



# Modellizzazione del destino degli agrofarmaci nell'ambiente

***Prof. Giovanni Gigliotti – Università di Perugia  
Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali  
Sezione di Chimica Agraria***

**ARPA Umbria ed il Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali dell'Università di Perugia dal 2004 hanno messo in atto una convenzione per giungere alla definizione e delimitazione delle aree vulnerabili da prodotti fitosanitari in Umbria.**

**Nella prima fase, conclusasi nel 2005, grazie ad un approccio di tipo modellistico, si era giunti ad una prima individuazione di aree potenzialmente vulnerabili, ed erano state definite le condizioni di vulnerazione delle falde per alcuni principi attivi all'interno delle aree critiche di indagine.**

**I risultati ottenuti in quella prima fase e le incongruenze riscontrate tra dati simulati e dati di monitoraggio, suggerivano di operare degli approfondimenti delle situazioni potenzialmente a rischio:**

- **verifica sperimentale di alcuni parametri di input del modello;**
- **validazione in campo del modello previsionale;**
- ***necessità di implementare i dati pedologici;***
- ***necessità di utilizzare un modello previsionale più affidabile e versatile rispetto a MACRO DB.***

# Completamento dell'

## Legenda

### Pedologia dell'area di studio

#### Sistemi di Territorio

- 1 - Collina di Cannara
- 2 - Collina di Ortena
- 3 - Collina di Deruta e S. Terenziano
- 4 - Pianura dell'Alta Valle del Tevere a nord di Città di Castello
- 5 - Pianura dell'Alta Valle del Tevere a sud di Città di Castello
- 6 - Pianura della Valle Umbra
- 7 - Pianure della media Valle del Tevere
- 8 - Pianure e versanti di Gubbio
- 9 - Versanti e colline da Città di Castello a Perugia in sinistra Tevere
- 10 - Pianure e versanti della valle del Nestore
- 11 - Versante di Selci Lama
- 12 - Collina di Cascine e Todi a Città di Castello
- 13 - Pianura della Valle del Topino
- 14 - Versanti di Todi
- 15 - Colline e basse montagne in sinistra Tevere
- 16 - Versanti di San Giacomo
- 17 - Pianure e versanti delle Valli del Nestore, Caina e Genna

