



ANPA

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

MODELLISTICA E QUALITÀ AMBIENTALE DEI SUOLI

RTI CTN_SSC 1/2001

ANPA

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi

MODELLISTICA E QUALITA' AMBIENTALE DEI SUOLI

Coordinamento:

Renzo BARBERIS (ARPA Piemonte), **Antonio PUGLIESE** (ANPA – Roma)

Gruppo di lavoro

Gianluca ALESSIO (ARPA Piemonte), Daniela BALLARDINI (ARPA Emilia Romagna), Meri BARBAFIERI (Istituto per la Chimica del Terreno - CNR Pisa), Paolo BAZZOFFI (Istituto Sperimentale Studio Difesa Suolo – Firenze), Danila BEVILACQUA (ARPA Emilia Romagna), Paola BOSCHETTI (ARPA Piemonte), Nicoletta DOTTI (ARPAL Liguria), Gabriele FABIETTI (ARPA Piemonte), Nicola FILIPPI (European Soil Bureau Ispra VA), Rosa FRANCAVIGLIA (Istituto Sperimentale Nutrizione Piante – Roma), Paolo GIANDON (ARPAV Veneto), Carlo JACOMINI (ANPA – Roma), Monica LAZZARI (ARPAL Liguria), Luca MONTANARELLA (European Soil Bureau Ispra - VA), Pina NAPPI (ARPA Piemonte), Marcello PAGLIAI (Istituto Sperimentale Studio Difesa Suolo – Firenze), Aldo PANZIA OGLIETTI (ARPA Piemonte), Giannantonio PETRUZZELLI (Istituto per la Chimica del Terreno - CNR Pisa), Federico REGIS (ARPA Piemonte), Carlo RIGHINI (ARPA Toscana), Carlo ROAGNA (ARPA Piemonte), Licia RUBBI (ARPA Emilia Romagna), Ezio RUSCO (European Soil Bureau Ispra VA), Paolo SEQUI (Istituto Sperimentale Nutrizione Piante – Roma), Eliana TASSI (Istituto per la Chimica del Terreno - CNR Pisa), Silvia TRIVELLATO (ARPAV Veneto), Marinella VITO (ARPA Campania).

Responsabile di progetto ANPA
Antonio Pugliese



Responsabile CTN_SSC
Renzo Barberis

Informazioni legali

L'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

Informazioni aggiuntive sull'argomento sono disponibili nei siti Internet

- <http://www.sinanet.anpa.it>
- <http://www.arpa.piemonte.it/ctn>

Supervisione editoriale a cura di:
ARPA Piemonte

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Stampato in Italia

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi

Via Vitaliano Brancati, 48
00144 Roma

Centro Tematico Nazionale – Suolo e Siti Contaminati

c/o Arpa Piemonte - Sede Centrale

Via della Rocca, 49
10123 Torino

CONTRIBUTI

Coordinamento:

Renzo BARBERIS
Antonio PUGLIESE

ARPA Piemonte
ANPA – Roma

Realizzazione:

Marcello DONATELLI, Gianni BELLOCCI - Istituto Sperimentale per le Colture Industriali

Giuseppe PALLADINO, Marco SETTI - Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, DIPROVAL, Sezione Economia

Stefano BRENNNA, Carlo RIPARBELLI - ERSAL, Servizio del Suolo

Marco TREVISAN, Ettore CAPRI - Università Cattolica Sacro Cuore di Milano, Facoltà di Agraria

Domenica AUTERI - Centro Internazionale per la Sicurezza degli Antiparassitari, Busto.G.

Franco ZINONI, Giorgio DUCCO, Vittorio MARLETTO, Margot VAN SOETENDAEL - ARPA Emilia-Romagna, Servizio Meteorologico Regionale, Bologna

Costanza CALZOLARI, Fabrizio UNGARO - CNR IGES Istituto per la Genesi e l'Ecologia del Suolo

Rosa MARCHETTI, Pasquale SPALLACCI - Istituto Sperimentale Agronomico, Sezione ricerche agronomiche applicate all'ambiente settentrionale

Gilda PONZONI, Marina GUERMANDI - Regione Emilia Romagna, Ufficio Pedologico

Letizia FUMAGALLI, Paolo MANTOVI - Centro Ricerche Produzioni Animali

Renzo BARBERIS, Gianluca ALESSIO, Gabriele FABIETTI, Federico REGIS, Carlo ROAGNA - Arpa Piemonte, Centro Tematico Nazionale Suolo e Siti Contaminati

PREMESSA

I CENTRI TEMATICI NAZIONALI

I Centri Tematici Nazionali (CTN) rappresentano il principale strumento di supporto operativo all'ANPA per l'espletamento di quelle attività di pertinenza nazionale e di coordinamento generale delle attività di alimentazione della base conoscitiva.

Nell'ambito di un sistema informativo distribuito a rete, come si caratterizza il SINANet assume grande importanza la definizione di regole condivise per la realizzazione ed il funzionamento del sistema a tutti i livelli territoriali. Proprio per questo il compito principale dei CTN è il supporto all'ANPA nella definizione delle regole, che si esplicita nella definizione dei dati ritenuti indispensabili per la conoscenza delle matrici ambientali, nella verifica del funzionamento del sistema di acquisizione e trasmissione di questi dati dal livello locale a quello centrale, nel supporto all'ANPA nella produzione di reporting ambientale integrato e tematico.

I CTN attivati sono sei: Atmosfera, Clima ed Emissioni in aria (ACE), Acque Interne e Marino costiere (AIM), Agenti Fisici (AGF), Conservazione della Natura (CON), Rifiuti (RIF), Suolo e Siti Contaminati (SSC).

Ogni CTN è costituito da un insieme di più soggetti a livello regionale o nazionale in cui vengono individuati:

- Una ARPA Leader, con la quale ANPA stipula una Convenzione;
- Una o più ARPA Coleader
- Altri soggetti (ARPA e Istituzioni Principali di Riferimento).

Gli obiettivi comuni per tutti i CTN sono:

- Rassegna della domanda di informazioni, derivante in particolare da leggi e norme europee e nazionali; è stato creato un metadatabase chiamato ODN (Osservatorio della Domanda di informazione proveniente dalla Normativa) nel quale sono state catalogate tutte le domande, implicite ed esplicite, individuate dai CTN;
- Predisposizione di un set di indicatori e indici utili a rappresentare tale domanda; le diverse centinaia di indicatori complessivamente individuati dai CTN sono stati catalogati in apposite schede contenenti le metainformazioni relative alla descrizione e costruzione di ciascun indicatore; tutte le schede sono raccolte in un database sugli indicatori;
- Definizione di un set più ridotto di indicatori giudicati significativi per rispondere alla domanda di informazione nazionale; ogni CTN ha provveduto ad identificare tale set, costituito da alcune decine di indicatori, seguendo criteri comuni concordati con l'ANPA; per ognuno di questi indicatori sono state compilate delle linee guida o manuali per la loro costruzione;

- Censimento delle fonti dei dati presenti sul territorio, con particolare riferimento a quelle utili per la costruzione degli indicatori significativi; come risultato di tale censimento, è stato creato il Catalogo italiano delle fonti dei dati ambientali (FONTI), inteso anche come contributo nazionale al Catalogue of Data Sources (CDS) europeo.
- Identificazione delle carenze informative emerse attraverso il confronto fra la domanda di dati da utilizzare per l'elaborazione degli indicatori significativi e la disponibilità effettiva di dati rilevati attraverso l'analisi delle fonti.

In una fase transitoria e sussidiaria, i CTN stanno anche svolgendo i compiti di reperimento dei dati necessari alla costruzione degli indicatori; in una fase a regime tale compito spetterà ai PFR, mentre i CTN dovranno vigilare sulla correttezza dei flussi dei dati verso l'ANPA.

Un ulteriore compito dei centri tematici è quello di supportare l'ANPA nelle attività di reporting ambientale generale e tematico. Queste attività si sono per ora esplicitate sia in occasione della preparazione dei documenti relativi alla terza ed alla quarta Conferenza Nazionale delle Agenzie ambientali, sia nella redazione di report tematici specifici.

IL CTN “SUOLO E SITI CONTAMINATI”

I soggetti partecipanti al CTN SSC sono:

Leader: ARPA Piemonte

Co-leader: ARPA Liguria

Partecipanti: ARPA Emilia Romagna
ARPA Toscana
ARPA Veneto
ARPA Campania

IPR: Istituto di Chimica del Terreno del CNR di Pisa (CNR_PI);
Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma (ISNP_RM);
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze (ISSDS_FI);
European Soil Bureau – Joint Research Center – ISPRA -VA (ESB_IS);
Dipartimento di Chimica Analitica dell'Università di Torino (DICA_TO);
Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare della Facoltà di Agraria dell'Università di Bologna, sede distaccata di Reggio Emilia (DIPROVAL_RE);
Ente di Sviluppo Agricolo della Regione Lombardia (ERSAL_MI);
Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA_RM).

Il Comitato di Gestione del CTN SSC è al momento costituito dai seguenti componenti, in rappresentanza di tutti i soggetti Istituzionali partecipanti:

- dott. Renzo Barberis, responsabile del CTN per l'ARPA Piemonte, struttura leader;
- ing. Antonio Pugliese, responsabile per l'ANPA;
- dott.sa Nicoletta Dotti, referente per l'ARPA Liguria, struttura coleader;
- dott.sa Licia Rubbi, referente per l'ARPA Emilia Romagna, partecipante;
- dott.sa Marinella Vito, referente per l'ARPA Campania, partecipante
- dott. Carlo Righini, referente per l'ARPA Toscana, partecipante;
- dott. Paolo Giandon, referente per l'ARPA Veneto, partecipante;
- dott. Giannantonio Petruzzelli, referente per la IPR Istituto di Chimica del Terreno del CNR di Pisa;
- prof. Paolo Sequi, referente dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma;
- dott. Marcello Pagliai, referente dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze.

Le attività del CTN SSC comprendono l'esame della domanda di conoscenza sul suolo derivante da atti di indirizzo, convenzioni, leggi e norme a livello europeo e nazionale, l'individuazione di indicatori e indici utili a descrivere la matrice suolo, le linee guida per la costruzione di questi indicatori e indici, il censimento delle sorgenti dei dati necessari per la formulazione di indicatori e indici e l'acquisizione dei dati disponibili, la qualificazione e l'integrazione di questi dati; il CTN si occupa inoltre di molte altre attività correlate, legate ad esempio agli standard di qualità ambientale o alle guide tecniche sui metodi di analisi.

Per facilitare l'approccio ad una matrice così complessa come il suolo, pur essendo perfettamente consci dell'unicità della matrice stessa, sono state definite quattro diverse tematiche che vogliono rappresentare quattro aspetti particolari, ampiamente correlati tra loro, del suolo:

- **Qualità Dei Suoli (Tema 18)** – riguarda la rappresentazione del suolo attraverso le sue caratteristiche intrinseche, che meglio lo caratterizzano come matrice naturale in grado di svolgere le numerose e ben note funzioni;
- **Degradazione fisica e biologica del suolo (Tema 19)** – considera gli aspetti di degradazione della matrice suolo che, soprattutto nell'ultimo secolo, hanno portato o rischiano di portare ad una perdita di parte del suolo o delle sue funzionalità a causa del verificarsi di fenomeni degradativi o di utilizzo del suolo che possono considerarsi irreversibili, almeno nella scala temporale umana;
- **Contaminazione dei suoli da fonti diffuse (Tema 20)** – considera quegli aspetti qualitativi del suolo che possono essere progressivamente compromessi da un utilizzo dello stesso, soprattutto da parte dell'uomo, con modalità tali da non rispettare i naturali tempi di riequilibrio, vale a dire tali da compromettere la funzione del suolo come filtro biologico;
- **Contaminazione puntuale del suolo e siti contaminati (Tema 21)** – considera uno dei fenomeni più preoccupanti degli ultimi decenni, vale a dire il moltiplicarsi di situazioni di forte contaminazione di superfici ben definite di suolo da parte di attività antropiche, con

necessità di interventi di bonifica che, spesso, non sono in grado di restituire al suolo la sua piena funzionalità.

Il CTN SSC esplica inoltre diverse attività di supporto all'ANPA sulle tematiche specifiche.

SOMMARIO

PREMESSA	I
I Centri Tematici Nazionali	I
Il CTN “Suolo e Siti Contaminati”	II
SOMMARIO	V
 INTRODUZIONE	 1
 Il modello per la simulazione di sistemi colturali CROPSYST e gli strumenti collegati <i>Marcello Donatelli, Gianni Bellocchi</i>	 3
 Economia e sostenibilit� ambientale dei sistemi agricoli italiani <i>Giuseppe Palladino – Marco Setti</i>	 17
 Il progetto LIFE 98 – SuSAP <i>Stefano Brenna e Carlo Riparbelli</i>	 Errore. Il segnalibro non � definito.
 Uso del modello CRITERIA per la valutazione del rischio di inquinamento agricolo dei corpi idrici <i>Franco Zinoni, Giorgio Ducco, Vittorio Marletto, Margot Van Soetendael</i>	 67
 I modelli MACRO e SOILN: l’esperienza del progetto SINA - Carta pedologica in aree a rischio ambientale <i>Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro.</i>	 79
 Il censimento dei principali modelli utilizzati per il suolo <i>Renzo Barberis, Gianluca Alessio, Gabriele Fabietti, Federico Regis, Carlo Roagna</i>	 105

INTRODUZIONE

L'ANPA sta organizzando il nuovo sistema nazionale conoscitivo e dei controlli ambientali (SINANet). Nell'ambito di tale sistema, i CTN (Centri Tematici Nazionali) rappresentano il principale strumento di supporto operativo dell'ANPA, per l'espletamento di quelle attività di formazione delle regole per favorire l'integrazione territoriale e tematica delle informazioni ambientali e di coordinamento generale delle attività di alimentazione della base conoscitiva a livello nazionale.

In particolare il CTN Suolo e Siti Contaminati opera su dati e informazioni che sono ritenuti utili per descrivere la matrice ambientale "suolo" a livello nazionale e pertanto propedeutiche alla implementazione delle politiche di salvaguardia ambientale ed utilizzo del territorio, secondo i criteri dello sviluppo sostenibile.

La possibilità di potere rappresentare la realtà utilizzando modelli matematici gioca oggi un ruolo notevole nel processo conoscitivo e nella protezione della salute umana e dell'ambiente. L'evoluzione della modellistica è continua e sempre nuovi modelli vengono proposti agli utenti (ricercatori, legislatori, industrie, ecc.). Lo sviluppo degli elaboratori ha permesso di giungere a risultati sorprendenti attraverso l'uso di modelli matematici nello studio previsionale di fenomeni naturali, ivi compresi quelli correlati direttamente o indirettamente al suolo.

Questo volume è occasione di presentazione di alcuni dei più importanti lavori di ricognizione e validazione di modelli per il suolo condotti in questi ultimi anni in Italia. Un congruo spazio è riservato alla presentazione della rassegna dei modelli che il CTN SSC aggiorna costantemente grazie ad un Osservatorio appositamente creato. Ciò anche al fine di promuovere l'informazione sulle attività del CTN e favorire l'impiego dei prodotti realizzati.

IL MODELLO PER LA SIMULAZIONE DI SISTEMI COLTURALI CROPSYST E GLI STRUMENTI COLLEGATI

Marcello Donatelli, Gianni Bellocchi
Istituto Sperimentale per le Colture Industriali

INTRODUZIONE

CropSyst (*Cropping Systems Simulation Model*) (Stöckle e Nelson, 2001) è uno dei modelli più diffusi a livello mondiale per la simulazione dei sistemi colturali. Il modello è relativamente semplice (*generic crop simulator*) e di facile impiego, sviluppato come strumento analitico per lo studio degli effetti prodotti dagli interventi agronomici sulla produttività di una o più colture avvicendate e sull'ambiente.

I processi simulati da CropSyst sono implementati secondo un approccio per lo più meccanicistico e con un livello di dettaglio sostanzialmente bilanciato tra i diversi moduli. In particolare, il modello simula il bilancio idrico del suolo, il bilancio azotato del sistema suolo-coltura, la crescita (radicale, aerea) e la produttività delle colture, l'evoluzione dei residui colturali, l'erosione del suolo. È in corso di sviluppo il modulo per la simulazione del destino ambientale dei diserbanti. Tutti i processi simulati sono influenzati dalle condizioni climatiche e pedologiche, dalle caratteristiche morfo-fisiologiche delle colture e dagli interventi agronomici.

Il *software*, scritto in linguaggio C++, richiede il sistema operativo Windows (9x/NT/2000). Un'interfaccia *user-friendly* permette agli utenti di manipolare facilmente i *file* di *input*, assegnare valori ai parametri di *input*, creare simulazioni, eseguire simulazioni singole o in *batch*, personalizzare gli *output*, produrre *report* grafici e di testo, collegare programmi di foglio elettronico e selezionare un linguaggio di dialogo a preferenza tra l'italiano, l'inglese, il francese, lo spagnolo e il catalano. Le simulazioni possono essere personalizzate richiamando solo i moduli interessanti per particolari applicazioni (per esempio, l'erosione e la simulazione dell'azoto possono essere opzionalmente disattivate) così da incrementare l'efficienza delle simulazioni e semplificare la parametrizzazione del modello. Dall'interfaccia è possibile la consultazione del manuale.

Input del modello

Quattro *file* separati di *input* sono richiesti per eseguire una simulazione di CropSyst: Località, Suolo, Coltura, *Management*.

Il *file* Località include informazioni relative allo specifico sito in cui si svolgono i processi da simulare: latitudine, *file* climatici di *input*, parametri relativi all'intensità di pioggia, parametri relativi al congelamento del suolo e opzioni per la stima dell'evapotraspirazione.

Il file Suolo consiste di tre sezioni: caratteristiche generali del suolo, tessitura e proprietà idrauliche. Richiede i seguenti parametri: capacità di scambio cationico e pH (solo per lo strato più superficiale), parametri per la stima del ruscellamento, tessitura lungo il profilo e cinque parametri per ogni strato (spessore, capacità di campo, punto di appassimento, densità apparente, coefficiente di *by-pass*).

Il file Management include interventi tecnici (automatici e a calendario) relativamente a: lavorazioni, gestione dei residui, irrigazioni, gestione dell'azoto, taglio delle foraggere. Gli interventi possono essere specificati in corrispondenza della data in cui sono stati effettuati oppure sincronizzati rispetto alla fenologia della coltura.

Il file Coltura permette di rappresentare specie vegetali diverse a partire da un comune insieme di parametri. Il file è strutturato in 13 sezioni: classificazione, crescita, morfologia, fenologia, vernalizzazione, fotoperiodo, raccolta, residui, azoto, salinità, CO₂, dormienza, resistenza al freddo.

Un file Simulazione contiene le informazioni per generare le simulazioni combinando i quattro file di input. Inoltre, determina il giorno di inizio e di fine delle simulazioni, le opzioni per diversi moduli (infiltrazione dell'acqua, ruscellamento, salinità, trasformazioni azotate, erosione, CO₂), definisce la successione colturale e include le variabili che richiedono valori di inizializzazione (acqua, azoto nitrico e ammoniacale, sostanza organica, salinità, residui colturali).

SIMULAZIONE DEI PROCESSI DEL SUOLO

Tra i processi del suolo assume una importanza consistente la stima delle componenti del bilancio idrico. Per azoto, salinità e diserbanti (che prevedono processi di decadimento e assorbimento) vengono stimati bilanci di massa in interazione con il bilancio idrico. Tutti i bilanci inclusi nel modello sono completamente controllati, sia temporalmente (a ogni passo di integrazione) che spazialmente (strato per strato e per l'intero profilo). Gli eventuali errori sono riportati in caso di scostamento da un insieme di valori soglia.

Il bilancio idrico include le precipitazioni, l'irrigazione, il ruscellamento superficiale, l'intercettazione dell'acqua da parte delle colture, la re-distribuzione dell'acqua nel profilo del suolo, la traspirazione colturale e l'evaporazione. CropSyst prevede opzioni alternative per calcolare la distribuzione dell'acqua nel profilo del suolo e l'evapotraspirazione di riferimento. Il trasporto dell'acqua nel suolo è governato da un semplice approccio a cascata o da un approccio alle differenze finite. Il primo approccio interpreta il suolo come una riserva idrica alimentata dalle piogge e dall'irrigazione e le cui perdite sono date dall'evapotraspirazione e dal drenaggio (Leenhardt et al., 1995). L'acqua che si infiltra nel suolo passa da uno strato a quello sottostante non appena lo strato superiore raggiunge la capacità di campo. Una volta portato l'intero profilo del suolo alla capacità di campo, l'acqua rimanente è considerata persa per percolazione. Un parametro empirico, identificato come coefficiente di *by-pass* (variabile tra 0 e 1), incide sul trasporto dei soluti. L'infiltrazione a cascata è calcolata solo quando intervengono eventi piovosi o irrigui. Questo approccio stima la risalita capillare e assume, come limite superiore del contenuto idrico, il valore a capacità di campo. La concentrazione di azoto nell'acqua che rimane

e dell'acqua che lascia lo strato viene calcolata in tre modi diversi, a seconda della quantità di acqua contenuta nello strato e della quantità che arriva nello strato:

- l'acqua che entra nello strato è sufficiente a portare lo strato a capacità di campo sostituendo l'acqua che era nello strato prima dell'evento;
- l'acqua che raggiunge lo strato non è sufficiente a sostituire quella presente ma è comunque maggiore di quella necessaria per portare il contenuto idrico del suolo a capacità di campo;
- l'acqua in entrata è inferiore a quella necessaria per portare il contenuto d'acqua dello strato a capacità di campo.

In alternativa all'approccio a cascata CropSyst prevede l'applicazione di un metodo numerico alle differenze finite (soluzione finita dell'equazione di Richard) che consente di stimare i flussi idrici nel suolo. Il metodo numerico divide il profilo del suolo in elementi separati da nodi, a cui corrispondono il potenziale idrico, il contenuto idrico, la concentrazione del soluto (se il trasporto del soluto è richiesto) e la frazione radicale. Questo approccio risolve simultaneamente il trasporto idrico nel suolo e l'assorbimento di acqua da parte delle colture. Ogni modificazione del contenuto idrico in ciascun nodo (incluso il flusso di vapore) è data dall'equazione di Richard. Un sistema di equazioni alle differenze finite è costruito per ogni singolo nodo. Il contenuto idrico e la conduttività idraulica sono correlati all'acqua potenziale del terreno presso il nodo e alle proprietà fisiche degli elementi circostanti. La conduttanza radicale a ciascun nodo è modellata per tenere conto degli effetti della salinità secondo l'approccio proposto da Van Genuchten (1987). Appropriate condizioni al contorno vengono definite in rapporto alla simulazione dell'irrigazione, dell'evaporazione, del drenaggio e della falda freatica (di cui va specificata la profondità). Il sistema è risolto numericamente con uno schema alle differenze finite usando la trasformazione di Kirchhoff e il metodo di Newton-Raphson (Annandale, 1991).

Il bilancio azotato in cropsyst include le trasformazioni dell'azoto, l'adsorbimento ammoniacale, la fissazione simbiotica dell'azoto, la domanda azotata e l'assorbimento da parte della coltura. le trasformazioni azotate (mineralizzazione netta, nitrificazione e denitrificazione) sono simulate usando cinetiche di primo ordine (stöckle e campbell, 1989) e si assume che avvengano nei primi 30-50 cm di suolo. le trasformazioni dipendono dalla temperatura, per cui la stima della temperatura del suolo è inclusa nel modello secondo un approccio derivato da sharpley e williams (1990).

Strumenti collegati

CropSyst viene distribuito unitamente al *software* per la generazione climatica ClimGen e all'estensione Arc CropSyst Cooperator per l'interfaccia con i sistemi di informazione geografica (GIS).

ClimGen utilizza i dati (giornalieri o mensili) di variabili meteorologiche (precipitazioni, temperature aeree, radiazione solare, umidità dell'aria e velocità del vento) di una località georeferenziata e: calcola i parametri statistici, genera valori giornalieri sintetici, esporta i dati generati in formati disponibili per altre applicazioni. L'impiego di ClimGen si rivela utile per eseguire simulazioni con CropSyst in anni per i quali mancano dati climatici e per simulazioni di

lungo periodo utili allo studio degli effetti della variabilità climatica (entro l'anno, tra anni, per cicli di anni) sulle colture e sull'ambiente.

L'estensione Arc CropSyst Cooperator opera con i *database* generati dai *software* ArcInfo e ArcView. Il cooperatore usa i *file* dei parametri di CropSyst, associati ai poligoni GIS, per generare gruppi di simulazioni i cui risultati sono usati dal *software* GIS per produrre mappe comprensive degli *output* di CropSyst.

Altri strumenti informatici risultano di particolare utilità per produrre dati di *input* per CropSyst e per testare i risultati delle simulazioni. Del primo gruppo si segnalano WeatherFile (Fontana e Donatelli, 1999), RadEst (Donatelli e Bellocchi, 2001) e SOILPAR (Acutis e Donatelli, 2001). Per la valutazione dei risultati delle stime si segnala il *software* IRENE (Fila et al., 2001). I quattro *software* sono disponibili al sito: <http://www.isci.it/tools>.

WeatherFile è una *utility* sviluppata per convertire *file* di dati climatici in una varietà di formati diversi. *Driver* per formati specifici possono essere creati dall'utente e salvati. WeatherFile può essere impiegato per produrre di vario formato nel formato richiesto da CropSyst.

Il *software* RadEst include diverse opzioni per la stima di dati giornalieri di radiazione solare in funzione della temperatura aerea. Si rivela pertanto utile nei siti in cui sono disponibili dati giornalieri di piovosità e temperatura ma mancano i rilievi di radiazione solare. RadEst esporta i propri *output* su *file* del formato richiesto da CropSyst.

SOILPAR include opzioni per la stima di variabili idrologiche del suolo mediante funzioni di *pedotransfer*. Tali funzioni fanno uso di variabili comunemente misurate come la tessitura, il carbonio organico, il pH e la capacità di scambio cationico. Altre variabili, come la capacità di campo e il punto di appassimento, vengono più raramente rilevate benché siano importanti *input* di molti modelli come CropSyst. Variabili di questo tipo possono essere stimate con SOILPAR laddove non siano disponibili valori misurati. Gli *output* di SOILPAR sono esportabili nel formato richiesto da CropSyst.

IRENE è un *software* che confronta le stime prodotte da un modello con i rispettivi valori misurati mediante un *set* esteso di strumenti statistici. Il programma legge *file* in formato Microsoft Excel. Gli *output* di CropSyst prodotti su foglio elettronico possono essere facilmente adattati per la lettura da parte di IRENE.

VALIDAZIONI DI CROPSYST

CropSyst è stato testato su molte colture (barbabietola da zucchero, colture foraggere, frumento, mais, soia, sorgo, ecc.) e in diverse aree (Argentina, Australia, Francia, Italia, Russia, Siria, Spagna, Stati Uniti, Tunisia, Ucraina), generalmente con buoni risultati secondo quanto riportato da diversi autori (Stöckle et al., 1994; Ferrer-Alegre, 1995; Pala et al., 1996; Stöckle e Debaeke, 1996; Donatelli et al., 1996, 1997; Francaviglia e Bartolini, 1997; Rinaldi e Ventrella, 1997; Stöckle et al., 1997; Giardini et al., 1998; Marchetti et al., 1998; Silvestri et al., 1999; Ferrer-Alegre et al., 1999a, b; Francaviglia e Marchetti, 1999; Francaviglia et al., 1999; Bechini et al.,

2000; Bellocchi et al., 2000; Donatelli e Stöckle, 2000; Francaviglia et al., 2001; Meinke et al., 2001). Alcuni problemi sono stati registrati (Stöckle e Donatelli, 1997) principalmente in applicazioni eseguite sotto condizioni non espressamente considerate dal modello (es., simulazione del bilancio idrico in vertisuoli soggetti a fessurazione).

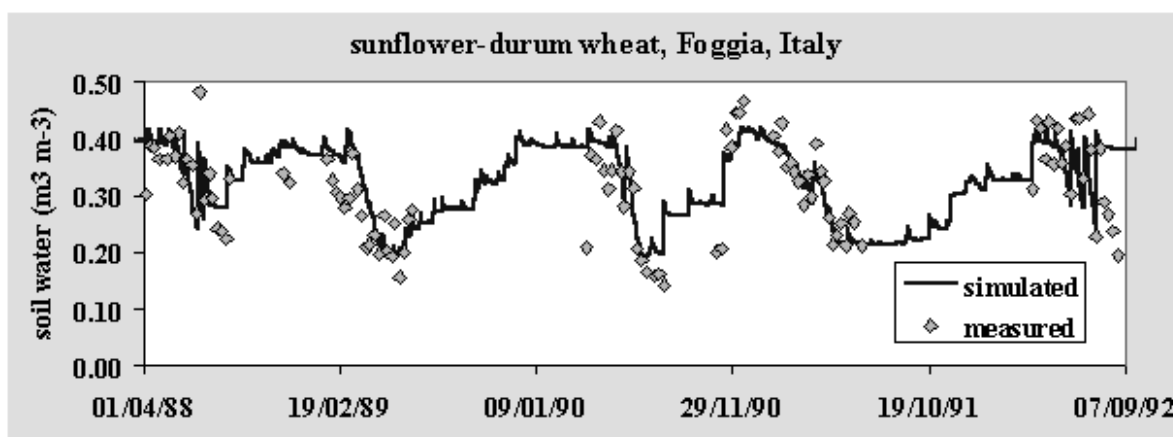
Nel lavoro di Stockle et al. (1997), CropSyst è stato testato usando dati raccolti presso l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) ad Auzeville (Francia) in esperimenti di lungo periodo eseguiti dal 1983 al 1992 per valutare sistemi culturali condotti con tre livelli di *input* di acqua e azoto. L'obiettivo era quello di valutare l'abilità di CropSyst nel prevedere l'evapotraspirazione, la biomassa aerea e la produzione di mais, sorgo e soia in risposta alle condizioni climatiche (tre annate: 1986, 1989, 1990). In aggiunta, le simulazioni sono state eseguite combinando i due sotto-modelli dell'evapotraspirazione (PM: Penman-Monteith; PT: Priestley-Taylor) e i due sotto-modelli della infiltrazione/distribuzione dell'acqua nel profilo del suolo (C: cascata; DF: differenze finite). CropSyst ha dato buoni risultati nel simulare i valori osservati di evapotraspirazione, biomassa aerea, produzione granellare per le tre colture, i tre anni e i tre livelli di *input*, come confermato dall'indice di *agreement* di Wilmott consistentemente superiore a 0.95. I risultati di Tab. 1, che riassumono le sole simulazioni della produzione granellare, mostrano che le migliori *performance* del modello tendono a verificarsi con l'uso dei sotto-modelli PM e DF.

Tabella. 1 – Risultati dei confronti tra valori simulati con CropSyst e valori osservati di produzione granellare ad Auzeville (Francia) usando diversi sotto-modelli dell'evapotraspirazione (PM: Penman-Monteith; PT: Priestley-Taylor) e del trasporto idrico nel suolo (C: cascata; DF: differenze finite).

Coltura	Statistiche	Sotto-modelli evapotraspirazione/trasporto idrico			
		PM/DF	PM/C	PT/DF	PT/C
Sorgo	Numero di punti	8	8	8	8
	Media osservata (O_{avg}) ($kg\ ha^{-1}$)	7601	7601	7601	7601
	Media simulata ($kg\ ha^{-1}$)	8060	7852	8822	8679
	RMSE ($kg\ ha^{-1}$)	935	860	1531	1339
	RMSE / O_{avg}	0.123	0.113	0.201	0.176
	Wilmott index of <i>agreement</i>	0.963	0.968	0.911	0.931
Soia	Numero di punti	9	9	9	9
	Media osservata (O_{avg}) ($kg\ ha^{-1}$)	2828	2828	2828	2828
	Media simulata ($kg\ ha^{-1}$)	2738	2819	2984	3093
	RMSE ($kg\ ha^{-1}$)	356	398	395	473
	RMSE / O_{avg}	0.126	0.141	0.140	0.167
	Wilmott index of <i>agreement</i>	0.975	0.965	0.972	0.955
Mais	Numero di punti	9	9	9	9
	Media osservata (O_{avg}) ($kg\ ha^{-1}$)	8026	8026	8026	8026
	Media simulata ($kg\ ha^{-1}$)	7494	7503	8029	8064
	RMSE ($kg\ ha^{-1}$)	1858	2043	2001	2108
	RMSE / O_{avg}	0.231	0.255	0.249	0.263
	Wilmott index of <i>agreement</i>	0.958	0.946	0.952	0.943

L'abilità di CropSyst di simulare diversi sistemi colturali usando dati provenienti da esperimenti pluriennali condotti in due località italiane (Modena e Foggia) è stata testata da Donatelli et al. (1997). Le simulazioni sono state eseguite attribuendo valori alle variabili di inizializzazione solo al principio dell'avvicendamento, senza re-inizializzazioni successive, così da far emergere le capacità predittive di CropSyst nel medio periodo. La stima delle produzioni di mais, soia e orzo a Modena e di sorgo e girasole a Foggia sono risultate ragionevolmente accurate. A Foggia il modello si è rivelato insufficiente nel simulare la crescita della soia di secondo raccolto preceduta da frumento duro. Tuttavia, le principali limitazioni del modello si sono avute con la simulazione delle produzioni dei cereali autunno-vernini, particolarmente a Foggia. La variabilità osservata in questa località nelle produzioni di frumento duro in avvicendamenti diversi non può essere spiegata in maniera soddisfacente dal modello. Il modello ha simulato in modo adeguato l'uso dell'acqua da parte delle colture nei vari anni, sebbene si siano spesso registrate nella seconda parte dell'anno delle sovra-stime nei primi strati di suolo e delle sotto-stime negli strati più profondi. Presumibilmente, questo fenomeno è associato a flussi preferenziali dovuti a fessurazione. La Fig. 1 mostra, per la località di Foggia, le fluttuazioni dei valori simulati e misurati di acqua nel corso dell'avvicendamento biennale girasole-frumento duro.

Figura. 1 – Valori simulati (linea continua) e misurati (simboli) del contenuto idrico del suolo (spessore 0.05-0.5 m) nel corso di un avvicendamento biennale girasole-frumento duro a Foggia (Italia).



L'abilità di CropSyst nel simulare opzioni alternative di fertilizzazione organica è stata testata da Donatelli et al. (1996). Quattro livelli di azoto minerale e di letame suino (Tab. 2) sono stati applicati a colture di mais condotte in irriguo a Modena. CropSyst ha dato risultati soddisfacenti nel simulare l'influenza degli stress ambientali su produzioni e biomassa aerea, mentre alcune incertezze sono emerse nella simulazione dell'azoto nitrico nelle tesi in cui è stata applicata l'urea. I risultati delle simulazioni di acqua disponibile (PAW) e azoto nitrico sono riportati, rispettivamente, in Fig. 2 e Fig. 3.

Tabella. 2 – Quantità di azoto minerale (urea) e organico (letame suino) applicate al mais.

n°.	data	NH ₄ (kg N ha ⁻¹)	Org. N (kg N ha ⁻¹)	no.	data	NH ₄ (kg N ha ⁻¹)	Org. N (kg N ha ⁻¹)
1	marzo 1993	112	-	4	maggio 1994	117	118
2	maggio 1993	189	34	5	maggio 1994	112	-
3	maggio 1993	113	-	6	giugno 1994	113	-

Figura. 2 – Valori di acqua disponibile simulati da CropSyst (CS, linee continue) e misurati (act, simboli) nel corso degli anni 1993-1994.

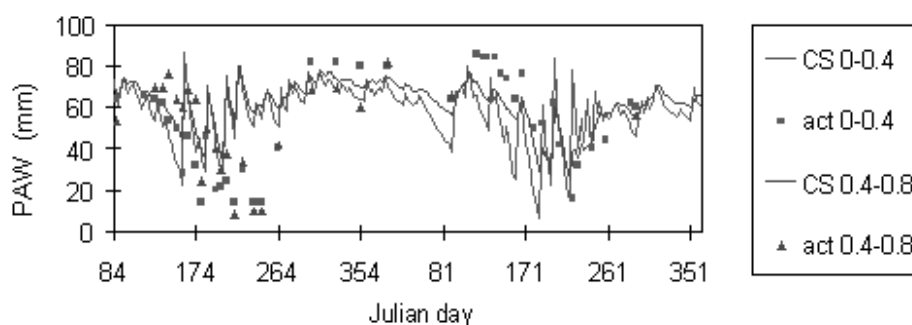
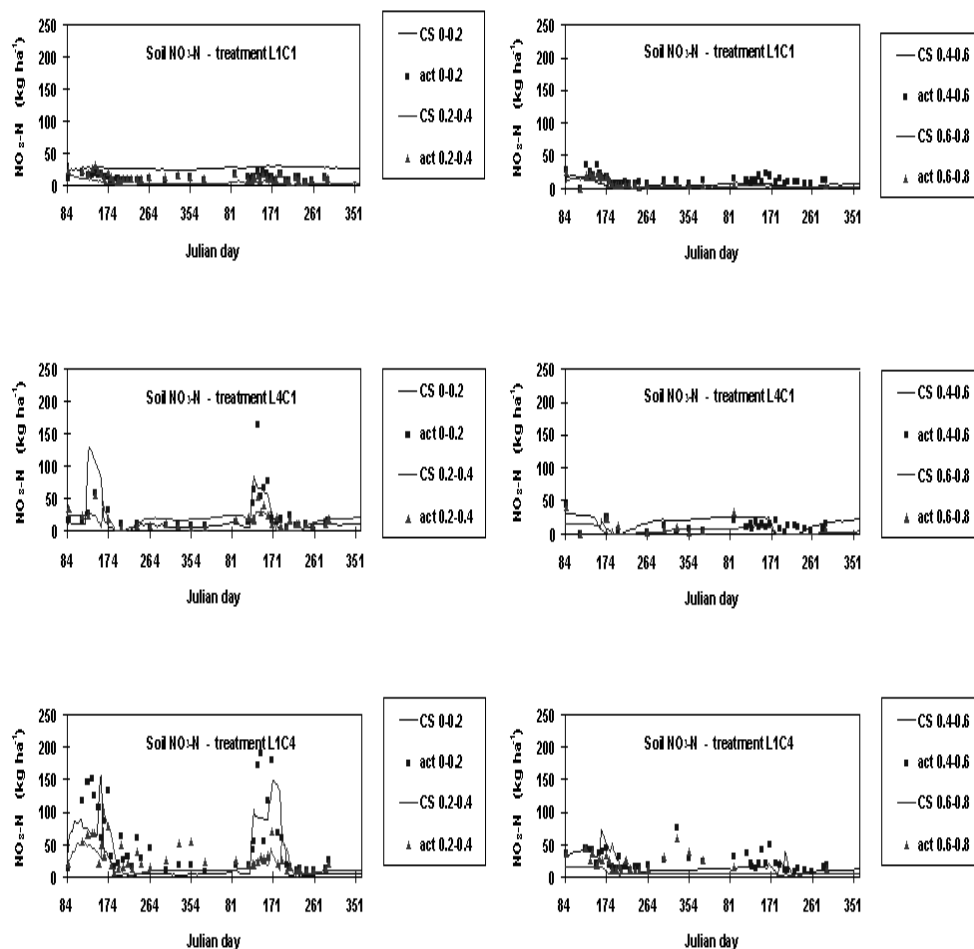


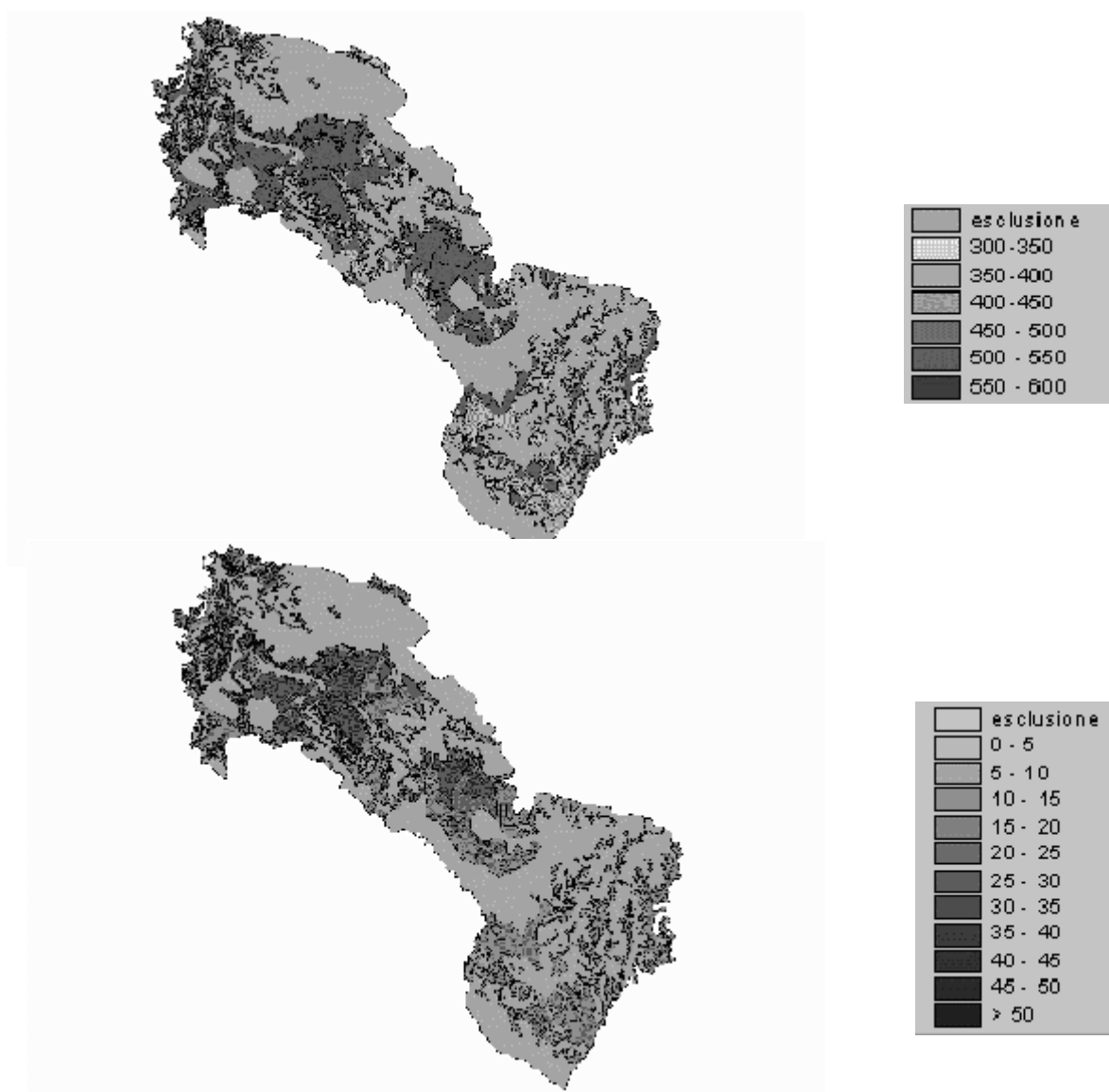
Figura. 3 - Contenuto di azoto nitrico nel suolo nel corso degli anni 1993-1994 per i quattro trattamenti simulati (L1C1: nessuna fertilizzazione; L1C4: fertilizzazioni no. 1/3/5/6; L4C1: fertilizzazioni no. 2/4; L4C4:tutte le fertilizzazioni). CS: valori simulati da CropSyst (linee continue); act: valori misurati (simboli).



L'uso integrato di CropSyst con il software GIS ArcView e con il generatore climatico ClimGen è stato fatto in Italia da Francaviglia et al. (2001) in un'area della provincia di Frosinone. Con il generatore climatico sono stati prodotti dati giornalieri di precipitazione e di temperatura aerea massima e minima per un cinquantennio a partire da dati rilevati nel corso di 15 anni. Con CropSyst sono stati simulati avvicendamenti tradizionalmente attuati nella zona oggetto di studio, esaminando prevalentemente il bilancio idrico e dell'azoto nei diversi sistemi. I risultati sono riferiti in termini di percolazione di acqua e lisciviazione di azoto al fondo del profilo di suolo. La cartografia derivata per ogni combinazione suolo-avvicendamento colturale-livello di concimazione (carta della percolazione di acqua e della lisciviazione di azoto) è stata ottenuta associando i risultati delle simulazioni del modello CropSyst con il software GIS ArcView. Un esempio è riportato in Fig. 4 (medie di 40 anni di simulazione). La mappatura dei risultati ha

consentito di eseguire una valutazione esplorativa di alcuni avvicendamenti colturali in un ambiente pedo-climatico rappresentativo dell'Italia centrale tenendo conto della variabilità climatica. Le possibilità applicative della metodologia utilizzata ne hanno suggerito l'impiego come strumento di pianificazione degli ordinamenti colturali e per il dosaggio della concimazione azotata.

Figura. 4 – Percolazione di acqua (in alto) e lisciviazione di nitrati (in basso) per l'avvicendamento mais-mais-frumento a livello “alto” di concimazione.



Sviluppi futuri

Lo sviluppo di CropSyst è un processo in corso, finalizzato prevalentemente al miglioramento della simulazione dei processi. Un'area da esplorare con maggiore dettaglio è quella relativa agli effetti delle lavorazioni sull'infiltrazione e sull'evaporazione dell'acqua. In diverse condizioni, come quelle italiane ove è notevole la presenza di suoli con caratteristiche vertiche e regimi idrici variabili, è inoltre importante poter modellare il flusso preferenziale dell'acqua nel suolo che, a sua volta, influenza l'evoluzione dei soluti. Un sostanziale sviluppo nella simulazione dei sistemi colturali potrebbe quindi essere dato dalla implementazione in CropSyst di equazioni interpretative dei flussi preferenziali nel suolo, dell'effetto delle lavorazioni sulle caratteristiche idrologiche dei suoli e sull'evoluzione dei fitofarmaci. Un'altra area oggetto di sviluppo riguarda il *crop simulator* che, in CropSyst, permette la simulazione di diverse colture attraverso una serie di parametri. In particolare, sono in studio modifiche allo schema di ripartizione dei fotosintetati, alla variazione del valore di superficie fogliare specifica (ora parametro fisso), ecc. allo scopo di meglio simulare colture ad accrescimento indeterminato, come la barbabietola da zucchero, soprattutto in rapporto ad aspetti qualitativi del prodotto.

Nel suo attuale stadio di sviluppo CropSyst resta ancora una "scatola nera" in cui, di fatto, possono intervenire solo il ricercatore e il programmatore che lo hanno sviluppato. Questo modello dovrebbe avere la caratteristica di essere implementato in modo trasparente, così da rendere agevoli le modifiche, la valutazione delle capacità previsionali e, infine, l'implementazione in *software* dedicati per usi applicativi. In Italia lo sviluppo di questi aspetti è prevista nell'ambito del progetto SIPEAA (Strumenti Informatici per la Pianificazione Eco-compatibile delle Aziende Agrarie), finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (informazioni sul sito: <http://www.isci.it/sipeaa>).

