



Acutis, Marco; Bullitta, Pietro; Caredda, Salvatore; Cavallero, Andrea; Giordani, Cesare; Grignani, Carlo; Pardini, Andrea; Porqueddu, Claudio; Reyneri, Amedeo; Roggero, Pier Paolo; Sulas, Leonardo; Talamucci, Paolo; Zanchi, Camillo (1994) *Validazione del modello CREAMS nella previsione del ruscellamento superficiale e dell'erosione da colture foraggere*. Rivista di agronomia, Vol. 28 (2), p. 149-159. ISSN 0035-6034.

<http://eprints.uniss.it/4587/>

RIVISTA DI

AGRONOMIA

ANNO XXVIII - N. 2 - APRILE-GIUGNO 1994



Consiglio Direttivo:

LUIGI CAVAZZA - Presidente
LUIGI POSTIGLIONE - Vice Presidente
PIETRO CARUSO - Membro
ANDREA CAVALLERO - Membro
FRANCESCO DANUSO - Segretario tesoriere

© 1994 Edagricole S.p.A.

Direzione: Dipartimento di Agronomia e Produzione erbacee dell'Università di Firenze - Piazzale delle Cascine, 18 - 50144 Firenze - Redazione, Pubblicità, Abbonamenti, Amministrazione: Via Emilia Levante, 31 - 40139 Bologna - Tel. 051/49.22.11 (15 linee) - Telegrammi e Telex: EDAGRI 51036 Telefax (051) 493660. Cas. Post. 2157-40139 Bologna - Ufficio di Milano: 20133 - Via Bronzino, 14 - Tel. 02/29.522.864 - Ufficio di Roma: 00187 - Via Boncompagni, 73 - Tel. 06/488.10.98-488.12.22.

Direttore responsabile: Prof. Paolo Talamucci - Reg. Tribunale di Bologna n. 3236 del 12-12-1966 - In questo numero la pubblicità non supera il 50%. Abbonamenti e prezzi Italia (c/c postale 366401): Abbonamento annuo L. 58.000 - Un numero L. 15.000 - Arretrati e numeri doppi L. 30.000 - Anzate arretrate L. 85.000 - Estero: Abbonamento annuo L. 73.000 - Con spedizione via aerea L. 100.000 - Rinnovo abbonamenti Italia: Attendere l'avviso che l'Editore farà pervenire un mese prima della scadenza. Per Enti e Ditte che ne facciano richiesta l'avviso verrà inoltrato tramite preventivo Iva assolta alla fonte dall'Editore ai sensi dell'art. 74, 1 comma, lett. c, D.P.R. 26.10.1972 n. 633 e successive modificazioni ed integrazioni. La ricevuta di pagamento del conto corrente postale è documento idoneo e sufficiente ad ogni effetto contabile.

Tutti i diritti sono riservati: nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata o trasmessa in nessun modo o forma, sia essa elettronica, elettrostatica, fotocopia, ciclostile, senza il permesso scritto dell'Editore.

Questo giornale è associato alla



Stampa: Stabilimento Tipografico «Pliniana»
Selci-Lama (PG)

A cura della Società Italiana di Agronomia
col Contributo finanziario del Consiglio Nazionale delle Ricerche

Comitato scientifico e direttivo:

ENRICO BONARI	ATTILIO LOVATO
ANGELO CALIANDRO	MARIO MONOTTI
ANDREA CAVALLERO	PAOLO PARRINI
GINO COVARELLI	FERDINANDO PIMPINI
MAURO DEIDDA	GIUSEPPE RESTUCCIA
LUIGI GIARDINI	GIOVANNI TODERI
GIUSEPPE LA MALFA	GIANPIETRO VENTURI
RENZO LANDI	GIUSEPPE ZERBI
FRANCO LORENZETTI	

Direttore responsabile: PAOLO TALAMUCCI

Segretario di redazione: ROBERTO ANDERLINI

SOMMARIO

- 79 Effetto del prato di erba medica (*Medicago sativa* L.) e della concimazione minerale e organica sulle colture avvicendate di girasole (*Helianthus annuus* L.) e frumento tenero (*Triticum aestivum* L.)
Enio Campiglia e Fabio Caporali
- 87 Confronto tra gessatura e calcitazione nella correzione di un suolo acido e sulla produttività di un ecotipo di erba medica (*Medicago sativa* L.)
Enrico Raso, Giovanna Pazzi e Luciano Zoppi
- 96 Effetto dell'etilene sulla dormienza imposta da alcuni fattori ambientali sui semi di *Datura stramonium* (L.)
Stefano Benvenuti e Mario Macchia
- 102 Influenza dell'irrigazione sulla produzione del frumento duro (*Triticum durum* Desf.) in ambiente siccitoso
Giuseppe Sorrentino, Michele De Ninno, Giuseppe Maurantonio, Giovanni Paoletta, Pasquale Codianni e Orazio Li Destri Nicosia
- 109 Valutazione bio-agronomica di varietà di orzo (*Hordeum* spp.) in ambiente collinare della Basilicata
Antonio Sergio De Franchi, Piergiorgio Gherbin, Salvatore Fortunato Graziano e Massimo Monteleone
- 116 Analisi di crescita ed efficienza dell'uso dell'acqua di una varietà di soia (*Glycine max* (L.) Merr.) sottoposta a regimi irrigui diversi
Fabrizio Quaglietta Chiarandà, Riccardo d'Andria e Mauro Mori
- 130 Osservazioni sulla nodulazione e l'attività acetilen-riduttasica in soia (*Glycine max* L. Merr.) in semina normale e ritardata
Luca Marchiol e Fabiano Miceli
- 135 Accrescimento e produzione di cavolo broccolo (*Brassica oleracea* L. var. Italica Plenck) in una successione orticola. Effetti dell'azoto e dei diserbanti
Pietro Santamaria, Antonio Elia e Giulia Conversa
- 142 Effetto dello stress idrico sulla produzione del cavolo broccolo (*Brassica oleracea* L. var. Italica Plenck)
Pietro Rubino, Egidio De Palma e Nicola Montemurro
- 149 Validazione del modello CREAMS nella previsione del ruscellamento superficiale e dell'erosione da colture foraggere
Marco Acutis, Pietro Bullitta, Salvatore Caredda, Andrea Cavallero, Cesare Giordani, Carlo Grignani, Andrea Pardini, Claudio Porqueddu, Amedeo Reyneri, Pier Paolo Roggero, Leonardo Sulas, Paolo Talamucci e Camillo Zanchi
- 160 In ricordo di Enrico Moschini
Franco Tognoni

Validazione del modello CREAMS nella previsione del ruscellamento superficiale e dell'erosione da colture foraggere ⁽¹⁾

Marco Acutis, Pietro Bullitta, Salvatore Caredda, Andrea Cavallero, Cesare Giordani, Carlo Grignani, Andrea Pardini, Claudio Porqueddu, Amedeo Reyneri, Pier Paolo Roggero, Leonardo Sulas, Paolo Talamucci e Camillo Zanchi ⁽²⁾

Riassunto

Sulla base di 298 eventi di ruscellamento superficiale e di erosione, rilevati per periodi variabili da 1 a 3 anni e in 3 ambienti in appezzamenti di normale utilizzazione agricola e appositamente attrezzati, si è proceduto alla validazione e alla calibrazione dei sottomodelli atti a prevedere i deflussi superficiali e le perdite di suolo del modello CREAMS. Sugli appezzamenti sperimentali erano presenti colture foraggere perenni, prati avvicendati ed erbai.

Per la stima del ruscellamento sono state considerate l'opzione basata sul metodo «Curve Number» e quella che stima l'andamento temporale dell'acqua nel suolo e delle precipitazioni nel corso dell'evento (metodo «infiltration-kinematic wave-IK»).

