

IMPATTO AMBIENTALE DEI SISTEMI COLTURALI IN AREE DI COLLINA, IN RELAZIONE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

PIER PAOLO ROGGERO(*), MARCO ACUTIS(**), LUCIA CIARAPICA (*),
MARCELLO DONATELLI(***), MARCO TODERI(*), FRANCO ZINONI(****)

*Dip. di Biotecnologie agrarie ed ambientali (DIBIAGA), Università degli Studi di Ancona

**Dipartimento di Produzioni vegetali (DiProVe), Università degli Studi di Milano

***Istituto Sperimentale per le Colture Industriali, MiPAF Bologna

****ARPA - Servizio Meteorologico Regionale, Bologna

INTRODUZIONE

La capacità di adattamento e lo sviluppo di sistemi colturali sostenibili, a fronte di nuovi possibili scenari climatici, richiede adeguati strumenti a supporto di scelte gestionali e di pianificazione territoriale che forniscano elementi di valutazione quantitativi. Per questo è necessario integrare informazioni raccolte localmente, attraverso monitoraggi a scala idonea, con conoscenze scientifiche formalizzate attraverso modelli matematici.

In collina, le interazioni tra sistemi colturali e ambiente sono fortemente condizionate dal bilancio idrico delle colture e dai flussi idrici superficiali ed ipodermici. In gran parte della collina marchigiana, i sistemi colturali sono basati sull'avvicendamento di frumento duro con colture a ciclo primaverile estivo, tra le quali dominano girasole, barbabietola da zucchero e sorgo (ARZENI et al., 2002). La prevalenza di terreni argillosi e l'avvicendamento di colture a ciclo annuale o stagionale implica il ricorso a frequenti lavorazioni. Ciò espone per lunghi periodi il terreno alla mineralizzazione della sostanza organica, alla lisciviazione di nitrati e all'erosione per deflusso superficiale (BALESTRA et al., 2001; ROGGERO E TODERI, 2002). A partire dal 1993-94, su aree rappresentative di vasti territori collinari delle Marche, sono stati acquisiti dati ed informazioni a livello parcellare e di sottobacino sulla dinamica dei processi erosivi, dei flussi idrici superficiali ed ipodermici e sulla lisciviazione dei nutrienti (ROGGERO et al., 2003). Le indagini a scala di sottobacino tengono conto di elementi spesso ignorati nelle sperimentazioni parcellari, quali la variabilità spaziale di pendenza, suolo, colture, tecniche colturali, le caratteristiche delle aree non coltivate e la dimensione temporale dei sistemi colturali.

I "prodotti" dei bacini imbriferi, essendo il risultato di processi complessi, sono condizionati da scelte gestionali, fattori climatici, biofisici, socio-economici e dal contesto culturale e sono perciò fortemente sito-specifici (ROGGERO E SILVESTRI, 2002). Nel caso specifico della collina, è necessario che i modelli di simulazione tengano conto dei condizionamenti imposti dalle pendenze, che regolano le dinamiche dei flussi idrici in ogni punto del bacino in relazione anche al contributo delle zone a monte.

Esistono numerosi modelli matematici per simulare *runoff* ed erosione in ambiente collinare, con livelli di precisione in genere proporzionali alla qualità e quantità di dati disponibili localmente. La scala di indagine e l'obiettivo delle simulazioni costituiscono fattori determinanti per la scelta del modello idoneo. Il diverso livello di dettaglio e di rappresentazione del sistema suggeriscono, in fase preliminare, di valutare contempo-

raneamente diversi approcci alla modellazione, allo scopo di definire caratteristiche di modelli e procedure idonee a stimare le complesse dinamiche di bacino.

Il principale obiettivo di questa ricerca è la costruzione di strumenti di supporto alle decisioni che rispondano a diversi requisiti: (I) studio ed interpretazione delle dinamiche dei principali processi biofisici che controllano fenomeni indesiderabili (erosione, lisciviazione, alluvioni ecc.); (II) valutazione dell'attendibilità delle simulazioni prodotte da modelli matematici differenti su sistemi colturali, afflussi/deflussi ed erosione; (III) analisi quantitativa degli effetti di diverse scelte agronomiche a fronte di contrastanti scenari climatici, attraverso modelli di simulazione adeguati alla scala di indagine considerata; (IV) estensione a scala più ampia dei risultati conseguiti, per fini di pianificazione territoriale; (V) creazione di strumenti innovativi utili a facilitare il dialogo, la consapevolezza e la responsabilità tra gli attori locali, in un'ottica di pianificazione partecipativa dell'uso sostenibile delle risorse naturali ed agricole.

In questo lavoro verranno presi in considerazione solamente gli aspetti biofisici dei sistemi colturali relativi all'impatto dei fattori climatici sui deflussi idrici e l'erosione nell'ambiente collinare delle Marche, con l'obiettivo di realizzare strumenti innovativi per la valutazione quantitativa delle conseguenze di nuovi scenari climatici sui sistemi agricoli dell'ambiente considerato.