Corsi d'acqua

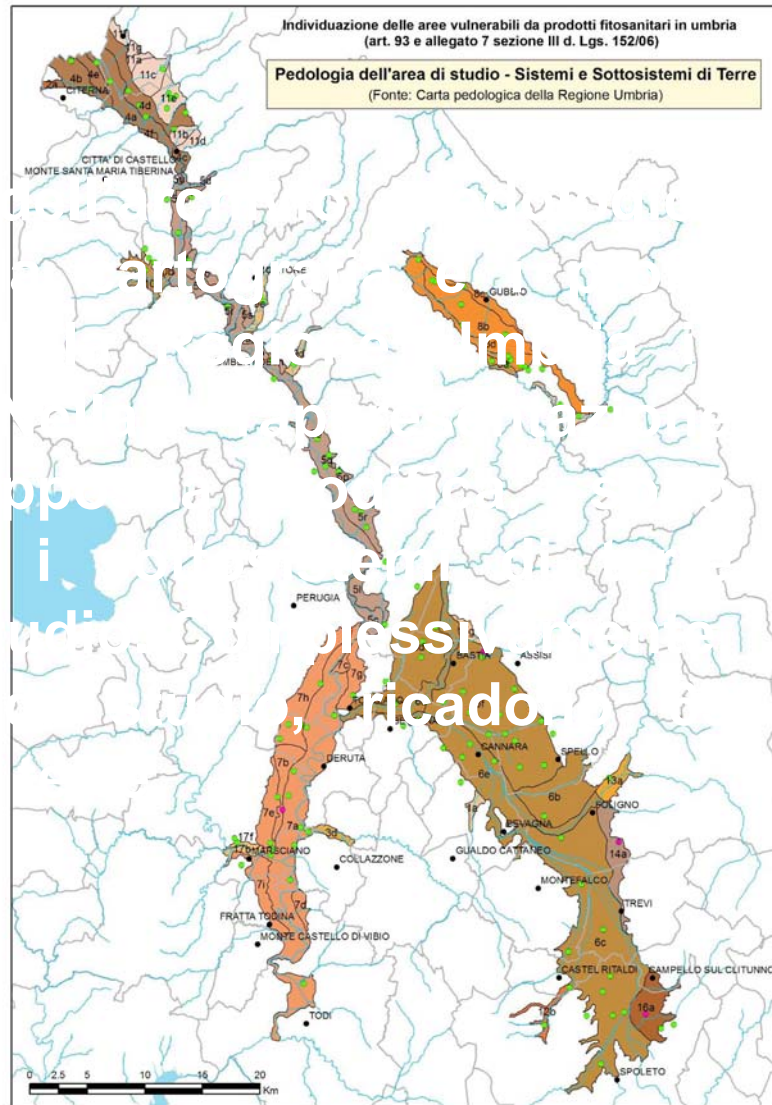
Laghi

( ) Profili pedologici

( ) Profili (integrazione)

! Capoluoghi comunali

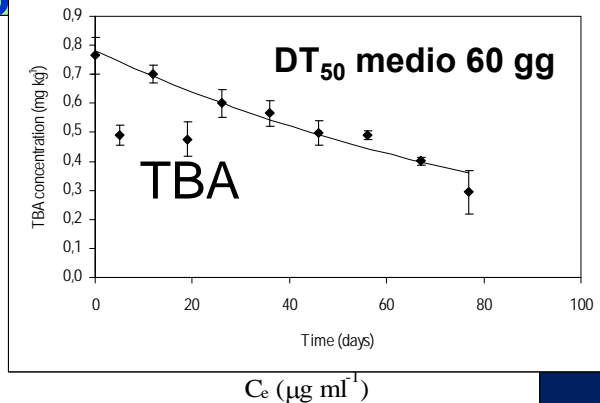
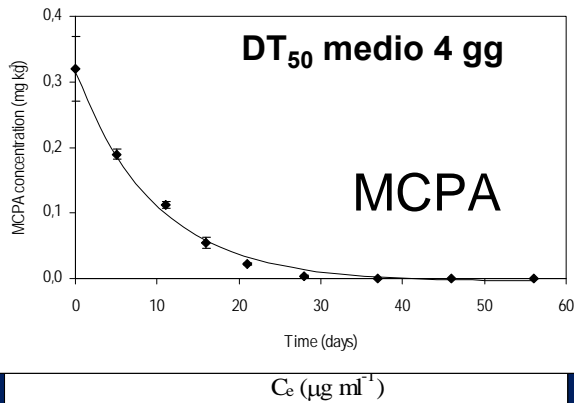
Limiti comunali



Per ciascun sottosistema sono stati individuati uno o più profili rappresentativi all'interno del database pedologico predisposto dalla Regione Umbria. Per alcuni sottosistemi è stato necessario integrare le informazioni disponibili con l'archivio pedologico preesistente realizzato dalla sezione di Geopedologia e Meccanica Agraria del Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali. I profili sono stati impiegati per le simulazioni sviluppate con il modello MACRO 5 scelto al posto di MACRO DB. In alcuni casi, in mancanza di profili rappresentativi ricadenti all'interno di alcuni sottosistemi, è stato necessario individuare comunque i profili di riferimento attraverso l'analisi delle loro caratteristiche geo-pedologiche.

# Validazione del modello MACRO 5

## 1. Prove di laboratorio per la determinazione dei dati di input



## Validazione del modello

### 2. Prove di pieno campo

Residui di terbutilazina espressi in mg/kg ( $\pm$  ES) nei due terreni alle diverse profondità 4, 20, 55 e 95 giorni dopo il trattamento.

Sono state impiantate prove di pieno campo per determinare mobilità e degradazione dei due principi attivi e quindi confrontare i dati determinati, con i dati di PEC<sub>soil</sub> e PEC<sub>gw</sub> simulati con MACRO 5

Profondità (cm)	Tempo (giorni)	
	10	79
0-5	3,79 $\pm$ 0,34	0,15 $\pm$ 0,02
5-10	0,18 $\pm$ 0,08	0,15 $\pm$ 0,02
10-20	n.d.	0,14 $\pm$ 0,04
30-40	n.d.	0,09 $\pm$ 0,04
40-50	n.d.	0,05 $\pm$ 0,01
50-60	n.d.	n.d.