La previsione dei deflussi con il modello CREAMS, fatta utilizzando il metodo «Curve Number» ha fornito risultati del tutto inattendibili in 2 dei 3 ambienti. Utilizzando invece il metodo IK, e dopo adattamento dei valori di permeabilità in terreno saturo e tensione al fronte di inumidimento, le previsioni sono risultate di buona qualità, con l'eccezione dei deflussi di piccola entità (minori di 5 mm) che non vengono predetti correttamente. La previsione degli asporti di suolo, appena sufficiente per i singoli eventi, è abbastanza attendibile su base annuale. Questa è stata ottenuta ricalibrando su base empirica i valori di K (fattore di erodibilità del suolo), C («soil loss ratio») e dell'«n» di Manning. Tale ricalibrazione potrebbe consentire un'applicazione del modello anche su scala territoriale.

Parole chiave: modelli di simulazione, ruscellamento, erosione.

Summary

VALIDATION OF CREAM MODEL TO FORECAST SURFACE RUNOFF AND EROSION FROM FORAGE CROPS

During the period 1990-92 on 3 environment, 298 events of runoff and soil erosion were measured and used to validate the CREAMS model and to calibrate some modules for predicting runoff and soil loss.

Data were collected in normally cropped field equipped with suitable device and cultivated with different forage crops (corn, lucerne, temporary meadow, permanent pasture).

For predicting runoff data were calculated with 2 options: a) the SCS «Curve Number» method, and b) kinematics of soil infiltration and rainfall during the event.

Option a) gave unreliable results in 2/3 of sites. On the other hand, using rainfall intensities measured at short time intervals and the Green and Ampt infiltration pattern (option b), after adapting values of effective saturated conductivity and head across the wetting front, forecast was good, except for small runoff less than 5 mm, which are predicted uncorrectly.

Soil loss forecast, even if not excellent for single events, is altogether quite reliable, particularly if K (Soil erodibility factor), C-values (soil loss ratio) and Manning's coefficient were recalibrated. The use of the model on a regional scale could be possible only after recalibration.

Key words: simulation models, surface runoff, erosion.

⁽¹⁾ Lavoro eseguito con un contributo CNR, nell'ambito del PF RAISA, sottoprogetto 1. Pubblicazione CNR PF RAISA n. 1411 e con un contributo del programma CEE CAMAR n. 8001-CT91-0103. Coordinatore della UR Prof. Andrea Cavallero.

⁽²⁾ Rispettivamente del Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del territorio dell'Università di Torino il primo, quarto, sesto e nono Autore; del Centro di studio sul miglioramento della produttività dei pascoli, CNR, Sassari il secondo, terzo, ottavo e undicesimo Autore; dell'Istituto Agronomico per l'Oltremare, Firenze il quinto Autore; del Dipartimento di Agronomia e produzioni erbacee dell'Università di Firenze il settimo, dodicesimo e tredicesimo Autore; del Dip. Biotecnologie agrarie e Ambientali dell'Università di Ancona il decimo Autore.

Il lavoro è da attribuirsi in parti uguali ai diversi Autori per le rispettive località. M. Acutis ha curato inoltre l'elaborazione collegiale dei dati.

Introduzione

La quantificazione dell'impatto ambientale dei sistemi colturali può avvenire solamente integrando l'analisi specialistica dei singoli processi con quella globale dei flussi nel sistema. Questo approccio permette di formalizzare le conoscenze in modelli matematici in grado di interpretare la dinamica del funzionamento del sistema stesso a partire dai parametri che lo caratterizzano.

L'applicazione di modelli matematici affidabili consente di prevedere la dinamica dei flussi in casi non oggetto di verifica sperimentale e conseguentemente di ottenere valutazioni su scala territoriale.

Una maggiore affidabilità dei modelli può essere ottenuta applicandoli in situazioni reali e controllate; ciò consente la ricalibrazione dei parametri di origine empirica in differenti situazioni colturali e ambientali.

Allo stato attuale i principali modelli completi e ampiamente utilizzati sono CREAMS (Knisel, 1980), GLEAMS (Leonard *et al.*, 1986) e EPIC (Lafren *et al.*, 1984). Altri modelli, pur stimando parametri di impatto ambientale, si limitano allo studio di alcuni aspetti del sistema. Ricordiamo WEPP (Foster, 1987; Lane e Nearing, 1989) e KINEROS (Woolhiser *et al.*, 1990) per gli aspetti di ruscellamento ed erosione, il modello di Lafolie (Lafolie, 1991) e DAISY (Hansen, 1991) per la dinamica dell'Azoto, il modello SALUS (Ritchie, 1993 com. pers.) orientato a valutazioni di impatto ambientale e BIDRICO (Danuso e Giovanardi, 1991) destinato al calcolo del bilancio idrico delle colture.

Scopo di questo lavoro è quello di validare e calibrare il modello CREAMS per la determinazione del ruscellamento e delle perdite di suolo in colture foraggere. Queste informazioni, integrate con quelle relative ai rilasci di nutrienti e fitofarmaci, consentiranno, in un secondo tempo, l'analisi dell'impatto ambientale di più complessi sistemi foraggeri a diverso livello di intensificazione.

È stato scelto il modello CREAMS poiché risulta oggetto di più ampie validazioni (Lane e Ferreira, 1980; Bingner *et al.*, 1992; Cooper *et al.*, 1992). Esso fornisce risultati di sicuro interesse ed è l'unico modello di simulazione continua che prevede, nella sezione idrologica, la modellizzazione del ruscellamento su base fisica. Inoltre, è direttamente interfacciabile al modello GLEAMS, più evoluto nei riguardi della dinamica dei nutrienti e dei fitofarmaci.

Materiali e metodi

Per la calibrazione e la validazione del modello CREAMS sono stati utilizzati una serie di 298 eventi piovosi che hanno determinato ruscellamento, registrati nel triennio 1990-92 in 3 località su 4 differenti terreni e con diverse coperture vegetali.

Le località considerate sono state Carmagnola (TO), nella Pianura Padana occidentale, Borgo S. Lorenzo (FI) nella conca interappenninica toscana e Sassari (SS) nella zona collinare della Sardegna nord-occidentale. In figura 1 sono riportati i climodiagrammi dei siti sperimentali, e in tabella 1 sono riassunte le principali caratteristiche dell'andamento pluviometrico degli stessi durante il periodo di rilevamento.

I dati di ruscellamento sono stati raccolti da appezzamenti coltivati a mais ed erba medica nella Pianura Padana occidentale, a erba medica e a pascolo permanente nella collina toscana, a erbaio bifita di loglio rigido e trifoglio alessandrino, a pascolo e, quale testimone, terreno nudo periodicamente lavorato nell'area collinare sarda.

Le tipologie di suolo esaminate coprono una gamma di tessitura variabile da franco-sabbiosa a franco-argillosa (tab. 2), con caratteristiche idrologiche assai differenziate in termini di acqua disponibile e conducibilità idraulica in saturazione (tab. 3).

