

I GEORGOFILI

Quaderni

2008 - I

Sezione Centro-Est



**STRUMENTI INFORMATICI
PER LA GESTIONE SOSTENIBILE
DEL TERRITORIO E/O
DELL'AZIENDA AGRARIA**

21 Febbraio 2008

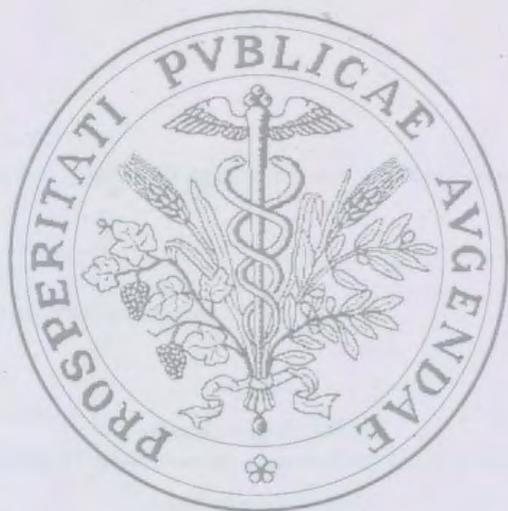
Ancona

I GEORGOFILI

Quaderni

2008 - I

Sezione Centro-Est



STRUMENTI INFORMATICI PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEL TERRITORIO E/O DELL'AZIENDA AGRARIA

21 Febbraio 2008

Ancona

Si ringraziano
ASSAM Regione Marche
che ha sponsorizzato il progetto dal quale è nato FitoMarche
ARPAM Regione Marche
per la fornitura dei dati di monitoraggio nei pozzi

Copyright © 2008
Accademia dei Georgofili
Firenze
<http://www.georgofili.it>

Responsabile redazionale:
comitato redazionale Sezione Centro-Est dei Georgofili
N.G. Frega, E. Boselli, N. Isidoro, R. Papa, D. Pacetti

Impaginazione grafica e stampa:
Emmepiesse, Ancona

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a "I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili"
Anno 2008 - Serie VIII - Vol. 5 (184° dall'inizio)

INDICE

COSTANTINO VISCHETTI	
<i>La simulazione del destino degli agrofarmaci a scala regionale</i>	9
MARCO TREVISAN	
<i>Strumenti informatici ed ambiente</i>	17
ANDREA DI GUARDO	
<i>Il software FitoMarche</i>	29
MATTEO BALDERACCHI	
<i>L'applicazione di fitomarche in regione</i>	41

Presentazione

Questo volume riporta i contenuti delle relazioni presentate al Convegno "Strumenti informatici per la gestione sostenibile del territorio e/o dell'azienda agraria", organizzato dalla Sezione Centro-Est dell'Accademia dei Georgofili presso la facoltà di Agraria dell'Università Politecnica delle Marche il 24 febbraio 2008.

L'introduzione di modelli utili alla gestione del territorio agricolo ha permesso di risolvere molti problemi legati all'uso degli agrofarmaci, fornendo un valido supporto alle decisioni a livello di istituzioni pubbliche e di assistenza alle aziende agricole per ottimizzare le strategie di coltivazione legate all'uso di prodotti chimici. Un altro settore interessato da questi strumenti è quello della procedura di registrazione di nuove molecole prodotte dalle industrie per il capitolo riguardante il "Destino e comportamento ambientale".

L'intento che si propone questa pubblicazione è quello di sensibilizzare le Istituzioni pubbliche e le imprese sull'applicazione degli strumenti informatici al territorio regionale e nazionale per la redazione di mappe di vulnerabilità specifica che potranno aiutare nelle decisioni riguardanti le restrizioni ed i divieti e nei piani di monitoraggio.

Ringrazio sentitamente gli Autori di questo volume per aver posto le basi per un avanzamento fattivo del contributo del settore agricolo alla salvaguardia dell'ambiente.

Il Presidente della Sezione Centro-Est

NATALE GIUSEPPE FREGA

La simulazione del destino degli agrofarmaci a scala regionale

I. INTRODUZIONE

Un modello può essere definito come una rappresentazione semplificata di una porzione di realtà. La definizione "rappresentazione semplificata" deriva dal fatto che la realtà è rappresentata tramite processi che vengono resi espliciti con simboli matematici ed inseriti in algoritmi che cercano di imitare la realtà. Generalmente vengono rappresentati solamente un numero limitato di processi o di aspetti in quanto il modello nasce spesso per rappresentare "una parte di realtà".

In campo agricolo, uno dei problemi più importanti dal punto di vista ambientale è quello dovuto all'uso di agrofarmaci che, se da un lato ha permesso di aumentare la produttività delle colture, dall'altro ha creato problemi riguardo al possibile impatto sull'alimentazione umana e sull'ambiente.

Il comparto più interessato da questi prodotti è senz'altro il terreno dove essi finiscono in quantità più o meno elevate e dove possono subire un destino molto complesso nel quale l'ambiente naturale può essere visto come formato da diversi comparti ambientali che vanno dall'atmosfera, alla parte di spazio occupata dalle colture, alla zona insatura del terreno ed eventualmente alla zona satura dove è presente la falda idrica.

Per poter anticipare, e quindi minimizzare, impatti negativi sull'ambiente dovuti all'uso degli agrofarmaci è necessario predire il loro destino una volta che vengono rilasciati nell'ambiente. Ciò significa che si deve capire cosa succede ad un agrofarmaco una volta applicato in campo.

L'introduzione di modelli utili a questo scopo ha permesso di risolvere molti problemi legati all'uso degli agrofarmaci soprattutto riguardo alle nuove molecole

* *Dipartimento di Scienze Ambientali e delle Produzioni Vegetali, Facoltà di Agraria, Università Politecnica delle Marche*

prodotte dalle industrie. A questo scopo le industrie produttrici, per la registrazione di nuovi agrofarmaci nei vari Paesi della Unione Europea devono, tra l'altro, presentare un dossier di studi ambientali nel quale risulti che sono state effettuate simulazioni con appositi modelli per la stima delle PEC (Predicted Environmental Concentration) nei vari comparti ambientali, per differenti scenari (combinazioni suolo/clima/coltura) europei.

I modelli comunque possono essere utilizzati per molti altri scopi come ad esempio supporto alle decisioni a livello di istituzioni pubbliche ed assistenza alle aziende agricole per ottimizzare le strategie di coltivazione legate all'uso di prodotti chimici.

2. MODELLI SUL DESTINO DEGLI AGROFARMACI

La seguente tabella illustra i principali modelli per la simulazione del destino degli agrofarmaci nell'ambiente ed i relativi riferimenti bibliografici.

Acronimo	Nome	Riferimenti	Paese di origine	Scopo del modello
CRACK-NP	CRACK-NP (A British model for cracking clay soils)	Armstrong et al. 1996,	Gran Bretagna	Ricerca
GLEAMS	Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Practices	Knisel 1993	Georgia, USA	Gestionale
LEACHM	Leaching Estimation and Chemistry Model	Wagenet & Hutson 1986	New York, USA	Ricerca
MACRO	MACRO (Pesticide fate in macroporous soil)	Jarvis 1991	Svezia	Ricerca
PELMO	PEsticide Leaching MOdel	Jene 1998	Germania	Registrazione
PEARL	Pesticide Emission Assessment at Regional and Local scales	Tiktak et al. 2001	Olanda	Registrazione Ricerca
PRZM	Pesticide Root Zone Model	Carsel et al. 1998	Georgia, USA	Registrazione
RZWQM	Root Zone Water Quality Model	Ahuja et al. 1999	Colorado, USA	Ricerca Gestionale

Tab. 1 *I principali modelli che simulano il destino degli agrofarmaci nell'ambiente*

La maggior parte dei modelli per la previsione del comportamento degli agrofarmaci richiede informazioni su suolo, clima, coltura ed agrofarmaco. Nella Tabella 2 sono riportati i principali input richiesti dai modelli più diffusi.

AGROFARMACO				
adsorbimento	K_{oc} (L kg ⁻¹)	K_d (L kg ⁻¹)	K_f (L kg ⁻¹)	1/n
Volatilizzazione	K_H	Solubilità	Densità di vapore	
degradazione	$t_{1/2}$ (giorni)	$t_{1/2}$ idrolisi	metaboliti	Influenza di T e θ
SUOLO				
	Densità apparente	Carbonio organico	pH	Proprietà idrauliche
COLTURA				
	Densità radicale	Profondità radici	LAI	Fattore di assorbimento
CLIMA				
	Pioggia giornaliera	Velocità di pioggia	Temperature max e min	Evapotraspirazione
GESTIONE				
	Data e dose di applicazione	Profondità di incorporazione	Applicazioni multiple	Lavorazioni

K_{oc} = Costante di adsorbimento del carbonio organico; K_d = coefficiente di distribuzione; K_f = costante di Freundlich; 1/n = esponente di Freundlich, K_H = costante di Henry; $t_{1/2}$ = tempo di emivita; θ = umidità del suolo; T = temperatura

Tab. 2 *Principali input richiesti dai modelli più diffusi*

Alcuni input sono facili da reperire, altri, come le proprietà idrauliche dei suoli, sono difficili da reperire ed anche da misurare, per cui sono state individuate particolari relazioni tra le proprietà chimico-fisiche e quelle idrologiche del suolo (funzioni di pedotransfer) attraverso le quali è possibile calcolare i parametri idraulici (conduttività idraulica, costanti idrologiche ecc.) a partire da dati di tessitura e di densità apparente del suolo.

I processi che sono alla base dei modelli per la simulazione del destino degli agrofarmaci nell'ambiente riguardano il flusso idrico ed il trasporto del soluto lungo il profilo del suolo, i processi chimico-fisici ai quali un composto chimico può essere sottoposto (volatilizzazione, adsorbimento, degradazione) ed i fenomeni ambientali che possono distribuire il prodotto nei vari comparti (scorrimento superficiale, deriva). Vi sono inoltre dei sottomodelli di crescita delle colture che simulano lo sviluppo e la crescita delle piante.

3. PROCEDURA DI REGISTRAZIONE DEGLI AGROFARMACI

Per dettare dei principi uniformi sulla procedura di registrazione di nuove molecole a livello di Stati Membri è nato negli anni 90 un gruppo di lavoro europeo denominato FOCUS (FORum for the Co-ordination of pesticide fate models

and their USE). Il lavoro di questo gruppo si è articolato in più fasi la prima delle quali ha riguardato la produzione di un set di scenari (combinazioni suolo/clima/coltura) rappresentativi dell'agricoltura europea e di modelli 1D (ad una dimensione) validati a livello europeo per la valutazione del potenziale movimento degli agrofarmaci lungo il profilo del suolo e per il calcolo delle PEC (Predicted Environmental Concentrations) di sostanze attive nei prodotti fitosanitari nell'ambito della Direttiva 91/414/EEC. FOCUS è basato sulla cooperazione tra ricercatori delle Agenzie di Registrazione, Accademici e Industria.

Ai fini della registrazione interessa la PEC_{gw}, cioè la concentrazione nell'acqua di falda e viene utilizzato come indicatore l'80° percentile del lisciviato al di sotto di 1 metro considerando 20 anni di simulazioni.

Se questo valore per tutti gli scenari europei individuati non supera il limite di $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$, la nuova molecola è sicura dal punto di vista ambientale e può essere registrata per l'uso richiesto.

Un esempio della procedura descritta è visibile in Figura 1, nella quale è riportato il risultato della simulazione del lisciviato annuo al disotto di un metro nel profilo del suolo di PIACENZA, uno dei 10 scenari FOCUS, simulato per un agrofarmaco x nella coltura di soia con il modello PELMO.

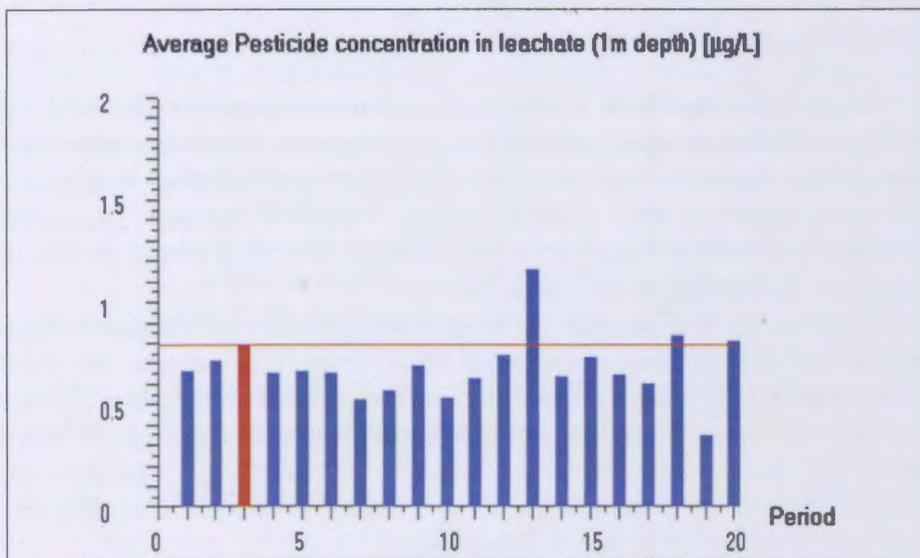


Fig. 1 Concentrazione media annua dell'agrofarmaco x per 20 anni di simulazione con il modello PELMO nello scenario PIACENZA sulla coltura di soia

L'80° percentile calcolato è di $0,79 \mu\text{g L}^{-1}$, molto al di sopra del valore limite di $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$, per cui l'uso di tale prodotto deve essere vietato.

Anche se è l'unica procedura esistente ad oggi per la valutazione dell'impatto ambientale degli agrofarmaci ai fini registrativi, essa presenta diversi punti deboli e notevoli incertezze, quali ad esempio le differenze riscontrate nelle simulazioni con differenti modelli, la scarsa rappresentatività degli scenari, la mancanza di considerazioni sull'eterogeneità dei suoli e la variabilità spaziale dei dati di input.

Queste considerazioni hanno spinto verso una valutazione più dettagliata del destino ambientale, tentando di estendere le simulazioni mono-dimensionali ad intere aree (bacino, regione ecc.) con l'ausilio di tecniche basate sui GIS (Geographic Information Systems) e l'individuazione di nuovi scenari.

Un nuovo gruppo FOCUS opera dal 2004 e, tra gli altri obiettivi, ha quello di stabilire i principi per simulazioni ad alto livello di dettaglio considerando l'approccio gis-based e la combinazione di risultati di simulazione con studi sperimentali (monitoraggio).

4. MAPPE DI VULNERABILITÀ DA AGROFARMACI

La necessità di realizzare modelli gis-based non è soltanto legata a ragioni di carattere registrativo ma anche alla necessità di realizzare mappe di vulnerabilità da agrofarmaci per la pianificazione del territorio e per la predisposizione di piani mirati di monitoraggio.

Il Decreto Legislativo 152/2006 (ex D. L. 152/99) stabilisce le norme in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, trattamento delle acque reflue urbane e protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati e fitofarmaci provenienti da fonti agricole. In particolare il decreto detta disposizioni in materia di accertamento di vulnerabilità intrinseca e specifica del territorio nazionale rispetto agli inquinanti quali nitrati ed agrofarmaci. Un'area viene definita vulnerabile quando l'utilizzo al suo interno dei prodotti fitosanitari autorizzati pone in condizioni di rischio le risorse idriche e gli altri comparti ambientali rilevanti.

La vulnerabilità intrinseca o naturale degli acquiferi si definisce come la "susceptività specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo".

Tra i vari metodi di valutazione, il sistema a punteggi e pesi denominato SINTACS (Civita e De Maio, 1997) è sicuramente fino ad oggi lo strumento più affidabile che possa essere utilizzato per la valutazione della vulnerabilità intrinseca, poiché già applicato con successo su molte aree del territorio italiano. Il metodo prevede l'analisi di una serie di caratteristiche del sito quali profondità dell'acquifero, infiltrazione efficace dell'acqua piovana, caratteristiche dei suoli (sabbiosi, argillosi

ecc.) ed alla fine attribuisce un punteggio alle varie aree e definisce sei classi di vulnerabilità intrinseca che vanno da molto bassa a estremamente elevata.

La compilazione di cartografie di vulnerabilità specifica da agrofarmaci deriva da studi approfonditi ed interdisciplinari e richiede l'uso di modelli di simulazione. Il decreto 152/06 descrive gli aspetti metodologici per la cartografia della vulnerabilità specifica nelle zone dove gli acquiferi sono potenzialmente vulnerabili.