Profondità (cm)	Tempo (giorni)			
	4	20	55	95
0-5	2,21 $\pm$ 0,73	0,68 $\pm$ 0,68	0,55 $\pm$ 0,12	0,19 $\pm$ 0,11
5-10	1,86 $\pm$ 1,75	0,66 $\pm$ 0,61	0,55 $\pm$ 0,12	0,19 $\pm$ 0,11
10-20	0,96 $\pm$ 0,20	0,75 $\pm$ 0,67	0,09 $\pm$ 0,03	0,15 $\pm$ 0,04
20-30	0,33 $\pm$ 0,02	0,23 $\pm$ 0,19	0,18 $\pm$ 0,03	0,08 $\pm$ 0,04
30-40	n.d.	n.d.	n.d.	0,07 $\pm$ 0,01
40-50	n.d.	n.d.	0,02 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,04
50-60	n.d.	n.d.	0,06 $\pm$ 0,06	n.d.

## **Validazione del modello**

### **2. Prove di pieno campo**

**Residui di MCPA espressi in mg/kg ( $\pm$  ES) nei due terreni alle diverse profondità 2, 14 e 36 giorni dopo il trattamento.**

Profondità (cm)	Tempo (giorni)		
	2	14	36
0-5	0,10 $\pm$ 0,10	n.d.	n.d.
5-10	0,04 $\pm$ 0,04	n.d.	n.d.
10-20	n.d.	n.d.	n.d.
20-30	n.d.	n.d.	n.d.

Profondità (cm)	Tempo (giorni)		
	2	14	36
0-5	0,14 $\pm$ 0,05	n.d.	n.d.
5-10	n.d.	n.d.	n.d.
10-20	n.d.	n.d.	n.d.
20-30	n.d.	n.d.	n.d.



## **Validazione del modello**

### **3. Simulazioni con MACRO 5**

Le simulazioni sono state effettuate con MACRO 5.0. I dati di input pedologici utilizzati erano relativi ai 4 terreni delle prove di campo, mentre i dati climatici si riferivano alle stazioni meteorologiche di S. Egidio, per il campo sperimentale di Petrignano, e di Papiano per il campo sperimentale di Casalina. Per quanto riguarda i dati di input relativi ai due prodotti fitosanitari sono stati utilizzati i valori di  $DT_{50}$  e  $K_{OC}$  determinati mediante le prove di laboratorio. Tutti gli altri dati di input agronomici erano relativi alle pratiche colturali normalmente eseguite nelle due aziende ospitanti le prove. Mediante le simulazioni sono stati determinati i dati di  $PEC_{SOIL}$  e di  $PEC_{GW}$  per MCPA e TBA riferiti al periodo della prova di campo. I dati di  $PEC_{SOIL}$  sono stati determinati alle medesime profondità alle quali, nel corso della prova, erano stati prelevati i campioni di terreno; i dati di  $PEC_{GW}$  venivano invece determinati ponendo la falda alla profondità standard di 1 metro, profondità alla quale, tra l'altro, erano posti i lisimetri.

## *Validazione del modello*

### *3. Simulazioni con MACRO 5*

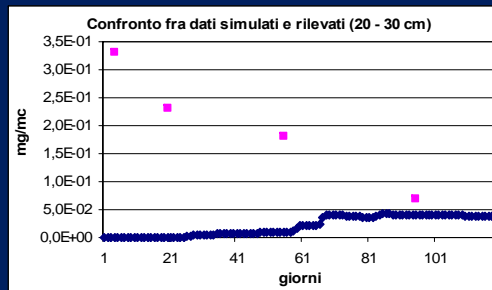
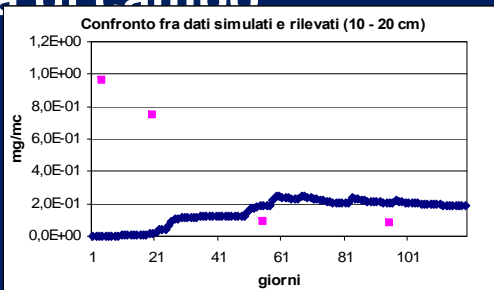
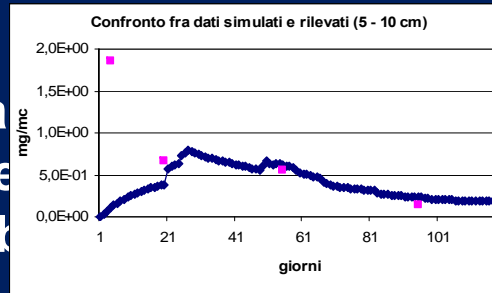
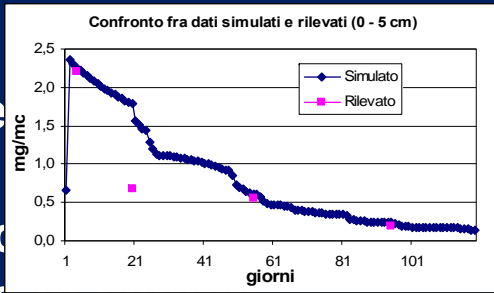
**A causa delle condizioni climatiche siccitose del 2007, in nessuno dei lisimetri impiegati nei siti sperimentali è stato possibile prelevare campioni di acqua nel corso della sperimentazione e, come conseguenza, per operare un confronto diretto tra dato simulato e dato determinato nelle prove di campo si è fatto ricorso alla determinazione delle sole  $PEC_{SOIL}$  alle differenti profondità.**

