



*Dipartimento di Scienze Ambientali
e delle Produzioni Vegetali*

Progetto Finalizzato CLIMAGRI

Sottoprogetto 2 – Agricoltura italiana e cambiamenti climatici

Titolo della ricerca:

**Impatto ambientale dei principali sistemi colturali in aree di collina, in relazione ai
cambiamenti climatici**

Unità operativa:

Dipartimento di Scienze Ambientali e delle Produzioni Vegetali,
Università Politecnica delle Marche
Via Breccie Bianche 60131 Ancona
Tel. 071 2204916
email: p.p.roggero@univpm.it

Il Responsabile scientifico

Pier Paolo Roggero

Visto: il coordinatore del progetto finalizzato CLIMAGRI

Dott. Domenico Vento



*Dipartimento di Scienze Ambientali
e delle Produzioni Vegetali*

Composizione dell'Unità operativa:

Nome	Ente	Ruolo
Marco Toderi	SAPROV Ancona	Ricercatore
Giovanna Seddaiu	SAPROV Ancona	Ricercatore
Roberto Orsini	SAPROV Ancona	Dottorando di ricerca
Giacomo De Sanctis	SAPROV Ancona	Dottorando di ricerca
Lucia Ciarapica	SAPROV Ancona	Assegnista di ricerca
Giuseppe Iezzi	SAPROV Ancona	Assegnista di ricerca
Franco Zinoni	ARPA SMR Bologna	Dirigente
Vittorio Marletto	ARPA SMR Bologna	Ricercatore
Alberto Pistocchi	ARPA SMR Bologna	Contrattista
Marcello Donatelli	ISCI Bologna	Primo ricercatore
Marco Acutis	Università di Milano	Professore ordinario



Premessa

Gli obiettivi generali della scheda di ricerca riguardano la calibrazione e validazione di diversi strumenti per l'analisi dell'impatto di diversi ipotetici scenari climatici futuri sui sistemi colturali della collina centro italiana. Particolare attenzione è stata rivolta ai modelli di simulazione relativi al bilancio idrico (afflussi/deflussi), all'erosione del suolo e ai sistemi colturali più diffusi nell'area oggetto di indagine. I risultati attesi dalla ricerca forniranno valutazioni quantitative su come diverse tecniche agronomiche possono influire sulla conservazione del suolo e sui flussi idrici superficiali. La ricerca intende quindi fornire un contributo di conoscenza che permetta di approntare con sufficiente anticipo gli strumenti tecnici e legislativi idonei a guidare i processi di riconversione della pratica agricola, con particolare riferimento ai possibili impatti di cambiamenti climatici.

L'uso combinato di modelli di simulazione del clima e dei sistemi colturali, costituisce un approccio utile a valutare quantitativamente quanto può incidere il tipo di tempo atteso sugli aspetti ambientali ritenuti prioritari nel contesto dei rapporti agricoltura-territorio e sempre più privilegiati nella definizione degli aiuti e delle scelte in agricoltura, quali: qualità dell'acqua di ricarica delle falde, entità e qualità dei flussi idrici superficiali e ipodermici, conservazione del suolo. Tra gli obiettivi della ricerca vi è pertanto anche la produzione di nuovi dati agronomici necessari per la calibrazione dei modelli di simulazione.

Il progetto è stato articolato in tre fasi, che inizialmente avrebbero dovuto coincidere con gli anni di finanziamento, ma che sono state adattate in relazione all'effettiva calendarizzazione dell'erogazione dei fondi.

Prima fase

- Prima validazione dei parametri utilizzati nei modelli di simulazione del bilancio idrico su scala territoriale, utilizzando i dati sperimentali disponibili, per una loro applicazione agli scenari meteorologici;
- Acquisizione di strati informativi nelle aree collinari oggetto di studio (carta pedologica, uso del suolo, sistemi colturali, dati meteorologici, modello digitale del terreno ecc.);
- Adattamento dei modelli per applicazioni degli scenari meteorologici alla scala di campo e di bacino.

Seconda fase

- Prime applicazioni dei modelli sugli scenari meteorologici futuri;
- Realizzazione di una serie di scenari ipotetici sugli effetti delle tecniche colturali sul bilancio idrico in relazione alla conservazione degli equilibri idrogeologici del territorio.

Terza fase

- Classificazione dei sistemi colturali in relazione all'impatto delle tecniche agronomiche sull'assetto idrogeologico dei suoli di collina e definizione di possibili scenari sostenibili in relazione alla conservazione del territorio, alla riduzione dei rischi ambientali e alla redditività dell'attività agricola.

Questa relazione si riferisce ai risultati conseguiti nella seconda fase, nell'ambito della quale è proseguita la collaborazione con l'ISCI e con l'ARPA Emilia Romagna, con cui sono state stipulate apposite convenzioni per lo sviluppo della modellistica sui sistemi colturali (modello CropSyst, in collaborazione con ISCI) e del sistema Criteria (ARPA Emilia Romagna). È stata inoltre attivata una nuova collaborazione con il gruppo di ricerca coordinato dal prof. Marco Acutis, del



Dipartimento di Produzioni Vegetali dell'Università di Milano, per gli studi sul modello Eurosem per la previsione dell'erosione da deflusso superficiale.

Sono inoltre stati attivati 3 assegni di ricerca, per complessivi 18 mesi, attraverso i quali è stato possibile svolgere le attività di ricerca e raccolta dati in campo nei siti di monitoraggio delle Marche e le attività di parametrizzazione dei modelli matematici CropSyst, Eurosem e Topkapi.

Metodologia e risultati conseguiti

Le aree di studio riguardano due sottobacini del fiume Misa, nelle Marche, ubicate in un'area collinare caratterizzata da diffusi fenomeni di inquinamento delle acque da nitrati di origine agricola, erosione del suolo, frane e smottamenti.

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 e Toderi (2002). I sottobacini 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. Il periodo estivo è caratterizzato da un forte squilibrio tra precipitazioni ed evapotraspirazione, per cui il regime dei corsi d'acqua nei fossi di scolo dei sottobacini è molto irregolare. Il surplus idrico si concentra generalmente nel periodo novembre-marzo.

Una stazione meteorologica (temperatura, precipitazioni e umidità relativa) 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 frammentazione degli appezzamenti ed elevata diversificazione colturale nello spazio, sebbene frumento e girasole occupino in alcune annate oltre il 60% della superficie totale. Nel sottobacino Spescia, l'ordinamento colturale attuale è basato per lo più sulla monocoltura avvicendata di frumento duro e girasole (Tabella 1 e Figura 1).