MATERIALI E METODI

La ricerca è ancora in corso e in questo lavoro si riferisce principalmente sulle metodologie scelte, utilizzando i primi risultati a titolo esemplificativo.

Le aree di studio riguardano alcune zone vulnerabili della collina centro italiana, con particolare riferimento a quella marchigiana, caratterizzate attualmente da diffusi fenomeni di inquinamento delle acque da nitrati di origine agricola ed erosione del suolo. Per la valutazione dell'impatto ambientale dei sistemi colturali è stato scelto il sistema "CRITERIA" (ZINONI E MARLETTO, 1999) e il modello di simulazione "CROPSYST WATERSHED" (STOCKLE E DONATELLI, 2003). Per lo studio della dinamica afflussi/deflussi e dell'erosione sono stati scelti TOPKAPI (CIARAPICA e TODINI, 1998) ed EUROSEM (MORGAN et al., 1998).

A causa del limitato spazio a disposizione, in questo lavoro si illustreranno brevemente i dati più significativi relativi ai siti di monitoraggio, le metodologie di lavoro scelte per la calibrazione di CROPSYST WATERSHED, un esempio di applicazioni di CRITERIA a livello territoriale e, con un maggior livello di approfondimento, alcune simulazioni preliminari con TOPKAPI ed EUROSEM in due sottobacini della collina marchigiana interna sottoposti a monitoraggio.

Le caratteristiche dei due sottobacini campione nei quali è stato effettuato il monitoraggio dei sistemi colturali e delle acque dal 1997, sono state descritte in dettaglio da Balestra et al. (2001) e Roggero et al. (2003). Le aree campione ricadono nel comune di Serra de' Conti (AN), nella collina interna marchigiana. Il clima è caratterizzato da una piovosità media annua di circa 1000 mm, con precipitazioni medie mensili massime in novembre (110 mm) e minime in luglio (59 mm). I periodi di rischio di gelate vanno da ottobre a maggio. Nel periodo estivo si verifica in genere un forte squilibrio tra precipitazioni ed evapotraspirazione, per cui il regime dei corsi d'acqua è molto irregolare. Nel periodo novembre-marzo in genere si verifica surplus idrico.

Una stazione meteorologica (T, precipitazioni e RH) è stata installata dal Servizio Agrometeorologico dell'ASSAM presso uno dei due sottobacini (Spescia) che in linea d'aria dista circa 1,5 km dall'altro (Bottiglie). I dati relativi al vento e alla radiazione globale sono stati interpolati da stazioni meteo limitrofe.

Il sottobacino Bottiglie è caratterizzato da frazionamento della proprietà e da elevata diversificazione colturale nello spazio, sebbene frumento e girasole occupino oltre il 60% della superficie. Nel sottobacino Spescia, l'ordinamento colturale attuale è basato sulla monocoltura avvicendata di frumento e girasole (**fig. 1 e tab. 1**). In entrambi i bacini i terreni hanno tessitura tendenzialmente argillosa, con la presenza di orizzonti sottosuperficiali strutturati che favoriscono il deflusso delle acque in eccesso quasi

Tab. 1 - Caratteristiche dei due sottobacini scelti per il monitoraggio.

Caratteristiche	Spescia	Bottiglie	*Avvicendamenti:
Superficie totale (ha)	80,83	60,33	1) Vite; 2) Olivo;
SAU (ha)	70,26	49,10	3) frumento duro – girasole; 4) frumento duro – barbabietola; 5) frumento duro – medica; 6) frumento duro – favino.
Superficie edificata (case, strade ecc.) %	} 13%	19%	
Aree non coltivate (siepi, fossi, ecc.) %			
Lunghezza (km)	1,35	1,23	
Larghezza max. (km)	1,09	0,51	
Pendenza media (%)	7%	8%	
Pendenza max (%)	25%	50%	
Area dell'azienda più rappresentata (ha)	30	15	
n. sistemi colturali	1	6*	
n. colture	1	7	