# Validazione del modello

## 4. Confronto tra dati misurati e dati simulati

Più articolata la situazione per la TBA

Per  
corre  
i va  
pratic  
prova



dello ha  
zione con  
i terreno  
rilevati dalla

## *Applicazione del modello*

Tutte le simulazioni sono effettuate con Fitomarche, un software sviluppato presso l'Università Politecnica delle Marche che permette di collegare un sistema GIS con MACRO 5. In tal modo è possibile svolgere più simulazioni in serie per analizzare il comportamento dei fitofarmaci con riferimento ai differenti scenari pedoclimatici ottenuti dall'intersezione dei dati GIS.

Le simulazioni sono state effettuate utilizzando 15 differenti principi attivi con riferimento a 71 scenari pedoclimatici (macroplots) derivanti dall'intersezione fra zonizzazione climatica e cartografia pedologica. Il periodo di riferimento scelto per le simulazioni è stato gennaio 1980 – dicembre 2000. In tutte le aree, è stata ipotizzata una rotazione biennale mais-frumento e l'adozione di tecniche colturali tipiche per la realtà agricola umbra.

## Applicazione del modello

I 15 Principi Attivi inseriti nel database sono stati selezionati in funzione dei parametri di destinazione ambientale e di vendita, al fine di individuare molecole che rappresentassero più classi di fitofarmaci per coprire il più possibile la variabilità delle proprietà chimiche delle sostanze più vendute a livello regionale. In particolare sono stati scelti dieci PA classificati secondo l'indice GUS come "Contaminanti", tre "Contaminanti intermedi" e due "Non contaminanti". Per le simulazioni è stata selezionata sempre la dose di impiego massima consigliata dalle case produttrici per la coltura considerata, nell'ottica di operare secondo un *realistic worst case* filosofia sempre seguita nel presente studio.

Principio Attivo	Classe	Indice GUS	Coltura	Dose (g/ha)
PICLORAM	C	4.98	Frumento	800
DICAMBA 2	C	4.88	Mais	300
MALOXIFOPROETOSSILE	C	4.09	Frumento	800
IMIDACULFURON	C	3.83	Frumento	800
TBA 2	C	3.46	Frumento	800
DICAMBA	C	3.30	Mais	300
GLIFSULFURON	C	3.23	Frumento	800
TBA	C	2.98	Mais	400
ETOPROFOS	C	2.84	Frumento	800
GLIFSULFURON	C	2.81	Frumento	15
PROBIFOS	C	2.75	Frumento	800
240DF	CI	2.77	Frumento	800
MCPA	CI	2.34	Frumento	810
OXIFLUORFEN	NC	1.71	Mais	400
GLIFSULFURON	NC	1.44	Frumento	450