Bibliografia

- Acutis M., Donatelli M., 2001. *SOILPAR2.00*: software to estimate soil hydrological parameters and functions. 2nd Int. Symp. Modelling Cropping Systems, 16-18 July, Florence, Italy, 209-210.
- Annandale J.B., 1991 Two-dimensional simulation of nitrate leaching in potatoes. PhD Thesis. Washington State University, Pullman, Washington, U SA.
- Bechini L., De Palma R., Romani M., Bocchi S., 2000. Calibration and validation of the simulation model CropSyst for the growth of Italian rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.). 3rd Int. Crop Science Conf., 17-22 August, Hamburg, Germany, 36.
- Bellocchi G., Ashman M., Shevtsova L., Donatelli M., Smith P., Romanenkov V., Smith J., Dailey G., 2000. Using CropSyst and SUNDIAL to simulate soil organic matter dynamics at two sites in Eastern Europe. 3rd Int. Crop Science Conf., 17-22 August, Hamburg, Germany, 44.
- Donatelli M., Bellocchi G., 2001. Estimate of daily global solar radiation: new developments in the software RadEst3.00. 2nd Int. Symp. Modelling Cropping Systems, 16-18 July, Florence, Italy, 213-214.
- Donatelli M., Spallacci P., Marchetti R., Papini R., 1996. Evaluation of CropSyst simulations of growth of maize and of water balance and soil nitrate content following organic and mineral fertilization applied to maize. 4th European Society for Agronomy Cong., 7-11 July, Veldhoven-Wageningen, The Netherlands, 342-343.
- Donatelli M., Stöckle C.O., 2000. Simulation-based rules to schedule nitrogen fertilization of field crops. 3rd Int. Crop Science Conf., 17-22 August, Hamburg, Germany, 187.
- Donatelli M., Stöckle C.O., Ceotto E., Rinaldi M., 1997. Evaluation of CropSyst for cropping systems at two locations of northern and southern Italy. Eur. J. Agron., 6, 35-45.
- Ferrer-Alegre F., 1995. A model for assessing crop response and water management in saline conditions. MSc Thesis, Washington State University, Pullman, Washington, USA.
- Ferrer-Alegre F., Villar J.M., Carrasco I., Stöckle C.O., 1999a. Developing management decision tools from yield experiments with the aid of a simulation model: an example with N fertilization in corn. 1st Int. Symp. Modelling Cropping Systems, 21-23 June, Lleida, Spain, 175-176.
- Ferrer-Alegre F., Villar J.M., Castellví F., Ballesta A., Stöckle C.O., 1999b. Contribution of simulation techniques to the evaluation of alternative cropping systems in Andorra. 1st Int. Symp. Modelling Cropping Systems, 21-23 June, Lleida, Spain, 177-178.

- Fila G., Bellocchi G., Donatelli M., Acutis M., 2001. IRENE: a software to test model performance. 2nd Int. Symp. Modelling Cropping Systems, 16-18 July, Florence, Italy, 215-216.
- Fontana F., Donatelli M., 1999. WeatherFile, a program to convert weather files format. 1st Int. Symp. Modelling Cropping Systems, 21-23 June 1999, Lleida, Spain, 293-294.
- Francaviglia R., Bartolini D., 1997. Calibrazione del modello CROPSYST su una rotazione mais da granella-frumento tenero nella bassa Pianura Padana. Agricoltura Ricerca, 171, 73-80.
- Francaviglia R., Donatelli M., Stöckle C.O., Marchetti A., 2001. Applicazione del sistema ArcView/CropSyst nella valutazione della percolazione di acqua e della lisciviazione di nitrati. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo, 50, 157-164.
- Francaviglia R., Marchetti D., 1999. Comparison of cropping systems models in the simulation of crop biomass and green leaf area index development. 1st Int. Symp. Modelling Cropping Systems, 21-23 June 1999, Lleida, Spain, 181-182.
- Francaviglia R., Mecella G., Scandella P., Marchetti A., 1999. Model comparison to evaluate the soil moisture content in different pedoclimatic regions. 1st Int. Symp. Modelling Cropping Systems, 21-23 June 1999, Lleida, Spain, 179-180.
- Giardini L., Berti A., Morari F., 1998. Simulation of two cropping systems with EPIC and CropSyst models. Ital. J. Agron., 1, 29-38.
- Leenhardt D., Voltz M., Ranbal L., 1995. A survey of several agroclimatic soil water balance models with reference to their spatial application. Eur. J. Agron., 4, 1-14.
- Marchetti R., Spallacci P., Ceotto E., Papini R., 1998. Predicting yield variability for corn grown in a silty-clay soil in Northern Italy. 4th Int. ASA-CSSA-SSSA Conf. Precision Agriculture, 19-22 July, St. Paul, MN, USA, 467-478.
- Meinke H., Baethgen W.E., Carberry P.S., Donatelli M., Hammer G.L., Selvaraju R., Stöckle C.O., 2001. Increasing profits and reducing risks in crop production using participatory systems simulation approaches. Agr. Syst. (in stampa).
- Pala M., Stöckle C.O., Harris H.C., 1996. Simulation of durum wheat (*Triticum durum*) growth under differential water and nitrogen Agr. Syst., 51, 147-163.
- Rinaldi M., Ventrella D., 1997. Uso dei modelli EPIC e CROPSYST in sistemi colturali del Sud Italia. Agricoltura Ricerca, 171, 47-58.
- Sharpley A.N., Williams J.R., 1990. EPIC - Erosion/productivity impact calculator: 1. Model documentation. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin, 1768.

- Silvestri N., Bellocchi G., Mazzoncini M., Menini S., 1999. Evaluation of the CropSyst model for simulating soil water, soil nitrate, green area index and above-ground biomass of maize under different management. 1st Int. Symp. Modelling Cropping Systems, 21-23 June 1999, Lleida, Spain, 253-254.
- Stöckle C.O., Cabelguenne M., Debaeke P., 1997. Comparison of CropSyst performance for water management in southwestern France using submodels of different levels of complexity. *Eur. J. Agron.*, 7, 89-98.
- Stöckle C.O., Campbell G.S., 1989. Simulation of crop response to water and nitrogen: an example using spring wheat. *Trans. of ASAE*, 66-68.
- Stöckle C.O., Debaeke P., 1997. Modelling crop nitrogen requirements: a critical analysis. *Eur. J. Agron.*, 7, 161-169.
- Stöckle C.O., Donatelli M., 1997. The CropSyst model: a brief description. In: Plentiger M.C., Penning de Vries F.W.T. (eds.): *Rotation models for ecological farming, CAMASE/PE workshop report*, 35-43. *Quantitative approaches in systems analysis no. 10*. DLO-Research Institute for Agrobiological Sciences and Soil Fertility-The C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology, Wageningen, The Netherlands.
- Stöckle C.O., Martin S., Campbell G.S., 1994. CropSyst, a cropping systems model: water/nitrogen budgets and crop yield. *Agr. Syst.*, 46, 335-339.
- Stöckle C.O., Nelson R.L., 2001. Cropping systems simulation model - User's online manual. Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA (disponibile sul sito: <http://www.bsyse.wsu.edu/cropsyst>).
- Van Genuchten R.J., Hutson J.L., 1989. Leaching estimation and chemistry model: a process based model for water and solute movement, transformation, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone continuum. Water Resources Inst., Center for Environ. Research, Cornell Univ., New York, NY, USA.

ECONOMIA E SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DEI SISTEMI AGRICOLI ITALIANI

Giuseppe Palladino – Marco Setti¹

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, DIPROVAL – Sezione Economia

1. INTRODUZIONE

Nell'arco degli ultimi quaranta anni, l'agricoltura nel mondo occidentale é cambiata drasticamente. Da una agricoltura a basso input, con schemi rotazionali ben definiti, che utilizzava lavoro prettamente animale e manuale, si é passati a nuovi sistemi di produzione, favoriti da una continua e forte innovazione tecnologica e da strategie di mercato volte a massimizzare i profitti e a minimizzare i costi, che hanno determinato una notevole intensificazione dei processi di coltivazione e di allevamento.

Il forte sovvenzionamento dei prezzi, in relazione all'applicazione della politica agricola comune (PAC), ha favorito un uso crescente di fertilizzanti, pesticidi e carburanti, una notevole specializzazione (monocoltura) delle attività di produzione e l'abbandono di aree marginali e poco fertili. Questi cambiamenti da un lato hanno ridotto il rischio delle attività imprenditoriali in agricoltura garantendo le posizioni reddituali ma, dall'altro hanno determinato una serie di costi sociali ed ambientali derivanti dai crescenti carichi inquinanti sui media naturali e dall'intervento su alcuni ecosistemi. L'attività agricola ha infatti spesso determinato una profonda modificazione del paesaggio naturale ed un depauperamento della biodiversità resa particolarmente vulnerabile dalla minaccia di una progressiva intensificazione dei processi produttivi.

Le sfide rappresentate dal processo di intensificazione sono all'origine di una riflessione sul rapporto tra agricoltura e ambiente sulla cui base deve realizzarsi un nuovo modello di agricoltura.

L'auspicata relazione tra agricoltura e ambiente può essere sintetizzata con efficacia dal termine "agricoltura sostenibile". La sostenibilità è l'idea centrale del Programma comunitario di azione a favore dell'ambiente, nel quale lo sviluppo sostenibile è definito come "quello sviluppo che soddisfa le esigenze attuali senza compromettere la possibilità per le future generazioni di soddisfare le proprie esigenze. Ciò significa preservare l'equilibrio generale e il valore del patrimonio naturale e adottare una prospettiva a lungo termine dei costi e dei profitti socioeconomici reali del consumo e della conservazione".

¹ Via Rosselli, 107 – 42100 Reggio Emilia; e-mail: palladino@stpa.unibo.it msetti@stpa.unibo.it
Sebbene la ricerca e la stesura del contributo siano state realizzate in comune dagli autori, il paragrafo 1., 2.2, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3 e 3. è stato in particolare curato da Giuseppe Palladino, i paragrafi 2.1, 2.3 e 4. da Marco Setti.

Nel concetto di agricoltura sostenibile si devono riflettere tanto l'insieme delle attività di produzione, quanto le funzioni ambientale e sociale dei comparti primari: essa può essere considerata come il processo in cui la domanda dei propri beni è soddisfatta da tecniche di produzione che siano economicamente efficienti, compatibili con l'ambiente e socialmente accettabili.

La dimensione economica concerne la capacità di mantenere la produttività potenziale sufficiente a soddisfare il consumo attuale e futuro di beni agricoli attraverso l'uso efficiente delle risorse (produrre il massimo prodotto da una data disponibilità di input).

La dimensione ambientale comprende la potenzialità di conservazione e valorizzazione delle risorse naturali (specialmente terra e acqua) mediante la riduzione degli effetti dannosi ed aumentando i benefici ambientali delle attività agricole.

La dimensione sociale riguarda la salvaguardia di un'equità socialmente accettabile nella distribuzione dei redditi (all'interno del settore agricolo e tra l'agricoltura ed il resto delle economie), prezzi "giusti" per i produttori e per i consumatori, ed un equilibrio delle opportunità di lavoro tra le aree rurali e quelle urbane.

L'integrazione della dimensione ambientale nella politica comunitaria ha trovato concreta applicazione nel "Principio di integrazione" contenuto nel trattato di Amsterdam, secondo il quale la protezione ambientale non rappresenta una politica settoriale, ma un denominatore comune ed essenziale di tutte le politiche.

In maniera analoga, nel Consiglio europeo di Vienna del dicembre 1998, la Commissione UE ha evidenziato l'importanza di assicurare che l'integrazione ambientale venga presa debitamente in considerazione nelle decisioni sulle politiche agricole da adottare nel quadro dell'Agenda 2000.

Anche la nuova riforma della PAC persegue lo scopo di conseguire i necessari adeguamenti strutturali nelle principali organizzazioni comuni di mercato e di rafforzare la politica dello sviluppo rurale.

Le misure ambientali ammesse per il sostegno delle pratiche agricole necessarie alla salvaguardia dell'ambiente e alla conservazione dello spazio naturale costituiscono un elemento centrale delle riforme: gli agricoltori sono tenuti ad intraprendere tecniche di produzione rispettose dell'ambiente come parte integrante dei regimi di sostegno, mentre scelte e comportamenti particolarmente virtuosi (che vanno oltre il livello di base della buona pratica agricola e del rispetto della normativa ambientale) andrebbero finanziati dai singoli paesi membri per mezzo di specifici programmi agro-ambientali.

Nel contesto delle organizzazioni comuni dei mercati, i pagamenti diretti sono subordinati al rispetto di requisiti ambientali (*cross-compliance*). Le misure agro-ambientali risultano in tal modo rafforzate e costituiscono una parte obbligatoria dei programmi di politica rurale. Dette misure si riferiscono ai metodi di utilizzazione dei terreni agricoli compatibili con la tutela e il miglioramento dell'ambiente, del paesaggio e delle sue caratteristiche, delle risorse naturali, del

terreno e delle risorse genetiche e, per le zone svantaggiate, alla continuazione delle attività agricole e al mantenimento di comunità rurali economicamente valide.

Le riforme intraprese nell'ambito dell'Agenda 2000 imprimono una forte spinta alla integrazione della problematica ambientale nella politica agricola. Gli Stati membri e le autorità locali dispongono di una ampia serie di strumenti per giungere ad un'agricoltura sostenibile.

L'elaborazione e l'attuazione di tali politiche dovrebbero essere coadiuvate dall'utilizzo di specifici indicatori agro-ambientali, che consentano di individuare i rapporti critici tra agricoltura ed ambiente, di definire, monitorare e valutare i nessi tra i sistemi di produzione ed i loro effetti sull'ambiente, di valutare l'efficacia delle misure di politica agricola nel promuovere un'agricoltura compatibile con l'ambiente e di informare i decisori politici ed i cittadini.

L'utilizzo di tali indicatori è fondamentale per valutare il grado di integrazione della problematica ambientale. Ed è pertanto necessario strutturare la valutazione partendo dall'analisi delle attività agricole, dello stato dell'ambiente e delle misure politiche adottate, e definire i complessi rapporti di causa ed effetto che esistono all'interno ed all'esterno dei suddetti campi di analisi.

La quantificazione degli effetti benefici o nocivi delle attività agricole sull'ambiente va necessariamente corredata da un'attenta analisi delle cause determinanti, che consenta l'individuazione di una risoluzione del problema all'interno ed all'esterno del settore agricolo. Tale approccio garantisce una valutazione integrata della politica agricola e delle altre politiche settoriali ad essa correlate, permette di trasformare gli indicatori in decisione politica e di informare sullo stato dell'ambiente.

Nel settore agricolo, le attività di produzione sono regolate da una serie di processi biofisici, regolati a loro volta da condizioni specifiche del territorio in cui le attività si svolgono, pertanto ai fini dell'analisi agro-ambientale è fondamentale che gli indicatori, per essere significativi, siano in grado di riflettere le caratteristiche specifiche locali.

Gli effetti di numerosi processi inquinanti, impoverenti o benefici dipendono da specifiche variabili geologiche, topografiche e climatiche legate al territorio che, se considerate nell'analisi, in cui anche le strutture economiche e i criteri di attuazione delle politiche sono differenziati, consentono una valutazione olistica dei sistemi agro-ambientali.

2. IL MODELLO ELBA

2.1 Razioni ed obiettivi del modello ELBA

L'esigenza di monitorare e coniugare lo sviluppo economico delle attività produttive e la salvaguardia e la valorizzazione dell'ambiente caratterizza e condiziona in maniera crescente gli interventi amministrativi volti alla gestione del territorio. Tanto nell'ambito operativo - decisionale, quanto in quello scientifico nazionale ed internazionale, è avvertita la necessità di disporre di strumenti di analisi che consentano una rappresentazione complessiva e dinamica delle interazioni, di natura tecnica, economica e normativa, che caratterizzano i rapporti tra i diversi comparti produttivi e, segnatamente, tra questi e l'ambiente.

Sulla base di tali premesse e con la finalità di analizzare l'impatto determinato dalle politiche agricole ed ambientali a diversi livelli di aggregazione spaziale e, in un'ultima istanza, di favorire lo sviluppo sostenibile delle attività di produzione primaria, è stato sviluppato il sistema ELBA (Environmental Liveliness and Blent Agriculture), un modello settoriale e di equilibrio parziale esteso all'intero territorio nazionale.

Nello specifico, il modello ELBA descrive in maniera analitica i parametri tecnico-economici ed i risultati reddituali di 47 comparti di produzione vegetale e di 16 attività zootecniche e sviluppa le complesse interazioni (tecniche, economiche, commerciali, bio-fisiche,) che ne caratterizzano l'attività.

In riferimento alla dimensione spaziale, il modello ELBA assume ad oggetto di studio le 20 regioni e le 103 province italiane suddividendole in celle territoriali di 1 km² considerando, per ognuna di queste ultime, non solo il riparto colturale, ma anche l'insieme delle variabili di natura climatica, pedologica, orografica. In tal modo, ELBA offre l'opportunità di svincolare le proprie analisi da ambiti territoriali delimitati da confini amministrativi e, altresì, di estendere il proprio campo di osservazione ad aggregati spaziali diversi e di maggiore significatività rispetto ad analisi di sviluppo sostenibile (aree vulnerabili, bacini idrografici, ...).

Essendo rivolto alla promozione di uno sviluppo sostenibile dei comparti agricoli e zootecnici ed alla verifica ed orientamento delle misure politiche coinvolte, il modello ELBA effettua analisi della realtà oggetto di studio di carattere sia descrittivo (ex-post, tese alla descrizione dell'evoluzione temporale delle risultanze economico – ambientali riferite a serie storiche estese dal 1990 al 1998), sia predittivo (ex-ante, tese alla simulazione a medio termine di scenari alternativi).

Il modello ELBA si configura come un modello di analisi integrata. Esso assume infatti come oggetto di studio i sistemi agro-ambientali – intesi nell'accezione più ampia del termine e, quindi, considerato l'insieme delle relazioni che caratterizzano i rapporti tra settori di produzione agro-zootecnica e tra questi ed i media naturali – ed estende la sua attività d'indagine ai fenomeni che investono tanto la sfera tecnico – economica quanto quella più strettamente bio-fisica degli stessi sistemi.

L'originale approccio del modello ELBA ha inteso armonizzare tra loro approcci e conoscenze solitamente poco interconnesse, seppure rivolte alla stessa realtà e con analoghi obiettivi. Si osserva infatti di frequente come, da un lato, i modelli di carattere economico tendano a trascurare le ricadute di carattere ambientale ed il ritorno informativo che da tali analisi derivano. Dall'altro lato, i modelli di natura bio-fisica evidenziano di frequente un carattere sperimentale - pertanto con insufficienti riferimenti di carattere empirico - e di prevalente approccio di tipo puntuale difficilmente generalizzabile ad estesi casi di studio.

La realizzazione del modello ELBA si colloca in una più estesa attività di ricerca realizzata nell'ambito di una rete universitaria europea (progetto CAPRI ²) a sua volta tesa alla realizzazione di un omonimo modello settoriale esteso alle 200 regioni amministrative (NUTS2) dei 15 Paesi membri per conto della Commissione Ue. E' in questo contesto che il contributo conoscitivo e metodologico che caratterizza ELBA ha trovato applicazione anche a livello europeo con particolare riferimento alla modellizzazione dei comparti di produzione animale (moduli di alimentazione, di evoluzione demografica zootecnica e di analisi ambientale) e dei fenomeni connessi ai sistemi agro-ambientali.

In maniera speculare, va d'altra parte sottolineato come anche ELBA abbia ampiamente beneficiato di preziosi arricchimenti - implementazione metodologica (entropia, consumo, colture pluriennali, ...), architettura modulare - offerti dall'esperienza condotta col modello CAPRI e dal contributo offerto dalle università europee coinvolte. I modelli ELBA e CAPRI risultano pertanto strettamente correlati tra loro, tanto in termini di congruità della base di dati, di approccio metodologico, quanto di comparabilità dei risultati, sebbene ELBA mantenga, nel contempo, una specifica originalità in grado di riflettere le peculiarità dei sistemi agro - ambientali italiani (eterogeneità dei comparti di produzione, diversificazione climatico - pedologica delle aree di interesse agricolo).

Da ultimo, ma non per questo meno importante (sia per le opportunità di controllo feedback e di ulteriori implementazioni, sia per le rilevanti ricadute operative), il modello ELBA si propone quale strumento di analisi ad accesso remoto (*WEB tool*) per le amministrazioni pubbliche finalizzato - di nuovo - all'assistenza al processo decisionale delle misure amministrative rivolte alle tematiche agro - ambientali con l'obiettivo di armonizzare performances economiche e la tutela e valorizzazione del territorio rurale.

2.2 Sviluppo e struttura del modello ELBA

A. ORGANIZZAZIONE DATI SETTORIALI

Il modello ELBA è basato sull'organizzazione e lo sviluppo integrato di una banca dati congruente ai diversi livelli di aggregazione territoriale presi in considerazione (nazionale, regionale, provinciale ed areale) ed estesa al periodo 1990 - 1998.

² Common Agricultural Policy Regional Impact Model.
http://www.agp.uni-bonn.de/agpo/rsrch/capri/network_e.htm

Gli elementi caratterizzanti lo sviluppo della base di dati, ed insieme i criteri che ne hanno guidato la realizzazione, possono essere identificati nella:

- Adozione dell'attività di produzione (comparti regionali e provinciali: azienda aggregata) quale unità in grado di descrivere in maniera compiuta il settore primario, per ogni periodo preso in esame (anno solare), mediante la quantificazione dei flussi produttivi e l'impiego delle risorse sia in termini fisici sia di valore;
- Congruenza dei dati ai vari stadi di aggregazione ed alla contabilità nazionale ufficiale (Economic Accounts of Agriculture "EAA" – EUROSTAT);
- Sistematicità della raccolta e completezza dei dati relativi alla produzione e l'impiego di mezzi produttivi sulla base di quanto indicato dallo schema di Contabilità Economica EAA ed estensione della base informativa alle variabili dimensionali (superficie, patrimonio zootecnico), di prezzo, coefficienti di input ed output, bilanci per azienda aggregata e di mercato (quali, ad esempio, flussi commerciali, consumi), misure politiche e indicatori ambientali.

Al fine di consentire un'efficiente raccolta, armonizzazione e verifica dei dati provenienti dalla pluralità di fonti statistiche ufficiali, è stato sviluppato uno specifico ed originale DBMS (la cui applicazione è stata estesa a livello europeo nell'ambito del progetto CAPRI) in grado di automatizzare l'aggiornamento e l'implementazione dei dati di fonti diverse, definire i processi di aggregazione e mappatura delle variabili in funzione della prefissata struttura del modello, di operare controlli di congruità e di rendere disponibile l'impiego dei dati archiviati nei formati necessari alle successive elaborazioni.

Stante la finalità di analizzare le performance di tipo economico ed ambientale dei comparti di produzione primaria, tenuto conto delle interazioni che ne caratterizzano l'attività, si è reso necessario strutturare opportunamente il modello per derivarne un'ampia serie di variabili, non rilevate dalle fonti statistiche, ma necessarie alla coerente riproduzione della realtà presa in esame (ad esempio: consumi nell'alimentazione zootecnica). Diverse serie storiche sono pertanto determinate in maniera endogena dallo stesso modello - ed impiegate nell'implementazione della base di dati - mediante l'integrazione delle informazioni offerte dalla statistiche ufficiali con un'articolata ed integrata struttura funzionale derivata dalle più consolidate acquisizioni scientifiche in diversi settori disciplinari.

Alcune categorie di parametri descrittivi l'ambiente ed il territorio rurale sono inoltre comprese nella banca dati - quali condizioni climatiche (fonte: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, MIPAF), uso e profilo del suolo (fonte: MIPAF), orografia, ... - per essere impiegate, mediante overlay cartografici, nelle analisi di carattere più strettamente ambientale per mezzo dell'integrazione del modello ELBA con specifici strumenti per la valutazione dei processi di natura bio-fisica.

La base di dati realizzata rappresenta, per l'ampiezza delle informazioni sistematicamente organizzate (bilancio attività produttive su scala nazionale, regionale e provinciale, impiego intermedio e finale delle produzioni, flussi commerciali, variabili economiche, politiche ed

ambientali) ed estese ad adeguate serie storiche e per la qualità intrinseca delle stesse (congruenza tra i diversi livelli spaziali e con la contabilità nazionale), un vero e proprio prodotto a sé stante della ricerca condotta la cui base conoscitiva assume una particolare valenza non solo per studi di analoga ampiezza.

B. Struttura del modello

La struttura del modello è incentrata, da un punto di vista metodologico, sull'implementazione di un sistema informativo in grado di descrivere i comportamenti e le interazioni esistenti nel settore di produzione primaria italiano, facendo riferimento ai singoli comparti agricoli e zootecnici e ad un'analitica localizzazione territoriale delle attività ³.

Sulla base di tale impianto, l'obiettivo è quello di analizzare - per l'intero territorio italiano - le ricadute di carattere tecnico, economico ed ambientale che derivano da prestabilite o presumibili modificazioni delle condizioni di mercato in cui i comparti produttivi operano e delle misure politiche ad essi direttamente od indirettamente indirizzate.

In questo ambito, la simultanea ottimizzazione del beneficio dei produttori e dei consumatori in un sistema destinato ad operare per 103 unità territoriali e 63 attività di produzione ha reso, come d'altra parte sperimentato anche in altre ricerche, di particolare difficoltà operativa pervenire a soluzioni fattibili.

I risultati ottenuti in seguito ai test condotti nel corso della ricerca e, in particolare, il concomitante ed analogo tentativo di pervenire ad una soluzione di equilibrio tra le componenti di offerta e di domanda esperito nell'ambito del progetto CAPRI - con cui il modello ELBA è integrato a livello regionale - hanno suggerito l'opportunità di distinguere tecnicamente i due momenti di analisi.

La struttura del modello ELBA è stata così organizzata sulla base di una concezione modulare articolata in funzione, più in generale, delle singole tematiche considerate e delle esigenze computazionali emerse.

Sulla base di tale impostazione, il modulo di offerta ed il modulo di domanda costituiscono la componente economica "centrale" del modello.

Il modulo di offerta è strutturato in singoli modelli di programmazione matematica pluri - attività per ognuna delle 103 province italiane (fanno eccezione in tale impianto i comparti di produzione animale ed i flussi commerciali intrasettoriali analizzati dal modello ELBA a livello regionale) e delle corrispondenti aggregazioni territoriali (regioni, macroregioni, Paese). Il modulo di offerta comprende inoltre una serie di sotto-moduli, tra loro interrelati, tesi allo sviluppo dei processi di

³ Lo sviluppo tecnico del modello ELBA è stato realizzato mediante il sistema di programmazione General Algebraic Modelling System (GAMS).

ottimizzazione ed alla specificazione di fenomeni di particolare complessità (quali, ad esempio, i consumi intermedi intra ed interregionali).

Il modulo di domanda, così come sviluppato dal modello CAPRI e da esso mutuato, è un modello multi – prodotto e sviluppato su base nazionale (non spaziale) ed in grado di riprodurre i fenomeni di consumo industriale ed umano ed il commercio internazionale di beni finali.

Seguendo un processo iterativo, il modulo di offerta fornisce i quantitativi dei beni prodotti (aggregati su base nazionale) al modulo di mercato il quale, a sua volta, assume tali volumi in qualità di input esogeni ridefinendo (sulla base di elasticità di domanda assunte dalla letteratura) i prezzi di equilibrio impiegati, di nuovo dal primo modulo, per ridefinire i quantitativi offerti fino alla definizione di un equilibrio statico comparato.

2.3 *Modulo di offerta ed approccio metodologico*

Il modulo di offerta è costituito da un insieme di singoli modelli di programmazione multi - prodotto (103 province italiane). Come descritto in maggiore dettaglio in seguito, solamente per i comparti di produzione animale e per i reimpieghi intrasettoriali (intra ed interregionali) i modelli di programmazione operano a livello regionale.

L'approccio metodologico adottato dal sistema di modelli di offerta è riferito alla programmazione matematica positiva (PMP) nella formulazione descritta da Howitt (R.E. Howitt, 1995) ed ampiamente adottata in diversi studi rivolti, in particolare, all'economia e politica agraria. Basata su una specifica procedura di “esatta” riproduzione della realtà osservata, la PMP attenua la distinzione (in precedenza richiamata) tra modelli econometrici e di analisi quantitativa.

Ed è proprio tale capacità della PMP di calibrare con precisione la situazione di riferimento ad ovviare ai problemi in genere riscontrati nell'impiego dei modelli di programmazione (ad es. programmazione lineare). Ciò che infatti normalmente si verifica nei processi di ottimizzazione di funzioni obiettivo soggette ad una serie di vincoli di carattere tecnico e/o politico è il conseguimento di soluzioni - per il periodo di base considerato - in cui i livelli di attivazione dei processi produttivi differiscono sensibilmente da quanto empiricamente rilevato. La scarsità di informazioni circa la disponibilità e l'impiego delle risorse comparata alla numerosità delle attività osservate, scarto ancora più marcato negli studi rivolti a realtà aggregate, determina di fatto un forte impedimento alla fissazione di giustificate limitazioni al comportamento del modello e, di conseguenza, una fisiologica tendenza al conseguimento di risultati di ottimo condizionati da fenomeni di sovraspecializzazione produttiva.

Il problema è superato dalla PMP mediante l'impiego del contributo informativo offerto dai valori duali dei vincoli di “calibrazione” per derivare funzioni obiettivo non lineari in grado di rendere il modello congruente ai livelli delle attività di produzione osservati evitando il ricorso

agli stessi vincoli ⁴. Ciò garantisce inoltre al modello la capacità di realizzare proiezioni (analisi ex-ante) con maggiore flessibilità salvaguardandone, nel contempo, il grado di rispondenza al periodo assunto a riferimento.

I valori duali dei vincoli di “calibrazione”, elementi centrali nella formulazione della PMP, possono essere definiti - in estrema sintesi - come la risultante della differenza tra il valore marginale (prezzo meno costo variabile) delle attività “preferite” (sulla cui base la funzione di costo variabile non lineare e convessa tende a calibrarne i livelli a quelli osservati) e la derivazione algebrica espressa dall’analogo valore (prezzo meno costo variabile) delle attività “marginali” e dal sistema di vincoli (T. Heckeley, 1997).

Sulla base dell’impiego dei valori duali dei vincoli di “calibrazione” secondo l’approccio metodologico offerto dalla PMP ⁵, il modulo di offerta deriva una funzione quadratica di costo variabile multi – prodotto per ogni regione (16 categorie animali) e singola provincia italiana (47 colture vegetali) secondo la formulazione generalizzata dall’espressione:

$$C^v = d'x + \frac{1}{2} x'Qx$$

dove:

d = (n*1) vettore di parametri associati alla componente lineare

Q = (n*n) matrice simmetrica, positiva, semidefinita di parametri associati alla componente quadratica.

⁴ Dato un canonico problema di ottimizzazione vincolata quale:

$$\text{Max } Z = p'x - c'x$$

soggetto a:

⁴ Dato un canonico problema di ottimizzazione vincolata quale:

$$\text{Max } Z = p'x - c'x$$

soggetto a:

$$\begin{array}{ll} Ax \leq b & [\pi] \\ x \leq (x^0 + \varepsilon) & [\lambda] \\ x \geq [0] \end{array}$$

dove:

Z = valore della funzione obiettivo

p = (n*1) vettore di prezzi dei prodotti

c = (n*1) vettore di costo variabile unitario

x^0 = (n*1) vettore dei livelli di attività osservati

ε = (n*1) vettore di numeri positivi (perturbazioni: deviazioni marginali)

π = valori duali associati ai vincoli di risorsa

λ = valori duali associati ai vincoli di calibrazione

le attività “preferite” si definiscono tali se limitate da vincoli di calibrazione, mentre sono denominate “marginali” quelle controllate dai vincoli di risorsa (R.E. Howitt, 1995).

⁵ La fase di stima della funzione di costo mediante l’impiego dei valori duali descritta dalla PMP ricorre ad un approccio di tipo econometrico che viene pertanto ad integrarsi alla metodologia di programmazione (Q. Paris, 1997).

In generale, i parametri funzionali sono di solito derivati ponendo i termini quadratici delle sole attività “preferite” - tra gli n elementi diagonali di Q (q_i per tutti gli $i=1, \dots, n$) - pari al rapporto tra i rispettivi valori duali e gli osservati livelli di attività ed equiparando i vettori d e c .

Le funzioni di costo sono infine incorporate in un corrispondente sistema di funzioni obiettivo quadratiche tese alla massimizzazione del reddito lordo provinciale (aggregato) comprensivo dei sussidi previsti dalle misure di politica agraria:

$$\text{Max } Z = p'x - c'x - \frac{1}{2} x'Qx$$

soggetto a:

$$\begin{aligned} Ax &\leq b & [\pi] \\ x &\geq [0] \end{aligned}$$

ed in grado sia di calibrare con precisione i livelli delle attività produttive (superfici, mandrie) e gli impieghi intermedi di risorse (consumi alimentari zootecnici, giovani animali) osservati nel periodo base, sia di effettuare proiezioni attendibili.

La definizione della composizione produttiva ottimale per ogni aggregato territoriale considerato e delle specifiche performance di carattere economico ed ambientale risultano così controllate da un numero ristretto di vincoli. Tra questi, la disponibilità di terra ad uso agricolo, la sua destinazione a pascolo, le dinamiche di evoluzione demografica zootecnica (cfr. par. 2.3.1), i contingentamenti produttivi (latte, zucchero), il set-aside obbligatorio e volontario, le superfici massime sussidiabili (grano duro) o coltivabili (accordi WTO sulle colture oleaginose). A questo insieme di condizioni si aggiunge un articolato sistema di vincoli teso alla definizione di analitiche razioni alimentari zootecniche ed impiegato nel processo di minimizzazione endogena dei relativi costi per singolo comparto di produzione animale regionale (cfr. par. 2.3.2).

Il periodo base assunto a riferimento per la calibrazione del modello ed a partire dal quale le proiezioni sono effettuate è rappresentato dal triennio 1993-95 i cui valori medi consentono di limitare le possibili incongruenze connesse all'impiego di un unico anno solare. Problemi di rilevazione statistica e specifici episodi congiunturali, sanitari e climatici riscontrabili in un determinato anno possono infatti compromettere la corretta specificazione dei valori attesi e, con essi, la capacità del modello di calibrare simultaneamente i livelli di attivazione produttiva e le voci di bilancio quali, ad esempio, il consumo zootecnico di alimenti.

Va infine osservato che l'approccio metodologico definito dalla PMP consente una calibrazione esatta del modello, nel senso già precisato, in riferimento ai fenomeni osservati nel periodo base, ma che tale calibrazione può essere raggiunta mediante la specificazione di un infinito numero di parametri tra loro differenti che comportano una corrispondente diversificazione dell'allocatione delle risorse in sede di analisi previsionale. Ancora, l'approccio (standard) espresso dalla PMP specifica i parametri quadratici della funzione di costo solo per le attività “preferite” escludendo di fatto i fenomeni di dipendenza tra le stesse (ad es.: effetti rotazionali). A ciò va aggiunto che sui valori duali di tali attività (λ) sono fatte gravare le possibili incorrette specificazioni dei costi,

mentre i costi marginali delle attività produttive dipendono anche dai prezzi ombra delle risorse limitate a loro volta determinati dalle attività “marginali” (R.E. Howitt, 1995).

Tali problematiche sono state affrontate e, in parte, risolte sviluppando una più completa specificazione della matrice Q mediante l'estensione dell'approccio PMP col ricorso a metodologie di massima e *cross* entropia (T. Heckeles, W. Britz, 1999).

2.3.1 Sotto-modulo “Evoluzione demografica zootecnica”

Lo sviluppo di una modellistica con finalità di analisi economica ed agro - ambientale comporta l'esigenza di sviluppare una modellistica specificamente rivolta alla quantificazione dei comparti di produzione animale (ed ai connessi reimpieghi di risorse). Tale necessità nasce, oltre che da un'oggettiva complessità dei fenomeni coinvolti, da un grado di informazione statistica ampiamente insoddisfacente date le prefissate finalità di analisi economica ed ambientale.

Alle incongruenze che caratterizzano le rilevazioni sui capi allevati (serie storiche e spaziali), diffuse a livello europeo e di crescente significatività se riferite ad aggregazioni territoriali più puntuali (regioni amministrative) e non ovviate dalla introduzione dell'anagrafe bestiame, si sommano infatti particolari specificazioni che si rendono a tale riguardo necessarie nello sviluppo di modelli settoriali.

Facendo riferimento a tali problematiche ed allo scopo di descrivere sia le caratterizzazioni regionali delle attività zootecniche, sia le relazioni esistenti nell'ambito dei singoli processi produttivi e tra unità territoriali, il sotto-modulo di “evoluzione demografica” in sintesi:

- definisce l'effettivo numero di capi allevati per ogni comparto di produzione, per ogni anno di osservazione e di previsione e per singola regione secondo una concezione di flusso anziché di consistenza e, nel caso dei comparti di produzione di carne, sulla base del concetto di mandria regionale piuttosto che di numero di capi macellati;
- descrive le relazioni esistenti a livello regionale tra le singole fasi dell'attività di produzione animale e ne deriva una serie di coefficienti input ed output (ad esempio: pesi finali ed accrescimento ponderale giornaliero, tassi di rimonta, numero di suinetti per scrofa, vacche in periodo di asciutta, ...);
- quantifica i flussi commerciali netti di animali vivi e di carne interregionali (da/a una regione alle/dalle altre regioni del paese) ed internazionali (da/a una regione a/dai altri paesi) e l'effettivo periodo di allevamento (e di accrescimento) dei capi nella regione di origine ed in quella di destinazione.

Il sistema di equazioni del sotto-modulo determina simultaneamente la composizione delle attività zootecniche regionali e dei relativi coefficienti assicurando il bilanciamento tra offerta e domanda di giovani animali. Per le analisi di carattere più strettamente ambientale, i livelli (flussi) calibrati di attività dei comparti animali regionali sono disaggregati su base territoriale in funzione delle statistiche (ISTAT) sulla numerosità dei capi provinciali (analisi ex-post), mentre i coefficienti regionali di input / output a loro corredo sono assunti validi per le corrispondenti categorie animali e province. In maniera analoga, le proiezioni dei flussi animali regionali sono a

loro volta distribuite sulla base delle tendenze evolutive stimate per le singole province italiane (analisi ex-ante).

2.3.2 Sotto-modulo “Alimentazione zootecnica”

Il sotto-modulo “alimentazione zootecnica” si configura come un sistema di equazioni simultanee (comportamentali e definitorie) strettamente collegato al precedente sotto-modulo ed in grado di definire mediante l’impiego della PMP, per ogni comparto di produzione animale ed ogni regione, la composizione della razione alimentare ed il relativo costo d’uso.

Il problema dell’allocazione delle risorse assume una peculiare configurazione (“ill-posed”) quando è riferito agli input alimentari zootecnici e, in particolare, quando i relativi parametri comportamentali devono essere stimati a livello regionale e con adeguata analiticità. Ciononostante, in questi casi l’elevato numero di coefficienti ignoti (reimpieghi a fini alimentari) si contrappone ad un ampio numero di informazioni - disponibili a priori - sui criteri di impiego delle risorse.

Più in generale, l’ottimizzazione del costo dell’alimentazione per ogni comparto zootecnico regionale è posto in funzione del prezzo dei singoli materiali consumati ed è vincolato da specifici fabbisogni alimentari (espressi in termini di energia, sostanza secca, proteine grezze, ..., Palladino G. et Al., 1997) e da vincoli di natura composita (quali, ad esempio, la massima capacità di ingestione).

Date la prevalente derivazione dei fabbisogni nutrizionali da equazioni tratte dalla letteratura scientifica e definite in condizioni sperimentali, va evidenziato come i valori da esse derivati descrivano una frontiera tecnologica il cui significato ha un prevalente carattere “teorico”. Tali vincoli appaiono pertanto indispensabili nella differenziazione delle scelte imprenditoriali nei diversi comparti e regioni ma, d’altra parte, non risultano sufficienti a riprodurre le pratiche zootecniche osservate.

Alla luce di tali considerazioni, appare evidente come un processo di ottimizzazione dei consumi alimentari vincolato dai soli fabbisogni “teorici” tenda inevitabilmente a sottostimare le quantità dei materiali reimpiegati in zootecnica se comparati, una volta opportunamente aggregati per le diverse categorie animali e regioni, con i volumi rilevati a livello nazionale.

Al fine di pervenire ad una corretta stima delle scelte degli operatori, il sotto-modulo alimentazione quantifica - mediante l’applicazione della *cross* entropia - i fabbisogni “empirici” di nutrienti assunti dagli allevatori quali valori di riferimento per le diverse attività di produzione animale nelle singole regioni.

Su tali basi e di nuovo col ricorso all’approccio metodologico della PMP, il sotto-modulo deriva una soluzione simultanea per le singole attività zootecniche regionali e produce una corrispondente serie di razioni alimentari congruenti ai dati nazionali per il periodo assunto a riferimento. I singoli modelli regionali di ottimizzazione alimentare sono risolti in maniera indipendente e descrivono i valori duali dei singoli quantitativi regionali di input alimentare.

Allo stato attuale di avanzamento dello studio, i valori duali intervengono nella definizione dei termini lineari della funzione di costo di alimentazione:

- per ogni singolo alimento f complessivamente consumato a livello regionale, i termini quadratici q sono determinati dal prodotto tra un'elasticità di f al prezzo pari a -0.5 ed il rapporto, per lo stesso f , tra prezzo e quantità domandata;
- i parametri lineari della funzione sono espressi, di nuovo per ogni f regionale, dalla differenza tra il prodotto “quantitativo consumato e q ” (minuendo) ed il valore duale λ (sottraendo).

La funzione quadratica di costo di alimentazione è infine incorporata nella funzione obiettivo impiegata nel processo di ottimizzazione realizzato dal modulo di offerta per ognuno dei modelli regionali - rivolti alle attività di produzione animale - nelle fasi di calibrazione e proiezione.

La calibrazione assicura che il consumo zootecnico regionale di ogni singolo prodotto (materia prima, sotto – prodotto) e nutriente derivato dai modelli regionali per le attività di produzione animale sia congruente con le statistiche riportate a livello nazionale (queste ultime indifferenziate in relazione alle categorie animali). Dato l'impiego del vettore di prezzi dei beni reimpiegati nelle attività di produzione animale, i quantitativi consumati garantiscono inoltre la congruenza con i costi di alimentazione nazionali indicati nella EAA.

Anche in sede previsionale, i modelli regionali dei comparti animali hanno evidenziato una elevata capacità di simulare coerenti comportamenti in relazione agli scenari di simulazione imposti. In tale contesto, si assume infine che la domanda ex-ante di ogni singolo alimento derivata dai singoli modelli regionali dei comparti animali determini, una volta aggregata a livello nazionale e per ognuno dei materiali consumati, almeno una equivalente offerta ex-ante nazionale interna, ottenuta per sommatoria dei quantitativi determinati dai modelli provinciali dei comparti vegetali, e di origine estera (importazioni).

2.3.3 Sotto-modulo “Ambiente”

Il sotto-modulo “ambiente” è costituito da un sistema di equazioni in grado di effettuare una duplice serie di bilanci (per animale e per coltura) dei nutrienti di interesse ambientale al fine di quantificare in maniera flessibile e con un alto grado di dettaglio le emissioni di elementi di natura organica ed inorganica.

In un maggiore dettaglio il sotto-modulo deriva il percorso che, dall'impiego nelle attività di produzione prima al rilascio nei media naturali, caratterizza i principali nutrienti ed emissioni gassose (GHG) di interesse ambientale per ogni comparto ed unità territoriale di riferimento (G. Palladino et Al., 1998).

Per quanto concerne le emissioni di elementi di natura organica di origine animale, il modello deriva per ogni categoria zootecnica e provincia - anche in sede previsionale - il quantitativo di principi nutritivi ingeriti in funzione di una vasta serie di fattori (peso vivo, crescita giornaliera,

rese, lunghezza del periodo di produzione, stadio fisiologico, ...). In maniera altrettanto flessibile, uno specifico sistema di equazioni derivate dalla letteratura è in grado di stimare i livelli di assimilazione dei nutrienti nel corpo animale ed il loro contenuto nei prodotti zootecnici (latte, lana, giovani animali, ...). La quantificazione dei nutrienti consumati e trattenuti consente la definizione di un vero e proprio bilancio per ogni categoria animale e la stima delle emissioni di nutrienti organici.

Va osservato come il carattere di originalità dell'approccio possa essere delineato sulla base di tre ordini di considerazioni:

- il sotto-modulo “ambiente” ed il relativo bilancio dei nutrienti per categoria animale non sono basati su coefficienti di input ed output fissi, ma sono in grado di modulare i propri risultati in funzione di variabili di derivazione endogena ed esogena;
- data la capacità del sotto-modulo di descrivere il percorso dei nutrienti dal loro consumo alimentare alle emissioni animali, scenari alternativi riferiti sia all'alimentazione animale, sia alle consuetudini di allevamento (tecnologie estensive, misure politiche, ...) possono essere anche in quest'ambito valutate per ogni provincia e categoria animale;
- il sotto-modulo offre l'opportunità di effettuare un'ulteriore controllo di tipo feedback tanto sulla stima delle analitiche razioni alimentari, quanto sul contenuto nutritivo degli alimenti consumati.

Facendo particolare riferimento alla stima delle emissioni di azoto organico per provincia e comparto di produzione animale ⁶, due differenti approcci sono stati adottati. Per alcune categorie animali, ad esempio le bovine da latte, l'output di azoto è direttamente stimato in funzione delle caratteristiche fisiologiche e produttive del comparto provinciale. Per altre categorie animali, ad esempio bovini da carne, l'emissione di azoto è derivata per le singole province dalla differenza tra l'ingerito ed il ritenuto secondo il cosiddetto concetto dell'*empty body*.

In riferimento a quest'ultimo approccio, è necessario operare una distinzione tra animali adulti e giovani. Nel primo caso è infatti sufficiente considerare il contenuto proteico dei relativi prodotti. Al fine di derivare correttamente le ricadute sull'ambiente, il livello di assimilazione proteica destinata all'accrescimento fetale non deve inoltre essere considerata alla stregua delle emissioni, ma sottratta dal quantitativo consumato. Nella seconda circostanza (giovani animali), è per contro necessario quantificare il volume di proteine ritenute dal corpo in accrescimento, tenendo conto anche della decrescente capacità di assimilazione, e sottrarlo dai quantitativi di azoto rilasciati.

Mentre i nutrienti organici sono definiti endogenamente dal sotto-modulo “ambiente”, i fertilizzanti inorganici sono assunti in maniera esogena dalle statistiche regionali (ISTAT). Tenuto in debito conto le colture per le quali le pratiche agronomiche non prevedono l'impiego di liquame e/o letame, i fertilizzanti organici ed inorganici sono distribuiti alle colture vegetali in funzione delle scelte operative del produttore approssimate dai quantitativi di nutrienti fissati dal codice di buona pratica agricola. Un bilancio al livello della singola coltura, tenuti in

⁶ L'output di azoto organico è ridotto in misura pari al 30% per tenere in debito conto le perdite di volatilizzazione che si verificano durante la fase di stoccaggio dei reflui zootecnici.

considerazione i fenomeni di volatilizzazione ed i precipitati atmosferici, è poi effettuato per stabilire la posizione di deficit o surplus per ogni nutriente, coltura ed area considerata.

3. I RISULTATI DEL MODELLO: UN'ANALISI ECONOMICO-AMBIENTALE COMPARATIVA

Le implicazioni economiche ed ambientali delle decisioni adottate con Agenda 2000, sono state valutate tenendo conto dei nuovi livelli di prezzi di intervento e premi, e delle nuove regole per le organizzazioni di mercato che riducono il supporto ai prezzi.