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

Caratteristiche	Spescia	Bottiglie
Superficie totale (ha)	80,83	60,33
SAU (ha)	70,26	49,10
Aree non coltivate (siepi, fossi, case, strade ecc.) %	13%	19%
Lunghezza (km)	1,35	1,23
Larghezza max. (km)	1,09	0,51
Pendenza media (%)	7%	8%
Pendenza max (%)	25%	50%
Superficie dell'azienda più rappresentata (ha)	30	15
n. sistemi colturali	1	6*
n. colture	1	7

*Avvicendamenti (2000-2001): 1) Vite; 2) Olivo; 3) frumento duro – girasole; 4) frumento duro–barbabietola; 5) frumento duro–medica; 6) frumento duro–favino.

In entrambi i bacini i terreni hanno tessitura tendenzialmente argillosa, con la presenza di orizzonti sottosuperficiali destrutturati, che favoriscono lo smaltimento delle acque in eccesso quasi 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 occupate da colture perenni (vigneti, oliveti, erba medica) o non coltivate, che incidono in misura più limitata sulla superficie totale del bacino Spescia. Il sottobacino Bottiglie invece, è frammentato in numerosi piccoli campi, a cui corrisponde una fitta rete scolante ed una certa diversificazione dei sistemi colturali nello spazio e nel tempo.

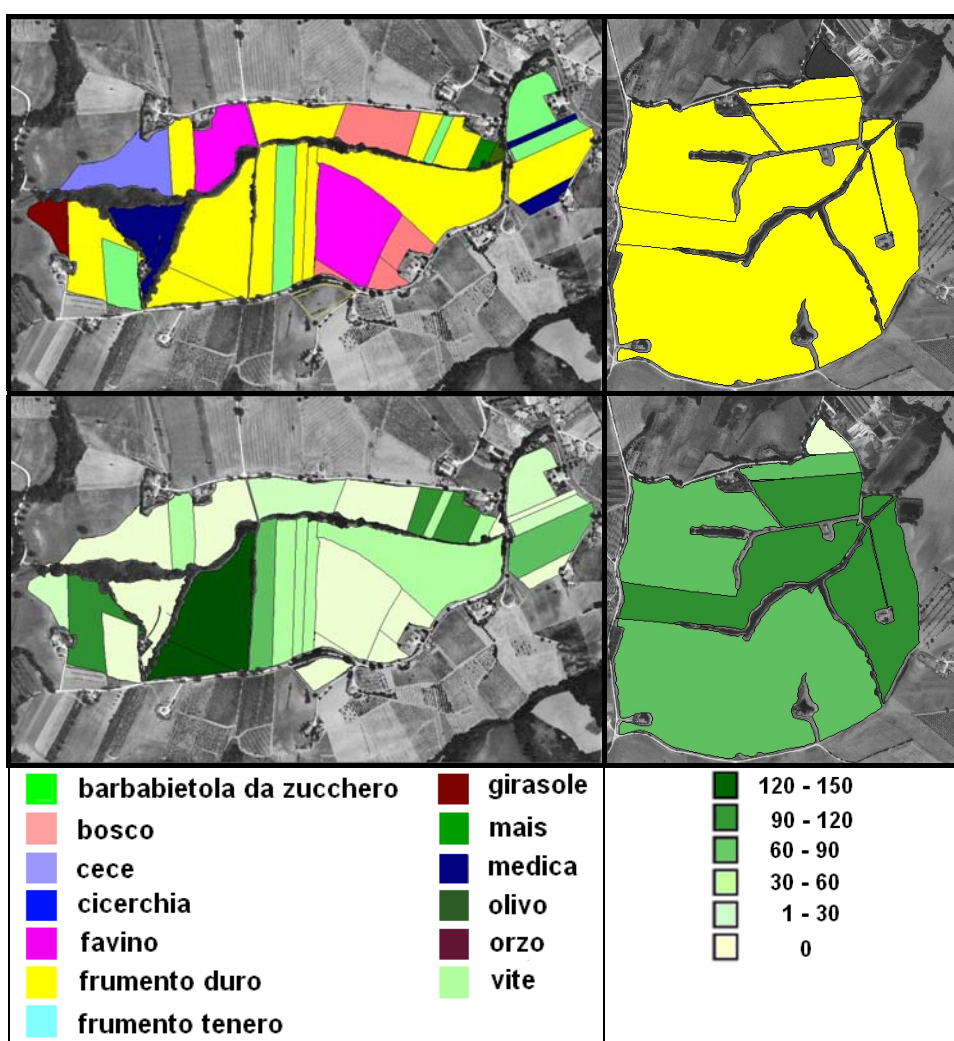


Figura 1 - In alto (legenda colture): rappresentazione grafica dell'uso del suolo nel bacino "Bottiglie" (a sinistra) e "Spescia" (a destra) nell'annata 2001-02. In basso (legenda dosi): mappa dei surplus di azoto (dati espressi in kg ha-1).

Nell'ambito della ricerca, è stato effettuato un campionamento sistematico e continuo dell'acqua di deflusso superficiale attraverso un dispositivo automatico installato nella sezione dei due fossi a valle dei sottobacini, descritto in dettaglio da ROGGERO e TODERI (2002b). I campioni di torbida sono stati analizzati dal laboratorio Agrochimico ASSAM di Jesi per il contenuto in solidi sospesi, azoto nitrico ($N-NO_3^-$) e fosforo solubile ($P-PO_4^{3-}$).



I modelli di simulazione scelti per l'analisi quantitativa dei sistemi colturali sono: il sistema "CRITERIA" (ZINONI e MARLETTO, 1999), in una nuova versione denominata "CRITERIA3D" (PISTOCCHI e TOMEI, 2003), appositamente sviluppata per la simulazione dell'idrologia di bacino, ed il modello di simulazione "CropSyst watershed" (STOCKLE et al., 2003), un modello che consente di simulare dettagliatamente opzioni di agro-tecnica e la loro risposta sulle colture e sull'idrologia di bacino. Per lo studio della dinamica afflussi/deflussi e dell'erosione sono stati scelti: TOPKAPI (CIARAPICA e TODINI, 1998), modello afflussi-deflussi basato sull'approssimazione cinematica applicabile dalla scala di versante alla scala di macrobacino, ed EUROSEM (MORGAN et al., 1998), modello a base fisica orientato al singolo evento e applicabile dalla scala parcellare al bacino (sino a 500-600 ha).