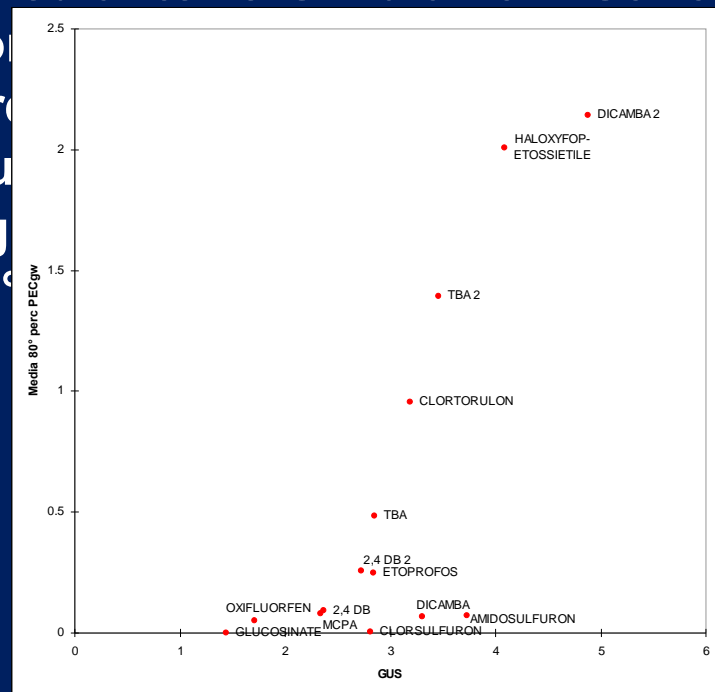
## *Applicazione del modello*

**In totale sono state effettuate 1420 simulazioni di cui 1065 effettivamente utilizzate per le valutazioni della vulnerabilità ai prodotti fitosanitari. Per i sottosistemi pedologici più estesi della media Valle del Tevere e della Valle Umbra, per i quali sono stati selezionati più profili rappresentativi, sono state condotte più simulazioni i cui risultati sono stati aggregati (calcolando una media dei valori ottenuti nelle singole simulazioni) al fine di ottenere un output unico.**

## Applicazione del modello

In tal modo è stato possibile evidenziare un andamento sigmoidale della risposta dell'80° percentile all'aumento del GUS con il brusco aumento dell'inclinazione della curva per valori di GUS superiori a 2,7

I risultati grezzi ottenuti mediante le simulazioni sono stati oggetto di elaborazioni che indicano un incremento dell'80° percentile più che proporzionale all'aumento del GUS stesso, a conferma dell'elevata pericolosità ambientale dei principi attivi contaminanti.

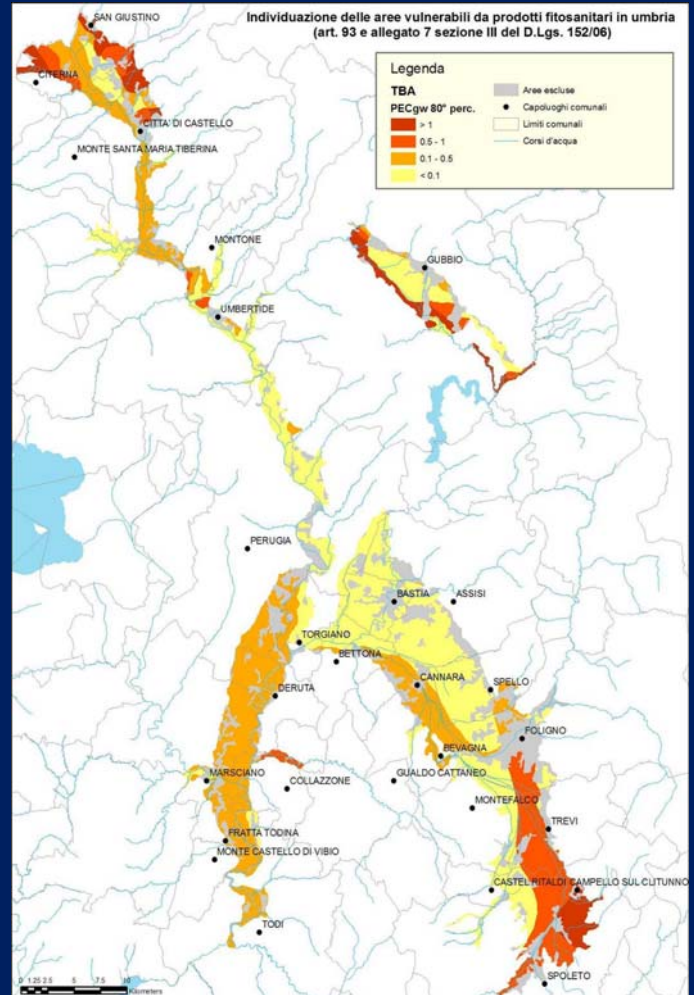
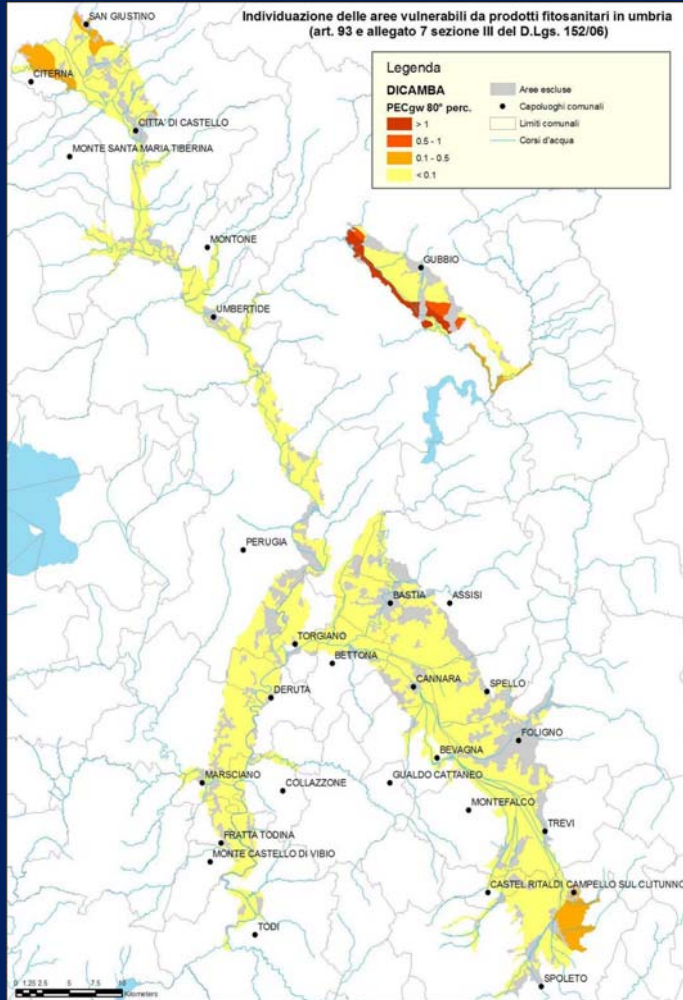