L'analisi é stata effettuata sulla base di uno scenario di riferimento definito dalla media triennale 1993-1995 (anno base) ed è estesa alla totalità delle 103 province italiane.

Nello scenario che viene di seguito presentato, si mettono in evidenza le ripercussioni sull'intero settore e sui singoli comparti determinate dall'applicazione delle OCM seminativi, carne bovina e latte, all'anno 2003, anno in cui le variazioni di prezzo e intervento saranno definitive; non si considera la riduzione del prezzo di intervento del latte ed il premio speciale per le vacche da latte, previsti a partire dal 2005, ed inoltre, non si tiene conto delle misure agro-ambientali e delle politiche di sviluppo rurale.

In particolare vengono presentati gli effetti degli interventi PAC nel comparto cereali, colture proteiche e semi oleosi, latte, carne bovina e suina:

- superficie investita e numero di capi allevati;
- produzione prevista;
- margine lordo.

Viene inoltre effettuata l'analisi dell'integrazione della politica ambientale della PAC tramite la definizione di alcuni indicatori di pressione sul territorio:

- input e surplus di azoto;
- emissioni di ammoniaca;
- emissioni di metano.

3.1 Lo scenario AGENDA 2000

In relazione al regolamento orizzontale ed alla sua applicazione sul territorio nazionale⁷, non sono stati considerati i vincoli relativi alla modulazione degli aiuti e vincoli specifici di cross-compliance ambientale, e si assume che vengano rispettate le normali pratiche di gestione del suolo agricolo riportate nel decreto.

⁷ Decreto MIPAF del 15 settembre 2000.

Gli aiuti medi per ettaro e per capo sono stati calcolati sulla base dell'intervento PAC nazionale previsto, dei vincoli di quote regionali, dove previste, e delle rese medie regionali.

La riduzione programmata dei prezzi d'intervento é assunta come variazione dei prezzi alla produzione attesi.

Prezzi:

- I prezzi all'origine dei cereali vengono ridotti del 15% in due fasi successive (2000-2001); la riduzione è applicata anche ai cereali utilizzati come prodotti intermedi (alimentazione animale e sementi);
- Per la carne bovina vengono ridotti del 20% in tre fasi successive (2000-2002);
- Il prezzo del latte viene mantenuto al livello dell'anno di riferimento: la simulazione è riferita al 2003, mentre la riduzione del 17% è prevista negli 2005-2007.

Premi:

- Per i cereali l'aiuto per ettaro é aumentato del 16%, si passa da 54.34 euro/t a 63 euro/t, e considerata inoltre, l'aumento della resa di riferimento del 3%;
- Grano duro;
- Per le colture proteiche l'aiuto è diminuito del 7.5%, si passa a 78 euro/t a 72.5 euro/t;
- Per i semi oleosi l'aiuto è diminuito del 30%, e viene fissato allo stesso livello dei cereali;
- Per i bovini maschi da carnee per i tori è previsto un premio per tutta la durata della carriera pari a 210 euro; un premio di 150 euro ai manzi, conferito due volte nella vita dell'animale; un premio annuale pari a 190 euro per le vacche nutrici;
- Un premio alla macellazione o all'esportazione assegnato ai bovini adulti nella misura di 80 euro per capo ed ai vitelli di 50 euro;
- Una dotazione nazionale 65.6 Meuro, di cui 54.1 ai bovini maschi e la restante quota alle vacche nutrici.

Quote:

- Set-aside obbligatorio pari al 10%, elevabile ad un massimo del 12%⁸;
- Superficie piante proteiche e semi oleosi soggetta agli accordi di Blair House, per un totale di 542 mila ettari;
- Superficie massima garantita per il frumento duro² per un totale di ettari 1636 mila;
- Numero di bovini maschi⁹ adulti ammessi al premio speciale pari a 598.746 unità;
- Numero di vacche nutrici ammesse al premio pari a 621.611 unità;
- Aumento quota latte regionale¹⁰ per un totale di 600.000 tonnellate.

⁸ Decreto MIPAF 4 aprile 2000.

⁹ Decreti MIPAF 16 marzo 2000 e 25 maggio 2000.

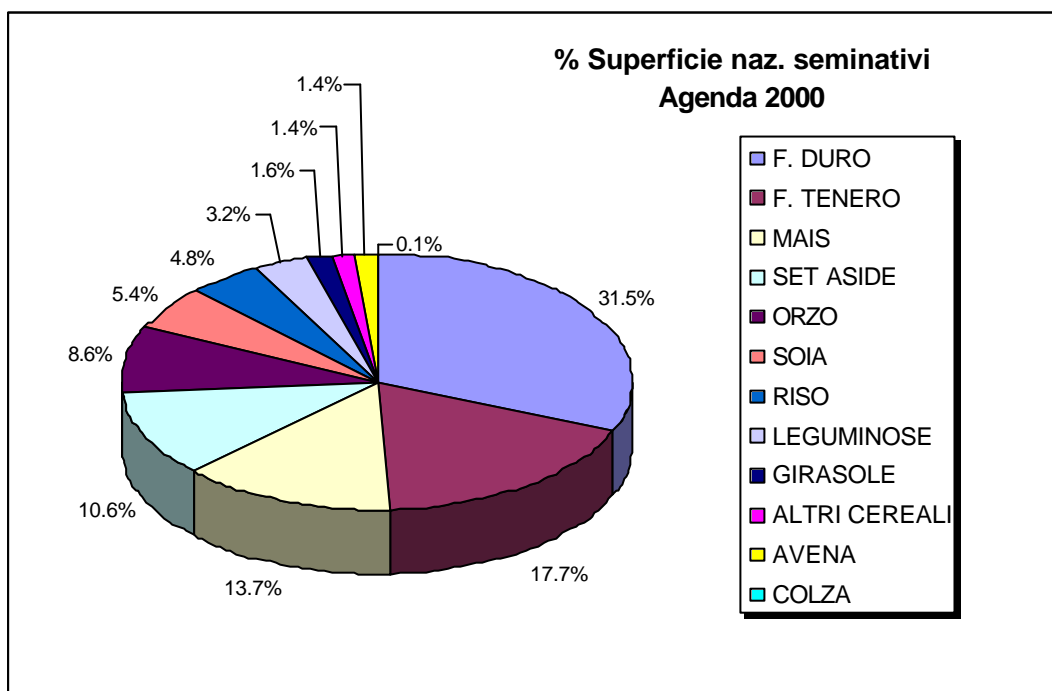
¹⁰ In riferimento al decreto-legge n° 8 del 4 febbraio 2000, la distribuzione regionale prevista per la prima tranche di 384 mila tonnellate é stata utilizzata per ripartire la restante quota tra le regioni.

Regione	Aumento quota latte (t)	Superficie F. duro (ha)
Piemonte	46.953	-
Valle d'Aosta	2.656	-
Lombardia	221.719	-
Trentino A.A.	27.109	-
Veneto	68.359	-
Friuli V. Giulia	13.516	-
Liguria	625	-
Emilia R.	100.781	-
Toscana	5.547	118.950
Umbria	3.516	9.341
Marche	2.891	125.172
Lazio	29.063	80.616
Abruzzo	5.703	38.797
Molise	5.000	74.647
Campania	18.359	72.728
Puglia	16.953	396.739
Basilicata	5.938	215.772
Calabria	3.750	58.668
Sicilia	8.984	374.802
Sardegna	12.578	79.768

3.2 Analisi economica

3.2.1 Seminativi

Gli interventi previsti nei regolamenti OCM inducono notevoli variazioni dell'uso della superficie agricola. In particolare, l'introduzione del set-aside obbligatorio, con un previsto aumento del 17.5% della superficie interessata, determina la diminuzione della superficie nazionale investita a cereali e a proteolaginose rispettivamente dello 0.5% e del 3%.



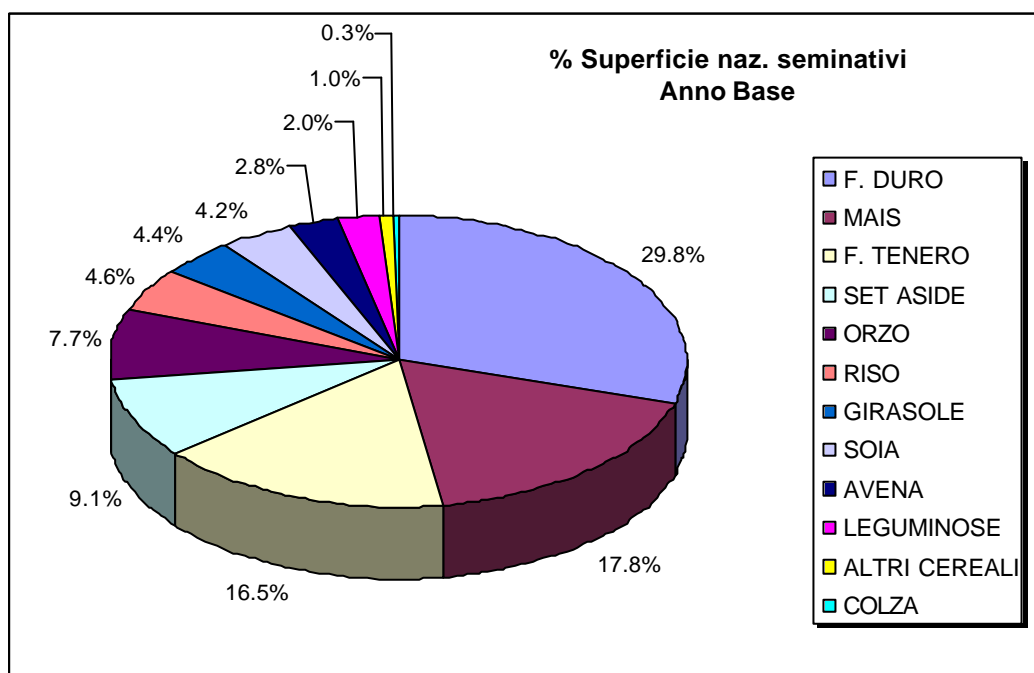
La diminuzione della superficie a cereali risente della notevole riduzione della superficie a mais, - 22%, dovuta in particolare all'aumento della superficie ad insilato, attività anch'essa sussidiata e caratterizzata da una elevata produzione con un elevato contenuto nutritivo e da un prezzo per unità energetica basso e, anche in funzione di ciò, stimolata dalla domanda esercitata dai comparti zootecnici. Gli altri cereali, beneficiando dell'aumento del premio ad ettaro e dell'incremento delle rese, riscontrando un consumo stabile e fronteggiando una diminuzione del prezzo di mercato prevista, evidenziano un aumento della superficie investita mediamente pari al 4% concentrato soprattutto nelle attività di produzione di frumento duro, frumento tenero e di orzo.

Per contro, l'effetto combinato determinato dall'aumento della resa e dalla concomitante diminuzione del premio ad ettaro, ridefinisce quasi totalmente il comparto delle proteolaginose. A livello nazionale, si assiste ad un forte calo della superficie investita a girasole e colza, -60%, e ad un notevole aumento della soia, 31%, ed di altre leguminose, 63%. Gli effetti sulla

produzione e sul margine lordo dei cereali, pur essendo positivi, risentono notevolmente della caduta del mais, la cui produzione cala del 14% ed il margine lordo del 25%. Per il settore cerealicolo, mais compreso, si registra un aumento della produzione pari al 9% e del margine lordo pari al 2.6%.

Nel comparto delle proteolaginose si assiste ad un aumento della produzione del 17%, con variazioni della disponibilità delle singole produzioni che riflettono le variazioni delle superfici investite. Nel complesso il margine lordo totale non subisce variazioni, la diminuzione dell'aiuto per ettaro é compensata dall'aumento della PLV (aumento della resa), e dall'aumento della superficie a soia ed altre leguminose che determinano un margine lordo più elevato di quello prodotto da girasole e colza.

In dettaglio tali variazioni si diversificano nelle singole province italiane e gli effetti che si hanno su determinate aree sono notevoli. Per ragioni di sintesi e di chiarezza espositiva, di seguito viene presentata un'analisi dei risultati aggregati per le province¹¹ del nord, centro, sud e isole.



¹¹ La suddivisione delle regioni nelle aree nord, centro, sud ed isole, non rispecchia quella ISTAT in quanto le regioni Abruzzo e Molise, uscite dall'area obiettivo 1, in questo studio sono state raggruppate nell'area centro.

Nord

Le variazioni che si manifestano in media nelle zone settentrionali del paese riflettono con maggiore sensibilità i cambiamenti che si presentano a livello nazionale:

- l'introduzione del vincolo del set-aside determina un aumento dell'area interessata a tale intervento pari al 30%;
- la diminuzione della superficie totale a cereali é pari al 9%, determinata dalla riduzione del 23% della superficie a mais e bilanciata da un aumento del 7.5% degli altri cereali; la produzione totale diminuisce del 2%;
- l'aumento del 10% della superficie investita a proteolaginose é determinato dal notevole aumento della superficie a soia, 31.6%, ed altre leguminose, 40%, a scapito del girasole, -53%, e della colza, - 83%; la produzione totale aumenta del 40%.

La notevole variazione che si presenta per il mais (180 mila ettari), la cui superficie rappresenta in larga parte quella nazionale, é condizionata dalla ridefinizione della domanda di prodotti destinati all'alimentazione animale. L'effetto della riduzione dei prezzi dei cereali influenza la composizione delle razioni: in particolare si assiste alla sostituzione tra il mais in granella e l'insilato di mais (aumento della superficie del 8%), e tra il mais e gli altri cereali, determinando una riduzione del costo di alimentazione di particolare significatività nel comparto bovino.

Nell'ambito delle proteolaginose, si assiste ad un aumento della superficie occupata a soia (67 mila ettari) a scapito delle produzioni di girasole e colza; tenuto conto della variazione positiva della superficie totale destinata a proteolaginose ed a cereali, mais escluso, si desume un'ulteriore sostituzione tra il mais e la soia.

Di conseguenza tali effetti si ripercuotono sul posizione reddituale degli operatori del settore primario: il margine lordo realizzato dal settore cerealicolo diminuisce in media del 13.5%, un risultato economico controbilanciato dall'aumento del margine lordo delle proteolaginose pari al 15% e dai maggiori interventi di sostegno previsti dalla PAC a favore dell'estensione delle superfici ritirate (set-aside).

Centro

La variazione della superficie a set-aside, pur essendo positiva (14%) ma non interessando molti ettari, non é così preponderante nella ridefinizione dell'uso della superficie agricola. L'effetto caratterizzante dell'intervento PAC nelle province centrali del Paese é la riduzione del 53% della superficie a proteolaginose, contro un aumento della superficie totale destinata a cereali del 10%. In riferimento al primo dei due settori di produzione, la riduzione riguarda in misura maggiore il girasole, -64%, che in questa area rappresenta, negli schemi rotazionali, la principale coltura in successione ai cereali; riduzioni poco sensibili si registrano per soia e colza, contro un aumento della superficie investita ad altre leguminose (35%).

I risultati configurano pertanto una forte sostituzione tra proteolaginose e cereali per i quali, escludendo la riduzione del mais (15%), si registra un aumento del 12% della superficie investita, con variazioni positive per tutti i cereali coltivati nell'area.

Le condizioni che hanno influenzato tale processo vanno ricercate nella diminuzione dell'aiuto per ettaro di girasole che, seppure di contenuta entità, va a sommarsi all'effetto determinato da un costo di produzione in genere elevato. La combinazione dei due fenomeni comporta un abbassamento dei margini economici disponibili per le attività di produzione di proteolaginose determinando un vantaggio competitivo a favore dei cereali, e in particolare del frumento duro, la cui posizione appare ulteriormente consolidata in ragione dell'elevato aiuto per ettaro erogato, di nuovo nello specifico per frumento tenero e orzo, e dei costi di produzione relativamente più contenuti.

Alla luce di tali previsioni si può affermare che i nuovi interventi PAC incidono notevolmente sui normali schemi rotazionali dell'area, inducendo l'adozione della monosuccessione per garantire un sicuro risultato economico: il margine lordo totale, cereali e proteolaginose, risulta essere maggiore del 9% rispetto all'anno base.

Sud e isole

Le caratteristiche pedo-climatiche che, in genere, contraddistinguono le province italiane meridionali hanno definito negli ultimi anni schemi rotazionali che prevedono generalmente cereali in monosuccessione della durata di tre o quattro anni e succeduti da produzioni di pomodoro, di barbabietola da zucchero, di colture orticole, di girasole ed altre leguminose. Tali sistemi, presenti soprattutto nelle zone di pianura, assicurano un elevato reddito, dovuto in misura maggiore alla coltura in successione al cereale.

La scarsa redditività dei cereali, dovuta alla bassa produttività media ed alla mancata possibilità di coltivare proteolaginose, normalmente più redditizie dei cereali, ha determinato negli anni dell'applicazione MacSharry una forte adesione al set-aside come alternativa ai cereali stessi, la cui percentuale sul totale dei seminativi, nell'anno base, è già prossima al 10% e la cui variazione prevista è positiva ma minima.

Nello scenario Agenda 2000, si evidenzia un minimo aumento della superficie investita a cereali, 1%, ed un notevole aumento, 56%, della superficie investita a proteolaginose, che interessa la coltivazione di leguminose minori ed aree marginali legate all'allevamento ovi-caprino e pertanto destinate all'alimentazione animale.

I margini lordi dei seminativi registrano un incremento pari al 15% beneficiando in maniera sensibile degli aumenti dei relativi sussidi per ettaro previsti dalle misure di politica comune ed in grado di compensare la prevista riduzione del prezzo dei cereali. Proprio nel prevalente contributo offerto dai comparti cerealicoli alla formazione della capacità reddituale del settore dei seminativi - il 92% del relativo margine lordo è di fatto determinato dalle attività di produzione di cereali - è possibile individuare il decisivo sussidio garantito dagli interventi di sostegno. Contributi che tendono inoltre ad orientare le scelte produttive del settore nelle province del sud

d'Italia la cui superficie investita a frumento duro risulta pari, in sede previsionale, al 70% della superficie nazionale massima garantita.

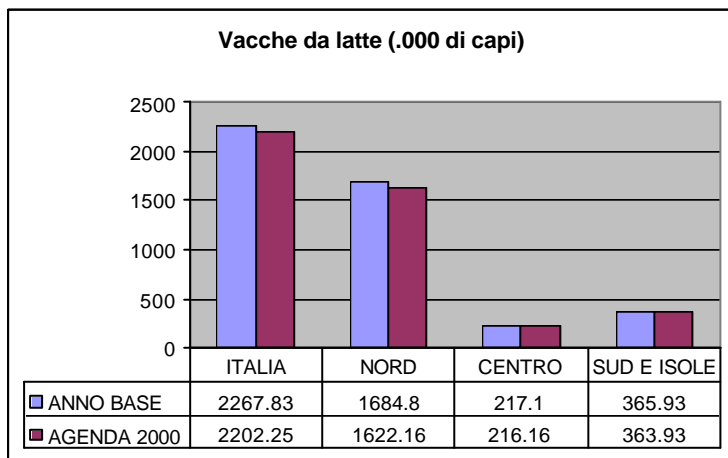
3.2.2 Bovini da latte

La previsione al 2003 non permette di valutare tutti gli interventi previsti dal regolamento per questa OCM - la riduzione del prezzo di intervento e l'aiuto per capo saranno attuati a partire del 2005 - ma consente di evidenziare le ripercussioni che derivano per il comparto bovini da latte per effetto dell'applicazione degli interventi previsti per le altre OCM.

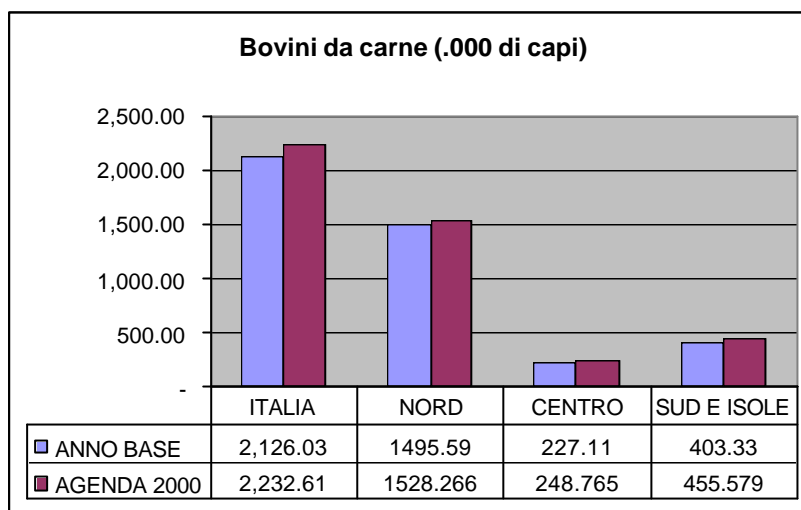
Il mantenimento del sistema di contingentamento della produzione di latte, l'aumento della quota di riferimento nazionale ed il trend positivo dell'aumento delle rese determinano una riduzione del numero di capi allevati pari al 3%.

Le maggiori variazioni si evidenziano sulla redditività del comparto: la riduzione dei prezzi dei cereali determina un costo di alimentazione più basso rispetto all'anno base, anche a fronte di un aumento dei fabbisogni nutritivi determinato dall'aumento della resa. In funzione di ciò, e non essendo stata considerata alcuna variazione del prezzo del latte, il margine lordo¹² del comparto evidenzia un aumento del 30%.

Tenendo conto che il 77% della produzione nazionale di latte si realizza nell'area settentrionale del paese, va osservato come l'atteso incremento del margine lordo sia in larga parte riconducibile alla relativa variazione (+28%) registrata nelle province dell'area padana i cui processi di produzione, caratterizzati da un maggior grado di specializzazione e di efficienza manageriale, riescono a sfruttare al meglio i vantaggi offerti dal mercato e, nella fattispecie, dall'uso degli insilati nell'alimentazione delle vacche da latte.



¹² Nel calcolo del margine lordo non si tiene conto del superprelievo dovuto in caso di sfioramento della quota di riferimento essendo tale limite impiegato quale vincolo alla produzione dell'azienda aggregata.



Aumenti del margine lordo si registrano anche per i comparti delle province del centro, 44%, e per quelle del sud e delle isole, 41%, il cui incremento é riconducibile, oltre che ad una più modesta posizione reddituale iniziale se comparata - in termini assoluti - con quella delle province settentrionali, ad un più sensibile contenimento dei costi di alimentazione. Poiché infatti in tali province risulta in pratica assente l'impiego di insilati nel razionamento delle vacche da latte, il largo consumo di cereali (in termini percentuali sugli apporti nutritivi complessivi) previsto per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici delle bovine ed il livello dei relativi prezzi attesi comportano un sensibile contenimento del loro costo d'uso.

3.2.3 Bovini da carne

La compensazione – a saldo positivo - tra aumento del premio per capo e riduzione del prezzo insieme ad una maggiore e generalizzata disponibilità di vitelli da carne, determinata dall'aumento delle vacche nutrici allevate per effetto dell'incremento del premio ad esse corrisposto, hanno determinato un aumento del numero dei capi portati a macellazione pari al 5%.

Nella definizione dello scenario Agenda 2000 non si é tenuto conto dei cali di consumo dei prodotti carnei che si sono registrati negli ultimi mesi dovuti alla cosiddetta vicenda "BSE".

Gli aumenti relativi maggiori si sono manifestati nelle province del sud e del centro del Paese, rispettivamente del 13% e del 10%, contro un più contenuto aumento, pari al 2, previsto per le province settentrionali. La produzione di carne bovina nelle zone centro-meridionali sono caratterizzate da un più elevato costo di produzione determinato dalla tipologia di animali allevati (incrementi ponderali ed indici di conversione bassi), da sistemi più estensivi e, a volte, dal carattere secondario che tale attività riveste in alcune aree.

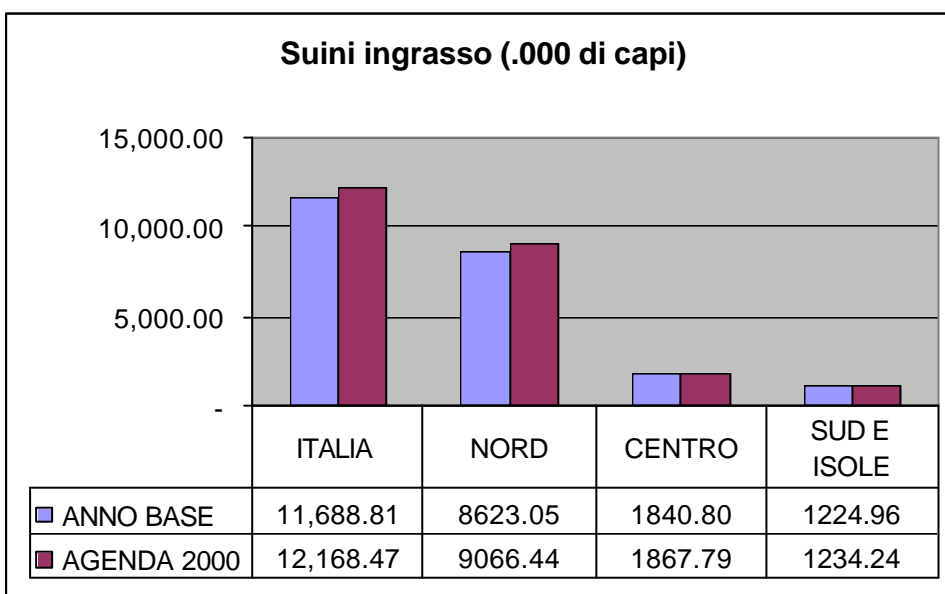
Pertanto, il sostenuto aumento del premio per capo ha reso l'allevamento in tali province più redditizio e, in relazione alla disponibilità di animali da allevare, ha determinato l'aumento dei capi allevati.

Infatti la variazione del margine lordo prevista nel sud e nelle isole é pari al 60%, nel centro al 47% e nel nord al 40%.

L'aumento dei capi allevati determina di conseguenza un aumento pari all'11% della quantità di carne prodotta.

3.2.4 Suini

Com'è noto, il comparto suinicolo non é interessato dai regolamenti comunitari compresi da Agenda 2000: in questo contesto, lo scenario di simulazione assunto dal modello intende evidenziare perciò le ripercussioni sull'attività di allevamento di suini determinate dall'applicazione dei regolamenti introdotti per gli altri comparti produttivi.



Come avviene per tutti i comparti di produzione animale, la riduzione dei prezzi dei cereali determina una riduzione del costo di alimentazione. Per i suini, come per gli avicoli, tale effetto é più marcato in quanto la razione alimentare é costituita prevalentemente da cereali e la sua formulazione è influenzata, in generale, da una attesa minore competizione con il comparto bovino da latte nell'impiego di tali risorse.

Il numero dei capi allevati sul territorio nazionale aumenta del 4% ed interessa l'area nord del paese, dove vengono allevati il 75% dei capi nazionali.

Il mancato aumento nelle altre aree del paese é dovuto alla prevalenza di allevamenti a ciclo aperto, il cui numero di scrofe allevate¹³ rappresenta il 25% del patrimonio scrofe nazionale. Ciò configura pertanto un problema di ordine strutturale caratterizzato da un minor approvvigionamento di suinetti, pur risultando consolidati gli osservati flussi di import di queste aree.

Gli effetti sulla redditività del comparto sono sostanziali: il margine lordo prodotto aumenta del 14%, determinato da un aumento del 5% della produzione e dalla riduzione dei costi di produzione. Nelle aree centro-meridionali (isole comprese) l'aumento del margine lordo varia dal 4% al 9% per il prevalente effetto del minor costo di alimentazione.

3.3 Analisi ambientale

Con Agenda 2000, lo sviluppo sostenibile del settore agricolo viene garantito tramite un processo di integrazione tra politica ambientale ed agricola da attuare in primo luogo attraverso vincoli di cross-compliance e, in secondo luogo, mediante gli interventi previsti nelle singole OCM tramite i cosiddetti "obiettivi secondari" o cross-achievement.

In questo studio l'analisi verterà solo sugli obiettivi secondari, in quanto l'Italia non ha adottato un regolamento di cross-compliance in grado di condizionare le tecniche di produzione e le scelte di convenienza a favore dell'ambiente.

Di seguito verranno presentati alcuni indicatori di pressione ambientale, determinata dalle produzioni vegetali e animali, sul suolo e nell'aria.

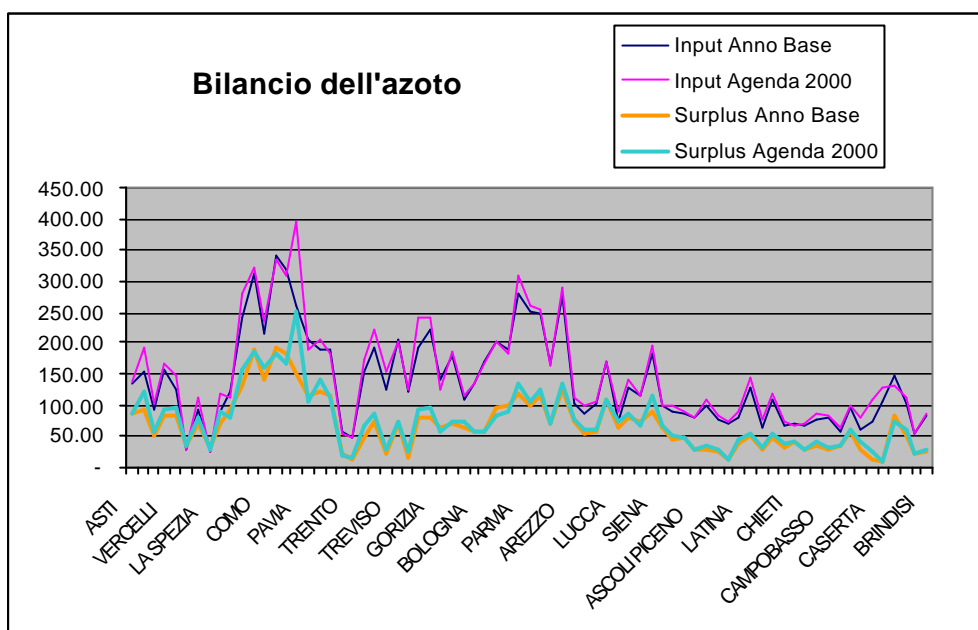
3.3.1 Il bilancio dell'azoto

L'azoto rappresenta uno degli input indispensabili nella produzione vegetale ed animale essendo, come noto, fondamentale per la crescita e la produzione. I fabbisogni azotati, o meglio proteici per gli animali, variano in relazione al tipo di coltura o di animale ed alla loro performance produttiva e, pertanto, il loro soddisfacimento, oltre a giocare un ruolo fondamentale sulla produzione finale, determina una maggiore o minore pressione ambientale sul territorio. Se si considera che il fabbisogno medio in proteine grezze di una bovina da latte oscilla tra i 650 e gli 800 kg all'anno, oppure che il fabbisogno medio di un suino pesante varia tra i 50 ed i 60 kg per ciclo produttivo (le stesse considerazioni valgono per le produzioni vegetali), si può dedurre quanto sia fondamentale assicurare un corretto uso dell'azoto per arginare situazioni di surplus, tali da compromettere la qualità delle acque superficiali e sotterranee, tramite il percolamento e la lisciviazione, e la qualità dell'aria, tramite le emissioni di ammoniaca che incrementano la caduta di piogge acide.

¹³ Di cui il 50% circa viene allevato in Sardegna, regione in cui, per problemi di ordine sanitario non é consentito esportare suini fuori regione.

Nell'ambito delle produzioni vegetali, la fonte di approvvigionamento è di natura inorganica oppure organica (letame e reflui), per gli animali invece, è rappresentata da cereali, vegetali e sottoprodotti somministrati in qualità di alimenti: l'output delle produzioni vegetali, in termini di contenuto nutritivo, rappresenta l'input per quelle animali, e viceversa.

In Italia, nell'anno base l'input medio¹⁴ di azoto per ettaro oscilla da un massimo di 350 kg per ha ad un minimo di 30 kg. Come si evidenzia dal grafico, gli input medi più elevati si registrano nelle province settentrionali e diminuiscono scendendo lungo la penisola, con valori più alti nelle aree dove si pratica l'orticoltura.



I forti consumi sono giustificati da un lato dalle elevate rese che si realizzano in quelle aree e, dall'altro, dalla necessità di smaltire gli effluenti animali¹⁵ che, nella maggior parte dei casi, vengono sparsi sul terreno senza tenere conto di esigenze prettamente agronomiche.

L'effettivo utilizzo dell'azoto asportato dalle colture determina situazioni di surplus su tutto il territorio nazionale che variano da un minimo di 5-10 kg per ettaro di alcune province meridionali ad un massimo di 180-190 kg delle province padane, con andamento decrescente da nord a sud. Si tenga conto che gli indicatori così calcolati sono valori medi su tutta la superficie provinciale concimabile, e che pertanto ci sono realtà in cui la pressione è molto più elevata.

¹⁴ Il bilancio dell'azoto è stato effettuato sulla base della superficie agricola concimabile: cereali, proteolaggnose, erbai, prati, pascoli ed orticole.

¹⁵ Nel valutare la presente analisi, si deve considerare che il modello non considera trasferimenti tra province di letame o liquami e pertanto nel bilancio si assume che essi vengono reimpiegati

I risultati che scaturiscono dalla previsione al 2003 descrivono uno scenario in cui la pressione ambientale delle varie attività produttive, nella quasi totalità delle province, aumenta.

In linea generale, tutte le voci del bilancio¹⁶ evidenziano:

- l'aumento della superficie a set-aside, la diminuzione della superficie COP e l'aumento, seppur lieve, della superficie destinata ad orticole che determinano una più estesa area su cui non è consentito lo spargimento degli effluenti zootecnici, determinano una diminuzione della superficie concimabile pari al 2.5%;
- la riduzione dei prezzi dei cereali determina una composizione delle razioni alimentari in cui è preponderante la presenza di materie prime con elevati contenuti nutritivi, ma per contro determina un maggiore apporto proteico che si traduce in un aumento dell'azoto emesso. Pertanto, in relazione anche all'aumento dei capi allevati, si registra un aumento della quantità di azoto organico prodotto pari a 56 mila tonnellate, e tale aumento interessa maggiormente il centro ed il sud del paese;
- in relazione all'aumento previsto delle rese vegetali, la quantità di azoto assorbito dalle colture resta ai livelli dell'anno base.

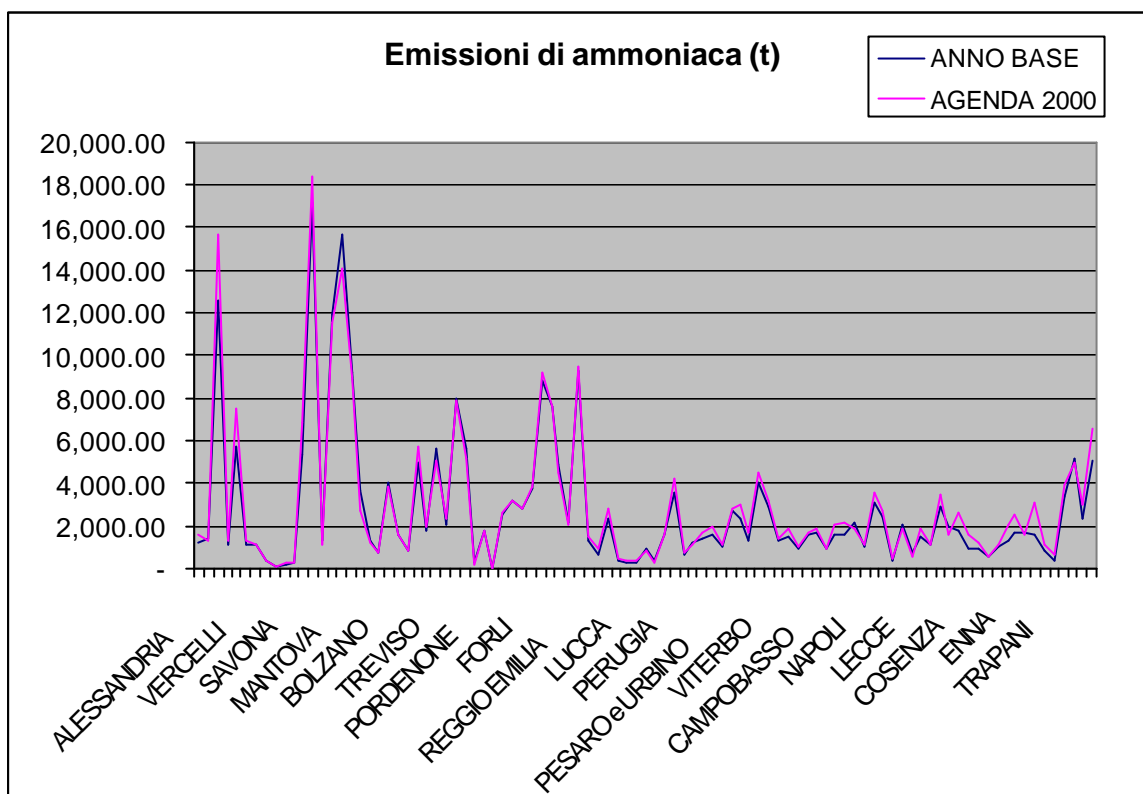
L'input medio di azoto, seguendo la distribuzione presentata per l'anno base, varia da un massimo di 400 kg ad un minimo di 50 kg; il surplus medio varia da un massimo 250-180 kg ad un minimo di 10.

L'aumento del surplus interessa l'intero territorio nazionale; una riduzione contenuta si registra in alcune province padane che comunque presentano i surplus più elevati. Le variazioni presenti nelle province centro-meridionali, anche se elevate, determinano ancora surplus minimi che, in relazione alle rispettive caratteristiche pedo-climatiche (terreni forti e scarsa piovosità), hanno uno scarso impatto ambientale effettivo.

¹⁶ La quantità di azoto complessivamente apportata con la concimazione minerale viene fissata agli stessi valori dell'anno base (quantità vendute per regione riportate nelle statistiche ISTAT).

3.3.1.1 Emissioni di ammoniaca

Lo stoccaggio, le operazioni di spandimento e le caratteristiche pedo-climatiche determinano perdite di azoto per volatilizzazione sotto forma di ammoniaca che incrementano la caduta di piogge acide. Pertanto, se si considera che esiste una percentuale di perdita fisiologica, il controllo delle emissioni di ammoniaca può essere effettuato tramite una maggiore efficienza gestionale della fase di stoccaggio e di spandimento e, soprattutto, evitando situazioni di surplus di azoto.



Le emissioni totali di ammoniaca nell'anno base risultano pari a 262500 tonnellate, mentre la distribuzione sul territorio nazionale segue l'emissione di azoto delle produzioni zootecniche. Il 65% delle emissioni è dovuto alle produzioni zootecniche delle province settentrionali, il 15% a quelle delle province centrali ed il 35% alle meridionali ed insulari.

Tenuto conto delle considerazioni fatte nel paragrafo precedente, nelle previsioni all'anno 2003 si registra un aumento pari al 8% delle emissioni totali distribuito sull'intero territorio nazionale ed in misura maggiore nelle province meridionali ed insulari, 23% del totale, che in quelle settentrionali, con il 62% del totale emesso.

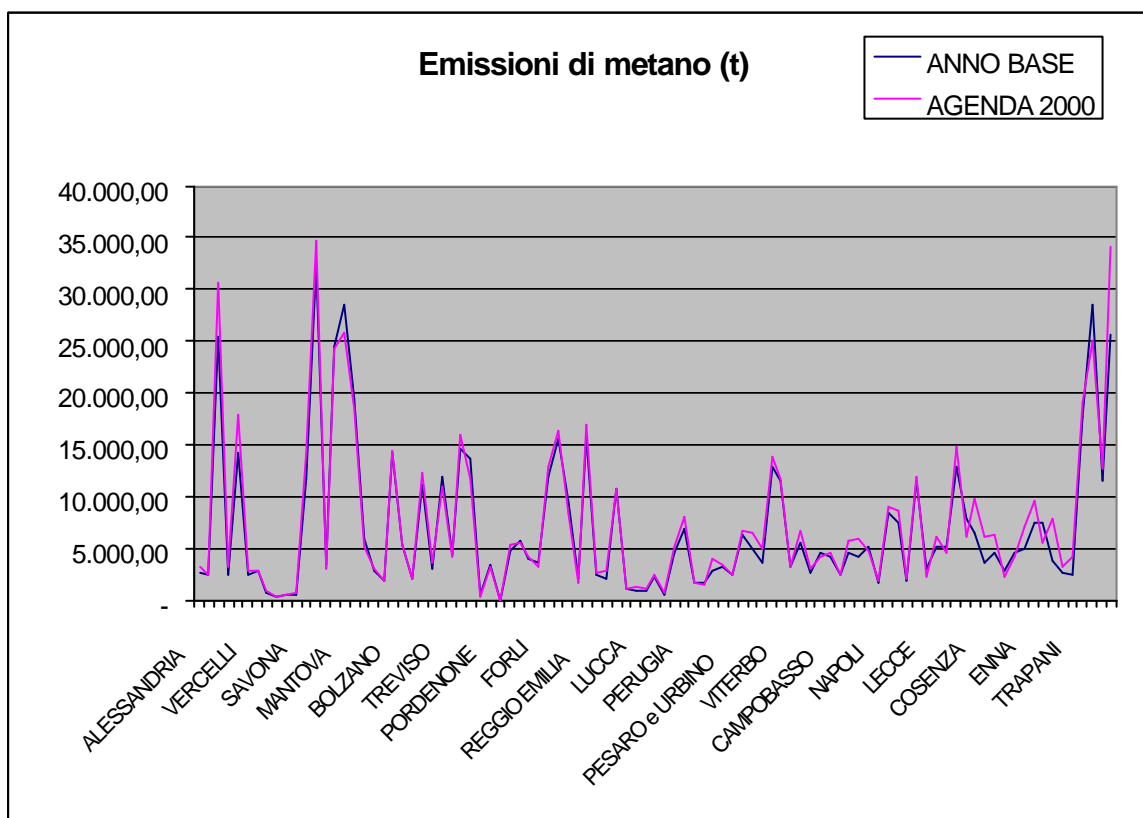
3.3.2 Emissioni di metano

La sfida principale della comunità internazionale in materia ambientale è la riduzione dei gas ad effetto serra. Gli accordi presi nell'ambito del Protocollo di Kyoto prevedono infatti l'abbattimento delle emissioni dell'8% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2010. Il metano è uno dei gas responsabili dell'effetto serra, ed anche se il suo peso è minimo rispetto ad altri, la sua riduzione rientra tra le azioni di politica ambientale della UE.

Il 50% delle emissioni comunitarie di metano sono dovute alle attività agricole ed in particolare alle produzioni zootecniche, principalmente ai comparti di allevamento dei ruminanti, ed alla coltivazione del riso.

Le considerazioni di carattere ambientale contenute nei nuovi regolamenti PAC dovrebbero garantire gli accordi presi in materia di riduzione delle emissioni gassose.

Dall'analisi dei risultati risulta una scarsa integrazione di questa tematica nella PAC; è da tener presente però che azioni dirette di controllo delle emissioni sono di non facile definizione ed applicazione: le fonti di emissione sono le normali pratiche agro-zootecniche (fermentazioni ruminali) e pertanto l'unica misura sarebbe la riduzione delle stesse.



Nell'anno base le emissioni totali di metano risultano pari a 664 mila tonnellate, con una distribuzione sul territorio nazionale che segue quella del numero di ruminanti allevati. Le province maggiormente interessate ricadono nella pianura padana, per la presenza delle risaie e dell'allevamento bovino, e nelle province centro-meridionali ed insulari caratterizzate da un forte presenza di pecore e capre. I livelli di emissione simili tra le diverse province dove più elevata risulta l'emissione di metano sono determinati dalle caratteristiche dei rispettivi sistemi di allevamento: da un lato l'elevato numero di capi allevati nelle province settentrionali e, dall'altro, il carattere estensivo dell'allevamento, con alimentazione foraggera prevalente (ovi-caprini), nelle province centro-meridionali che determina una emissione per capo maggiore di quella prodotta in un allevamento intensivo.

All'anno 2003, le emissioni totali aumentano dell'8% e sono pari 716 mila tonnellate. Tale aumento è dovuto maggiormente all'aumento del numero dei capi allevati e, in relazione all'aumento di rese previste di latte ovino e vaccino, all'aumento della componente foraggera delle razioni.

4. CONSIDERAZIONI DI SINTESI

Il contributo offerto dai modelli in termini di conoscenza ed analisi risiede nella possibilità di potere studiare a priori gli effetti presumibili di varianti apportate al sistema in termini di sperimentazione teorica. L'applicazione operativa delle ipotesi pre-verificate riduce infatti in maniera sensibile i margini di rischio ed accelera i processi di adattamento.

Per quanto concerne i modelli di analisi economica, politica ed ambientale, la loro impostazione richiede - in generale - la definizione a priori di un'ampia serie di elementi. Innanzitutto è necessario individuare le componenti del sistema ed il complesso di interrelazioni e di interdipendenze funzionali che ne descrivono i relativi fenomeni. La realtà oggetto di studio deve essere poi riprodotta in termini qualitativi, quantitativi e temporali, considerando che in un qualsiasi ambito nel quale opera un determinato sistema vi sono elementi direttamente rilevabili ed altri di tipo indotto.

Da ciò deriva che la capacità di sviluppare un modello è fortemente influenzata dalla possibilità di misurare le cause note: risulta allora evidente che tanto maggiore è la complessità del modello, quanto numerose possono essere le cause incognite in grado di condizionarlo.

Tali problematiche - schematicamente enunciate - assumono una particolare valenza nello sviluppo di modelli economico - ambientali rivolti all'analisi aggregata dei comparti di produzione primaria e dei suoli su cui tali attività insistono. In questi settori, come noto, la molteplicità delle relazioni intrasettoriali, la difficoltà di reperimento di informazioni statistiche congruenti ed in grado di rappresentare il sistema ad un adeguato livello di dettaglio nonché la molteplicità dei livelli di aggregazione territoriale di interesse d'analisi rendono particolarmente impegnative, ma di simmetrica rilevanza, la strutturazione e l'implementazione dei modelli.

Ciò pone in evidenza come lo sviluppo di un modello economico – ambientale non solo debba essere sottoposto ad un continuo processo di verifica e di affinamento, ma anche come esso non si sostituisca ma, anzi, necessiti di un'attività di monitoraggio e rilevazione in grado sia di aggiornare la base dati, sia di fornire informazioni indispensabili alla validazione e taratura del modello. La misurazione della qualità ambientale dei suoli rappresenta in tal senso un caso emblematico.

E' opportuno inoltre sottolineare come il modello economico si configuri sempre, a prescindere dalla natura e dalle caratteristiche della struttura considerata, come un'astrazione imperfetta dell'esperienza empirica. Va da sé pertanto che il modello, pur dovendo garantire un'architettura congruente rispetto ai principi teorici ed alla realtà osservata, costituisce uno strumento i cui risultati assumono un prevalente carattere informativo, e non normativo, e necessitano di essere impiegati con il supporto del ricercatore - anche nella funzione di analisi e di orientamento delle scelte politiche - e sempre ricondotti alle caratteristiche della modellistica generatrice ed ai suoi presupposti intrinseci.