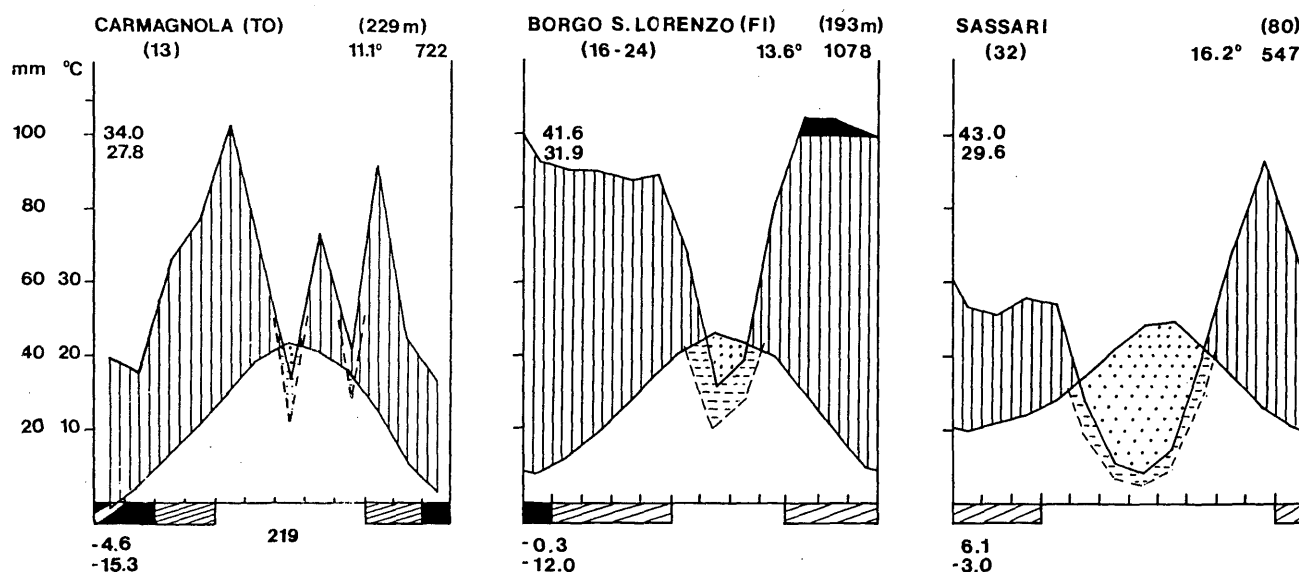


Fig. 1 - Climodiagrammi di Walter e Lieth dei siti sperimentali.

Fig. 1 - Walter and Lieth climodiagrams of the experimental fields.

TABELLA 1 - *Principali caratteristiche dell'andamento pluviometrico dei siti sperimentali.*

TABLE 1 - Main characteristics of rainfall of the experimental sites.

Località	Anno	Totale annuo mm	Giorni piovosi n.	Eventi > 12,5 mm n.	Intensità max su 60' mm
Carmagnola (TO)	1990	640	56	14	35,2
	1991	760	52	21	28,9
	1992	759	68	17	29,6
Borgo S. Lorenzo (FI)	1992	1165	83	24	29,4
Ottava (SS)	1990	590	80	11	20,0
	1991	715	88	14	17,2

TABELLA 2 - *Granulometria e classificazione dei terreni dei siti sperimentali.*

TABLE 2 - Soil texture and classification of the experimental fields.

Località	Scheletro > 2 mm	Sabbia 2-0,05 mm	Limo 0,05-0,002 mm	Argilla < 0,002	Sostanza organica (%)	Classificazione USDA	Tipo
Carmagnola (TO)							
- terreno franco-sabbioso	assente	68,7	26,8	4,5	1,6	Franco-sabbioso	Typic udifluvents
- terreno franco	assente	50,8	33,2	16,0	1,2	Franco	Typic dystrochrepts
Borgo San Lorenzo (FI)	29,6	28,7	36,0	35,3	0,8	Franco-argilloso	Eutric regosols
Ottava (SS)	10,8	64,0	26,4	9,6	5,2	Franco-sabbioso	Calcic xerochrepts

TABELLA 3 - *Caratteristiche idrologiche dei terreni dei siti sperimentali (1).*

TABLE 3 - Main hydrological characteristics of the soils of the experimental fields.

Località	Capacità di campo % peso	Punto appassimento % peso	Densità apparente	Conducibilità in saturazione K_s mm h ⁻¹
Carmagnola (TO)				
- terreno franco sabbioso	20,3	5,2	1,25	9,0
- terreno franco	17,6	7,5	1,39	6,0
Borgo San Lorenzo (FI)	35,8	12,1	1,20	0,1
Ottava (SS)	19,6	11,0	1,25	15,0

(1) Media di due rilevazioni per anno.

Descrizione degli impianti

I complessi sperimentali realizzati a Carmagnola e Borgo S. Lorenzo sono idonei all'acquisizione di parametri d'impatto ambientale su scala reale e alla validazione dei modelli. Essi sono costituiti da appezzamenti idraulicamente isolati, di dimensioni sufficienti per utilizzare le attrezzature della corrente pratica agricola, con superficie compresa tra 480 e 1125 m², pendenze trasversali nulle e longitudinali comprese tra 0,5 e 10%. Il volume di acqua ruscellata è stato misurato mediante stramazzi triangolari a norme ISO (1438/1, 1980), attrezzati con idrometrografi a galleggiante ad asta rigida. Una più dettagliata descrizione delle tecniche di misurazione del ruscellamento è reperibile in Acutis *et al.* (1992 a). La torbida è stata determinata prelevando l'acqua di ruscellamento immediatamente a valle della

canaletta di raccolta con campionatori automatici Bulher (PB MOS), che non effettuano alcuna filtrazione del liquido prelevato. Il campionamento è stato effettuato su base oraria (con 6 sottocampioni) (Acutis *et al.*, 1992 b).

A Ottava si è operato su parcelle di 100 m², con pendenza longitudinale del 30%; per la minore superficie della parcella, si è provveduto alla raccolta completa dell'acqua ruscellata e del suolo eroso.

La piovosità è stata rilevata in prossimità dei siti sperimentali con pluviografi di precisione con risoluzione variabile da 5' a 20'.

Il modello CREAMS

Il modello CREAMS si compone di quattro sottomodelli: idrologia, erosione, nutrienti e pesticidi. In

questo lavoro vengono presi in considerazione i primi due.

a) Sottomodello idrologico

Esso simula il ruscellamento superficiale, la percolazione, l'andamento dell'umidità del suolo, l'evapotraspirazione e l'eventuale presenza e scioglimento della neve.

Per la stima del ruscellamento il modello offre due opzioni, una basata sul metodo del «Curve Number» (CN), messo a punto negli Stati Uniti dal Soil Conservation Service (SCS) e l'altra (metodo «Infiltration - kinematics wave, IK») che stima il ruscellamento come differenza tra l'entità dell'afflusso meteorico e quella dell'infiltrazione corrispondente, che viene simulata secondo lo schema di Green e Ampt (1911, in Knisel e Nicks, 1980).

Il metodo CN fa dipendere il ruscellamento dalle altezze giornaliere di precipitazione e da un parametro empirico tabulato, («Curve Number»), dipendente da semplici caratteristiche descrittive della copertura vegetale e dell'idrologia del terreno. Tale valore dipenderà quindi dall'umidità del terreno prima dell'evento (stimata dal modello stesso) e dalla sua permeabilità, variabile secondo la tipologia e la gestione colturale. L'entità del ruscellamento previsto risulta così estremamente sensibile alle variazioni del parametro CN; inoltre le tabelle disponibili non presentano riferimenti puntuali alle molteplici modalità di uso dei suoli nei nostri ambienti (D'Asaro e Sommella, 1992) e il metodo apparirebbe poco rispondente in quelle situazioni caratterizzate da deflussi ridotti (Lane e Ferreira, l.c.). Il metodo CN non fornisce informazioni né sull'andamento temporale delle portate di deflusso né su quella di picco, indispensabile per la valutazione della capacità erosiva del deflusso. Per la stima della portata al colmo viene pertanto utilizzata una relazione empirica tra l'altezza totale di ruscellamento e il deflusso di picco.