In particolare, per la redazione di mappe di vulnerabilità specifica da agrofarmaci è necessario disporre di tutte le informazioni (input) necessarie per l'area in esame e di strumenti informatici per le simulazioni a scala di bacino.

Le informazioni richieste vanno a costituire i cosiddetti layer informativi o shapefiles e riguardano il suolo (caratteristiche fisiche e chimico-fisiche spazialmente e non spazialmente variabili, carta d'uso del suolo a varie scale), le colture (caratteristiche delle colture e rotazioni classiche) il clima (aree climatiche con caratteristiche omogenee). Gli strumenti informatici da utilizzare devono implementare i modelli 1D (MACRO, PELMO ecc.) con i GIS in modo da effettuare simulazioni su scala 2D che riguardino tutta la superficie dell'area considerata. Il GIS è in grado di gestire la sovrapposizione dei layer informativi per ogni dato di input spazialmente variabile ed i risultati delle simulazioni 1D, utilizzandoli per la redazione di mappe di vulnerabilità specifica per il territorio considerato.

La Figura 2 illustra la procedura di simulazione del movimento degli agrofarmaci lungo il profilo del suolo su base spaziale con l'ausilio di modelli 1D ed il collegamento con i GIS.

Le simulazioni si possono effettuare per un numero stabilito di anni (10 o 20) e come risultato da riportare nelle mappe si estrapola in genere l'80° percentile della concentrazione di agrofarmaco simulata al di sotto di un metro di profondità (valore legale a livello Europeo). Se questo valore eccede il limite massimo per le acque potabili ($0,1 \mu\text{g L}^{-1}$), la zona presenta una elevata vulnerabilità ed è molto pericoloso utilizzare il fitofarmaco simulato in quell'area. Anche in questo caso comunque le mappe di vulnerabilità specifica riportano diversi colori che rappresentano classi di vulnerabilità e si riferiscono agli intervalli di concentrazione simulata.

Tra gli strumenti attualmente disponibili si possono citare GeoPEARL (Tiktak et al., 2003) ed FITOMARCHE (Vischetti et al., 2007). In altri capitoli di questo volume viene descritta in dettaglio la realizzazione di FITOMARCHE ed un esempio applicativo alla Regione Marche.

Il futuro della valutazione del destino ambientale da fitofarmaci è legato alla realizzazione di queste mappe che saranno un valido aiuto sia ai fini della registrazione di nuove molecole sia ai fini dell'individuazione di zone vulnerabili da escludere per le coltivazioni intensive e per l'uso di prodotti specifici.

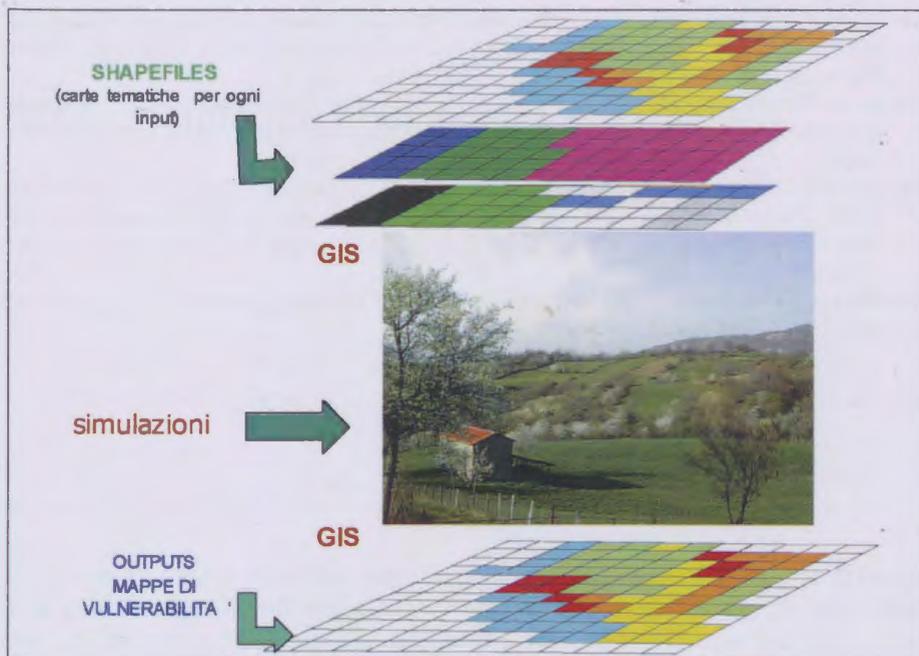


Fig. 2 Procedura di simulazione su base spaziale e di realizzazione di mappe

BIBLIOGRAFIA

- AHUJA L.R., ROJAS K. W., HANSON J.D., SHAFFER M. J., MA L. (Eds.), 1999: *Root zone water quality model – Modelling management effects on water quality and crop protection*, Beta copy, Water Resources Publications LLC, Colorado USA
- ARMSTRONG A.C., MATTHEWS A.M., PORTWOOD A.M., JARVIS N., LEED-HARRISON P.B. 1996: *Crack-NP, A model to predict the movement of water and solutes from cracking clay soil, version 1.1, Technical description and user's guide*, ADAS Land Research Centre, Document Creation Unit, Oxford, UK, 60pp.
- CARSEL R. F., IMHOFF J. C., KUMMEL P. R., CHEPLICK J. M., DONIGAN A. S. J. 1998: *PRZM-3 A model for predicting pesticide and nitrogen fate in the crop root and unsaturated soil zones: User manual for release 3.0*, National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, USA.
- CIVITA M., DE MAIO M., 1997: *SINTACS – Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Metodologia e automatizzazione*. Quaderni di tecniche di Protezione Ambientale, n. 60. Pitagora Editrice, Bologna, pp. 208.
- JARVIS N. (1991) *MACRO – A model of water movement and solute transport in macroporous soils*. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, Reports and Dissertations 9, 58 pp.
- JENE B. 1998. *PELMO 3.00, Manual Extension, Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau, Neustadt, Germany, 16pp.*
- KNISEL W.G. (ed.), 1993. *GLEAMS. Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems. Version 2.10*. Tifton, GA, University of Georgia, Publication n. 5.EPIC

- TIKTAK A., F. VAN DEN BERG, J.J.T.I. BOESTEN, VAN D. KRAALINGEN, M. LEISTRA, A.M.A. VAN DER LINDEN, 2001. Manual of FOCUS PEARL v 1.1.1. RIVM Report 711401008, Alterra Report 28, RIVM, Bilthoven, The Netherlands, 144 pp.
- TIKTAK A., VAN DER LINDEN A. M. A., BOESTEN J. J. T. I., 2003. *The GeoPEARL model. Description, applications and manual*. Netherland Environmental Assessment Agency, Report n. 716601007, 79 pp.
- VISCHETTI C., BALDERACCHI M., DI GUARDO A., BOTTA M., SERRANO A., SORCE A., TREVISAN M. (2007). FitoMarche. In *"Tools to assess pesticide environmental fate. Agrochemicals/APE, EPRIP 2 and FitoMarche software*. M.Balderacchi, R. Bocelli, M. Trevisan (Eds.). La Goliardica Pavese, Pavia, Italy, pp. 101-130.
- WAGNET R. J., HUTSON J. L. (1986) *Predicting the fate of non-volatile pesticides in the unsaturated zone*. J. Environ. Qual., 315-322.

Strumenti informatici ed ambiente

I. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni è diventato imprescindibile l'uso di modelli per la gestione e la pianificazione territoriale. Modelli che permettono di estrapolare i dati puntuali ottenuti con le classiche misure di campo ad aree sempre più vaste come bacini e regioni. L'uso di modelli previsionali è ormai obbligatorio, dal 1995, per la registrazione di agrofarmaci, per prevedere la potenziale contaminazione di acque profonde, superficiali, aria e suolo. Recentemente sono stati sviluppati sistemi integrati con GIS che permettono di sovrapporre di diversi strati di informazione, dall'uso del suolo alle condizioni climatiche, dalle caratteristiche del suolo al reticolo idrografico, e quindi ottenere mappe di vulnerabilità da agrofarmaci/nutrienti a scala regionale. Sistemi di supporto alle decisioni sono sempre più frequentemente sviluppati sia per la gestione di aziende agricole, sia per la pianificazione territoriale a livello regionale e nazionale. Indicatori più o meno complessi sono pure utilizzati per la pianificazione e per la verifica ex-post, specie a livello politico. Infine recentemente modelli complessi che tengano conto di tutte le attività agricole ed ambientali sono in via di sviluppo per una gestione ecocompatibile e sostenibile del sistema agro-forestale. Un esempio è il progetto europeo SEAMLESS. Questa relazione intende dare alcune informazioni riguardo alla possibilità di utilizzare questi strumenti a livello gestionale.

2. PROBLEMI E RISPOSTE

Per prima cosa cercheremo di rispondere ad alcune domande che spesso i neofiti si pongono quando si avvicinano al problema.

1. Per quali usi possono utilizzare i modelli?

* *Università Cattolica del Sacro Cuore, Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale, Piacenza*

- valutazione del rischio per l'ambiente
 - gestione ecocompatibile e sostenibile
 - pianificazione territoriale e mappe di vulnerabilità
 - registrazione di agrofarmaci, dal 1995
 - verifica ex-post delle politiche agricole
2. Quali strumenti informatici/modelli l'utente può utilizzare?
 - Indicatori
 - Sistemi di supporto alle decisioni
 - Modelli
 - Modelli spazializzati
 3. Quali sono gli attori nella modellizzazione (Figura 3)?
 - Gli utenti che interagiscono con la realtà
 - Il modello o meglio il software
 - La realtà con la quale l'utente interagisce
 4. Perché servono indicatori di rischio per gli agrofarmaci?
 - come supporto alle decisioni per gli agricoltori
 - per migliorare le decisioni nelle procedure di gestione del rischio
 - a livello aziendale (p.e. etichetta verde)
 - a livello regionale, nazionale (p.e. valutazione delle scelte di politica agricola)
 5. Perché utilizzare modelli?
 - valutare i problemi causati dall'immissione di agrofarmaci nell'ambiente;
 - selezionare gli agrofarmaci in base alla loro pericolosità in determinati anni a determinate dosi ed a determinati tempi di applicazione;
 - valutare il potenziale rischio di inquinamento delle falde da parte di nuovi prodotti;
 - fornire una guida per la registrazione di nuove molecole proposte dalle case produttrici.

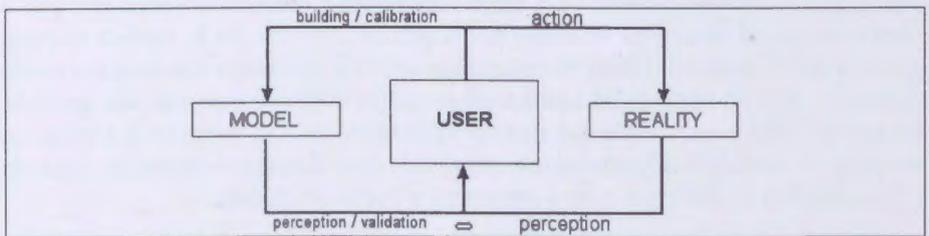


Fig. 3 Relazioni tra utenti, modelli e realtà

Per dare una risposta più esauriente a tutte queste domande è necessario capire come si muovono le informazioni. In Figura 4 è riportata la piramide dell'informazione che permette di vedere come tutte le misure siano in realtà fra di loro collegate e che un indicatore è comunque derivato da misure sperimentali tramite relazioni/modelli che permettono di posizionare nello spazio e nel tempo i dati sperimentali.

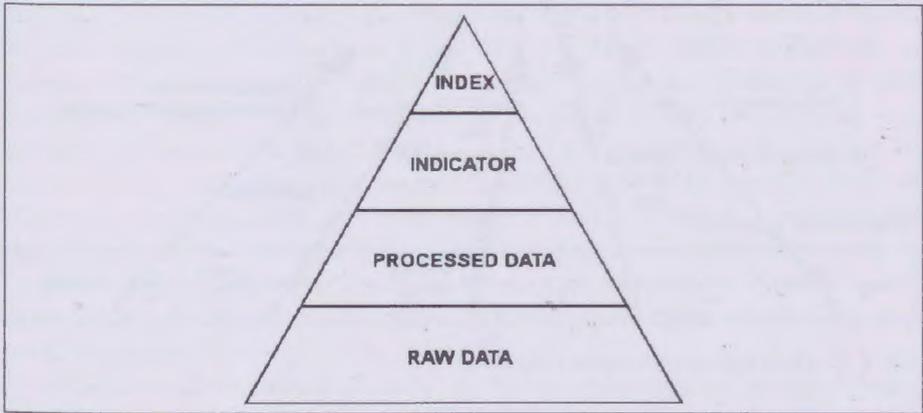


Fig. 4 Piramide dell'informazione. In basso i dati grezzi ottenuti dalla misura sperimentale e in alto le elaborazioni sintetiche

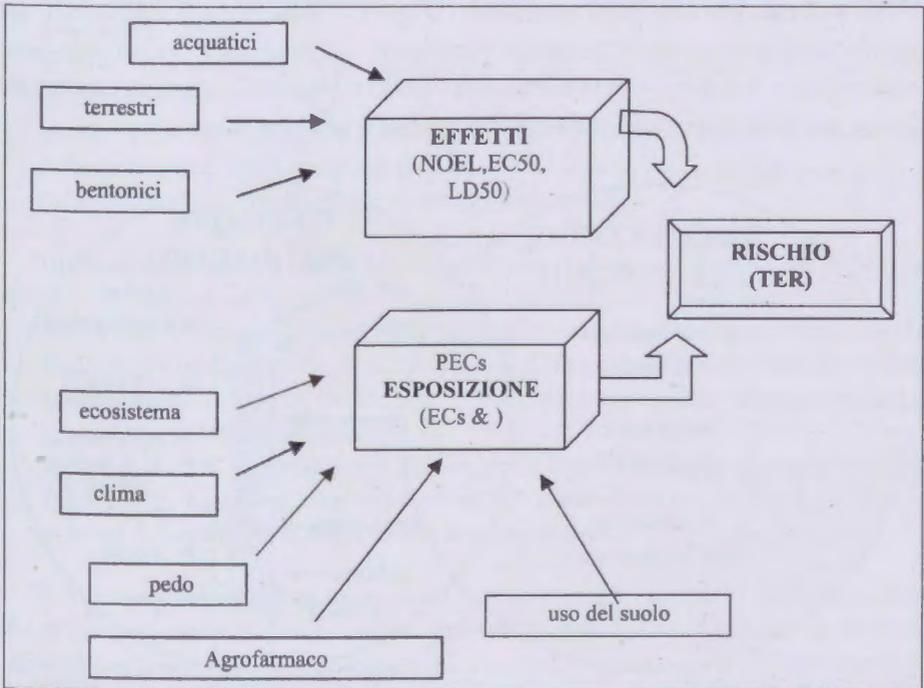


Fig. 5 Processi coinvolti nella valutazione di rischio per le acque profonde

In Figura 5 sono riportate i principali effetti che concorrono alla valutazione del rischio per gli agofarmaci. Nel caso di valutazioni di rischio, poi diventa fondamentale essere in grado di misurare esposizione ed effetti nel medesimo livello di aggregazione (Figura 6).

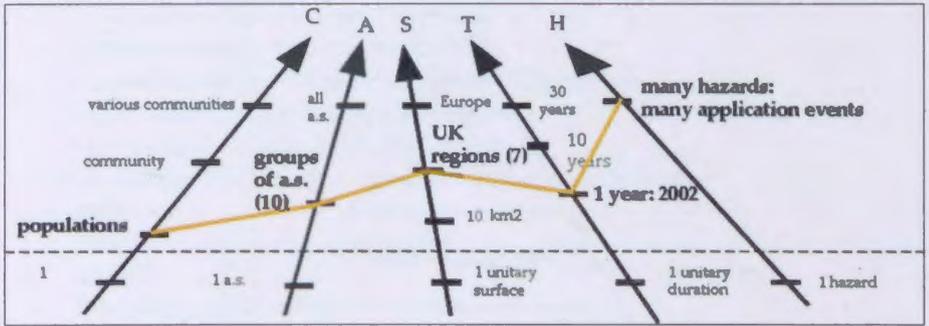


Fig. 6 Livelli di aggregazione di un indicatore.