Va d'altra parte sottolineato come solo un modello opportunamente sviluppato può fornire al decisore una risposta alla necessità di analizzare - per opportune dimensioni temporali (ex-post ed ex-ante) e spaziali (arre amministrative e naturali) - l'impatto determinato da provvedimenti legislativi e da scelte imprenditoriali.

La modellistica economica consente infatti di misurare e simulare gli effetti sui media naturali derivanti dalle attività antropiche e fornisce una base conoscitiva non prescindibile per analisi di carattere più strettamente ambientali. A loro volta, strutture funzionali in grado di descrivere i fenomeni di natura bio-fisica offrono preziose specificazioni alle analisi di carattere economico e politico. In quest'ottica, lo sviluppo di modelli integrati economico - ambientali sulla base di un approccio interdisciplinare può determinare rilevanti ricadute operative.

E' in questo contesto generale che il modello ELBA si propone - quale sua finalità ultima e nella sua qualità di *Web tool* - come un congruente ed attendibile strumento di analisi descrittiva e predittiva rivolto ai *sistemi agro - ambientali* dell'intero territorio nazionale sotto i vari profili di causa - effetto e di consequenzialità economica.

L'approccio sistemico del modello ELBA, quale suo elemento caratterizzante, intende inoltre fornire un'analisi a livello aggregato delle ripercussioni derivanti dalla gestione e dalla regolamentazione delle attività agricole e zootecniche sull'ambiente e - in primo luogo - sui suoli, e delle ricadute sulla sfera economica al fine di promuovere uno sviluppo sostenibile dei comparti presi in esame.

Pur presentando nella sua attuale configurazione alcune limitazioni che non ne condizionano tuttavia la capacità informativa, (quali, ad esempio, la mancata estensione dell'analisi economica al settore di trasformazione industriale) come evidenziano i risultati illustrati nel precedente paragrafo, il modello ELBA è caratterizzato da specifiche potenzialità di implementazione in grado di incrementarne sensibilmente il contributo conoscitivo della qualità ambientale dei suoli agricoli italiani.

L'implementazione della banca dati di uso del suolo¹⁷ consentirà la suddivisione dell'intero territorio nazionale in unità areali di 1 km², a cui farà seguito la spazializzazione dell'intero data base (variabili economiche ed ambientali) in ambiente GIS. L'utilizzazione dell'unità areale, oltre ad offrire la base a modelli in grado di simulare lo sviluppo di crescita colturale e di quantificare il ruscellamento e la percolazione dei nutrienti nel terreno, consentirà la valutazione a diversi livelli di aggregazione territoriale: aree vulnerabili, siti di interesse naturalistico, bacini idrografici, areali pedoclimatici...

Nella fase attuale l'attenzione é rivolta alla scelta di uno o più modelli bio-fisici (CropSyst, SWAT, NLEAP) con cui integrare la componente economica ed ambientale del modello; un ulteriore studio é rivolto alla integrazione di modelli biofisici "semplificati" con cui, considerando le principali variabili pedoclimatiche del territorio e fenologiche delle colture ed anche integrando variabili (ETR, AW, RunOff, percolazione) definite da altri modelli estesi a tutto il territorio nazionale (DB-SAM - MIPAF), si possa comunque pervenire alla valutazione integrata ambientale.

BIBLIOGRAFIA

Britz W., 1997. *Regionalization of EU-data in the CAPRI project*, Working paper 97-02, CAPRI research project, Institut für Agrarpolitik, Universität Bonn

Brouwer F., Crabtree B., 1998. *Environmental Indicators and Agricultural Policy*. CABI Publishing.

Hazell, P. B.R. and R.D. Norton, 1986. *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*. New York: MacMillan Publishing Company.

¹⁷ La banca dati (fotointerpretazione di immagini satellitari - anno 2001) é stata realizzata specificatamente nell'ambito del progetto di ricerca ELBA e commissionata al Consorzio ITA. Nel dettaglio per ciascuna unità territoriale di riferimento, celle di 1 km x 1 km, é riportata la suddivisione della SAU in cereali invernali, mais, soia, colza, girasole, tabacco, pomodoro, barbabietola, oliveti, frutteti, vigneti, foraggiere ed altri seminativi.

- Heckeley T., 1997. *Positive Mathematical Programming: Review of the Standard Approach*, Working paper 97-03, CAPRI research project, Institut für Agrarpolitik, Universität Bonn
- Howitt R.E. 1995. "Positive Mathematical Programming", in *American Journal of Agricultural Economics* , 77 : pp. 329-342.
- Nasuelli P., Palladino G., Setti M., Zanasi C., Zucchi G., 1998. *Estimation of the Elasticity of Substitution between Imported and Domestically Produced Goods. An Application of the Armington Approach*, Working paper 98-12, CAPRI research project, University of Bologna, Bologna
- Nasuelli P., Palladino G., Setti M., Zanasi C., 1999. *An Integrated Approach to Simulate the Economic and Environmental Relationships of Cropping Systems*, poster presentato all'International Symposium Modelling Cropping Systems, 21-23 Giugno 1999, Lleida (E)
- Nasuelli P., Palladino G., Setti M., Zanasi C., 1999. *Regional Economics and Environmental Impact of Livestock Breeding in the EU*, poster presentato al IX European Congress of Agricultural Economists – EAAE - "European Agriculture facing the 32-st Century in a Global Context", 24-28 Agosto 1999, atti pp. 91-92, Warsaw (PL)
- Nasuelli P., Palladino G., Setti M., Zanasi C., 1999. *Analisi integrata dei sistemi agro-ambientali: il modello ELBA*, poster presentato al 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee, 13-15 Ottobre 1999, atti vol. 1 pp. 1243-1250, Parma
- Palladino G. et al., 1997. *Feed module: Requirement functions and Restriction Factors*, Working paper 97-12, CAPRI research project, University of Bologna, Bologna
- Palladino G. et al, 1998. *A regionalized analysis of the environmental impact of the animal production activities - nitrogen and methane emissions*, Working paper 98-11, CAPRI research project, University of Bologna, Bologna
- Palladino G., Setti M., Tampellini V., 1998. *Impatto ambientale e politiche agrozootecniche: il modello di simulazione CAPRI per le regioni italiane. Primi risultati*, Università di Bologna, Bologna

"SUSAP: UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER UN USO SOSTENIBILE DEI PRODOTTI FITOSANITARI"

Stefano Brenna, Carlo Riparbelli
ERSAL, Servizio del Suolo

Marco Trevisan, Ettore Capri
Università Cattolica Sacro Cuore di Milano, Facoltà di Agraria

Domenica Auteri
Centro Internazionale per la Sicurezza degli Antiparassitari, Busto. G.

INTRODUZIONE

La protezione delle colture da infestanti e parassiti è pratica agronomica da sempre essenziale per assicurare una produzione agricola competitiva. A tal fine, nell'agricoltura moderna, e in particolare nelle aree di coltivazione intensiva, si fa, come noto, ampio ricorso a molecole organiche di sintesi.

Tuttavia, l'uso di prodotti fitosanitari può causare rischi per la salute umana, l'ambiente e gli organismi non bersaglio.

Tra i comparti ambientali a rischio di contaminazione assumono una particolare rilevanza le acque, sia superficiali che sotterranee, dato il loro possibile utilizzo per il consumo umano.

In questi anni, concentrazioni di residui di prodotti fitosanitari, talora in quantità superiori ai limiti ammessi per la potabilità delle acque, sono state in effetti registrate in molti acquiferi in Europa e, in generale, si può ritenere che tutte le aree dove l'agricoltura è intensiva come, ad esempio, la pianura della Lombardia, presentano potenziali rischi di contaminazione delle acque.

Lo sviluppo di "sistemi agricoli sostenibili" caratterizzati da tecniche e strategie di protezione delle colture che salvaguardino la qualità delle risorse idriche e degli ecosistemi acquatici nel loro complesso è diventata, pertanto, una delle problematiche prioritarie che investono l'agricoltura.

Le più recenti politiche ambientali ed agricole nazionali e della Comunità Europea si fanno ora carico di questi aspetti e cercano di favorire lo sviluppo di strategie che integrino le problematiche ambientali nella gestione delle risorse e del territorio agricolo.

La previsione della concentrazione di prodotti fitosanitari nei diversi comparti ambientali è dunque indispensabile per la valutazione e la gestione dei possibili rischi derivanti dall'utilizzo di queste sostanze in agricoltura. A tale proposito sono stati sviluppati numerosi modelli matematici

che simulano i vari processi fisici e chimici che si verificano sulla superficie e nel suolo. Essi rappresentano ormai uno strumento indispensabile e sempre più utilizzato per valutare i processi di migrazione di queste sostanze verso le acque sotterranee, come stabilito dal D.L.vo 152/99 che definisce la disciplina generale per la tutela delle acque superficiali e sotterranee, affidando alle Regioni il compito di identificare le zone vulnerabili da prodotti fitosanitari, allo scopo di proteggere le risorse idriche.

Nell'ambito di un progetto LIFE Ambiente (LIFE 98ENV/IT/000010), coordinato dall'ERSAL e in collaborazione con il Centro Internazionale per la Sicurezza degli Antiparassitari, L'Istituto di Chimica Agraria e Ambientale dell'Università Cattolica di Piacenza e l'Ufficio Europeo del Suolo ha realizzato un sistema di supporto alle decisioni, denominato SuSAP – Supplying Sustainable Agriculture Production – per la valutazione dei possibili rischi ambientali, derivanti dall'utilizzo dei prodotti fitosanitari in agricoltura.

SuSAP è organizzato in tre livelli di indagine: regionale, locale e aziendale, corrispondenti ad altrettanti livelli decisionali.

Al livello regionale il sistema fornisce un supporto all'individuazione e alla gestione delle zone vulnerabili all'uso dei prodotti fitosanitari, focalizzando l'attenzione sulla potenziale contaminazione delle acque sotterranee (D.L.vo 152/99) e sulla pianificazione in campo agricolo ed ambientale con ricadute a livello comunitario, nazionale e di bacino idrografico.

Al livello locale, (Parchi, ASL/ARPA, Consorzi di Bonifica, Servizi provinciali per l'agricoltura, Organizzazioni Professionali agricole), SuSAP può costituire un valido supporto alle azioni di sviluppo agricolo e di assistenza tecnica o di esercizio delle funzioni di controllo e monitoraggio ambientale secondo le diverse e specifiche competenze di ciascun organismo. La valutazione segue lo stesso schema del livello regionale; la differenza risiede nel grado di dettaglio dei dati e nella risoluzione degli output.

Le mappe della sensibilità dei suoli alla percolazione di prodotti fitosanitari che si ottengono, vengono prodotte a scale diverse a seconda del livello considerato.

Al livello dell'azienda agricola, SuSAP fornisce informazioni calibrate sulla specificità ambientale e gestionale di ciascuna azienda, utili per certificare la qualità delle scelte e delle tecniche colturali adottate (Reg. CEE 1257/99, Piani di Sviluppo Rurale). sotto il profilo ambientale. A questo livello la valutazione dell'impatto dei prodotti fitosanitari sulle acque sotterranee viene combinata con la valutazione dell'impatto sugli altri comparti ambientali (acque superficiali, aria, suolo) e sugli organismi non bersaglio (pesci, crostacei, alghe, lombrichi, ratti); si ottiene in questo modo una valutazione complessiva dell'impatto sull'ambiente di ogni possibile strategia di trattamento fitosanitario delle colture agrarie.

SuSAP si configura in pratica come un software prototipale, che, avvalendosi anche di funzioni tipiche dei GIS (Geographical Information Systems), permette di valutare attraverso semplici interfacce sia la sensibilità dei suoli alla lisciviazione di specifici fitofarmaci che indirizzare le aziende agricole nelle scelte agronomiche più efficaci e contemporaneamente più sicure per

l'ambiente, nell'ottica di una programmazione mirata dell'uso consapevole dei prodotti fitosanitari sulle colture agricole. Le funzionalità del GIS ArcView 3.1 (ESRI inc.) integrato in SuSAP, consentono all'utilizzatore di visualizzare i risultati delle elaborazioni ottenuti a livello regionale e locale in forma cartografica e di personalizzare i propri dati a scala aziendale con la digitalizzazione e l'inserimento dei dati relativi alla propria azienda.

Nelle figure 1-2 sono descritti i due schemi di funzionamento di SuSAP rispettivamente a scala regionale / locale e aziendale; gli schemi evidenziano dati di input e output e i passi che l'utente del sistema deve compiere per costruire lo scenario di applicazione e pervenire così alla valutazione finale.

Figura 1: Schema di funzionamento di SuSAP a scala regionale / locale



Figura 2: Schema di funzionamento di SuSAP a scala aziendale



I MODELLI MATEMATICI E DATI INTEGRATI NEL SISTEMA

SuSAP integra le informazioni relative a suolo, clima, prodotti fitosanitari, colture, necessari per l'applicazione di modelli matematici di simulazione del flusso nel suolo e di previsione del destino ambientale dei prodotti fitosanitari.

I modelli

I modelli attualmente più diffusi a livello europeo sono numerosi, molti dei quali accuratamente testati in condizioni di campo diverse (Capri e Trevisan, 1998; Vanclooster *et al.*, 2000). Per citare alcuni esempi: SoilFug, PELMO, PLM, VARLEACH, PERSIST, LEACHM-P, WAVE, PESTLA, PESTRAS, PRZM-2, SIMULAT, CRACK-NP, MACRO DB, GLEAMS.

In Europa nel 1993 è stata istituito il FOCUS (FOCUS, FOrum for international Coordination of pesticide fate models and their USe) che è una Commissione che ha sviluppato linee guida e di consenso su vari aspetti relativi all'uso e all'applicazione dei modelli matematici previsionali (Adriaanse *et al.*, 1997, Boesten *et al.*, 1996; Boesten *et al.*, 1997). I principali obiettivi del FOCUS sono: definire un glossario dei termini connessi ed utilizzati da coloro che si occupano di modelli matematici; sviluppare linee guida per l'uso dei modelli nell'ambito della registrazione europea; sviluppare raccomandazioni per le procedure di validazione e calibrazione dei modelli.

Il sistema SuSAP fa riferimento a questi modelli e a queste norme per poter estendere l'applicazione del sistema a tutta la realtà europea e ha identificato PELMO 3.0 (Pesticide Leaching Model, Klein *et al.*, 1995) e la combinazione di PESTLA 3.4 (PESTicide Leaching and Accumulation, Van Den Berg *et al.*, 1998) con SWAP 2.07d (Soil Water Atmosphere Plant, Kroes *et al.*, 1999); l'indice di rischio, EPRIP (Environmental Potential Risk Indicator for Pesticides CAPER, 1999) è invece dedicato, a livello aziendale, al calcolo del rischio ambientale potenziale dei prodotti fitosanitari.

PELMO 3.0 è un modello deterministico e gestionale che non richiede un numero di input troppo elevato e che quindi può essere agevolmente utilizzato alle scale prescelte. Il modello è adottato in Germania per la registrazione dei prodotti fitosanitari dalle competenti autorità. Esso è stato già validato con successo anche in scenari italiani. PELMO dispone inoltre di una interfaccia che semplifica e velocizza l'immissione dei dati e impiega tempi sufficientemente limitati per eseguire le simulazioni.

Tutti i modelli consigliati dal FOCUS sono applicabili a gran parte delle colture agricole lombarde con l'eccezione del riso. Infatti nessuno dei modelli è in grado di simulare il destino dei prodotti fitosanitari contemporaneamente nel suolo, nella falda e nelle acque di sommersione, scenario tipico del riso. Per ovviare a questo inconveniente il sistema SuSAP nelle aree agricole coltivate a riso impiega il modello PESTLA 3.4 collegato con il modello SWAP 2.07d per la simulazione del bilancio idrologico e del flusso di calore nel suolo (descritti rispettivamente tramite la legge di Darcy e di Fourier); al fine di raggiungere condizioni di sommersione durante il periodo primaverile estivo sono state imposte frequenti irrigazioni.

I dati

In SuSAP sono inserite carte dei suoli a scala 1:250.000 e 1:50.000 e i relativi inventari pedologici, che contengono i dati di base, quali geometria del profilo, tessitura, sostanza organica, dati indispensabili per le simulazioni modellistiche ai diversi livelli di indagine. L'inventario pedologico a scala 1:250.000 copre l'intero territorio di pianura e prima collina (anfiteatri morenici) della Lombardia, quello a scala 1:50.000 le aree campione della Lomellina, della Pianura Bergamasca e dell'Oltrepo Mantovano.

I modelli PELMO e PESTLA sono stati calibrati utilizzando una rete di profili pedologici definiti nelle loro proprietà fisiche ed idrologiche e rappresentativi della variabilità pedoclimatica della pianura lombarda. Il bilancio idrico e il flusso dell'acqua attraverso il suolo vengono infatti simulati da tali modelli utilizzando parametri fisico-idrologici (densità apparente, contenuto idrico alla capacità di campo e al punto di appassimento, ecc.) determinati tramite funzioni matematiche, usualmente denominate PTF - pedofunzioni di trasferimento. Quanto più le pedofunzioni forniscono valori vicini a quelli reali, tanto migliore è la simulazione del bilancio idrico. Sono state pertanto selezionate le pedofunzioni di trasferimento che meglio approssimano i valori dei parametri idrologici misurati nei profili rappresentativi, ottimizzando in tal modo le prestazioni modellistiche.

La rete di profili rappresentativi è stata inoltre utilizzata, unitamente alle serie di dati climatici, per determinare le condizioni di simulazione in presenza di irrigazione e per la definizione del comportamento idrologico della coltura del riso.

Per modellizzare la variabilità climatica dell'area in esame sono state identificate 20 stazioni meteorologiche della rete Agrometeorologica ERSAL, scelte sulla base della localizzazione e rappresentatività geografica e della durata e completezza della serie storica disponibile per ciascuna di esse; per completare limitati periodi di mancanza di dati per alcune di queste sono stati interpolati i dati con stazioni limitrofe. I dati archiviati con frequenza giornaliera sono: precipitazioni, temperature massime, minime e medie, evapotraspirazione potenziale, umidità relativa, vento e radiazione globale. I risultati di elaborazioni geostatistiche effettuate sui quantitativi di precipitazione media, decimo e novantesimo percentile mensili e annui hanno permesso di suddividere la pianura lombarda in aree caratterizzate da condizioni climatiche omogenee, ciascuna delle quali fa riferimento a una delle 20 stazioni meteorologiche (figura 3).

Lo strato informativo relativo ai prodotti fitosanitari consiste in un database contenente 215 principi attivi, dei quali sono sistematizzati i dati chimico-fisici, ecotossicologici e d'uso e 357 formulati commerciali. Questi prodotti fitosanitari, pur rappresentando solo una parte delle sostanze attualmente in commercio, sono stati selezionati fra quelli maggiormente impiegati in Lombardia sul mais, cereali autunno-vernini, soia, barbabietola da zucchero, pero e vite, principali coltivazioni presenti sul territorio lombardo. A livello aziendale, per ogni coltura considerata sono state identificate strategie di intervento fitosanitario diverse ed alternative sia per il diserbo che per la difesa contro crittogame ed insetti nel caso dei fruttiferi.

Le strategie di difesa tengono conto della fase fenologica della pianta, del patogeno da contrastare, della sua presenza e soglie di tolleranza ai trattamenti, secondo il documento

approvato il 30.12.96 dalla Commissione Europea “Criteri per la definizione delle norme tecniche di difesa delle colture nell’ambito del regolamento CEE 2078/92”. Per ogni patogeno sono indicate le fasi fenologiche nelle quali è consigliato effettuare i trattamenti e i principi attivi più opportuni. Ad ogni principio attivo è associato, almeno un formulato commerciale autorizzato all’uso sulla coltura (tabella 1).

Tabella 1: Stralcio del database strategie di difesa previste per la coltura del pero.

Malattia	formulato	fase iniziale	fase finale	n_tratt	dose max
Cancro rameale (Nectria galligena)	IDRORAME	inizio caduta foglie	inizio caduta foglie	1	0,60
Cancro rameale (Nectria galligena)	CUPROCAFFARO	rottura gemme	rottura gemme	1	0,40
Cancro rameale (Nectria galligena)	POLTIGLIA BORDOLESE	rottura gemme	rottura gemme	1	1,20
Cocciniglia di S.Josè (Quadrispidiotus perniciosus)	APPLAUD	rottura gemme	rottura gemme	1	0,10
Cocciniglia di S.Josè (Quadrispidiotus perniciosus)	RELDAN 22	inizio caduta petali	frutto noce	2	0,2
Eriofide vescicoloso (Pytoptus pyri)	NEORON	Rottura gemme	Rottura gemme	1	0,2

Il diserbo invece considera per ogni coltura le infestanti che hanno il ciclo di sviluppo contemporaneo alla coltura presa in esame. Sono presi in considerazione diversi principi attivi, diverse miscele, e diverse epoche di diserbo a seconda dei vari stadi fenologici della coltura esaminata, in modo da rappresentare le diverse strategie di diserbo che l’imprenditore agricolo può scegliere. Inoltre per ogni strategia di diserbo è riportato un costo indicativo. Per ogni formulato o miscela di formulati viene considerato il grado di efficacia nei confronti dell’infestante, espresso in percentuale; è stato attribuito un valore di 95% nel caso di efficacia quasi completa e di 10% nel caso di efficacia molto bassa (tabella 2). Le informazioni su patogeni e infestanti sono completate da immagini che ne facilitano il riconoscimento.

Tabella 2: Stralcio del database strategie di diserbo pero.

Formulato	dosi formulato l/ha o kg/ha	Costo	tipo	fase iniziale	fase finale	n_tratt	GRAMINACEE			
							<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Digitaria sanguinalis</i>	<i>Echinocloa crus-galli</i>	<i>Setaria spp</i>
Treflan EC	1,9	28.500	TRATTAMENTI PREVENTIVI	inizio caduta foglie	inizio caduta foglie	1	80	95	80	95
Gallery	1,25	393.750	TRATTAMENTI PREVENTIVI	inizio caduta foglie	inizio caduta foglie	1	10	10	10	10
Amizina 50 L	2	20.000	TRATTAMENTI PREVENTIVI	inizio caduta foglie	inizio caduta foglie	1	80	80	60	80
Siden	4	145.200	TRATTAMENTI PREVENTIVI	Frutto noce	Frutto noce	1	80	70	60	70
Siden	6	217.800	TRATTAMENTI PREVENTIVI	Frutto noce	Frutto noce	1	80	70	60	70
Toterbane 50F	4	80.000	TRATTAMENTI PREVENTIVI	Frutto noce	Frutto noce	1	95	95	95	95

L'indice EPRIP

Nella moderna gestione dei prodotti fitosanitari il processo di valutazione del rischio ha assunto un ruolo essenziale. Attraverso, tale procedura è possibile infatti, caratterizzare il rischio per la salute umana o per l'ambiente e di conseguenza fornire le basi per opportune azioni di regolazione e gestione di tali sostanze. Per esigenze pragmatiche di gestione dei prodotti fitosanitari può essere indispensabile ricorrere a strumenti, sia pure approssimati, di valutazione del rischio in maniera che la sua quantificazione sia di facile interpretazione e confrontabilità. Questi sistemi prendono in esame le diverse proprietà di una sostanza che possono, in qualche modo, contribuire a determinare il rischio ed attribuiscono a ciascuna di esse un punteggio in relazione ai rispettivi livelli di attività. I punteggi relativi alle varie proprietà sono poi associati mediante un algoritmo che fornisce come risultato un indice numerico complessivo. Nonostante l'ampio margine d'arbitrarietà insito in questo tipo d'approccio, tuttavia, questi sistemi rappresentano uno strumento di pratica utilità che in alcuni casi si può rivelare insostituibile.

Gli indicatori di rischio per i prodotti fitosanitari tipicamente da utilizzare a livello aziendale combinano le informazioni su pericolo ed esposizione di questi con la quantità applicata e le condizioni di impiego per consentire scelte appropriate, favorire l'intervento dei servizi d'assistenza per la difesa integrata e valutare quindi la sostenibilità dell'uso di ciascun prodotto.

EPRIP, utilizzato in SuSAP, si basa sul rapporto (ETR, "Exposure/Toxicity Ratio") della concentrazione ambientale prevista (PEC, "Predicted Environmental Concentration"), stimata su aree omogenee dell'azienda agricola, con i parametri di tossicità a breve termine.

EPRIP viene calcolato usando una procedura a stadi successivi.

Il primo stadio prevede la stima della PEC per ciascun comparto ambientale come indicato in tabella 3.

Tabella 3: Calcolo delle PEC per i diversi comparti ambientali per EPRIP.

PEC	Modalità di calcolo
PEC _{gw}	Concentrazione stimata dai modelli di percolazione (PELMO o PESTLA)
PEC _s	Dipende da n. trattamenti, dose applicata, intercettazione coltura, profondità interrimento, perdite per deriva
PEC _{sw(drift)}	Derivata da tabelle di "drift" tedesche e olandesi per le varie colture
PEC _{sw(runoff)}	Approccio empirico come nel sistema EUPHIDS; dipende da pendenza, tessitura suolo, intensità piogge, distanza fossi dalle aree trattate, tempo intercorrente tra applicazioni ed inizio precipitazioni
PEC _{air}	Approccio di fugacità con trasporto descritto dalla prima legge di diffusione di Fick; tasso di diluizione nell'aria dipendenti da velocità del vento ed altezza di miscelazione

Nel secondo stadio si individuano i parametri di tossicità o ecotossicità per ciascun comparto, derivati dal database di SuSAP per ogni principio attivo.

Per il suolo si considera LC₅₀ dei lombrichi (mg/kg di sostanza secca); per le acque superficiali si prende in considerazione la tossicità acuta per alghe, crostacei e pesci: EC₅₀ per alghe e Daphnia e LC₅₀ per pesci (mg/l di acqua); per l'aria, si prende in considerazione LC₅₀ ricavata dagli studi di tossicità acuta e inalazione sui ratti (4 ore, mg/l d'aria); per il comparto delle acque sotterranee al momento EPRIP considera il limite di legge per i fitofarmaci pari a 0,1 µg/l.

Nel terzo stadio, si calcola l'ETR nel seguente modo:

$$\text{ETR} = \text{PEC} / \text{tossicità}$$

Per le acque superficiali sono previsti sei ETR, dovuti alle possibili combinazioni tra i PEC di deriva e scorrimento e i parametri di ecotossicità; gli ETR vengono successivamente trasformati in punti di rischio (RP), usando una scala da 1 a 5. Infine si ottiene il valore dell'indice EPRIP, moltiplicando i valori di RP dei diversi comparti - acque superficiali (sw) e sotterranee (gw), suolo (s) e aria (a) - come contributi al rischio ambientale complessivo e aggiungendo opportune correzioni:

$$\text{EPRIP} = \text{RP}_{\text{gw}} * \text{RP}_{\text{sw}} * \text{RP}_{\text{s}} * \text{RP}_{\text{a}} + 25 * \text{N}_4 + 50 * \text{N}_5$$

dove RP_{sw} è il più elevato punteggio di rischio tra i sei diversi valori per le acque superficiali, N₄ è il numero di valori RP uguali a 4 e N₅ è il numero di valori di RP uguali a 5. I valori di EPRIP

variano tra 1 e 825 e sono ripartiti in classi di rischio potenziale sulla base di valutazioni di esperti (**tabella 4**).

Si sono introdotti alcuni fattori di correzione (25*N4 e 50*N5), come è solitamente necessario in un indicatore di rischio globale; essi alzano il valore di EPRIP quando viene valutato un pericolo alto (RP>3) in un comparto.

Tabella 4: classificazione EPRIP.

Valore EPRIP	Classificazione del rischio potenziale
1	nessuno
2-16	trascurabile
17-81	scarso
82-256	presente
257-400	elevato
>400	molto elevato

Cosa permette di fare SuSAP

SuSAP è un software, che permette la memorizzazione e gestione di dati, la possibilità di effettuare calcoli e simulazioni con caratteristiche *user friendly*, sviluppato con programmi commerciali di largo utilizzo e in grado di funzionare su personal computer.

A scala regionale e locale una serie di interfacce consente all'utilizzatore di creare il proprio scenario di applicazione, selezionando l'area di studio, la coltivazione di interesse, la profondità di simulazione e infine il principio attivo da avviare alla simulazione con i modelli integrati nel sistema (PELMO e PESTLA); le dosi dei trattamenti vengono automaticamente calcolate come la quantità più elevate presenti tra i formulati commerciali che contengono il principio attivo considerato (caso peggiore). La/e data/e di trattamento sono derivate automaticamente dal database oppure possono essere modificate dall'utente in accordo con le proprie esigenze. Le simulazioni vengono effettuate per un periodo di 12 anni; i primi due anni sono utilizzati per tarare il sistema senza applicazione di alcun prodotto fitosanitario, in modo da preparare dal punto di vista idrologico il sistema suolo (*warm-up*). Per ogni anno a partire dal terzo viene ripetuta la medesima dose di applicazione e numero di trattamenti fino al 12 anno; fra le dieci quantità di pesticida previste alla base del suolo stimate per ogni anno, viene calcolato l'80° percentile, che esprime il valore considerato ai fini delle valutazioni di vulnerabilità dei suoli ai prodotti fitosanitari.

Il risultato delle simulazioni è rappresentato dalla quantità di principio attivo che percola alla base del suolo, espressa in forma di concentrazione e calcolata per ogni poligono delle carte dei suoli implementate in SuSAP (figure). Tramite SuSAP è così possibile elaborare carte di

vulnerabilità dei suoli alla lisciviazione di specifici principi attivi (figure 4-5-6-7). Il grado di vulnerabilità dei suoli cresce al crescere dei valori di concentrazione di ciascuna sostanza previsti alla base del suolo, espressi in una legenda che va dai toni del verde, bassa vulnerabilità ai toni del giallo, arancione e rosso, corrispondenti a livelli di vulnerabilità sempre più elevati con concentrazioni superiori a 0,1 µg/l. Confrontando questi risultati con la carta della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee si riscontrano evidenti analogie. Con riferimento al territorio della pianura e collina lombarda si può notare che le aree dell'alta pianura ghiaiosa e della Lomellina che mostrano valori di capacità protettiva generalmente bassi, coincidono a grandi linee con i suoli più vulnerabili alla lisciviazione di prodotti fitosanitari moderatamente persistenti. Questo esempio conferma da un lato l'utilità e la validità delle cartografie di capacità protettiva come strumento di zonazione preliminare dei suoli lombardi per individuare le aree di criticità ambientale e dall'altro l'utilità del sistema SuSAP per un'analisi più approfondita relativa a specifiche sostanze.

Figura 4

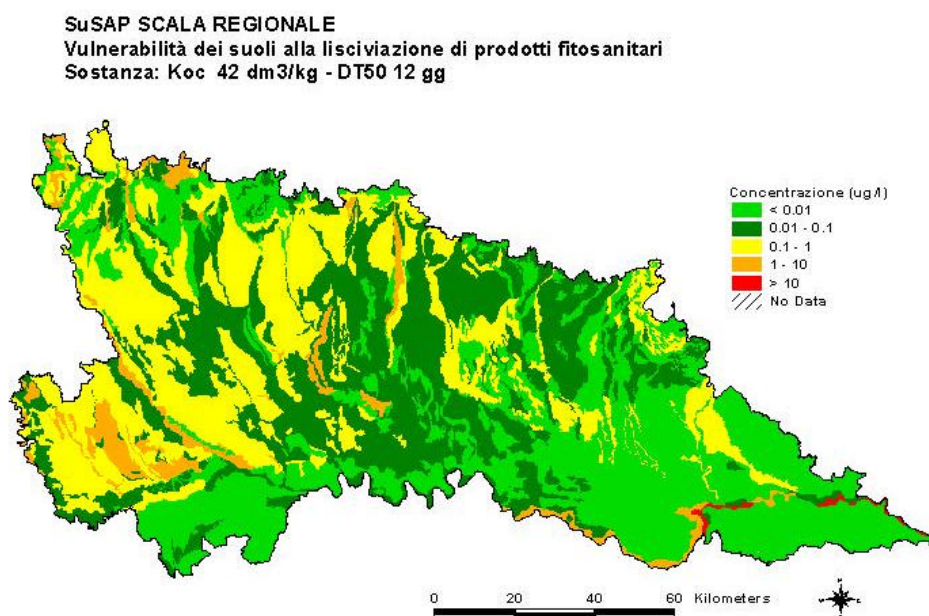


Figura 5

SuSAP SCALA REGIONALE

Vulnerabilità dei suoli alla lisciviazione di prodotti fitosanitari.

Sostanza: Koc 120 dm³/kg - DT50 20 gg

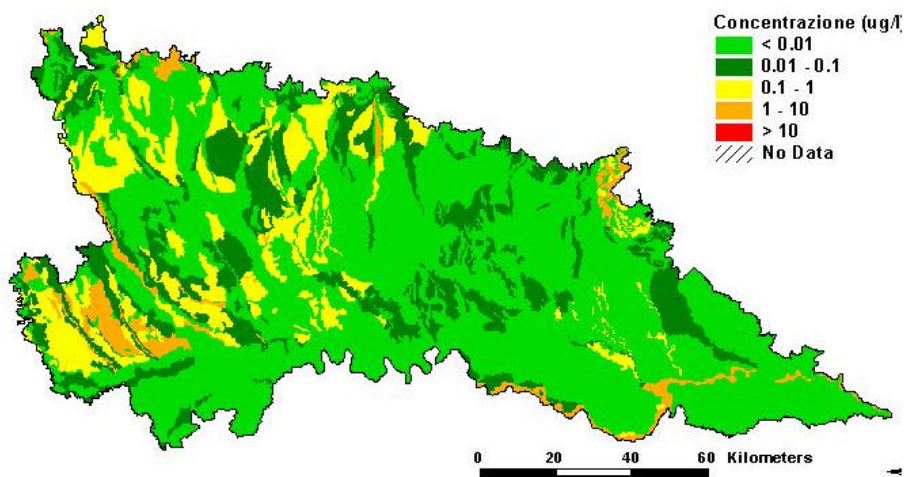


Figura 6

SuSAP SCALA LOCALE - OLTREPO MANTOVANO

Vulnerabilità dei suoli alla lisciviazione dei prodotti fitosanitari

Principio attivo: Pirimicarb

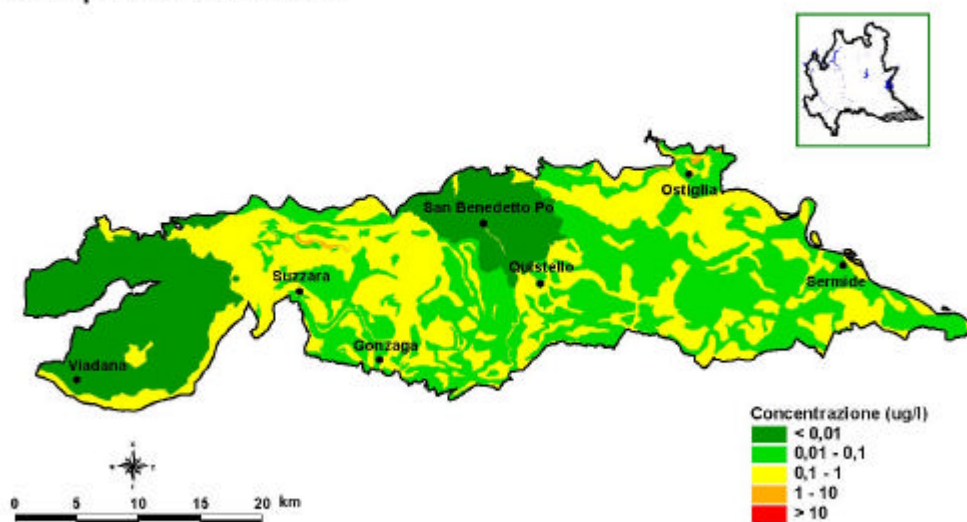
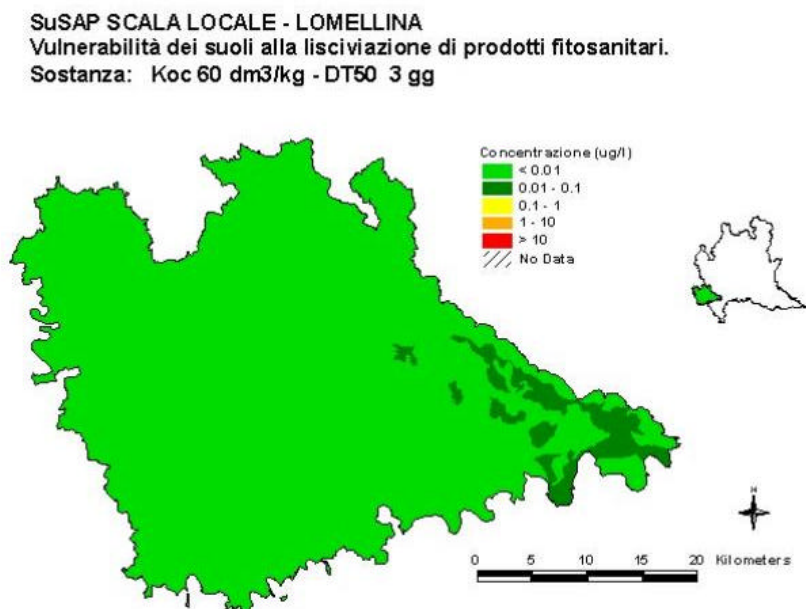


Figura 7



Il sistema dunque, integrando l'utilizzo di modelli e avvalendosi di tecniche GIS, fornisce un supporto all'individuazione e alla gestione delle zone vulnerabili all'uso di specifici prodotti fitosanitari (D.L.vo 152/99) e contribuisce, tramite gli elaborati cartografici, all'individuazione di aree in cui imporre particolari limitazioni all'uso di determinate sostanze.

SuSAP consente, inoltre, di visualizzare, carte relative a proprietà pedologiche di base (permeabilità, tessitura), alla capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee, all'uso del suolo e di esplorare la variabilità del clima in Lombardia oltre che consultare le informazioni su proprietà e uso dei prodotti fitosanitari (figure 8-9-10-11-12).

Figura 8

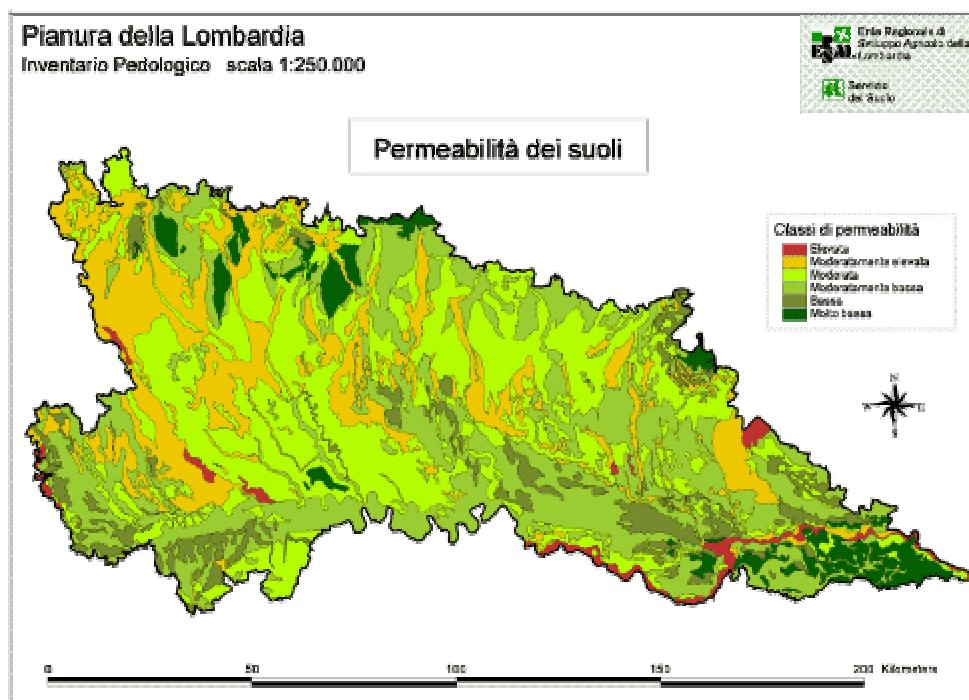


Figura 9

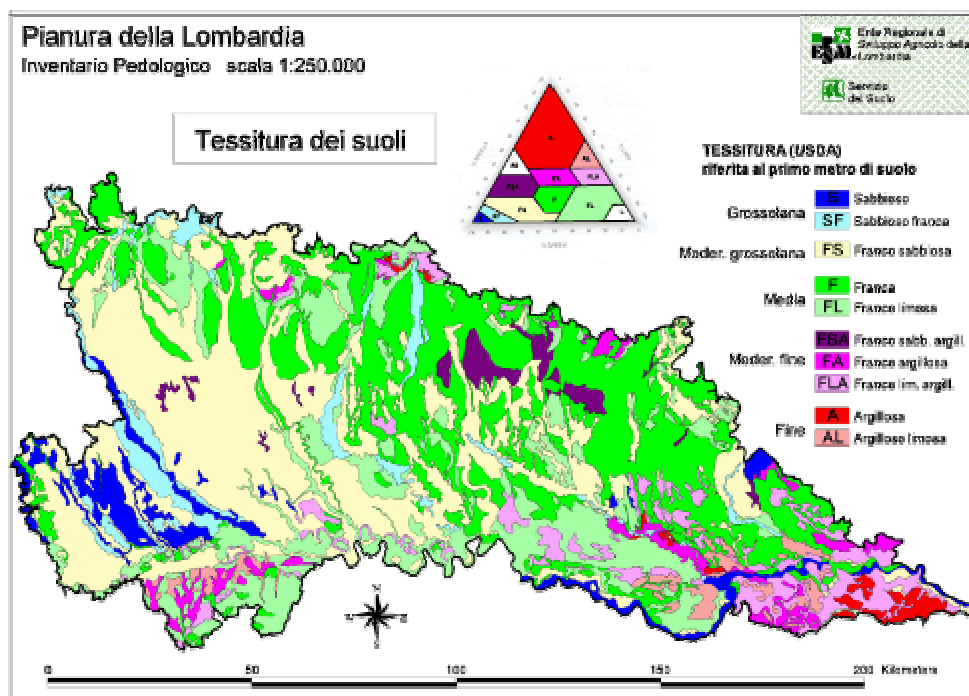


Figura 10

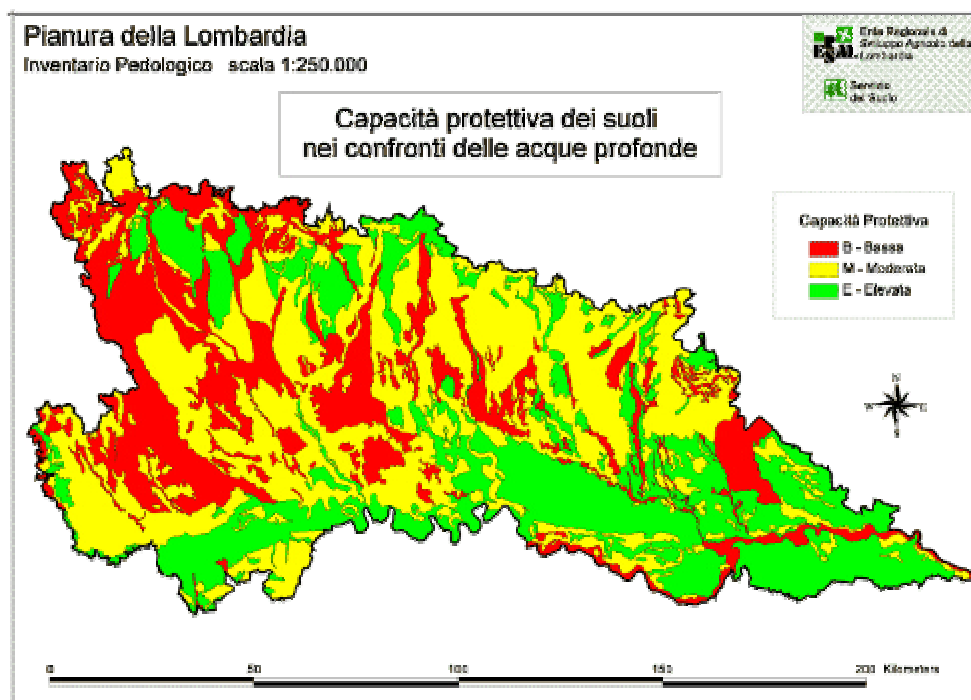
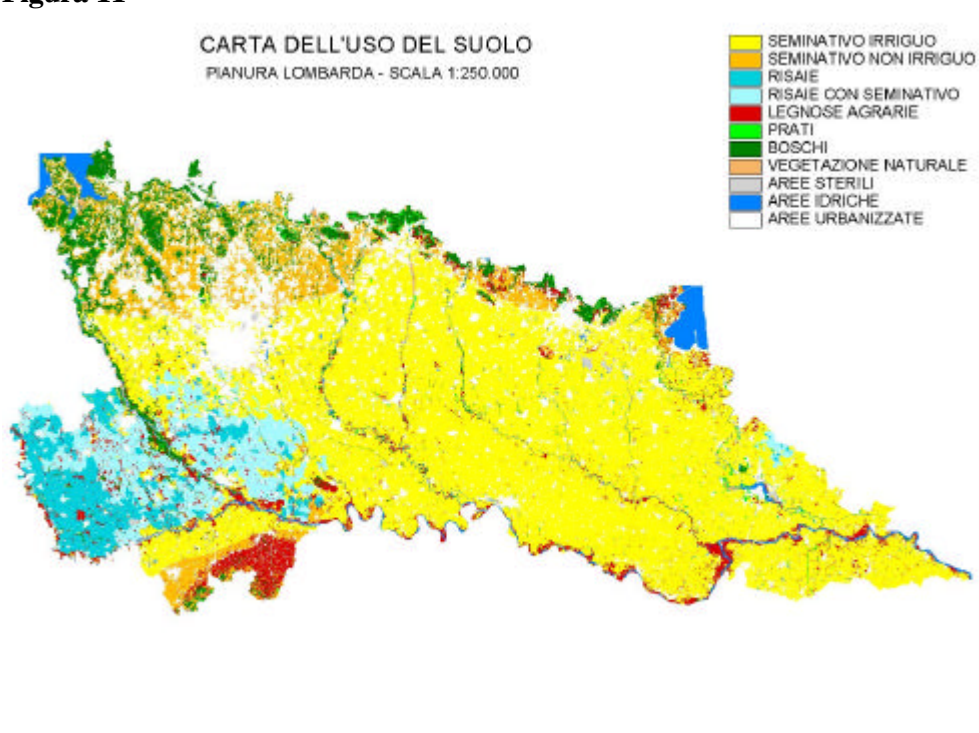


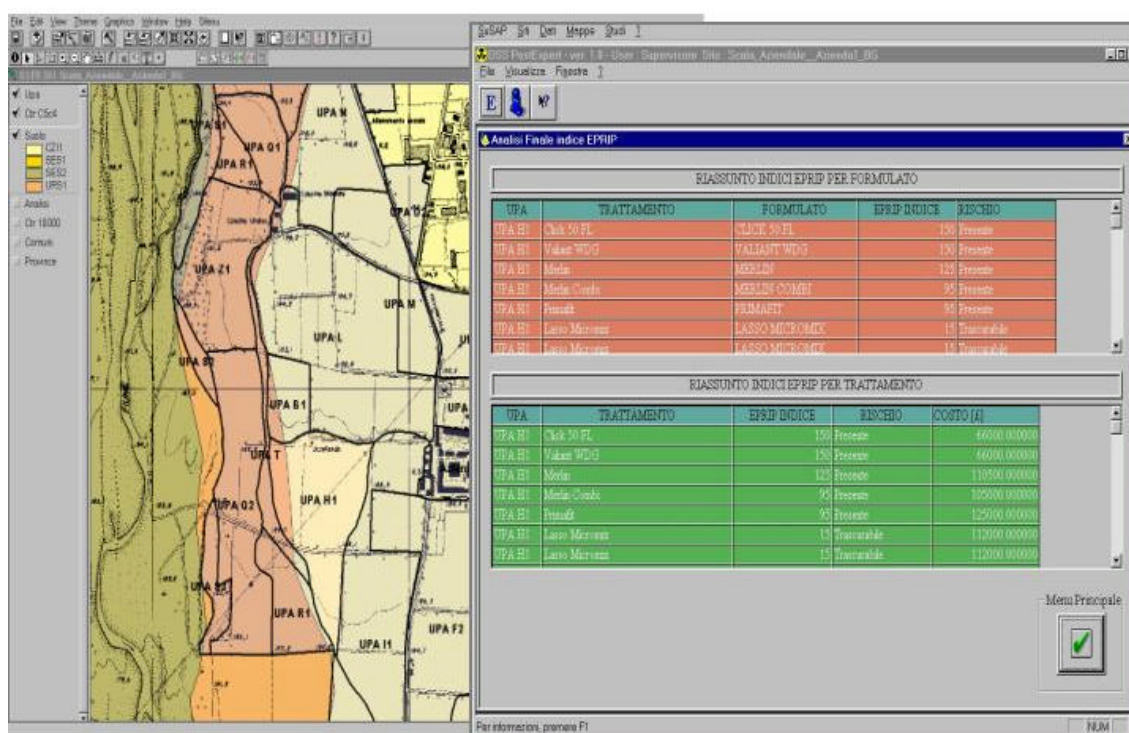
Figura 11



A scala aziendale una serie di interfacce permette all'utilizzatore di preparare la simulazione selezionando la propria azienda, i cui dati anche geografici possono essere agevolmente inseriti in SuSAP, la coltivazione di interesse, la presenza di pratiche irrigue e il periodo di trattamento. Successivamente è possibile selezionare uno specifico infestante e il livello di efficacia desiderato, ottenendo così la valutazione e il confronto del rischio ambientale calcolato con EPRIP per le diverse strategie che rispondono alla richiesta effettuata; in alternativa è possibile selezionare il trattamento desiderato e valutarne direttamente il rischio per l'ambiente. Una tabella contenente il costo per ettaro per ogni prodotto fitosanitario contribuisce ad individuare le strategie sostenibili per l'ambiente e per l'azienda (figura 13).