La seconda opzione (IK) ricostruisce l'andamento temporale dell'infiltrazione dell'acqua nel terreno secondo il modello di Green e Ampt. Tale modello assimila il terreno a un fascio di capillari di diametro omogeneo e suppone un avanzamento a pistone del fronte di inumidimento, sottoposto a una tensione costante per l'intera durata del processo (Hillel, 1980). Da questi presupposti la conducibilità del terreno saturo è rappresentata dalla seguente equazione:

$$K_s = \frac{\left[F - \Phi H_c (S_0 - S_i) \ln \left(1 + \frac{F}{\Phi H_c (S_0 - S_i)} \right) \right]}{t}$$

K_s = conducibilità idraulica alla saturazione (mm h^{-1})

t = tempo dall'inizio del ruscellamento (h)

F = infiltrazione cumulata (mm)

Φ = porosità (volume pori volume totale $^{-1}$)

H_c = tensione al fronte di inumidimento (mm)

S_0 = grado di saturazione massima (volume acqua volume pori $^{-1}$)

S_i = grado di saturazione iniziale (volume acqua volume pori $^{-1}$)

Dall'equazione è calcolabile, oltre all'andamento dell'infiltrazione, anche il tempo che intercorre tra l'inizio della pioggia e l'inizio del ruscellamento. I dati

richiesti dall'equazione sono ottenibili mediante misure delle costanti idrologiche del terreno e attraverso infiltrometrie. Il modello di Green e Ampt fa preciso riferimento a processi fisici, e la qualità delle predizioni del ruscellamento è decisamente superiore a quella ottenibile con il metodo del «Curve Number»; il modello pare stimare correttamente anche deflussi di modesta entità (Lane e Ferreira, l.c.). La stima delle intensità di picco avviene utilizzando il modello dell'onda cinematica. Questo modello deriva dalle equazioni generali del flusso d'acqua di Saint-Venant, assumendo trascurabile il gradiente di altezza della lama d'acqua sul terreno (Bassett *et al.*, 1981). La portata di deflusso al colmo risulta dipendere, oltre che dai parametri idrologici e di infiltrazione, anche dalla rugosità delle superfici (« n » di Manning).

Anche allo scopo di simulare l'umidità del suolo il modello computa l'evaporazione reale e la percolazione.

Per entrambe le opzioni l'evapotraspirazione è calcolata su base giornaliera, seguendo una procedura proposta da Ritchie (1972).

La percolazione viene prevista ogni qualvolta l'umidità dello strato inferiore del terreno supera la capacità di campo. Le perdite per evapotraspirazione vengono attribuite alle diverse profondità, in funzione dell'apparato radicale, il cui sviluppo è simulato mediante un sottomodulo semplificato. I movimenti dell'acqua nel suolo vengono simulati applicando la legge di Darcy, con approccio semplificato per il calcolo del coefficiente di conducibilità idrica.

b) Sottomodulo erosione

Per quanto riguarda la stima dell'erosione, il modello impiega una procedura ispirata alla Universal Soil Loss Equation (USLE) di Wischmeier e Smith (1978), opportunamente adattata per funzionare su singoli eventi piovosi. La modifica principale consiste nello stimare separatamente il distacco delle particelle e il loro trasporto. Il distacco è calcolato secondo la proposta di Foster *et al.* (1980) utilizzando i fattori K (erodibilità del suolo) e C (fattore collegato alla gestione della copertura del suolo) tabulati a seguito di sperimentazioni del SCS. Il trasporto è calcolato con l'equazione di Yalin, modificata da Foster e Meyer (1972) per considerare i diversi diametri delle particelle in sospensione. Anche in questo caso alcuni limiti per il nostro ambiente sono dati dalla mancanza di indicazioni per alcune tipologie colturali. Il modello è previsto per la simulazione dell'erosione dovuta allo scorrimento superficiale (sia nei «rill», sia negli «interrill») e al passaggio dell'acqua nelle scoline e per la stima dei depositi di materiali in bacini di raccolta dell'acqua. Il modello può essere applicato anche a situazioni complesse dovute a diverse pendenze e a mutevoli situazioni di erosività potenziale che si determinano durante i cicli colturali.

Risultati e discussione

Dati di deflusso e erosione impiegati per la validazione

Considerando i 298 eventi piovosi che hanno dato origine a ruscellamento, emerge che nel 78% dei casi l'altezza del deflusso è risultata inferiore a 2 mm, nel

17% dei casi essa è risultata compresa tra 2 e 20 mm e nel 5% dei casi è stata superiore.

I deflussi misurati, suddivisi per ambiente, anno e coltura e ordinati secondo il volume annualmente ruscellato, sono riassunti nella tabella 4.

Dall'analisi della tabella si evince che, mentre l'altezza annua di ruscellato è stata estremamente variabile, passando da 126,7 mm a Borgo S. Lorenzo a 3,9 mm a Ottava, i coefficienti di deflusso sono stati caratterizzati da variabilità più contenuta, non superando mai il 12,6%. Il deflusso è stato nella maggior parte dei casi da attribuirsi a 2 o 3 eventi di elevata intensità: infatti, con l'eccezione di Ottava, il ruscellamento dato dall'evento con deflusso massimo ha sempre rappresentato più del 25% del ruscellamento annuo. A Carmagnola e a Ottava, dove è possibile il confronto, si evidenzia che le colture prative, avvicendate o pluriennali, hanno esercitato una riduzione del ruscellamento annuo dal 25% al 71%, rispetto alle colture che prevedono frequenti lavorazioni del suolo. A Carmagnola, il confronto tra 2 tipi di terreno, ha messo in luce ruscellamenti in media di 1,9 volte superiori dal terreno a tessitura più fine (Acutis *et al.*, 1992 a).

In tabella 5 sono riportati i dati relativi agli asporti di suolo ordinati in relazione all'entità dell'erosione annuale. Complessivamente le perdite di suolo sono state registrate in 208 eventi; di questi, nel 27% dei casi, gli asporti sono risultati superiori a 100 kg ha⁻¹ per evento.

In tutti gli appezzamenti in cui erano presenti colture poliennali, anche in quelli con elevate pendenze (Ottava) o dove siano stati registrati forti deflussi (Borgo S. Lorenzo) le quantità di terreno asportato sono state modeste, non superando mai le 0,55 t ha⁻¹

anno⁻¹. Le colture foraggere annuali hanno confermato di dare luogo a più rilevanti erosioni, da 1,4 (Carmagnola, terreno franco, confronto mais-erba medica) a 10 volte superiori (Ottava, confronto pascolo-erbaio) rispetto a quelle misurate per le colture poliennali. A Ottava il terreno sempre lavorato ha presentato erosione 69 volte superiore rispetto al terreno adibito a pascolo.

Validazione del sottomodulo idrologico

I deflussi calcolati con il metodo CN non sono stati stimati in misura sufficientemente attendibile. In figura 2 si evidenzia che, dagli appezzamenti sperimentali di Carmagnola e di Ottava, la correlazione tra il volume misurato e quello calcolato dal modello per i singoli eventi è risultata assai modesta e le rette di regressione calcolate entro località differiscono nettamente. Il metodo CN ha frequentemente predetto ruscellamento elevato in assenza di deflusso e in altri casi ha stimato deflussi modesti per eventi a questo riguardo assai significativi. Inoltre questo metodo non stima correttamente il deflusso di eventi con precipitazioni contenute, per le quali il ruscellamento è principalmente influenzato dalla dinamica della piovosità più che dall'altezza della precipitazione (come verificato a Carmagnola da Acutis *et al.* 1992 a), sebbene il metodo stesso sia stato perfezionato nella implementazione del CREAMS.

Sempre nelle due località citate non ha sortito risultato alcuno ogni tentativo di ricalibrazione del modello, sia variando il valore prescelto di «curve number», sia modificando il valore di conducibilità idraulica alla saturazione.

TABELLA 4 - Caratteristiche dei deflussi misurati suddivisi per ambiente, anno e coltura.

TABLE 4 - Characteristics of the measured runoff by site, year and crop.

