

## STUDIO CON TEST BIOLOGICI DELLA PERSISTENZA E DELLA PERCOLAZIONE DI FOMESAFEN, ACIFLUORFEN E IMAZETAPIR IMPIEGATI IN POST-EMERGENZA DELLA SOIA

G. RAPPARINI, G. CAMPAGNA, L. BALESTRI, M. PIZZI

Centro di Fitofarmacia - Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare  
Università degli Studi - Via Filippo Re, 8 - 40126 Bologna

### Riassunto

Si riferisce di un'indagine condotta negli anni 1993-94-95 inerente lo studio della percolazione e persistenza di fomesafen, acifluorfen e imazetapir applicati in post-emergenza della soia su un terreno di medio impasto. Le frazioni di erbicidi biologicamente attive nel terreno sono state rilevate in serra con test biologici mediante la semina di ramolaccio (*Raphanus sativus major*) per fomesafen e acifluorfen, e di barbabietola da zucchero (*Beta vulgaris*) per imazetapir, su campioni di terreno prelevati a diverse profondità e intervalli di tempo. L'indagine ha permesso di constatare un'elevata mobilità e persistenza dei tre erbicidi ad applicazione fogliare rilevati nel suolo ad una concentrazione < a 3,83 µg di fomesafen, 7,19 µg di acifluorfen e 0,536 µg di imazetapir ogni kg di terreno secco analizzato.

**Parole chiave:** erbicidi, indicatori biologici, persistenza, percolazione, residui.

### Summary

#### STUDY OF PERSISTANCE AND PERCOLATION WITH BIOASSAY OF FOMESAFEN, ACIFLUORFEN AND IMAZETHAPYR APPLIED IN POST-EMERGENCE OF SOY-BEAN

Persistence and percolation of fomesafen, acifluorfen and imazethapyr applied at different rates in post-emergence of soy-bean in sandy-loam soil were studied by bioassay. The amounts of herbicides biologically active have been determined in greenhouse on soil samples collected at different depths and times, using radish (*Raphanus sativus major*) for fomesafen and acifluorfen, and sugarbeet (*Beta vulgaris*) for imazethapyr. The study showed a high mobility and persistence of the three herbicides detected in soil at a concentration < than 3.83 µg of fomesafen, 7.19 µg of acifluorfen and 0.536 µg of imazethapyr per kg of dry soil.

**Key words:** herbicides, bioassays, persistence, percolation, residues.

### Introduzione

Gli erbicidi fomesafen e acifluorfen, dotati di una buona attività per assorbimento radicale, vengono impiegati in post-emergenza della soia per l'elevata efficacia nei confronti delle principali infestanti dicotiledoni, e solo su fagiolo il fomesafen è registrato per le applicazioni di pre-emergenza. Imazetapir è un nuovo erbicida appartenente alla famiglia degli imidazolinoni, attivo a basse concentrazioni su numerose malerbe dicotiledoni e graminacee che infestano la soia, caratterizzato da un'azione a livello radicale. I dati riguardanti la degradazione e la persistenza agronomica del recente imazetapir sono limitati (Cantwell *et al.*, 1989; Goetz *et al.*, 1990), così come sul comportamento nel terreno di fomesafen e acifluorfen non si dispone che di ridotte informazioni (Jonson *et al.*, 1993). La conoscenza della mobilità e della persistenza degli erbicidi nel terreno è molto importante sia per limitare i rischi di inquinamento delle falde superficiali che per evitare danni alle coltivazioni che seguono la coltura diserbata. Per questo secondo aspetto in particolare, i metodi biologici offrono con maggior attendibilità risultati sull'effettiva persistenza dei residui erbicidi attivi e dei loro metaboliti nel terreno in grado di danneggiare essenze indicatrici ad elevata sensibilità scelte opportunamente (Rapparini *et al.*, 1991). Sulla base dei confortanti risultati ottenuti in precedenti esperienze con test biologici, e in particolare nello studio del comportamento nel terreno delle solfoniluree impiegate in

post-emergenza del mais, in cui è emerso che queste molecole sono dotate di elevata attività biologica a limitate dosi di applicazione (Rapparini et al., 1994), si è proceduto su soia nel triennio 1993-1995 per verificare la percolazione e la persistenza di fomesafen, acifluorfen e imazetapir impiegati a differenti dosi, utilizzando le specie più sensibili scelte tra le possibili colture di successione per ottenere una risposta agronomica oltre che ecologica.