Durante il secondo anno di ricerca, le applicazioni dei diversi modelli sono state fatte tenendo conto dell'uso del suolo e degli scenari climatici attuali, valutati sulla base di serie cinquantennali di dati meteo storici. In questo modo è stato possibile verificare l'attendibilità delle simulazioni rispetto ai dati osservati con il monitoraggio. I risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti dalle simulazioni relative a diversi sistemi colturali e a possibili scenari climatici futuri, elaborati da IBIMET-CNR (coordinatore G. Zipoli) presso il Laboratorio per la Meteorologia e la Modellistica Ambientale (LaMMA) sulla base delle serie storiche di dati meteo locali e delle tendenze climatiche globali.

Nella presente relazione, essendo la ricerca ancora in corso, ci si riferisce principalmente alle scelte metodologiche ed ai primi risultati conseguiti relativamente ad alcuni aspetti della modellazione dei processi relativi ai sistemi colturali di collina, in particolare l'impatto dei fattori climatici sui deflussi idrici e l'erosione.

Applicazioni del modello CRITERIA3D. Il modello a differenze finite integrate CRITERIA 3D (PISTOCCHI e TOMEI, 2003) è stato sviluppato per dotare il sistema modellistico CRITERIA (ZINONI e MARLETTO, 1999) di un modulo in grado di risolvere numericamente e in forma tridimensionale le equazioni di flusso. Ciò consente di minimizzare le assunzioni di carattere semiempirico o concettuale proprie di modelli di più pratica utilizzazione e di ottenere un riferimento per la loro valutazione. Attualmente il modello è implementato in una DLL (Dynamic Link Library) scritta in C++ e può essere utilizzato per la simulazione di piccoli bacini idrografici, introducendo solo parametri cui si associa un significato fisico ed usando come input al sistema i flussi di precipitazione, evaporazione dal suolo e traspirazione massima delle piante derivati da CRITERIA o misurati.

Nell'ambito del progetto, lo sviluppo del nuovo modello ha posto soprattutto problemi di carattere numerico. Il modello è attualmente sottoposto a test di verifica che a breve ne consentiranno il rilascio per l'utilizzo in sistemi di simulazione di vario tipo, grazie alla forma di DLL in cui è implementato. È anche emersa la necessità di effettuare studi di convergenza relativi alle dimensioni spaziali delle celle nelle quali si discretizza il dominio di calcolo (DOWNER e OGDEN, 2004) e di disporre di misure di umidità del terreno, oltre al deflusso osservato dal bacino, qualora si desideri valutare la dinamica dell'acqua e dei soluti all'interno del suolo. A scopo orientativo il modello è stato posto a confronto con l'indice di umidità proposto da SVETLITCHNYI et al. (2003), che si basa sull'analisi del modello digitale del terreno e che nel caso dei bacini di Serra de' Conti ha fornito una risposta coerente con i risultati del modello CRITERIA 3D, candidandosi così ad essere uno schema valido con cui interpretare e regionalizzare valori puntuali di umidità misurata (Figura 2).

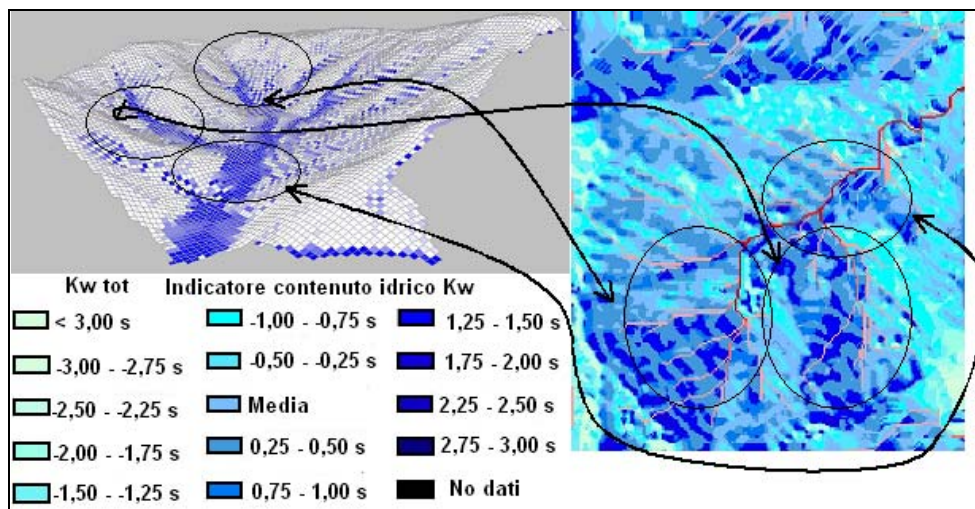


Figura 2 - Esempio di confronto fra l'indice di umidità prodotto dall'analisi del DTM secondo SVETLITCHNYI et al. (2003), e la simulazione con CRITERIA 3D. s = deviazione std.

Applicazioni del modello CropSyst Watershed per la simulazione dei sistemi colturali. Per quanto riguarda il modello CropSyst Watershed, è stato creato un archivio di dati climatici di temperatura e precipitazioni (dalle serie storiche sono stati stimati i dati di radiazione) dal quale sono stati ricavati gli scenari climatici sintetici. Durante il secondo anno di ricerca sono stati utilizzati gli scenari descritti in Donatelli et al. 2002 (Tabella 2, Tabella 3, Tabella 4). Sono stati aggiornati, in relazione alle scelte agronomiche adottate nei due bacini monitorati, i database relativi alle caratteristiche fisiche e idrologiche dei suoli ed alle agrotecniche, attraverso i quali si è proceduto alla calibrazione dei parametri colturali. Il database "agrotecnica" prevede diversi moduli, per le diverse colture, inerenti la concimazione (data, dosi, modalità e tipologia), le lavorazioni (data e tipologia), la semina/raccolta (data) e la gestione dei residui colturali. I dati sulle agrotecniche sono stati ottenuti attraverso questionari rivolti direttamente agli operatori agricoli nei due sottobacini.

L'insieme delle informazioni riguardanti le operazioni relative alle singole colture, agli avvicendamenti ed agli appezzamenti, ha consentito di simulare i sistemi colturali effettivamente attuati nei due bacini. Le rotazioni simulate nel secondo anno di ricerca sono state: girasole-frumento, bietola-frumento-girasole-frumento, medica-medica-medica-frumento-girasole-frumento, favino-frumento. Per tutte le colture sono stati calibrati i parametri colturali sulla base di dati di campo.