Località	Anno	Occupazione terreno	Ruscellamento mm anno ⁻¹	Coefficiente di deflusso % anno ⁻¹	Eventi di ruscellamento n. anno ⁻¹	Massimo ruscellamento mm evento ⁻¹	Massimo coefficiente di deflusso % evento ⁻¹
Borgo S. Lorenzo	1992	pascolo	126,7	10,9	16	66,3	78,1
Carmagnola - ter. franco	1992	mais	93,4	12,3	12	23,9	52,9
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1992	mais	81,5	10,7	15	22,9	42,5
Carmagnola - ter. franco	1991	mais e erba medica	80,9	12,6	12	39,6	43,1
Carmagnola - ter. franco	1990	mais	69,8	12,0	11	27,6	53,8
Carmagnola - ter. franco	1991	mais	66,1	10,3	14	20,1	21,9
Carmagnola - ter. franco	1990	mais	64,8	11,1	10	27,1	52,7
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1992	erba medica	61,0	8,0	16	15,3	48,9
Carmagnola - ter. franco	1992	erba medica	55,4	7,3	11	17,4	47,7
Borgo S. Lorenzo	1992	erba medica	54,1	4,6	9	30,4	35,9
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1991	mais	28,7	4,5	10	18,2	19,8
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1990	mais	23,0	3,9	8	6,6	30,9
Ottava	1990	sempre lavorato	19,8	3,4	24	3,9	39,4
Ottava	1990	erbaio	15,4	2,6	24	2,8	21,5
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1990	mais	15,1	2,6	9	6,1	29,1
Ottava	1991	erbaio	14,6	2,1	21	3,4	13,4
Ottava	1991	sempre lavorato	12,4	1,7	21	2,7	11,2
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1991	mais	12,0	1,9	10	9,1	9,9
Ottava	1991	pascolo	4,2	0,6	21	0,6	3,4
Ottava	1990	pascolo	3,9	0,7	24	0,4	3,2
Totale					298		

TABELLA 5 - Erosione misurata suddivisa per ambiente, anno e coltura.

TABLE 5 - Characteristics of the measured soil erosion by site, year and crop.

Località:	Anno	Occupazione terreno	Perdita di suolo kg ha ⁻¹ anno ⁻¹	Eventi con erosione > 100 kg ha ⁻¹ n.	Massima erosione kg ha ⁻¹ evento ⁻¹
Ottava	1991	sempre lavorato	5140	11	719
Ottava	1990	sempre lavorato	3894	11	1053
Ottava	1990	erbaio	3410	10	818
Ottava	1991	erbaio	2178	6	300
Carmagnola - ter. franco	1992	mais	765	4	267
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1992	mais	719	4	185
Carmagnola - ter. franco	1991	mais e erba medica	674	1	574
Carmagnola - ter. franco	1990	mais	669	1	311
Carmagnola - ter. franco	1990	mais	629	1	332
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1991	mais e erba medica	625	1	282
Ottava	1990	pascolo	545	0	74
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1990	mais	455	1	278
Borgo S. Lorenzo	1992	medica	433	2	241
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1990	mais	413	1	214
Carmagnola - ter. franco	1991	mais	293	1	203
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1991	mais	289	1	257
Carmagnola - ter. franco	1992	medica	146	0	35
Borgo S. Lorenzo	1992	pascolo	127	1	110
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1992	medica	112	0	31
Ottava	1991	pascolo	74	0	10

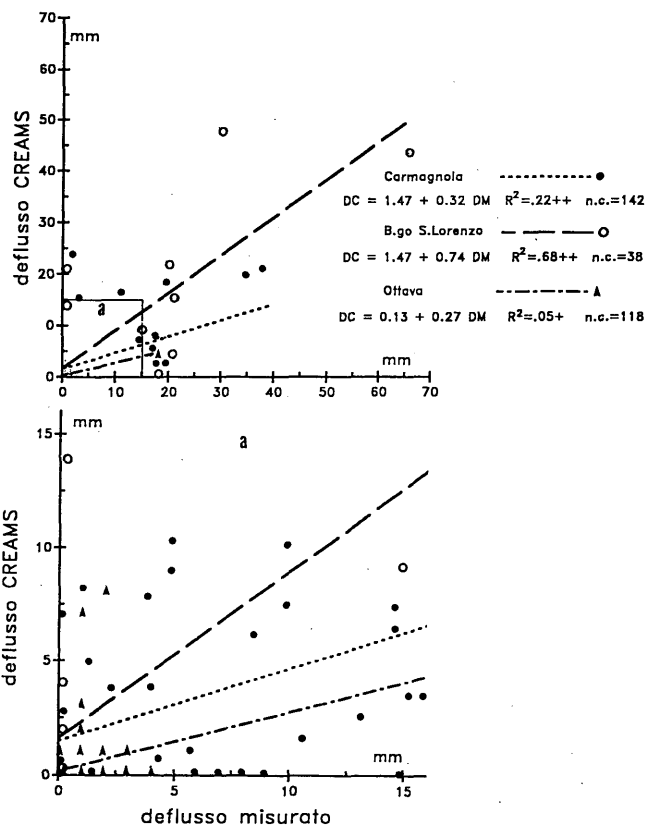


Fig. 2 - Confronto tra il ruscellamento misurato (DM) e quello calcolato (DC) con il metodo CN del modello. Il riquadro a è ripreso ingrandito nella parte inferiore della figura (+ = P < 0,05; ++ = P < 0,01; n.c. = coppie di dati. Molti punti del grafico risultano sovrapposti).

Fig. 2 - Runoff: comparison between measured (DM) and calculated data by the Curve Number method (DC) of the model. The square a is re-drawn enlarged in the bottomside of the figure (+ = P < .05; ++ = P < .01; n.c. = data pairs. Many points are overlapped).

Nell'ambiente toscano invece, per quanto si abbiano verifiche limitate a 38 eventi con precipitazioni assai più elevate e permeabilità del suolo molto basse, sono state ottenute previsioni accettabili. In questo ambiente il valore del coefficiente CN proposto originariamente dal modello pare ottimale.

Utilizzando l'opzione che prevede l'impiego di dati di precipitazione su breve scala temporale (IK) si è avuto un netto miglioramento delle predizioni che sono risultate corrette in tutte le situazioni esaminate. Dall'esame dei numerosi casi registrati, si è notata una tendenza a non predire ruscellamento in corrispondenza di modesti deflussi e gli eventi più importanti a Carmagnola e a Ottava vengono predetti con un certo margine di errore. La ricalibrazione del modello ha consentito di ottenere predizioni più valide modificando il valore di tensione al fronte di inumidimento (non direttamente misurabile) e quello più importante di conducibilità idraulica alla saturazione che, anche dove misurato con infiltrometri, è soggetto a variabilità spaziale e temporale in funzione della stagione, delle lavorazioni e del successivo assestamento del terreno. La ricalibrazione è avvenuta per approssimazioni successive dei parametri precedentemente citati sulla scorta dei dati di ogni anno di sperimentazione.

Con riferimento ai singoli eventi, in figura 3 sono riportate le relazioni tra i valori misurati e quelli stimati dopo la ricalibrazione empirica dei parametri sopra citati. In appendice vengono riportati i valori proposti dall'User Manual del modello CREAMS e i nuovi valori frutto della ricalibrazione. Le regressioni tra deflussi predetti e misurati presentano coefficienti non statisticamente diversi nei tre ambienti (P > 0,2); è stata pertanto adottata una regressione comune che presenta il coefficiente angolare prossimo a 1, per quanto statisticamente diverso, e l'intercetta statisticamente non differente da 0. Il maggior scostamento tra i dati

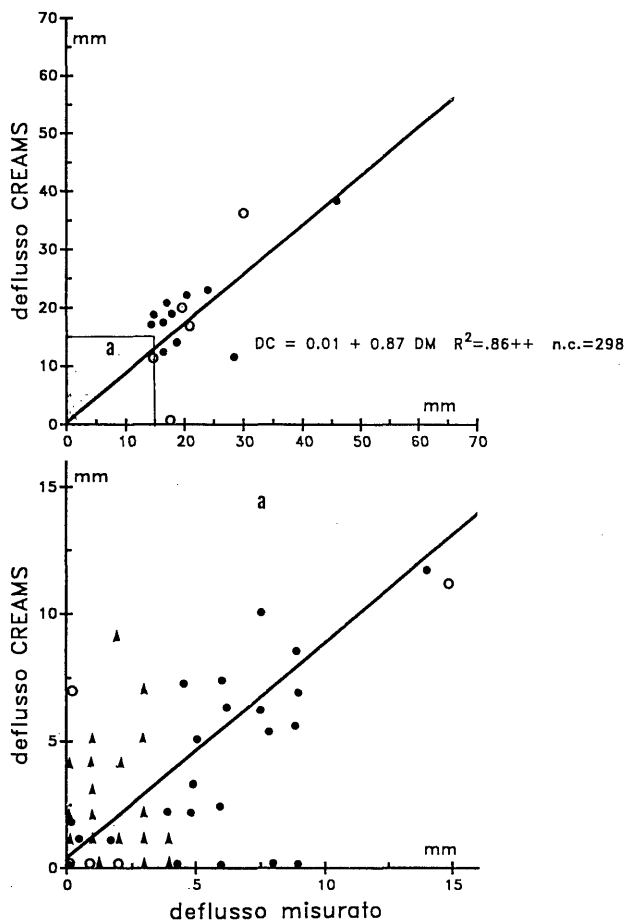


Fig. 3 - Confronto tra il ruscellamento misurato (DM) e quello calcolato dal modello con il metodo IK (DC), dopo ricalibrazione empirica della conducibilità idraulica in terreno saturo e della tensione capillare al fronte di inumidimento. Il riquadro a è ripreso ingrandito nella parte inferiore della figura (+ = $P < 0,05$; ++ = $P < 0,01$; n.c. = coppie di dati. Molti punti del grafico risultano sovrapposti).