#### Materiali e metodi

Negli anni 1993, 1994 e 1995 sono state eseguite in campo su terreno di medio impasto tre prove di diserbo su soia, impiegando fomesafen, acifluorfen e imazetapir a dosi differenziate (0,5-1-2 litri/ha di formulato commerciale per i primi due principi attivi e 1-2 litri/ha per l'ultimo).

Gli erbicidi sono stati distribuiti in post-emergenza della coltura allo stadio di foglie bilobate-prima trifogliata, su parcelle di circa 48 m<sup>2</sup> ripetute due volte, mediante barra trainata munita di ugelli a ventaglio irroranti un volume di 400 litri/ha di acqua.

Dopo i trattamenti si è proceduto a prelevare, a intervalli regolari di tempo, campioni di terreno alle profondità di 0-5, 5-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm, per saggiare in serra mediante test biologici la persistenza e la percolazione dei diversi principi attivi, utilizzando piante intere coltivate in vaso ed in grado di fornire una risposta in termini di fitotossicità per l'assorbimento dei residui erbicidi presenti nei campioni di terreno. Questi sono stati collocati in sacchetti di polietilene e conservati in congelatore in attesa di essere analizzati, allo scopo di rispettare la contemporaneità di esecuzione dei test biologici su tutti i campioni di terreno. Previo scongelamento in ambiente controllato, questi sono poi stati sminuzzati in omogenee particelle con setaccio a maglie di 4 mm allo scopo di favorire una semina più precisa, un'uniforme emergenza delle piante indicatrici e soprattutto assicurare un migliore contatto delle radichette con le frazioni terrose favorendo l'estrazione dei principi attivi. Con i campioni così preparati si sono riempite delle cassetine di 800 cc di capacità volumetrica, in cui sono stati seminati su due file a profondità costante, mediamente 14 semi di ramolaccio (*Raphanus sativus major*) per rilevare fomesafen e acifluorfen, e 26 semi di barbabietola da zucchero (*Beta vulgaris*) per imazetapir. Allo scopo di permettere un regolare sviluppo delle piantine e conseguire una risposta più attendibile, le cassetine seminate sono state prima trattate con una miscela anticrittogamica a base di propamocarb + carbendazim e mantenute in ambiente controllato (circa 20-25° C con il 75-85 % di umidità relativa) fino all'emergenza delle specie test, poi sono state trattate con iprodione esponendole alla luce indiretta del sole.

Per risalire alla concentrazione residuale diserbante presente nei campioni preparati per l'analisi (dosaggio biologico) contemporaneamente si è proceduto a distribuire mediante banco traslatore, dosi note e decrescenti dei diserbanti oggetto di indagine su 700 g di terreno secco prelevato dalle parcelle non trattate per costruire la scala di riferimento (diluizioni standard).

Il dosaggio biologico è stato effettuato mediante il confronto del grado di fitotossicità rilevato nei campioni con i valori della curva standard di dose risposta o di taratura costruita con i rilievi periodici eseguiti sui sintomi delle piante test seminate nella scala di riferimento.

La valutazione del grado di fitotossicità è stata effettuata mediante una scala empirica di valori da 0 a 10, attribuendo il valore 0 all'assenza dei danni e il valore 10 alla completa devitalizzazione delle piante test

#### Risultati

##### Scelta della specie test

Le essenze indicatrici da coltivare in vaso allo scopo di fornire una risposta in termini di fitotossicità sono state scelte sulla base di screening preliminari. I requisiti indispensabili sono elevata sensibilità al prodotto da ricercare, sintomi ben visibili e il più possibile proporzionali alla dose di principio attivo presente nel campione di terreno e sufficiente ripetibilità delle indicazioni fornite.