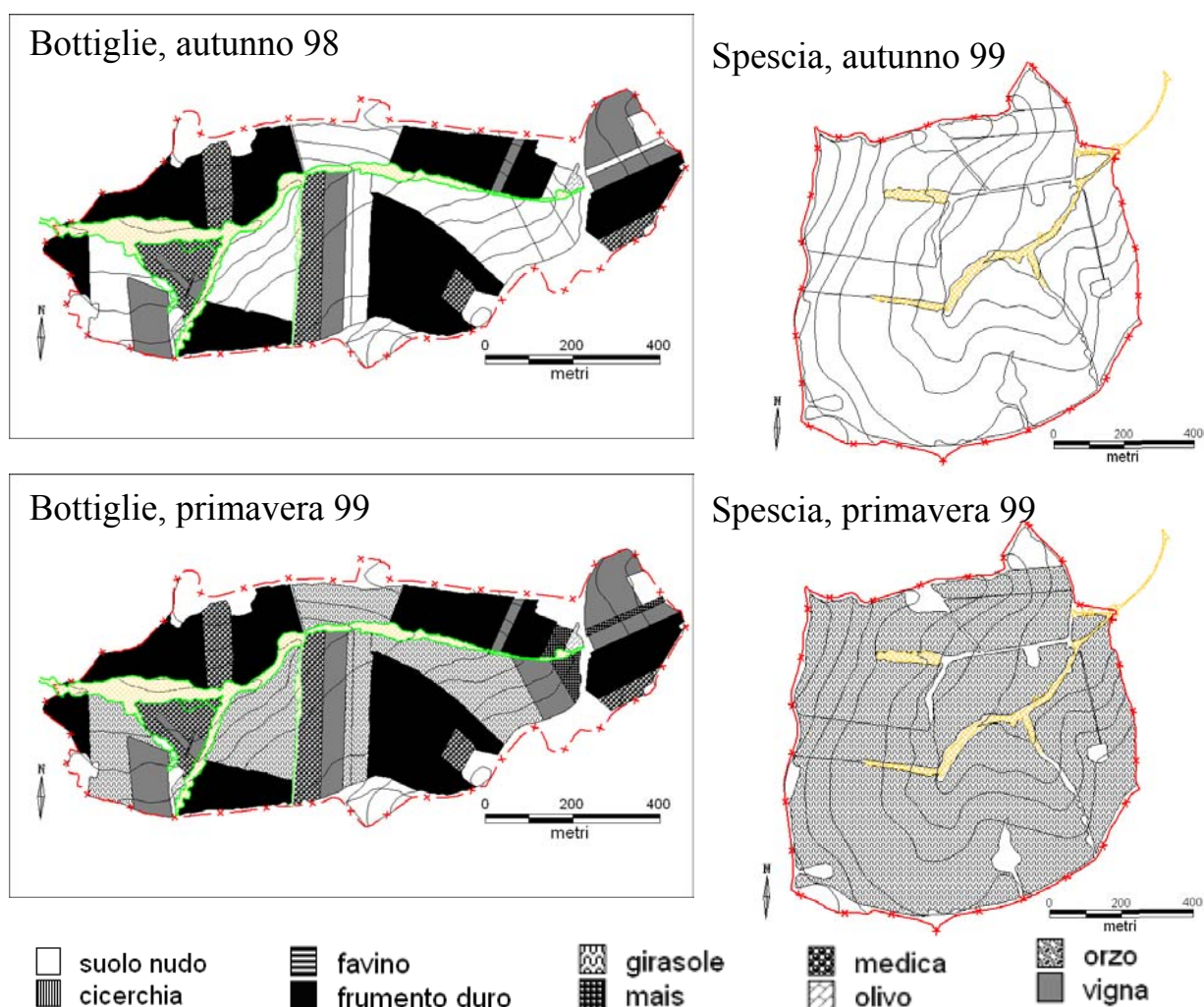


Fig. 1 - Rappresentazione grafica dell'uso del suolo nel bacino "Bottiglie" (a sinistra) e "Spescia" (a destra) in due periodi dell'anno.

esclusivamente per deflusso superficiale e ipodermico. L'acqua che confluisce nel fosso principale, rappresenta perciò gran parte di quella drenata dai due sottobacini quando gli afflussi superano la capacità di ritenzione idrica dei terreni.

Nel periodo autunnale, gran parte dei sistemi colturali adottati nei due bacini prevedono che il suolo sia quasi completamente spoglio da vegetazione, fatta eccezione per le superfici coltivate con colture perenni o non coltivate (siepi, vigneti, oliveti, erba medica), che incidono in misura molto limitata sulla superficie totale del bacino Spescia.

Nel sotto bacino Bottiglie invece, la frammentazione in numerosi piccoli campi corrisponde ad una fitta rete scolante e ad una certa diversificazione delle operazioni colturali nello spazio e nel tempo. Il campionamento sistematico dell'acqua di deflusso superficiale è stato effettuato prelevando con un campionatore automatico le acque dei due fossi che raccolgono l'acqua di ruscellamento dei due sottobacini. I dispositivi di misura della portata e campionamento automatico sono descritti in dettaglio da ROGGERO et al., 2003. I campioni di torbida sono stati analizzati dal laboratorio Agrochimico ASSAM di Jesi per il contenuto in solidi sospesi, N-NO₃ e P-PO₄ solubile.

