola, i sistemi di rivoli sono stati individuati frequentemente nelle porzioni leggermente concave dei versanti; tale configurazione morfologica infatti favorisce la confluenza dell'acqua di scorrimento superficiale, che tende a scorrere seguendo allineamenti preferenziali.

Il fenomeno della *gully erosion* produce solchi che intaccano il substra-

to roccioso, soprattutto laddove quest'ultimo risulta facilmente erodibile. Nel bacino del Fiume della Mendola sono stati rilevati oltre duecento forme classificabili come *gully*; i solchi, spesso isolati, sono stati frequentemente individuati a valle di aree interessate da *rill-interrill* e *rill erosion*, dove i volumi d'acqua di ruscellamento sono tali da produrre tale fenomeno.

Applicazione del modello RUSLE

La *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* è un modello empirico, sviluppato dal *United States Department of Agriculture (USDA)*, che consente di prevedere la perdita di suolo media annua dovuta all'azione erosiva delle precipitazioni meteoriche, che si esplica tramite l'impatto delle gocce d'acqua e il deflusso in superficie. Il modello *RUSLE* (RENARD *et al.*, 1997) costituisce una versione aggiornata e perfezionata del precedente modello *USLE (Universal Soil Loss Equation)*, introdotto da Wischmeier e Smith nel 1965; tale modello rappresentava il prodotto finale di una sperimentazione eseguita, da parte del *USDA*, a partire dagli anni '30 del secolo scorso su migliaia di parcelle sperimentali distribuite nel territorio degli Stati Uniti d'America.

L'applicazione del modello *RUSLE* permette di determinare la perdita di suolo media annua (A), prodotta dai processi di dilavamento nell'arco di un lungo periodo di tempo, in una data porzione di versante, caratterizzata da un determinato tipo di suolo e da un particolare tipo di coltivazione. Essendo stato elaborato sulla base di misure dirette effettuate su parcelle sperimentali, di dimensioni non sufficienti all'innescio dei fenomeni di *gully erosion*, tale modello si limita a stimare il contributo prodotto, in termini di erosione, dalla *rill-interrill* e *rill erosion*. L'entità dell'erosione del suolo si ottiene moltiplicando i valori di sei fattori che esprimono la capacità erosiva delle piogge e del deflusso superficiale prodotto, l'erodibilità del suolo, la lunghezza e la pendenza del versante, l'uso del suolo e le pratiche antropiche antierosive. Le relazioni matematiche tra ogni fattore e la perdita di suolo, sono state ricavate tramite analisi di regressione dei dati sull'erosione, misurati nelle parcelle sperimentali.

Il calcolo del parametro A si ottiene tramite l'applicazione della seguente equazione:

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

dove:

A = "average annual soil loss", è la perdita di suolo media annua;

R = "rainfall-runoff erosivity factor", esprime la capacità erosiva delle precipitazioni e del deflusso prodotto;

K = "soil erodibility factor", esprime l'erodibilità di uno specifico suolo, come perdita di suolo per unità di fattore R , misurata in una parcella di terreno coltivata a maggese lunga 22,1 m, con pendenza uniforme pari a 9%;

- L = “*slope length factor*”, è dato dal rapporto tra la perdita di suolo in un versante di una data lunghezza e la perdita di suolo in un versante con identiche caratteristiche di lunghezza pari a 22,1 m;
- S = “*slope steepness factor*”, è espresso dal rapporto tra la perdita di suolo in un versante con una data pendenza e la perdita di suolo in un versante con identiche caratteristiche, caratterizzato da una pendenza del 9%;
- C = “*cover management factor*”, è dato dal rapporto tra la perdita di suolo in un'area con uno specifico uso del suolo ed un'area uguale coltivata a maggese;
- P = “*support practice factor*”, è calcolato come rapporto tra la perdita di suolo con opportune pratiche di controllo dell'erosione e quella che si ha con una lavorazione secondo le linee di massima pendenza.

Nella ricerca presentata, il modello *RUSLE* è stato applicato suddividendo il bacino di studio in unità territoriali quadrate (celle) di lato 40 m. In ognuna delle 33.926 celle individuate, sono stati calcolati tutti i fattori del metodo e, tramite l'applicazione dell'Eq. (1), è stato possibile ricavare il valore della perdita di suolo media annua (A).