Fig. 3 - Runoff: comparison between measured (DM) and calculated data by the IK method (DC) of the model after re-calibration for saturated conductivity and head across the wetting front. The square a is re-drawn enlarged in the bottomside of the figure (+ = $P < .05$; ++ = $P.01$; n.c. = data pairs. Many points are overlapped).

stimati e misurati verificatosi a Ottava è dovuto esclusivamente a un elevato numero di eventi di piccola entità, predetti con approssimazione.

In generale però i risultati ottenuti indicano una buona validità del modello, che si adatta bene ad ambienti, colture e terreni diversi. Permane tuttavia una certa imprecisione per i deflussi di minore entità (sotto i 5 mm), che tuttavia sono i meno rilevanti ai fini dell'impatto ambientale.

Con riferimento ai valori cumulati annuali, in tabella 6 sono riportati i deflussi totali stimati per le diverse colture nelle differenti condizioni; il metodo IK consente di ridurre i più evidenti errori di stima incontrati con il metodo semplificato CN; peraltro, da questa lettura si evidenzia ancora un certo squilibrio tra le situazioni esaminate, alcune delle quali (Carmagnola terreno franco-sabbioso e Ottava) presentano dei valori annuali simulati vicini a quelli misurati, altre (Carmagnola terreno franco) sistematicamente sottostimate.

Al fine di un miglioramento della stima, soprattutto

per le colture annuali, sembrerebbe vantaggioso utilizzare valori stagionalmente variabili di conducibilità idraulica alla saturazione, di tensione capillare e del coefficiente n di Manning (quest'ultimo soprattutto per correggere la stima del deflusso di picco e quindi dell'erosione), in quanto tali parametri variano notevolmente in funzione delle lavorazioni. Pertanto, come già proposto da Cooper *et al.* (l.c.) per le praterie neozelandesi, sarebbe opportuno dotare il modello di parametri modificabili durante il ciclo colturale. Modificare il software in tal senso non appare molto impegnativo e potrebbe costituire un importante miglioramento della sezione idrologica. Al momento attuale mancano comunque le conoscenze per definire a priori e in modo sufficientemente preciso le variazioni di K_s e di tensione al fronte di inumidimento in funzione della fase del ciclo colturale.

Validazione del sottomodello erosione

Per questo sottomodello si è proceduto utilizzando solo l'opzione che utilizza l'equazione di Green e Ampt per il calcolo del ruscellamento e l'onda cinematica per le portate di picco. L'opzione che impiega il metodo CN non è stata utilizzata poiché l'inaffidabilità della stima del ruscellamento renderebbe conseguentemente inattendibile qualsiasi previsione di erosione. Si è valutata solamente l'erosione non incanalata poiché negli appezzamenti sperimentali, o per le frequenti lavorazioni o per la fittezza del cotico erboso, la presenza di «rill» è risultata del tutto trascurabile.

Utilizzando il sottomodello con le procedure di stima dei parametri « n » di Manning, K e C riportate dall'*User guide* si sono ottenute previsioni poco attendibili a Borgo San Lorenzo e a Carmagnola e del tutto inaccettabili a Ottava, ove viene stimata un'erosione pari a circa 1/10 di quella misurata. Si è quindi proceduto, come peraltro esplicitamente indicato dagli Autori del modello, alla ricalibrazione dei valori di « n », K e C .

In figura 4 si riportano le relazioni tra i valori di erosione misurati e quelli calcolati dal modello dopo ricalibrazione empirica dei valori di C , K e del coefficiente di Manning. In appendice vengono proposti i nuovi valori frutto della ricalibrazione, in alternativa a quelli proposti nel manuale del modello. Con essi l'impiego di una regressione comune ai tre ambienti è statisticamente accettabile. L'errore standard della stima (93 kg ha^{-1}) è ancora elevato e si nota una lieve ma sistematica tendenza del modello alla sottostima, con coefficiente angolare significativamente inferiore a 1. La maggior dispersione dei dati è stata registrata a Ottava per i modesti deflussi accompagnati a elevate asportazioni di terreno.

Per la ricalibrazione empirica, in primo luogo si è modificato il coefficiente di Manning del sottomodello idrologico, migliorando la precisione della stima delle portate di picco, e secondariamente i fattori K e C . La correzione è stata particolarmente importante a Borgo S. Lorenzo, dove il ruscellamento e l'erosione sono maggiori per il pascolo permanente piuttosto che nel medicaio, mentre risulterebbero equivalenti dalla letteratura (Zanchi, 1983 e 1989); ciò potrebbe essere giustificato dall'azione di calpestamento esercitata dagli animali, che forse ha modificato la scabrezza

TABELLA 6 - Deflussi annuali simulati dalle due opzioni del modello e differenze rispetto ai deflussi misurati.

TABLE 6 - Simulated annual runoff by the 2 methods of the model and respective differences between the measured runoff.

Località	Anno	Occupazione terreno	Deflusso		Deflusso	
			CREAMS met. CN mm anno ⁻¹	differenza mm anno ⁻¹	CREAMS met. IK mm anno ⁻¹	differenza mm anno ⁻¹
Borgo S. Lorenzo	1992	pascolo	115	-12	107	-20
	1992	erba medica	76	22	88	34
Ottava	1990	pascolo	0	-4	8	4
	1990	erbaio	10	-5	10	-5
	1990	sempre lavorato	9	-11	20	0
	1991	pascolo	0	-4	6	2
	1991	erbaio	8	-7	16	1
	1991	sempre lavorato	7	-5	12	0
Carmagnola - ter. franco-sabbioso	1990	mais	20	1	21	2
	1991	mais	23	11	13	1
	1991	erba medica	26	-3	28	-1
	1992	mais	25	-57	68	-14
	1992	erba medica	29	-32	57	-4
- ter. franco	1990	mais	50	-17	43	-24
	1991	mais	70	4	35	-31
	1991	erba medica	92	11	47	-34
	1992	mais	24	-69	77	-16
	1992	erba medica	27	-28	46	-9

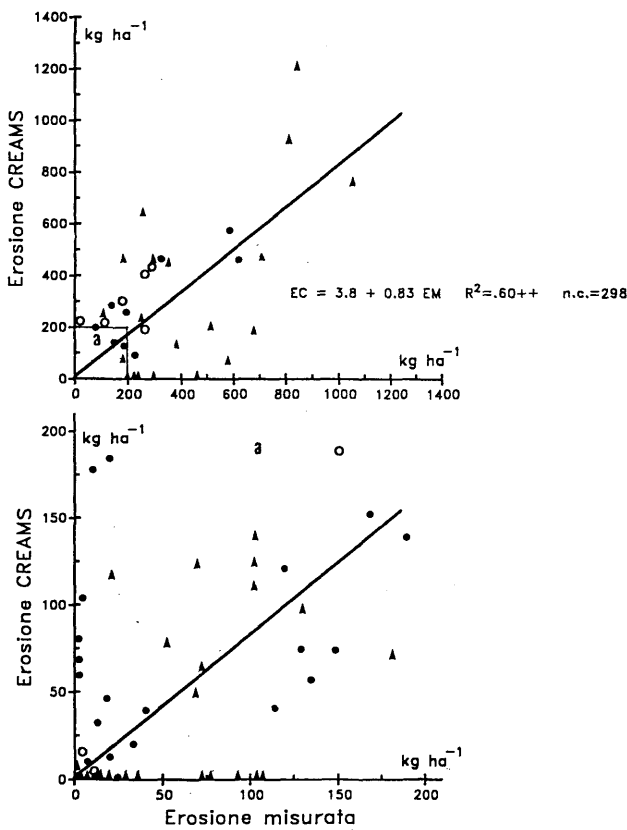


Fig. 4 - Confronto tra gli asportamenti di suolo misurati (EM) e quelli calcolati dal modello (EC). Il riquadro a è ripreso ingrandito nella parte inferiore della figura (+ = P < 0,05; ++ = P < 0,01; n.c. = coppie di dati. Molti punti del grafico sono sovrapposti).