L'attività di sviluppo relativa al sistema CRITERIA all'interno di questa ricerca riguarda l'implementazione per la collina di procedure validate in pianura, cioè il passaggio da un modello basato su dati puntiformi ad uno con parametri distribuiti. Come esempio, in questo lavoro si illustra un'applicazione di CRITERIA a scala territoriale, realizzata nell'ambito del Piano Regionale di Tutela delle Acque in Emilia Romagna (L.152/99). Per questa applicazione, sono stati interpolati dati termopluviometrici giornalieri del decennio 1991-2000 nel territorio regionale, con griglia di 5 km in pianura (<200 m). Per il calcolo dei bilanci idrici è stata impiegata la carta pedologica digitale in scala 1:50.000, nella quale le unità territoriali sono distinte in base alle caratteristiche fisico-idrologiche dei suoli. È stato inoltre utilizzato un database sui sistemi colturali (colture, lavorazioni, fertilizzazione, irrigazione e sistemazione idraulica).

L'esempio di simulazione presentato in questo lavoro riguarda sistemi colturali standard che tengono conto della realtà regionale della pianura emiliano-romagnola.

La concimazione minerale è stata stimata in base ai fabbisogni riportati nei disciplinari di produzione integrata, quella organica in base al carico zootecnico e dei fanghi di depurazione dedotto a livello comunale. Altri dati sulla concimazione (quantità, data e tipo di concime), sono stati dedotti da indicazioni dei servizi tecnici regionali.

Le elaborazioni fanno riferimento ad un passo di griglia tra 0,5 e 1 km², hanno un passo di integrazione giornaliero; i risultati sono resi con passo quindicinale (**fig. 2**).

I risultati sono rappresentati attraverso mappe o tabelle a vari livelli di aggregazione: (I) a livello di comune il risultato è rappresentato da un valore di flusso idrico superficiale, ipodermico e di drenaggio medio e del carico di azoto e di fosforo presente nei flussi idrici per ogni coltura presente nell'ambito comunale; (II) a livello di sottobacino, i risultati riguardano flussi e perdite di nutrienti in direzione orizzontale e verticale. In relazione ai risultati ottenuti, verranno definiti alcuni possibili scenari colturali per la riduzione del carico di nutrienti nelle acque e per il risparmio idrico.

Applicando la stessa metodologia operativa, una volta messo a punto il modello a parametri distribuiti, si procederà ad una valutazione dei risultati a livello di sottobacino e di regione, utilizzando la serie storica di dati meteorologici degli ultimi 10 anni e considerando possibili futuri cambiamenti del clima a breve termine (10 anni).

Nell'ambito di questa ricerca si prevede la calibrazione della versione WATERSHED di CropSyst, con i dati dei bacini campione marchigiani. I progetti di simulazione di

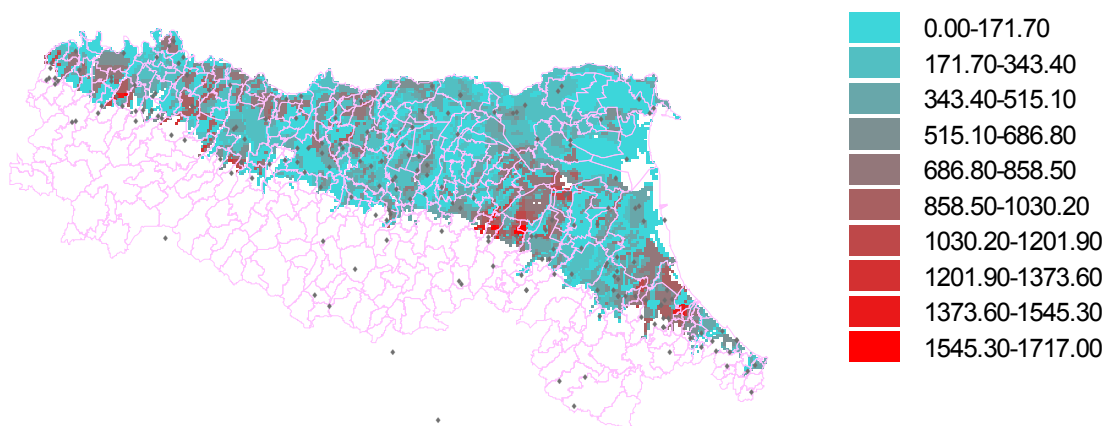


Fig. 2 – Esempio di rappresentazione in mappa dei deflussi superficiali in mm a livello regionale, riferito alla media di tutte le storie colturali dal 31/12/1989 al 31/12/99, ottenuto con il sistema CRITERIA nella pianura dell'Emilia Romagna.

bacino sono costruiti a partire da simulazioni elementari attuate con CropSyst, con l'aggiunta di carte realizzate con ArcView e Spatial Analyst. Il modello di bacino combina gli elementi dalle simulazioni CropSyst con un modello di flusso idrico basato sulla griglia realizzata in ambiente ArcView. La calibrazione del modello verrà effettuata utilizzando i dati acquisiti dal DIBIAGA e dall'ISCI nel P.F. PANDA e dall'ARPA-SMR nel progetto SINA. Le simulazioni verranno effettuate su due serie di 50 anni, la prima ricavata dalla climatologia corrente, la seconda da ipotetici futuri scenari climatici. L'analisi dei risultati sarà orientata a valutare la sensibilità dei sistemi colturali considerati e a ricercare sistemi colturali a basso impatto ambientale per aree collinari.

