

EVOLUZIONE DEL DISERBO CHIMICO IN AGRICOLTURA

ANDREA BASSI⁽¹⁾ - PIETRO CATIZONE⁽²⁾ - GIUSEPPE ZANIN⁽³⁾

(1) Du Pont Canid S.p.A.

(2) Istituto di Agronomia generale e Coltivazioni erbacee - Università di Bologna

(3) Istituto di Agronomia generale e Coltivazioni erbacee - Università di Padova

Mezzo secolo di diserbo chimico in Italia

La storia del diserbo chimico inizia, convenzionalmente, nel 1941, anno in cui fu sintetizzato il 2,4 D. Il problema di eliminare la vegetazione indesiderata è invece vecchio come l'uomo e in particolare come l'uomo agricoltore.

Non v'è dubbio che la pratica del diserbo si è evoluta più negli ultimi 50 anni che nei secoli precedenti. Meno di un secolo fa un francese fece involontariamente la prima esperienza di diserbo selettivo con la poltiglia bordolese e da quel momento è iniziata una graduale sostituzione della forza lavoro con il mezzo chimico per ovviare alla grande sproporzione tra il numero di piante seminate e il numero di piante spontanee. In precedenza l'agricoltore aveva escogitato la semina delle colture a file per scerbare più facilmente e sapeva sfruttare l'effetto rinettante di alcuni avvicendamenti colturali e di altre pratiche agronomiche. Oggi gli erbicidi sono parte integrante di quel sistema di tecnologie che ha fatto conseguire all'agricoltura moderna rilevanti progressi in termini di resa, stabilità della stessa, remunerazione e produttività. I Paesi ricchi si sono agevolmente abituati alla costanza di produzione dell'agricoltura moderna che determina, spesso, problemi di sovrapproduzione.

Chi utilizza gli erbicidi

Lo sviluppo economico può essere descritto come un aumento del valore del lavoro umano e se un prodotto non riesce ad adeguare il proprio contenuto di lavoro alla media degli altri prodotti, esso viene emarginato o eliminato dal mercato (Amadei *et al.*, 1986). Questo concetto è valido anche per le produzioni agricole per le quali i diserbanti sono dei mezzi sostitutivi del lavoro umano.

Gli interventi sostitutivi dell'impiego dei diserbanti, in particolare la scerbatura manuale, avrebbero oggi un costo inaccettabile. Valga l'esempio di una coltura come il riso il cui diserbo manuale, assorbendo circa 50 giornate

lavorative per ettaro, nei Paesi sviluppati equivarrebbe più o meno alla Piv.

Nel mondo circa la metà dei fitofarmaci è costituita da erbicidi (44% in valore); il loro consumo è estremamente diversificato e riflette le condizioni di sviluppo economico dei vari Paesi.

Il 90% circa del totale viene impiegato nei Paesi ad alto indice di sviluppo.

Tabella 1 — Diserbo chimico in risicoltura⁽¹⁾.

Paesi	Ettari a coltura (milioni)	% del fatturato globale degli erbicidi del riso	Resa / ettaro (tonnellate)
Giappone	2,3	62,1	6,3
U.S.A.	1,0	7,8	6,7
Europa	0,9	5,2	5,0
Brasile	5,7	3,3	1,7
Cina	32,0	2,6	5,4
Corea del Sud	1,3	2,6	6,6
India	41,0	2,4	2,2
Tailandia	9,3	1,8	2,0
Filippine	3,4	1,6	2,6
Indonesia	10,0	1,6	3,8
Bangladesh	10,6	1,6	2,2
Taiwan	0,5	1,3	5,8
Vietnam	5,6	1,3	2,7
Altri paesi	20,5	4,8	2,6
Totali	144,1	100,0	

(1) Stime relative al 1985.

L'analisi del consumo mondiale di erbicidi del riso ci offre un quadro eloquente della situazione (Tab. 1); da essa emergono enormi differenze tra i singoli Paesi risicoli a dispetto delle superfici a coltura. Su un totale di circa 140 milioni di ettari coltivati a riso, solo il 10% è interessato al diserbo chimico. Il Giappone con l'1,6% della superficie (2,3 milioni di ettari) rappresenta più del 60% del valore effettivo del mercato mondiale. Per contro l'India che coltiva circa 40 milioni di ettari di riso (28% del totale) ne diserba chimicamente poco più del 2% (1 milione di ettari) con prodotti di bassa tecnologia e concorre solo per il 2,4% a determinare il fatturato mondiale del settore.

Alcuni dati sul mercato italiano

Stime attendibili valutano che nel mondo si vendono annualmente erbicidi per diecimila miliardi di lire (1986). L'Italia con poco più di 50 imprese operanti nel settore e quasi 300 miliardi di fatturato (1986) rappresenta circa il 3% del mercato mondiale degli erbicidi. Da noi il ricorso agli erbicidi, in relazione alle altre classi di fitofarmaci, è inferiore alla media mondiale. Nel 1986, infatti, gli erbicidi costituivano il 35,8% del fatturato fitofarmaci rispetto al 43,8% di media mondiale.