Per fomesafen e acifluorfen la pianta test è stata individuata nel ramolaccio (*Raphanus sativus major*), mentre per quanto riguarda imazetapir, la barbabietola da zucchero ha manifestato la maggior sensibilità con sintomi visivi facilmente rilevabili e ripetibili nel tempo.

Tab. 1 - Tavola fitotossicometrica: chiave descrittiva per la valutazione visiva dell'intensità dei sintomi di fitotossicità osservati sulla pianta test *Raphanus sativus major* alle diverse concentrazioni di fomesafen e acifluorfen, e su *Beta vulgaris* con imazetapir:

Fitotossicità grado scala 0-10	Descrizione sintomi		
	<i>Raphanus sativus major</i> (fomesafen)	<i>Raphanus sativus major</i> (acifluorfen)	<i>Beta vulgaris</i> (imazetapir)
0	Nessun sintomo	Nessun sintomo	Nessun sintomo
1	Decolorazioni perinervali sulle foglie completamente distese	Decolorazioni perinervali sulle foglie completamente distese	Emissione delle foglie che poi manifestano decolorazioni perinervali
2	Decolorazioni perinervali sulle foglie parzialmente distese	Decolorazioni perinervali sulle foglie parzialmente distese	Come 1, più arrossamento dei piccioli fogliari
3	Ustioni fogliari delimitate	Parziale distensione delle foglie che appaiono malformate	Come 2, più bollosità delle lamine fogliari
4	Ustioni diffuse e necrosi fogliari	Apice vegetativo malformato che sviluppa lentamente	Come 3, più attorcigliamenti e limitata espansione delle foglie
5	Ustioni ai cotiledoni e parziale sviluppo delle foglie che poi imbruniscono	Apice vegetativo atrofizzato e bloccato nello sviluppo	Sviluppo ridotto dei cotiledoni e delle lamine fogliari deformate e arrossate
6	Ustioni ai cotiledoni e inibizione di sviluppo dell'apice vegetativo	Sviluppo dei cotiledoni e inibizione dello sviluppo dell'apice vegetativo	Sviluppo ridotto dei cotiledoni e stentata emissione delle lamine fogliari
7	Ustioni e necrosi alla completa distensione dei cotiledoni	Completa distensione dei cotiledoni che poi parzialmente imbruniscono e necrotizzano	Cotiledoni ondulati e apice vegetativo arrossato che non emette le foglie
8	Ustioni e necrosi alla distensione dei cotiledoni	Emergenza e distensione dei cotiledoni che poi imbruniscono e necrotizzano	Cotiledoni ondulati e completo arresto di sviluppo dell'apice vegetativo
9	Ustioni e necrosi all'emergenza dei cotiledoni	Cotiledoni emergenti che poi imbruniscono e necrotizzano prima della distensione	Stentata distensione dei cotiledoni clorotici all'emergenza delle piantine
10	Mancata emergenza delle piantine	Mancata emergenza delle piantine	Clorosi e necrosi dei cotiledoni atrofizzati

Anno 1993

L'andamento termopluviometrico del periodo successivo all'applicazione degli erbicidi in campo, è stato caratterizzato da elevate temperature e da ridotte precipitazioni piovose. Nel corso dell'estate e del primo autunno invece, unitamente a temperature superiori alla media stagionale sono cadute frequenti e abbondanti piogge.

In tali condizioni climatiche il comportamento degli erbicidi rilevato su terreno di medio impasto attraverso analisi biologica è risultato il seguente:

- fomesafen è gradualmente percolato lungo il profilo del terreno raggiungendo lo strato di 30-45 cm al secondo prelievo effettuato a 60 giorni dal trattamento nelle parcelle dove era stato distribuito alle dosi maggiori di 1 e 2 litri/ha di formulato commerciale. Alla dose inferiore ha raggiunto la fascia di 30-45 cm solo al quarto prelievo effettuato a 135 giorni al termine del ciclo colturale della soia. La persistenza è risultata elevata, essendo il prodotto rilevato anche alla dose inferiore all'ultimo prelievo effettuato;
- acifluorfen si è approfondito più lentamente di fomesafen e solo alla dose maggiore di 2 litri/ha di formulato commerciale ha raggiunto in minima parte lo strato di 30-45 cm a 60 giorni dall'applicazione erbicida. Anche la persistenza è risultata inferiore, in quanto all'ultimo prelievo eseguito a 135 giorni dal trattamento sono state rilevate solo tracce di principio attivo al limite della sensibilità biologica con le dosi inferiori di applicazione;
- imazetapir è percolato lungo il profilo del suolo in quantità rilevante raggiungendo lo strato di 30-45 cm di profondità dopo soli 60 giorni dal trattamento anche alla dose normale di applicazione di 1 l/ha