3. STRUMENTI INFORMATICI

Nella moderna gestione degli agrofarmaci (Figura 7) 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 delle opportune azioni di regolazione e gestione di tali sostanze.



Fig. 7 Il ruolo della valutazione del rischio nella moderna gestione degli agrofarmaci

Per esigenze pragmatiche di gestione degli agrofarmaci 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. Negli ultimi anni, in particolare, per rispondere alle diverse esigenze poste dalla

moderna gestione del rischio chimico sono stati sviluppati diversi sistemi integrati di classificazione (indici) con lo scopo di esprimere il rischio ambientale in termini numerici quantitativi, molto spesso con finalità essenzialmente di tipo comparativo. 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 strumenti rappresentano uno strumento di pratica utilità che in alcuni casi si può rivelare insostituibile.

Gli scopi e gli obiettivi degli indici di rischio ambientale per gli agrofarmaci possono essere molteplici, come già indicato più sopra:

- scopi regolatori (registrazione o ri-registrazione di agrofarmaci);
- scopi classificatori (comparazione del rischio fra i diversi principi attivi);
- identificazione e salvaguardia di aree a rischio (uso di indici e del *Geographic Information System*);
- fornire informazioni agli agricoltori o ai consumatori (es. etichette “ecologiche”);
- fornire informazioni per la selezione di prodotti a basso impatto ambientale nelle pratiche di lotta integrata (IPM);
- programmazione mirata di monitoraggi ambientali;

In linea di massima, è possibile raggruppare i diversi indicatori ed indici di rischio in due gruppi principali, in funzione del loro campo d'applicazione:

- Indici di rischio da utilizzare a livello nazionale, per valutare l'impatto di politiche di riduzione dei rischi ambientali, l'individuazione di classi di rischio, l'adozione di politiche fiscali basate sulla valutazione dei rischi associati a ciascun prodotto (tasse ambientali).
- Indici di rischio da utilizzare a livello locale o aziendale, per consentire scelte appropriate, favorire l'intervento dei servizi d'assistenza per la difesa integrata, valutare la sostenibilità dell'uso di ciascun prodotto.

L'interesse è rivolto, in questo caso, al secondo gruppo d'indicatori, più direttamente connessi alle scelte dell'utilizzatore agricolo. Tali indicatori dovrebbero consentire, in particolare, di selezionare i prodotti di minore impatto sull'ambiente, tenendo conto degli elementi caratteristici dello scenario d'impiego: contesto territoriale e dimensioni dell'area trattata, metodo d'applicazione, dose ed epoca di applicazione, tipo di entomofauna utile da salvaguardare, elementi specifici di vulnerabilità degli ecosistemi.

Gli indicatori di rischio da agrofarmaci dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- Rispecchiare il rischio più che il pericolo

- Fornire informazioni sui diversi rischi ambientali
- Risultare flessibili nell'uso
- Essere inquadrati in un sistema di sostegno delle decisioni per la gestione agricola.

Gli indicatori di rischio per gli agrofarmaci combinano le informazioni su pericolo ed esposizione di questi con la quantità applicata e le condizioni di impiego. Questi indicatori si possono ottenere in diversi modi usando per esempio il "metodo del rapporto"; esso si basa sul rapporto appunto tra l'esposizione ambientale al composto (per esempio la concentrazione del composto in un comparto ambientale) e la soglia di tossicità del composto nei confronti degli organismi viventi in quel comparto ambientale. Sono disponibili diverse opzioni per combinare il periodo di esposizione (breve o lungo termine) e la scala (campo, bacino idrografico, regione, nazione).

EPRIP può essere usato per identificare colture ove l'uso degli agrofarmaci ponga i rischi più elevati per gli organismi non bersaglio (uccelli, pesci, ecc.), per classificare tali prodotti secondo una valutazione di impatto ambientale e per aiutare gli agricoltori nella scelta. L'indicatore si basa sul rapporto (ETR, "Exposure Toxicological Ratio") della concentrazione ambientale prevista (PEC, "Predicted Environmental Concentration"), stimata su scala locale (campo e vicinanze), con i parametri di tossicità a breve termine. Rifletterà perciò lo scenario più pessimistico dal momento che si assume che gli organismi siano soggetti ad una massima esposizione sia nello spazio che nel tempo. Si prende in considerazione il rischio potenziale per organismi non bersaglio come lombrichi, pesci, alghe e crostacei; poiché per organismi non bersaglio nelle acque sotterranee e nell'aria non ci sono dati attendibili, in riferimento a tali comparti si considera per il momento l'uomo. I compartimenti e l'impatto su di essi sono stati scelti in accordo con la direttiva 91/414 dell'UE.

EPRIP si calcola usando una procedura a stadi, anzitutto si calcolano il PEC e le soglie di tossicità o ecotossicità per ciascun comparto. In particolare, si calcolano due diversi PEC per le acque superficiali (uno per contaminazione da deriva e una da ruscellamento) e si usano tre diversi valori di ecotossicità per alghe, crostacei e pesci. Poi, nel terzo stadio, si calcola il ETR nel seguente modo:

$$ETR = \frac{PEC}{Tossicità}$$

I valori di PEC e di tossicità vengono convertiti nella stessa unità di misura che cambia secondo il comparto e/o l'effetto in esame; d'altra parte è chiaro che tali valori di ETR possono essere adoperati per valutare il rischio di un singolo comparto ambientale. Per le acque superficiali sono previsti sei ETR, dovuti alle possibili combinazioni tra i PEC di deriva e scorrimento e i parametri di ecotossicità.

In seguito, si trasformano i ETR in punti di rischio (RP) usando una scala da 1 a 5; finalmente si ottiene EPRIP moltiplicando i valori di RP dei diversi comparti come contributi al rischio ambientale - ovvero acque superficiali (sw) e sotterranee (gw), suolo (s) e aria (a)- e aggiungendo le opportune correzioni:

$$EPRIP = RP_{gw} \times RP_{sw} \times RP_s \times RP_a + 25 \times N_4 + 50 \times N_5$$

Dove: RP_{sw} è il più elevato punteggio di rischio tra i sei diversi valori per le acque superficiali, N_4 è il numero di valori RP uguali a 4 e N_5 è il numero di valori di RP uguali a 5. I valori di EPRIP variano tra 1 e 825 e sono assegnati a diverse classi di rischio potenziale sulla base di valutazioni di esperti (v. Tabella 2).

Si sono introdotti alcuni fattori di correzione ($25 \times N_4$ e $50 \times N_5$) come è solitamente necessario in un indicatore di rischio globale: essi alzano il valore di EPRIP quando c'è un pericolo alto ($RP > 3$) in un comparto. Per esempio un punteggio per il calcolo di EPRIP può essere uguale a 8 dando così un rischio potenziale trascurabile; tuttavia se in un comparto c'è RP uguale a 4, EPRIP diventa 33 e la classe di rischio potenziale diventerà "scarso" anziché "trascurabile".

Le incertezze sul calcolo di EPRIP sono attenuate dall'assegnazione di valori numerici per le varie classi di rischio ambientale potenziale.

Nel caso di formulati con più principi attivi o di trattamenti con diversi formulati l'approccio seguito è il seguente. Si calcola EPRIP per ciascun principio attivo e si attribuisce la classe di rischio potenziale, dopo di che si calcola il valore medio di tutte classi di rischio potenziale comprese nella strategia, approssimando alla prima cifra decimale. Questo valore può essere usato per confronti tra diverse strategie e non per una valutazione del rischio di una singola strategia. In Figura 8 un esempio di applicazione di EPRIP fatto in Himachal Pradesh (India), in un'area coltivata prevalentemente a mele, per la quale tramite ArcGIS sono state identificate le combinazioni suolo/ area coltivata a mele, identificati 22 scenari, valutate le strategie di difesa, e sulla base della peggiore, 9 applicazioni di mancozeb ogni 2 settimane a partire dalla fine della fioritura, creata la mappa di vulnerabilità.

Un altro esempio di indicatore è EIOVI, sviluppato nell'ambito del progetto europeo ORWINE, che basato sulla logica fuzzy, permette di valutare la bontà delle strategie agronomiche adottate in aziende biologiche, utilizzando giudizi o informazioni non di tipo numerico. In Figura 9 un esempio di applicazione per un'azienda viti-vinicola. Questo tipo di indicatore è estremamente utile, quando nelle valutazioni non si riesce ad avere un numero, ma si ha disposizione solo un giudizio, sì/no, e si vuole vedere anche quello che non è sicuramente positivo e/o negativo.

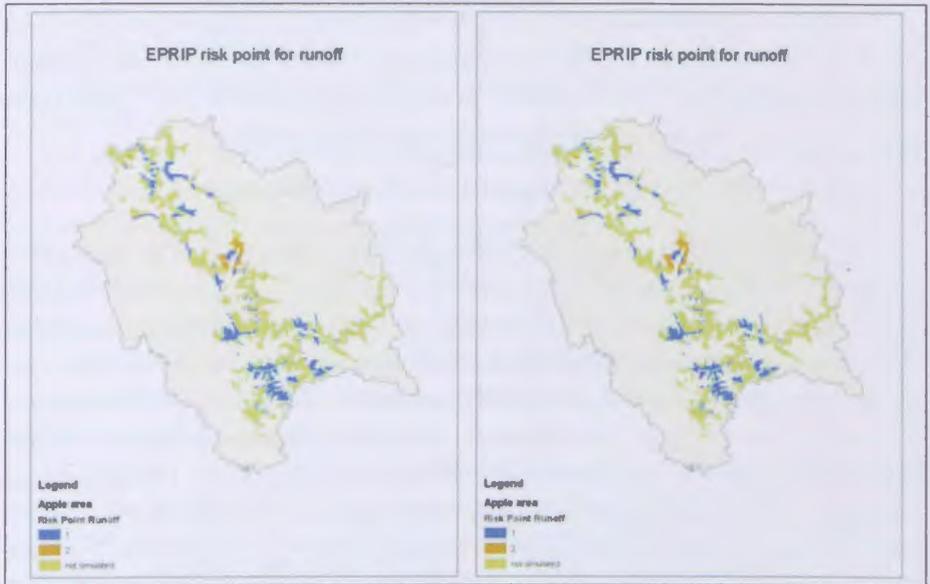


Fig. 8 Applicazione di EPRIP in un'area coltivata a mele in India



Fig. 9 Esempio di applicazione dell'indicatore EIOVI

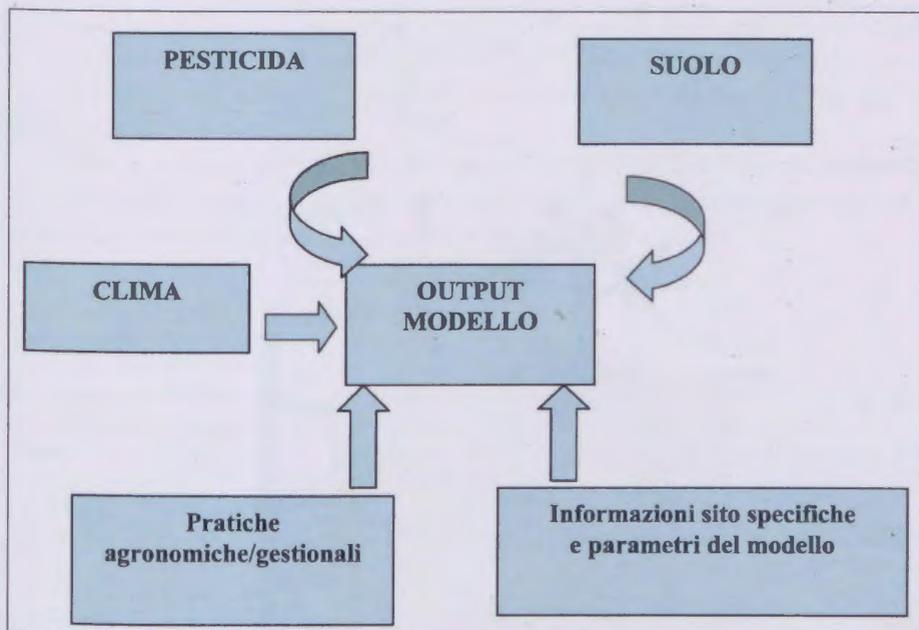


Fig. 10 Schema delle relazioni presenti in un modello di simulazione il comportamento ambientale di un agrofarmaco

L'utilizzo di modelli complessi, rispetto agli indicatori, come indicato in precedenza, permette di avere informazioni più puntuali e soprattutto di tipo numerico. Inoltre i modelli sono strumenti più versatili che permettono anche di fare programmazione e non solo valutazioni degli interventi. Al momento non esiste un solo modello per studiare il destino di un agrofarmaco in tutto l'ambiente ma diversi modelli utilizzabili per comparti precisi, acque profonde, acque superficiali, aria, suolo, e via dicendo. Ovviamente i modelli necessitano di un numero di informazioni superiore e spesso ottenibili solo a scale limitate, campo od azienda. In Figura 10 uno schema di come funziona un modello per le acque profonde e di quali informazioni necessita. Mentre in Figura 11 sono indicati i processi simulati. Come si può vedere a differenza dei modelli di tipo climatico, questi modelli sono di tipo fisico e sono basati sul grado di conoscenza che si ha della realtà. Maggiore è la conoscenza e più accurate sono le previsioni.

Recentemente in un progetto europeo SEAMLESS è stato sviluppato un sistema integrato di modelli chiamato APES (Simulatore di Produzioni Agricole ed Esternalità) che permette di simulare l'attività di un'azienda agricola nel suo insieme (Figura 12). APES permette quindi di gestire e pianificare una azienda agricola nel rispetto ambientale e valutando in modo piuttosto accurato gli effetti di scelte e di interventi di tipo agronomico-gestionale.

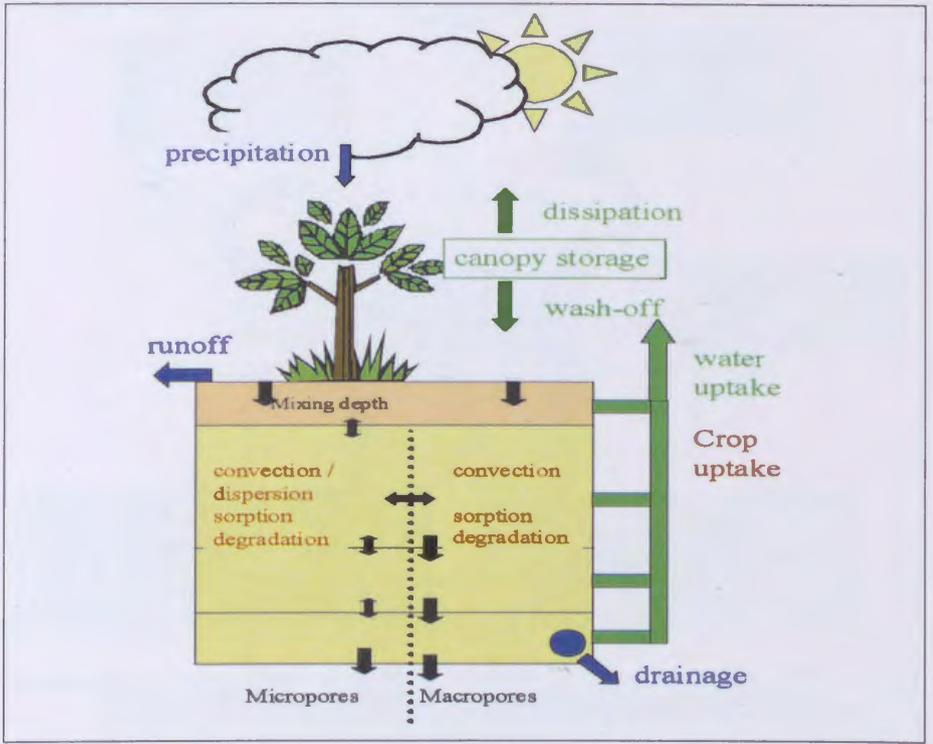


Fig. 11 *Processi simulati da modelli per le acque profonde*

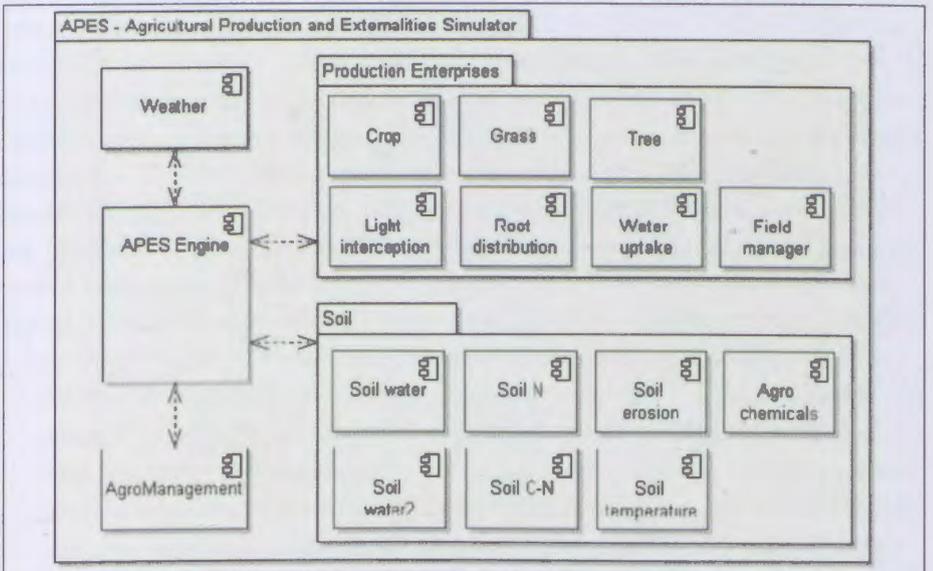


Fig. 12 *Struttura dei simulatori APES*

Un altro utilizzo dei modelli è quello di introdurli in sistemi esperti come è stato fatto in SUSAP, progetto LIFE del 1999 della regione Lombardia, dove alcuni modelli ed indicatori sono stati introdotti in un sistema esperto per la gestione delle aziende agricole.