## *Applicazione del modello*

I valori di 80° percentile ottenuti per i singoli principi attivi negli scenari pedo-climatici delle pianure umbre sono stati cartografati mediante l'ausilio del GIS. Ai fini della rappresentazione sono state individuate 4 classi di  $PEC_{GW}$  la cui ampiezza è stata definita in relazione all'andamento delle serie di valori prodotti nelle simulazioni. Attraverso le informazioni cartografiche è possibile analizzare la risposta dei singoli scenari all'uso dei differenti principi attivi in termini di 80° percentile della  $PEC_{GW}$  e interpretare la variabilità spaziale dei valori ottenuti.



# A titolo di esempio 2 PA



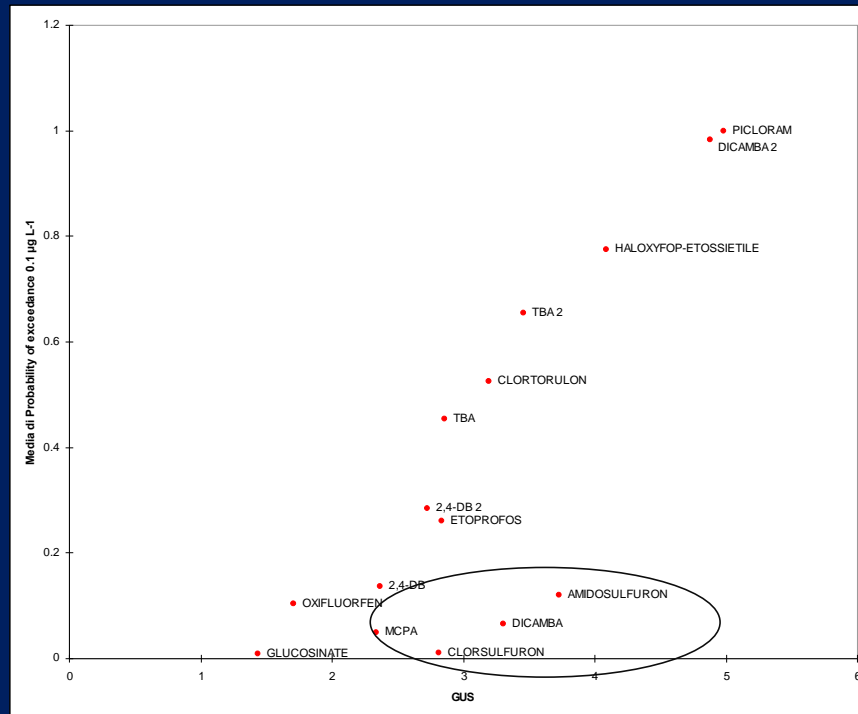
## *Applicazione del modello*

Oltre all'80° percentile della  $PEC_{GW}$  è stato calcolato un indice maggiormente rappresentativo della pericolosità ambientale dei principi attivi. Tale indice, rappresentato dalla *probability of exceedance* (o probabilità di superamento) della soglia di  $0,1 \mu\text{g/l}$ , ha permesso di evidenziare con maggiore efficacia la rischiosità ambientale associata all'impiego del fitofarmaco nelle condizioni ipotizzate per le simulazioni.