Le simulazioni effettuate con EUROSEM si riferiscono al bacino Bottiglie e al solo mese di giugno, utilizzato in prima approssimazione per la calibrazione e riportato in questo lavoro come esempio di elaborazione possibile attraverso questo modello.

È stata utilizzata la serie storica cinquantennale dei dati termopluviometrici della stazione di Jesi (AN), poco distante rispetto al sito di monitoraggio. Sono stati presi in considerazione tutti gli eventi con pioggia superiore a 12 mm e di durata di almeno 1 ora con altezza maggiore di 5 mm. Due eventi successivi sono considerati distinti se separati da pause di precipitazione superiore a 6 ore. Le simulazioni hanno riguardato deflussi superficiali ed erosione idrica considerando tre diversi tipi di copertura e gestione del suolo: (I) attuale, dai dati del monitoraggio, (II) coltivazione di girasole in tutte le aree arabili (III) suolo nudo con rete idrologica attuale, corrispondente al riferimento della potenzialità di erosione nel bacino, (IV) suolo totalmente coperto da vegetazione prativa e boschiva, riferimento potenziale di minima erosione.

L'umidità iniziale del terreno è stata posta al 60% dell'acqua utile. La conducibilità idraulica è stata calcolata in base alla tessitura e alla densità apparente del terreno utilizzando la funzione pedotransfer di Jabro. La capacità idrica massima è stata stimata pari al 90% della porosità (funzione pedotransfer di Baumer). Le funzioni pedotransfer sono state ottenute attraverso il software SOILPAR 2.00 (ACUTIS e DONATELLI, 2003). Il fattore G (tensione al fronte di inumidimento), l'erosività della pioggia e la coesione sono stati stimati in base al manuale EUROSEM. La copertura vegetale e le condizioni della vegetazione sono state valutate sulla base dei dati disponibili con il monitoraggio alla data del 15 giugno.

Il modello TOPKAPI è stato utilizzato per valutare la dinamica dei deflussi superficiali in relazione a diversi tipi di copertura del suolo. Il modello è stato calibrato sulla base di afflussi e deflussi misurati nel bacino Bottiglie, in relazione all'effettiva rete idrografica superficiale permanente e temporanea, rilevata attraverso GPS di precisione, e uso del suolo rilevati attraverso il monitoraggio.

In questo lavoro si riportano i deflussi osservati e le simulazioni relative all'uso del suolo attuale (che corrisponde alla calibrazione) e al suolo nudo in assenza di sistemazioni idrauliche, relativamente a tre periodi del quadriennio 1998-2001 nei quali si sono verificati deflussi significativi nel periodo autunnale e tardo primaverile.

Considerando la rappresentazione del bacino mediante il modello digitale del terreno (DEM), la rete scolante attuale interessa circa il 25% delle maglie del DEM (20x20 m). La rete naturale, cioè in assenza di sistemazione idraulica, è stata ottenuta attraverso il DEM utilizzando i soli compluvi naturali, senza considerare le sistemazioni idraulico agrarie. In questo caso, la rete interessa circa il 6% delle maglie del DEM. Il suolo nudo è stato simulato abbattendo le scabrezze superficiali e la capacità di infiltrazione e di immagazzinamento del suolo. Non si è tenuto conto degli effetti delle colture sul consumo idrico. È stata condotta una simulazione considerando la rete idrografica attuale provvista di fasce vegetate in prossimità del reticolo naturale, per le quali si sono incrementate del 20% le scabrezze superficiali e la capacità di infiltrazione del suolo. Anche in questo caso non si è agito sul consumo idrico da parte della copertura.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Nel periodo di monitoraggio, sono stati osservati deflussi di entità significativa nell'autunno 1998, nella seconda decade di giugno 1999 e nell'autunno 1999 (**tab.**

2). L'annata 2000 invece è stata caratterizzata da una prolungata siccità nel periodo primaverile-estivo e da piogge mai particolarmente abbondanti o intense nel periodo autunnale, tanto da non far rilevare alcun deflusso idrico superficiale significativo.

Nella prima decade di dicembre 1998 quasi tutta la SAU del bacino Spescia era priva di copertura efficace, in quanto sottoposta a lavorazione nel periodo intercalare tra la raccolta del frumento e la semina del girasole. Nel bacino Bottiglie invece la quota di territorio lavorata era circa il 75% di quella totale, distribuita in numerosi campi di piccole dimensioni.