Durante il secondo anno di ricerca è stata effettuata la parametrizzazione del modello assumendo le colture in condizioni di pianura. Tuttavia la ricerca, tutt'ora in fase di avanzamento, prevede la simulazione di sistemi colturali inseriti in un contesto pedo-climatico che tenga effettivamente conto del modello digitale delle quote (DEM), pendenza (*slope*) e forma (*aspect*) dei singoli appezzamenti, attraverso l'ausilio di un sistema informativo geografico (GIS). Questo consentirà di fornire un output di simulazione relativo anche al ruscellamento ed alla perdita di nutrienti legata alle acque di scorrimento superficiale e di percolazione.

Le future applicazioni di CropSyst prevederanno anche l'utilizzo degli scenari climatici forniti dall'unità operativa IBIMET-CNR per i quali si sono resi necessari ulteriori aggiustamenti relativi soprattutto alle previsioni future dei dati termometrici.

L'analisi della produzione delle colture è stata effettuata considerando le condizioni pedologiche medie dei 12 profili di suolo analizzati nei due sottobacini oggetto di monitoraggio. Sono state



inoltre effettuate simulazioni sulla media e la variabilità temporale della produttività di frumento e girasole, considerando lo scenario climatico attuale e quelli ipotizzati per gli anni 2040 e 2090.

I tre scenari climatici adottati nelle simulazioni con CropSyst sono stati:

- 1) **“Baseline”**, assumendo una concentrazione di CO₂ di 350 ppm, ottenuto da serie storiche meteo reali;
- 2) **“2040”**, 450 ppm CO₂, che rappresenta il valore medio previsto per il periodo 2030-2049;
- 3) **“2090”**, assumendo una CO₂ di 660 ppm, che rappresenta le condizioni prevedibili in base al trend attuale per il ventennio 2080-2099. I due orizzonti temporali scelti forniscono rispettivamente uno scenario di cambiamento climatico intermedio e uno realizzato rispetto alle previsioni future a lungo termine (Reilly et al., 2001). Ogni scenario è composto da serie temporali meteorologiche di 50 anni.

I due scenari sul cambiamento climatico (“2040” e “2090”) sono stati generati dall’archivio dati (*dataset*) relativo allo scenario **“Baseline”**. Questo scenario è stato ottenuto a partire da dati meteorologici giornalieri sulla temperatura minima e massima e sulle precipitazioni per i periodi disponibili di diversi siti. Specificatamente: Modena (44° 40’ N, 10° 55’ E; anni 1968-95), Brescia (45° 58’ N, 10° 23’ E; anni 1989-98), Padova (45° 54’ N, 11° 52’ E; anni 1984-98), Pisa (43° 19’ N, 11° 21’ E; anni 1951-91), Osimo (43° 29’ N, 13° 30’ E; anni 1979-98), e Perugia (43° 08’ N, 12° 50’ E; anni 1989-98). Poichè i dati osservati sulla radiazione solare nei siti di simulazione erano disponibili per periodi brevi (circa 4 anni), è stato applicato il modello RADEST di Donatelli e Campbell (2003) per stimare la radiazione solare a partire dalla temperatura. Infine, è stato impiegato il generatore climatico ClimGen (Stockle et al., 2001) per creare uno scenario climatico **“Baseline”** di 50 anni a partire dai dati osservati (Tabella 2).

Location	Oct-Jan		Feb-May		Jun-Sep		Annual	
	Air Temp. avg (°C)	Precip. cum (mm)	Air Temp. avg (°C)	Precip. cum (mm)	Air Temp. avg (°C)	Precip. cum (mm)	Air Temp. avg (°C)	Precip. cum (mm)
Brescia	6.1	284	10.1	243	21.3	266	12.5	793
Padova	5.1	470	8.7	476	19.7	433	11.2	1379
Modena	5.5	213	10.0	202	21.5	231	12.3	647
Pisa	10.2	433	11.5	274	21.4	210	14.4	918
Osimo	9.3	255	10.7	202	21.4	189	13.8	645
Perugia	8.2	279	10.6	226	21.2	230	13.3	735

Tabella 2 – Temperature e precipitazioni medie stagionali e annuali dello scenario baseline in 6 siti diversi. (Donatelli et al., 2002)

L’evento piovoso (giorni asciutti o umidi), determinato utilizzando la catena di primo ordine di Markov, è la principale variabile che condiziona la temperatura massima e minima. Il processo di generazione della temperatura è basato su matrici 3 x 3 seriali e a correlazione incrociata i cui coefficienti vengono calibrati localmente.

I due scenari sul cambiamento climatico (“2040” e “2090”) utilizzati in questo studio corrispondono alle proiezioni climatiche del modello atmosferico dell’Hadley Centre (Reilly et al., 2001). In queste proiezioni, effettuate globalmente con una risoluzione di 2° x 2.5° long x lat, la concentrazione di CO₂ atmosferica aumenta nel periodo 1990-2100 con un tasso annuo dello 0,5%, fino a 700 ppm, cui segue uno scenario di emissione *“business as usual”* (IPCC, 1996). Il risultato è un innalzamento della temperatura media globale fino a 4°C nell’anno 2100.



I cambiamenti climatici relativi all'incremento di temperatura e alla modifica dell'ammontare delle precipitazioni (Tabella 3 e Tabella 4) specificati nelle proiezioni GCM di Hadley (2030-2049 o 2080-2099), sono stati ricavati per ogni sito di studio e calcolati come medie mensili (Tubiello et al., 2001). In questo modo sono state generate nuove serie climatiche di 50 anni dal "Baseline", con valori medi corrispondenti ai cambiamenti delle proiezioni GCM ma con la stessa variabilità del clima attuale. Le concentrazioni della CO₂ atmosferica sono state calcolate per ogni periodo utilizzando lo scenario di emissione "business as usual" Is-92a (IPCC, 1996).

Precipitation (mm)	Oct-Jan		Feb-May		Jun-Sep	
	2040	2090	2040	2090	2040	2090
Osimo	57.0	39.5	41.2	27.3	16.0	-23.8
Perugia	74.6	31.3	37.0	26.1	7.4	-35.5
Pisa	115.9	77.0	56.6	66.5	-5.4	-35.5
Modena	72.8	54.1	30.8	34.5	13.3	-24.0
Padova	69.6	23.1	15.9	10.3	4.6	-18.8
Brescia	44.0	22.7	17.3	19.1	3.2	-26.4
Average	72.3	41.3	33.1	30.6	6.5	-27.3

Tabella 3 – Incrementi delle temperature medie degli scenari "2040" e "2090" rispetto al Baseline (Donatelli et al., 2002).