Negli ultimi 5 anni (83-87), in Italia, il mercato dei diserbanti è cresciuto secondo un tasso di incremento medio annuo dell'11,6% in valore e del 3% in volume. Dal 1986, anche in Italia gli erbicidi rappresentano la classe di fitofarmaci col mercato di maggior valore (Fig. 1) avendo superato i fungicidi (34,8%). Il sorpasso ha coinciso con il decollo della soia, la diffusione dell'impiego di nuovi graminicidi per le colture a "foglia larga" e con le restrizioni che hanno limitato l'impiego di prodotti di basso costo (es. atrazine) in favore di altri più costosi.

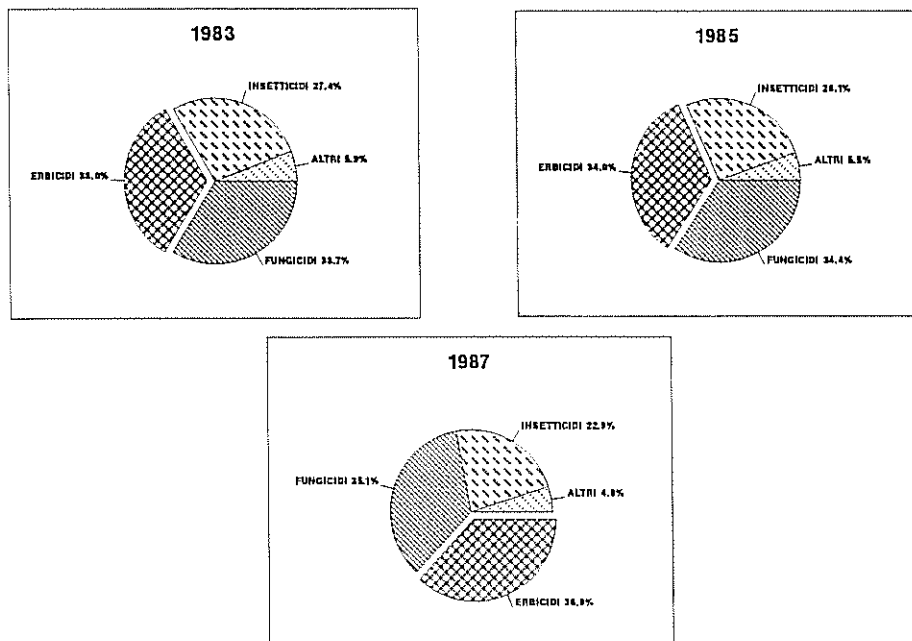


Figura 1 — Erbicidi in Italia (valori stimati). Evoluzione del mercato fitofarmaci nel periodo 1983-87. Importanza relativa delle classi di prodotto (valore).

Il consumo è prevalentemente incentrato su diserbanti appartenenti ai seguenti gruppi chimici: triazine, ammidi, carbammati, derivati ureici, nitroderivati e fenossiderivati, e segna una netta prevalenza di alcuni principi attivi.

Dei 98 principi attivi che risultavano registrati in Italia al febbraio '88 erano 85 quelli realmente disponibili e commercializzati in quantità apprezzabili. Di questi — da uno studio compiuto nel 1982 sui 68 più importanti — risultava che 6 principi attivi (atrazina, 2,4 D, MCPA, molinate, clorato sodico e TCA) rappresentavano da soli quasi il 50% della quantità totale venduta. Valutazioni analoghe su scala mondiale hanno portato a risultati ancora più sorprendenti: nel 1978, 5 prodotti totalizzavano il 70-80% del mercato mondiale (Torrey, 1982). L'Italia è purtroppo uno dei pochi Paesi che analizzano i consumi di antiparassitari in termini di formulato mentre la quasi totalità delle

nazioni esprime i propri consumi sotto forma di "sostanza attiva". Di conseguenza i dati italiani sono poco agevolmente confrontabili con quelli degli altri Paesi.

L'uso di erbicidi riguarda in particolare le principali colture erbacee (frumento, mais, soia, barbabietola, riso) che, sommate, assorbono dal 65% al 75% del consumo totale. La distribuzione geografica dei consumi indica che il maggior impiego avviene nelle regioni a più elevata Plv agricola. Nel 1987, a fronte di una Plv agricola nazionale per le colture erbacee ed arboree di circa 31.000 miliardi di lire, la spesa per gli erbicidi ha rappresentato circa l'1,15%. Si stima che la superficie interessata al diserbo in Italia si approssima a 5 milioni di ettari rispetto ad una superficie agricola unificata di circa 15 milioni. Con riferimento ai dati di stima — relativi ai consumi italiani di erbicidi nel 1987 — è possibile calcolare l'incidenza della spesa media in circa Lit. 23.000 per ettaro coltivato e circa Lit. 70.000 per ettaro diserbato.