Infine lo sviluppo più recente e sicuramente più promettente è quello realizzato in FitoMarche, nel quale l'utilizzo di modelli è stato spazializzato e portato a scala regionale. Questo approccio è discusso in altre relazioni.

BIBLIOGRAFIA

- BALDERACCHI M., TREVISAN M., VISCHETTI C., (2006). *Scelta del miglior modello sul destino degli agrofarmaci Acqua e Aria*, 3/2006, 32-37.
- BALDERACCHI M., BOCCELLI R., TREVISAN M. (2006). *Tools to assess pesticide environmental fate. Agrochemicals/APES, EPRIP2 and FitoMarche software*. La Goliardica Pavese, Pavia 2007, 142pp.
- CALLIERA M., FINIZIO A., AZIMONTI G., BENFENATI E., TREVISAN M. (2006). *Harmonised pesticide risk trend indicator for food (HAPERITIF): the methodological approach*. Pest Management Science, 62,1168-1176.
- DONATELLI M., ACUTIS M., DANUSO F., MAZZETTO F., NASUELLI P., NELSON R., OMICINI A., SPERONI M., TREVISAN M., TUGNOLI V. (2003). *Integrated procedures for evaluating technical, environmental and economical aspects in farms: the SIPEAA project*. Proc. VII ESA Congress, 271-272.
- FRAGOULIS G., TREVISAN M., DI GUARDO A., SORCE A., VAN DER MEER M., WEIBEL F., CAPRI E. (2008). *A management tool to indicate the environmental impact of organic viticulture*. J. Environ. Qual., in press.
- JANTUNEN A.P.K., TREVISAN M., CAPRI E. (2005). *Computer models for characterizing the fate of chemicals in soil: Pesticide leaching models and their practical applications*. In Soil-Water-Solute Process Characterization: An Integrated Approach (Javier Alvarez-Benedi, Rafael Munoz-Carpena editors), CRC Press, ISBN: 1-56670-657-2, pp 715-756.
- PADOVANI L., TREVISAN M., CAPRI E. (2004). *A calculation procedure to assess potential environmental risk of pesticides at the farm level*. Ecological Indicators, 4, 111-123.

Il software FitoMarche

I. INTRODUZIONE

Il software FitoMarche è un applicativo per sistemi Windows che permette la creazione di mappe di vulnerabilità delle acque sotterranee all'uso di pesticidi. FitoMarche accoppia un consolidato modello delle acque e del destino dei pesticidi denominato MACRO 5.0 (Larsbo and Jarvis, 2003), raccomandato dal FOCUS (FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their Use - Forum per il coordinamento e l'uso dei modelli di destino dei pesticidi) con ArcGIS 9.0/9.1 (ESRI, 2008) un software per la realizzazione e gestione di GIS (Geographical Information System).

MACRO è un modello uni-dimensionale che considera flussi d'acqua non stazionari, calore e soluti all'interno di un profilo di suolo a differente saturazione. ArcGIS è un applicativo che per la visualizzazione, gestione e analisi di dati geografici attraverso mappe digitalizzate.

Il software FitoMarche prevede la acquisizione di diverse informazioni a scala regionale, tutte relative alla definizione di variabili ambientali caratterizzanti il territorio, attraverso le quali impostare diverse simulazioni per il calcolo dell'impatto ambientale dell'applicazione di fitofarmaci sulle colture.

Le informazioni necessarie alla stima sono:

1. i dati dei **sistemi culturali**, quali ad esempio il LAI massimo, la data media di emergenza o la biomassa prevista;
2. i dati relativi alle **rotazioni culturali**, nelle quali sono definite le associazioni annuali delle colture,
3. per ogni rotazione, **le irrigazioni** associate, comprensive o meno di applicazione di fitofarmaco,
4. le caratteristiche di **uso del suolo**, nelle quali sono definiti i poligoni (areali) in cui sono presenti terreni arabili (seminativi), boschi/frutteti, aree urbane ecc.

* *Informatica Ambientale srl, Milano*

5. il tipo di suolo presente, collegate alle **caratteristiche pedologiche** dell'area in esame.

Tutte le informazioni servono a identificare una simulazione, intesa come aggregazione di dati relativi al territorio e dati relativi all'applicazione di fitofarmaco.

L'utente ha la possibilità di creare, modificare e salvare su *filesystem* le simulazioni; può quindi creare un archivio e per, un determinato territorio, confrontare i risultati di diverse applicazioni.

Una volta acquisiti i dati di input necessari (sui quali viene comunque fatto un controllo di congruenza), il software interseca gli strati geografici e crea una serie di zone del territorio (definite "poligoni"), ognuna delle quali è caratterizzata da una precisa situazione ambientale.

Il sistema procede quindi alla simulazione con il modello su un sotto-insieme minimo dei poligoni individuati (in sostanza solo quelli che hanno caratteristiche ambientali differenti) e individua una serie di 4 variabili che permettono di costruire l'80° percentile della concentrazione media annuale del pesticida e la profondità di rilevamento (generalmente ad 1 m nel sottosuolo).

Due concetti sono inseriti nell'implementazione di FitoMarche: l'ordinarietà e la rotazione.

Il primo termine fa riferimento alla scienza dell'estimo e considera utili per la determinazione del rischio soltanto i fatti, le circostanze, le condizioni e ipotesi che possono essere ritenute "ordinari", cioè usualmente ripetuti nel tempo; i fatti, le circostanze e gli eventi che hanno carattere di eccezionalità vengono esclusi dal giudizio di stima, come cattivi usi o usi su colture non autorizzate. Il termine rotazione fa invece riferimento alla sequenza di colture presenti in campo, sia dal punto di vista temporale (diverse colture nel tempo in uno specifico appezzamento) che spaziale (la presenza contemporanea di diverse colture in diversi appezzamenti). Se quest'ultimo aspetto è affrontato dall'applicazione GIS attraverso mappe di uso del suolo (ad esempio il Corine Land Cover) e mappe di rotazione, il tempo è modellato sulla base della sequenza di colture definita (e modificabile) all'interno della base dati.

FitoMarche è stato scritto nel linguaggio C# e utilizzando le librerie del .NET Framework 2.0 di Microsoft. FitoMarche è liberamente scaricabile dal sito <http://icaa.unicatt.it>

2. LA BASE DATI

In Figura 13 è riportato il diagramma entità-relazioni della base dati collegata al software.

- Le entità principali sono:
- i profili di suolo (TProfilo) messi in relazione con gli orizzonti di cui sono composti (TParametroSuolo);

- le colture (TCultura) e la suddivisione in erbacee (TCulturaErbacea) e arborea (TCulturaArborea);
- le irrigazioni (TIrrigazione);
- le rotazioni (TRotazione);
- i principi attivi (TPrincipioAttivo).

Esiste inoltre una tabella contenente i parametri di simulazione la cui modifica si riflette su tutte le successive simulazioni.

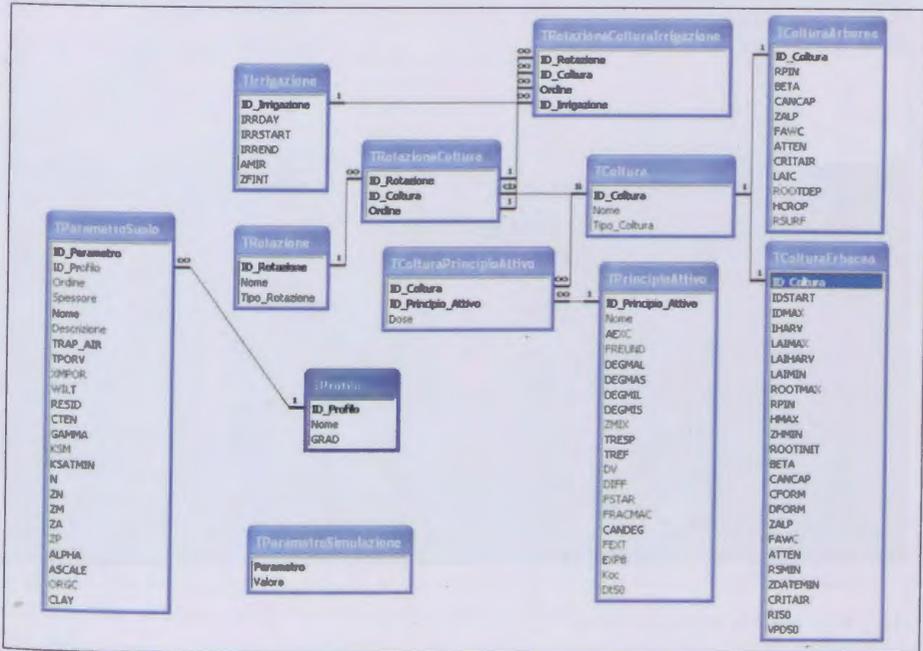


Fig. 13 La base dati del software

Ancora più importanti sono le relazioni tra le entità sopra elencate; come è possibile evincere dal diagramma sopra riportato, ogni rotazione è costituita da un insieme di colture (TRotazioneCultura) ed ognuna delle colture in una rotazione ha (meglio, può avere) associato un insieme di irrigazioni (TRotazioneCulturaIrrigazione).

Infine esiste una relazione tra le colture ed i principi attivi (TCulturaPrincipioAttivo) mediante la quale si associano i principi attivi consigliati per una determinata coltura e la relativa "dose di etichetta". Quest'ultimo parametro identifica un valore consigliato (o di default) per l'applicazione di un determinato pesticida su una determinata coltura; nel paragrafo "Preparazione della simulazione" è illustrato il significato di questo valore di default.

La maggior parte delle entità riportate nella base dati ora illustrata sono gestibili attraverso lo strumento di amministrazione (illustrato nel relativo capitolo).

3.1 LA SIMULAZIONE

3.1.1 *La preparazione della simulazione*

In Figura 14 è presente la schermata iniziale dell'applicativo software.



Fig. 14 Schermata iniziale e menù "File"

Nei menù in alto sono a disposizione le principali funzionalità del software; il menù "File" permette:

- la creazione di una nuova simulazione attraverso la voce "Nuova...",
- l'apertura di un file di simulazione già creato attraverso la voce "Apri...",
- il salvataggio della simulazione corrente, con la voce "Salva...",
- la chiusura dell'applicazione ("Chiudi"),
- l'uscita dal programma ("Esci").

Il menù "Strumenti" permette l'apertura di un tool di amministrazione per gestire la base dati del software ed una finestra di dialogo per impostare alcuni parametri di simulazione (voce "Opzioni").

La voce "Informazioni" apre una schermata riepilogativa della versione del software ed i relativi crediti.

3.2 Preparazione della simulazione

Descriviamo brevemente il percorso di una simulazione dalla sua creazione fino all'avvio del motore del modello, descritto nel paragrafo successivo.

In Figura 15 è visibile la finestra di dialogo per iniziare una nuova simulazione.

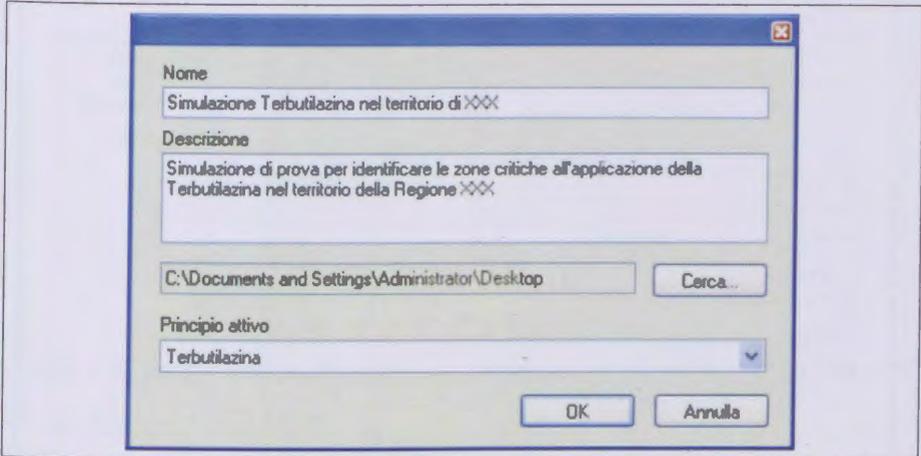


Fig. 15 Finestra di dialogo per una nuova simulazione

Una volta inseriti i dati identificativi della simulazione (nome, descrizione e posizione della cartella per il salvataggio dei dati) ed il “principio attivo” su cui basarla, si apre, nella finestra principale, un contenitore a linguette nel quale l'utente deve specificare i dati relativi alle condizioni ambientali ed alla applicazione del fitofarmaco.

La prima schermata (l'unica selezionabile fin dall'inizio) è visibile in Figura 16; essa richiede l'immissione delle posizioni degli shapefile, attraverso una serie di pulsanti di ricerca.

Gli shapefile necessari per avviare una simulazione sono:

- il dominio (o contorno) di interesse, nel nostro caso la Regione Marche;
- la carta di uso del suolo, relativa al dominio di interesse, nel nostro caso Corine Land Cover versione 2000;
- la carta pedologica, collegata alla specifica degli orizzonti presente nella base dati del software;
- una carta delle rotazioni, nella quale il territorio è suddiviso in aree e ad ognuna di queste è associata una rotazione prevalente;
- una carta degli areali meteorologici in cui è possibile suddividere il territorio in esame, ad esempio interpolando le stazioni presenti attraverso i poligoni di Thyssen o analizzando la variabilità climatica.

Infine è possibile associare una ulteriore carta, definita “carta dei divieti” dove vengono stabilite delle zone o fasce di territorio nelle quali l’autorità competente vieta l’uso di fitofarmaci.