Air Temp. avg (°C)	Oct-Jan		Feb-May		Jun-Sep	
	2040	2090	2040	2090	2040	2090
Osimo	0.81	3.15	1.05	3.04	1.18	4.25
Perugia	0.89	3.29	1.05	3.12	1.21	4.31
Pisa	0.95	3.50	1.06	3.25	1.23	4.40
Modena	0.91	3.63	1.13	3.34	1.25	4.58
Padova	0.88	3.50	1.12	3.27	1.27	4.58
Brescia	0.85	3.53	1.14	3.35	1.28	4.43
Average	0.88	3.43	1.09	3.23	1.23	4.42

Tabella 4 – Variazioni delle precipitazioni degli scenari "2040" e "2090" rispetto al Baseline (Donatelli et al., 2002)

L'applicazione del modello ha permesso inoltre di stimare la media e la variabilità della produzione delle due colture principali dei due bacini (frumento duro e girasole) nello spazio, simulando un cinquantennio di risultati produttivi in ciascuno dei profili di suolo considerati (Figura 3). Le simulazioni effettuate con CropSyst e CropSyst Watershed permetteranno di effettuare valutazioni comparative tra diversi ordinamenti colturali nei bacini considerati. Gli output di CropSyst saranno anche utilizzati per le analisi quantitative sull'erosione con il modello EUROSEM.

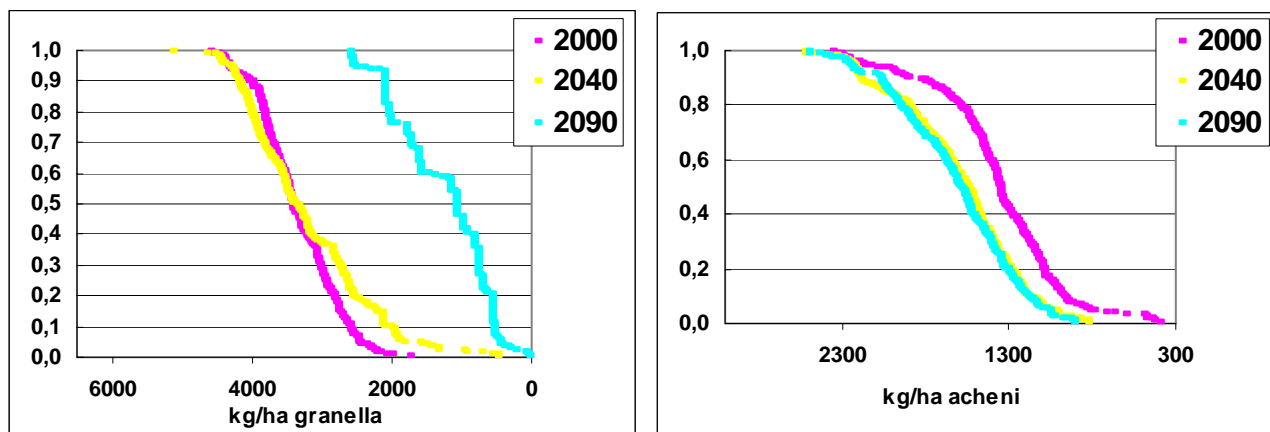


Figura 3 - Probabilità cumulate delle rese di frumento e girasole simulate con CropSyst, sulla base dei tre scenari climatici 2000 e 2040 2090 generati a partire dai dati della stazione di Osimo e per la media dei profili di suolo dei sottobacini Spescia e Bottiglie.

Applicazioni del modello TOPKAPI per la simulazione del deflusso. Il modello TOPKAPI è stato utilizzato per valutare la dinamica dei deflussi superficiali in relazione a diversi tipi di copertura del suolo. Durante il periodo in questione è stato calibrato sulla base di afflussi e deflussi misurati nei due bacini, in relazione all'effettiva rete idrografica superficiale permanente e temporanea, rilevata attraverso GPS di precisione, e all'uso del suolo rilevati attraverso il monitoraggio. Sono stati utilizzati i dati meteorologici dal 1998 al 2000; i parametri idraulici sono stati valutati tramite il metodo proposto da SAXTON et al. (1986) a partire dalle analisi di tessitura effettuate nei due bacini.

Considerando la rappresentazione del bacino mediante il modello digitale del terreno (DEM), la rete scolante attuale interessa circa il 27% delle maglie del DEM (20x20 m) nel bacino Bottiglie, e circa il 21% nel bacino Spescia. 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 7% delle maglie del DEM nel bacino Bottiglie, e circa il 5% nel bacino Spescia.

Per entrambi i bacini sono stati simulati i seguenti scenari di uso del suolo, nell'ipotesi di rete drenante naturale: uso del suolo attuale, suolo completamente nudo, copertura con bosco al 100%, fascia boscata larga 20 m in corrispondenza della rete idrografica naturale. I diversi scenari di uso del suolo sono stati rappresentati correggendo l'evapotraspirazione di riferimento con i coefficienti colturali relativi alle rispettive coperture (ALLEN et al., 1998). Sono stati anche modificati i parametri di scabrezza superficiale. I risultati indicano ottima corrispondenza tra deflussi misurati in campo e quelli simulati dal modello (Figura 4).