Allo stesso modo, la quantità di erbicidi distribuita risulta essere di 2,3 kg di formulato per ettaro coltivato e di 7 kg per ettaro diserbato. Poiché in media, non ponderata, i formulati diserbanti contengono il 40% di sostanza attiva, in mancanza di dati ufficiali, si può affermare con buona approssimazione che, nel 1987, è stato distribuito in media meno di 1 kg di erbicida per ettaro coltivato e meno di 3 kg per ettaro diserbato. Difficilmente i valori riportati sono sottostimati poiché dal consumo totale non sono stati detratti gli erbicidi per il diserbo non agricolo.

Tabella 2 — Impiego di erbicidi selettivi sulle principali colture italiane⁽¹⁾.

Colture	Superficie diserbata (%)	Ettari coltivati (migliaia)	N. medio di interventi ⁽²⁾	N. di pp.aa. disponibili	N. di formulati originali
Frumento	72	2950	1,2	34	56
Mais da granella	90	770	1,2	23	34
Riso	96	190	2,0	18	26
Barbabietola	94	280	1,5	20	25
Soia	94	520	1,4	15	17
Girasole	75	120	1,1	15	17
Pomacee e drupacee	43	295	1,4	24	32
Vite	21	1050	1,2	18	28
Olivo	18	980	1,2	9	13
Agrumi	38	170	2,3	16	20

(1) Dati di stima relativi all'anno 1987.

(2) Considerando tank-mixing e interventi frazionati come singoli interventi.

La tabella 2 riporta le colture maggiormente diserbate in Italia. È noto che per alcune di esse la buona pratica agronomica contempla un programma di diserbo che si articola nella sequenza di due o più interventi. In esse il ricorso al diserbo chimico registra un progressivo aumento, ma negli ultimi anni la necessità di contenere i costi colturali e di ridurre la presenza di fitofarmaci

nell'ambiente ne va imponendo un uso sempre più contenuto e razionale. Un esempio dell'evoluzione dell'impiego del diserbo nel nostro paese nell'ultimo decennio ci è dato dall'analisi di quanto è accaduto per la barbabietola da zucchero (Figg. 2 e 3).

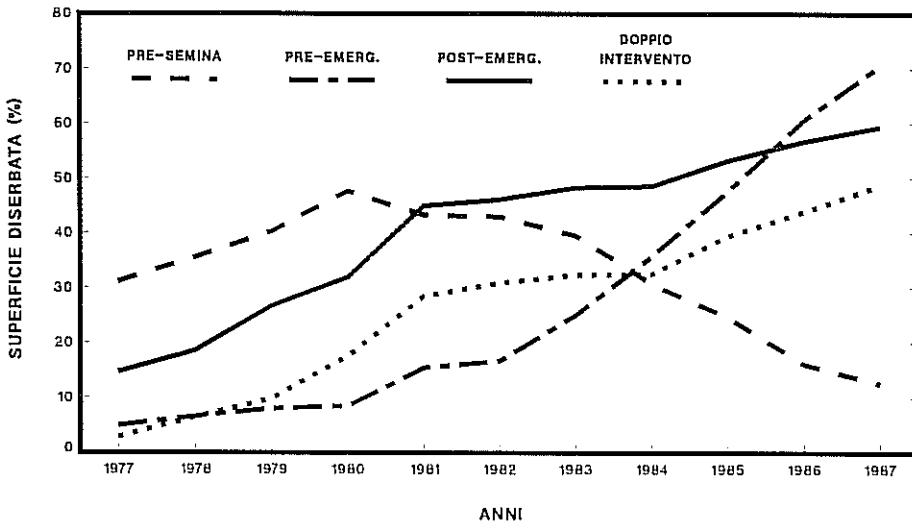


Figura 2 — Evoluzione del diserbo bietola nel periodo 1977-87 in Italia (fonte: CSRB, Società Eridania ZN).

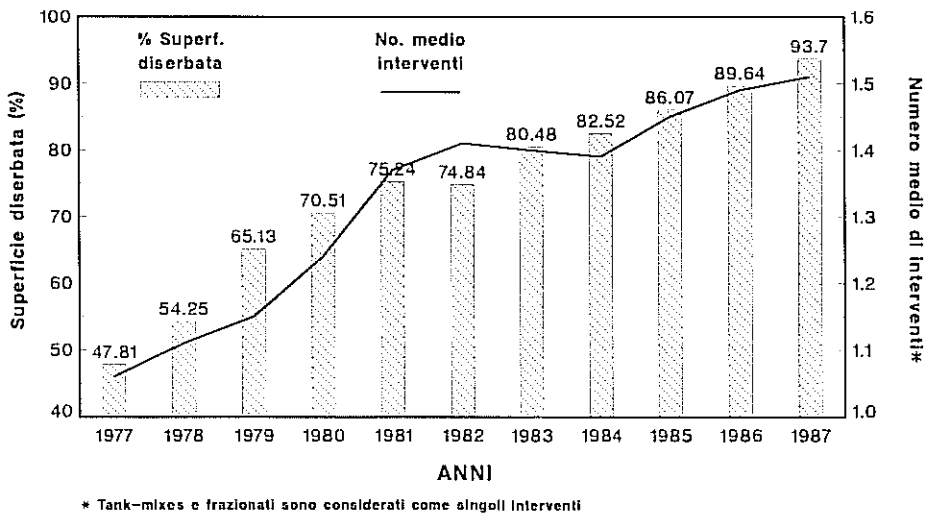


Figura 3 — Evoluzione del diserbo bietola nel periodo 1977-87 in Italia (fonte: CSRB, Società Eridania ZN).