Il calcolo del fattore R è stato effettuato utilizzando un'equazione elaborata da D'ASARO & SANTORO (1983), sulla base di analisi di regressione applicate ai dati raccolti in 42 stazioni pluviografiche siciliane (BASSO, 1995):

$$R = 0,21q^{-01} \left(\frac{P}{NGP} \right)^2 \quad (2)$$

dove q è la quota della stazione pluviometrica (m s.l.m.), P è la piovosità media annua (mm), NGP è il numero medio annuo dei giorni piovosi.

Il valore di R è stato calcolato tramite l'Eq. (2), prendendo in considerazione le stazioni del Servizio Idrografico influenti, secondo il metodo di THIESSEN (1911), nell'area di studio. I valori calcolati sono stati associati quindi ai topoi di influenza delle stazioni, e conseguentemente alle relative celle del bacino, ricadenti nei diversi topoi individuati (Fig. 6a).

Il fattore K , relativo all'erodibilità dei suoli, è stato calcolato sulla base delle informazioni dedotte dalla “Carta dei Suoli della Sicilia” (FIEROTTI, 1988), integrate dalla carta delle litologie affioranti. Il calcolo del fattore K è stato effettuato, nelle 33.926 unità territoriali del bacino, utilizzando un'equazione elaborata da RENARD *et al.* (1997), che tiene conto delle caratteristiche granulometriche dei suoli (Fig. 6b):

$$K = 7,594 \left\{ 0,0034 + 0,0405 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(Dg) + 1,659}{0,7101} \right)^2 \right] \right\} \quad (3)$$

dove Dg esprime il diametro medio (mm) delle particelle di suolo ed è stato calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$Dg = \exp(0,01 \sum f_i \ln m_i) \quad (4)$$

dove f_i è la frazione in percentuale delle classi dimensionali delle particelle e m_i corrisponde alla media aritmetica dei limiti granulometrici delle classi utilizzate, espressi in mm.