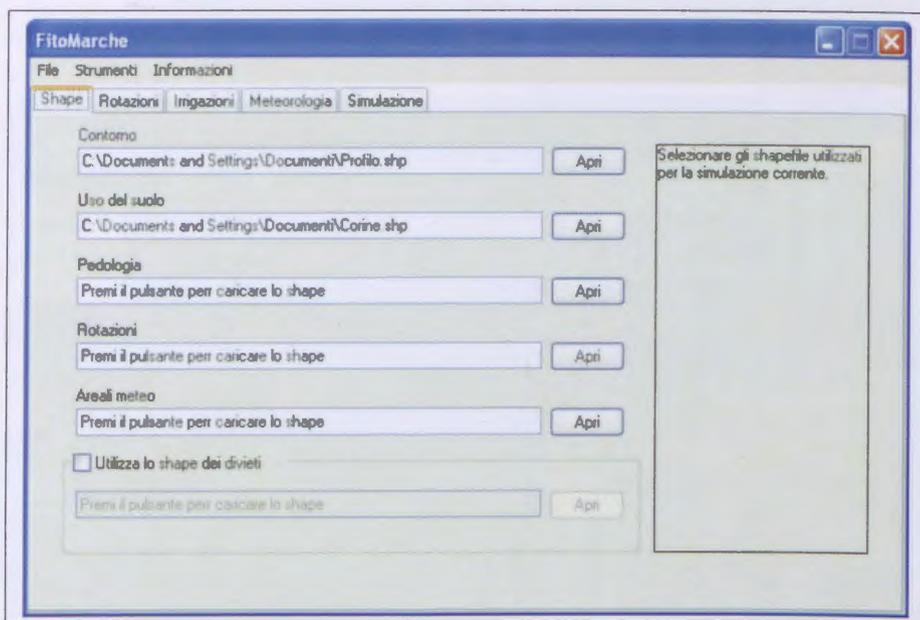


Fig. 16 Schermata Shapefile

Si veda l’Appendice D per una descrizione delle variabili obbligatorie in ciascuno di questi *shapefile*.

Una volta letto con successo lo *shapefile* relativo alle rotazioni, il software abilita sia la linguetta “**Rotazioni**” che quella “**Irrigazioni**”.

Nella prima l’utente deve associare i codici rotazione trovati nello *shapefile* con i corrispondenti trovati nella base dati. Nel caso non fosse presente la opportuna rotazione nella base dati, l’utente può richiamare il software di amministrazione dal menù “Strumenti” ® “Amministrazione” ed aggiungerla (si veda il relativo capitolo per una descrizione dettagliata).

Nella seconda il software visualizza le irrigazioni associate alle colture presenti nelle rotazioni selezionate (Figura 17). I valori impostati fanno riferimento ai valori di default presenti nella base dati; l’utente può, a proprio piacimento, modificare i valori di:

- volume d’acqua [100 l ha⁻¹]
- dose di pesticida applicato [g Ha⁻¹].

È da notare che le irrigazioni a cui è possibile associare un valore di dose diverso da zero sono solo quelle che fanno riferimento ad una coltura che annovera il principio attivo selezionato tra quelli validi.

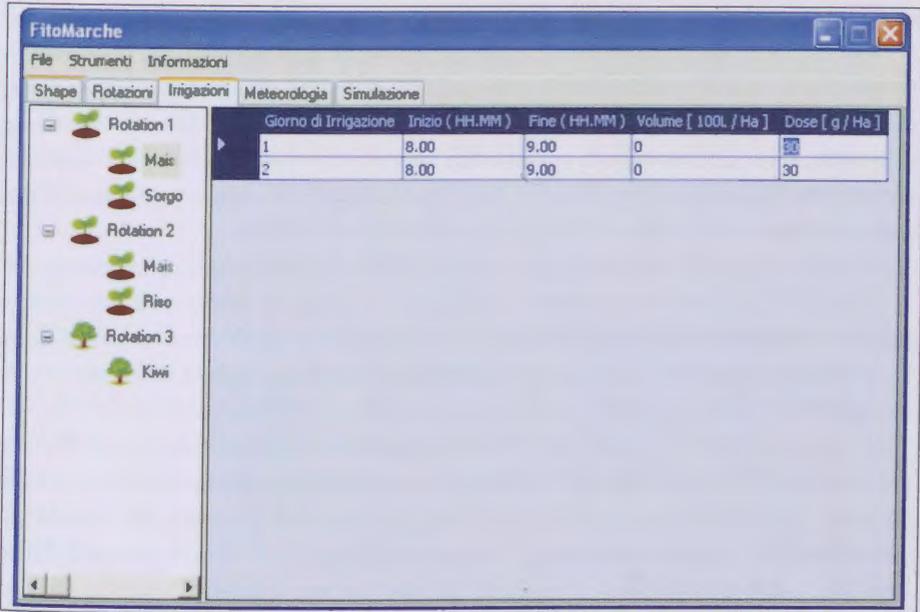


Fig. 17 *Maschera delle irrigazioni*

La quarta linguetta, denominata “Meteorologia”, viene abilitata dal software al momento del caricamento dello shapefile degli areali meteorologici: in questo caso infatti, il software rileva quante sono le stazioni meteorologiche e quali dati le caratterizzano ed in questa maschera l’utente deve associare a ciascuna stazione i corrispondenti file delle serie storiche di pioggia e di dati meteorologici.

3.3 *L'esecuzione della simulazione*

Una volta predisposti e selezionati tutti i dati di simulazione, come descritto nel paragrafo precedente, è possibile avviare la simulazione, selezionando la sezione “Simulazione” dell’interfaccia (ultima linguetta).

In questa sezione sono presenti due controlli visuali attraverso i quali è possibile modificare le dati di inizio e fine simulazione. Ricordiamo infatti che il range di validità è impostato, in questa versione dell’applicativo, attraverso la finestra di dialogo “Opzioni”; l’utente può altresì, nella sezione “Simulazione” restringere il periodo, al fine di velocizzare le operazioni ma limitando l’accuratezza del risultato.

Il passo successivo consiste nell’avvio vero e proprio della simulazione, attraverso la pressione del pulsante “Avvia”.

Il sistema esegue quindi un gran numero di operazioni di spazializzazione e di ottimizzazione per velocizzarne l’esecuzione e avvia un certo numero di volte il modello di Macro 5.0 per ottenere i risultati desiderati.

Descriviamo in particolare le operazioni relative alla simulazione.

Per ognuno degli *shapefile* selezionati nella prima schermata del software, vengono create le strutture di supporto, contenenti i dati essenziali per le successive elaborazioni, estraendoli dalle tabelle collegate o dalla base dati; ad esempio, vengono create le classi relative agli areali meteo, contenenti i dati di latitudine, pioggia media annua, temperatura massima annua per ciascuna delle stazioni meteo collegate.

Il software procede poi alla realizzazione dell'intersezione delle carte selezionate al fine di individuare un insieme di poligoni all'interno di ognuno dei quali è presente una definita situazione ambientale (intesa come tipo di suolo, destinazione d'uso, clima). I poligoni così individuati costituiscono quindi la base minima su cui lavorare ed eseguire singolarmente il modello.

Il passo successivo è costituito dalla lettura delle caratteristiche pedologiche per i suoli provenienti dalla intersezione di cui sopra; per ogni profilo individuato vengono letti dalla base dati gli orizzonti associati e si procede alla cosiddetta "stratificazione", vale a dire alla suddivisione degli orizzonti in un numero definito di strati a dimensione fissata. Questa operazione, necessaria al modello per via dell'utilizzo di metodi di calcolo numerico (ad esempio per la risoluzione della equazione di Richards), viene eseguita tenendo presente il numero di strati impostato dall'utente attraverso la schermata "Opzioni" del menù "Strumenti". Il numero di strati è impostato di default a 60.

Terminato il processo di stratificazione, il software esegue il calcolo dei valori di Z_{KD} per il pesticida applicato, utilizzando la formula:

$$Z_{KD} = K_{OC} * CO$$

dove:

Z_{KD} = coefficiente di ripartizione per l'assorbimento,

K_{OC} = coefficiente di ripartizione su carbonio organico,

CO = contenuto in carbonio organico presente nel terreno.

Lo Z_{KD} è un valore che cambia con il terreno ed è quindi assimilabile ad una variabile di strato.

Finita la trattazione dei dati pedologici, il software passa alla elaborazione dei poligoni ottenuti dalla intersezione degli *shapefile*, escludendo dal percorso di simulazione i seguenti casi:

1. il poligono è in una zona di divieto (queste zone sono caratterizzate dalla carta "Divieti", selezionabile, in maniera opzionale, nella prima schermata della simulazione),
2. l'uso del suolo risultante dalla intersezione non è considerato utile per le coltivazioni (nel nostro caso, avendo adottato la classificazione di Corine Land Cover, i poligoni non appartenenti alla classificazione "Agricultural areas" devono essere scartati),

3. i poligoni nei quali è impostata una rotazione per la quale non è prevista l'applicazione del principio attivo selezionato.

Prima di passare alla trattazione del singolo poligono ed all'avvio della simulazione con il modello, il software effettua un'ulteriore selezione mediante la quale ricerca i poligoni differenti in almeno una delle caratteristiche ambientali; in questo modo verrà effettuato un minor numero di simulazioni, risparmiando tempo macchina, perché il risultato ottenuto verrà esteso a tutti i poligoni con caratteristiche omogenee.

Ottenuto l'insieme minimo di poligoni da avviare alla simulazione, il software inizia un insieme di operazioni che ripeterà per ognuno di essi e che porteranno al calcolo del valore di output finale.

Ogni passo di simulazione prevede:

1. la costruzione dell'insieme di variabili necessarie al software Macro (per un primo momento in memoria),
2. la costruzione del file di input per il modello Macro, usando i valori provenienti da *shapefile* e base dati,
3. la ricopiatura del file appena creato e degli altri file (ad esempio le serie storiche) in una cartella temporanea dove è presente il file del modello,
4. l'avvio del modello Macro (il file è denominato "management.exe"),
5. una volta terminata la esecuzione del modello, l'estrazione dal file di uscita delle variabili necessarie al calcolo della variabile di output (si veda il prossimo paragrafo per i dettagli),
6. il calcolo dell'80esimo percentile e la creazione della struttura di output da passare al metodo che creerà lo *shapefile* risultante,
7. la distruzione dei file non più necessari nella cartella temporanea di simulazione.

Effettuati i calcoli per tutti i poligoni disomogenei, i risultati vengono distribuiti sui restanti; una sezione del software si occupa di creare lo *shapefile* risultante, nel quale sono riportati i valori.

3.4 Output

Per ottenere un significativo valore di output da mostrare su cartografia, è necessario estrarre 4 variabili, tutte suddivise per strato, dai risultati del modello Macro. Le prime due si riferiscono al flusso d'acqua e sono *WOUT* e *WFLOWOUT*, le altre due si riferiscono al flusso di pesticida nel terreno e sono *SFLOW* e *SFLOWOUT*.

Per calcolare la quantità di acqua che fluisce annualmente ad un metro di profondità, il software identifica lo strato nel quale ricade il metro di profondità e per le variabili *WOUT* e *WFLOWOUT* (con unità di misura [mm h-1]) prende il

valore corrispondente a quello strato. Di seguito il software calcola la quantità giornaliera:

$$WAT_{day} = (WOUT + WFLOWOUT) * 24$$

e poi ne calcola la sommatoria annua.

Per calcolare la quantità di pesticida che fluisce annualmente ad un metro di profondità, il software identifica, come per l'acqua, lo strato nel quale ricade il metro di profondità e per le variabili SFLOW e SFLOWOUT (con unità di misura [g m-2 h-1]) prende il valore corrispondente a quello strato.

Di seguito il software calcola la quantità giornaliera:

$$P_{day} = (SFLOW + SFLOWOUT) * 24$$

e poi ne calcola la sommatoria annua.

La concentrazione media annua viene calcolata con la seguente formula.

$$CONC = \Sigma(P_{day}) / \Sigma(WAT_{DAY})$$

il dato che viene restituito sono $\mu\text{g/l}$.

4. AMMINISTRAZIONE

La gestione della base dati è affidata ad uno strumento di amministrazione che permette di visualizzare, modificare od eliminare diverse entità (si veda la Figura 18).

Lo strumento permette di agire su:

- le colture, suddivise in colture erbacee e colture arboree;
- i principi attivi;
- le rotazioni e le irrigazioni associate alle colture in rotazione;
- i profili pedologici di suolo.

Per ognuna di queste entità vengono richiesti i dati minimi per poter lavorare con il modello Macro.

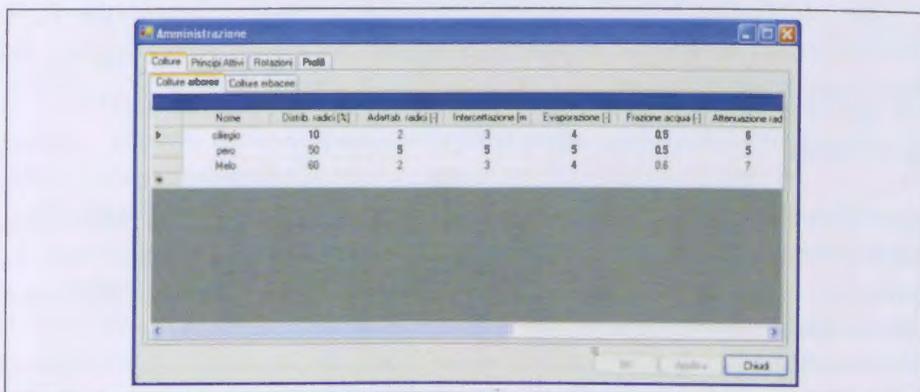


Fig. 18 Lo strumento di amministrazione

In Figura 19 è visibile la schermata relativa alla gestione dei principi attivi; come si può notare, oltre ai parametri tipici dei fitofarmaci, ivi è possibile anche specificare a quali colture ogni principio attivo è associato.

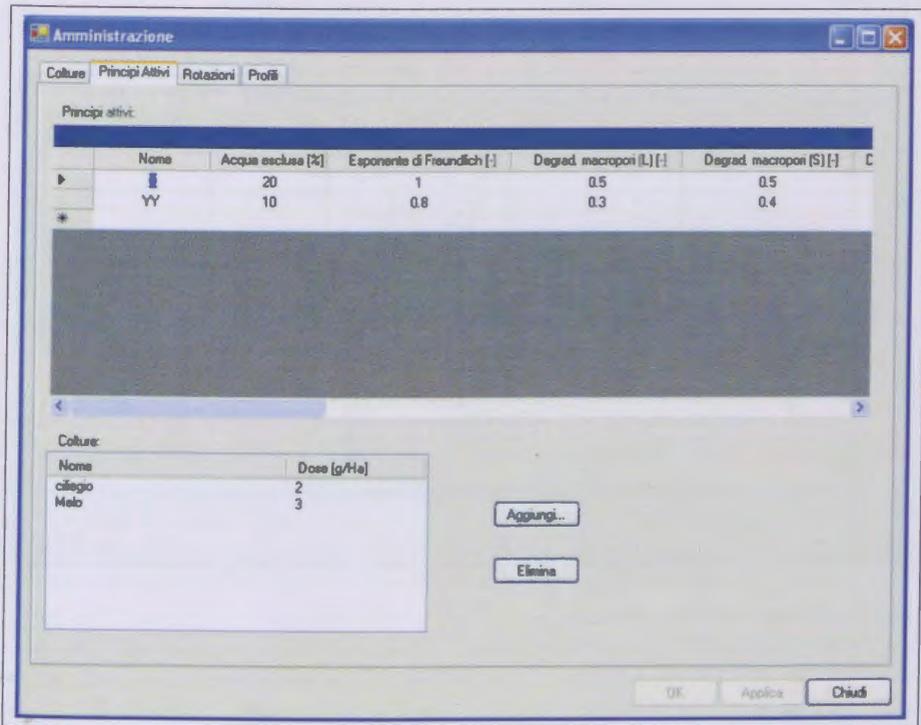


Fig. 19 Inserimento dei principi attivi

Merita particolare attenzione la schermata delle “Rotazioni”, attraverso la quale è possibile gestire diverse informazioni (Figura 20).

In questa maschera l’utente può creare diversi set di rotazioni di default che poi potranno essere associati alle rotazioni estratte dagli *shapefile* in fase di simulazione.

In particolare, attraverso il pulsante “Aggiungi...”, l’utente crea una nuova rotazione, alla quale può associare una o più colture (corrispondenti ad uno o più anni di rotazione). Ad ogni coltura (e quindi ad ogni anno della rotazione appena creata) è poi possibile associare una o più irrigazioni. Queste ultime sono importanti perché sono lo strumento per associare le distribuzioni di fitofarmaco alla coltura in fase di simulazione.

Infine, la quarta maschera, denominata “Profili” permette di aggiungere, togliere o modificare i profili alla base dati e gli orizzonti ad essi associati.