Dinamica della immissione al consumo

Prendendo in esame gli erbicidi tuttora ammessi alla vendita, nell'arco di tempo che va dal 1936 al febbraio 1988, soltanto 5 sono stati introdotti prima del 1960, mentre 30 sono stati autorizzati nel decennio successivo.

Dal 1970 al 1980, 43 principi attivi erbicidi si sono aggiunti a quelli precedenti e altri 20 dal 1980 al febbraio 1988 (Fig. 4). Complessivamente, nel

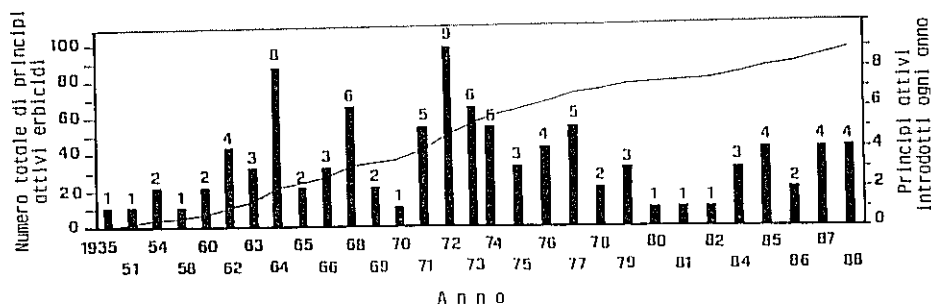


Figura 4 — Dinamica della immissione al consumo degli erbicidi in Italia.

periodo 1950-1988, si è avuta una media di 2,6 nuovi principi attivi erbicidi all'anno. Alle attuali 98 sostanze attive corrispondono 174 formulati di composizione originale e 530 prodotti commerciali (Tab. 3). L'analisi della situazione in altri Paesi rivela una dinamica analoga: in Francia, dove la pratica del diserbo si è diffusa su larga scala prima che in Italia, erano omologati a fine 87, 118 principi attivi con 217 prodotti di composizione originale e 602 prodotti commerciali. Nella tabella 4 si può vedere la ripartizione dei formulati erbicidi autorizzati in Italia, Francia e Inghilterra sulla base del numero dei componenti.

Tabella 3 — Diserbanti autorizzati in Italia⁽¹⁾.

Tipo	Composizioni originali		Formulati commerciali	
	n.	%	n.	%
Con 1 componente	87	50,0	357	67,4
Con 2 componenti	70	40,2	132	24,9
Con 3 o più componenti	17	9,8	41	7,7
	174		530	

(1) Febbraio 1988.

Passando ad esaminare gli erbicidi disponibili in Italia nel ventennio 1967-87 — parte dei quali non è più in commercio — si va dai 62 principi attivi del 1967 ai 106 del 1977, ai 98 del 1988. Nel periodo 67-87 si osserva un aumento dei formulati erbicidi a due o più componenti secondo un tasso di incremento quasi doppio rispetto ai formulati con un solo principio attivo. Il

periodo 1977-87 ha visto un calo dei principi attivi disponibili per effetto della eliminazione dal mercato di alcuni prodotti obsoleti e della entrata in vigore di una rigorosa procedura di registrazione che, se da un lato rallentava il flusso dei prodotti in arrivo, dall'altro riclassificava e in alcuni casi revocava l'impiego dei prodotti precedenti.

Tabella 4 — Diserbanti autorizzati in Italia ed in altri Paesi europei.

Sostanze erbicide	Italia (Feb. 1988)	Francia (Dic. 1987)	Gran Bretagna (Gen. 1982)
Principi attivi	98	118	116
Formulati originali	174	217	256
a 1 componente	87	96	100
a 2 componenti	70	82	103
a 3 o più componenti	17	39	53

Evoluzione e normativa dei prodotti erbicidi

Molti degli erbicidi del primo periodo (1900-1930) erano sostanze inorganiche ottenute, in alcuni casi, come sottoprodotti dell'industria dell'acciaio (solfato di ferro) o scarti di fonderia (triossidi di arsenico). Il "Repertorio dei principi attivi ad azione diserbante" edito in Italia nel 1965 a cura della SIF elencava ancora ben 33 composti inorganici (del cloro, boro, manganese, zolfo, azoto, arsenico) (Sisto, 1965).