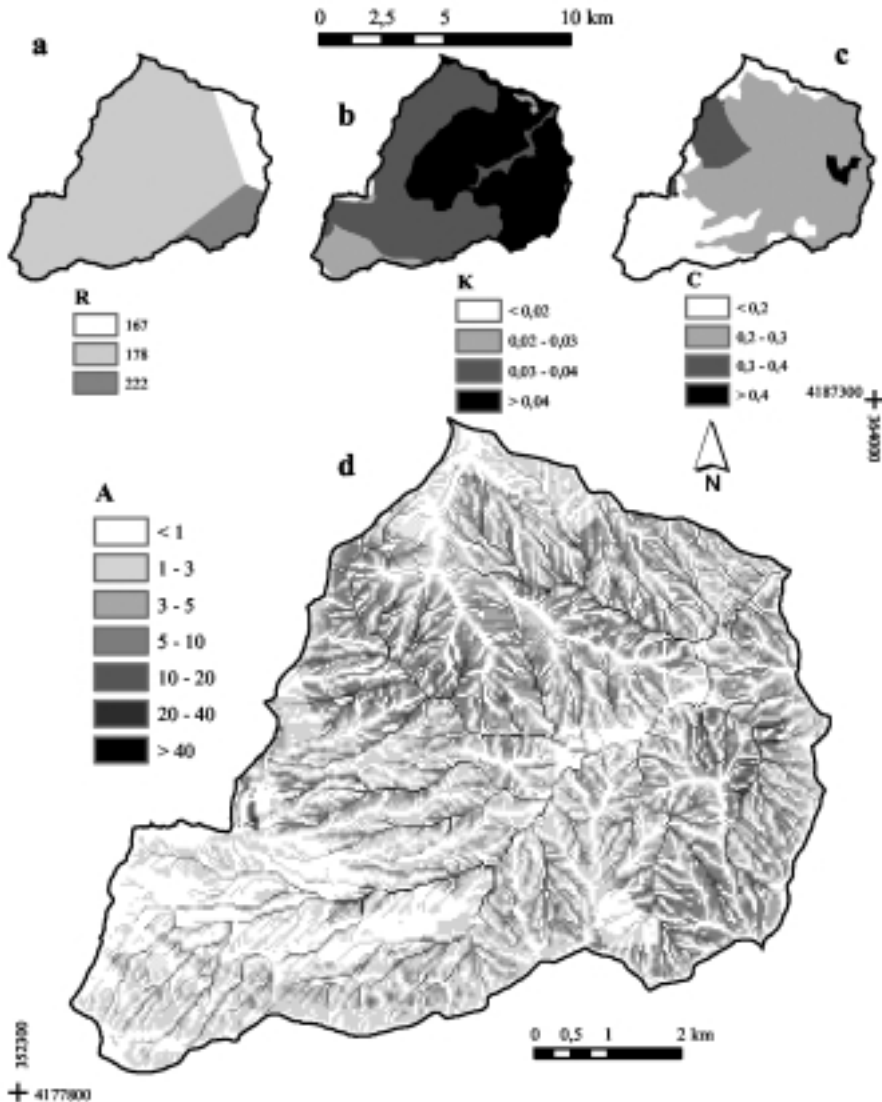


Fig. 6 — a) Fattore R ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ora}^{-1}\cdot\text{anno}^{-1}$); b) fattore K ($\text{t}\cdot\text{ora}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$); c) fattore C (adimensionale); d) perdita di suolo media annua A ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{anno}^{-1}$).

La combinazione dei fattori L (*slope length factor*) e S (*slope steepness factor*) definisce il *topographic factor* LS . Il calcolo di tale fattore è stato effettuato tramite l'utilizzo dell'estensione *Topocrop* (SCHMIDT, 2002) del software *ArcView GIS 3.2*; questo strumento calcola il fattore LS , sulla base dei dati derivati dal modello digitale della superficie topografica, applicando la seguente equazione sviluppata da MOORE & WILSON (1992):

$$LS = \left(\frac{A}{22,13} \right)^{0,4} * 1,4 * \left(\frac{\sin \alpha}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (5)$$

dove A è pari alla superficie della porzione di versante drenata e α ne rappresenta la pendenza.

Il fattore C esprime l'influenza del tipo di uso del suolo sull'entità dell'erosione prodotta dai processi di dilavamento. Le informazioni relative ai tipi di uso del suolo diffusi nell'area di studio, necessarie al calcolo del fattore C , sono state ricavate dalla "Carta dell'Uso del Suolo" pubblicata dall'A.R.T.A. SICILIA (1994).

Il calcolo dei valori del fattore C per ogni cella del bacino studiato (Fig. 6c) è stato effettuato utilizzando la seguente formula sviluppata da ØVERLAND (1990):

$$C = \exp \left(\frac{CNII - 97,5}{10,9} \right) \quad (6)$$

dove $CNII$ è corrispondente al *SCS Runoff Curve Number*, parametro sviluppato dal *United States Department of Agricultural (USDA)* e ricavabile dalla tabella pubblicata da SCHMIDT & SCHULZE (1987) sulla base del tipo di coltivazione presente.

Il fattore P esprime l'influenza delle pratiche antierosive sulla perdita di suolo, assumendo un valore adimensionale compreso tra 0 e 1. A causa dell'assenza, nell'area indagata, di interventi antropici finalizzati alla riduzione degli effetti dell'erosione del suolo, il fattore P è stato considerato pari ad 1 per tutte le celle che costituiscono il bacino di studio.

Ottenuti i valori di ciascuno dei fattori del modello *RUSLE*, l'applicazione dell'Eq. (1) ha consentito di calcolare la perdita di suolo media annua (A), espressa in t/ha, attesa nelle 33.926 celle in cui è stato suddiviso il territorio indagato (Fig. 6d); tale operazione è stata condotta con l'ausilio della funzione *map calculator* di *ArcView GIS 3.2*, che ha permesso di moltiplicare i *layer* dei diversi fattori.