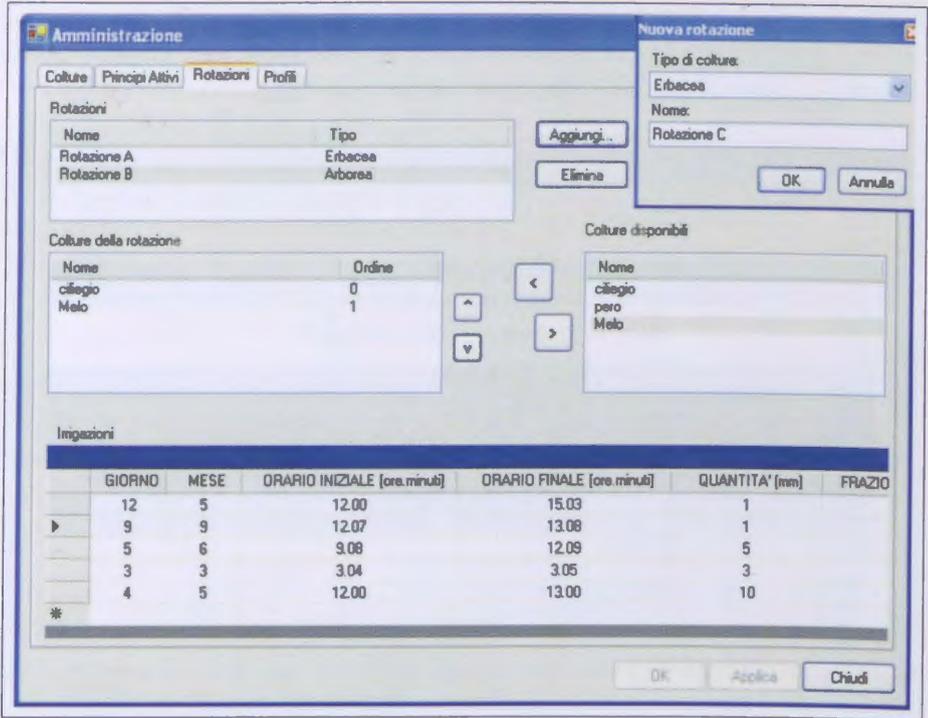


Fig. 20 La maschera delle rotazioni

BIBLIOGRAFIA

- ESRI, 2008, <http://www.esri.com>, ultimo accesso 23 Giugno 2008.
 LARSBO M., JARVIS N.J. (2003). MACRO 5.0. *A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Technical description*. SLU report. EMERGO 2003:6.

L'applicazione di FitoMarche in regione

I. INTRODUZIONE

Questa ultima parte riporta alcuni esempi di applicazione del software FitoMarche nella regione Marche con lo scopo di illustrare sinteticamente l'affidabilità e soprattutto l'utilità degli approcci descritti nei precedenti capitoli.

FitoMarche richiede in input una grande quantità di informazioni con un'alta scala di dettaglio. Perciò l'applicazione di FitoMarche nella regione Marche ha richiesto oltre che alla collaborazione di due università, l'intervento di diversi enti regionali tra cui ASSAM ed ARPAM.

I dati riportati in questo capitolo hanno uno scopo puramente didattico poiché la cartografia di base ed in particolare le equazioni utilizzate per la stima dei dati richiesti dal software ma non misurati non sono mai state validate a livello regionale.

2. I DATI DI PARTENZA

Le informazioni riguardanti l'uso del suolo sono state ottenute dal Corine Land Cover database e dal quinto censimento dell'agricoltura.

Il progetto europeo Corine Land Cover (CLC) è nato specificatamente con lo scopo di rilevare e di monitorare le caratteristiche di copertura e uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela. Coordinata dalla Commissione Europea e dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA), la prima realizzazione di un progetto CLC risale al 1990 (CLC90). A dieci anni dalla conclusione del CLC90, nel 2001 l'AEA ha lanciato il nuovo progetto Image & Corine Land Cover 2000 (I&CLC2000). Per i prodotti CLC la scala nominale è 1:100.000, l'unità minima cartografata è pari a 25 ettari (equivalente in scala 1:100.000 a un cerchio di 2,8 mm o un quadrato di 5 x 5 mm) e la larghezza minima dei poligoni è 100 m

* *Università Cattolica del Sacro Cuore, Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale, Piacenza*

(1 mm alla scala nominale); le coperture CLC sono costituite esclusivamente da poligoni (APAT). L'uso del suolo è stato classificato secondo una nomenclatura gerarchica e per questo studio sono stati utilizzate i poligoni associati alle classi relative alle terre "arate" (classe 2.1.1 terre arate non irrigue, classe 2.1.2 terre arate irrigue; Figura 21).

Il quinto censimento dell'agricoltura scatta una fotografia dell'agricoltura italiana alla data del 22 ottobre 2000. I risultati del censimento sono stati rilasciati con il dettaglio minimo del dato comunale e contengono tra l'altro le superfici relative alle singole colture agrarie. La spazializzazione dei dati contenuti nel censimento dell'agricoltura è stata ottenuta mediante l'uso degli shapefiles contenenti i limiti amministrativi italiani pubblicati dall'ISTAT.

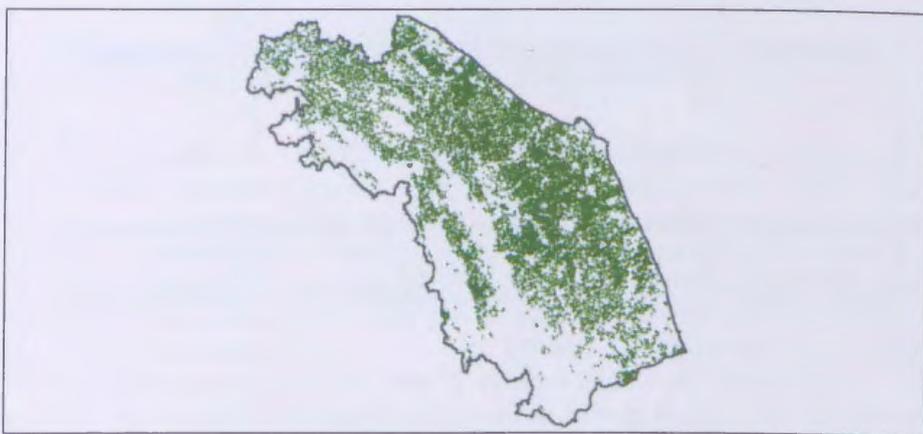


Fig. 21 Terre arate della regione Marche secondo il progetto Corine Land Cover (Fonte: CLC2000)

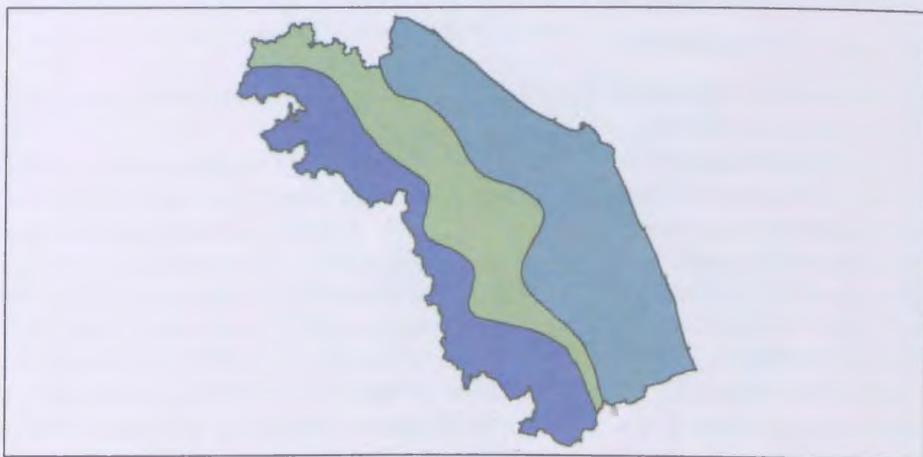


Fig. 22 Fasce climatiche delle regione Marche (Fonte: ASSAM)

I dati climatici sono stati forniti da ASSAM (Agenzia per i Servizi nel Settore Agroalimentare delle Marche): è stata utilizzata una versione semplificata della carta climatica della regione (Figura 22). Sono state individuate 3 fasce climatiche e per ogni fascia ASSAM ha identificato una stazione climatica rappresentativa ed ha fornito 9 anni di dati meteo. Questi dati sono stati replicati per ottenere 86 anni di dati.

Il database relativo ai suoli è stato fornito da ASSAM: è stata utilizzata la carta dei suoli alla scala di dettaglio 1:250000 (Figura 23). La carta pubblicata in formato digitale contiene i dati di spessore, tessitura, contenuto in carbonio organico e di densità apparente degli orizzonti pedologici A e B.

Il software FitoMarche richiede come dati di ingresso alcune costanti idrologiche relative alla curva di ritenzione idrica, queste variabili sono state stimate, partendo dai dati ASSAM, secondo le funzioni di pedotrasferimento definite da Lilly et al. e da Stenemo et al.

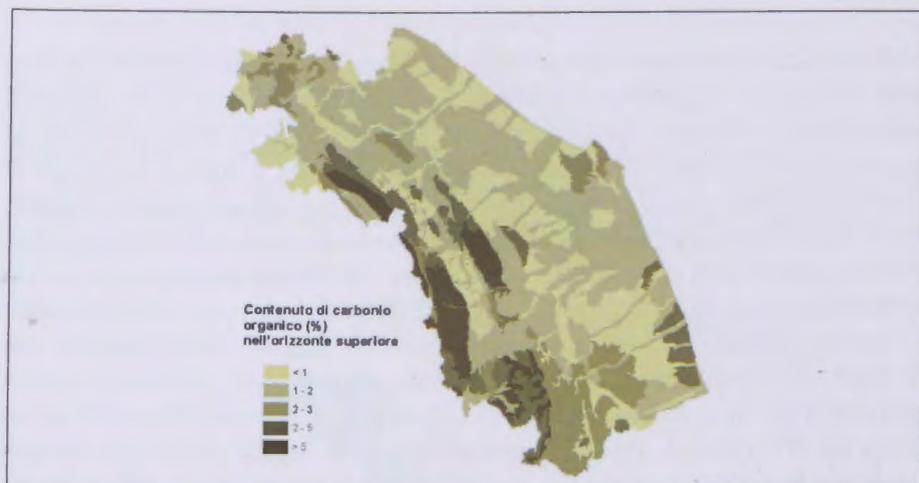


Fig. 23 Carta dei suoli 1:250000 della regione Marche: contenuto di carbonio organico dell'orizzonte superficiale (Fonte: ASSAM)

3. L'ESEMPIO

Questo capitolo riporta due esempi di utilizzo con il software FitoMarche. Il primo riguarda il caso di un erbicida, denominato "erbicida A" che viene impiegato per il controllo delle infestanti nella coltivazione del mais; il secondo, chiamato "erbicida B" che è di più ampio utilizzo e viene impiegato su mais, girasole e bietola. La tabella seguente illustra le caratteristiche delle molecole studiate, le colture sulle quali sono impiegate e le principali informazioni di etichetta.

SOSTANZA	COLTURA	GIORNO DI EMERGENZA DELLA COLTURA	GIORNO DI APPLICAZIONE DELL'AGROFARMACO	DOSE APPLICATA [G HA ⁻¹]
Erbicida "A"	Mais	100	95	844
Erbicida "B"	Mais	100	95	1440
Erbicida "B"	Bietola	82	76	480
Erbicida "B"	Girasole	61	51	1200

Erbicida "A": $Koc=220 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, Tempo di semivita=88 days; Erbicida "B": $Koc=226 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$; Tempo di semivita=15 days.

Tabella 3. Panoramica delle sostanze utilizzate nello studio e loro principali proprietà

La stima della percolazione di questi agrofarmaci è stata effettuata seguendo 3 strategie che partono dall'ipotesi peggiore per poi avvicinarsi sempre di più alla realtà.

3.1 Fase 1

Nella prima fase si è scelto di utilizzare l'approccio suggerito dal FOCUS, una task-force della Commissione Europea formata da accademici e da scienziati appartenenti a industrie produttrici, che ha stabilito delle linee guida per la registrazione e la messa in commercio degli agrofarmaci. L'approccio prevede la percolazione degli agrofarmaci sia stimata anche con modelli matematici. I modelli ritenuti validi per l'attivazione di questa procedura sono quattro PRZM, PELMO, PEARL e MACRO, quest'ultimo è il "motore" di FitoMarche; e sono tutti 1D (monodimensionali), cioè capaci di simulare su scala di campo, e deterministici. Il numero minimo di anni che vengono simulati dipende dalla frequenza con la quale la coltura studiata ritorna sullo stesso campo, ed in particolare bisogna simulare 20 anni se è monocoltura, 40 se la coltura è presente un anno sì ed un anno no, 60 anni se la coltura è presente una volta ogni 3 anni. A ciò bisogna sempre aggiungere 6 anni che hanno la funzione di riscaldamento (letteralmente warm-up) che ha lo scopo di mettere a regime il sistema.

Nel primo caso studiato tutta la superficie agricola regionale arata, impiegata con seminativi, è stata considerata coltivata a mais. Nel caso dell'erbicida B si è scelta questa coltura perché aveva la dose più alta di impiego. Sono stati simulati 26 anni.

3.2 Fase 2

Nel secondo caso studiato si è scelto di simulare solo le aree in cui una coltura fra quelle studiate occupava più del 10% della SAU. L'agrofarmaco è stato applicato sulla coltura (fra le 3 studiate) più diffusa. Si è sempre simulata una monocoltura.

3.3 Fase 3

Nell'ultimo caso sono state introdotte rotazioni realistiche. Per rotazione si intende una sequenza di colture diverse, ma solidali fra loro, che si succedono a periodi determinati nel medesimo spazio di terra, ognuna delle quali risente delle condizioni lasciate dalla precedente e ne prepara altre per la coltura seguente. La pratica colturale della rotazione era diffusa presso ebrei ed egiziani ed in Italia le prime applicazioni si hanno nel XVI secolo. L'agricoltura della fine dello scorso secolo ha messo in secondo piano le rotazioni colturali, focalizzando l'attenzione sul massimizzare il reddito nel breve periodo e passando da un discorso di rotazione ad un discorso di successione colturale. Tuttavia recentemente la pratica della rotazione è stata rivalutata perché gioca un ruolo chiave nella sostenibilità dell'agricoltura. Con tale tecnica è possibile mantenere costante la fertilità della terra: è stato dimostrato che si hanno effetti positivi sia sul contenuto di sostanza organica e sulla struttura del terreno (Ball et al. 2005), sia sul controllo di malattie e di infestanti.

La regione Marche non ha ancora pubblicato una carta delle rotazioni, e per completare questo esempio è stata quindi costruita una carta semplificata delle rotazioni analizzando i dati del quinto censimento dell'agricoltura. Sono state considerate 7 classi di colture (cereali autunno-vernini, mais, bietola, erbai, girasole, legumi, orticole) e pertanto sono state stimate 31 rotazioni (Figura 24).

Il diserbante "A" che viene impiegato su mais è utilizzato in 5 rotazioni, mentre l'erbicida "B" che viene impiegato su 3 colture differenti è stato applicato in 24 rotazioni.

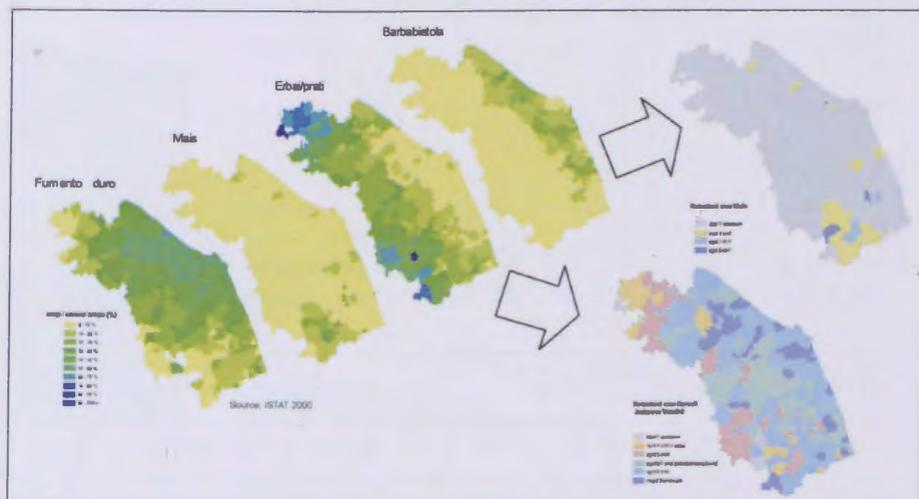


Fig. 24 L'analisi dei dati contenuti nel V censimento dell'agricoltura (esempi a sinistra) ha permesso la creazione di prima carta delle rotazioni. Sono riportate come esempio le rotazioni nelle quali è presente la coltura del mais (sopra) e quelle nelle quali sono presenti i cereali autunno-vernini.