I composti di questo tipo, in genere, avevano un basso costo e agivano a dosi massicce sul protoplasma vegetale. In seguito la ricerca mirò allo sfruttamento della specificità di molecole organiche, intesa dapprima come maggiore rendimento in termini di fitotossicità e quindi come selettività per le principali colture. Tuttavia, per l'ignoranza di molti processi biochimici delle piante, più che su di una sintesi chimica finalizzata, si poté agire solo a livello dello screening di nuovi composti. Rispetto agli erbicidi inorganici, i composti organici individuati negli anni 40 e 50 erano più costosi e molto più attivi: agendo tramite o sui sistemi enzimatici delle piante ne erano richieste quantità di impiego molto inferiori. Tipici esempi di tale evoluzione sono il dalapon che compete con il pantoato e inibisce la sintesi enzimatica dell'acido pantotenico, le uree sostituite, le triazine simmetriche e i carbammati che inibiscono la cessione dell'ossigeno nel processo di fotosintesi (Crafts, 1975).

Una parte degli erbicidi moderni è stata perciò scoperta mediante lo screening di migliaia di molecole allo scopo di individuare un "capostipite", molti altri sono stati ottenuti con la sintesi di composti analoghi all'archetipo.

Per poter divenire un prodotto commerciale un composto oltretutto agire "contro" le piante deve dimostrare una bassa tossicità per gli altri organismi, in particolare i mammiferi. Gli erbicidi sono spesso composti che interferiscono con processi metabolici tipici delle piante. Questo spiega, in parte,

perché la bassa tossicità per i mammiferi è una prerogativa di questa categoria di sostanze, come appare dall'esame della classificazione tossicologica dei principi attivi erbicidi oggi autorizzati in Italia, di cui il 90% appartiene alla 3^a o alla 4^a classe tossicologica (Fig. 5).

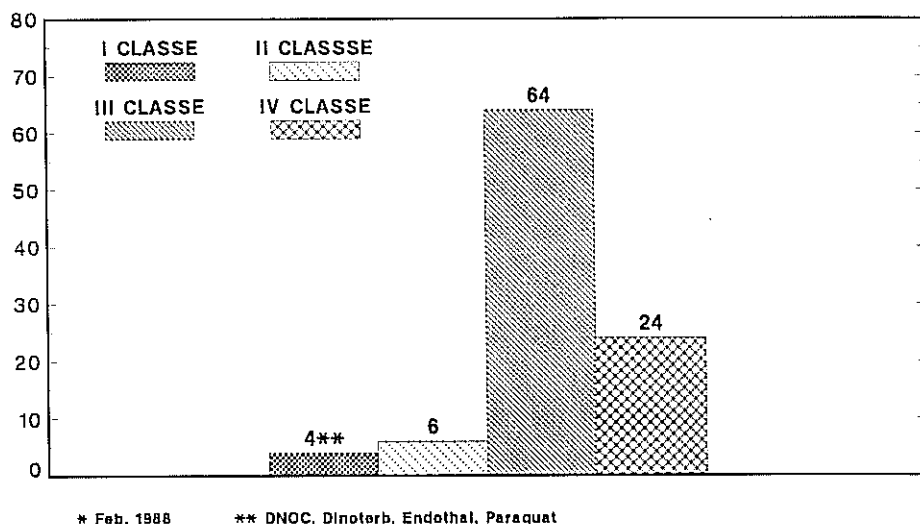


Figura 5 — Classificazione tossicologica dei principi attivi autorizzati in Italia*.

Le preoccupazioni sollevate in tempi recenti dall'uso dei diserbanti, più che alla loro tossicità intrinseca sono legate ai rischi di inquinamento ambientale derivanti dall'uso massiccio di alcuni di essi. A livello mondiale oggi esistono norme atte ad evitare i rischi connessi all'uso di fitofarmaci. È noto che varie organizzazioni internazionali (Fao, Who, Oecd, Cee, Oepp, Codex Alimentarius) operano al fine di armonizzare le norme di valutazione tossicologica dei fitofarmaci tra un Paese e l'altro. L'Italia, con la legge 30.4.62 N. 283 e 26.2.63 N. 441 ed il relativo Regolamento di attuazione (DPR 3.8.68 N. 1255) si è dotata di procedure autorizzative che sono tra le più rigide in campo mondiale per quanto concerne il vaglio tossicologico dei nuovi presidi sanitari (Fabbrini e Gaidano, 1987). Detta legislazione fu resa pienamente operante verso la fine degli anni 70 a seguito della istituzione, nel 1977, di una commissione di esperti che definì i criteri guida per la valutazione degli effetti mutageni, cancerogeni e teratogeni dei composti chimici.

Attualmente le richieste tossicologiche vertono principalmente sui seguenti studi: tossicità acuta, effetti irritanti sulla pelle e sugli occhi, effetti allergici, tossicità di metaboliti ed impurezze, metabolismo animale, tossicità a lungo termine, cancerogenesi, neurotossicità, teratogenesi, effetti sulla ripro-

duzione, mutagenesi, effetti potenzianti (Fabbrini e Gaidano, 1987).