Il valore medio del parametro A calcolato sulle unità territoriali è risultato pari a $3,0116 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{anno}^{-1}$, con una deviazione standard uguale a 4,1038. I risultati del metodo *RUSLE*, indicano che in un anno, mediamente, le 33.926 parcelle quadrate di lato 40 m, in cui è stato suddiviso il bacino, per-

dono 0,48 tonnellate di suolo ad opera dei processi di dilavamento. Il valore di A relativo al bacino indagato è simile a quello calcolato, con la stessa metodologia, da AMORE *et al.* (2004), nella porzione del bacino del Fiume Delia a monte della diga Trinità (Sicilia occidentale), dove il metodo *RUSLE* ha indicato una perdita di suolo pari a $3,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{anno}^{-1}$.

ANALISI DEI DATI

Il rilevamento delle forme di erosione prodotte dal dilavamento, ha evidenziato che oltre $1/4$ del territorio indagato mostra in superficie gli effetti di tali fenomeni; l'elevata densità di forme di erosione nell'area indica che il bacino è soggetto ad intensi fenomeni di erosione. Tale conclusione è confermata dalla stima effettuata applicando il metodo *RUSLE*; la valutazione indiretta ha infatti evidenziato che nel 12% delle unità territoriali in cui è stato suddiviso il bacino è attesa una produzione di sedimenti dovuta ai fenomeni di dilavamento superiore alla tonnellata.

Al fine di verificare la congruenza tra le due diverse metodologie utilizzate, sono stati confrontati i risultati ottenuti indirettamente tramite l'applicazione del modello *RUSLE* e la distribuzione spaziale delle forme di erosione effettivamente presenti nei versanti del bacino.

Un primo confronto è stato prodotto calcolando tramite lo strumento di analisi spaziale *summarize by zones* di *ArcView GIS 3.2*, il valore medio del parametro A , nelle celle ricadenti all'interno delle diverse forme di erosione ed in quelle in cui non sono state rilevate evidenze in superficie del dilavamento (Fig. 7a). L'analisi ha evidenziato una buona congruenza tra i valori del tasso di erosione ricavati indirettamente con il modello *RUSLE* e le forme di erosione rilevate; al crescere dell'intensità delle forme di dilavamento, infatti, cresce anche il valore medio di A calcolato nelle relative celle territoriali. Questo *trend* non è confermato nelle aree interessate da *rill-interrill erosion*, dove il valore di perdita di suolo media annua risulta leggermente inferiore a quello calcolato nelle aree in cui non sono state rilevate forme di erosione.

Un'ulteriore analisi dei dati è stata effettuata verificando le distribuzioni di frequenza delle 7 classi in cui sono stati ordinati i valori del parametro A (Fig. 6d), all'interno delle diverse tipologie di forme di erosione. Tale operazione, realizzata tramite l'utilizzo dello strumento di analisi spaziale *tabulate areas* di *ArcView GIS*, ha consentito di produrre un grafico, in cui sono messe a confronto la distribuzione di frequenza delle classi di A nelle aree dove non sono state riscontrate forme, con quelle calcolate nelle zone interessate dai calanchi e dalle morfologie modellate dai processi di *rill-interrill*, *rill* e *gully erosion* (Fig. 7b). Il grafico evidenzia maggiori frequenze delle classi più alte