La possibilità per gli agricoltori di operare questo tipo di analisi sui prodotti utilizzati per il diserbo e la lotta alle infestanti può risultare di particolare aiuto nella prospettiva della certificazione ambientale delle aziende (Reg CEE/EMAS).

Figura 13: Esempio risultati SuSAP a scala aziendale



SuSAP costituisce un'esperienza fortemente innovativa nella gestione informatizzata di problematiche agro-ambientali; questo tipo di sistemi necessitano però di una continua opera di aggiornamento sia della parte modellistica in continua e rapida evoluzione, che delle banche dati.

La metodologia applicata in SuSAP e l'insieme delle relazioni allestite, mantengono una validità generale, applicabile ad altre aree dell'Italia e dell'Europa con opportuni operazioni di calibrazione in relazione alle caratteristiche sito-specifiche che di volta in volta vengono affrontate. Lo stesso tipo di approccio risulta applicabile e valido anche per altre problematiche agroambientali, quali lo spandimento di liquami e fanghi e l'uso di fertilizzanti chimici sul suolo per la valutazione dei potenziali rischi connessi con il rilascio di nitrati, fosfati, metalli nei differenti comparti ambientali.

BOBLOGRAFIA

- BRENNA S., PAMPALUNA M., RIPARBELLI C., AUTERI D., AZIMONTI G., BERNARDINELLI I., MAMMONE T., MARONI M., CAPRI E., TREVISAN M., MONTANARELLA L. (1999). Supplying local authorities and farmers with an innovative tool to support a sustainable agricultural production. XI Symposium Pesticide Chemistry – September 12 – 15, 1999 Cremona.
- BRENNA S., RIPARBELLI C., CAPRI E., TREVISAN M., AUTERI D., GUSMEROLI S. (2001). SUSAP: a decision support system for a sustainable use of pesticides in agriculture. 2nd International Symposium ESA: Modelling Cropping System – July 16 – 18, 2001 Firenze (*in stampa*).
- CAPRI E., TREVISAN M. (1998). Prediction of environmental concentrations (PECs) by mathematical model application in Europe. Pesticide Outlook, 9 (3), 26-30.
- ERSAL – Regione Lombardia Direzione Agricoltura 2000. SuSAP: uno strumento per favorire un uso sostenibile dei prodotti fitosanitari – Manuale metodologico. Progetto LIFE-ENVIRONMENT '98/ENV/IT/000010.
- ESRI Environmental System Research Institute, Inc. (1992 – 1998) ArcView 3.1.
- FOCUS Soil Modelling Workgroup. (1997). Soil persistence models and EU registration. Guidance document 7617/VI/96. CEC, VI B II-1, pp 74.
- KLEIN M. & JENE B. (1995). PELMO version 2.01/3.00 Staatliche Lehr und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau Fachbereich Ökologie - Neustadt Germany.
- KROES J.G., VAN DAM J.C., HUYGEN J., VERVOORT R.W. (1999). User's Guide of SWAP version 2.0 - Technical Document 53 SC-DLO Wageningen, The Netherlands.
- REGOLAMENTO CEE n. 2078/92 Criteri per la definizione delle norme tecniche di difesa delle colture nell'ambito del regolamento 30 giugno 1992.
- REPUBBLICA ITALIANA. (1999). Attuazione della direttiva CEE n.271/91 e 676/91 concernenti la tutela delle risorse idriche. D.Lvo. 29 Maggio 1999, n.152, Roma.
- REPUBBLICA ITALIANA. (2000). Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128. D.Lvo. 18 agosto 2000 n. 258, Roma.
- RESULTS OF THE EUROPEAN CAPER PROJECT (1999). Comparing environmental risk indicators for pesticides – Centre for Agriculture & Environment Utrecht, The Netherlands.
- STÖCKLE C. & NELSON R. CROPSYST VERSION 2.02.30 (1999). Department of Biological Systems Washington State University USA.
- VAN DEN BERG AND J.J.T.I. BOESTEN. (1998). Pesticide Leaching and Accumulation model PESTLA version 3.4 – Technical Document 43 SC-DLO Wageningen The Netherlands.

USO DEL MODELLO CRITERIA PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI INQUINAMENTO AGRICOLO DEI CORPI IDRICI

Franco Zinoni, Giorgio Ducco, Vittorio Marletto, Margot Van Soetendaal
ARPA Emilia-Romagna, Servizio Meteorologico Regionale, Bologna

RIASSUNTO

Nel corso degli anni '90 il gruppo agrometeorologico dell'ARPA-SMR ha curato lo sviluppo e la messa a punto di un sistema modellistico per la simulazione del bilancio idrico dei suoli agricoli di pianura denominato CRITERIA (Controllo delle Riserve Idriche Territoriale per la Riduzione dell'Impatto Ambientale). Il sistema fa uso di dati meteorologici, pedologici e agricoli georeferenziati ed è accessibile agli utenti per mezzo di un'interfaccia geografica. CRITERIA è anche utilizzabile in una versione non geografica denominata CriteriBdP (Banco di Prova) destinata a controlli puntuali e allo sviluppo di moduli dedicati alla simulazione di fenomeni di interesse agroambientale. I prodotti delle simulazioni sono utilizzabili sia per una corretta gestione dell'acqua irrigua sia per la valutazione dell'impatto agricolo sulle acque superficiali e profonde. Il sistema, alimentato con i dati giornalieri di precipitazione e temperatura, determina l'evapotraspirazione e calcola i flussi giornalieri di scorrimento superficiale, scorrimento ipodermico e drenaggio. Questi flussi sono simulati alla scala del campo coltivato, ma i risultati delle diverse combinazioni di dati climatici, suolo e gestione colturale possono essere visualizzati sotto forma di mappe interattive. Il sistema è stato recentemente integrato con le funzioni necessarie alla simulazione del trasporto dell'azoto associato ai flussi idrici ed è in corso lo sviluppo delle procedure per la valutazione dei tassi di crescita delle colture e delle rese unitarie. Altri sviluppi previsti riguardano la simulazione del bilancio idrico e del trasporto su terreni in pendenza, la valutazione dell'erosione e del trasporto associato, l'integrazione nel sistema di mappe dell'uso reale del suolo, la gestione delle informazioni e dei risultati in forma aggregata per comprensorio o bacino.

INTRODUZIONE

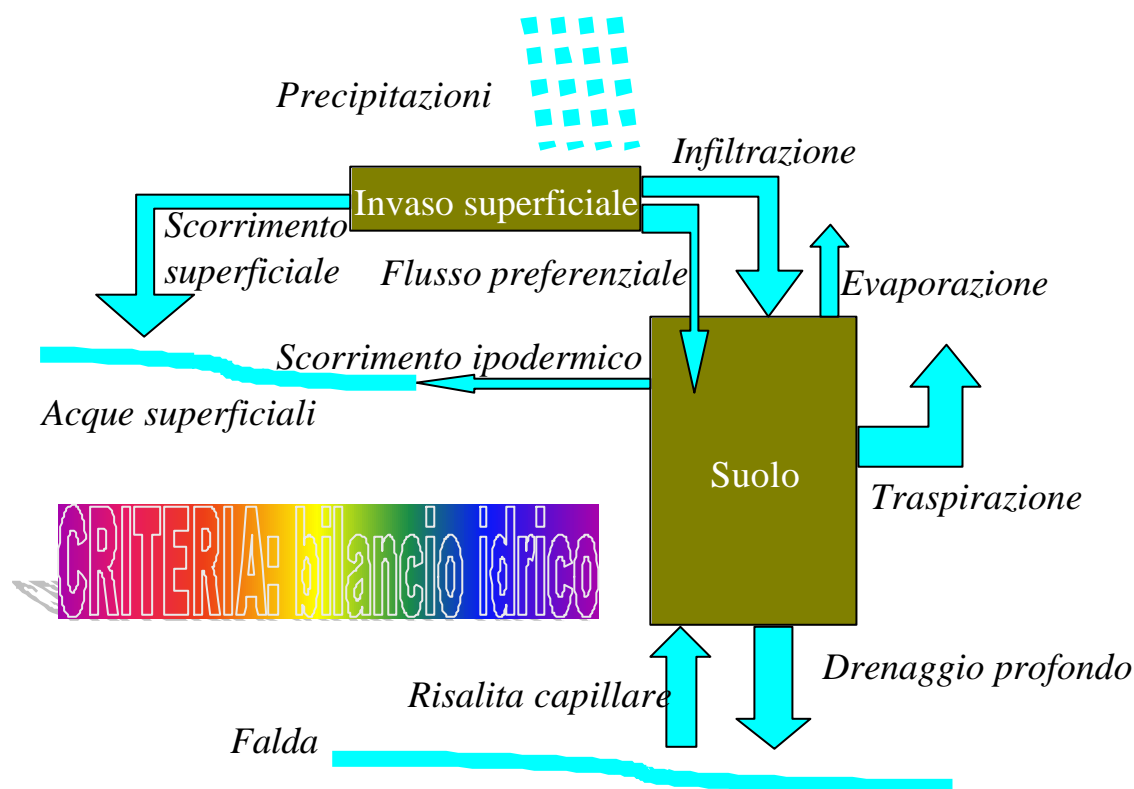
L'agricoltura è talvolta indicata tra i colpevoli del degrado ambientale. In particolare un fattore produttivo essenziale come l'acqua, da una parte costituisce un bene limitato sempre più conteso fra usi agricoli, civili e industriali, e dall'altra può essere veicolo di trasporto di sostanze chimiche di origine agricola e partecipare all'inquinamento dei corpi idrici superficiali e delle falde, in relazione alle caratteristiche degli eventi piovosi ed alla conduzione agronomica.

Per affrontare scientificamente la questione delle relazioni tra acqua e l'attività agricola bisogna far uso di tecniche modellistiche. In questo campo è fondamentale l'equazione del bilancio idrico. Determinare il bilancio idrico di un suolo a coltura significa considerare tutti gli apporti idrici e le

perdite di umidità che si verificano a livello del terreno. Questo concetto viene illustrato nella Figura 1 dove sono rappresentati i seguenti fenomeni:

- pioggia;
- irrigazione;
- risalita capillare dalla falda;
- ruscellamento o scorrimento, ovvero quantità d'acqua che non riesce ad infiltrarsi e scorre sulla superficie del terreno o nei primi strati (scorrimento ipodermico) confluendo poi nei canali;
- evaporazione, ovvero quantità d'acqua evaporata direttamente dal terreno;
- traspirazione, ovvero quantità d'acqua evaporata per effetto delle colture;
- percolazione e redistribuzione nella matrice porosa del terreno;
- flusso preferenziale attraverso macroporosità e crepacci;
- drenaggio profondo, ovvero quantità d'acqua che non può essere trattenuta dal terreno e che percola in verticale.

Figura 1: Schema di bilancio idrico nel modello CRITERIA



Alcune di queste quantità, come la pioggia e l'irrigazione, sono facilmente misurabili, le altre vengono normalmente stimate mediante algoritmi più o meno complessi, a partire dai dati meteorologici, dalle caratteristiche del terreno e dalle caratteristiche delle colture.

Il bilancio viene normalmente calcolato ogni giorno (Figura 2) e la somma dei vari termini deve sempre produrre un risultato nullo. Ciascuno dei termini del bilancio può risultare interessante in relazione al contesto operativo. Per esempio l'acqua residua lungo il profilo del suolo costituisce il risultato più importante quando è necessario determinare il momento in cui intervenire con l'irrigazione, mentre il drenaggio, che determina la ricarica delle falde ed il rischio potenziale di un loro inquinamento, risulta essenziale in applicazioni agroambientali.

Come si vede dalla Figura 3, CRITERIA consente di associare informazioni derivate dalla carta dei suoli alle variabili meteorologiche e ai dati colturali, allo scopo di fornire elaborazioni territoriali mediante modelli matematici basati sull'equazione del bilancio idrico. Le informazioni necessarie provengono da banche dati aggiornate dai servizi regionali dell'Emilia-Romagna.

Il programma restituisce i risultati in diversi formati: nel formato mappa le informazioni relative ad una quantità sono mostrate in un determinato giorno oppure cumulate in un periodo, ad una scala compresa tra la carta regionale e quella della singola azienda; nel formato grafico e tabulare viene invece rappresentata l'evoluzione temporale di una o più variabili relative ad un punto del territorio selezionato a piacere dall'utente.

Figura 2: Il ciclo principale giornaliero in CRITERIA prevede la lettura dei dati meteorologici del giorno, l'analisi di eventuali eventi colturali, il calcolo vero e proprio (di cui sono elencati alcuni dettagli) e la scrittura dei risultati sui database opportuni.

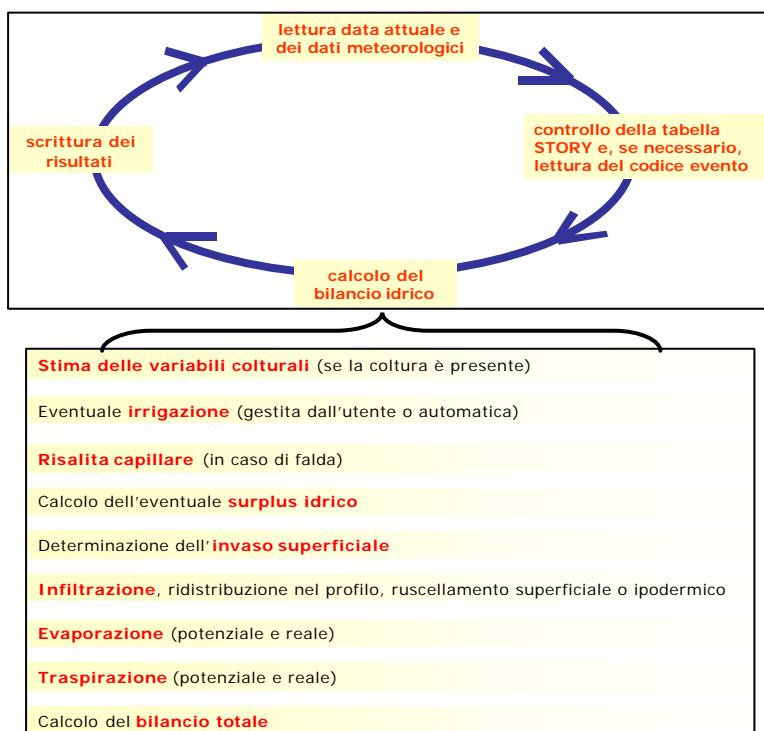
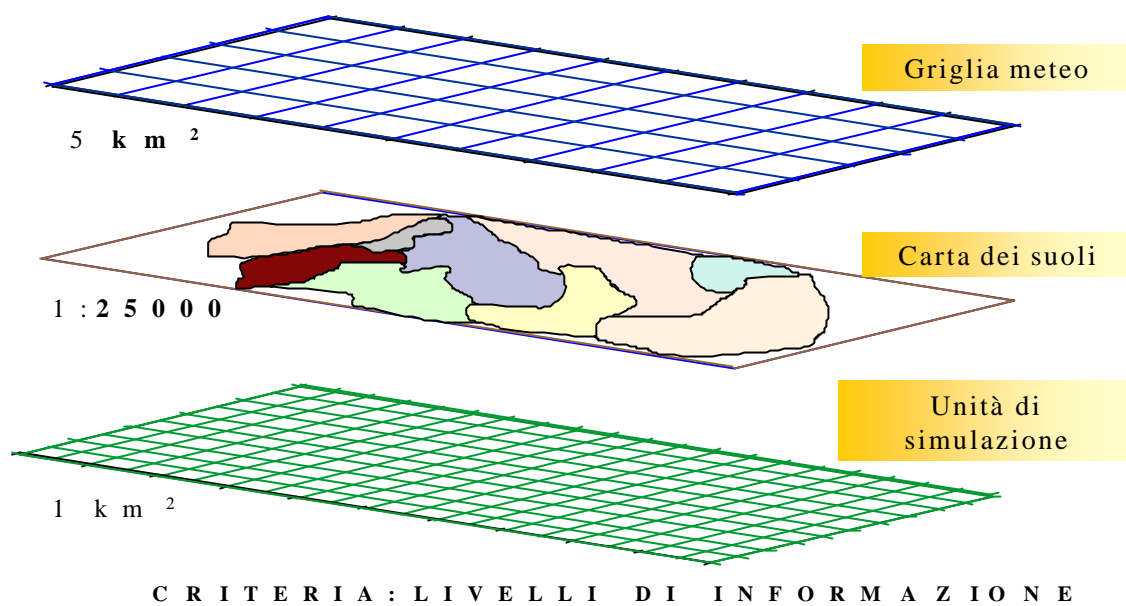


Figura 3: Gestione dei livelli informativi geografici in CRITERIA



IL MODELLO

La descrizione del modello CRITERIA è limitata in questa sede ad evidenziare i soli aspetti interessanti ai fini della valutazione del potenziale contributo del modello ad un programma di prevenzione dei danni ambientali derivanti dall'agricoltura, visti come potenziale fonte di inquinamento diffuso. In particolare ci soffermiamo sui flussi di scorrimento superficiale e ipodermico nonché di drenaggio profondo in falda.

Scorrimento superficiale

Per calcolare le altezze di scorrimento superficiale CRITERIA segue l'approccio della determinazione dell'altezza massima di *invaso superficiale*. Questa grandezza, che rappresenta la massima quantità di acqua che il suolo può stivare nelle pozzanghere, dipende dalla pendenza del campo, dal tipo di lavorazioni del terreno e diminuisce col passare del tempo. Lo scorrimento superficiale è presente quando l'altezza dell'invaso superficiale viene superata dagli apporti idrici al netto dell'infiltrazione. Alcuni suoli limosi della regione, sotto l'azione delle piogge battenti, manifestano anche il fenomeno dell'*incrostamento*, che consiste nella rapida diminuzione dell'infiltrabilità superficiale e nel corrispondente aumento dei valori di scorrimento superficiale. La formazione di *crepacci*, che si manifesta nei terreni argillosi durante i periodi relativamente aridi, provoca invece la comparsa dell'*infiltrazione preferenziale* e la conseguente scomparsa del ruscellamento, almeno fino alla chiusura dei crepacci stessi. CRITERIA tiene conto di questi fenomeni e quindi si differenzia dalla gran parte dei modelli di bilancio idrico in circolazione, generalmente privi di algoritmi di questo tipo (Figura 4).

Figura 4: Schema a blocchi semplificato dei flussi idrici influenzati dalle condizioni superficiali

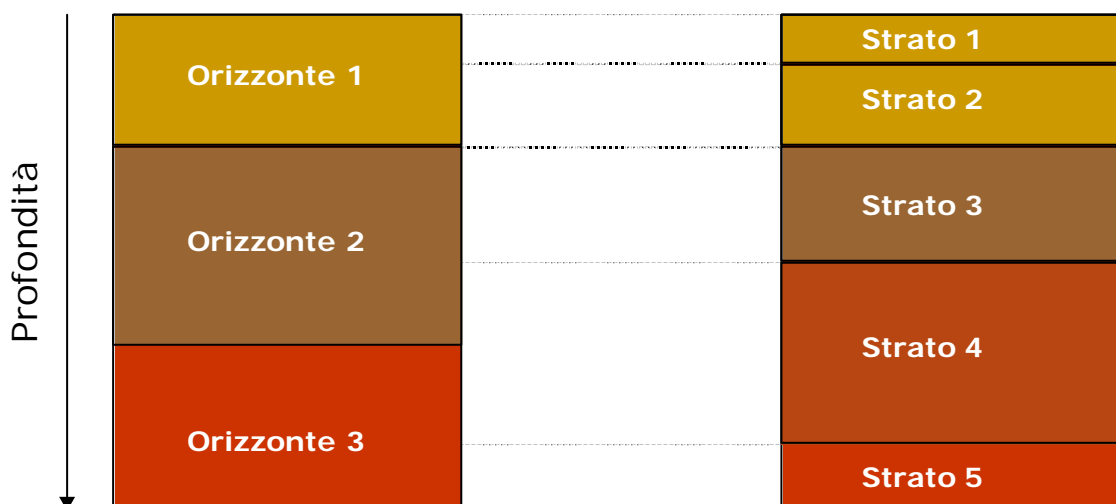


Lo scorrimento ipodermico

Questo fenomeno può verificarsi nel caso di discontinuità nella velocità di infiltrazione lungo il profilo causata per esempio dall'aratura, che compatta il terreno alla profondità del vomere (suola d'aratro), e in presenza di canalette di sgrondo o scoline.

In CRITERIA il suolo è schematizzato come un pacchetto di strati di spessore crescente con la profondità (Figura 5). Lo strato del terreno interessato allo scorrimento è quello tra la superficie e il fondo della scolina. Lo scorrimento ipodermico viene calcolato sulla base dell'eccesso idrico eventualmente presente in questo strato e dipende dalla conducibilità idraulica satura, considerando il suolo sostanzialmente uniforme per questa grandezza. I valori di deflusso così ottenuti sono ridotti tramite un coefficiente dipendente dalle dimensioni del campo, che tiene conto del fatto che solo il perimetro esterno dell'appezzamento è in effetti interessato al fenomeno. Una simulazione più accurata di questo fenomeno richiederebbe la rappresentazione bidimensionale del movimento dell'acqua ed un apparato matematico incompatibile con le caratteristiche operative del sistema. Tuttavia nella presente versione di CRITERIA non si è voluta trascurare una stima dello scorrimento ipodermico, presente in molte situazioni agrarie caratterizzate da sistemazioni idrauliche.

Figura 5: In CRITERIA il suolo consiste in una serie di strati di spessore crescente con la profondità. La figura mostra la tecnica con cui si passa dagli orizzonti pedologici agli strati modellistici. Lo strato n. 4, per esempio, presenta caratteri intermedi tra quelli degli orizzonti n. 2 e 3.



Drenaggio profondo

Questo flusso è determinato dalla cessione di acqua da parte dello spessore esplorato dalle radici (da 0.5 fino a 3 m secondo i casi) a strati più profondi, di interesse geologico e non più

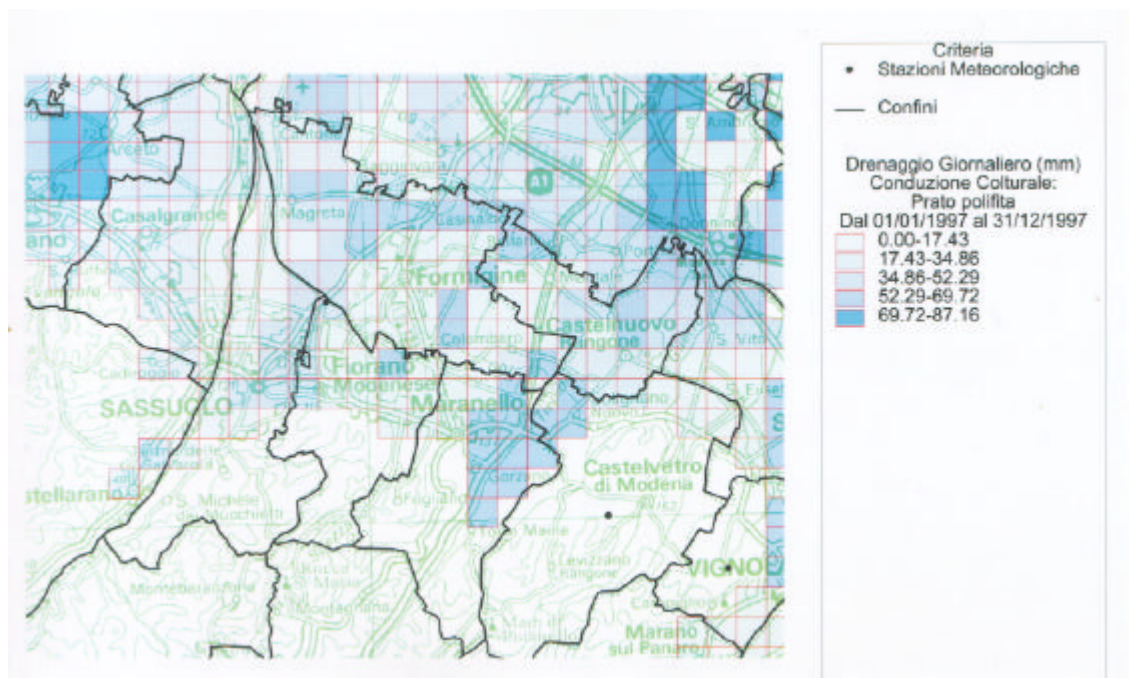
agronomico. Si tratta di un importante fenomeno che contribuisce alla ricarica delle falde ma che costituisce anche un veicolo di trasporto verso gli acquiferi di sostanze disciolte, tra le quali bisogna segnalare in particolare l'azoto, i diserbanti e altri fitofarmaci solubili. Il drenaggio profondo è presente quando il suolo coltivato non è più in grado di stivare acqua al proprio interno ed è determinato nel modello come conseguenza dei calcoli relativi all'infiltrazione e alla redistribuzione, che a loro volta sono funzione del tipo di suolo, delle lavorazioni, del contenuto idrico e dell'intensità delle precipitazioni.

LE APPLICAZIONI AMBIENTALI

CRITERIA nacque come strumento con un forte orientamento applicativo agroambientale, in vista in particolare di un suo impiego per la simulazione degli effetti delle pratiche di spandimento liquami, molto diffuse nella nostra regione. Disporre di uno strumento che integri al suo interno la carta dei suoli, i dati climatici, le caratteristiche colturali ed un modello di bilancio idrico, costituisce a nostro avviso un importante strumento di supporto alle decisioni, utilizzabile sia per la programmazione territoriale (Gherardi et al., 1998) che per il monitoraggio operativo della situazione in atto durante una particolare stagione.

La versione geografica di CRITERIA attualmente disponibile ha già visto un impiego pratico in campo ambientale, in sede di redazione di relazioni sullo stato dell'ambiente a scala comunale (Zinoni et al., 1998a e b; Marletto et al., 2000). In questo caso (Figura 6) l'uso del modello ha consentito un'analisi dei deflussi potenzialmente inquinanti sul territorio di un comune nel corso di un'annata, tenendo conto delle colture effettivamente presenti nel territorio agricolo di quel comune. Questo tipo di impiego "a posteriori" del modello presso l'Arpa-Smr potrebbe combinarsi con un suo impiego in ambito locale ove le amministrazioni locali volessero dotarsi dello strumento. Contatti in questo senso sono in corso con gli assessorati agricoltura della Regione e delle Province.

Figura 6: Esempio di mappa dei risultati in CRITERIA (tratta dalla relazione sullo stato dell'ambiente nel comune di Sassuolo, a cura di ARPA, Sezione di Modena).



GLI SVILUPPI IN CORSO E PREVISTI

Secondo i programmi di attività del settore agrometeorologico di Arpa -Smr CRITERIA dovrebbe diventare uno strumento di lavoro della sala operativa agrometeorologica nel corso del 2001. Questo implica il completamento e/o l'attuazione di alcune procedure per l'accesso diretto di CRITERIA agli archivi dei dati meteorologici, aggiornati in tempo reale presso il Servizio. Le uscite disponibili, costituite da carte relative alle necessità irrigue, saranno principalmente destinate ad integrare il bollettino agrometeorologico. La collaborazione già in corso con l'Istituto delle Colture Industriali di Bologna, che prevede l'introduzione in CRITERIA delle opportune procedure di simulazione colturale, porterà inoltre alla possibilità di effettuare mappe di previsione delle rese delle colture; in alternativa, grazie al finanziamento europeo (progetto Demeter sulle previsioni stagionali) la simulazione della crescita delle piante verrà effettuata per mezzo del modello olandese Wofost, il che consentirà anche di calcolare con maggior dettaglio una parte importante del ciclo dell'azoto, costituita appunto dalle asportazioni del nutriente da parte delle radici.

L'impiego nel settore ambientale delle carte dei flussi di scorrimento e di drenaggio profondo richiede invece un ulteriore investimento necessario sia alla loro aggregazione territoriale (pesata in base all'effettiva distribuzione delle colture in campo) sia alla valutazione del trasporto di nutrienti associato. In effetti per rendere i risultati di CRITERIA utilizzabili anche per monitoraggi ambientali è necessario un ulteriore impegno nei seguenti campi:

- produzione di informazioni aggregate a scala territoriale (carte e tabelle di scorrimento superficiale e drenaggio profondo);
- calibrazione dei coefficienti utilizzati nel calcolo del trasporto di azoto;
- introduzione dell'erosione e del trasporto di nutrienti associato.

La simulazione del trasporto di azoto con i flussi idrici di scorrimento ipodermico e di drenaggio profondo è stata realizzata nel corso del 2000 per mezzo del contributo proveniente da progetti finanziati nell'ambito del PTTA 94-96 e anche grazie ad un apposito finanziamento regionale. Sono ancora necessari alcuni interventi per migliorare la gestione dei database relativi agli interventi di concimazione con sostanze minerali e di origine zootecnica.

Un'ulteriore attività in corso di svolgimento riguarda l'uso di CRITERIA per la valutazione della vulnerabilità dei suoli. Nell'ambito del progetto SINA, coordinato dalla Regione Emilia-Romagna, è prevista l'integrazione nel modello di procedure per la più corretta rappresentazione del comportamento idrologico dei suoli regionali, sia per quanto riguarda la ritenzione idrica che per quanto riguarda la conducibilità.

Tra i nuovi progetti che prevedono lo sviluppo e l'applicazione di CRITERIA è opportuno ricordare il progetto finalizzato CLIMAGRI, del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, che comprende un finanziamento per lo sviluppo delle procedure per la stima del ruscellamento e del trasporto in area collinare, e l'applicazione del modello agli scenari climatici futuri, al fine di valutare il rischio ambientale legato alle tecniche agronomiche di gestione del suolo.

BIBLIOGRAFIA

- MARLETTO V., ZINONI F., FILIPPI N., ANGELELLI A., LARUCCIA N., LEGA P., TONELLI T. 1993. CRITERIA: an integrated geo-graphical system for soil water monitoring. Atti del IX Symposium Pesticide Chemistry, Mobility and Degradation of Xenobiotics, Piacenza 12-13 october 1993, 695-706.
- MARLETTO V., ZINONI F., 1993. CRITERIA: un sistema geografico integrato per la simulazione del comportamento idrologico dei suoli. Atti del 1° convegno nazionale Fisica dell'Ambiente, Brescia, 15-17/12/93, 299-301.
- MARLETTO V., ZINONI F., FILIPPI N., ANGELELLI A., LARUCCIA N., LEGA P., TONELLI T., 1993. CRITERIA: an integrated geographical system for soil water monitoring (poster summary). Proc. of the JRC-IRSA Conf. on the MARS project, Belgirate, 17-18/11/93.
- ZINONI F., 1993. "CRITERIA". Analisi delle fasi di realizzazione del modello e di gestione delle banche dati e delle informazioni nei programmi di assistenza tecnica e nella programmazione del territorio. Documento interno SMR a cura di F. Zinoni, Novembre 1993.
- MARLETTO V., ZINONI F., 1994. CRITERIA: un modello per l'idrologia e la salvaguardia ambientale. Mensile AER, Servizio Meteorologico Regionale, Maggio 1994.
- MARLETTO V., 1994. CRITERIA. Descrizione del modello, versione 1.01. Bozza del Manuale, luglio 1994.
- MARLETTO V., ZINONI F., TONELLI T., 1995. Il progetto CRITERIA: un ambiente geografico per modellare il bilancio idrico di suoli coltivati. Atti del Congresso annuale AICA, Chia, Cagliari, 27-29/9/1995, 785-787.
- LEGA P., LIBÈ A., RAGGI C., TONELLI T., MARLETTO V., ZINONI F., 1995. Applicazione del modello CRITERIA a due aree test della provincia di Piacenza. Nota interna dell'Amm. Provinciale di Piacenza, pp. 70.
- ZINONI F., MARLETTO V., LIBÈ A., RAGGI C., TONELLI T., TREVISAN M., CAPRI E., 1996 Pesticide transport simulated within the CRITERIA model (poster). 10th Symposium Pesticide Chemistry, Environmental Fate of Xenobiotics, Castelnuovo Fogliani (PC, Italy) 30/9-2/10/1996.
- MARLETTO V., ZINONI F., 1996. The Criteria project: integration of satellite, radar, and traditional agroclimatic data in a GIS-supported water balance modelling environment. Proc. COST 77,79,711 Int. Symp on Applied Agrometeorology and Agroclimatology, Volos, Grecia, 24-26 april 1996, pp 173-178.
- GHERARDI M., LARUCCIA N., MARLETTO V., VIANELLO G., ZINONI F., 1998. Possibili applicazioni di un modello di simulazione del bilancio idrico dei suoli come supporto nella valutazione del rischio di inquinamento di acque superficiali e profonde. In "Sensibilità e vulnerabilità del suolo. Metodi e strumenti di indagine" a cura di P. Sequi e G. Vianello, Franco Angeli, 213-238.
- MARLETTO V., ZINONI F., VENTURA F., 1998a. Bilancio idrico dei suoli agricoli. Relazione sullo stato dell'ambiente del Comune di Sassuolo. A cura di ARPA, Sezione provinciale di Modena, 331pp., 221-229.
- MARLETTO V., ZINONI F., VENTURA F., 1998b. Bilancio idrico dei suoli agricoli. Terza relazione sullo stato dell'ambiente del Comune di Castelnuovo Rangone. A cura di ARPA, Sezione provinciale di Modena, 350 pp., 200-208.
- ZINONI F., MARLETTO V., DUCCO G. 1998. CRITERIA - un sistema per la gestione territoriale del bilancio idrico. Atti Seminario AIAM '98, Firenze 2 aprile 1998: 67-74.
- ZINONI F., MARLETTO V., 1998. CRITERIA: progetto per ridurre l'impatto ambientale di origine agricola. Rivista ARPA, Luglio-Agosto 1998.

- MARLETTO V., ZINONI F., 1999. CRITERIA: bilancio idrico e GIS per la prevenzione dell'impatto ambientale di origine agricola. In C. Giupponi (a cura di), 1999. I sistemi informativi territoriali per la gestione agroambientale del territorio. Collana Quaderni MiPA -PANDA. Ismea, Roma, 215 pp.
- UNGARO F., VAN SOETENDAEL M., CALZOLARI C., ZINONI F., MARLETTO V., BUSONI E., GUERMANDI M., 1999. Calibrazione e verifica di modelli matematici per la simulazione del bilancio idrico nei suoli dell'Emilia-Romagna (poster). Atti del convegno nazionale "L'agrometeorologia per il monitoraggio dei consumi idrici", Sassari, 3-4 novembre 1999. IMAes, ERSAT, CeSIA.: 339-348.
- DUCCO G., 2000. Completamento ed attivazione delle procedure per la simulazione del bilancio dell'azoto in CRITERIA. Relazione conclusiva del Progetto RER.
- MARLETTO V., ZINONI F., VAN SOETENDAEL M., 2000. Bilancio idrico dei suoli agricoli. Relazione sullo stato dell'ambiente del Comune di Formigine. A cura di ARPA, Sezione provinciale di Modena, pp. 228-238.
- ZINONI F., MARLETTO V., 2001. Messa a punto del modello CRITERIA per la valutazione del trasporto di nutrienti. Atti del seminario "iniziative per contenere il fenomeno dell'eutrofizzazione nel Mare Adriatico" promosso da Direzione Generale Agricoltura - Direzione Generale Ambiente - ARPA Regione Emilia Romagna, Bologna, giovedì 7 Ottobre 1999, 114-120.
- DUCCO G., 2001. CRITERIA. Manuale e documentazione (Bozza).
- MARLETTO V., VAN SOETENDAEL M., Francesca Ventura, 2001. CRITERIA. Guida all'uso e manuale utente (versione 2000).
- MARLETTO V., VAN SOETENDAEL M., 2001. Criteria Banco di Prova. Guida all'uso e manuale utente.

I MODELLI MACRO E SOILN: L'ESPERIENZA DEL PROGETTO SINA - CARTA PEDOLOGICA IN AREE A RISCHIO AMBIENTALE.

Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro,
CNR IGES Istituto per la Genesi e l'Ecologia del Suolo

Rosa Marchetti, Gilda Ponzoni¹, Pasquale Spallacci*, Marina Guermandi ²*

*Istituto Sperimentale Agronomico, Sezione ricerche agronomiche applicate all'ambiente settentrionale, ¹Regione Emilia Romagna, Ufficio Pedologico, consulente;

²Regione Emilia Romagna, Ufficio Pedologico

Letizia Fumagalli, Paolo Mantovi
Centro Ricerche Produzioni Animali

1 INTRODUZIONE

La percezione del ruolo chiave del suolo quale elemento determinante nella regolazione dei flussi all'interno degli agro-ecosistemi determina un sempre maggiore ricorso a strumenti di analisi, monitoraggio e previsione ambientali in grado di valutare le risposte del sistema agli input antropici in funzione delle proprietà intrinseche della copertura pedologica. Modelli di simulazione in cui sia centrale il ruolo del suolo si configurano quindi come un indispensabile strumento di valutazione delle qualità del suolo influenti sulla vulnerabilità delle acque in determinati contesti territoriali ed agricoli. Questi modelli richiedono input spesso di complessa acquisizione e per questo normalmente non rilevati nei comuni rilevamenti. La ricerca nel campo delle applicazioni delle informazioni pedologiche si è così sempre più indirizzata verso la definizione di funzioni che leghino questi parametri complessi a proprietà del suolo più facilmente misurabili, le cosiddette pedofunzioni di trasferimento (Bouma, 1989). Attraverso opportune pedofunzioni i dati pedologici di base vengono trasformati negli input dei modelli.

Nell'ambito del progetto SINA-Carta Pedologica in Aree a Rischio Ambientale, il sottoprogetto 2, "Modelli e pedofunzioni per la stima delle qualità del suolo influenti sulla vulnerabilità delle acque", ha avuto fra i suoi obiettivi la scelta e acquisizione di un modello che si basasse prevalentemente sulle caratteristiche dei suoli e ne valutasse la sensibilità o capacità protettiva nei confronti degli inquinanti e lo studio e la definizione delle pedofunzioni di trasferimento utili a definire il comportamento idrologico del suolo e necessarie al funzionamento del modello.

Il presente lavoro riporta i risultati derivanti dall'utilizzazione dei modelli di simulazione di bilancio idrico MACRO (Jarvis, 1994) e di bilancio azotato SOILN (Eckersten et al., 1996; Larsson et al., 1999) applicati in diversi contesti agro-ambientali della Pianura Padana Veneta. La scelta dei due modelli è stata dettata dall'importanza data al loro interno alle proprietà

morfologico-strutturali del suolo e all'influenza della macroporosità nel determinare l'entità effettiva del flusso idrico e del trasporto di soluti ed inquinanti alla base del suolo. Le simulazioni sono state effettuate a diversa scala e a livelli differenziati in termini di quantità e qualità dei dati di controllo dalle diverse unità operative coinvolte nel progetto: l'IGES Istituto per la Genesi e l'Ecologia del Suolo di Firenze, l'ISA, Istituto Sperimentale Agronomico di Modena ed il CRPA, Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia. Dai risultati ottenuti emerge chiaramente l'importanza delle caratteristiche pedologiche e delle condizioni al contorno del sistema nel determinare l'entità delle singole voci del bilancio idrico e nell'influenzare le dinamiche di trasporto e di trasformazione dei composti azotati. Le risposte dei modelli sono state, con poche eccezioni, buone soprattutto nella simulazione della percolazione e dei flussi idrici ed in modo particolare nel caso di sistemi caratterizzati da presenza di falda nel profilo. Nel caso dei flussi azotati, l'efficienza di simulazione è stata discreta e le elaborazioni modellistiche, pur mettendo in luce la necessità di approfondire con ulteriori sperimentazioni la conoscenza dei processi relativi alla dinamica azotata nel terreno, hanno fornito un'indispensabile chiave di lettura ed analisi dei fenomeni in atto, supportandola con elementi quantitativi. Questo rende possibile l'estensione dei modelli utilizzati a scenari differenti, con un buon grado di affidabilità ed efficienza, per fornire ulteriori indicazioni utili alla definizione del ruolo protettivo del suolo nei confronti delle acque e della regolamentazione dell'utilizzo dei composti azotati.

2. MATERIALI E METODI

2.1 I modelli di simulazione

La scelta dell'accoppiata fra il modello MACRO ed il modello SOILN è stata determinata dall'importanza attribuita alle proprietà strutturali degli orizzonti pedologici del suolo e all'influenza della macroporosità nel regolare il flusso idrico ed il conseguente trasporto di soluti ed inquinanti nel profilo di suolo.

MACRO è un modello numerico per la simulazione del bilancio idrico e del trasporto di soluti nel suolo. Il modello simula i flussi in condizione di suolo insaturo e saturo, in presenza o meno di coltura, di falda e di eventuali dreni. Peculiarità del modello è la suddivisione del suolo in due domini di flusso, micropori e macropori, ciascuno caratterizzato dal proprio contenuto idrico, dalla propria intensità di flusso e concentrazione di soluti. Per descrivere i flussi nel dominio dei micropori sono utilizzate l'equazione di Richards e l'equazione di convezione-dispersione, mentre i flussi nei macropori sono di tipo laminare-gravitativo, secondo la legge di Darcy. Il massimo contenuto idrico nei due domini, corrispondente alla saturazione della matrice nel caso dei micropori e alla differenza tra saturazione totale e saturazione della matrice nel caso dei macropori, viene derivato dall'esame delle curve di ritenzione sperimentali o ricorrendo a pedofunzioni di trasferimento. I due domini di flusso sono in equilibrio dinamico tra loro e gli scambi sono calcolati in funzione del tipo e del grado di aggregazione del suolo.

Tabella 1: Parametri e input richiesti dai modelli MACRO-SOILN

Modello	Variabili guida	Parametri pedologici e fisico idrologici	Parametri culturali	Dati gestionali	Altri
MACRO	Temperature max. e min. giornaliere (°C) Precipitazioni (mm/d) Evapotraspiraz. potenziale (mm/d)	Struttura degli orizzonti pedologici Parametri ritenzione Conducibilità idrica satura (micro- e macropori) Densità apparente Porosità totale Condizioni iniziali (T° e umidità del suolo)	LAI (emergenza, max. sviluppo, raccolta, fattori di forma), Max. profondità e distribuzione radici Fattore adattabilità radicale Capacità intercettazione piogge e irrigazioni Valori critici stress idrico	Calendario culturale Irrigazioni	Escursione livello di falda Intensità media oraria piogge e irrigazioni Geometria sistema di drenaggio Escursione termica Temperatura media annua Latitudine
SOILN	Bilancio idrico e termico MACRO	Condizioni iniziali (pool azotati e di C org. nel terreno)	Sviluppo radici Prelievo colt urale	Calendario culturale Lavorazioni Concimazioni (organiche e/o minerali; dosi e date di applicazione)	Parametri trasformazione composti N (immobilizzazione e mineralizzazione, denitrificazione) Deposizione atmosferica (secca e umida) Concentrazione in falda Risposte fattori abiotici (T° e umidità)

Il modello di simulazione del bilancio azotato, SOILN, utilizza come variabili guida gli output di MACRO in termini di bilancio idrico e termico del suolo. Anche in SOILN il suolo viene suddiviso in strati, e in ogni strato l'azoto minerale è rappresentato da due pool, uno per l'azoto ammoniacale ed uno per l'azoto nitrico; il primo è considerato immobile o suddiviso in due frazioni, mobile ed immobile, definite dall'utente, il secondo mobile. Il pool ammoniacale è arricchito da azoto fornito attraverso applicazioni di letame, mineralizzazione della sostanza organica e deposizione atmosferica, mentre è impoverito da immobilizzazione in materiale organico, dall'ossidazione a nitrati e dall'assorbimento radicale da parte delle piante. Il pool nitrico si arricchisce a seguito di nitrificazione di composti ammoniacali, apporti di fertilizzanti, risalita capillare di acqua dal subsoil e deposizione atmosferica; viene invece impoverito a seguito di lisciviazione, denitrificazione e assorbimento radicale. Le perdite per lisciviazione vengono distinte, in termini di quantità e concentrazioni tra i due domini di porosità che caratterizzano il profilo di simulazione.

L'utilizzo dei due modelli è piuttosto oneroso in termini dei parametri in input che caratterizzano il suolo, in quanto entrambi i domini di flusso devono essere caratterizzati fisicamente e le caratteristiche morfologiche e strutturali del profilo da simulare devono essere accuratamente descritte e misurate, oltre che nella definizione dei parametri che descrivono i pool azotati del suolo e le loro trasformazioni. Nel complesso occorre definire 48 parametri per l'utilizzo di MACRO e 43 per quello di SOILN. In tabella 1 sono riassunte le richieste dei due modelli.