Negli ultimi anni vi è stata una tendenza — comune alle varie classi di fitofarmaci — all'aumento nella richiesta di dati di chimica ambientale e si stima che tale tendenza continuerà in futuro con riferimento ai punti in elenco: tossicità verso gli uccelli, tossicità verso i pesci, effetti sulla qualità dell'acqua, effetti dannosi sulla fauna selvatica e sugli animali domestici, tossicità verso le api, tossicità verso gli invertebrati e gli insetti utili, comportamento nel terreno (degradazione, mobilità), effetti sui microorganismi del terreno (Fig. 6).

Figura 6 — Evoluzione delle richieste di studi tossicologici nel tempo.

Tossicità	1959 (atrazine)	1969 (methidathion)	1980 (metalaxyl)
Acuta	○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
Sub-cronica	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○
Cronica	○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○
Studi specifici	○	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
Ecotossicologia		○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Da H. Geissbühler, 1981.

Dinamica dei problemi

L'introduzione degli erbicidi selettivi in agricoltura ha innestato una serie di nuovi problemi che si sono via via susseguiti nel tempo e che hanno coinvolto le malerbe (il bersaglio), la tecnica agronomica e l'ambiente dove tale tecnologia viene impiegata.

Bersaglio

Innanzitutto il diserbo ha fatto evolvere il bersaglio. Gli erbicidi hanno agito molto in profondità sia a livello di struttura della vegetazione sia a livello di specie. Non tutti i cambiamenti sono imputabili al diserbo, (Haas e Streibig, 1982) ma certamente tale segmento della tecnica colturale ha avuto un ruolo decisivo.

Molti studi, anche in Italia, si sono interessati di questi aspetti (Cantele *et al.*, 1984; Ferrari *et al.*, 1984; Zanin *et al.*, 1985; Covarelli e Della Pietà, 1986). A detti lavori si rimanda per più particolareggiati approfondimenti. Merita solo ricordare, in questa sede, le tappe più importanti di tale evoluzione per poter

poi ricavare degli indirizzi operativi per il futuro. L'azione più immediata ed evidente si è realizzata a livello di struttura della vegetazione infestante.

Il diserbo ha modificato i rapporti tra tipi biologici favorendo, almeno nelle colture primaverili-estive, le terofite ed un piccolo numero di geofite, ben adattate a vivere nei terreni agricoli disturbati (*Calystegia sepium*, *Equisetum* spp, ...). Le emicriptofite ed ancor di più le camefite erbacee sono pressoché sparite. Attualmente lo spettro biologico delle comunità di malerbe delle colture primaverili-estive è formato per il 90% da terofite e per il 10% circa da geofite (Zanin *et al.*, 1988). Ma i caratteri più evidenti di questi cambiamenti sono: la diminuzione del numero e dell'abbondanza di alcune specie e l'aumento dell'abbondanza di altre più difficili da controllare con mezzi chimici (Ferrari *et al.*, 1987). È diminuito cioè il numero medio di specie e quelle poche rimaste, per il fenomeno detto della compensazione, hanno assunto una elevata densità di individui. Basti pensare ai numerosi binomi coltura-malerba che caratterizzano l'attuale panorama agronomico e che rendono estremamente difficile il controllo chimico per la vicinanza filogenetica che lega la malerba alla pianta coltivata (Tab. 5).

Tabella 5 — Esempi di binomi coltura-malerba presenti in alcune colture italiane.

Grano	- Graminaceae della tribù delle <i>Festucoideae</i> (<i>Poa</i> , <i>Alopecurus</i> , ...)
Mais	- Graminaceae della tribù delle <i>Panicoideae</i> (<i>Digitaria</i> , <i>Echinochloa</i> , ...)
Bietola	- <i>Chenopodium album</i>
Girasole	- Specie della tribù delle <i>Heliantheae</i> (<i>Bidens</i> , ...)
Radicchio	- <i>Galinsoga</i> spp.
Pomodoro	- <i>Solanum nigrum</i>
Carota	- <i>Ammi majus</i>
Colza	- Specie della tribù delle <i>Brassicaceae</i> (<i>Sinapis</i> , ...)
Riso	- <i>Oryza sativa</i> , var. <i>silvatica</i> (riso crodo)

All'interno di tali comunità semplificate ed instabili si vanno inserendo, grazie alla scarsità di competitori ed alla loro grande plasticità ecologica, specie a strategia ruderale o specie esotiche. La diffusione di queste entità (*Abutilon theophrasti*, *Xanthium strumarium*, *Bidens tripartita*, *Bromus sterilis*, *Aschlepias syriaca*, ...) rappresenta, attualmente, l'aspetto più preoccupante e per la loro elevata capacità competitiva e per la continua necessità di adeguare i programmi di lotta.