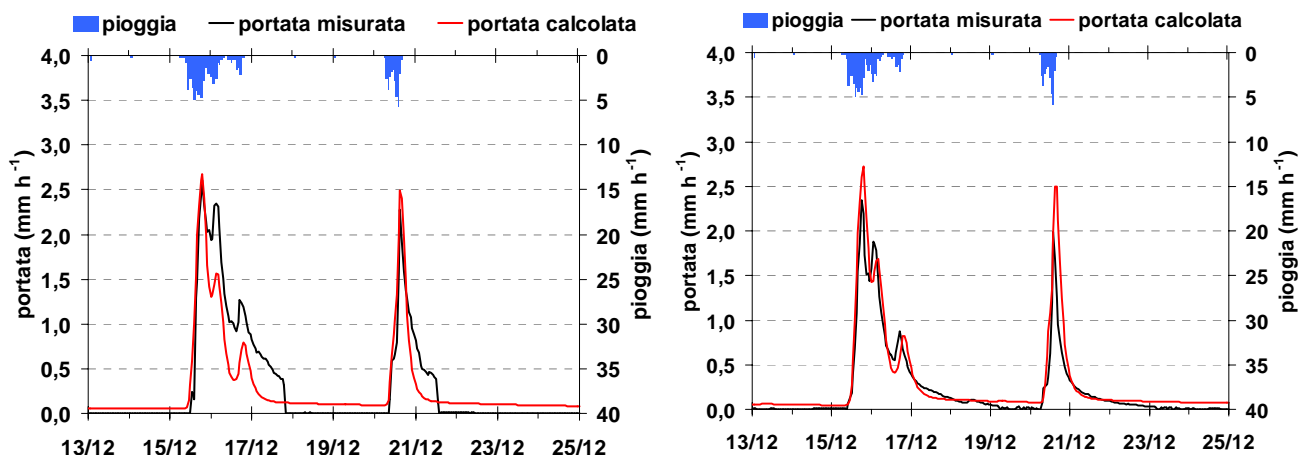


Figura 4 – Esempio di deflussi misurati e simulati con il modello TOPKAPI, in relazione all'effettiva copertura del suolo (a sinistra Bottiglie; a destra Spesica).

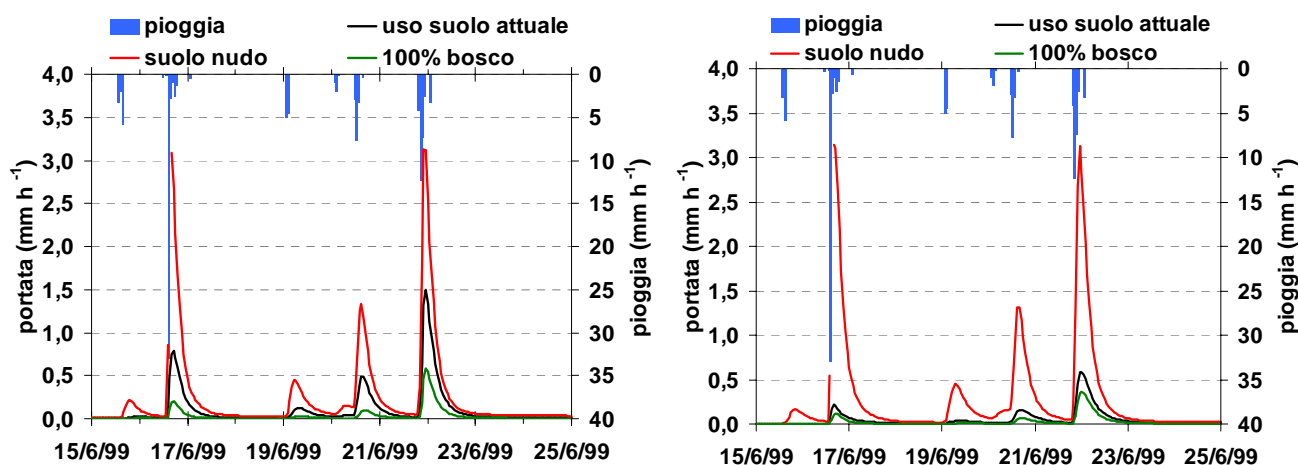


Figura 5 – Esempio di deflussi simulato con il modello TOPKAPI, con uso del suolo attuale, suolo nudo e 100% bosco, rete drenante naturale (a sinistra Bottiglie, a destra Spesica).

Le simulazioni relative al confronto tra suolo nudo e copertura boschiva 100%, confrontati con l'uso del suolo attuale (con rete drenante naturale) per un evento estivo, illustrano l'ampio campo di variazione delle portate di deflusso in relazione all'uso del suolo nei due bacini, in particolare a Spesica, che è stato attribuito in buona parte al diverso consumo idrico dei due tipi di copertura (Figura 5).

Utilizzando gli ipotetici scenari futuri, è stato inoltre possibile valutare quantitativamente gli effetti dei cambiamenti climatici sui deflussi in relazione a diversi usi del suolo e alle caratteristiche della rete drenante superficiale (Figura 6).

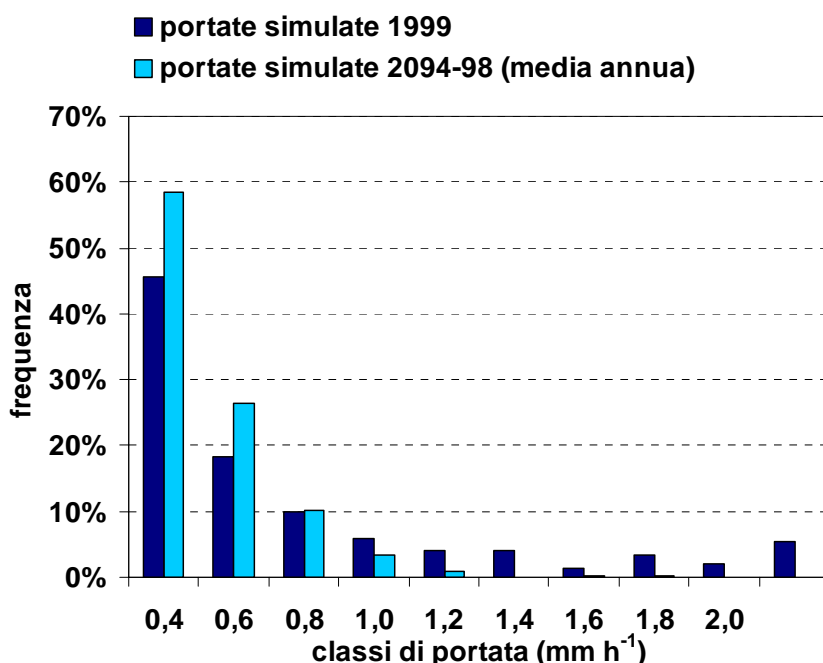


Figura 6 – Confronto tra la distribuzione delle portate simulate superiori a 0,4 mm h⁻¹ nell’anno 1999 e nella media annuale del quinquennio 2094-2098, per il bacino di Bottiglie, con suolo nudo e rete drenante naturale. I dati in figura sono solo indicativi del tipo di elaborazione resa possibile dal modello.

Applicazioni del modello EUROSEM per la previsione dell’erosione. I risultati delle simulazioni effettuate con il modello EUROSEM, ottenuti durante il secondo anno di ricerca, si riferiscono al sottobacino Bottiglie. Per la calibrazione è stata utilizzata la serie storica cinquantennale dei dati termo-pluviometrici 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 stati considerati distinti se separati da pause di precipitazione superiori a 6 ore.