## Applicazione del modello

L'analisi incrociata fra i valori di GUS e quelli relativi alla probabilità media di superamento ha evidenziato un comportamento lineare delle risposte al crescere dell'indice GUS. Tale comportamento, anche questa volta, appare però differenziato in ragione del  $DT_{50}$ .

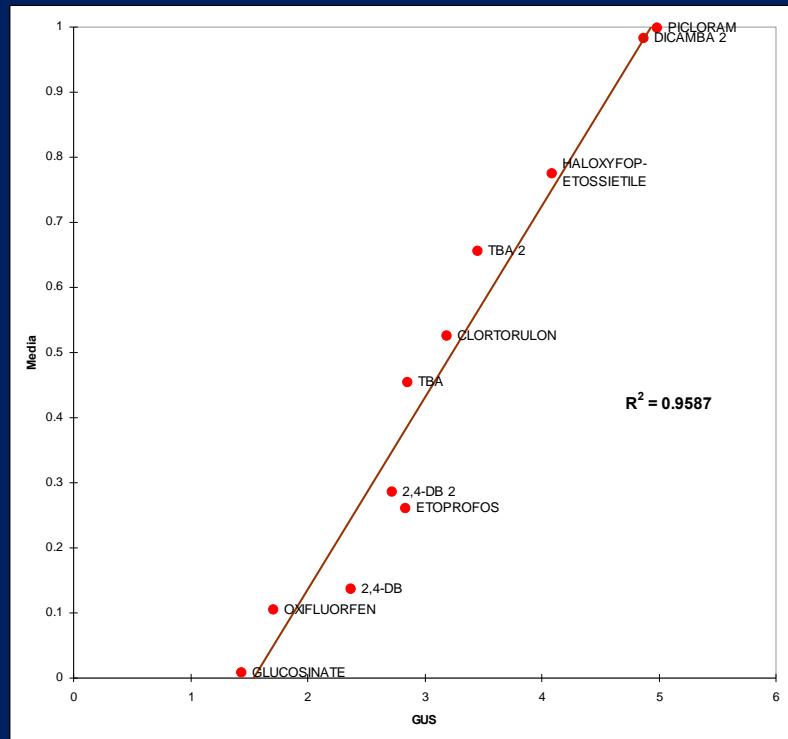
Infatti i principi attivi caratterizzati da un tempo di dimezzamento inferiore ai 15 gg (MCPA, clorsolfuron, dicamba e amidosulfuron) tendano ad allontanarsi drasticamente dalla retta che idealmente rispecchia l'andamento della probabilità media di superamento in funzione del GUS.