Gli erbicidi hanno poi agito a livello di specie selezionando individui più tolleranti o addirittura resistenti. I meccanismi responsabili della tolleranza possono essere diversi. Alcuni sono di natura ecologica legati per esempio alla scalarità e all'epoca di emergenza delle malerbe. Si ricorda a questo proposito le emergenze più tardive di numerose popolazioni di graminacee panicoidee o quelle preferenzialmente primaverili dell'*Alopecurus myosuroides* o autunnali dell'*Avena fatua* (Zanin *et al.*, 1985). Si tratta di un adattamento ecologico che

favorisce le emergenze in un momento in cui la carica residua dei trattamenti di pre-emergenza è in via di esaurimento o che permette alle malerbe di affrontare il trattamento di post-emergenza in uno stadio di superiore tolleranza.

I meccanismi coinvolti nella tolleranza sono più spesso di natura fisiologica e sono legati, in questo caso, alla maggiore efficienza di metabolizzazione, carattere di norma sostenuto da una base poligenica e sottoposto ad una selezione massale da parte dell'erbicida: il caso più tipico è l'aumento di tolleranza all'atrazina nelle panicoidee.

Anche la resistenza è un tipico fenomeno di natura genetica (Duesing, 1983) che interessa per il momento un numero limitato di specie e, almeno in Italia, solamente le triazine (Cantele *et al.*, 1985). Le basi biochimiche responsabili della resistenza sono state chiarite e sono completamente diverse da quelle che sostengono la tolleranza: nel caso della resistenza si è in presenza di un cambiamento avvenuto non a livello di ecologia o fisiologia della pianta, ma a livello molecolare cioè a livello di sito di azione (Pfister *et al.*, 1979).

Da questa rapida analisi, si ricava come le malerbe rappresentino un bersaglio estremamente plastico, capace di una elevata dinamica evolutiva. Tuttavia, i problemi che si sono via via affacciati, sono stati risolti con i nuovi prodotti, la cui dinamica di immissione nel mercato ha "fortunatamente" seguito di pari passo l'evoluzione floristica (es.: panicoidee → acetanilidi; *Buto-mus umbellatus* → bentazone; malerbe resistenti alle s-triazine → pyridate; *Cynodon dactylon* → glyphosate; *Sorghum halepense* → fluazifop-butyl; ...). Ciò però mette chiaramente in evidenza come il diserbo si riveli un intervento di breve termine: risolve dei problemi, ma pone le premesse per produrne altri che verranno, verosimilmente, risolti con nuovi prodotti e così via all'interno di una logica che non pare avere uscita.

Dall'analisi critica di quanto successo nel passato recente emerge chiaramente come uno degli obiettivi prioritari nella lotta alle malerbe debba essere quello di mantenere il più stabili ed equilibrate possibili le comunità di infestanti. Ciò può essere raggiunto variando i disturbi, prima che le malerbe si adattino ad essi ed impiegando un diserbo a bassa pressione di selezione (Ammon *et al.*, 1986). Il diserbo deve cioè controllare in maniera omogenea nello spazio e nel tempo le diverse specie ed i diversi gruppi biologici. Ciò si ottiene ruotando gli erbicidi, usandoli in miscela, localizzandoli, dando la preferenza al post-emergenza. La sarchiatura, per esempio, che integra il diserbo nella localizzazione, esercita un controllo omogeneo su tutte le malerbe, almeno su quelle annuali; con la post-emergenza si usano principi attivi poco persistenti che eliminano solo le malerbe dannose in quel momento e, non ostacolando ulteriori emergenze esercitano un'azione blanda e mirata sulla flora. L'alta pressione di selezione dell'atrazina può essere, invece, attribuita alla elevata persistenza, affidabilità ed efficacia di tale composto (Zanin, 1987).

Tecnica colturale

L'introduzione del diserbo chimico in agricoltura oltre che determinare consistenti modificazioni nella tecnica colturale, ha contribuito a rendere le diverse scelte tecniche più strettamente connesse fra di loro rispetto al passato.

Con riferimento a questi aspetti ci preme sottolineare il ruolo svolto dagli erbicidi sugli avvicendamenti colturali, sulle lavorazioni ed alcuni aspetti relativi alle interazioni tra erbicidi, o con altri fitofarmaci, o con alcune avversità delle piante coltivate quali soprattutto funghi ed insetti.

Avvicendamento colturale

Per certi versi il diserbo ha ampliato le possibilità a livello di avvicendamenti rendendo possibili, per esempio, le mono-successioni (mais, grano, ...) mentre per altri ha introdotto dei vincoli più o meno importanti. Tra questi, la sensibilità varietale non è certamente un problema preoccupante ma deve comunque essere conosciuta con precisione in particolar modo nelle colture orticole e nel grano (Catizone e Toderi, 1973; Covarelli e Peccetti, 1980).