Le simulazioni (esempi in Figura 7) hanno riguardato deflussi superficiali ed erosione idrica considerando quattro 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. 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.

Una difficoltà incontrata ha riguardato la compilazione dei file di input del modello per le colture e le piogge. Per far fronte a questo problema è in corso di sviluppo una utilità software per interfacciare il modello alle basi di dati. Inoltre sono state necessarie alcune, seppur minime, semplificazioni per descrivere il bacino, dal momento che il modello non prevede più di 60 elementi descrittivi tra canali e piani.

Il modello EUROSEM ha dimostrato in varie applicazioni di essere in grado di predire con buona affidabilità le altezze di deflusso superficiale e i quantitativi di terreno eroso. Anche in questo caso, come per TOPKAPI, la corrispondenza tra simulazioni e dati rilevati in campo è stata buona, anche

se limitata ai pochissimi eventi erosivi effettivamente riscontrati. Tuttavia, per il dettaglio del processo fisico simulato e per le eccellenti performance del modello in altre situazioni di test (va considerato anche che il modello EUROSEM è strettamente derivato dal modello Kinos, che a sua volta dispone di un larghissimo set di confronti tra simulato e misurato, e dove si è accertata la notevole qualità delle simulazioni), appare del tutto ragionevole usare questo modello per la valutazione dell'effetto di cambiamenti climatici e di variazioni nella gestione agricola dei bacini. Una possibile linea di sviluppo dell'attività è quella di collegare EUROSEM, che funziona a livello di singolo evento di pioggia, agli altri modelli di simulazione usati nel progetto che simulano lo stato idrico del suolo e di sviluppo delle colture. Sarebbe inoltre utile di aggiungere un modulo per la simulazione dell'evoluzione delle condizioni della superficie del suolo in termini di rugosità superficiale e caratteristiche idrologiche in funzione delle colture, delle lavorazioni e degli eventi piovosi, in modo da ottenere una simulazione continua dell'erosione. In questo modo, si potrebbero produrre curve di probabilità del rischio erosivo per le diverse situazioni di clima e gestione del territorio, che si verranno a prospettare in funzione degli scenari climatici.

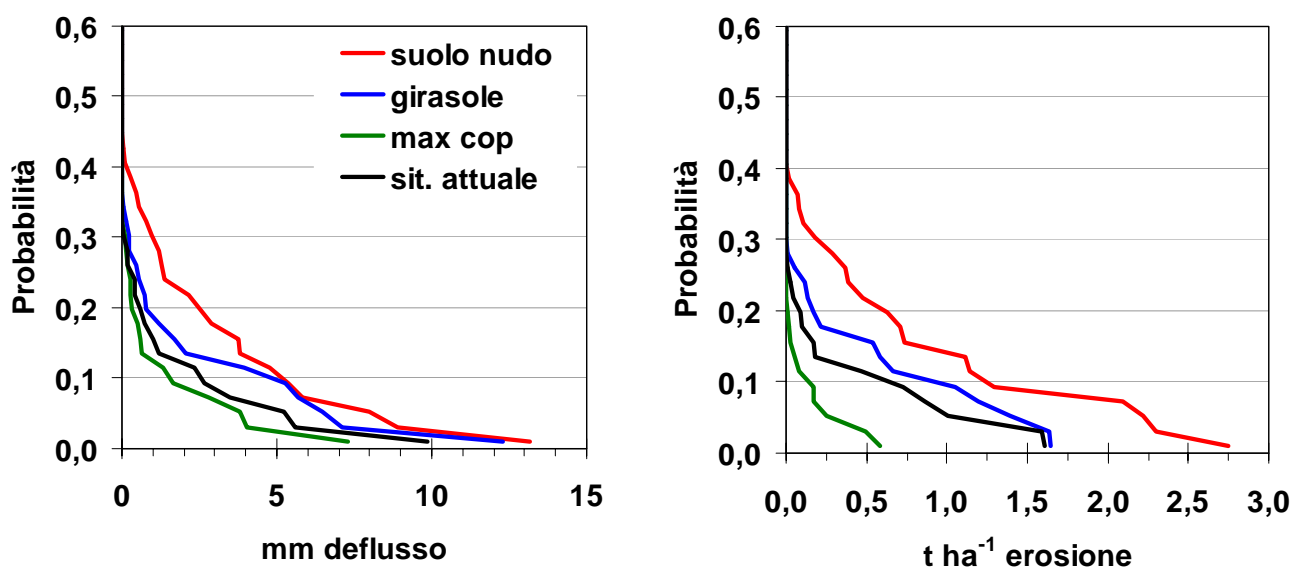


Figura 7 - Curve di probabilità di deflusso superficiale (a sinistra) ed erosione (a destra) ottenute con EUROSEM per il bacino Bottiglie in rapporto al tipo di copertura vegetale.

Considerazioni conclusive

Le simulazioni realizzate ed il lavoro in corso suggeriscono la necessità, da un punto di vista della simulazione dei processi a scala di bacino, di ricorrere a diversi strumenti di simulazione, con l'obiettivo di fornire un'analisi integrata quantitativa di almeno alcuni dei più rilevanti processi che controllano l'impatto della variazione degli scenari climatici sull'agricoltura dei territori collinari. CRITERIA, sistema geografico-modellistico già sviluppato e applicato con successo nelle condizioni di pianura dell'Emilia-Romagna, è in corso di potenziamento per gli aspetti modellistici e gestionali relativi ad applicazioni operative generali estese anche alle aree collinari.



EUROSEM permette di considerare la dinamica delle precipitazioni gestendo l'intensità di pioggia. Per la sensibilità a molti fattori pedologici, climatici e agronomici, è utilizzabile come strumento di pianificazione per la conservazione del suolo quando la disponibilità di dati di dettaglio è relativamente elevata. Da un punto di vista del software, è uno strumento progettato per la ricerca scientifica piuttosto che per usi operativi e l'attività previste nell'ambito del progetto Climagri sono orientate proprio a superare questo limite.

I risultati di TOPKAPI dimostrano una soddisfacente capacità di simulare lo stato attuale. Il modello si presta a simulazioni di scenario grazie alla coerente base fisica e alla semplicità di trattamento automatico di dati cartografici, attraverso *routines* opportunamente sviluppate. È tuttavia necessario definire adeguati standard di raccolta ed archiviazione informatica di dati cartografici e climatici per scopi operativi di gestione.