di prodotto commerciale. Inoltre ha dimostrato di possedere un'elevata persistenza nel terreno, residuando fino a oltre 135 giorni in quantità elevate (più di quattro volte superiori rispetto al limite di rilevazione biologica).

#### Anno 1994

L'andamento climatico dopo l'esecuzione dei trattamenti erbicidi è stato caratterizzato da normali temperature che nel corso dell'estate si sono elevate oltre la media stagionale. Le precipitazioni piovose sono cadute abbondanti nei mesi di giugno e settembre, mentre i restanti mesi sono stati caratterizzati da sporadiche piogge di limitata entità. In tale contesto climatico il comportamento degli erbicidi saggiati è stato il seguente:

- fomesafen ha manifestato un'elevata capacità di approfondimento raggiungendo alla dose maggiore di applicazione l'ultimo strato di terreno prelevato a 45-60 cm di profondità dopo soli 45 giorni dall'applicazione in seguito alle abbondanti precipitazioni piovose cadute nel mese di giugno. Alle dosi ridotte invece, l'ultimo strato è stato raggiunto nel prelievo successivo effettuato a 91 giorni. La persistenza d'azione si è protratta fino ad oltre la raccolta della soia anche quando il prodotto è stato impiegato alla dose inferiore di 0,5 litri/ha di formulato commerciale. Più elevati ed in quantità proporzionali alla dose di applicazione sono risultati i residui del prodotto distribuito alla dose di 2 l/ha;
- acifluorfen si è approfondito in breve tempo nel terreno raggiungendo la fascia di 15-30 cm ad appena 45 giorni dal trattamento in seguito all'abbondante piovosità. In seguito l'entità della percolazione è stata limitata tanto che lo strato più profondo di 45-60 cm non è stato interessato all'approfondimento del prodotto anche quando lo stesso è stato impiegato alla dose di 2 l/ha. La degradazione di acifluorfen nel terreno è risultata graduale nel corso dell'estate fino a raggiungere il limite della sensibilità biologica a 135 giorni dal trattamento;
- imazetapir ha manifestato un elevato grado di mobilità raggiungendo dopo soli 45 giorni la profondità di 30-45 cm quando è stata impiegato alla dose di 1 l/ha e di 45-60 cm di profondità se utilizzato a 2 l/ha. Di elevata persistenza, è rimasto lungo il profilo del terreno fino ad oltre 135 giorni e quindi dopo la raccolta della soia, anche se in quantità esigue e ad una concentrazione < 1 ppb.

#### Anno 1995

L'andamento termopluviometrico è stato caratterizzato nel periodo successivo all'applicazione degli erbicidi in campo da frequenti e abbondanti piogge fino alla fine del mese di giugno, con abbassamento della temperatura sotto la media stagionale. Dopo un periodo di tempo stabile, in agosto sono riprese a cadere abbondanti piogge con concomitanti e repentini abbassamenti di temperatura. In tale contesto climatico il comportamento degli erbicidi rilevato con i test biologici è stato il seguente:

- fomesafen distribuito a 2 litri/ha di formulato commerciale si è approfondito rapidamente fino allo strato di 45-60 cm, mentre alla dose di 1 l/ha è stato rilevato solo al secondo prelievo eseguito a 59 giorni dal trattamento. Alla dose ridotta di 0,5 l/ha non si è mai approfondito oltre i 30 cm di profondità. E' persistito fino ad oltre 125 giorni in quantità prossime al limite di rilevamento biologico (circa 3,8 ppb) con la dose inferiore di applicazione e di quattro volte superiore (circa 15 ppb) nello strato più superficiale trattato con 2 litri/ha di formulato;
- acifluorfen è stato rilevato sin dai primi prelievi e a tutte le dosi di applicazione fino a 30-45 cm di profondità, mentre non ha mai raggiunto lo strato inferiore. Il prodotto è progressivamente degradato raggiungendo le soglie di rilevazione al limite della sensibilità (< 7 ppb) solo negli strati più superficiali di terreno trattati con le dosi inferiori, mentre alla dose di 2 l/ha è stata rilevata una minima quantità di principio attivo lungo tutto il profilo di terreno;
- imazetapir si è approfondito nel terreno raggiungendo lo strato di 30-45 cm già al primo prelievo effettuato a 30 giorni, mentre nei prelievi successivi è percolato fino allo strato di 45-60 cm. E' degradato più lentamente rispetto agli anni precedenti rimanendo attivo fino a 125 giorni in quantità



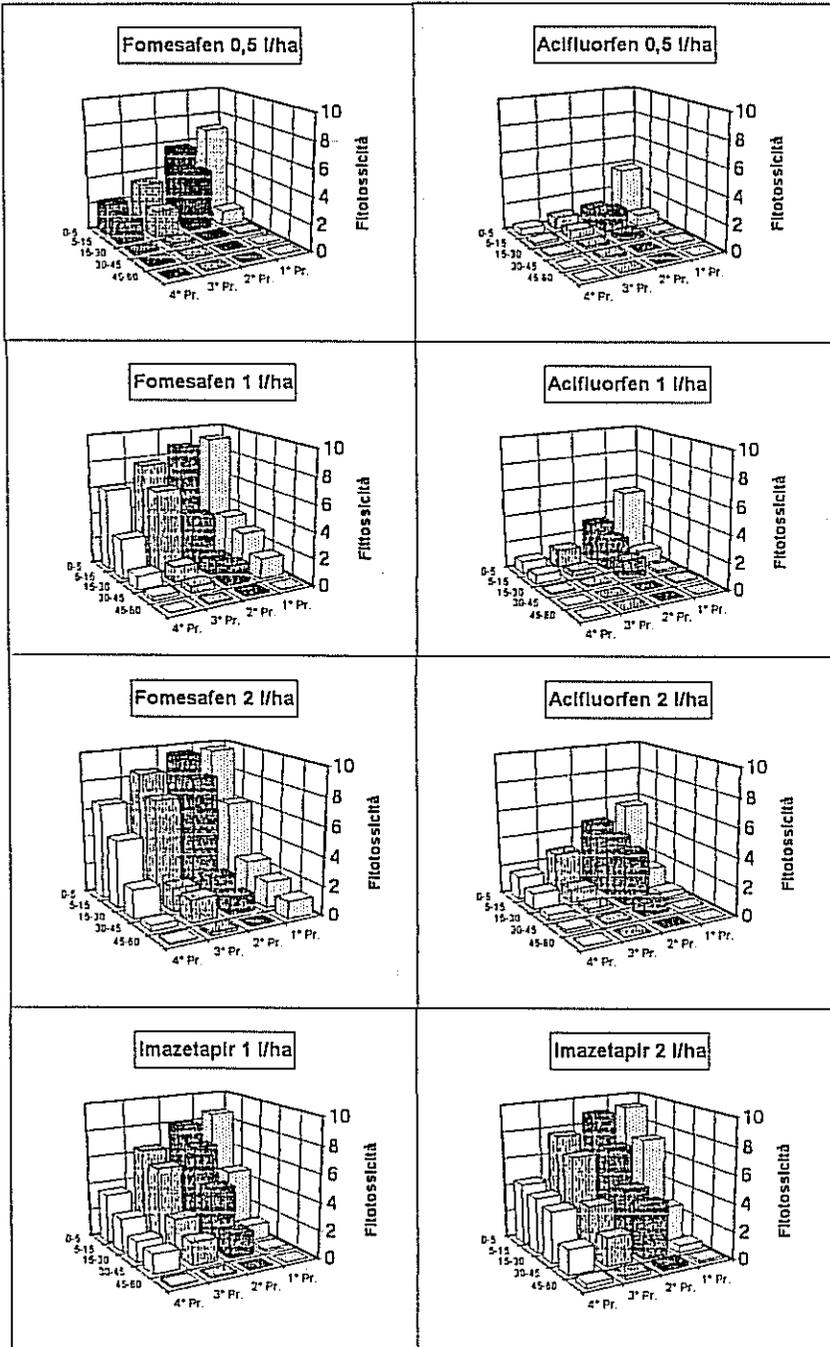
Tabella 2 - Persistenza e percolazione di Imazetapir applicato in post-emergenza della soia negli anni 1993-94-95