Fig. 4 - Soil erosion: comparison between measured (EM) and calculated data by the model (EC). The square a is re-drawn enlarged in the bottomside of the figure (+ = P < .05; ++ = P < .01; n.c. = data pairs. Many points are overlapped).

superficiale del terreno. Il fenomeno andrà verificato nel prosieguo della ricerca.

Ove la sperimentazione è in corso da più anni (Carmagnola e Ottava), i valori dei fattori C e dell'erosibilità (K) che ottimizzano la modellizzazione dei deflussi e dell'erosione, si mantengono pressoché identici negli anni. La loro stabilità nel tempo, se ulteriormente verificata nel prosieguo della sperimentazione, potrebbe evidenziare possibilità applicative del modello anche in situazioni diverse da quelle esaminate.

Conclusioni

Il presente lavoro, condotto in ambienti alquanto eterogenei dal punto di vista climatico, pedologico e della copertura vegetale, ha consentito di trarre alcune indicazioni sull'applicabilità del modello CREAMS per studi di carattere territoriale:

- il metodo del «Curve Number», che presenta il vantaggio di richiedere solo dati di piovosità giornaliera, facilmente reperibili, non è adeguato a predire il fenomeno del ruscellamento nella maggior parte dei casi, e appare pertanto poco affidabile e di dubbia applicabilità;
- la previsione dell'altezza del ruscellamento secondo il modello di Green e Ampt e del deflusso di picco secondo l'algoritmo dell'onda cinematica consente di ottenere risultati di sicuro interesse in tutti gli ambienti; alcune difficoltà permangono ancora nelle condizioni caratterizzate da frequenti ma modesti deflussi. Per l'applicazione di questa opzione del modello è tuttavia richiesta la conoscenza dettagliata della dinamica degli eventi piovosi, che non sempre è disponibile. Inoltre è difficoltosa la stima o la misura della conducibilità in terreno saturo e della tensione capillare al fronte di inumidimento;

— il sotto-modello per la previsione dell'erosione, prima della calibrazione, non fornisce stime particolarmente precise del fenomeno e presenta notevoli difficoltà nella scelta dei valori di K, C e «n» di Manning. Tuttavia, dopo la calibrazione dei suddetti coefficienti, la stima appare affidabile e coglie con sufficiente precisione le differenze di asportazione di suolo misurate per le diverse situazioni esaminate.

Nell'ambito delle situazioni colturali riconducibili ai dispositivi sperimentali, i due sottomodelli originali hanno richiesto la calibrazione di alcuni parametri su base sperimentale. I valori modificati, mantenendosi stabili nel periodo esaminato, farebbero ipotizzare la possibilità applicativa del modello dal punto di vista idrologico e erosivo nel confronto tra diverse situazioni colturali e nell'impiego su scala territoriale, ferma restando la necessità dell'acquisizione indipendente, con idonee procedure sperimentali, dei dati di ingresso del modello.

Ricevuto il 20.12.1993

Bibliografia

- ACUTIS, M., ALLAVENA, L., CAVALLERO, A., FERRARIS, S.A., 1992 a. *Deflusso per scorrimento superficiale da terreni sistemati a spianata e coltivati a mais (Zea mays L.). Primi risultati*. Riv. di Agron., 4 suppl., 685-689.
- ACUTIS, M., GRIGNANI, C., REYNERI, A., 1992 b. *Perdita di suolo e qualità delle acque ruscellate da terreni sistemati a spianata e coltivati a mais*. Riv. di Agron., 4 suppl., 648-654.
- BASSETT, D.L., FANGMEIER, D.D., STRELKOFF, T., 1981. *Hydraulics of surface irrigation*. In M.E., Jensen (ed.): Design and operation of farm irrigation system. ASAE Monograph, no. 3, 829 pp.
- BINGNER, R.L., MUTCHLER, C.K., MURPHREE, C.E., 1992. *Predictive capabilities of erosion models for different storm sizes*. Trans. of ASAE, 35 (2), 505-513.
- COOPER, A.B., SMITH, C.M., BOTTCHE, A.B., 1992. *Predicting runoff of water, sediments and nutrients from a New Zealand grazed pasture using CREAMS*. Trans. of ASAE, 35 (1), 105-112.
- DANUSO, F., GIOVANARDI, R., 1991. *Stima dei fabbisogni irrigui mediante simulazione dello stato idrico del suolo: applicazione del metodo alla media pianura friulana*. Irrigazione e drenaggio, III, 9-17.
- D'ASARO, F., SOMMELLA, A., 1992. *Considerazioni sulla determinazione indiretta dei volumi di deflusso con il metodo CN del Soil Conservation Service*. Riv. di Ing. Agr., 4, 208-218.
- FOSTER, G.R., 1987. *User Requirements: USDA - Water Erosion Prediction Project (WEPP)*. NSERL, Report 1, USDA-ARS, 43 pp.
- FOSTER, G.R., MEYER, L.D., 1972. *Transport of soil particles by shallow flow*. Trans. of ASAE, 15 (1) 99-102.
- FOSTER, G.R., LANE, L.J., NOWLIN, J.D., LAFLEN, J.M., YOUNG, R.A., 1980. *Model to estimate sediment yield from field sized areas: development of model*. In: USDA Conservation Research Report no. 26, 36-64.
- HANSEN, S., 1991. *Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the danish simulation model DAISY*. Fertilizer research 27, 245-259.
- HILLEL, D., 1980. *Fundamental of soil physic*. Academic press Orlando, Florida, 413 pp.
- KNISEL, W.G. e NICKS, A.D., 1980. *CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management system*. USDA, Conservation Research Report No. 26.
- LAFLEN, J.M., FOSTER, G.R., ONSTAD, C.A., 1984. *Simulation of individual storm soil loss for modelling the impact of soil erosion on crop productivity*. In El-Swaify, S.A., Moldenhaver, W.C., Lo A. (eds.): Soil Erosion and Conservation, Soil Cons. Soc. of Amer. Ankeny, Iowa, 285-295.
- LAFOLIE, F., 1991. *Modelling water flow, nitrogen transport and root uptake including physical non-equilibrium and optimization of the root water potential*. Fertilizer research 7, 215-231.
- LANE, L.J., FERREIRA, V.A., 1980. *Sensitivity analysis*. In: Creams: a field scale model for chemical, runoff and erosion from agricultural management systems. 13-158. USDA Conservation Research Report no. 26.
- LANE, L.J., NEARING, M.A., 1989. *USDA - Water Erosion Prediction Project (WEPP)*, NSERL, Report 2, USDA-ARS.
- LEONARD, R.A., KNISEL, W.G., STILL, D.A., 1986. *GLEAMS: groundwater loading effect of agricultural management system*. ASAE paper 86-2511.
- RITCHIE, J.T., 1972. *A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover*. Water Resources Research, 8, 1024-1213.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. USDA Agriculture Handbook no. 537.
- WOOLHISER, D.A., SMITH, R.E., GOODRICH, D.A., 1990. *Kineros, a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual*. ARS publication no. 77.
- ZANCHI, C., 1983. *Primi risultati sperimentali sull'influenza di differenti colture (frumento, mais, prato) nei confronti del ruscellamento superficiale e dell'erosione*. Annali dell'Ist. Sper. studio e difesa del suolo, vol. XIV, 277.
- ZANCHI, C., 1989. *Influenza delle cotiche erbose sul ruscellamento superficiale e sull'erosione in differenti condizioni pedoclimatiche*. Agricoltura Ricerca, XII, 107, 109-116.