Per quanto riguarda CropSyst Watershed, sono in fase di allestimento i file per il confronto a scala di sottobacino delle simulazioni con rotazioni convenzionali e innovative, in relazione agli scenari di cambiamento climatico. DEM, *slope* e *aspect* saranno utilizzati dalla parte *watershed* del modello. Le simulazioni saranno ripetute con diversi input climatici. Le stime di deflusso saranno analizzate in rapporto a dati misurati e agrotecniche, per verificare la sensibilità dei deflussi rispetto alla gestione.



Prodotti del secondo anno della ricerca (elenco provvisorio)

Tesi di Laurea

- Cambiamenti Climatici e Sistemi Colturali della Collina Marchigiana: Applicazioni del Modello CropSyst. Tesi di laurea del Dott. Giacomo De Sanctis, Facoltà di Agraria, Università Politecnica delle Marche a.a. 2003-04.
- Gestione della Cover Crop e Produttività del Girasole Coltivato in Successione. Tesi di laurea della Dott.ssa Federica Moglie, Facoltà di Agraria, Università Politecnica delle Marche a.a. 2003-04
- Lisciviazione di Nitrati e Fosforo in Sistemi Colturali della Collina Marchigiana. Tesi di laurea della Dott.ssa Veronica Melappioni, Facoltà di Agraria, Università Politecnica delle Marche a.a. 2003-04

Publicazioni

Roggero P.P., Acutis M., Ciarapica L., Donatelli M., Toderi M., Zinoni F., 2003. Impatto ambientale dei sistemi colturali in aree di collina, in relazione ai cambiamenti climatici. *Atti Workshop "CLIMAGRI – Cambiamenti climatici e agricoltura"*, Cagliari, 16-17 gennaio 2003.

Roggero P.P., Acutis M., Donatelli M., Toderi M., Orsini R., Ciarapica L., Zinoni F., Marletto V., Pistocchi A., Tomei F., 2004. Impatto ambientale dei sistemi colturali in aree di collina in relazione ai cambiamenti climatici. MipaF-UCEA – Progetto di ricerca Climagri, risultato dell'attività del II° anno, 55-67.

Rosenmund A., Confalonieri R., Roggero P.P., Toderi M., Acutis M., 2005. Evaluation of the Eurosem model for simulating soil erosion in central Italy. *Rivista di Agrometeorologia*, sottomesso per la revisione.

Corti G., Agnelli A., Cocco S., Toderi M., Roggero P.P., 2003. Variabilità spaziale delle caratteristiche dei suoli in due microbacini imbriferi della collina marchigiana. *Atti del convegno annuale della Società Italiana di Chimica Agraria*, Ancona.

Roggero P.P., Toderi M., 2001. Monitoraggio dell'impatto ambientale dei sistemi colturali di collina a livello di sottobacino imbrifero: II analisi triennale dell'erosione del suolo. In: Mariotti M e Pampana S. (ed.), *Strategie agronomiche al servizio della moderna agricoltura*. Atti XXXIV Convegno della Società Italiana di Agronomia, Pisa, 17-21 settembre 2001, Felici Editore, Pisa, 81-82.



Riferimenti bibliografici

- ACUTIS M. e DONATELLI M., 2003. SOILPAR 2.00: software to estimate soil hydrological parameters and functions. *Eur. J. Agron.* Vol. 18 (3-4), 373-377.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. Fao Irrigation and drainage paper, 56
- 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, Ancona, 137-168.
- CIARAPICA L. TODINI E., 2002. TOPKAPI: a model for the representation of the rainfall-runoff process at different scales. *Hydro. Proc.*, 16 (2), 207-229.
- DONATELLI M., BELLOCCHI G., FONTANA F., 2003. RadEst3.00: software to estimate daily radiation data from commonly available meteorological variables; *European Journal of Agronomy*, 18 (3-4), 363-367
- DONATELLI M., F.N.TUBIELLO, U. PERUCH, C. ROSENZWEIG, 2002. *Impacts of Climate Change and Elevated CO₂ on Sugar Beet Production in Northern and Central Italy*. *Italian Journal of Agronomy*, 6, 2, 133-142.
- DOWNER, C.W., OGDEN, F.L., 2004. Appropriate vertical discretization of Richards' equation for two dimensional watershed scale modeling. *Hydro. Proc.*, 18, 1-22.
- IPCC, 1996. *Climate change 1995: the science of climate change. The second IPCC assessment report*, edited by J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 572.
- 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.
- REILLY J., TUBIELLO F.N., MCCARL B., MELILLO J., 2001. Climate change and agriculture in the United States. In: Melillo J., Janetos G., Karl T. (eds.): *Climate Change Impacts on the United States*. Foundation USGCRP, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- ROGGERO P.P. e TODERI M., 2002a. 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. e TODERI M. (coord.), 2002b. *Le misure agroambientali: applicazione nelle Marche e analisi di un caso di studio*. Quaderni 5B, Agenzia di Servizi nel Settore Agroalimentare delle Marche, Ancona, 329 pp.
- SAXTON K.E., W.J. Rawls, J.S. Romberger, and R.I. Papendick, 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50 (4):1031-1036
- STÖCKLE C. O., DONATELLI M., NELSON. R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur. J. Agron.*, Vol. 18 (3-4), pp. 289-307
- STÖCKLE C. O, R. NELSON, M. DONATELLI and F. CASTELLVI, 2001. Climgen: a flexible weather generation program, 2nd International Symposium Modelling Cropping Systems, Florence, Italy, 16-18 July, 2001, 229-230
- SVETLITCHNYI, S.C., PLOTNITSKIY, S.V., STEPOVAYA, O.Y., 2003. Spatial distribution of soil moisture content within catchments and its modeling on the basis of topographic data. *J. Hydrol.*, 277, 50-60.
- PISTOCCHI A., TOMEI F., 2003. Un modello accoppiato 3D di runoff e deflusso nel mezzo poroso nel quadro del sistema di supporto alle decisioni CRITERIA. Atti AIAM (a cura di R. Confalonieri), *Le sfide dell'agrometeorologia*, Bologna 29-30/5/2003, 285-296.
- TUBIELLO F.N., ROSENZWEIG C., GOLDBERG R.A., JAGTAP S., JONES J.W., 2001. Effects of climate change on U.S. crop production : simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, potato, maize and citrus. *Climate Res.*, 20, 259-270
- ZINONI F., MARLETTO V. 1999. CRITERIA: bilancio idrico e GIS per la prevenzione dell'impatto ambientale di origine agricola. *Agric. Ric.*, 180/181, 102-109.