Nome comune (g/l di p.a.)	Dosi l/ha di f.c. (g/ha p.a.)	Profondità prelievo (cm)	$\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb) di p.a. presenti nei campioni di terreno prelevati in campo nei diversi anni dopo:												Limite di sensibilità (ppb)
			Anno 1993				Anno 1994				Anno 1995				
			31 gg.	60 gg.	98 gg.	135 gg.	45 gg.	91 gg.	135 gg.	30 gg.	59 gg.	95 gg.	125 gg.		
IMAZETAPIR (35 g/l)	1 (35 g/ha)	0-5	< 17,1	> 8,6	< 8,6	> 2,1	> 34,3	> 2,1	> 0,5	> 34,3	< 34,3	> 17,1	< 8,6	< 0,54	
		5-15	> 0,5	> 8,6	> 4,3	< 2,1	< 8,6	> 2,1	> 0,5	> 8,6	> 8,6	> 8,6	< 4,3		
		15-30	< 0,5	< 4,3	> 2,1	< 1,1	> 0,5	> 0,5	> 2,1	> 4,3	> 2,1	> 2,1	< 4,3		
	2 (70 g/ha)	30-45	0	1,1	> 1,1	< 1,1	< 0,5	< 0,5	0	0	0	0	> 2,1		
		45-60	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	> 2,1		
		0-5	> 34,3	> 17,1	< 17,1	> 2,1	< 171,5	< 8,6	< 1,1	< 171,5	< 171,5	> 34,3	< 17,1	< 0,54	
		5-15	< 4,3	> 8,6	> 8,6	< 17,1	< 2,1	< 0,5	> 17,1	> 17,1	> 34,3	< 8,6			
		15-30	< 1,1	> 2,1	< 8,6	< 2,1	< 1,1	< 0,5	< 4,3	4,3	< 8,6	> 4,3			
		30-45	0	< 2,1	> 1,1	> 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,1	< 4,3	< 4,3	> 4,3			
		45-60	-	-	-	-	-	0	0	< 1,1	< 1,1	< 1,1			

Caratteristiche del terreno: sabbia 16%; limo 48%; argilla 36%; pH 8,01; sostanza organica 1,04%; capacità di scambio cationico 20,11 meq/100 g

	DATI TERMOPLUVIOMETRICI									
	Anno	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Totale o medin		
Pioggia (mm)	1993	22,1	58,6	55,2	102,8	16,6	137,2	397,5		
Temperatura minima (°C)	1993	12,6	16,7	18,2	20,2	15,5	10,9	15,7		
Temperatura massima (°C)	1993	25,9	27,1	31,8	33,8	27,9	19,1	27,6		
Pioggia (mm)	1994	21,1	123,2	64,6	13,2	175,6	53,8	451,5		
Temperatura minima (°C)	1994	12,1	15,9	20,4	21,5	15,4	7,6	15,5		
Temperatura massima (°C)	1994	26,2	30,1	35,4	36,5	27,3	18,3	29,0		
Pioggia (mm)	1995	111,6	187,1	9,9	119,6	68,2	31,8	528,2		
Temperatura minima (°C)	1995	10,9	13,3	19,3	16,8	11,4	7,4	13,2		
Temperatura massima (°C)	1995	23,9	27,3	34,0	29,6	24,6	19,6	26,5		

Percolazione e persistenza media triennale di fomesafen, acifluorfen e imazetapir applicati in post-emergenza della soia nel triennio 1993-94-95



elevate e prossime a 4-8 ppb alla dose normale di applicazione e a 8-17 ppb a quella doppia negli strati compresi tra 0 e 15 cm di profondità.