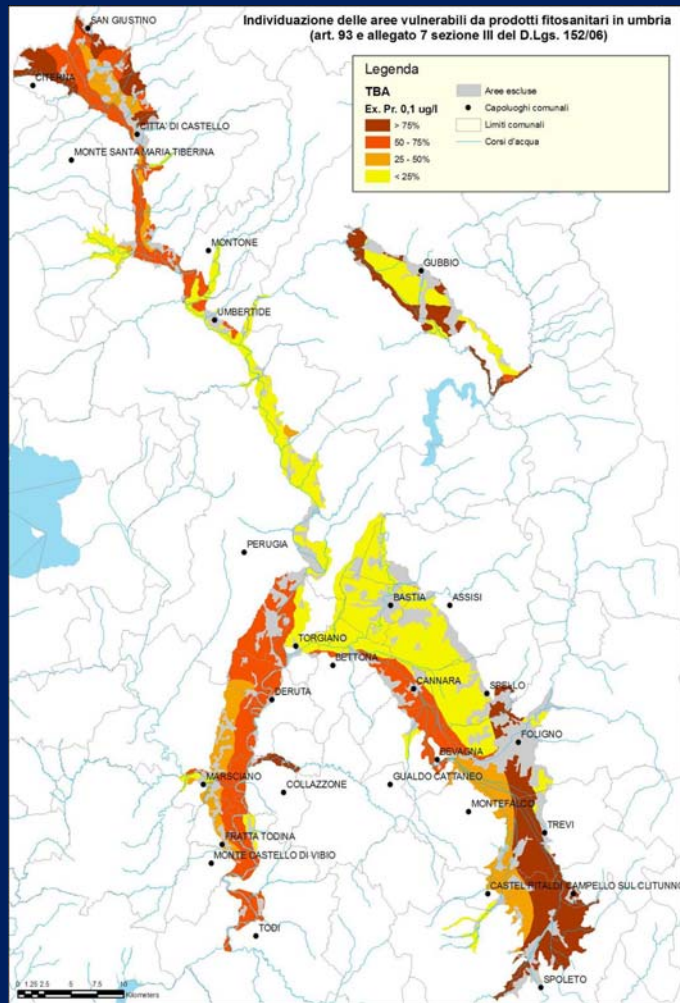
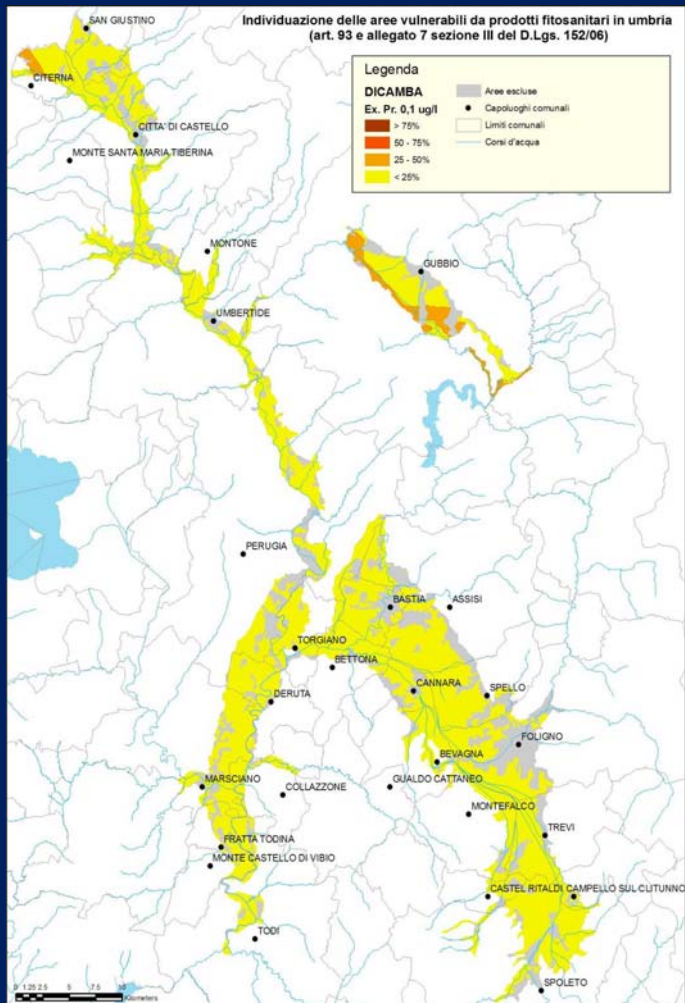
## Applicazione del modello

Un'ulteriore conferma viene fornita dal calcolo dell'indice di correlazione fra le serie di dati riferite ai fitofarmaci caratterizzati da  $DT_{50}$  maggiore di 15 gg.

L'elevato valore di correlazione ottenuto ( $R^2 = 0,96$ ) evidenzia un legame molto stretto fra probabilità media di superamento della soglia di  $0,1 \mu\text{g/l}$  e l'indice GUS.



# A titolo di esempio 2 PA



# ***Conclusione***

**Le simulazioni effettuate utilizzando scenari tipici umbri hanno messo in evidenza la validità dell'approccio modellistico nello studio del comportamento ambientale degli agrofarmaci.**

**Risultati estremamente positivi sono stati ottenuti nel valutare la vulnerabilità specifica a singoli PA o classi di questi.**

**Il passo successivo è stato quello di mettere in luce la capacità di attenuazione dei suoli e la vulnerabilità ai ppff, con risultati che saranno riportati nella prossima relazione che sarà tenuta dal Dr. Vizzari.**