2.2 Calibrazione e validazione dei modelli

Nell'ambito del sottoprogetto i modelli di simulazione sono stati utilizzati in condizioni assai distinte in termini di qualità e quantità del dato di controllo. La calibrazione dei modelli è stata effettuata a scala di lisimetro e di parcella sperimentale. La validazione è stata effettuata a scala di lisimetro, di parcella sperimentale e di campo, attrezzato o meno per il monitoraggio dei flussi idrici e azotati. I modelli sono stati quindi applicati a scala regionale per produrre cartografie tematiche derivate in scala 1:50,000, seguendo due diversi tipi di approccio: uno, più tradizionale, effettuando simulazioni per tipologie rappresentative di suoli in scenari colturali e climatici tipici dei vari contesti agro-ambientali; ed uno con criteri propri della geostatistica applicata.

2.2.1 Calibrazione e validazione dei modelli a scala di parcella sperimentale o di campo attrezzato

La calibrazione dei modelli MACRO e SOILN è stata effettuata utilizzando diversi data set relativi a sperimentazioni in condizioni controllate effettuate dall'Istituto Sperimentale Agronomico di Modena (ISA) e dal Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia (CRPA). In entrambi i casi si tratta di Enti di ricerca presenti ed operanti in aree in cui è importante l'incidenza economica degli allevamenti zootecnici, in particolare per la produzione di carni suine. Un problema connesso a questa produzione è lo smaltimento dei reflui di allevamento.

Per quanto riguarda le sperimentazioni dell'Istituto Sperimentale Agronomico sono stati considerati i data set relativi a tre serie di prove, effettuate negli anni 1976-1995, una in lisimetri (Marchetti et al., 2000a; 2000b) e due in pieno campo (Marchetti et al., 2000c), secondo quanto riportato nella tabella 2. Nel caso della sperimentazione del Centro Ricerche Produzioni Animali (Fumagalli et al. 1999), i dati sono relativi a sperimentazioni di pieno campo (tabella 2).

Tabella 2:Data set utilizzati per la calibrazione dei modelli MACRO e SOILN.

Esperimento	Progetto	Periodo	Scala	Variabili	Fertilizzante	Input N, gm ²
Lisimetri	CEE <i>Effluents from intensive livestock</i>	1976-1981	Parcella, 1mx1mx1m	3 suoli + sabbia 5 colture 3 dosi + controllo	Liquame (1976/79)	0, 142, 284, 426
Piacenza	RER, Prov. PC, CRPA <i>Valutazione dell'attitudine dei suoli allo spandimento dei liquami suinicoli</i>	1987-1991	Campo, 700 m ²	3 suoli, mais 2 staz. climatiche urea (3 dosi) liquame (1 dose), 5 calendari di spandimento	Liquame (1976/79) Urea (1987/91)	203 (valore medio per i tre siti) 20, 70, 115
San Prospero	PANDA (MiPAF): <i>Bilancio dell'azoto sulle colture di mais e di erba medica trattate con liquami suini ed urea di sintesi in terreno argilloso di pianura</i>	1993-1995	Campo, 224 m ²	Liquame x urea Controllo mais	Liquame (L) x Urea (U)	0, 56 (L), 67 (U), 125 (LU)
Gaia	<i>Controllo della genesi, trasformazione e migrazione dei nitrati dal suolo alle acque superficiali e sotterranee</i> (Ge.Tra.Mi.N)	1997-2001	Campo, 4000 m ²	Liquame, 2 dosi controllo	Liquame	20, 25

Il bilancio idrico effettuato con MACRO richiede la definizione delle variabili guida relative al clima, la parametrizzazione delle caratteristiche fisico-idrologiche dei suoli e delle caratteristiche

delle colture e delle relative pratiche agronomiche (vedi tabella 1). L'evapotraspirazione, necessaria alla simulazione dell'assorbimento idrico della coltura, è stata stimata secondo il modello di Hargreaves (Hargreaves e Samani, 1982). Per la definizione dei parametri fisico-idrologici dei suoli (parametri di ritenzione, conducibilità idrica satura nei due domini, micro- e macroporosità) sono state utilizzate misure sperimentali, ove disponibili, o stime, mediante pedofunzioni di trasferimento (Jarvis et al., 1997) precedentemente validate su un data set locale di misure sperimentali di ritenzione e conducibilità (Ungaro e Calzolari, 2001). I parametri colturali, l'indice di area fogliare (LAI; $m^2 m^{-2}$) e lo sviluppo radicale sono stati stimati utilizzando i dati disponibili di produzione di biomassa epigeica.

Ad eccezione dei parametri colturali, il modello MACRO è stato usato in tutti i casi senza nessuna calibrazione, intesa come aggiustamento dei parametri per avvicinare le stime alle misure. Nel passaggio dal sistema in lisimetri a quelli in campo, è stato inoltre necessario confrontarsi con le problematiche relative alla simulazione della falda e del ruscellamento superficiale.

Nel caso di SOILN i parametri per l'assorbimento dell'azoto sono stati regolati in modo da adeguare le stime delle asportazioni alle misure. Sono stati forniti al modello i dati relativi a concimazioni organiche, lavorazioni e gestione dei residui, utilizzando valori misurati di rapporto C/N, per le varie frazioni organiche previste dal modello; i residui sono stati asportati in tutti gli esperimenti per cui, dopo la raccolta della coltura, l'accumulo di sostanza organica fresca è stato dovuto solo alla decomposizione degli apparati radicali. Per quanto riguarda infine i tassi di trasformazione dell'azoto, inizialmente sono stati utilizzati quelli suggeriti dal manuale del modello. Solamente il tasso di mineralizzazione dell'humus è stato regolato in modo da far combinare le stime con le misure delle asportazioni misurate per i controlli non concimati.

I dati raccolti nelle sperimentazioni dell'ISA e del CRPA sono stati utilizzati per la successiva validazione, alle diverse scale sperimentali, dei risultati delle simulazioni di bilancio idrico ed azotato. Nella tabella 3 sono riportate, per ciascun esperimento, le misure utilizzate per calibrare e validare i due modelli disponibili nelle diverse sperimentazioni.

Nel caso dell'Istituto Sperimentale Agronomico i tre data set sperimentali sono relativi a tre prove di concimazione e liquamazione secondo quanto riportato nella tabella 2. Nell'esperimento più controllato, quello in lisimetri (Marchetti et al., 2000a, b), erano disponibili misure dirette di lisciviazione e percolazione; il sito di Piacenza a scala di campo, risulta quello meno controllato, ma ha il pregio principale di confrontare 3 situazioni, con suoli e dati climatici differenziati; infine l'esperimento a San Prospero, seppur di relativamente breve durata si caratterizza per la notevole frequenza dei rilievi sperimentali relativi a terreno, falda e coltura (Marchetti et al., 2000c). Gli esperimenti si differenziavano anche per la quantità di N distribuito nel liquame o come urea secondo quanto riportato in tabella 2. Un'altra importante differenza è relativa agli andamenti climatici: gli anni dell'esperimento dei lisimetri sono stati molto piovosi; quelli dell'esperimento di Piacenza sono stati poco piovosi, il che ha fatto sì che, in quest'ultimo caso, i flussi idrici riguardassero prevalentemente l'insaturo. A San Prospero due anni su tre sono stati molto piovosi, con temporanea risalita estiva della falda a livello delle scoline.

Nell'ambito del progetto coordinato dal Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA SpA) di Reggio Emilia e finanziato dall'Assessorato agricoltura, ambiente e sviluppo sostenibile della regione Emilia Romagna, sono stati allestiti e monitorati dal 1997 due campi sperimentali attrezzati a Villa Gaida (RE) e Portile (MO), collocati nelle aree a rischio (zona delle conoidi) delle provincie di Reggio Emilia e Modena, interessate da un importante fenomeno di contaminazione da nitrati (Fumagalli et al. 1999), con lo scopo di analizzare la dinamica dei nitrati nel non saturo mettendo in relazione le pratiche agricole e la qualità delle acque. I dati utilizzati per la validazione dei due modelli sono quelli relativi al sito sperimentale di Villa Gaida per il quale è disponibile la serie più consistente di dati di monitoraggio, con inizio nel 1997. In questo sito vengono seguite normali pratiche colturali con distribuzioni autunnali e primaverili di liquami suini e coltivazione di cereali, generalmente primaverili-estivi (mais, sorgo). In tre parcelle sperimentali localizzate all'interno dell'appezzamento trattato omogeneamente, tensiometri e lisimetri a coppa porosa permettono di monitorare il flusso idrico nel suolo (fino a 180 cm) e di campionarne le acque di ritenzione (fino a 600 cm).

Tabella 3: Misure disponibili per la calibrazione e la validazione dei modelli MACRO e SOILN.

Esperimento	Definizione dei parametri del modello		Validazione output del modello	
	MACRO	SOILN	MACRO	SOILN
Lisimetri	Granul., C org., BD, WP; biomassa colture (resa + residui)	Composizione liquami (a ogni spandimento) asportazioni colturali C/N residui colturali N Kjeld. del terreno*	Percolazione mensile	Concentr. mensile di N nel percolato Variazione riserva N Kjeldahl nel periodo 1976-1980
Piacenza	Descriz. profilo, granul., C org.; BD e 7 punti curva di ritenzione (fino a 1 m); biomassa colture (resa + residui)	Composizione liquami (a ogni spandimento) asportazioni colturali N Kjeld. del terreno	Contenuto idrico (gravim) nei primi 1.2 m di profilo (strati di 0.2 m), Livello falda	Contenuto di N nitrico nei primi 1.2 m di profilo (strati di 0.2 m)
San Prospero	Descriz. profilo, granul., C org., BD, biomassa colture (resa + residui)	Composizione liquami (a ogni spandimento) asportazioni colturali N Kjeld. del terreno	Contenuto idrico (gravim) nei primi 1.8 m di profilo (strati di 0.2 m), 251 oss. Livello falda, 140 oss.	Contenuto di N nitrico nei primi 1.8 m di profilo (strati di 0.2 m; celle sbilanciate)
Gaida	Descriz. profilo, granul., C org., BD, Biomassa colture Ritenzione idrica Conducibilità idrica satura	Composizione liquami asportazioni colturali N del terreno	Valori di potenziale Contenuto idrico Percolazione Deflussi superficiali	Concentrazione nitrati nel suolo e nelle acque Volatilizzazione NH ₃ agli spandimenti di liquame

In questo caso, la taratura dei modelli è stata ottenuta mediante la verifica della congruenza delle loro risposte con quanto misurato in campo, utilizzando in particolare i dati relativi al regime del potenziale matriciale e del contenuto idrico alle diverse profondità per MACRO ed i dati relativi al prelievo da parte della vegetazione ed alle analisi delle variazioni del contenuto in azoto nelle acque di ritenzione (N-NO₃, N-NH₄) e nel terreno (N-NO₃) per SOILN.

2.2.2 Validazione a scala di campo

Il modello MACRO, parallelamente alla calibrazione e validazione sperimentale in condizione di parcella e di campo in condizioni controllate, è stato utilizzato per la simulazione del bilancio idrico su alcuni suoli rappresentativi della Pianura Emiliano Romagnola per i quali fossero disponibili serie temporali di dati di umidità misurati lungo il profilo. Nella tabella 4 sono riportati i suoli interessati, gli anni e la durata della simulazione, la coltura e la stazione meteorologica di riferimento per ciascuna simulazione effettuata con i relativi valori di temperature (°C) e precipitazioni (mm) medie annue.

Tabella 4: Riepilogo delle simulazioni effettuate per il controllo del profilo di umidità simulato da MACRO.

SUOLO	Classe TXT	ANNI	COLTURA	P media mm	T media °C	Stazione Meteorologica
SINA P1- RSD	Fine	1996-1997	bietola-mais	770	12.4	San Pancrazio (MO)
SINA P1- RSD	Fine	1996-1997	bietola-frumento	770	12.4	San Pancrazio (MO)
SINA P4 -RNV	Fine silty	1996-1997	frumento	790	14.1	Ozzano (BO)
SINA P6- CON	Loamy skel	1996-1997	mais	782	12.4	Gariga (PC)
SINA P6- CON	Loamy skel	1996-1997	frumento-pomodoro	782	12.4	Gariga (PC)
Pilastrì (con falda)	Fine silty	1994-1995	frumento	720	12.9	Villanova d'Arda (PC)
Pilastrì (senza falda)	Fine silty	1994-1995	frumento	720	12.9	Villanova d'Arda (PC)
Le Contane	Fine silty	1994-1995	medica-frumento	558	12.5	S.Pietro Capofiume (BO)
Barco	Fine silty	1994	mais	792	12.4	Gariga (PC)
Confine	Loamy skel	1994	mais	792	12.4	Gariga (PC)

Le simulazioni sono state effettuate usando dove disponibili dati misurati (curve di ritenzione e conducibilità idraulica a saturazione) altrimenti dati stimati con le pedofunzioni precedentemente validate (Ungaro e Calzolari, 2001). Per ognuna delle simulazioni relative ai siti per i quali fossero disponibili i profili di umidità in diversi periodi di diverse annate colturali, sono stati calcolati gli indici di errore e di efficienza del modello.

2.3 Definizione di scenari agro-ambientali e simulazioni per i suoli capisaldo: definizione della capacità protettiva

Nel corso del progetto SINA sono state acquisiti sia i dati necessari per la caratterizzazione fisico-idrologica (densità apparente, conducibilità e ritenzione idrica, modalità di aggregazione) di un certo numero di suoli capisaldo (tabella 5) sia quelli relativi alle variabili guida meteorologiche (precipitazioni, temperature, evapotraspirazione potenziale) su base giornaliera, sia i dati relativi allo sviluppo fenologico (apparato fogliare e radicale) delle colture e ai calendari agricoli rappresentativi della pratica comunemente seguita nei diversi contesti regionali (date di lavorazione, semina e raccolta; irrigazioni, concimazioni). Nel complesso sono stati descritti, campionati ed analizzati 32 profili, per un totale di 112 orizzonti pedologici, sui quali sono state determinate 234 curve di ritenzione idrica, 194 misure di conducibilità idrica satura e 260 misure di densità apparente. Questi dati sono stati utilizzati per effettuare un certo numero di simulazioni di bilancio idrico (tabella 5), rappresentative dei diversi contesti agro-ambientali e pedologici della Pianura Padano-Veneta e per mettere a punto un nuovo gruppo di pedofunzioni di trasferimento calibrate per l'ambiente Padano.

Tabella 5: Simulazioni di bilancio idrico effettuate per i suoli capisaldo della pianura padano-veneta.

Regione	Suoli capisaldo	Colture	Stazione Meteo	P media (mm/anno)	Simulazioni
Emilia	14	Mais	Gariga (PC)	778	75
Romagna		Medica-frumento Bietola-soia-frumento	S.Pietro Capof. (BO)	559	
Piemonte	13	Mais	Lanzo (TO)	1390	52
		Loiessa-frumento	Fossano (CN)	859	
Lombardia	14	Mais	Milano 2(MI)	1072	56
		Loiessa-frumento	Ostiglia (MN)	615	
Veneto	3	Mais	Castelfranco V. (TV)	863	6
		Loiessa-frumento			
Friuli V.G.	7	Mais	Talmassons (UD)	1218	28
		Bietola-soia-frumento	Vivaro (PN)	1463	

Su 28 diverse tipologie di suoli selezionati tra quelli rilevati (12 in Emilia Romagna, 10 in Piemonte e 6 in Friuli Venezia Giulia) sono state quindi effettuate le simulazioni del bilancio azotato con SOILN. Per ciascun profilo sono state utilizzate due diverse stazioni meteorologiche al fine di rappresentare gli estremi dei regimi pluviometrici delle tre regioni (tabella 6). L'ordinamento colturale selezionato è quello della monosuccessione di mais, comune nelle tre regioni, anche se con calendari colturali ed irrigui leggermente differenziati di cui è stato tenuto conto in fase di parametrizzazione della simulazione e nel caso della regione Emilia Romagna, una rotazione di soia bietola e frumento. In termini di apporti azotati sono stati definiti due scenari, caratterizzati da sola concimazione minerale in due dosi pari rispettivamente a 21 e 42 gm^{-2} per anno, e di 11.5 gm^{-2} media annuo nel caso della rotazione soia bietola frumento. Gli anni oggetto di simulazione sono stati in tutti i casi quelli del triennio 1994-1996, per i quali erano disponibili serie temporali complete di variabili meteorologiche per tutte le stazioni considerate.

Un subset di 55 simulazioni relative ai casi di monosuccessione di mais con una unica quantità totale di 42 gm⁻² di azoto per anno, nelle diverse situazioni climatiche è stato infine utilizzato per definire le classi di capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque superficiali e profonde.

Tabella 6: Simulazioni di bilancio azotato effettuate per i suoli capisaldo della pianura padano-veneta.

Profili	Dose media annua Azoto (gm ⁻²)	Regione	Coltura	Meteo
10	21- 42	Piemonte	Mais	Fossano - Lanzo
6	21- 42	Friuli V.G.	Mais	Talmassons - Vivaro
12	21- 42 11.5	Emilia R.	Mais Bietola-soia-frumento	S. Pietro C. - Gariga

La definizione delle classi di capacità protettiva si è basata sull'analisi e sul raggruppamento dei casi in funzione degli output del modello di simulazione di bilancio idrico (percolazione alla base del profilo e deflusso superficiale), cui sono stati successivamente associati gli output del modello di simulazione dell'azoto.

Per definire gruppi di osservazioni significativamente diversi tra loro è stata come prima fase effettuata una particolare *cluster analysis* nota come *K-means grouping*, il cui scopo è quello di formare un certo numero di gruppi che siano il più possibile distinti tra loro attraverso 1) la minimizzazione della variabilità all'interno dei gruppi e 2) la massimizzazione delle variabilità tra gruppi. A livello computazionale ciò equivale ad una analisi della varianza invertita. Il numero di gruppi è stato posto pari a quattro, relativi alle seguenti classi di capacità protettiva: molto alta (VH), moderatamente alta (MH), moderatamente bassa (ML) e molto bassa (VL). Successivamente i gruppi individuati sono stati sottoposti a test non parametrici di significatività (Tukey-Kramer HSD) per verificare quanto distinti tra loro fossero sia in termini di flussi che di azoto a questi associato.

L'analisi effettuata ha interessato sia i valori medi annui relativi al triennio oggetto di simulazione sia i valori standardizzati agli input, in termini di precipitazioni più irrigazioni, ed in termini di apporti azotati.

2.4 Applicazioni a scala regionale

I modelli di simulazione di bilancio idrico MACRO e azotato SOILN sono stati utilizzati anche a scala territoriale per definire in termini quantitativi il rischio potenziale ed attuale di lisciviazione di nitrati dal suolo, per scenari agronomici e colturali rappresentativi di un'area della Pianura Emiliana definita ad elevato rischio ambientale e per la quale era richiesta la produzione di cartografie tematiche in scala 1:50,000. Come è già stato detto, l'utilizzo dei modelli MACRO e SOILN è piuttosto oneroso in termini di parametri in input (48 e 43 rispettivamente), in quanto entrambi i domini di flusso devono essere caratterizzati fisicamente e le caratteristiche morfologiche e strutturali del profilo da simulare accuratamente descritte e misurate. I parametri fisico-idrologici richiesti dal modello sono stati stimati utilizzando pedofunzioni di trasferimento (PTF; Jarvis et al., 1997) a partire da dati di più rapida e ordinaria acquisizione quali la tessitura, il contenuto in carbonio organico e la densità apparente. Le pedofunzioni utilizzate sono state precedentemente validate su dati sperimentali relativi ai suoli capisaldo della Pianura Emiliano-Romagnola (Ungaro e Calzolari, 1999, 2001).

Per fare questo sono state seguite due strade distinte. La prima è stata quella di effettuare la simulazione del bilancio idrico per i profili rappresentativi di ogni unità tipologica di suolo (STU) presente nei fogli cartografici considerati, e di attribuire i risultati delle simulazioni alle unità cartografiche corrispondenti. Questo approccio è stato seguito nel caso dei fogli cartografici 200 e 204 della Carta dei Suoli in scala 1:50.000.

La seconda strada ha seguito invece un approccio di tipo geostatistico. Questo secondo approccio è stato possibile in un'area (foglio 181 della carta regionale dei suoli in scala 1:50.000), nella quale erano disponibili un numero sufficiente di osservazioni. In questo caso al fine di aumentare l'accuratezza della stima e di supplire alla non uniforme distribuzione dei dati sul territorio, le osservazioni contenute nella banca dati regionale dei suoli, e relative al foglio 181, sono state trattate utilizzando una procedura di stima (*simple kriging with varying local means*, Goovaerts, 1999) in grado di prendere in considerazione a priori l'informazione relativa a ciascuna unità tipologica di suolo, disponibile su tutto il territorio regionale (Ungaro e Calzolari 2000).

Con questa procedura sono stati stimati ed interpolati, su di una griglia di stima di 1km per 1 km, i valori di carbonio organico, densità apparente e frazioni granulometriche necessari per la stima dei parametri fisico-idrologici, utilizzando le pedofunzioni precedentemente validate.

In entrambi gli approcci seguiti le simulazioni sono state effettuate per uno scenario colturale, bietola-soia-frumento, non irriguo, per gli anni dal 1995 al 1997, utilizzando come variabili guida i dati relativi alla stazione meteorologica di San Pancrazio (PR), per quanto riguarda i fogli cartografici 200 e 181, e alla stazione di S. Pietro Capofiume (BO), per quanto riguarda il foglio 204.

Nel caso del foglio 181 è stato infine utilizzato un modello gerarchico di analisi delle componenti della varianza (Snedecor e Cochran, 1967) per valutare il contributo delle diverse fonti di variabilità (differenze tra le diverse STU, variabilità all'interno delle singole STU, condizioni al

contorno inferiore, errore residuo legato all'uso delle PTF) sulla variabilità globale osservata negli output del modello.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE.

3.1 Validazione e applicazione a scala di parcella e campo controllato

Le simulazioni di bilancio idrico con il modello MACRO effettuate con i dati relativi ai lisimetri dell'Istituto Sperimentale Agronomico di Modena hanno fornito risultati più che soddisfacenti considerato soprattutto il fatto che la definizione di tutte le proprietà fisico-idrologiche è stata effettuata ricorrendo a pedofunzioni di trasferimento non essendo disponibili misure dirette dei parametri richiesti in input dal modello e che nessun aggiustamento ulteriore dei parametri si è reso necessario per migliorare l'accordo tra stime del modello e osservazioni.

L'efficienza della modellizzazione (tanto migliore quanto più vicina a +1) è risultata infatti compresa tra un minimo di 0.81, nel caso della sabbia grossolana, e un massimo di 0.96 nel caso del terreno a tessitura franca sabbiosa, mentre valori di poco inferiori si sono ottenuti per i rimanenti terreni argilloso limoso e franco (0.92). Le misure mensili disponibili erano 72.

Meno soddisfacenti, in un primo tempo, sono stati i risultati della validazione di SOILN, le cui previsioni erano caratterizzate da notevole sovrastima della lisciviazione. Dall'esame dei dati storici a disposizione è stato tuttavia rilevato un incremento di N totale nel terreno alla fine del periodo di prova, maggiore nelle parcelle trattate con gli apporti maggiori di liquame, incremento non simulato dal modello. Si è quindi cercato di riprodurre questo accumulo misurato di N organico anche col modello, modificando i due parametri che nel modello regolano la trasformazione dell'N organico di origine animale. La modifica introdotta ha dato luogo a spostamento degli equilibri di processo in favore dell'immobilizzazione e dell'umificazione dell'N, e ha consentito un notevole miglioramento dell'efficienza di simulazione.

Per le simulazioni relative ai tre siti di Piacenza (le prestazioni di MACRO sono state valutate rispetto alla simulazione del contenuto idrico nel profilo e del livello di falda, quando disponibile. Con riferimento agli strati in cui è stata misurata l'umidità, cioè fino a 1.2 m di profondità, il modello ha tendenzialmente sottostimato il contenuto idrico in profondità. I risultati migliori si sono avuti per il suolo argilloso I Fienili, dove è stata simulata la risalita della falda. Ipotizzando una non corretta ripartizione dell'umidità lungo il profilo, il controllo è stato effettuato fra il contenuto idrico medio, simulato e misurato, dell'intero profilo. In questo caso i risultati sono stati assai migliori, soprattutto nei suoli Del Fiducia e Sant'Omobono, caratterizzati da condizioni di insaturazione durante l'esperimento. L'apparente non corretta simulazione da parte del modello della migrazione dell'acqua nel profilo può essere dovuta ad una non adeguata stima dei parametri fisico-idrologici tramite pedofunzioni.

Le prestazioni del modello SOILN, sono state valutate rispetto alla simulazione del contenuto di nitrati nel profilo, ripartendo i dati in due gruppi, in funzione del tipo di fertilizzazione azotata

(liquame o urea). Analogamente a quanto osservato per l'esperimento dei lisimetri si è verificato che l'adeguamento dei coefficienti per le trasformazioni del liquame ha comportato un significativo miglioramento delle prestazioni del modello. Il modello, nei trattamenti con liquame, ha sovrastimato il livello di nitrati in superficie (I Fienili) o negli strati intermedi (Del Fiducia), e lo ha sottostimato in profondità, mentre nel caso dei trattamenti con urea lo ha sottostimato, soprattutto nel suolo argilloso. L'applicazione degli indici al valore medio di nitrati nel profilo ha consentito di ottenere valori di efficienza del modello più elevati, analogamente a quanto avvenuto per il contenuto idrico.

Nel terzo caso di studio, quello di San Prospero, l'efficienza è stata valutata rispetto a contenuto idrico, livello di falda e nitrati nel suolo. Il sistema di San Prospero è comparabile a quello di uno dei siti dell'esperimento di Piacenza, in quanto è caratterizzato da falda nel profilo, fluttuante durante l'anno, e drenaggio in scolina. Per la valutazione della simulazione del contenuto idrico, sono stati messi insieme i dati relativi alle misure in strati di profilo di 20 cm fino 180 cm (rappresentati graficamente fino ad 80 cm in figura 1), rilevate con densità diversa di campionamento nel triennio. In questo caso l'efficienza di simulazione è stata elevata, sia per l'andamento del contenuto idrico nel suolo sia per l'andamento della falda. Anche per l'esperimento di San Prospero SOILN è stato calibrato presupponendo l'immobilizzazione e/o umificazione dell'N del liquame. Il modello, applicato a questo data set, ha sovrastimato, poco, il livello di nitrati per il trattamento con urea e, molto, quello per liquame + urea (figura 2). L'errore è aumentato all'aumentare dell'apporto complessivo di N e non si è ridotto calcolando le medie di profilo; quindi non è imputabile a limitata migrazione simulata dei nitrati, come nel caso dell'esperimento di Piacenza.

Figura 1: Andamento del contenuto idrico misurato e simulato a San Prospero.

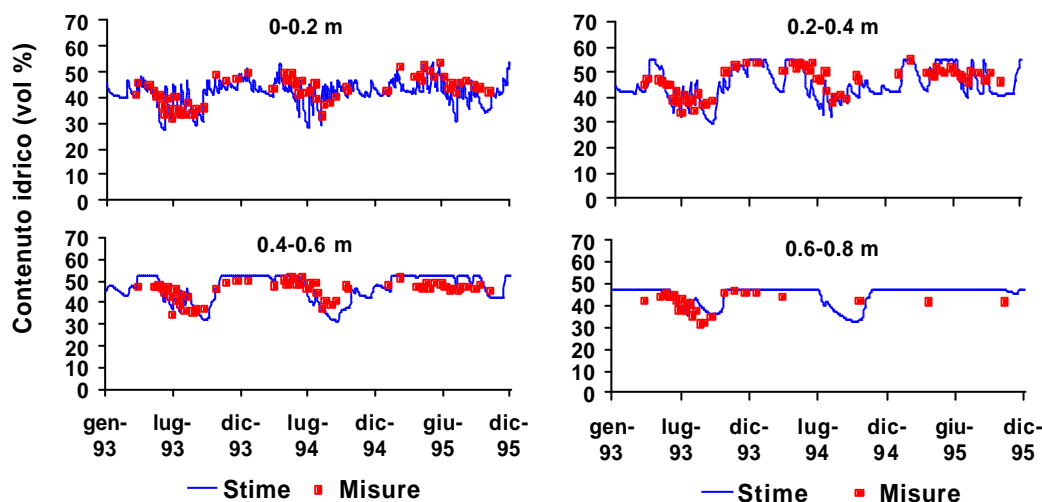
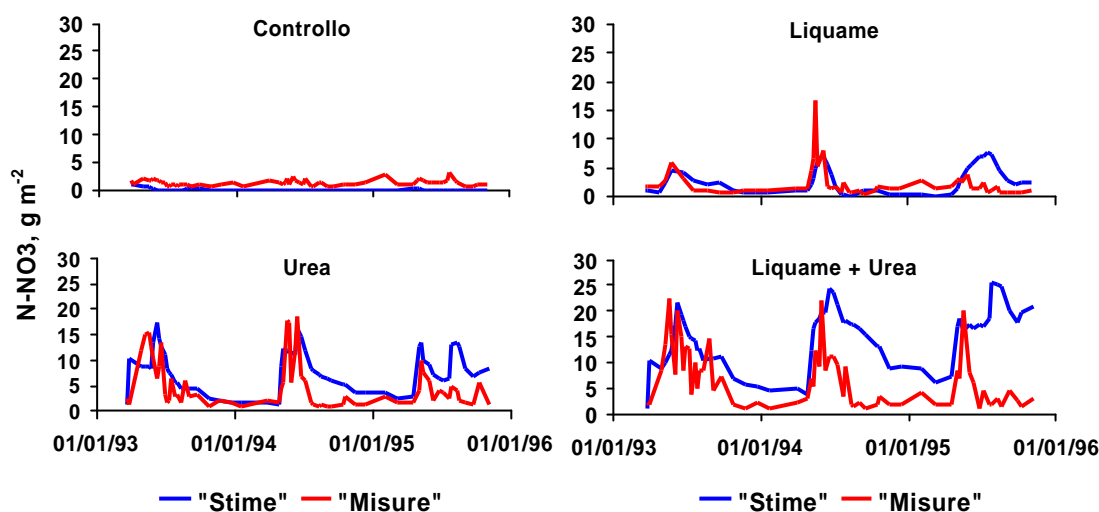


Figura 2: San Prospero – Contenuto di nitrati nel terreno misurato e stimato (strato 0-0.2 m).



Nel caso del sito di Villa Gaida, seguito dal CRPA, MACRO ha condotto a risultati che hanno dimostrato un'ottima congruenza del modello con la realtà, con un andamento dei valori simulati di contenuto idrico e di potenziali matriciali alle diverse profondità che ben riflette le fasi di inumidimento e disseccamento osservate in campo (figure 3 e 4). I risultati ottenuti dal modello SOILN, per quanto riguarda la concentrazione di azoto nitrico nelle acque di ritenzione, sembrano indicare un peso predominante del fenomeno di trasporto legato ai micropori sui dati rilevati in campo negli orizzonti più superficiali, fino a circa 60 cm, mentre al crescere della profondità assume sempre maggiore rilevanza il fenomeno di trasporto legato ai macropori. In particolare le simulazioni effettuate rispecchiano quanto osservato in campo, dimostrando in particolare una ottima congruenza a 400 cm di profondità (Figura 5), pur presentando una sovrastima dei valori limitatamente agli orizzonti più superficiali e ad un periodo finale in cui tali orizzonti presentano nella realtà forti diminuzioni dei valori di concentrazione, forse legate a dilavamento e/o a denitrificazione.

Figura 3: Villa Gaida: andamento del contenuto idrico misurato e simulato (profondità 60 cm).

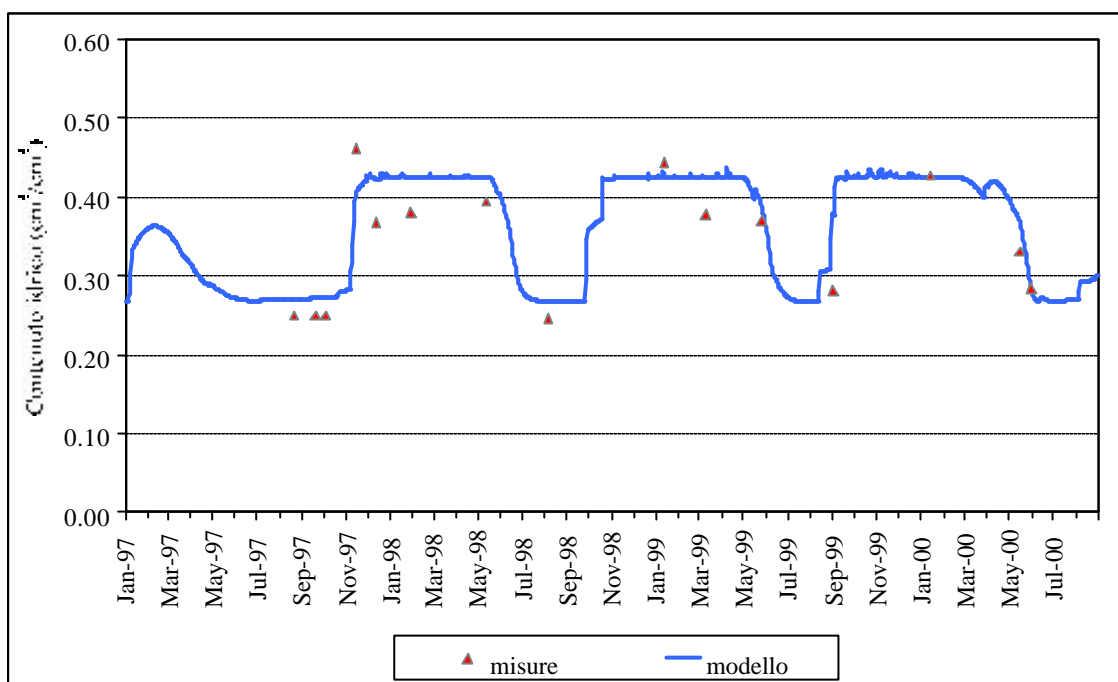


Figura 4: Villa Gaida: andamento del potenziale idrico misurato e simulato (profondità 60 cm).

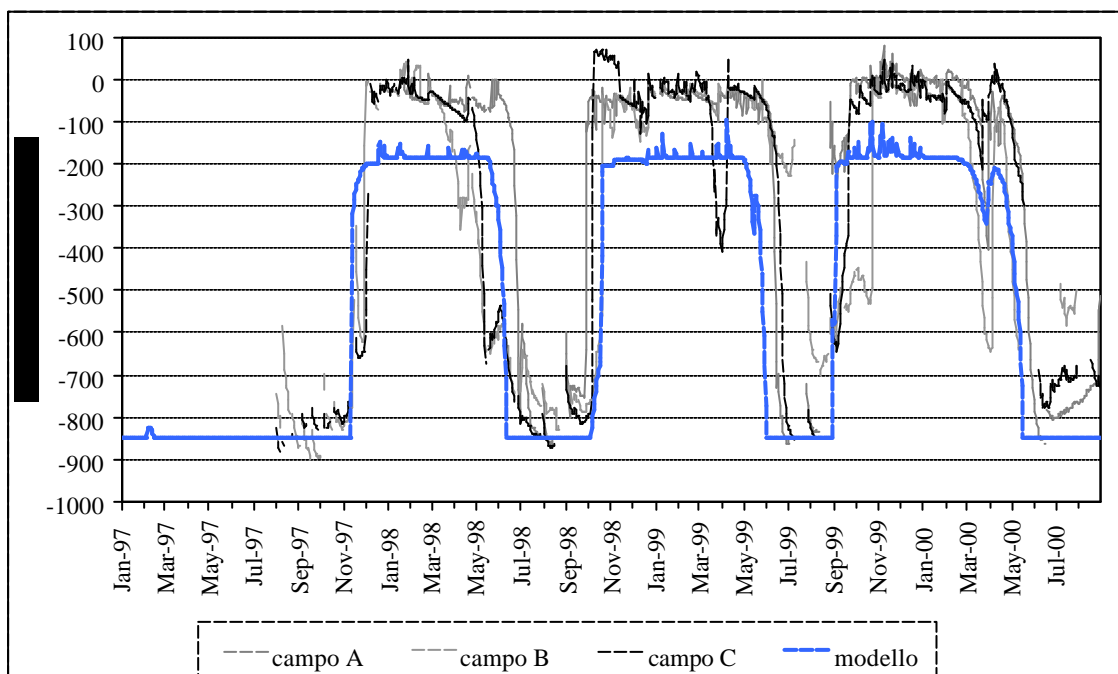
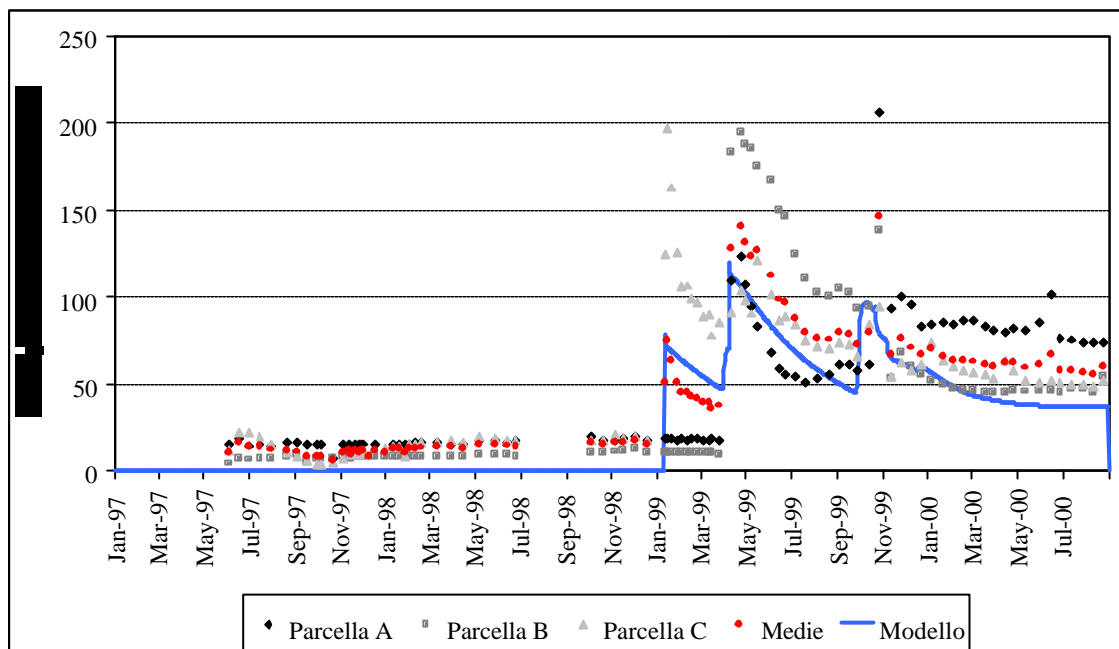


Figura 5: Villa Gaida: andamento delle concentrazioni di nitrati misurate e simulate alla base del profilo.



Per quanto riguarda le voci del bilancio dell'azoto queste indicano, relativamente ai due periodi considerati, estesi da gennaio 1997 all'agosto 1999 e all'agosto 2001, che le perdite complessive di azoto nitrico alla base del profilo simulato a 180 cm di profondità sono rispettivamente di 124 e 310 kg N/ha, valori che rappresentano il 12 ed il 23,5 % dell'input complessivo. Per i medesimi periodi le perdite alla base del profilo simulato a 600 cm di profondità sono rispettivamente di 0.002 e 9.6 kg N/ha, che rappresentano una frazione trascurabile e lo 0.7 % dell'input complessivo. All'approfondimento del fronte idrico e dei nitrati corrisponde una diminuzione dell'entità dell'azoto nitrico presente nel terreno tra 0 e 180 cm, che passa da 546 kg N/ha (al 31/08/99) a 455 kg N/ha (al 31/08/00), valori confermati da dati misurati in campo, rispettivamente compresi per i due momenti tra 520 e 695 e tra 338 e 499 kg N/ha.

Il confronto tra le simulazioni sul breve e lungo periodo traduce quindi l'effetto dei diversi regimi climatici, con accumulo di azoto nel periodo siccitoso (gennaio 1997- agosto 1999, 1370 mm) negli orizzonti superficiali e loro dilavamento in quello piovoso (settembre 1999 - agosto 2000, 840 mm). Il trasporto di azoto nitrico al di sotto dei 600 cm di profondità appare, nelle condizioni osservate, assai limitato.

I risultati ottenuti accreditano la validità del modello costruito, tuttavia un miglioramento dello stesso, peraltro già soddisfacente, potrebbe essere ottenuto grazie all'approfondimento di alcuni parametri di difficile taratura, relativi in particolare alla dinamica della frazione organica e della biomassa ed alla denitrificazione potenziale.

3.2 Validazione a scala di campo e simulazioni per suoli Capisaldo

Nella tabella 7 sono riportati gli indici di errore (Jansenn, 1995) relativi a ciascuna simulazione. Si può notare come, anche se le prestazioni del modello sono in ogni caso soddisfacenti, esse migliorino generalmente nel caso di uso dei valori misurati dei parametri fisico-idrologici del suolo. Una volta calibrato, validato e controllato il modello, questo è stato utilizzato per simulare il bilancio idrico in una serie di suoli capisaldo della pianura padano veneta, al fine di definire il ruolo di diverse tipologie di suoli e delle loro proprietà fisico-idrologiche nell'influenzare il bilancio idrologico e quindi il rischio potenziale di lisciviazione di inquinanti da essi, dati diversi scenari colturali e climatici.

Tabella 7: Indici di errore delle simulazioni. AE: average error; NAE: normalized average error; RMSE: rooted mean square error; NRMSE: normalized rooted mean square error; IoA: index of agreement; MAE: mean absolute error; NMAE: normalized mean absolute error; r: coefficiente di correlazione, * significativo al 5%; ** significativo al 1%

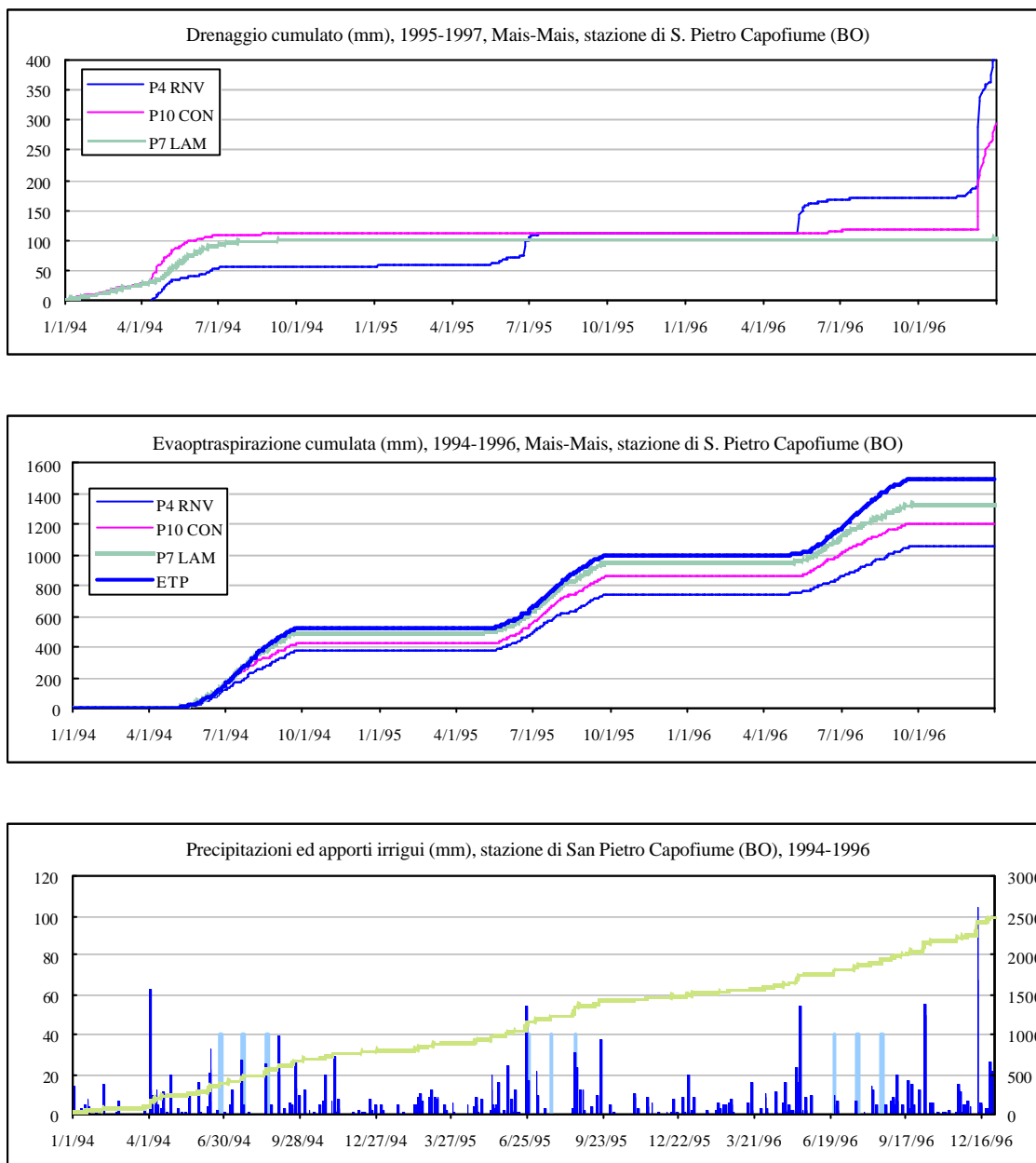
suolo	colture	n. oss.	AE	NAE	RMSE	NRMSE	IoA	MAE	NMAE	ME	r
SinaP1 - RSD- PTF	B-M	93	-0.007	-0.017	0.068	0.170	0.702	0.055	0.136	0.233	0.499**
SinaP1 - RSD- Misure	B-M	93	0.036	0.089	0.080	0.198	0.640	0.064	0.158	-0.168	0.489**
SinaP1 - RSD- PTF	B-F	96	0.020	0.057	0.066	0.186	0.809	0.052	0.146	0.380	0.723**
SinaP1 - RSD- Misure	B-F	96	0.040	0.107	0.079	0.211	0.775	0.061	0.163	0.173	0.702**
Sina P4 - RNV-PTF	F	98	0.024	0.071	0.074	0.216	0.682	0.058	0.170	-0.323	0.481**
Sina P4 - RNV-Misure	F	98	-0.001	-0.003	0.050	0.140	0.840	0.039	0.108	0.288	0.716**
Sina P6- CON- PTF	M-M	80	0.041	0.135	0.098	0.324	0.601	0.072	0.237	-0.343	0.357**
Sina P6- CON- Misure	M-M	80	0.007	0.024	0.066	0.218	0.739	0.049	0.163	0.325	0.578**
Sina P6- CON- PTF	P-F	79	0.022	0.075	0.082	0.278	0.769	0.067	0.227	-0.257	0.615**
Sina P6- CON- Misure	P-F	79	-0.013	-0.043	0.067	0.229	0.827	0.055	0.187	0.015	0.695**
Pilastrì (falda)	F	35	0.051	0.129	0.074	0.188	0.611	0.067	0.171	-2.825	0.346*
Pilastrì (s.falda)	F	30	-0.107	-0.255	0.129	0.307	0.335	0.110	0.262	-8.527	n.s.
Le Còntane	ME	70	0.015	0.032	0.189	0.411	0.750	0.121	0.263	0.497	0.581**
Barco- PTF	M	29	0.009	0.027	0.083	0.255	0.270	0.067	0.205	-1.273	n.s.
Barco- Misure	M	29	0.008	0.024	0.077	0.234	0.172	0.060	0.185	-0.476	n.s.
Confine- PTF	M	23	0.001	0.002	0.072	0.227	0.624	0.058	0.181	-0.539	0.411*
Confine- Misure	M	23	-0.023	-0.072	0.065	0.203	0.765	0.050	0.157	-1.145	0.682**

Sono stati quindi selezionati 51 suoli ed un certo numero di scenari colturali e climatici, rappresentativi di diverse aree della pianura Padano-Veneta e di differenti livelli di input sia in termini di tipo di conduzione agricola (agricoltura più o meno intensiva) che climatologici (regimi idrici da ustici a udici); le simulazioni effettuate sono relative al triennio 1994-96.