Un altro evento rilevante si è verificato nel mese di giugno 1999 in occasione di un intenso temporale (con intensità di pioggia superiore a 30 mm h^{-1}). In quel periodo il bacino Spescia era coltivato con girasole su tutta la superficie agricola, mentre nel bacino bottiglie il girasole rappresentava meno del 30% della superficie totale. Altri deflussi significativi si sono ripetuti a novembre e dicembre 1999: 231 mm a Bottiglie, pari a circa il 90% del totale annuo, e 94 mm, pari a circa il 55% del totale annuo, a Spescia. Il risultato, in apparente contraddizione con quanto rilevato l'anno precedente, si spiega con il fatto che nel 1999 Spescia era interamente coltivato con girasole, mentre Bottiglie per circa metà della SAU era stato lavorato. I maggiori consumi idrici del girasole hanno aumentato la capacità di assorbimento delle precipitazioni autunnali, caratterizzate da basse intensità di pioggia, senza dar luogo a deflusso idrico superficiale, mentre a Bottiglie, la maggiore riserva idrica presente all'inizio dell'autunno ha favorito il deflusso superficiale. Tuttavia, nonostante il minor deflusso rilevato a Spescia, l'erosione nel periodo autunnale è stata simile nei due bacini, per effetto dell'azione protettiva operata dalle siepi e dalle colture permanenti, presenti in maggior misura nel bacino Bottiglie.

Da notare gli altissimi valori di torbidità del deflusso rilevati a Spescia in occasione del temporale di giugno, che confermano i dati ottenuti a livello parcellare su girasole in condizioni simili (ROGGERO e TODERI, 2002).

La calibrazione del modello TOPKAPI ha mostrato un'elevata corrispondenza tra dati osservati e simulati per tutto il periodo considerato (**fig. 3**). Da notare che in figura la scala relativa ai deflussi del giugno 1999 è stata raddoppiata per rappresentare il picco di portata simulata su rete naturale e suolo nudo di oltre 16 mm h^{-1} in occasione di un violento ma breve temporale (afflusso con I60max superiore a 32 mm h^{-1}). L'andamento dei deflussi a fronte degli afflussi riflette le caratteristiche dei bacini, di dimensioni relativamente piccole e caratterizzati perciò da picchi di portata accompagnate da brevi periodi di stanca e seguiti da lunghi periodi di minima portata, attribuibile essenzialmente al deflusso ipodermico.

Il confronto tra la situazione attuale, caratterizzata da fitta rete idrografica, e il suolo nudo con rete naturale, indica il fondamentale ruolo regimante operato dalle colture, quando presenti, che garantisce l'abbattimento dei picchi di portata e l'aumento del tempo di corrivazione (es.: eventi di giugno 1999).

In autunno, con il terreno scoperto da vegetazione in gran parte del bacino (eventi di novembre 1998 e 99), la differenza tra deflussi simulati con rete naturale e suolo nudo e rete attuale è risultata netta negli eventi dell'autunno 1999 ma poco rilevante negli eventi dell'autunno 1998, in occasione degli abbondanti piogge e ad un repentino innalzamento delle temperature che hanno fatto seguito ad un'intensa nevicata. In questa occasione, i flussi osservati hanno superato in qualche punto quelli simulati probabilmente a causa di una parziale sottostima del contributo della neve, dovuta al mancato riscaldamento del pluviometro. Le simulazioni effettuate con rete attuale e fasce vegetate lungo i fossi di scolo, non riportate per motivi di leggibilità dei grafici, sono risultate pressoché sovrapponibili a quelle della rete attuale negli eventi del 1999, e con picchi di deflusso nettamente più attenuati negli eventi dell'autunno 1998. I risultati delle simulazioni effettuate con EUROSEM con i dati termopluviometrici cinquantennali, sono un esempio di come è possibile calcolare la probabilità di erosione e di deflusso nel mese di giugno per il bacino Bottiglie (**fig. 4**).

La calibrazione tra osservati e simulati, non riportata per motivi di spazio, ha indicato ottime potenzialità di applicazione del modello EUROSEM alla realtà considerata, grazie anche al dettaglio di informazioni disponibili a livello di bacino, a dimostrazione che i processi che controllano l'erosione e il deflusso nella realtà considerata sono ben rappresentabili attraverso il modello per valutare gli effetti della variabilità climatica.

Tab. 2 – Caratteristiche di alcune tra le principali precipitazioni che hanno dato origine a ruscellamento superficiale ed erosione nei due bacini oggetto di monitoraggio.