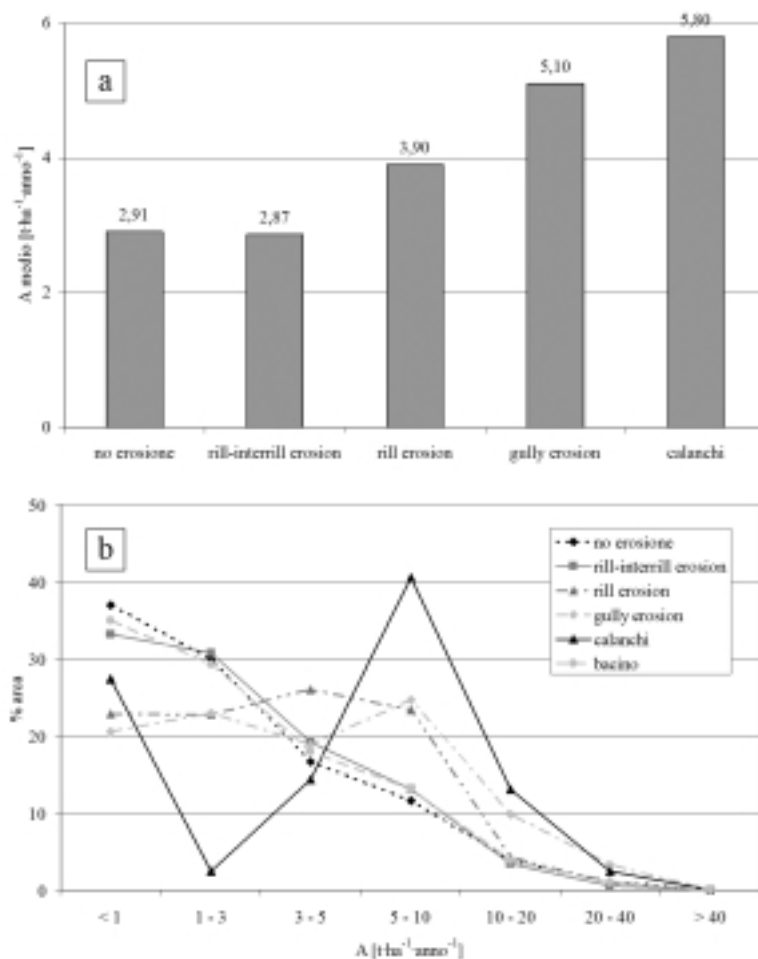


Fig. 7 — a) Valori medi del parametro A calcolati all'interno delle aree che mostrano forme di erosione e nella restante porzione del bacino; b) Distribuzioni di frequenza delle 7 classi in cui sono stati suddivisi i valori del parametro A calcolate all'interno delle aree che mostrano forme di erosione e nella restante porzione del bacino, e nell'intera area di studio.

del parametro A nelle aree interessate da *rill* e *gully erosion* e nei calanchi, rispetto alle restanti porzioni del bacino. Nei calanchi e nelle celle interessate dalla *gully erosion* la massima frequenza si ha in corrispondenza della classe [5-10] di A , mentre nelle aree dove il dilavamento ha prodotto rivoli la maggiore frequenza si ha nella classe [3-5]; al contrario per quel che riguarda le aree dove non sono state evidenziate forme di erosione e quelle interessate da erosione areale la classe del parametro A maggior frequente è la [<1]. Que-

st'ultima osservazione conferma che nelle aree che mostrano evidenze del fenomeno di *rill-interrill erosion*, i valori del parametro *A* non sono sostanzialmente differenti dalle zone dove non sono state rilevate forme, sebbene vi sia, rispetto a queste ultime, un leggero arricchimento in frequenza delle classi medie di perdita di suolo.

CONCLUSIONI

La ricerca presentata ha fornito due differenti valutazioni degli effetti prodotti dai processi di dilavamento nel territorio indagato. Tali risultati sono stati ottenuti, da una parte, rilevando sul territorio le forme modellate dai processi di tipo *rill-interrill*, *rill* e *gully erosion* e le aree a calanchi, dall'altra, applicando il modello *RUSLE*. La prima metodologia ha consentito di conoscere la distribuzione spaziale dei diversi processi di dilavamento, riconoscendo le aree dove questi hanno avuto intensità sufficiente da produrre forme del rilievo. L'applicazione della *Revised Universal Soil Loss Equation* ha invece fornito una stima della perdita di suolo media annua, indotta dai processi di dilavamento, nelle 33.926 unità territoriali in cui è stato suddiviso il bacino. Entrambe le metodologie utilizzate, sebbene profondamente differenti, hanno indicato che il bacino idrografico del Fiume della Mendola è soggetto ad intensi processi di dilavamento. Sebbene il modello *RUSLE* non sia stato elaborato per stimare la perdita di suolo prodotta dalla *gully erosion*, il confronto tra i risultati ottenuti con i due metodi, effettuato calcolando, all'interno delle aree che mostrano forme di erosione e nella restante porzione del bacino, i valori medi del parametro *A* e le distribuzioni di frequenza delle classi dello stesso parametro, ha evidenziato una buona congruenza tra i dati.