A titolo di esempio si considerino i risultati relativi a tre suoli diffusi nella Pianura Emiliano-Romagnola, Roncole Verdi (*Udertic Ustochrept, fine*), Confine (*Typic Ustochrept, loamy skeletal*) e Lamone (*Fluventic Ustochrept, coarse loamy*), caratterizzati da un contrastante comportamento fisico-idrologico, come si può desumere dal valore dei parametri riportati nella tabella 8. Gli andamenti dei valori cumulati relativi al drenaggio, riportati nella figura 6, potrebbero apparire in contrasto con le attese in quanto l'entità del flusso cumulato in uscita alla base del profilo risulta essere minore (102 mm) per il suolo caratterizzato dalla una tessitura più grossolana che per il suolo a tessitura più fine (170 mm). I risultati delle simulazioni sono tuttavia

più che plausibili e fisicamente basati: possono essere infatti spiegati considerando da una parte le interazioni tra il suolo, i flussi al suo interno e gli scambi con la pianta e l'atmosfera, dall'altra le modalità, diverse nei tre suoli considerati, secondo le quali avviene il movimento dell'acqua lungo il profilo. Il suolo Lamone (P7) è innanzitutto caratterizzato da maggiori perdite evapotraspirative (2300 mm) rispetto agli altri due suoli (2120 e 1970 mm per il suolo Confine, P6 ed il suolo Roncole Verdi, P4, rispettivamente) e la coltura è in grado di supplire in maniera più adeguata alle proprie esigenze idriche (rapporto tra evapotraspirazione attuale e potenziale pari a 0.88, mentre negli altri due casi è 0.79 e 0.70 rispettivamente per il suolo Confine ed il suolo Roncole Verdi): per questi motivi l'acqua che si muove nel profilo è complessivamente minore nel P7 che negli altri due casi considerati.

Figura 6 Drenaggio cumulato (in alto), evapotraspirazione attuale e potenziale cumulata (al centro) e precipitazioni ed apporti irrigui (in basso) per il triennio 1994-1996.



A ciò si aggiunge il fatto che nel P7 l'acqua si muove prevalentemente per flusso in matrice e con equilibrio pressoché immediato con i flussi nei macropori dovuto all'assenza di aggregazione negli orizzonti sottosuperficiali, e che pur essendo la conducibilità dei micropori maggiore che nel caso del P4, le condizioni prevalenti in cui avvengono il flusso sono quelle di non saturazione per cui risulta complessivamente maggiore e continuo nel caso dei profili a tessitura più fine che in quelli a tessitura più grossolana, nei quali si assiste piuttosto ad una redistribuzione del contenuto idrico all'interno del profilo che non ad un flusso alla sua base.

Tabella 8: Caratteristiche fisico-idrologiche di tre suoli oggetto di simulazione con MACRO.

Orizzonte	Profondità	MVA	Skel	S	L	A	S.O.	K _{satma}	K _{satmi}	TPORV	XMPOR	WILT
	[mm]	[t m ⁻³]						[mm hr ⁻¹]	[mm hr ⁻¹]		[VOL, m ³ m ⁻³]	
Località: Tebano (RA); Suolo: Lamone (Fluventic Ustochrept, coarse loamy)												
Ap	0-60	1.35	0	33	52	15	1.41	36.90	0.06	0.569	0.369	0.138
Bw	60-120	1.49	0	40	51	9	1.11	29.58	0.24	0.485	0.444	0.161
C	120-165	1.59	0	37	46	17	1.01	3.90	0.13	0.491	0.417	0.158
Località: Castel S. Pietro (BO), Suolo: Roncole Verdi (Udertic Ustochrept, fine)												
Ap	0 - 50	1.42	0	9	48	43	1.9	134.86	0.006	0.622	0.386	0.271
Bw1	50 - 70	1.514	0	9	48	43	1.6	12.89	0.006	0.500	0.427	0.330
Bw2	70 - 90	1.514	0	15	45	40	1.5	12.00	0.006	0.500	0.427	0.330
Bck1	90 - 130	1.675	0	22	46	32	0.7	2.01	0.005	0.458	0.402	0.307
Bck2	130 - 150	1.675	0	8	59	33	0.7	7.24	0.068	0.413	0.370	0.236
Località: Gariga (PC), Suolo: Confine (Typic Ustochrept, loamy skeletal)												
Ap1	0 - 30	1.003	0	21	56	23	1.9	24.64	0.056	0.553	0.333	0.157
Ap2	30 - 55	1.37	0	21	56	23	1.9	148.63	0.048	0.528	0.395	0.256
Bw	55 - 75	1.37	0	40	34	26	0.7	12.09	0.191	0.536	0.412	0.226
BC	75 - 100	1.42	60	49	27	34	0.9	14.92	0.186	0.454	0.412	0.233
C	100 - 140	1.42	70	52	23	25	0.5	31.04	0.285	0.453	0.397	0.198

Legenda: Skel: scheletro; S: sabbia; L: limo; A: argilla; S.O: sostanza organica, MVA: massa volumica apparente; K_{satma}: conducibilità idraulica alla saturazione totale (macro - e micropori); K_{satmi}: conducibilità idraulica alla saturazione dei micropori; TPORV: contenuto idrico a saturazione totale (macro - e micropori); XMPOR: contenuto idrico a saturazione dei micropori; WILT: contenuto idrico al punto di appassimento.

Oltre a ciò va considerato che nel caso di P4 la forte aggregazione che caratterizza tutti gli orizzonti fa sì che i flussi avvengano prevalentemente via macropori, non interessando, se non con un certo ritardo, la matrice del suolo: infatti l'indice di flusso preferenziale, dato dal rapporto tra il flusso in uscita via macropori ed il flusso totale alla base del profilo, è pari a 0.6 nel caso del P4 mentre per P6 e P7 si abbassa a 0.26 e 0.00 rispettivamente.

3.3 Definizione delle classi di capacità protettiva

Come già detto in precedenza la definizione delle classi di capacità protettiva si è basata sull'analisi e sul raggruppamento dei casi in funzione degli output del modello di simulazione di bilancio idrico (percolazione alla base del profilo e deflusso superficiale), cui sono stati successivamente associati gli output del modello di simulazione dell'azoto. In questo caso, per uniformare le condizioni al contorno, sono state considerate le simulazioni relative ad una monosuccessione di mais, con una quantità di concimazioni azotate minerali pari a 420 unità per ettaro anno. Il raggruppamento è stato effettuato tramite una particolare *cluster analysis* nota come *K-means grouping*, definendo quattro gruppi di capacità protettiva: molto alta (VH), moderatamente alta (MH), moderatamente bassa (ML) e molto bassa (VL). Successivamente i cluster individuati sono stati sottoposti a test non parametrici (Tukey-Kramer HSD) di significatività per verificare quanto distinti tra loro fossero i cluster sia in termini di flussi che di azoto a questi associato.

L'analisi dei deflussi superficiali e delle perdite di nitrati ad essi connesse è stata effettuata solo per i casi nei quali si manifestava il fenomeno (32 simulazioni). Sulla base dei risultati dell'analisi vengono proposti i limiti di classe riportati nella tabella 9. Tali limiti sono espressi sia in termini di valori medi annui, che in termini degli stessi relativizzati agli input di precipitazioni ed irrigazioni e di unità di concime minerale somministrato.

Tabella 9: Limiti proposti per la capacità protettiva acque superficiali.

CLASSE	RUNOFF rel %	NO ₃ ⁻ , rel. %	RUNOFF mm	NO ₃ ⁻ , g/m ² /anno
VL	>31 %	>39%	>500	>17
ML	21-30%	21-39%	300-500	11-17
MH	8-20%	5-20%	100-300	2-10
VH	<8%	<5%	<100	<2

Per quanto riguarda la capacità protettiva nei confronti delle acque profonde, sulla base dei risultati dell'analisi condotta sugli output delle simulazioni vengono proposti i limiti di classe riportati nella tabella 10. Anche in questo caso i limiti sono espressi sia in termini di valori medi annui, che in termini degli stessi relativizzati agli input di precipitazioni ed irrigazioni e di unità di concime minerale somministrato.

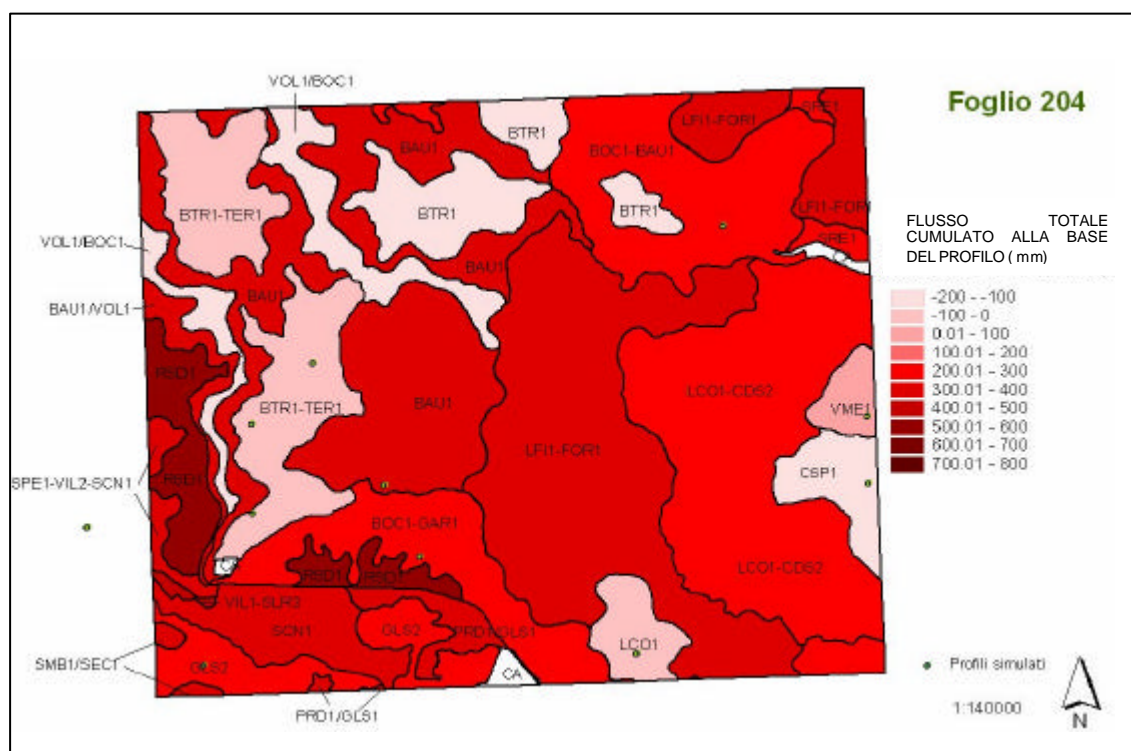
Tabella 10: Limiti proposti per la capacità protettiva acque profonde.

CLASSE	TFLOW rel %	NO ₃ ⁻ , rel. %	TFLOW mm/anno	NO ₃ ⁻ , g/m ² /anno
VL	>40%	>20%	>600	>8
ML	29-40%	11-20%	320 - 600	5-8
MH	12-28%	6-10%	140 - 320	2-5
VH	<12%	<5%	>140	<2

3.4.3 Applicazioni a scala territoriale

Sulla base delle simulazioni di bilancio idrico effettuate per suoli capisaldo, nel caso dei fogli 200 e 204, e ogni punto della griglia di stima, nel caso del foglio 181, è possibile produrre una serie di carte derivate rappresentanti le diverse voci di bilancio, cumulate al termine del periodo di simulazione. La valutazione funzionale in termini di proprietà fisico-idrologiche delle unità tipologiche di suolo presenti in tre aree ad elevato rischio ambientale dalle Pianure Emiliano-Romagnola è stata effettuata applicando il modello di simulazione MACRO ai profili rappresentativi delle diverse unità tipologiche di suolo presenti, nel caso dei fogli cartografici 200 e 204, ed in corrispondenza dei nodi di una maglia regolare coincidente con l'area di studio, nel caso del foglio 181. Gli output del modello, espressi in termini di unità tipologica di suolo, forniscono gli elementi necessari ad una prima valutazione quantitativa delle qualità del suolo influenti sulla vulnerabilità delle acque e quindi sulla capacità protettiva dei suoli nei diversi contesti agro-ambientali. A titolo di esempio, nella figura 7 si riporta la carta di drenaggio totale cumulato alla base del profilo dei suoli del foglio 204 - Ferrara.

Figura 7: Distribuzione del drenaggio totale cumulato 1995-1997 nel foglio 204- Ferrara (input 2130 mm).



La procedura di stima adottata nel foglio 181 per derivare le grandezze in input alle PTF necessarie alla stima dei parametri richiesti dal modello ha permesso di tenere esplicitamente conto della variabilità spaziale delle caratteristiche pedologiche e conseguentemente di valutare la sua influenza nella variabilità riscontrata negli output del modello. Nella figura 8 a titolo di esempio è rappresentato il drenaggio totale cumulato nel caso dei suoli del foglio 181, mentre nella figura 9 i risultati delle simulazioni per il medesimo output sono aggregati in termini di unità tipologica suolo, riportando i range di variabilità osservati per ciascuna di esse.

Figura 8 Foglio 1818 1.50,0000 regione Emilia Romagna: distribuzione del drenaggio totale cumulato 1995-1997 (input 2130 mm).

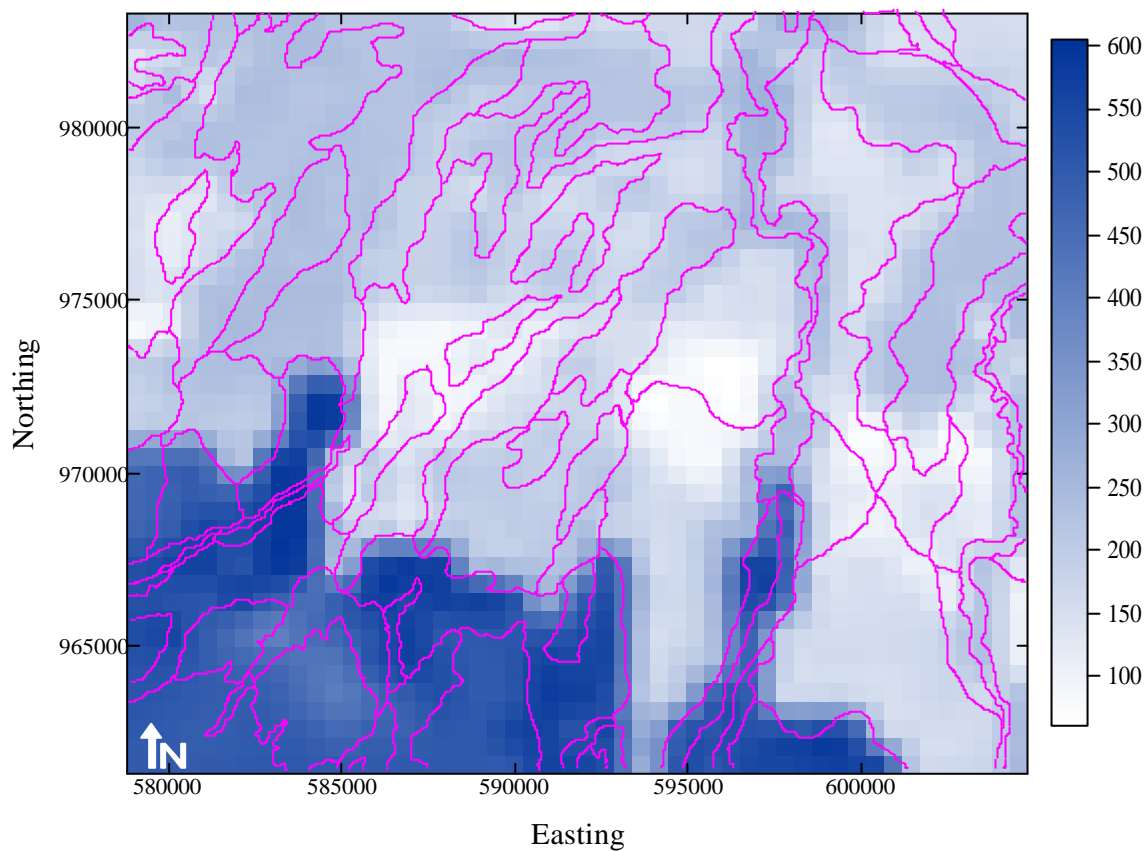
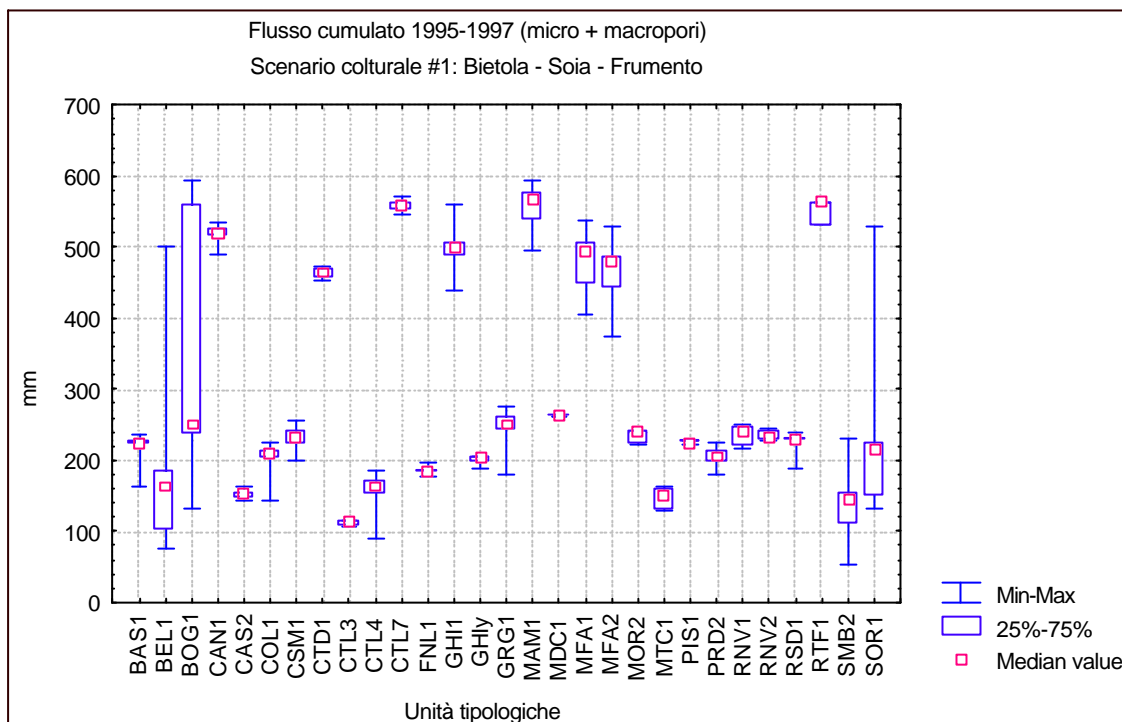


Figura 9: Drenaggio totale cumulato 1995-1997: Box & Whisker plot per le unità tipologiche di suolo presenti nel foglio 181 della carta dei suoli 1:50,000 della regione Emilia-Romagna di studio.



L'analisi delle componenti della varianza (tabella 11) utilizzando un disegno gerarchico nidificato, ha infine reso possibile verificare l'influenza dei vari fattori che determinano la dispersione degli output, consentendo non solo di valutare l'incidenza della variabilità dei suoli, sia tra unità tipologiche che all'interno delle singole unità e della falda sulle singole componenti del bilancio idrico, ma anche una valutazione funzionale delle pedofunzioni, quantificando l'entità dell'errore commesso con il loro utilizzo.

Tabella 11: Componenti % della varianza osservata nell'area di studio per le varie voci di bilancio idrico.

Componenti % della varianza	Evapo-traspirazione	Drenaggio Micropori	Drenaggio Macropori	Drenaggio totale	Runoff	Infiltrazione
<i>Unità tipologica</i>	88.30	2.21	0.00	73.78	76.05	63.36
<i>Delineazione</i>	7.07	0.00	1.92	15.40	12.63	16.54
<i>Falda</i>	1.98	88.37	84.18	9.45	8.11	7.00
<i>Errore</i>	2.65	9.42	13.89	1.37	3.21	13.10

4. CONCLUSIONI

L'utilizzo dei modelli MACRO e SOILN, applicati in diversi contesti agro-ambientali della pianura padano-veneta nell'ambito del progetto SINA - Carta Pedologica in aree a rischio ambientale, ha portato ad una buona efficienza nella simulazione dei flussi idrici (percolazione e contenuto idrico nel terreno) con poche eccezioni. Le simulazioni sono state generalmente più efficienti per i sistemi caratterizzati da presenza di falda nel profilo e nel caso in cui i parametri in input del modello fossero direttamente misurati piuttosto che derivati da pedofunzioni di trasferimento. Anche in questo caso, tuttavia, le prestazioni del modello di bilancio idrico sono però da considerare più che accettabili. Il modello MACRO può essere quindi considerato un valido strumento di analisi e previsione agro-ambientale, il cui uso può essere esteso a nuovi contesti con un buon margine di accuratezza.

Nel caso del bilancio azotato, l'efficienza nella simulazione dei flussi azotati (lisciviazione e contenuto di nitrati) è stata nel complesso discreta con alcune situazioni tuttavia ancora problematiche, che hanno messo in luce quanto sia necessaria una maggiore conoscenza dei processi relativi alla dinamica azotata nel terreno. Tuttavia anche in questo caso una corretta parametrizzazione del modello di bilancio idrico si è rivelata un elemento indispensabile per una corretta e plausibile simulazione dei flussi azotati nel terreno.

Alla luce dei risultati ottenuti, la valutazione della capacità protettiva del suolo non può prescindere dalla conoscenza dei processi interni ad esso: il suolo è un sistema dinamico complesso ed i flussi al suo interno sono variabili nel tempo e nello spazio con modalità differenti da suolo a suolo, per cui basarsi solo su caratteristiche statiche, come ad esempio la composizione granulometrica, o eccessivamente semplificate e prescindere dalle condizioni al contorno (apporti meteorici e ciclo colturale) può portare a conclusioni errate. Per poter correttamente valutare il ruolo del suolo nella protezione delle acque sia superficiali che profonde è fondamentale non solo definire le uscite dal sistema in termini di percolazione, runoff e drenaggio ma anche valutare caso per caso se i flussi in questione siano avvenuti prevalentemente attraverso macropori e altre vie di scorrimento preferenziali quali fessure e vuoti planari tra aggregati o se abbiano interessato prevalentemente la matrice del suolo.

BIBLIOGRAFIA

- BOUMA, J., 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. In B.A. Stewart (ed.) *Advances in Soil Science* 9. Springer and Verlag, Berlin, pp. 177-213.
- ECKERSTEN, H., JANSSEN, P.E. AND JOHNSON, H., 1996. SOILN model, user's manual, 3rd Ed. Comm. 96:1, Swedish Univ. Agric. Sci., Dpt. of Soil Sciences, Uppsala.
- FUMAGALLI, L., BERETTA, G.P., CORTELLINI, L., MANTOVI, P., 1999. Migrazione dei nitrati nel mezzo non saturo: predisposizione di due campi sperimentali in Emilia-Romagna e primi risultati del monitoraggio. Atti del 3 Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio, Parma, 13-14-15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Editrice Bologna, 2.185-2.196

- GOOVAERTS, P., 1999 . Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89, 1-46.
- HARGREAVES, G. H. E SAMANI, Z. A., 1982. Estimating potential evapotranspiration. Tech. Note J. Irrig. Drain. Eng.
- JANSEN, P.H.M: AND HEUBERGER, P.C.S., 1995. Calibration of process oriented models. *Ecological Modelling*, 83, 55-66.
- JARVIS, N.J 1994. The MACRO model (version 3.1) Technical description and sample simulations. Reports and dissertations n. 19, Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Soil Sciences, Uppsala, pp. 51.
- JARVIS, N.J., HOLLIS, J.M., NICHOLLS, P.H., MAYR, T. AND EVANS, S.P., 1997. MACRO-DB: a decision tool for assessing pesticide fate and mobility in soils. *Environ. Model. And Software*, 12, 251-265.
- LARSSON, M.H. AND JARVIS, N.J., 1999. A dual porosity model to quantify macropore flow effect on nitrate leaching. *J. Environ. Qual.*, 28, 1298-1307.
- MARCHETTI R., PONZONI G., SPALLACCI P., CEOTTO E., UNGARO F., CALZOLARI C. 2000a. Simulating water flow in areas at environmental risk with the MACRO model. Model evaluation with data from lysimetric studies. Proc. Intern. Congr. Soil Vulnerability and Sensitivity, Firenze, 18-21 ottobre 1999, Boll. SISS, 49, 323-330.
- MARCHETTI R., SPALLACCI P., PONZONI G. 2000b – Simulazione della lisciviazione dei nitrati da terreni liquami in lisimetri: valutazione del modello SOILN. Conv. “Strumenti informatici e statistici per la valutazione delle risorse agroambientali”, Udine, 24-25 novembre 1999; Boll. SISS, 49(3), 609-414.
- MARCHETTI R., PONZONI G., SPALLACCI P. 2000c – Valutazione del modello MACRO per la simulazione dei flussi idrici in un suolo argilloso-limoso della pianura emiliana. Atti Convegno “Conoscenza e Salvaguardia delle Aree di Pianura. Il Contributo delle Scienze della Terra”, Regione Emilia-Romagna, 8-11 novembre, Ferrara, RER, Bologna, pp 238-240.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1998. Catalogo Regionale dei Tipi di Suolo - Pianura Emiliana Romagnola. R.E.R., Servizio Cartografico - Ufficio Pedologico.
- SNEDECOR, G.W. AND COCHRAN, W.G., 1967. Statistical Methods, 6th ed. The Iowa State University Press.
- UNGARO, F. AND CALZOLARI, C., 2001. Using existing soil databases for estimating water-retention properties for soils of the Pianura Padano-Veneta region of North Italy. *Geoderma*, 99, 99-121.
- UNGARO, F. AND CALZOLARI, C., 2000. Integration of GIS derived soil information with geostatistical estimation of pedotransfer functions inputs for soil modelling applications. In Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Amsterdam, 12-14 July 2000, 663-670.
- UNGARO, F. AND CALZOLARI, C., 2000. Soil water content estimation: performance of available pedotransfer functions for predicting the water retention properties in areas at high environmental risk of the Pianura Padano-veneta (Northern Italy). In Atti del 7^o Convegno Internazionale ICCTA Computer Technology in Agricultural Management and Risk Prevention, Firenze, 15-18 novembre 1998, 147-

II CENSIMENTO DEI PRINCIPALI MODELLI UTILIZZATI PER IL SUOLO

Renzo Barberis, Gianluca Alessio, Gabriele Fabietti, Federico Regis, Carlo Roagna
Arpa Piemonte – Centro Tematico Nazionale Suolo e Siti Contaminati

INTRODUZIONE

La possibilità di potere rappresentare la realtà utilizzando modelli matematici gioca oggi un ruolo notevole nel processo conoscitivo e nella protezione della salute umana e dell'ambiente. In prima approssimazione i modelli si possono definire come la descrizione matematica, tradotta in linguaggio informatico, di una rappresentazione concettuale più o meno semplificata di una parte del mondo reale. Questa rappresentazione esplicita i rapporti di dipendenza che esistono tra i diversi processi contenuti in questa porzione di realtà. Tali rapporti vengono tradotti in simboli matematici ed inseriti in algoritmi che imitano, seppure in maniera semplicistica, quanto avviene nella realtà. Una volta verificato, implementando le procedure idonee, che il modello è in grado di simulare con buona approssimazione quanto avviene nella realtà, esso può essere utilizzato per simulare la realtà stessa, a costi decisamente inferiori delle prove sperimentali in campo ed in tempi sicuramente più brevi (Del Re 1991).

L'evoluzione della modellistica è continua ed ogni anno nuovi modelli vengono proposti agli utenti (ricercatori, legislatori, industrie, ecc.). Lo sviluppo dell'informatica ha permesso di giungere ultimamente a risultati sorprendenti nello studio revisionale di fenomeni naturali attraverso l'uso di modelli matematici, utilizzati in numero sempre maggiore anche per la previsione di fenomeni di diverso tipo correlati direttamente o indirettamente al suolo.

Questi modelli variano ampiamente nell'approccio concettuale e nella loro complessità, e sono fortemente influenzati dall'ambiente in cui sono stati sviluppati, dalla formazione dei modellisti e dai loro interessi immediati nell'applicazione del modello; generalmente simulano processi fisici, chimici e fisico-chimici che avvengono nel terreno, trasformando input numerici in approssimazioni quantitative di determinati processi.

Modelli in cui il ruolo del suolo sia centrale si configurano come un indispensabile strumento di indagine e valutazione della qualità di questa matrice, delle sue attitudini e della sua vulnerabilità nei confronti dei principali fenomeni di degradazione in determinati contesti territoriali ed agricoli.

Il CTN_SSC ha da tempo avviato una attività di censimento, costantemente aggiornata grazie ad un Osservatorio appositamente creato, di modelli e progetti che prevedono l'applicazione di modelli, considerati utili e coerenti alle finalità ed agli obiettivi del progetto, soprattutto in funzione della possibilità di recuperare o elaborare dati relativi agli indicatori individuati.

Particolare attenzione viene rivolta a quei modelli in grado di restituire risultati a livello nazionale, regionale o provinciale. L'utilizzo di tali strumenti non ha infatti come scopo finale solo la realizzazione di carte tematiche di immediato interesse applicativo ma anche l'individuazione, per successivi livelli di approssimazione, di un criterio unificante nella definizione della quantità e qualità dei dati e delle informazioni disponibili sul suolo e sull'agroecosistema.

Per il suolo risultano particolarmente studiati casi quali l'erosione idrica, l'erosione eolica, l'acidificazione, la salinizzazione, il flusso di inquinanti, la variazione della sostanza organica, la ritenzione idrica altre proprietà idrologiche correlate all'inquinamento delle falde (Wind erosion model, Water erosion model, Organic matter simulation model, Contaminant transport model, Salinization model, Soil water retention model, Leaching estimation model, Chemistry model...). Spesso inoltre il suolo viene preso in considerazione come fattore di vulnerabilità intrinseca nella valutazione, previsione e rappresentazione di fenomeni complessi che mettono in relazione attività umane e problemi correlati all'ambiente (es. modelli per la previsione dell'inquinamento delle falde acquifere).

I modelli che prendono in considerazione direttamente la matrice suolo richiedono spesso input di complessa acquisizione e per questo non rilevati comunemente o non presenti nei database; la ricerca nel campo delle applicazioni delle informazioni pedologiche si è così sempre più indirizzata verso la definizione di funzioni che mettono in relazione questi parametri complessi a proprietà del suolo facilmente misurabili, le cosiddette pedofunzioni di trasferimento. Attraverso opportune pedofunzioni i dati pedologici di base vengono trasformati in input dei modelli.

Bouma (1989) ha coniato il termine *pedotransfert function* per definire gli approcci per la stima di proprietà e parametri del suolo a partire da dati di più rapida ed economica acquisizione. Quello delle pedofunzioni di trasferimento è oggi un campo di ricerca attivo che ha fornito risultati nel complesso soddisfacenti, anche se la maggior parte degli studi ha carattere empirico e significato locale.

La continua evoluzione della modellistica propone ogni anno nuovi modelli sia per scopi di ricerca che normativi, ad esempio per effetto della Direttiva CEE 91/414, che impone a tutti i Paesi Membri di provvedere a legiferare in materia di Registrazione dei Fitofarmaci, le proposte di registrazione di nuovi prodotti dovranno essere corredate da studi di carattere ambientale e da simulazioni con determinati modelli per determinati "scenari".

Come valido punto di riferimento per un costante aggiornamento è da segnalare l'archivio CAMASE Agro-ecosystem models (Concerted Action for the development and testing of quantitative Methods for research on Agricultural Systems and the Environment - <http://www.agralin.nl/camase>) sostenuto dalla Commissione Europea-RTD programme. Il programma classifica tutti i modelli matematici riguardanti problemi e caratteristiche tipiche degli agroecosistemi (problemi pratici dell'agricoltura e problemi ambientali ad essa correlati) fornendo anche indicazioni utili relative ai programmi che prendono in considerazione direttamente o indirettamente la matrice suolo.

RISULTATI DELL'OSSERVATORIO

A titolo di esempio viene riportato di seguito un report di alcuni modelli inseriti nel database dell'Osservatorio dei modelli. Le informazioni immesse per ciascun modello censito sono state scelte per giungere ad una classificazione il più possibile funzionale alle esigenze del CTN SSC e cercando di individuare punti di accordo con lo schema di classificazione logica DPSIR degli indicatori.

In particolare per ogni modello censito sono stati approfonditi aspetti quali l'identificazione dei processi che vengono simulati dal modello, la scala spaziale, la scala temporale ed i dati di ingresso.

Di fondamentale importanza nella scelta del modello è determinare quale è la porzione di realtà che viene rappresentata dal modello stesso, quindi se il modello simula la percolazione, lo scorrimento superficiale, la volatilizzazione, la degradazione ect. I modelli sono spesso ottenuti dall'assemblaggio di diverse sub-routines, ciascuna delle quali simula un processo di base (processi alle volte di tipo microscopico)..

I modelli sono stati sviluppati per lavorare a diverse scale spaziali e temporali. Tutti i modelli sono stati realizzati per operare a specifiche scale spaziali: colonna di suolo, lisimetro, campo, bacino, distretto, regione, mondo. Le uscite dei modelli sono spesso collegate a sistemi geografici informativi (GIS) per ovviare al problema delle previsioni a scala maggiore di quella di campo, cioè bacino, regione. Gli approcci al momento individuati per ridurre il numero delle simulazioni necessarie per creare mappe a scala di dettaglio sono fondamentalmente due: *macroplots* o *metamodelli*. Nel primo caso si cerca di individuare macro aree con le medesime caratteristiche e dopo si trasferisce il risultato ottenuto per questo macroplot a tutti i punti con uguale caratteristiche. Il principale difetto di questo approccio è che è difficile individuare aree di uguali caratteristiche in numero ragionevole. Nel secondo caso si individua il parametro per il quale il modello è più sensibile, spesso il contenuto di sostanza organica nel terreno, si effettuano diverse simulazioni in uno scenario prefissato e si ricava una equazione (metamodello) che permette di calcolare per ogni punto un risultato in funzione del, per esempio, contenuto in sostanza organica. Per scala spaziale si intende anche quella lungo il profilo del terreno.

La Scala temporale è intesa sia come tempo massimo di simulazione sia come ciclo minimo di simulazione. Nel primo caso le simulazioni possono durare dalla distribuzione alla raccolta della coltura, un anno, venti anni: è quindi necessario selezionare i modelli in base al tipo di proiezione necessario (a breve, medio, lungo termine). La lunghezza del ciclo minimo varia, invece, da un giorno a qualche minuto. Di grande importanza sono anche la frequenza temporale con la quale il modello calcola i risultati, di solito uguale al ciclo minimo di simulazione.

I dati di ingresso possono essere divisi in parametri di stato e di sito; i parametri di stato definiscono i dati di ingresso richiesti per fare funzionare i processi di base; i parametri di sito definiscono specifiche caratteristiche della località nella quale il modello viene applicato; spesso inoltre il modello viene integrato con funzioni che prevedono i cambiamenti di stato della matrice

considerata in funzione di particolari cambiamenti delle attività antropiche, derivati ad esempio dall'introduzione di una nuova normativa.

ACCESS-I

Titolo: Agro Climatic Change and European Soil Suitability.

Ultima revisione: Autumn 1995.

Tipo di programma: Simulation model/module.

Soggetto: Crop science, soil science, farming systems, and land use studies.

Livello di aggregazione: Region, and supra region.

Descrizione: A mechanistic model of crop development, crop growth, water use and soil moisture status on a monthly time-step. The model was built for climate change impact studies and land suitability issues.

Caratteristiche scientifiche

Numero di variabili cinetiche: 75.

Numero di variabili di stato: 104.

Dati di input: Climate, control, crop, diary, options, perturbation, region, soil.

Numero dati di input: 65.

Numero dati di output: 38.

Intervallo di tempo della simulazione: Monthly.

Scala spaziale: Soil unit.

Pubblicazioni: Rounsevell, M.D.A., T.R. Mayr & P.J. Loveland, 1994. The ACCESS project: Part 1, background and the simple modelling approach. Transactions of the 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico. International Society of Soil Science, Commission V: poster sessions, Volume 6b. 4-5

Rounsevell, M.D.A., P.J. Loveland, T.R. Mayr, A.C. Armstrong, D. de la Rosa, J.P. Legros, C. Simota & H. Sobczuk, 1996. ACCESS: a spatially-distributed, soil water and crop development model for climate change research. Aspects of Applied Biology No. 45.

Parentage: SIBIL*, AFRCWHEAT.

Caratteristiche tecniche

Hardware: PC 486.

Linguaggio di programmazione: Microsoft FORTRAN.

Altre richieste di software: No.

Contatti: Dr. T. Mayr.

Indirizzo: Soil Survey and Land Research Centre, Silsoe, Bedfordshire MK45 4DT UNITED KINGDOM.

ACCESS-II

Titolo: Agro Climatic Change and European Soil Suitability.

Ultima revisione: Autumn 1995.

Tipo di programma: Simulation model/module.

Soggetto: Crop science, soil science, farming systems, and land use studies.

Livello di aggregazione: Farm.

Descrizione: A detailed mechanistic model of crop growth, crop water use and soil moisture conditions for climate change and land suitability studies.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Soil parameters (up to 10 layers); crop parameters.

Numero di variabili cinetiche: 100.

Variabili di stato: Soil moisture conditions, crop stage, height, leaf area, root length.

Numero di variabili di stato: 20.

Dati di input: Soil data, by horizon; crop data, crop sequence meteorological input (precipitation, temperature, PET).

Numero dati di input: 100 + daily meteorological data.

Dati di output: Crop and soil moisture states - user defines daily, monthly or annual output.

Numero dati di output: 12 time step output.

Intervallo di tempo della simulazione: Daily.

Scala spaziale: Ha.

Pubblicazioni : Loveland, P.J., M. Rounsevell, J-P. Legros, D. de la Rosa, A. Armstrong, J. Glinski, K. Rajkai, C. Simota (Eds.), 1995. ACCESS Agro-Climatic Change and European Soil Suitability: a spatially-distributed, soil, agro-climatic and soil hydrological model to predict the effects of climate change on land-use within the European Community. Volume I: a Descrizione of the ACCESS Project. 361 pp.

Loveland, P.J., M. Rounsevell, J-P. Legros, D. de la Rosa, A. Armstrong, J. Glinski, K. Rajkai, C. Simota (Eds.), 1995. ACCESS (1995b). Agro-Climatic Change and European Soil Suitability: a spatially-distributed, soil, agro-climatic and soil hydrological model to predict the effects of climate change on land-use within the European Community. Volume II: user manual. 62 pp.

1996. ACCESS Project summary. Commission of the European Communities. 27 pp. (In press).

Loveland, P.J., J-P. Legros, M.D.A. Rounsevell, D. de la Rosa & A.C. Armstrong, 1994. A spatially distributed soil, agroclimatic and soil hydrological model to predict the effects of climate change on land use within the European Community. Transactions of the 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico. International Society of Soil Science, Commission V: Symposia, Volume 6a. 83-100

Rounsevell, M.D.A., P.J. Loveland, T.R. Mayr, A.C. Armstrong, D. de la Rosa, J-P. Legros, C. Simota & H. Sobczuk, 1996. ACCESS: a spatially-distributed, soil water and crop development model for climate change research. Aspects of Applied Biology No. 45.

Parentage: MOBIDIC, EPIC*.

Caratteristiche tecniche

Hardware: PC 486.

Linguaggio di programmazione: Microsoft FORTRAN.

Altre richieste di software: No.

Contatti: Dr. M.D.A. Rounsevell. Cranfield University, Soil Survey and Land Research Centre, Silsoe Campus, Silsoe, Bedfordshire MK45 4DT UNITED KINGDOM.

EPIC

Titolo: Erosion Productivity Impact Calculator. Environmental Policy Integrated Climate.

Tipo di programma: Simulation model/module.

Soggetto: Crop science, soil science, and environmental science: non-point source pollution.

Livello di aggregazione: Farm, and other (field).

Descrizione: Model examines the long-term effects of various components of soil erosion on crop production. EPIC is a mechanistic, simulation model used to examine long-term effects of various components of soil erosion on crop production (Williams et al., 1983). EPIC is a public domain model that has been used to examine the effects of soil erosion on crop production in over 60 different countries in Asia, South America and Europe. The model has several components: - soil erosion, - economic, - hydrologic, - weather, - nutrient, - plant growth dynamics and - crop management. Much of model required input, such as soil, and weather data are provided with the model. Daily weather data can be used or daily weather can be generated from monthly statistical inputs. The model also requires management information that can be input from a text file. Currently, there are many management files that exist for EPIC and an effort is underway to catalogue these files and provide them to users. The model provides output on crop yields, economics of fertilizer use and crop values. Model components: (1) Examine long-term effects of soil erosion on crop production. (2) Nutrient and chemical movement with water and soil under alternative crop production systems. (3) Examine effects of changes in CO₂ and other climate variables on crop production, hydrology and environmental variables. (4) Examine sustainable agricultural systems. This model has been developed for a number of crop species including wheat and has been re-calibrated for conditions in south-west France (Charpentier et al., 1986). Subsequent development has been for crops other than wheat (Cabelguenne et al., 1986). Biomass is incremented daily in response to soil, weather and management. A major weakness for operation at an EC scale appears to be that calibration is necessary for individual pedo-climatic zones. Management features: Drainage, irrigation, water yield, erosion control, weather, fertilizer/lime applications, pest control, planting dates, tillage and crop residue management. Keywords: soil erosion, crop production, hydrology, soil temperature. Global change implications: EPIC has been used widely for the study of global change.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Processes involved in erosion, applicable to a wide range of soils, climates, and crops.

Variabili di stato: Rotation, crop, fertilizer, irrigation, pesticides, tillage.

Numero di variabili di stato: Yes.

Dati di input: The model required input includes soil series, size of field, slope, and weather data, although the model can generate the necessary weather parameters. The model also requires management information that can be input from a text file. Currently, there are many management files that exist for EPIC and an effort is underway to catalogue these files and provide them to users. **Output data:** The model provides output on crop yields, economics of fertilizer use, crop values, nutrient and pesticide movement and erosion and sediment yield.

Intervallo di tempo della simulazione: 1 day. Temporal scale: Annual / seasonal.

Scala spaziale: Farm / field.

Pubblicazioni : Bryant, K.J., V.W. Benson, J.R. Kiniry, J.R. Williams & R.D. Lacewell, 1992. Simulating corn yield response to irrigation timings: validation of the EPIC model. J.Prod.Agric 5: 237-242

Cabelguenne M., C. A. Jones, J.R. Marty, P.T. Dyke & J.R. Williams, 1990. Calibration and validation of EPIC for crop rotations in southern France. Agricultural Systems 33: 153-171

Williams, J.R., P.T. Dyke, W.W. Fuchs, V.W. Benson, O.W. Rice & E.D. Taylor, 1990. EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator. 2. User Manual. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768. 127 pp.

Parentage: CREAMS, and GLEAMS.

Caratteristiche tecniche

Hardware: 640K, about 3 megabytes.

Linguaggio di programmazione: Microsoft FORTRAN.

Altre richieste di software: UTIL.

Contatti: Dr. J.R. Williams. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS), Grassland, Soil and Water Research Laboratory, 808 East Blackland Road, Temple, TX 76702 UNITED STATES.

GLEAMS

Nome e versione: GLEAMS versione 2.10

Titolo: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems

Ultima revisione: 26/01/98

Scopo: gestione aziendale, ricerca e didattica.

Nuova versione in preparazione: No

Soggetto: Scienza del suolo, gestione aziendale, scienza forestale, idrologia e scienze ambientali.

Scala: campo.

Descrizione: Il modello è nato per simulazione di lungo periodo delle conseguenze delle pratiche gestionali adottate nelle aziende agricole. GLEAMS simula, con uno step giornaliero, le interazioni di clima-suolo-gestione agronomica. Runoff giornaliero, ET, percolazione, erosione e sedimenti, e perdite di pesticida, cicli di elementi fertilizzanti (azoto e fosforo) e perdite in runoff, con i sedimenti, e nel percolato al disotto della zona radicale sono calcolati a scala giornaliera. Il runoff e la quantità di sedimenti erosi sono calcolati all'angolo del campo in basso mentre il percolato al di sotto della zona radicale. Possono essere valutate diverse pratiche agronomiche quali la scelta della coltura, la tecnica di lavorazione, la scelta del pesticida e/o del fertilizzante, la distribuzione di letame e l'irrigazione. La scala di uso va da 1 m² a 100 ha. Il modello è stato applicato sia in terreni torbosi, sia in suoli minerali, sia per metalli pesanti sia per composti radioattivi. Esso è usato per la scelta della migliore strategia di intervento erbicida o come strumento per classificare i pesticidi. GLEAMS può essere usato anche in per piccole routine (quantità eros, traslocazione nelle piante) e per periodi di simulazione di poche ore, il tempo di un temporale come sino a 50 anni.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Conduttività alla saturazione, velocità di dissipazione del pesticida, quantità distribuita di pesticida, fertilizzante o fango.

Numero di variabili cinetiche: 5.

Variabili di stato: Profondità delle radici, spessore degli orizzonti di suolo, curva di ritenzione idrica e porosità del suolo, contenuto in argilla, limo, sostanza organica, pH, saturazione contenuto in azoto e fosforo, pendenza, dimensioni del campo, erodibilità, copertura, caratteristiche della coltura.

Numero di variabili di stato: 30

Dati di input: Pioggia, temperatura media giornaliera, radiazione solare media mensile,

Numero dati di input: 2 files giornalieri e 1-5 data set mensili.

Dati di output: Quantità di runoff, percolato, evaporato, traspirato, evapotraspirato, sedimenti erosi giornalieri, perdite di azoto e fosforo e di pesticidi in tutti gli orizzonti di suolo e nell'acqua e nei sedimenti

Numero dati di output: Circa 30.

Scala temporale: 1 giorno

Scala spaziale: Campo.

Pubblicazioni: Leonard, R.A., W.G. Knisel, F.M. Davis, and A.W. Johnson. 1990. Validation GLEAMS with field data for fenamiphos and its metabolites. Amer. Soc. of Civil Engrs., J. of Irr. & Drain. Engr. 116:(1)24-35.