Date eventi		Pioggia	I_{60max}	Deflusso mm		Turbidità $g L^{-1}$		Erosione $t ha^{-1}$	
inizio	fine	mm	$mm h^{-1}$	Bottiglie	Spescia	Bottiglie	Spescia	Bottiglie	Spescia
30-nov 98	03-dic 98	91*	6,8	119	75	0,4	7,0	0,4	5,5
03-dic	06-dic	46*	8,8	57	41	4,7	2,3	2,7	1,3
Totale 1998		1029		206	198	1,9	3,8	3,8	10,0
16-giu	16-giu	41	33,0	4	8	23,5	99,3	1,0	7,6
15-dic	18-dic	67	5,0	67	40	3,4	7,6	2,3	3,0
Totale 1999		1037		260	168	2,9	11,2	7,5	18,7
Totale 2000		730		20	38	5,3	3,7	1,1	1,4

*sottostima degli afflussi causa neve

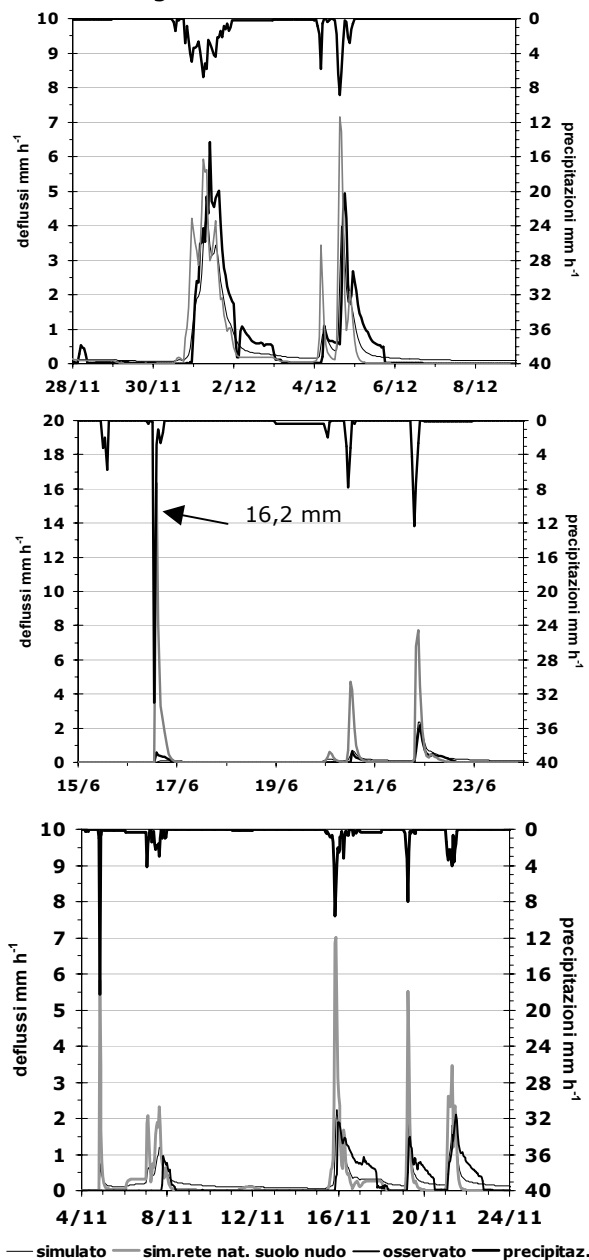


Fig. 3 – Bottiglie, 1998 (in alto) e 1999 (le due in basso). Afflussi e deflussi osservati e simulati con TOPKAPI in due condizioni di uso del suolo: attuale e con rete naturale e suolo nudo.

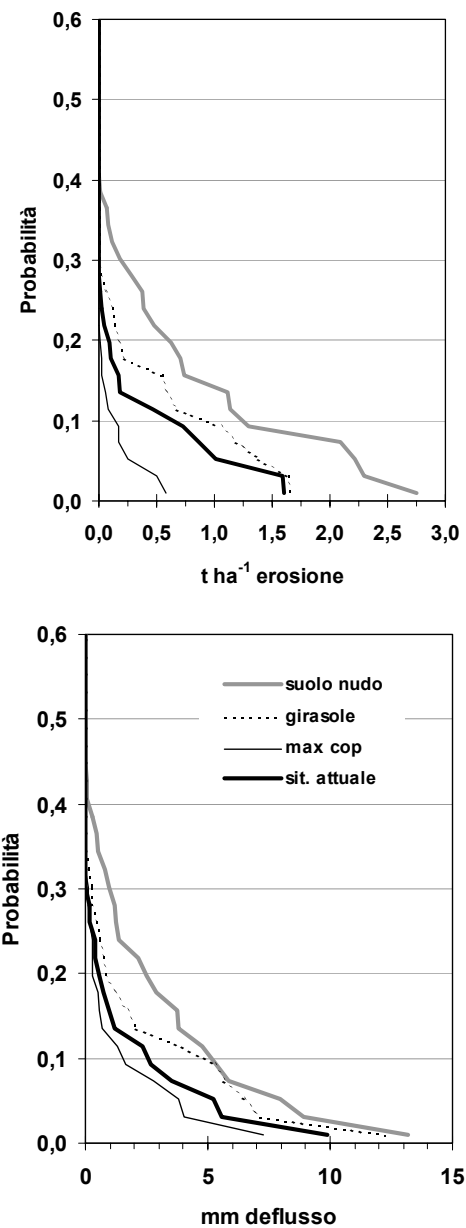


Fig. 4 – Curve di probabilità di erosione (in alto) e deflusso superficiale (in basso) ottenute con EUROSEM per il bacino Bottiglie in rapporto al tipo di copertura vegetale.