Una volta completati i set di dati richiesti da FitoMarche e stabiliti gli approcci di simulazione, il programma è stato fatto “girare” e sono stati prodotti una serie di mappe e di files. Le mappe prodotte automaticamente contenevano l’80-mo percentile della concentrazione media annua di pesticida.

L’uso dell’80-mo percentile è stato suggerito dal gruppo del FOCUS che con lo scopo di stimare la percolazione dei pesticidi in casi a rischio, definiti come “worst cases”, che attualmente vengono utilizzati nella procedura di registrazione degli agrofarmaci. Un caso a rischio è una combinazione di un suolo e di un clima che presenta un’altra vulnerabilità. Per poter stimare superare l’incertezza apportata dalla componente climatica, dovuta alla successione di anni o periodi più piovosi o più asciutti, si è scelto di utilizzare l’ottantesimo percentile delle concentrazioni medie annue calcolato prendendo tutte le singole concentrazioni medie annue calcolate come rapporto tra quantità di pesticida e la quantità di acqua che sono percolate al di sotto di un metro di profondità.

La procedura adottata dal FOCUS calcola l’80-percentile ordinando le concentrazioni medie annue dalla minore alla maggiore e definisce come ottantesimo percentile è quel valore che separa il primo 80% di valori dal restante 20%. Il valore limite da non superare affinché un agrofarmaco sia considerato sicuro è stato posto uguale a $0.1 \mu\text{g l}^{-1}$.

Per correttezza bisogna segnalare che il FOCUS definisce questo valore come “valore più prossimo all’ottantesimo percentile” in quando non effettua un’analisi delle distribuzioni e si limita a considerare l’80mo utilizzando un approccio descrittivo (Figura 25).

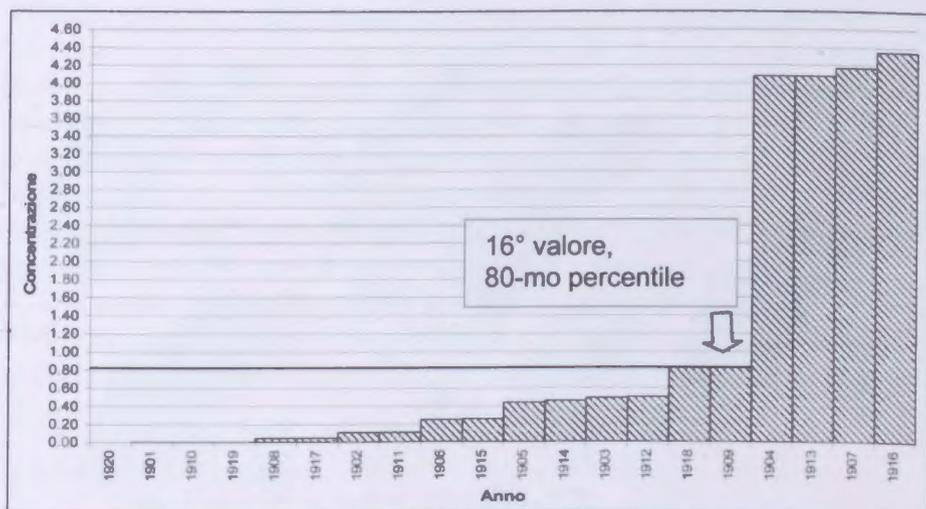


Fig. 25 Calcolo dell’ottantesimo percentile secondo un approccio descrittivo. Le concentrazioni medie annue di agrofarmaco lisciviato vengono ordinate dalla minore alla maggiore. L’ottantesimo percentile è la concentrazione che separa il primo 80% (16 anni su 20, in questo caso) dal restante 20%.

Nel corso degli ultimi hanno i progressi della scienza e dell'informatica hanno fatto sì che all'approccio dell'ottantesimo percentile venissero affiancati nuovi approcci definiti probabilistici (Figura 26).

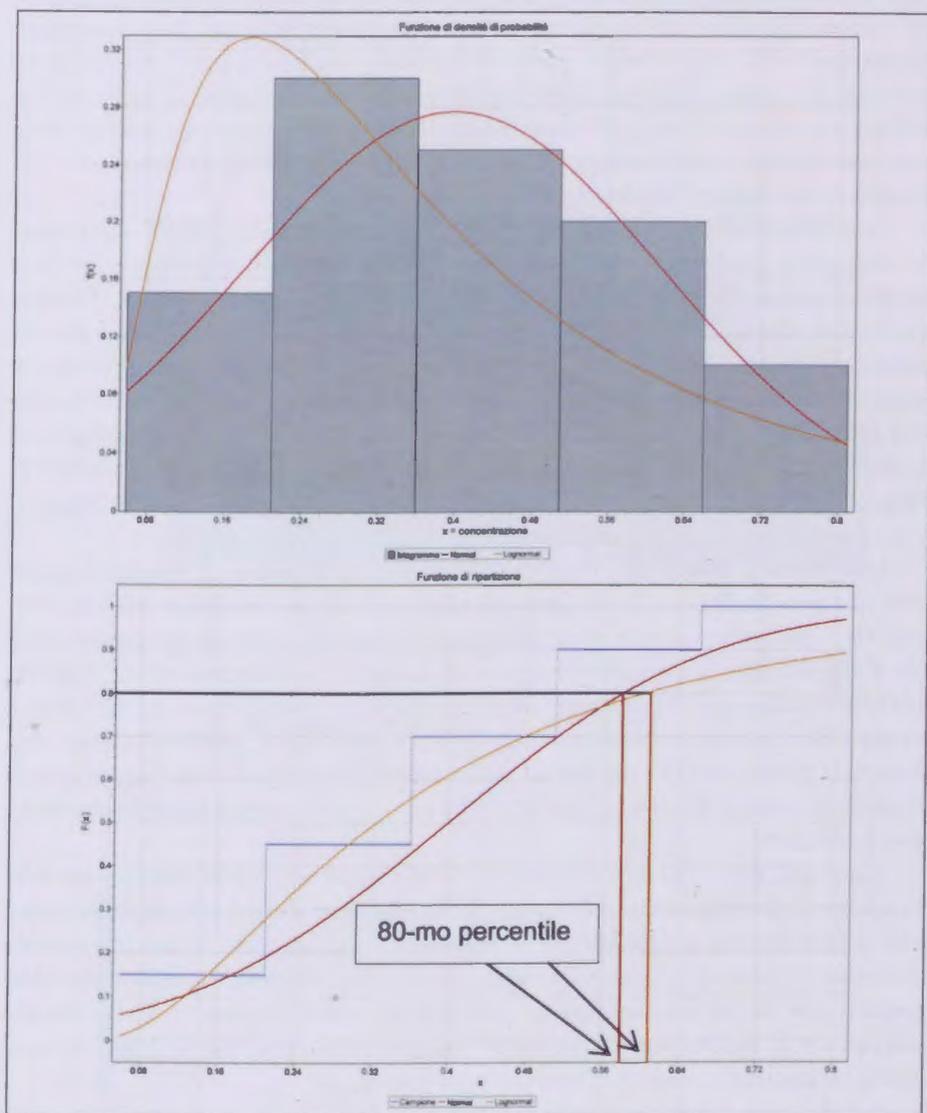


Fig. 26 Calcolo dell'ottantesimo percentile secondo un approccio probabilistico. I dati di partenza vengono analizzati e viene stimata la funzione di distribuzione. In questo caso sono rappresentate la funzione normale (in rosso) e la lognormale (in arancio). L'ottantesimo percentile è quella concentrazione che raggiunge l'80% di probabilità cumulata. È facilmente individuabile nel secondo grafico che riporta la probabilità cumulata, detto per questo motivo anche funzione di ripartizione.

Con l'approccio probabilistico si tiene conto di tutti gli output della simulazione e non solo di un valore medio o di un altro descrittore di posizione come è il caso dell'80-mo percentile. Questi nuovi approcci hanno ricevuto molta attenzione perché sono in grado di considerare l'incertezza legata alle previsioni dei modelli ed offrono garanzie di maggiore successo rispetto alle corse deterministiche soprattutto se la scala diventa quella di bacino o regionale, ma è necessario lo sviluppo di protocolli per la caratterizzazione del data-set rispetto a: suolo, clima, coltura e pesticida. Il livello di approfondimento e complessità delle informazioni richieste dal data set deve essere in relazione al tipo di modello da utilizzare e alle finalità da perseguire (Vischetti, 2007).

Con FitoMarche, che è nato per generare mappe di vulnerabilità utilizzando la cartografia prodotta dagli esperti dei vari enti regionali, è possibile studiare la percolazione di pesticidi utilizzando un approccio probabilistico. Bisogna premettere che questo approccio non è ancora stato implementato nel software, essenzialmente per problemi di budget, ma che è possibile applicare manualmente partendo dai singoli files di output di FitoMarche. L'indicatore che è stato utilizzato per analizzare i risultati delle simulazioni secondo un approccio probabilistico è la probabilità di superare un certo valore soglia ovvero la "exceedance probability" (Figura 27). Nel caso di contaminazione da agrofarmaci si è scelto di utilizzare il valore limite per le acque profonde di $0.1 \mu\text{g l}^{-1}$.

L'exceedance probability oltre che a sintetizzare il rischio di contaminazione con una probabilità, ha il vantaggio di migliorare la comunicazione dei risultati con tutti gli interessati, che generalmente non hanno le nozioni per capire quale sia il significato o la pericolosità legata ad una certa concentrazione di pesticida (di solito qualunque valore maggiore di zero è ritenuto pericoloso), né tantomeno sanno cosa sia un ottantesimo percentile. L'exceedance probability esprime, infatti, la probabilità di superare un valore limite, prescritto da una legge e quindi facilmente accettabile con un valore che va tra 0 e 100 che può essere interpretato più facilmente.

L'uso dell'approccio probabilistico ha obbligato ad uno studio preliminare della funzione di distribuzione. La funzione di distribuzione è una funzione matematica che descrive come si distribuisce la probabilità che un certo fenomeno assuma determinati valori. Le funzioni possono essere finite o infinite, assumere sia valori positivi che negativi o solamente non negativi: ogni fenomeno si distribuisce secondo una determinata funzione ed esistono numerose tecniche per stimare quale sia la distribuzione migliore per ogni fenomeno.

È stato usato il software Mathwave-Easyfit 4 che ha permesso di analizzare come si distribuivano i valori di concentrazione media annua di ogni poligono simulato e si è stabilito che la migliore distribuzione fosse la distribuzione lognormale, che ha come funzione di probabilità cumulata:

$$F(x) = \Phi \left(\frac{\ln x}{\sigma} \right)$$

dove: Φ è l'integrale di Laplace e σ è il parametro di forma (> 0)

Questa distribuzione è stata utilizzata per stimare sia l'ottantesimo percentile che l'exceedance probability.

Per avere una prima validazione dei risultati ottenuti si sono confrontati i risultati delle simulazioni con i dati provenienti dal monitoraggio di pozzi e sorgenti effettuato da ARPA Marche.

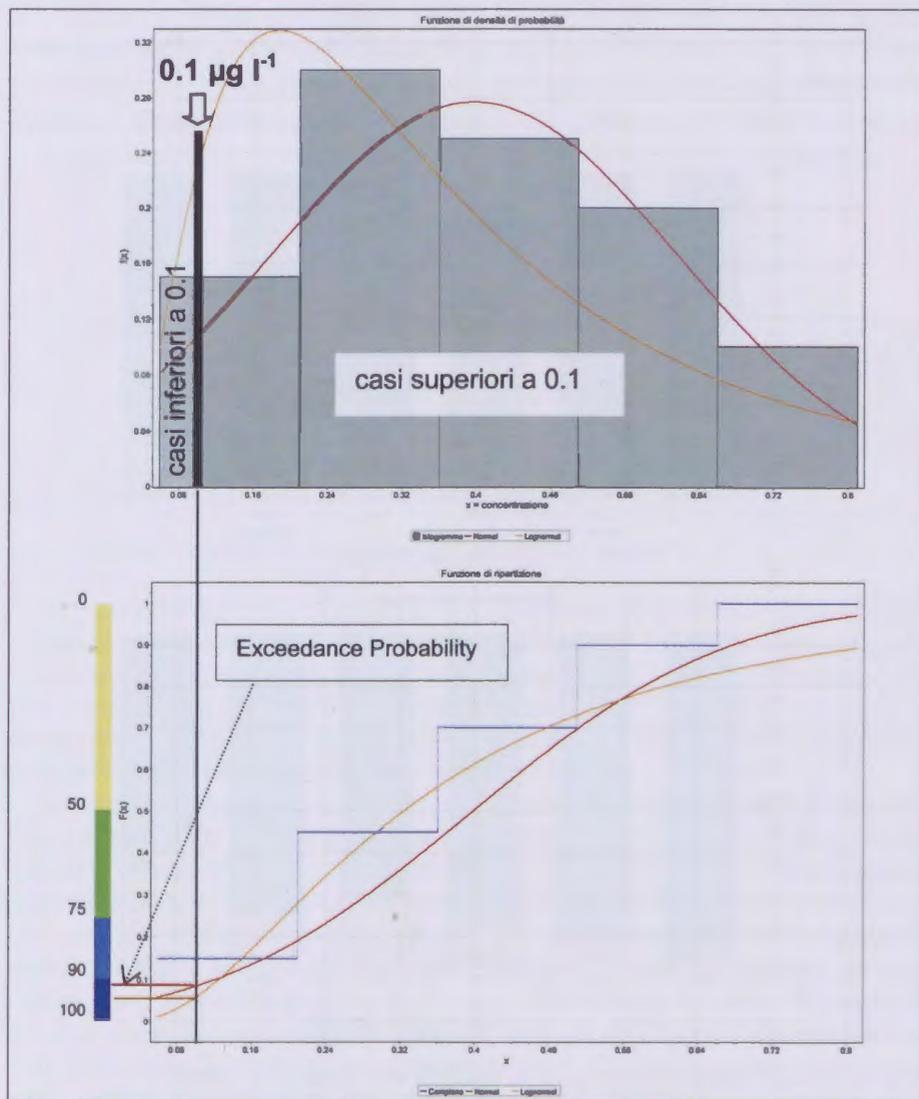


Fig. 27 L'exceedance probability (EP) è calcolata stimando le funzioni di probabilità, stabilendo un valore soglia e valutando quanti casi si collocano al di sopra ed al di sotto di tale valore. La probabilità di superare tale viene definita EP e si calcola come $1-F(x)$. In figura è riportata la stessa scala cromatica utilizzata per rappresentare i risultati.

4. RISULTATI

I risultati delle simulazioni sono stati anche raggruppati in classi: 0.1 µg l-1, 0.1-1 µg l-1, 1-10 µg l-1 ed oltre, usando i valori di 80-mo percentile e inferiore a 50%, 50-75%, 75-90% e >90% usando le exceedance probability (Figura 28). Per ogni classe è stata calcolata la relativa superficie regionale. Questi dati sono stati utilizzati per valutare l'effetto dell'agricoltura e delle rotazioni sulla percolazione di pesticidi.