Ringraziamenti — Il lavoro è stato effettuato nell'ambito della Ricerca "Analisi e Valutazione dei Processi di Erosione Idrica in Aree Significative della Sicilia e loro Comparazione con Aree Circummediterranee" (responsabile prof. Valerio Agnesi, Università di Palermo), finanziata nei Progetti PRIN-COFIN EroMed 2002 e 2004 (responsabile Nazionale prof. Giuliano Rodolfi, Università di Firenze). La stampa è stata effettuata con fondi PRIN-COFIN EroMed 2004. Si ringrazia il dr. Michael Märker per la lettura critica del testo.

BIBLIOGRAFIA

- A.R.T.A. SICILIA, 1994 — Carta dell'Uso del Suolo (scala 1:250.000). — *Ambiente della Regione Siciliana*.
- AMORE E., MODICA C., NEARING M.A. & SANTORO V.C., 2004 — Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. — *J. Hydrol.*, 293: 100-114.

- BASSO F., 1995 — Difesa del suolo e tutela dell'ambiente. — *Pitagora Ed.*, Bologna.
- CASTIGLIONI G. B., 1989 — Geomorfologia. — *UTET*, Torino.
- CATALANO R. & LO CICERO G., 1998 — La Sicilia Occidentale. — *79° Congresso Nazionale Società Geologica Italiana, Guida alle Escursioni*, Vol. 1, 185 pp..
- CATALANO R. & MONTANARI L., 1979 — Geologia dei monti di Trabia-Termini Imerese e dei Monti Sicani orientali (Fogli Bagheria e Termini Imerese, Sicilia centro settentrionale). — *Acc. Sc. Fis. e Mat. Soc. Naz. Sc. Lett e Arti*, Napoli, IV, 66: 1-27.
- CATALANO R.S., SULLI A., AGATE M., AVELLONE G. & BASILONE L., 2004 — Evoluzione geologica della Sicilia. — *Celebrazioni di G.G. Gemmellaro ad un secolo dalla scomparsa*, 9-12 Novembre 2004, Palermo-Catania, *Guida alle escursioni*: 5-13.
- D'ASARO F. & SANTORO M., 1983 — Aggressività della pioggia nello studio dell'erosione idrica del territorio siciliano. — *Arti grafiche siciliane*, Palermo.
- ESRI, 1999 — ArcView 3.2 User Manuals. — *Environmental System Research Institute*, 380 New York Street, Redlands, CA, 92373 USA.
- FIEROTTI G., 1988 — Carta dei Suoli della Sicilia. — *Ist. di Agronomia, Univ. di Palermo e Regione Sicilia, Assessorato Territorio ed Ambiente*, Palermo.
- KÖPPEN W. (1923) — Die Klimate der Erde; Grundriss der Klimakunde. — *Walter de Gruyter*, Berlin, pp. 369.
- MOORE I.D. & WILSON J.P., 1992 — Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. — *J. Soil Water Conserv.*, 47 (5), S: 423-428.
- ØVERLAND H., 1990 — Einfluss der Landnutzung auf Hochwasserabfluss und Schwebstofftransport. — *Institut für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München, Report 35/1990*.
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., MCCOOL D.K. & YODER D.C., 1997 — Predicting soil erosion by water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). — *USDA Agr. Res. Serv. Handbook n. 703*, 384 pp.
- SCHMIDT E.J. & SCHULZE R.E., 1987 — Flood volume and peak discharge from small catchments in southern Africa, based on SCS technique. — *Water Research Commission, Pretoria, Technology Transfer Report TT/3/87*, pp. 164.
- SCHMIDT F., 2002 — Topocrop Terrain Indices. ArcView script. — Disponibile on-line sul sito web <http://www.esri.com>.
- THIESSEN A.H., 1911 — Precipitation averages for large areas. — *Monthly Weather Rev.*, 39 (7): 1082-1084.

Indirizzo dell'autore — C. CONOSCENTI, Dipartimento di Geologia e Geodesia, C.so Tukory, 131 - 90128 Palermo (I).