Pur se non particolarmente rilevanti in assoluto, i risultati ottenuti con le simulazioni indicano probabilità di deflusso ed erosione non particolarmente elevati nel mese di giugno, come conseguenza dell'elevata capacità di ritenzione idrica del suolo e dell'occasionalità degli eventi piovosi a carattere temporalesco.

Le simulazioni indicano che la realtà attuale, nel mese di giugno (che corrisponde alla massima copertura) si colloca su valori intermedi tra il riferimento "suolo nudo" e il riferimento "copertura totale con prato e bosco". Sono in corso ulteriori approfondimenti per verificare gli effetti di diversi sistemi colturali e dell'impatto di cambiamenti significativi nel regime mensile delle precipitazioni.

CONCLUSIONI

Le simulazioni realizzate e il lavoro in corso suggeriscono la necessità, da un punto di vista della modellazione dei processi, di valutare diversi strumenti, con l'obiettivo di fornire un'analisi integrata che copra gli aspetti gestionali e l'impatto della variazione degli scenari climatici. Le calibrations di TOPKAPI ed EUROSEM sono risultate molto soddisfacenti; il lavoro prosegue anche con l'obiettivo di validare le stime contro dati indipendenti dal processo di calibrazione. La gestione degli strumenti scelti per la ricerca appare in questo momento uno dei principali fattori limitanti, per la complessità delle procedure e l'articolazione del *dataset* richiesto. Ciò rimarca l'importanza di puntare a strumenti integrati idonei per usi applicativi.

BIBLIOGRAFIA

- ACUTIS M. e DONATELLI M., 2003. SOILPAR 2.00: software to estimate soil hydrological parameters and functions. *European Journal of Agronomy*, Vol. 18 (3-4), pp. 373-377.
- ARZENI A., ESPOSTI R., SOLUSTRI A., SOTTE F., 2002. *Il sistema agricolo e alimentare nelle Marche*. Rapporto 2001. Franco Angeli, Milano, 420 pp.
- BALESTRA L., TODERI M., ROGGERO P.P., 2001. Sistemi colturali e qualità delle acque in un'area collinare delle Marche in emergenza nitrati. In: Biondi E., Segale A. (ed.), *Pianificazione e gestione delle aree protette: analisi dell'ambiente e biodiversità, biomonitoraggio, agricoltura sostenibile*. Il Lavoro Editoriale Università, Ancona, 137-168.
- CIARAPICA L., TODINI E., 1998. TOPKAPI - Un modello afflussi-deflussi applicabile dalla scala di versante alla scala di bacino. *XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Catania.
- MORGAN, R.P.C, QUINTON, J.N., SMITH, R.E., GOVERS, G., POESEN, J.W.A., AUERSWALD, K., CHISCI, G., TORRI, D., STYCZEN, M.E., FOLLY, A.J.V. 1998. *The European soil erosion model (EUROSEM): documentation and user guide*. Silsoe College, Cranfield Univ., 180/181, 102-109.
- ROGGERO P.P. E TODERI M., 2002. Impact of cropping systems on soil erosion in the clay hills of central Italy. In: Pagliai M. and Jones R. (eds.), *Sustainable land management - environmental protection. A soil physical approach. Advances in Geoecology*, 35, Reiskirchen: Catena Verlag, 471-480.
- ROGGERO P.P. (coord.), 2003. *Le misure agroambientali: applicazione nelle Marche e analisi di un caso di studio sull'inquinamento da nitrati di origine agricola*. Quaderni 5B, Agenzia di Servizi nel Settore Agroalimentare delle Marche, Ancona, in corso di stampa.
- ROGGERO P.P., SILVESTRI N., 2002. Elementi per un'analisi integrata dei sistemi colturali. In: "Verso un approccio integrato allo studio dei sistemi colturali", a cura di Bonari E. e Ceccon P., Franco Angeli ed., Milano, 121-144.
- STÖCKLE C. O., DONATELLI M., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy*, Vol. 18 (3-4), pp. 289-307
- ZINONI F., MARLETTO V. 1999. CRITERIA: bilancio idrico e GIS per la prevenzione dell'impatto ambientale di origine agricola. *Agricoltura Ricerca* n. 180/181 p: 102-109.