Appendice

1. Parametri richiesti per l'applicazione del modello CREAMS per i sottomodelli «idrologia» e «erosione»

Sotto-modello idrologico: richiede per la simulazione la conoscenza dei seguenti parametri (CN indica dati necessari per l'applicazione del metodo CN, IK per l'infiltrazione sec. Green e Ampt e l'impiego dell'onda cinematica):

— Di caratterizzazione topografica dell'appezzamento

Area appezzamento (CN, IK), pendenza media (CN), rapporto lunghezza/larghezza (CN), pendenza idraulica effettiva (IK), lunghezza idraulica (IK).

— Idrologici

Conducibilità idraulica in saturazione (CN, IK), porosità (CN, IK), frazione della porosità occupata dall'acqua alla capacità di campo (CN, IK), contenuto idrico al punto di appassimento (CN, IK), umidità

all'inizio della simulazione (CN, IK), abstraction coefficient per metodo CN (CN), curve number (CN), parametro di evaporazione dal suolo (da Richtie, 1972) (CN, IK), tensione capillare al fronte di inumidimento (IK), coefficiente di Manning per il deflusso superficiale (IK).

Si tratta, nel complesso, di parametri di non facile o usuale misurazione, o da attribuirsi in base a valutazione soggettiva. Nella *User Guide* o nei programmi di input dei dati annessi al modello sono contenuti elementi per ricavare valori approssimati dei parametri citati in base alla granulometria del terreno e alle colture in corso.

Nel caso del presente lavoro si sono misurati i valori di conducibilità idraulica alla saturazione con infiltrometro a doppio cilindro, la capacità di campo, l'umidità al punto di appassimento con l'apparecchio di Richard, l'umidità del terreno all'inizio di ogni anno e la massa volumica apparente e reale (per ottenere la porosità). I restanti valori provengono dalle tecniche di stima proposte nell'*User Guide* del modello stesso.

— Meteorologici

Temperature medie mensili (CN, IK), radiazione globale media mensile (CN, IK), precipitazioni giornaliere (CN), precipitazioni rilevate per periodi in cui l'intensità possa ritenersi costante (IK).

— Colturali

Massimo approfondimento dell'apparato radicale (CN, IK), spessore dello strato superficiale del suolo (IK), evoluzione del LAI (CN, IK). Dati approssimati, per le diverse colture, sono reperibili nella *User Guide*.

Nel caso specifico i valori di LAI sono stati misurati con cadenza variabile tra 14 e 30 d.

Sotto-modello erosione: richiede, considerando solo il flusso superficiale e non quello incanalato, la conoscenza dei seguenti gruppi di parametri:

— Di caratterizzazione topografica dell'appezzamento

Come per il sottomodulo idrologico, ma suddivisi per segmenti a pendenza omogenea.

— Di caratterizzazione della pioggia e dello stato idrico del suolo

Altezza di pioggia, volume di ruscellato, tasso di eccesso della pioggia, EI (energia dell'evento \times max intensità su 30', sec. Wischmeier e Smith, 1978), n. di giorni dall'ultimo evento piovoso con percolazione, volume percolato, contenuto medio di umidità tra 2 eventi, traspirazione cumulata nel periodo tra 2 eventi, traspirazione potenziale cumulata nel periodo tra 2 eventi, evaporazione cumulata nel periodo tra 2 eventi, evaporazione potenziale cumulata nel periodo tra 2 eventi. Tutti vengono calcolati dal sottomodulo idrologico.

— Di caratterizzazione del terreno

Viscosità cinematica dell'acqua, n di Manning per deflusso superficiale su suolo nudo, massa volumica del terreno, frazioni di sabbia, limo, argilla e % di sost. org. nello strato superficiale di suolo esposto all'erosione, superfici specifiche delle particelle di sabbia, limo, argilla e sost. org., erodibilità del suolo (K); opzionalmente è possibile utilizzare granulometria, contenuto in sost. org. e relative superfici specifiche del terreno oggetto di distacco. Sono da attribuirsi su base tabulare l'«n» di Manning e il fattore K; stimabili dalla granulometria del suolo o facilmente misurabili gli altri.

— Di caratterizzazione dell'effetto della copertura vegetale sull'erosività

Fattore C e «n» di Manning, da attribuirsi soggettivamente per segmenti a pendenza omogenea e per le diverse condizioni del suolo e di sviluppo delle colture nel corso della stagione.

Nel caso specifico sono stati accertati: massa volumica del terreno, granulometria e % di sostanza organica nel primo centimetro di terreno. Tutti i rimanenti valori sono stati stimati secondo le procedure proposte dall'*User Guide*.

2. Parametri oggetto di ricalibrazione empirica, in base ai dati acquisiti

— fattori dipendenti dal terreno (prima tabella):

	Carmagnola terreno franco-sabbioso		Carmagnola terreno franco		Borgo San Lorenzo		Ottava	
	a	b	a	b	a	b	a	b
K_s (mm h ⁻¹)	9 ⁺	10	6 ⁺	4	0,1 ⁺	0,7	15 ⁺	6
H_c (mm)	76-152*	155	178-280*	160	457-560*	490	76-152*	77
K (**)	0,31*	0,20	0,43*	0,27	0,37*	0,34	0,27*	0,8
nb	0,01*	0,013	0,01*	0,011	0,01*	0,01	0,01*	0,006

a = valore misurato (⁺) o stimato da tabelle (*).

b = valore che ottimizza la predizione del modello.

** tons acre⁻¹ 100 (ft tons acre⁻¹) (in h⁻¹).

- conducibilità idraulica in terreno saturo (K_s)
- tensione al fronte di inumidimento (H_e)
- erodibilità del suolo (K)
- n di Manning per il suolo nudo (n_b)

- fattore C
- « n » di Manning variabile entro l'anno (sottomodello «erosione»)
- « n » di Manning (sottomodello idrologico).

— fattori dipendenti dalla coltura e dalla tecnica colturale (seconda tabella):

Terreno		Fattore C		« n » erosione		« n » idrologico	
		a	b	a	b	a	b
Carmagnola FS	mais	31-55	22-68	0,01-0,03	0,01-0,05	0,05	0,07
Carmagnola FS	medica	2	10	0,24	0,20	0,24	0,20
Carmagnola F	mais	31-55	22-68	0,01-0,03	0,01-0,05	0,05	0,08
Carmagnola F	medica	2	10	0,24	0,18	0,24	0,18
Borgo San Lorenzo	medica	2	1	0,24	0,24	0,24	0,24
Borgo San Lorenzo	pascolo	0,6	1,5	0,24	0,22	0,24	0,22
Ottava	pascolo	0,6	0,4	0,24	0,26	0,24	0,26
Ottava	erbaio	5-64	5-90	0,01-0,07	0,01-0,14	0,05	0,09
Ottava	sempre lavorato	79 [^]	90	0,01	0,008	0,01	0,008

a = valore stimato da tabelle.

b = valore che ottimizza la predizione del modello.

[^] non reperibile in tabella, stima da condizioni similari.

A Carmagnola per il mais e a Ottava per l'erbaio, relativamente al fattore C e al coefficiente di Manning per il sottomodello erosivo, il 1° numero è relativo al suolo nudo, il 2° allo stadio di massimo sviluppo della coltura; si sono usati altri 2 valori intermedi, in relazione allo stadio di sviluppo della coltura.