Knisel, W.G., R.A. Leonard, F.M. Davis and J.M. Sheridan. 1991. Water balance components in the Georgia Coastal Plain: A GLEAMS model validation and simulation. J. of Soil Water Conserv., 46(6)450-456.

Knisel, F.M. (Ed.) 1993. GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Gestione Systems, Version 2.10. University of Georgia, Coastal Plain Experimental Station, Biological & Agricultural Engineering Department, Publication BAED No. 5, 260 pp.

Shirmahammadi, A. and W.G. Knisel. 1994. Evaluation of the GLEAMS model for pesticide leaching in Sweden. J. Environ. Sci. Health, A29(6):1167-1182.

Knisel, W.G., M.C. Smith, and S.R. Wilkinson. 1995. Validation of GLEAMS model for poultry litter gestione. Environ. Resources Center, Georgia Inst. of Tech. Atlanta. Tech. Completion Rep. No. ERC-01-95. 36 pp.

Morari, F. and W.G. Knisel. 1997. Modifications of the GLEAMS model for crack flow. Trans. of the Amer. Soc. of Agri. Engrs. 40(5):1337-1348.

Esistono moltissime pubblicazioni internazionali sul GLEAMS

Caratteristiche tecniche

Hardware: PC almeno 386

Linguaggio di programmazione: FORTRAN 77 e C.

Contatti: Walter G. Carsel 1606 Rutland Road, Tifton, Georgia, USA 31794

LEACHM

Nome e versione: LEACHM

Titolo: Leaching Estimation and Chemistry Model.

Ultima revisione: Gennaio, 1995.

Scopo: Ricerca, gestione aziendale

Soggetto: scienza del suolo dinamica dei nutrienti, salinità, destino dei pesticidi.

Descrizione: LEACHM è un modello di simulazione usato come strumento di ricerca o di gestione, esamina il movimento di sostanze chimiche attraverso la zona radicale sino a 2-3 metri. Il modello contiene 5 sottomodelli: un modulo che descrive il drenaggio dell'acqua (LEACHW), uno i pesticidi e i traccianti (LEACHP), uno la dinamica dell'azoto (LEACHN); uno i microorganismi (LEACHB); e uno i sali solubili (LEACHC) (quali Ca, Mg, Na, K, Cl, SO⁴, CO³, HCO²⁻). LEACHM è stato con successo legato a GIS.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Velocità di degradazione, trasformazione ed adsorbimento, conduttività idraulica.

Numero di variabili cinetiche: dipende dalle scelte.

Variabili di stato: Contenuto di acqua e di sostanze chimiche nel suolo, quantità distribuite.

Dati di input: parametri del suolo (proprietà fisiche, densità apparente, distribuzione delle particelle, curva di ritenzione idrica), dati meteo (temperatura massima e minima, pioggia, evapotraspirazione), tipi di trasformazione chimica

Scala temporale: step orario. Da 1 giorno ad alcuni anni

Scala spaziale: modello puntuale.

Caratteristiche tecniche

Hardware: Computer che supporta FORTRAN. In 3 minuti con un Pentium simula 1 anno.

Linguaggio di programmazione: Microsoft FORTRAN-77.

Contatti: Dr. J.L. Hutson. Cornell University, College of Agriculture and Life Sciences, Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences, Bradfield Hall, Tower RD., Ithaca, NY 14853-2901 UNITED STATES.

MACRO DB

Nome e versione: MACRO 4.0, MACRODB 1.0

Titolo: MACROpore.

Ultima revisione: Gennaio 1998.

Scopo: Ricerca (1 = MACRO), gestione aziendale (1 = MACRODB) e didattica (2 = ambedue).

Nuova versione in preparazione: La versione 5.0 di MACRO e quella 1.1 di MACRODB saranno pronte entro la fine del 1999.

Soggetto: Scienza del suolo, scienze ambientali comportamento e destino dei pesticidi.

Scala: da colonna di suolo sino a campo.

Descrizione: MACRO è un modello di simulazione mentre MACRO-DB comprende anche database e routine per la stima dei parametri di input. MACRO predice il flusso di acqua e il movimento di soluti attraverso la zona radicale (sino a 2-3 metri) di suoli strutturati, tenendo conto dell'effetto di flussi preferenziali sul trasporto di soluti degradabili ed adsorbibili così come i pesticidi. MACRO è un modello deterministico, a doppia porosità che modella soluti come anioni non reattivi, trizio e pesticidi. MACRO simula il movimento dell'acqua in un sistema insaturo/saturo tenendo conto anche del movimento laterale nel sistema di drenaggio. Il bilancio dell'acqua è quindi modellato in modo completo.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Velocità di degradazione, velocità di trasporto di acqua e soluti

Numero di variabili cinetiche: dipende dalle opzioni scelte.

Variabili di stato: Contenuto di acqua nel suolo e di sostanze chimiche e loro distribuzione.

Dati di input: Parametri del suolo (densità apparente, curva di ritenzione, conducibilità idraulica), dati climatici giornalieri (massima e minima temperatura dell'aria, pioggia, evapotraspirazione), costante di velocità di trasformazione chimica, coefficiente di adsorbimento, lunghezza dei macropori e altri parametri connessi.

In MACRODB, quasi tutti i parametri sono calcolati utilizzando gli ausili interni da poche informazioni sul suolo.

Dati di output: Contenuto di acqua, drenaggio, potenziale idrico e flussi idrici, residui e quantità percolata di pesticidi, quantità degradata e traslocata nelle piante.

Scala temporale: < 1 ora. Le simulazioni durano al massimo 10 anni

Scala spaziale: da colonna di suolo a piccolo campo.

Pubblicazioni: Andreu, L., Moreno, F., Jarvis, N.J. & Vachaud, G. 1994. Application of the model MACRO to water movement and salt leaching in drained and irrigated marsh soils, Marismas, Spain. *Agricultural Water Management*, 25, 71-88.

Andreu, L., Jarvis, N.J., Moreno, F. & Vachaud, G. 1996. Simulating the impact of irrigation gestione on the water and salt balance in drained marsh soils (Marismas, Spain). *Soil Use and Management*, 12, 109-116.

Bergstroem, L. 1996. Model predictions and field measurements of Chlorsulfuron leaching under non-steady-state flow conditions. *Pestic. Sci.*, 48, 37-45.

Gottesburen, B., Mittelstaedt, W. & Fuhr, F. (1995) Comparison of different models to simulate the leaching behaviour of quinnecr predictively. In : *Proceedings of the BCPC Symposium 'Pesticide movement to water'*, (eds. A. Walker, R. Allen, S.W. Bailey, A.M. Blair, C.D. Brown, P. Gunther, C.R. Leake and P.H. Nicholls), Warwick, 155-160.

Jarvis, N.J., Ståhli, M., Bergstroem, L. & Johnsson, H. 1994. Simulation of dichlorprop and bentazon leaching in soils of contrasting texture using the MACRO model. *J. Environ. Sci. & Health*, A29, 1255-1277.

Jarvis, N.J. 1995. Simulation of soil water dynamics and herbicide persistence in a silt loam soil using the MACRO model. *Ecol. Model.*, 81, 97-109.

Jarvis, N.J., Larsson, M., Fogg, P., Carter, A.D. 1995. Validation of the dual-porosity model MACRO for assessing pesticide fate and mobility in soil. In: *Proc. BCPC Symposium 'Pesticide movement to water'*, (eds. A. Walker, R. Allen, S.W. Bailey, A.M. Blair, C.D. Brown, P. Gunther, C.R. Leake and P.H. Nicholls), Warwick, U.K., 161-170.

Saxena, R.K., Jarvis, N.J. & Bergstroem, L. 1994. Interpreting non-steady state tracer breakthrough experiments in sand and clay soils using a dual-porosity model. *Journal of Hydrology*, 162, 279-298.

Caratteristiche tecniche

Hardware: PC 486, 640 KB di memoria interna, meglio PC-Pentium

Linguaggio di programmazione: FORTRAN/C (MACRO), Visual Basic (MACRODB)

Contatti: Nicholas Jarvis. Dept. Soil Sciences, Box 7014, SLU, 750 07 Uppsala, Sweden.

MASQUE 1.0

Nome e versione: MASQUE 1.0

Titolo: Mulch Application Simulation to Quench Unchecked Erosion.

Tipo di programma: Simulation model/module.

Soggetto: Soil science, environmental science, and land use studies.

Livello di aggregazione: Cropping system/animal husbandry system.

Descrizione: The model simulates the effect of surface mulch on runoff, soil loss and crop yield. Crop growth simulation is based on SUCROS* and MAIZE*. The model is validated for maize and the mulch type of Cassia siamea prunings, in Madakos, Kenya, but if the necessary crop physiological properties and mulch decomposition rate are known, other species may be used.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Crop development, photosynthesis, growth, biomass, evaporation, transpiration, infiltration, percolation, water content, drainage, runoff.

Numero di variabili cinetiche: 60.

Variabili di stato: Yield (leaves, stems, cobs, grain), infiltrated water, ponded water, drainage, runoff, soil loss, cumulated water, evaporated water.

Numero di variabili di stato: 60.

Dati di input: Mulch type, mulch rate, weather data, rainfall intensity, slope, altitude, latitude, crop physiological properties, soil properties.

Numero dati di input: 100.

Dati di output: Yield, soil loss, runoff and any other rate or state variable requested.

Numero dati di output: Optional.

Intervallo di tempo della simulazione: 1 day.

Scala spaziale: Ha.

Parentage: SUCROS* and MAIZE*.

Caratteristiche tecniche

Hardware: IBM compatible PC/AT >= 640 Kb RAM.

Linguaggio di programmazione: FST*.

Altre richieste di software: FORTRAN-77, TTUTIL* and CABO/TPE Weather System*.

PELMO

Nome e versione: PELMO 3.00

Titolo: Pesticide leaching Model

Ultima revisione: Ottobre 1998

Scopo¹⁸: Ricerca, didattica, gestione aziendale

Nuova versione in preparazione: sì

Soggetto: destino dei pesticidi, scienze ambientali, agricoltura, studio dell'uso del suolo

Descrizione: PELMO è stato sviluppato per stimare la percolazione potenziale di pesticidi attraverso distinti orizzonti di suolo con un modello del tipo capacitativo. Il modello descrive o stima la temperatura del suolo, la degradazione, la volatilizzazione e l'adsorbimento dei pesticidi, l'evapotraspirazione con la formula di Haude. Il modello è uno sviluppo della versione del 1984 di PRZM tarato principalmente su scenari della Germania.

Come PRZM, PELMO ha 2 componenti principali: idrologia e trasporto dei soluti. Nella componente idrologica la parte che riguarda il runoff e l'erosione è uguale a quella di PRZM, basandosi sull'equazione dell'USDA Soil Conservation Curve Number technique e la Modified Universal Soil Loss Equation (same as PRZM), mentre il calcolo dell'evapotraspirazione è fatto con la formula di Haude (Haude, 1952) o mediante valori di potenziale evapotraspirazione. Inoltre, PELMO calcola la temperatura del suolo in funzione della profondità usando valori giornalieri di temperatura dell'aria.

Dati d'input richiesti sono: parametri riguardanti il pesticida come il tempo di semivita nel suolo e i relativi fattori di correzione per temperatura ed umidità del suolo, il coefficiente di adsorbimento espresso o come Koc, o come Kd o Kf. Nel caso dell'equazione di Freundlich è necessario fornire l'esponente e i limiti di validità, dose, data e profondità di applicazione. Se viene stimata la volatilizzazione è necessario dare anche i valori di tensione di vapore, solubilità in acqua e peso molecolare.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: velocità di degradazione, di volatilizzazione e adsorbimento (solo la quota considerata su siti cinetici)

Numero di variabili cinetiche: dipende dalla simulazione

Variabili di stato: parametri del suolo (tipo, densità, pH, field capacity, wilting point), residui precedenti,

Numero di variabili di stato: dipende dalla simulazione

Dati di input: dati climatici giornalieri (temperature minima, massima e media, precipitazioni, evapotraspirazione o umidità relativa), dati sulla coltura (profondità delle radici, copertura, TSCF), informazioni agronomiche (rotazioni), dati sul pesticida (adsorbimento, degradazione, costante di Henry)

Numero dati di input: dipende dalla simulazione

Dati di output: umidità del suolo, percolato, flussi di acqua e pesticida, concentrazione del pesticida nel suolo, traslocazione nelle piante

Numero dati di output: dipende dalla simulazione

Scala temporale: step: 1 giorno, la simulazione può durare sino a 20 anni

Scala spaziale: modello di tipo puntuale ma gli output sono espressi in kg/ha

Pubblicazioni: Michael Klein, Martin Mueller, Martin Dust, Gerhard Gorlitz, Bernhard Gottesbueren, Jan Hassink, Regina Kloskowski, Roland Kubiak, Herbert Ressler, Helmut Schäfer, Bernd Stein & Harry Vereecken, Validation of the pesticide leaching model PELMO using lysimeter studies performed for registration, *Chemosphere* 35 (1997) No 11, 2563-2587

Caratteristiche tecniche

Hardware: PC minimo 286 con MSDOS, su Pentium 10 anni sono simulati in 1 minuto

Linguaggio di programmazione: Fortran (Ryan McFarland 1987)

Altre richieste di software: no

Contatti: Michael Klein. Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und ekotoxikologie, P.O. Box 1260, D57377 Schmallenberg, Germany

¹⁸. Per ciascuna categoria '1' è molto importante, '2' medio e '3' poco importante.

PERSIST

Nome e versione: PERSIST

Titolo: PERSISTence prediction

Ultima revisione: Gennaio 1998

Scopo: Ricerca

Nuova versione in preparazione: No

Soggetto: Scienza del suolo, protezione delle colture, studio dei pesticidi.

Descrizione: Il modello usa semplici inputs quali dati climatici giornalieri per simulare la degradazione dei residui di pesticidi nel profilo del suolo. Il modello considera l'influenza della temperatura e dell'umidità del suolo sulla velocità di degradazione ma ignora altri processi di scomparsa dei residui. Il modello è parte integrante del modello VARLEACH. Ulteriori dettagli sul modello sono pubblicati in Walker & Barnes (*Pesticide Science*, 12, 123-132, 1981). Il suo principale uso è quello di simulare la persistenza di residui nello strato superficiale del suolo (0-5 cm). Questo strato è considerato indipendente dagli altri strati e la temperatura e l'umidità sono simulati con una serie di empiriche funzioni, validate da osservazioni sperimentali.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Degradazione

Numero di variabili cinetiche: 1

Variabili di stato: Concentrazione dei residui

Numero di variabili di stato: 1

Dati di input: Parametri del suolo (contenuto di acqua a -10kPa; densità apparente)

Dati climatici (valori giornalieri di temperatura dell'aria massima e minima e pioggia)

Variabili di sito (altitudine e latitudine)

Parametri del pesticida (tempo di semivita)

Parametri che tengono conto dell'influenza di temperatura e umidità del terreno sulla velocità di biodegradazione (opzionali; valori di default sono incorporati nel codice).

Numero dati di input: 10

Dati di output: Contenuto di acqua e temperatura del suolo nei primi 0-5 cm; concentrazione del pesticida

Numero dati di output: 3

Scala temporale: 0.01 giorni

Scala spaziale: Modello puntuale

Pubblicazioni: *Pesticide Science*, 7, 41-49; 50-58 and 59-64, 1976; *Weed Research*, 18, 305-313, 1978; *Pesticide Science* 12, 123-132 1981; *Weed Research* 23, 373-383, 1983; *Pesticide Science*, 35, 109-116, 1992.

Caratteristiche tecniche

Hardware: Qualsiasi computer che supporta FORTRAN

Linguaggio di programmazione: Lahey FORTAN-77

Altre richieste di software: No

Referenze tecniche: Alcune informazioni nella bibliografia

Contatti: Dr Allan Walker Horticulture Ricerca International Wellesbourne, Warwick CV35 9EF, UK

PESTLA

Nome e versione: PESTLA 3.3

Titolo: PESTicide Leaching and Accumulation.

Ultima revisione: Febbraio 1998

Scopo: Ricerca, didattica, gestione aziendale

Soggetto: Scienze ambientali.

Scala: campo

Descrizione: PESTLA descrive il comportamento dei pesticidi nel suolo. Esso è collegato con il modello SWAP 2.0 per la simulazione del movimento dell'acqua e del calore nel terreno (descritti tramite rispettivamente la legge di Darcy e di Fourier). PESTLA è basato sull'equazione di convezione/dispersione per il trasporto nella fase liquida e sulla seconda legge di Fick per il trasporto diffusivo nella fase vapore e in quella liquida. Il drenaggio laterale è simulato assumendo una distribuzione esponenziale nella zona satura per il tempo di passaggio. La costante di Henry è funzione della temperatura. L'adsorbimento è descritto con il modello di Freundlich a due siti: il sito 1 è di equilibrio mentre quello 2 è cinetico (1 ordine). Ambedue i coefficienti di adsorbimento quello di equilibrio e quello di non equilibrio sono considerati proporzionali al contenuto di sostanza organica. La trasformazione è considerata come un processo con cinetica del primo ordine e dipende da temperatura, umidità e profondità del suolo. È possibile simulare sino a tre prodotti di degradazione. La traslocazione radicale è considerata come un processo passivo, il pesticida può essere applicato al suolo, incorporato o iniettato. Gli effetti della tecnica di aratura possono essere considerati. Il modello è usato per la registrazione dei pesticidi in Olanda.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: flussi dei pesticidi, velocità di traslocazione, trasformazione e adsorbimento del pesticida.

Numero di variabili cinetiche: 5.

Variabili di stato: concentrazione del pesticida nel suolo, contenuto di pesticida adsorbito al sito di non equilibrio.

Numero di variabili di stato: 2.

Dati di input: profilo di sostanza organica, densità apparente, lunghezza della dispersione, dati sulla trasformazione e sull'adsorbimento del pesticida, solubilità in acqua e tensione di vapore alla saturazione del pesticida, parametro per la traslocazione radicale

Numero dati di input: Circa 20.

Dati di output: Vedi 'Variabili di stato' più valori cumulativi delle variabili cinetiche, concentrazione del pesticida in falda e nelle acque di drenaggio, perdite per volatilizzazione

Numero dati di output: circa 50.

Scala temporale: 1 giorno.

Scala spaziale: da 1 m² a 1 ha.

Pubblicazioni: Boesten, J.J.T.I. & A.M.A. van der Linden, 1991. Modeling the influence of sorption and transformation on pesticide leaching and persistence. *Journal of Environmental Quality* 20: 425-435.

Boesten, J.J.T.I., 1994. Simulation of bentazon leaching in sandy loam soil from Mellby (Sweden) with the PESTLA model. *Journal of Environmental Science and Health A29*: 1231-1253.

Boesten, J.J.T.I. & B. Göttesbüren, 1997. Testing PESTLA by two modellers for bentazone and ethoprophos in a sandy soil. *Agr. Water Management* (submitted).

Caratteristiche tecniche

Hardware: PC con almeno 4 MB di RAM e operante sotto Windows

Linguaggio di programmazione: Microsoft FORTRAN e Delphi per l'interfaccia grafica

Altro software richiesto: SWAP 2.0

Contatti: F. van den Berg

Indirizzo: DLO Winand Staring Centre, P.O.Box 125, 6700 AC Wageningen, The Netherlands.

PESTRAS

Nome e versione: PESTRAS 3.1

Titolo: PESTicide Transport ASsessment

Ultima revisione: Febbraio 1998

Scopo del modello: Ricerca, didattica, gestione aziendale

Nuova versione in preparazione: si (PESTRAS and PESTLA saranno uniti in un nuovo modello: PEARL)

Soggetto: scienza ambientale.

Scala: campo

Descrizione: PESTRAS descrive il comportamento dei pesticidi nel suolo, includendo il modello SWIF per simulare il flusso dell'acqua e il modello HEATRAS per simulare il flusso del calore nel terreno (descritto con le leggi di Darcy e Fourier). PESTRAS è basato sull'equazione di convezione/dispersione per il trasporto nella fase liquida e sull'equazione di diffusione per il trasporto di tipo diffusivo nelle fasi liquida e gassosa. (seconda legge di Fick). L'adsorbimento è descritto secondo il modello di equilibrio di Freundlich. Il coefficiente di adsorbimento è posto proporzionale al contenuto di sostanza organica del suolo. La trasformazione è descritta con una cinetica del primo ordine e dipende da umidità, temperatura e profondità del suolo. È possibile seguire la formazione ed il destino di oltre 20 metaboliti. La traslocazione radicale è passiva. Il pesticida può essere applicato al suolo, incorporato o iniettato nel suolo. Si possono considerare gli effetti delle operazioni di aratura. Il modello è usato nelle procedure di registrazione olandesi come strumento di screening.

In GeoPESTRAS PESTRAS è stato accoppiato a un sistema GIS. Questo sistema è usato per calcolare la quantità totale di residui di pesticida che arriva in falda in Olanda.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: flusso del pesticida nell'acqua, traslocazione, trasformazione e formazione del pesticida o dei suoi metaboliti.

Numero di variabili cinetiche: 4.

Variabili di stato: Concentrazione del pesticida nel suolo

Numero di variabili di stato: 1.

Dati di input: profilo nel suolo della sostanza organica e della densità apparente, dispersività, dati sulla trasformazione e sull'adsorbimento del pesticida, parametri sulla traslocazione.

Numero dati di input: Circa 20.

Dati di output: Vedi 'Variabili di stato' più valori cumulativi delle variabili cinetiche, concentrazione dei pesticidi nell'acqua di falda, velocità di volatilizzazione, concentrazione media pesata nello strato arabile.

Numero dati di output: Circa 50.

Scala temporale: 1 giorno.

Scala spaziale: da 1 m² a 1 ha.

Pubblicazioni: A. Tiktak, F.A. Swartjes, R. Sanders, P.H.M. Janssen. 1994. Sensitivity analysis of a model for pesticide leaching and accumulation. p. 471 - 484. In: J. Grasman and G. van Straten (eds.) Predictability and non-linear modelling in natural sciences and economics. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Caratteristiche tecniche

Hardware: PC pentium operante sotto windows95 o windows NT. Workstation lavorante sotto UNIX. RAM consigliata; 16 MB o più (Windows NT 64 MB) è raccomandato.

Linguaggio di programmazione: Selford FORTRAN77.

Altro software richiesto: SWIF (distribuito con PESTRAS)

Contatti: A. Tiktak

Indirizzo: RIVM, Soil and Groundwater Laboratory, P.O.Box 1, 3720 BA Bilthoven, The Netherlands.

PLM

Nome e versione: PLM 3

Titolo: Pesticide Leaching Model.

Ultima revisione: Gennaio 1996.

Scopo: Aiuto nella ricerca e nella gestione
Ricerca, gestione aziendale, didattica

Nuova versione in preparazione: Si.

Soggetto: Scienza del suolo, protezione delle colture, scienze ambientali, altro.

Scala: da lisimetro a campo.

Descrizione: Il modello simula la percolazione e la degradazione di pesticidi ed altre sostanze organiche attraverso il suolo sino alla profondità di circa 3 metri. Esso simula la rapida percolazione di residui di composti anche per drenaggio nei macropori del suolo. È particolarmente utile per la simulazione di esperimenti lisimetrici. Il movimento dell'acqua è simulato mediante metodi empirici. La degradazione dei pesticidi è calcolata come funzione della profondità, della temperatura e del contenuto di acqua nel suolo. L'adsorbimento è calcolato usando un coefficiente lineare come funzione della profondità e, per lo strato superficiale del terreno, con un incremento nel tempo dopo l'applicazione.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Coefficienti di degradazione e di adsorbimento, percolazione nei macropori e negli altri pori del suolo.

Numero di variabili cinetiche: 6

Variabili di stato: Contenuto di acqua nel suolo e concentrazione dei pesticidi nel suolo e nell'acqua.

Numero di variabili di stato: 3

Dati di input: Clima: dati giornalieri di pioggia, evaporazione, temperatura dell'aria massima e minima. Suolo: deficit iniziale di acqua, field capacity, densità apparente, fattori empirici per i macropori. Pesticidi: dose di applicazione, tempo di semivita, coefficiente di adsorbimento.

Numero dati di input: 22

Dati di output: Contenuto di acqua nel suolo, acqua drenata, concentrazione del pesticida nel suolo e nell'acqua.

Numero dati di output: 17

Scala spaziale: PLM è un modello puntuale a scala di campo.

Scala temporale: La simulazione avviene a scala giornaliera e il modello può simulare alcuni anni anche se due sono raccomandati.

Caratteristiche tecniche

Hardware: 386DX.

Linguaggio di programmazione: C++ Microsoft.

Altre richieste di software: Sistema operativo DOS.

Contatti: P Nicholls IACR-Rothamsted, Harpenden, Herts, AL5 2JQ, UK.

RUSLE

Nome e versione: RUSLE

Titolo: Revised Universal Soil Loss Equation.

Tipo di programma: Simulation model/module.

Soggetto: Soil science.

Descrizione: RUSLE is an empirical model for predicting erosion in the form of annual soil loss. This in turn can be used to assist in making field-management decisions that affect soil loss. Can be incorporated in more comprehensive models, such as EPIC* and AGNPS to permit more complete problem resolutions involving surface water quality. Model solves the equation $A = RKLSCP$ where A is the computed annual soil loss; R is the rainfall-runoff erosivity factor, K is a soil erodibility factor; LS is a topographic factor combining slope length (L) and slope steepness (S); C is a cover-management factor; and P is a supporting practices factor. RUSLE computes values for each of these factors based on input data describing the field, climate, and management conditions. Keywords: soil loss, erosion, water. Global change implications: RUSLE could potentially have a large impact on knowledge of soil erosion rates for various locations around the world. EPIC*, for example, has been used widely in over 20 different countries; one component in EPIC* is the USLE. The USLE was very sensitive to the C factor used for each cell; in many cases this value was estimated. It is hoped that modifications to determining the C factor may improve estimates of soil erosion.

Caratteristiche scientifiche

Dati di input: Existing model data files include the: (1) city database (the city database contains climate parameter and variable values for hundreds of United States cities), (2) crop database (the crop database contains plant data representing above-ground and below-ground characteristics), and (3) operation database (the operations database contains farming and soil-disturbing factors). The crop and operations databases contain information describing a variety of agronomic crops and a wide range of field operations. Model input data source: User-defined data files may be used to supplement and modify existing model databases (city, crop, and operations).

Dati di output: Annual soil loss, and values for the five model parameters (R, K, LS, C, and P).

Intervallo di tempo della simulazione: Temporal scale: Average annual soil loss, but simulation done on twice-monthly basis.

Scala spaziale: Spatial scale: Hill slopes on a per-unit-width basis.

Parentage: RUSLE is a modified version of the USLE model.

Caratteristiche tecniche

Hardware: IBM 386 PC or compatible with hard disk and math co-processor.

Linguaggio di programmazione: C.

Contatti: Mr. K. Renard. United States Department of Agricultural, Agricultural Research Service (USDA-ARS), 2000 East Allen Road, Tucson, AZ 85719 UNITED STATES.

SHIELD 1.0

Titolo: Simulation of Hedgerows Intervention against Erosion and Land Degradation.

Ultima revisione: November 30th, 1994.

Soggetto: Soil science, and environmental science.

Descrizione: SHIELD calculates the effect of hedgerows on runoff, soil loss and maize yield. Crop growth simulation is based on SUCROS* and MAIZE*, but the water balance has been changed extensively. The amount of excess water runs off. Infiltration depends on management and is calculated with a set of algorithms that will be published shortly. Loss of soil is calculated through the calculation of the sediment concentration in runoff. Climatic data are read from the CABO/TPE Weather System* files, with inclusion of rainfall intensity data.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Crop specific variables (development, photosynthesis, maintenance, growth, evaporation, transpiration) and soil specific variables (infiltration, hydraulic conductivity, etc.).

Numero di variabili cinetiche: 81.

Variabili di stato: Crop variables (grain weight, cob weight, biomass) and soil variables (water content, amount of water in the soil, drainage, runoff).

Numero di variabili di stato: 81.

Dati di input: Slope, latitude, climatic data, crop species specific data (physiological and morphological) and soil data (infiltration, texture, soil organic matter content).

Numero dati di input: 140 + climatic data.

Dati di output: Maize yield, total runoff, total soil loss and any other rate or state variable desired.

Numero dati di output: Optional.

Intervallo di tempo della simulazione: 1 day.

Scala spaziale: m² - ha.

Parentage: SUCROS*, MAIZE* and MASQUE*.

Caratteristiche tecniche

Hardware: IBM compatible PC/AT >= 640 Kb RAM.

Linguaggio di programmazione: FST*.

Altre richieste di software: FORTRAN-77, TTUTIL* and CABO/TPE Weather System*.

Contatti: Dr. P. Kiepe.

Indirizzo: Grevingaheerd 166, 9737 ST Groningen, THE NETHERLANDS.

SIMULAT

Nome e versione: SIMULAT

Titolo: SIMULAT, non è un acronimo

Ultima revisione: Gennaio 1998

Scopo: Ricerca, gestione aziendale, didattica

Soggetto: Scienza del suolo, dinamica dei nutrienti e dell'acqua, destino dei pesticidi, crescita delle colture

Descrizione: SIMULAT è un sistema composto da diversi modelli matematici che simulano il trasporto di sostanze (bio)degradabili nel suolo. SIMULAT accoppia i processi fisici e chimico-fisici con i processi biologici a livello della popolazione microbica che avvengono nel suolo. SIMULAT è composto da modelli matematici fatti da equazioni differenziali parziali ed ordinarie che descrivono i seguenti processi trasporto dell'acqua nel suolo (saturo/insaturo, equazione di Richards) a diverse condizioni del limite inferiore, trasporto dei soluti solo di quelli mobili utilizzando l'equazione di convezione dispersione, trasporto di acqua e soluti nei macropori, temperatura del suolo, fusione della neve, evaporazione e traspirazione dell'acqua, intercettazione delle colture, crescita delle colture, dinamica dell'azoto e dello zolfo, (bio)degradazione dei pesticidi.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: velocità di degradazione e di trasformazione, velocità di adsorbimento per pesticidi e nutrienti, conducibilità idraulica, velocità di crescita delle piante e della popolazione microbica.

Numero di variabili cinetiche: dipende dai sottomodelli scelti

Variabili di stato: contenuto di acqua e potenziale del suolo, contenuto di sostanze chimiche, temperatura del suolo e biomassa

Numero di variabili di stato: dipende dai sottomodelli scelti

Dati di input: parametri del suolo (densità apparente curva di ritenzione e di conduttività), condizioni iniziali delle variabili di stato, dati climatici giornalieri (in funzione dei modelli scelti), variabili cinetiche (come sopra).

Numero dati di input: dipende dai sottomodelli scelti e dal numero di orizzonti del suolo

Dati di output: Tutte le variabili di stato, informazioni sui flussi e i bilanci di massa

Numero dati di output: dipende dai sottomodelli scelti

Scala temporale: ≤ 1 giorno, da minuti a decenni

Scala spaziale: modello puntuale

Caratteristiche tecniche

Hardware: PC con DOS o Windows

Linguaggio di programmazione: Borland Pascal

Altre richieste di software: no

Contatti: Prof. Dr. Bernd Diekkrüger, Geographical Institute, University of Bonn, Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn, Germany

SOILN 8.0

Ultima revisione: December, 1994.

Tipo di programma: Simulation model/module.

Soggetto: Crop science, soil science, and environmental science.

Livello di aggregazione: Cropping system/animal husbandry system.

Descrizione: SOILN simulates carbon and nitrogen flows both in soil and plant of agricultural land. The soil mineral nitrogen pools receive nitrogen by mineralization of litter and humus, nitrification, fertilisation and deposition and lose nitrogen by immobilization to litter, nitrification, leaching, denitrification and plant uptake. It is also influenced by vertical redistribution. All biological processes depend on soil water and temperature conditions. The soil is divided into layers from which plant is taken nitrogen in various rate. Uptake depends on plant growth. Each plant is divided into two pools (biomass and nitrogen). Leaves take up carbon and roots take up nitrogen. Stem pool is used for storage as is the grain pool during grain development. Leaf area captures the radiation to be used in photosynthesis. Actual growth is the potential growth (which is proportional to radiation intercepted) reduced by non optimal temperature, leaf nitrogen concentration and transpiration. The nitrogen demand is proportional to the daily growth. Actual uptake is the lowest value of demand and the amount available in soil which is a fraction of the mineral nitrogen.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Depends on application.

Numero di variabili cinetiche: Soil: 19 per layer, soil surface 11, plant 6-29.

Variabili di stato: Carbon and nitrogen; fences, litter, humus, nitrate, ammonium, fertilizer, above ground litter, leaves, stems, roots, grains, perennial pools, available assimilates.

Numero di variabili di stato: Soil: 7 per layer, soil surface 3, plant 6-14.

Dati di input: Weather data and soil water and heat data, fertilisation.

Numero dati di input: 5 + 4 per layer.

Dati di output: Depends on application.

Numero dati di output: > 100.

Intervallo di tempo della simulazione: Days - years.

Scala spaziale: Ha.

Pubblicazioni : Eckersten, H. & P.-E. Jansson, 1991. Modelling water flow, nitrogen uptake and production for wheat. Fertilizer Research 27: 313-329

Eckersten, H., 1994. Modelling daily growth and nitrogen turnover for a short rotation forest over several years. Forest Ecology and Management 69: 57-72

Johnsson, H., L. Bergstrom, P.-E. Jansson & K. Paustian, 1987. Simulation of nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. Agriculture, Ecosystems and Environment 18: 333-356

Parentage: Normally based on SOIL-model simulations.

Caratteristiche tecniche

Hardware: Preferable 486 processor.

Linguaggio di programmazione: Microsoft FORTRAN and C.

Altre richieste di software: PC-based IBM, MS-DOS.

Contatti: Prof. P.-E. Jansson. **Indirizzo:** Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Soil Sciences, P.O.Box 7014, S-75007 Uppsala, SWEDEN.

SOILFUG

Nome e versione: SoilFug, Versione 1.2

Titolo: Soil Fugacity model, un modello per la previsione della concentrazione dei pesticidi nelle acque superficiali.

Ultima revisione: Dicembre 1996.

Soggetto: Può essere usato come strumento gestionale. Permette il calcolo della concentrazione di sostanze chimiche nello strato superficiale del suolo dopo ripetute applicazioni e le sue perdite per volatilizzazione, degradazione, runoff e percolazione. Calcola anche la concentrazione nelle acque di ruscellamento a scala di bacino e di campo.

Scopo: ricerca, gestione aziendale, didattica

Nuova versione in preparazione: Sì.

Scala: azienda, bacino

Descrizione: SoilFug è un modello che permette di predire la contaminazione potenziale delle acque superficiali data dall'uso di pesticidi in agricoltura. Usa l'approccio della fugacità proposto da Mackay a scala di bacino per l'ambiente suolo e calcola la partizione delle sostanze chimiche applicate nella fase suolo e le possibili contaminazioni delle acque superficiali durante gli eventi piovosi, partendo dall'inizio della pioggia e sino a quando i corsi d'acqua non ritornano al loro livello iniziale. Richiede per il funzionamento un limitato numero di parametri e dà come risultato una concentrazione media del pesticida nelle acque in uscita dal bacino considerato. SoilFug è essenzialmente un modello di non equilibrio ma durante gli eventi piovosi diventa un modello di equilibrio. Tiene conto delle perdite di pesticida in accordo con differenti fenomeni (degradazione, volatilizzazione, runoff), ma poi calcola la partizione tra le differenti fasi in accordo con il livello 1 (di equilibrio) durante gli eventi piovosi. Il modello considera 4 differenti compartimenti nel suolo: suolo aria, suolo acqua, sostanza organica e sostanza minerale.

SoilFug ha un'interfaccia user-friendly e funziona in ambiente Windows (3.1 e successive versioni). Si ha la possibilità di costruire grafici con i valori predetti e gli eventuali valori misurati.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: assorbimento, degradazione, volatilizzazione, pioggia e portata dei canali.

Numero delle variabili cinetiche: circa 8.

Variabili di stato: Fugacità nel suolo.

Numero delle variabili di stato: 1.

Dati di input: proprietà chimico-fisiche delle sostanze chimiche (peso molecolare, coefficiente di partizione ottanolo-acqua, o coefficiente di partizione carbonio organico acqua, coefficiente di partizione acqua-sostanza minerale, tensione di vapore, solubilità in acqua), proprietà del suolo (profondità del suolo, temperatura, frazione volumetrica di aria, acqua, fase organica e minerale, area del bacino), dati sugli eventi piovosi (pioggia e portate dei canali, durata degli eventi), dati sull'applicazione (quantità e data di applicazione, area trattata).

Numero dati di input: circa 20.

Dati di output: concentrazione nella fase suolo, concentrazione nelle acque superficiali, perdite per ciascun periodo e meccanismo coinvolto (volatilizzazione, degradazione, runoff).

Numero dati di output: circa 20.

Scala temporale: numero illimitato di eventi piovosi (ciascuno variante da 1 giorno a pochi giorni).

Scala spaziale: Ha

Pubblicazioni: Di Guardo A., Calamari D., Zanin G., Consalter A., Mackay D. (1994): A Fugacity Model of Pesticide Runoff to Surface Water: Development and Validation, *Chemosphere*, 23, 511-531.

Di Guardo A., Williams R.J., Matthiessen P., Brooke D.N., Calamari D. (1994). Simulation of Pesticide Runoff at Rosemaund Farm (UK) Using the SoilFug Model *Environ. Sci. & Pollut. Res.* 1:151-160.

Barra R., Vighi M., Di Guardo A. (1995): Prediction of Surface Water Input of Chloridazon and Chlorpyrifos from an Agricultural Watershed in Chile, *Chemosphere*, 30, 485-500.

Caratteristiche tecniche

Hardware: Personal Computer minimo 486 e Windows 3.1 e versioni successive.

Linguaggio di programmazione: Visual Basic, Microsoft Corporation.

Altre richieste di software: No

Referenze tecniche: Published papers.

Contatti: Dr Antonio Di Guardo, University of Milan, Dept. of Structural and Functional Biology VARESE (VA)

VARLEACH

Nome e versione: VARLEACH

Titolo: VARIability in LEACHing

Ultima revisione: Gennaio 1998

Scopo: Ricerca

Nuova versione in preparazione: No

Soggetto: Scienza del suolo, protezione delle colture, studio dei pesticidi.

Descrizione: Il modello utilizza inputs climatici giornalieri per simulare la ridistribuzione dei residui di pesticidi lungo il profilo del suolo. Il modello considera l'influenza di temperatura ed umidità del suolo sulla velocità di trasformazione del pesticida ed assume un coefficiente lineare di adsorbimento che cresce nel tempo nello strato superficiale di terreno. Il modello è stato sviluppato inizialmente come CALF leaching model (Nicholls et al., *Pesticide Science*, 13, 484-494, 1982). Il suo principale uso è quello di simulare il movimento dei pesticidi verso gli strati profondi sebbene può anche simulare la quantità di pesticida percolata alla profondità di 1 metro. Il movimento dell'acqua è simulato con un approccio capacitativo ma incorpora il concetto di acqua mobile/immobile con una divisione delle due a un potenziale -200 kPa. Il bilancio idrologico prevede anche perdite di acqua per evaporazione dal suolo.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Degradazione, adsorbimento

Numero di variabili cinetiche: 2

Variabili di stato: Contenuto di acqua nel suolo e sua distribuzione; concentrazione e distribuzione del pesticida

Numero di variabili di stato: 2

Dati di input: Parametri del suolo (contenuto di acqua a -10kPa; densità apparente)

Dati climatici (valori giornalieri di temperatura dell'aria massima e minima e pioggia)

Variabili di sito (altitudine e latitudine)

Parametri del pesticida (tempo di semivita, coefficiente di adsorbimento, solubilità in acqua)

Numero dati di input: 12

Dati di output: Contenuto di acqua nel terreno, acqua drenata, concentrazione del pesticida alle diverse profondità e quantità percolata; quantità totale persa per percolazione.

Numero dati di output: 6

Scala temporale: 0.01 giorni

Scala spaziale: Modello puntuale

Pubblicazioni: *Pesticide Science* 13, 484-494, 1982; *Weed Research* 27, 143-152, 1987; *Weed Research* 36, 37-47, 1996.

Caratteristiche tecniche

Hardware: Qualsiasi computer che supporta FORTRAN

Linguaggio di programmazione: Lahey FORTRAN-77

Altre richieste di software: No

Contatti: Dr Allan Walzer, Horticulture Research International, Wellesbourne, Warwick CV35 9EF, UK

WAVE 2.0

Nome e versione: WAVE 2.0

Titolo: A mathematical model for simulating Water and Agrochemicals in the soil and Vadose Environment.

Ultima revisione: Novembre 1995.

Scopo: Ricerca, didattica, gestione aziendale

Nuova versione in preparazione:

Soggetto: Agronomia, scienza del suolo e dell'ambiente.

Scala: Azienda agricola.

Descrizione: WAVE è un modello che descrive il flusso dell'acqua, del calore e dei soluti (in particolare agrochimici) nella zona radicale del terreno. Il modello contiene 6 moduli: movimento dell'acqua, flusso dei soluti, flusso del calore, crescita delle colture, trasformazione dell'azoto e trasformazione dei pesticidi. Il flusso dell'acqua è modellato utilizzando l'equazione di Richards. La parametrizzazione idraulica comprende opzioni per considerare l'isteresi e la porosità duale. Il trasporto dei soluti considera flusso in condizioni di non equilibrio. Il modulo dell'azoto considera sia un pool organico che inorganico. La sostanza organica del suolo è divisa in tre frazioni. Il destino dei pesticidi è descritto con una cinetica del primo ordine. La crescita delle colture è governata dalla fotosintesi e dai parametri fenologici.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Dipende dalla simulazione al massimo 30.

Numero di variabili cinetiche: Dipende dalla simulazione al massimo 30.

Variabili di stato: Umidità del suolo, potenziale idrico, concentrazione dei soluti, temperatura del suolo, sostanza secca della coltura, sostanza organica della coltura, contenuto di azoto nella coltura, etc.

Numero di variabili di stato: Dipende dalle scelte.

Dati di input: Dati climatici (pioggia, evapotraspirazione, temperatura dell'aria, umidità relativa, radiazione solare), dati sul suolo (ritenzione, conducibilità, dispersività, tessitura), uso del terreno (fertilizzanti, etc.).

Numero dati di input: Dipende dalle scelte.

Numero dati di output: Dipende dalle scelte.

Scala temporale: < giorno.

Scala spaziale: Campo.

Pubblicazioni: Vanclouster, M., P. Viaene, J. Diels & J. Feyen, 1995. A deterministic validation procedure applied to the integrated soil crop model WAVE. Ecological Modelling. (In Press).

Vanclouster M., 1995. Nitrogen transport in soil: theoretical, experimental and numerical analysis. Ph.D. Thesis, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen. 220 pp.

Dust M., 1995. Comparison of the results from a two year lysimeter experiment on degradation and transport of clopyralid in soil with results of calculations using WAVE and PELMO models. Inaugural dissertation zur Erlangung des Grades Doktor in Agrarwissenschaften der Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich Wilhelms Universität zu Bonn. 154pp.

Normand B, 1996. Etude expérimentale et modélisation du devenir de l'azote dans le système sol-plante-atmosphère. UJF, Grenoble, INPG-UJF-CNRS. 190 pp.

Droogers P., 1997. Quantifying differences in soil structure induced by farm gestione. LU Wageningen, 134 pp.

Verhagen J., 1997. Spatial soil variability as a guiding principle in nitrogen gestione. LU Wageningen. 107 pp.

Caratteristiche tecniche

Hardware: PC, UNIX, MAC.

Linguaggio di programmazione: Microsoft FORTRAN.

Altro software richiesto: No

Contatti: Dr. M. Vanclouster, Université Catholique de Louvain, Département des Sciences du Milieu et de l'Amenagement du Territoire, Place Croix du Sud 2, Bte 2, B-1348 Louvain-la-Neuve, BELGIUM.

WEPP 95.7

Titolo: The Water Erosion Prediction Project Model.

Ultima revisione: August, 1995.

Tipo di programma: Simulation model/module.

Soggetto: Soil science, and environmental science.

Livello di aggregazione: Other: small watershed level.

Descrizione: Replace USLE, RUSLE* as erosion prediction tool for United States erosion assessment, conservation planning, environmental impact WEPP is a continuous simulation model used to predict soil erosion for conservation planning and assessment of environmental impacts. The model was developed to replace the USLE and RUSLE* as a soil erosion prediction system. The model is designed for use on non-gauged areas of less than 640 acres. The model simulates daily erosion and incorporated aspects such as: Climate-stochastic weather generator (CLIGEN). Infiltration: 1 - layer green ampt infiltration (time variant conductivities). Water balance: up to 1.8 meter soil depth, evapotranspiration, percolation. Winter: snowmelt, frozen soils, frost lenses. Runoff: kinematic wave for flows. Erosion: process based rill/inter-rill source equations. Deposition: uses Yalin transport capacity-deposition. Slope: curvilinear (parabolic slope segments). Daily plant growth, tillage, operations, residue and root decay. Keywords: erosion hydrology, plant growth, Green and Ampt Infiltration, residue decomposition, tillage, sediment yield, decomposition, climate generation. Global change implications: This model is relevant to investigations of land use and conservation of agricultural resources. Changing climates can be input to determine the effects of changes in long-term soil erosion characteristics of an area.

Caratteristiche scientifiche

Variabili cinetiche: Detachments, transport, deposition, evapotranspiration, infiltration, runoff.

Numero di variabili cinetiche: > 100.

Variabili di stato: Temperature, soil moisture, canopy cover, residue cover, soil roughness.

Numero di variabili di stato: > 100.

Dati di input: Climate: CLIGEN generated or measured data. Soil: Effective GA conductivity (guidelines and Slope- Slope/ segments along hillslope / channel flow path est. procedure provided). Plant: Crop/Tillage database provided-user must input specific management dates. Rill/Inter-rill Erodibility: texture, OM, CEC, rocks. Model input data source: Climate: CLIGEN. Soil: SCS soils database. Slope: Topographic map of field measurements of soil map. Management: Site/Region specific.

Numero dati di input: > 200.

Dati di output: Daily model output includes runoff volumes and peaks, plant-canopy, biomass, residue cover, roots, buried residue, soil detachment-along hillslope/channel, deposition, sediment yield, soil water by layer, snow melt/frost lenses, sediment size distributions. In addition to the daily information, the model also provides the user with the option of average annual, detailed annual, and monthly runoff and erosion summary reports.

Numero dati di output: > 200.

Intervallo di tempo della simulazione: Single storm or continuous 1-100 years or more.

Scala spaziale: Spatial scale: Small-up to 640 acres. No perennial stream or classical gully processes.

Parentage: Some portions of WEPP were derived from other models, including CREAMS, and Epic

Caratteristiche tecniche

Hardware: IBM or compatible PC. Run time on 486 machine approximately 10 seconds per year. Requires 386 to run the interface (w/co-processor).

Linguaggio di programmazione: Microsoft FORTRAN for model. C for interface/file builders.

Altre Contatti: Mr. D.C. Flanagan.

Indirizzo: United States Department of Agricultural, Agricultural Research Service (USDA -ARS), Midwest Area, National Soil Erosion Research Laboratory, 1196 SOIL Building, West Lafayette, IN 47907-1196 UNITED STATES.