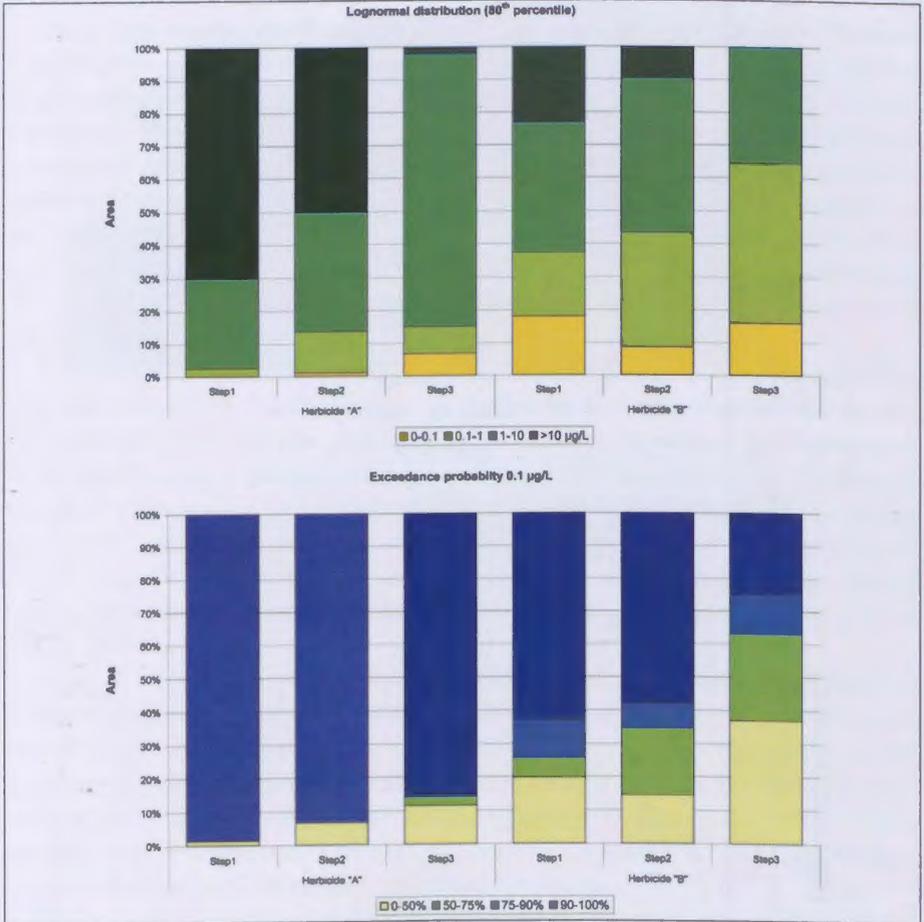


Fig. 28 Risultati ottenuti e raggruppati in classi. (Fonte: Balderacchi, 2008)

Il passaggio dalla fase 1 alla fase 2 ha ridotto la superficie simulata del 95% nel caso dell'erbicida A e del 19 % nel caso dell'erbicida B. Contemporaneamente si è avuta una riduzione della percolazione di pesticida. I fattori della produzione agraria possono essere raggruppati in clima, suolo e coltura, ed è risaputo che

esiste un legame tra di loro: Jenny (1941) ha incluso il clima nei 5 fattori di genesi del suolo mentre il ben noto concetto di terroir, creato nella viticoltura francese e poi successivamente esteso ad altre realtà, lega la produzione agricola ad una certa combinazione di suolo e clima (Figura 29). I risultati ottenuti dalle simulazioni confermano queste relazioni ed inoltre fanno supporre che vi sia un legame che tra percolazione di pesticida e tipo di agricoltura, in particolare fanno pensare che un certo tipo di agricoltura si sviluppi solo nelle aree con minore vulnerabilità. Pertanto questi risultati suggeriscono che negli studi di vulnerabilità a scala regionale bisogna considerare solo quelle aree dove una certa coltura viene coltivata e quindi dove è probabile che un certo agrofarmaco venga utilizzato.

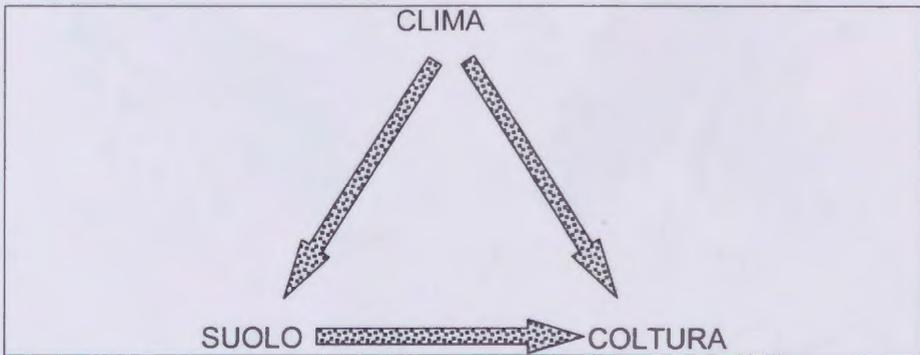


Fig. 29 Relazioni dipendenza tra i fattori della produzione agricola

Il passaggio dalla fase 2 alla fase 3 ha permesso di analizzare il ruolo della rotazione nella sostenibilità all'uso dei pesticidi. Anche in questo caso, nel quale sono state introdotte le rotazioni, è stata rilevata un'ulteriore diminuzione della percolazione degli agrofarmaci. Ciò dimostra anche sotto l'aspetto di vulnerabilità alla lisciviazione da agrofarmaci, la rotazione gioca un ruolo chiave nella sostenibilità nell'uso di agrofarmaci.

I risultati del confronto tra le mappe prodotte da FitoMarche ed i risultati del piano regionale di monitoraggio, sembrano confermare la bontà dell'approccio utilizzato (Figura 30 e Figura 31). L'erbicida "A" è stato rilevato in un'area maggiore di quella simulata. Tuttavia questo erbicida era in passato largamente utilizzato su altre colture e soprattutto veniva utilizzato per usi non agricoli, come il diserbo di aree industriali o dei percorsi ferroviari. L'uso non agricolo comportava dosaggi nettamente superiori a quelli utilizzati oggi sulla coltura del mais. Riguardo al pesticida B, in 2 casi il pesticida è stato rilevato da ARPAM in aree considerate non vulnerabili. Tuttavia in uno di questi pozzi il diserbante è stato rilevato una volta, mentre il campionamento delle acque è stato effettuato 3 volte, nell'altro pozzo il pesticida è stato rilevato nell'unico campionamento effettuato. Questo potrebbe far supporre anche ad una contaminazione puntiforme, che è quel tipo di inquinamento dovuto agli incidenti ed a tutte quelle pratiche diverse dalle buone pratiche di utilizzo, come sversamenti, utilizzi non corretti, inadeguati

condizioni di conservazione dei prodotti, distribuzione dei pressi di pozzi scoperti o pozzi mal coperti.

In condizioni normali, l'utilizzo di prodotti fitosanitari in agricoltura comporta un inquinamento di tipo diffuso, che interessa grandi superfici con carichi generalmente ridotti mentre nei casi di contaminazione puntiforme la sostanza percola più rapidamente, senza sufficiente attenuazione da parte dei processi di degradazione, e arriva in falda a concentrazioni più elevate.

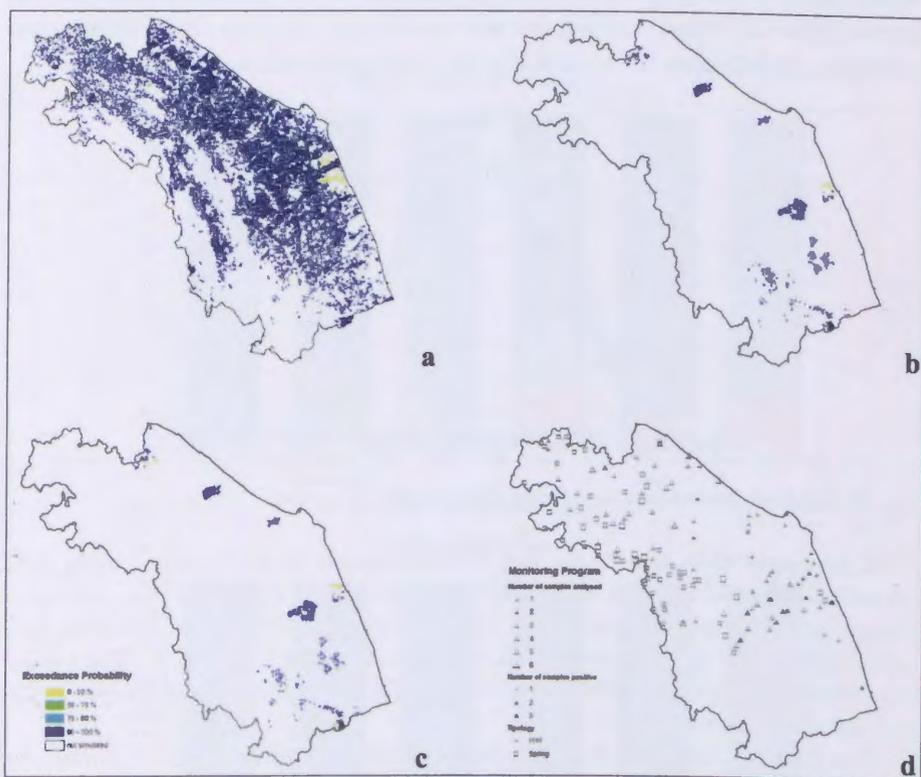


Fig. 30 Mappe di vulnerabilità per l'Erbicida "A". Le figure a, b, c riportano i risultati ottenuti secondo le 3 fasi già descritte, mentre la figura d riporta i risultati del piano di monitoraggio ARPAM. (Fonte: Balderacchi, 2008)

5. CONCLUSIONI

FitoMarche permette di identificare le aree più vulnerabili e quindi può aiutare gli enti regionali a stabilire zone di interdizione o imporre l'uso di particolari pratiche agronomiche (es: divieto di ristoppio) garantendo l'uso sostenibile di un certo agrofarmaco, superando l'approccio più restrittivo del vietare l'uso di una molecola all'interno di tutta la regione.

FitoMarche permette inoltre di realizzare piani di monitoraggio mirati nelle aree con maggiore probabilità di trovare un certo agrofarmaco. Ciò garantisce un risparmio immediato per gli amministratori della regione, in quanto non vengono più analizzati campioni che molto probabilmente risulteranno sotto al limite di rilevazione strumentale.

L'alta qualità dei dati prodotti e l'uso di un approccio probabilistico permette una più facile comunicazione col pubblico delle scelte fatte e delle problematiche connesse all'uso dei pesticidi.

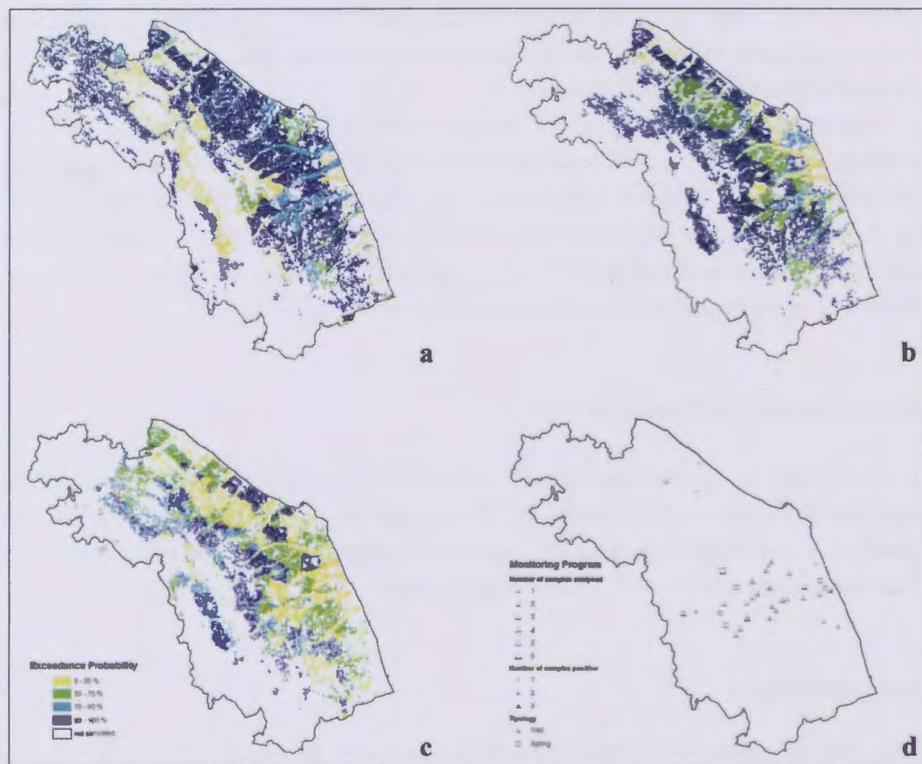


Fig. 31 Mappe di vulnerabilità per l'Erbicida "B". Le figure a, b, c riportano i risultati ottenuti secondo le 3 fasi già descritte, mentre la figura d riporta i risultati del piano di monitoraggio ARPAM. (Fonte: Balderacchi, 2008)

Per fare ciò è innanzitutto necessario sfruttare le diverse competenze dei vari enti o agenzie regionali che presentano caratteri di eccellenza in singoli settori (suolo, clima, agricoltura) ma che spesso vedono il risultato della loro attività sotto utilizzato o mancando il coordinamento tra i vari enti non sfruttano così gran parte delle possibili sinergie.

L'integrazione delle diverse basi di dati territoriali con approcci GIS, come è FitoMarche, permetterà in futuro di individuare gli errori presenti nella fase di

modellizzazione della regione da parte dello strumento GIS, nella cartografia di partenza che verrà utilizzata e nella fase di monitoraggio che validerà i risultati ottenuti. Quando questi nuovi strumenti saranno ben validati sarà anche possibile distinguere tra contaminazioni puntiformi e contaminazioni diffuse.

FitoMarche si presenta come un buon inizio per raggiungere questi scopi, tuttavia tante cose rimangono da fare.

L'autorità regionale si deve impegnare a migliorare la propria cartografia: aumentandone la scala di dettaglio, creando una carta delle rotazioni che tenga conto anche degli orientamenti colturali delle imprese agricole e validando funzioni di pedo-trasferimento che permettano la stima dei parametri idrologici del suolo, partendo da dati pedologici.

L'università deve continuare a sviluppare FitoMarche, creando una seconda versione che migliori la gestione degli input e che integri l'approccio probabilistico qui presentato. Considerato che la quantità e la qualità di informazione richiesta per la creazione delle mappe di vulnerabilità ai pesticidi è simile a quella per la creazione di mappe di vulnerabilità ai nitrati, quindi è auspicabile che in un futuro FitoMarche incorpori anche un modello nitrati.

6. ULTERIORI INFORMAZIONI

Il contenuto di questo esempio è in corso di pubblicazione con maggiore approfondimento su: Balderacchi M., Di Guardo A., Vischetti C., Trevisan M. The effect of crop rotation on pesticide leaching in a regional pesticide risk assessment. *Environmental science and Technology*. In press

BIBLIOGRAFIA

- APAT, 2005 *La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000*, APAT, Rapporti 36/2005. ISBN 88-448-0162-0
- BALDERACCHI M., DI GUARDO A., VISCHETTI C., TREVISAN M., *The effect of crop rotation on pesticide leaching in a regional pesticide risk assessment*. *Environmental science and Technology*. In press
- BALL B.C., BINGHAM I., REES R.M., WATSON C.A., LITTERICK A. 2005. *The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions*. *Can. J. Soil Sci.* 2005, 85, 557-577
- CLC 2000, Corine Land Cover Project. <http://reports.eea.europa.eu/COR0-landcover/en>. Accessed May 5, 2008
- FOCUS. 2000. "FOCUS groundwater scenarios in the EU review of active substances" Report of the FOCUS Groundwater Scenarios Workgroup, EC Document Reference Sanco/321/2000 rev.2, 2000, 202pp
- ISTAT. 2000 Data warehouse del quinto censimento dell'agricoltura. <http://www.census.istat.it/> Accessed May 5, 2008
- JENNY H. 1941. *Factors of soil formation*. McGraw-Hill, New York

- LILLY, A. 1997. *A description of the HYPRES database (Hydraulic properties of European Soils)*. In *The Use of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology Research Proceedings Second Workshop of the Project Using Existing Soil Data to Derive Hydraulic Parameters for Simulation Modelling in Environmental Studies and in Land Use Planning*. Bruand, A., Duval, O., Wösten, J.H.M. and Lilly, A., Eds. Orléans, France, 10–12 October 1996, 1997, 161–184
- Mathwave 2007, <http://www.mathwave.com/> Accessed May 5, 2008
- STENEMO F., JARVIS N. 2007. *Accounting for uncertainty in pedotransfer functions in vulnerability assessments of pesticide leaching to groundwater*. *Pest Manag. Sci.* 2007, 63, 867–875.
- VISCHETTI C., BALDERACCHI M., DI GUARDO A., BOTTA M., SERRANO A., SORCE A., TREVISAN M., 2007. *FitoMarche* in BALDERACCHI M., BOCCELLI R., TREVISAN M. *Tools to assess pesticide environmental fate*. *Agrochemicals/APES, EPRIP2 and FitoMarche software*. La Goliardica Pavese, Pavia 2007, 142pp

Finito di stampare
nel mese di ottobre 2008
dalla Tipolitografia Emmepiesse
Ancona