### Conclusioni

Le risultanze ottenute dall'analisi biologica dei residui presenti nei campioni prelevati in campo sullo stesso tipo di terreno in relazione alle diverse condizioni climatiche, hanno permesso di trarre alcune considerazioni sul comportamento di fomesafen, acifluorfen e imazetapir utilizzati per il diserbo di post-emergenza della soia.

In primo luogo si è potuto osservare che tutti e tre i principi attivi tendono a persistere a lungo nel terreno, in particolar modo quando vengono impiegati alle dosi normali di campo e in maggior misura se utilizzati a quelle doppie. Tuttavia è stata superata la durata del ciclo colturale anche nei casi in cui sono state applicate le dosi minori dei formulati commerciali di 0,5 l/ha per fomesafen e acifluorfen e 1 l/ha per imazetapir, questo in particolare nell'anno 1995 quando sono state registrate temperature inferiori alla media stagionale.

La maggiore residualità attiva è stata accertata per imazetapir e per fomesafen, mentre trascurabile è apparsa quella di acifluorfen, il quale residua oltre la raccolta della soia in quantità prossima al limite biologico di 7 ppb. Il fomesafen, rilevabile a oltre 3,8 ppb, residua a concentrazioni di 7-15 ppb e rimane nello strato arabile del terreno in concentrazioni comprese tra 2 e 8 ppb.

Per quanto riguarda la percolazione nel profilo del terreno dei tre erbicidi esaminati, si può constatare che, dai prelievi alle diverse profondità, compreso lo strato di 45-60 cm, il prodotto che è maggiormente percolato è risultato l'imazetapir, in secondo ordine il fomesafen e in minor misura l'acifluorfen.

L'imazetapir in tutte le epoche di prelievo e anche alla dose minore d'impiego, è sempre percolato fino allo strato attivo di 30-45 cm di profondità, accumulandosi alla dose più elevata e nelle annate a maggiore piovosità, anche in prossimità della suola di lavorazione.

Il fomesafen rimane localizzato nei primi strati superficiali quando è utilizzato alla dose minima di 0,5 l/ha di formulato commerciale, per poi approfondirsi rapidamente negli strati più profondi fino a interessare lo strato di terreno a 45-60 cm quando è stato utilizzato alla dose di 2 l/ha di formulato.

Il meno biologicamente attivo acifluorfen è stato rilevato negli strati più superficiali quando è stato impiegato alle dosi di 0,5 e 1 l/ha di formulato commerciale, approfondendosi solo nello strato di 30-45 cm quando è stato impiegato alla dose più elevata e nelle annate a maggiore piovosità.

Dalle considerazioni sopra riportate emerge che in linea di massima si possono avere danni alle colture in successione alla soia quando si impiegano i più persistenti imazetapir e fomesafen utilizzati alle dosi più elevate, mentre minori preoccupazioni sussistono a tale proposito per acifluorfen.

A nostro avviso rimane minimo il rischio che con più percolabili principi attivi, come imazetapir e fomesafen, si possano inquinare le acque di falda, considerando che solo quantità infinitesimali delle frazioni attive di questi due preparati superano lo strato di sicurezza di 45-60 cm di profondità del terreno.

### Lavori citati

- CANTWELL J.R., LIEBL R.A., SLIFE F.W., 1989. Biodegradation characteristics of imazaquin and imazethapyr. *Weed Science*, 37, 815-819.
- GOETZ A.J., LAVY T.L., GBUR E.E., 1990. Degradation and field persistence of imazethapyr. *Weed Science*, 38, 421-428.
- JONSON D. H. and TALBERT R. E., 1993. Imazaquin, chlorimuron and fomesafen may injure rotational vegetables and sunflower (*Helianthus annuus*). *Weed Technology*, 7, 573-577.
- RAPPARINI G., CAMPAGNA G., BALESTRI L., PIZZI M., 1994. Studio con test biologici della persistenza e della percolazione delle solfoniluree del mais. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 1, 97-104.
- RAPPARINI G., PIZZI M., 1991. Metodi biologici per la rilevazione dei diserbanti nel terreno. *La Difesa delle piante*, 14 (1), 39-48.