Più vincolante è, invece, la scelta della coltura da mettere in successione ad un'altra in relazione ai due più importanti effetti di avvicendamento prodotti dal diserbo: presenza di residui attivi nel terreno e diffusione di malerbe particolari. La scelta di una coltura non può, attualmente, prescindere dal diserbo eseguito su quella precedente per non incorrere in rischi di fitotossicità (Catizone *et al.*, 1983; Pimpini *et al.*, 1986). Gli agricoltori hanno preso, rapidamente, le contromisure opportune per cui salvo casi e annate particolari non si sono avuti eccessivi problemi. Si tratta cioè di un vincolo indubbio, ma non oltremodo vincolante nell'ambito di una ragionata tecnica agronomica. Il diserbo diventa, invece, un vincolo estremamente condizionante nel caso la coltura principale fallisca; si crea allora la necessità di sostituirla con la stessa o con un'altra. Le scelte in questi casi sono limitate e spesso anche non soddisfacenti. Gli esempi più tipici riguardano la bietola o il mais danneggiati da attacchi di insetti o il grano dal freddo. Le numerose ricerche che si sono occupate di questi temi hanno evidenziato l'azione quasi sempre favorevole di una lavorazione prima della semina della coltura di sostituzione (Giardini *et al.*, 1981; Covarelli, 1978 e 1986; Covarelli e Gigliotti, 1979; Tei e Covarelli, 1988).

La scelta della coltura da avvicendare non dovrebbe poi prescindere dall'altro effetto di avvicendamento e cioè dall'accresciuta diffusione che determinate malerbe evidenziano all'interno di certe colture. Nell'ottica auspicabile di una gestione delle malerbe mirata ed economica, bisognerebbe programmare il controllo delle specie più difficili nelle colture in cui la lotta è più affidabile, più flessibile e meno costosa: il condizionamento in questo caso è evidentemente di natura economica e pratica. Rosso (1987) e Rosso e Meriggi

(1987) hanno ben esemplificato questi aspetti per la lotta ad alcune malerbe difficili nella soia e nella bietola. Il successo rapido della leguminosa è infatti legato anche alla possibilità di combattere selettivamente, in una coltura da reddito, il *Sorghum halepense*; un tempo il controllo di questa panicoidea vivace richiedeva la coltivazione del grano per poter eseguire la lotta sulle stoppie con erbicidi ad azione totale (dalapon, glyphosate).

Erbicidi nel sistema di difesa integrato

L'impostazione corretta dell'avvicendamento colturale non si esaurisce nella scelta della coltura ed eventualmente della varietà, ma deve contemplare anche altri aspetti di tecnica colturale, quali scelta degli erbicidi e degli altri fitofarmaci (Lockhart, 1965; Putnam e Penner, 1974). Ciò è importante perché i diversi prodotti chimici impiegati possono interagire tra loro alterando l'efficacia o la selettività oppure possono sviluppare azioni biologiche su bersagli diversi da quelli voluti.

Caso tipico di interazione è l'effetto di preconditionamento (Gaillardon e Gauvrit, 1984) che una serie di prodotti (tiocarbammati, acetanilidi, ethofumesate, dalapon, ...) inducono su malerbe e coltura inibendo la sintesi degli acidi grassi a lunga catena, precursori delle cere epicutcolari. Le malerbe e la coltura sono così predisposte ad una maggiore e più rapida penetrazione di eventuali erbicidi di post-emergenza. Ciò ovviamente è utile per il controllo delle malerbe ma pericoloso per la coltura che può subire più facilmente dei danni; è il caso per esempio della successione EPTC + antidoto e 2,4 D nel mais oppure cicloate ed ethofumesate o phenmedipham nella bietola.

Questo stesso meccanismo può essere chiamato in causa per spiegare la maggiore fitotossicità che l'atrazina residua produce nella bietola diserbata con cycloate o ethofumesate. La minore protezione cuticolare (cere meno abbondanti e disposte in modo discontinuo) induce una traspirazione più elevata con conseguente maggiore assorbimento di acqua e quindi di atrazina. Nella soia sono noti gli effetti antagonistici tra trifluralin e metribuzin (Ladlie *et al.*, 1977a) e sinergici tra residui di atrazina e metribuzin (Ladlie *et al.*, 1977b): nel primo caso la selettività del metribuzin ne risulta rafforzata mentre nel secondo ne esce compromessa.

Pure su orzo si sono notati fenomeni di questo tipo (Cantele e Zanin, 1988), anche se attenuati dalla capacità di accestimento della coltura. Altri esempi sono noti in soia e cotone (Chandler e Savage, 1980).

Forse meno numerose, ma ugualmente emblematiche sono le interazioni che si concretizzano tra erbicidi ed altri fitofarmaci impiegati sulla stessa coltura (Nash, 1968; Nash e Harris, 1973).

L'esempio più noto è l'additività degli effetti tra alcuni geodisinfezzanti della bietola e del mais e gli erbicidi di pre-semina o pre-emergenza (Giardini *et al.*, 1981; Sattin, 1984).

L'insetticida carbaryl blocca nel riso l'enzima arilacilamidasi che catalizza l'idrolisi del propanil; se si verifica concomitanza di impiego di questi due prodotti, la selettività fisiologica del propanil viene meno rendendo il riso vulnerabile (Tissut e Severin, 1984).

Un ulteriore aspetto che la tecnica colturale non può trascurare è l'influenza che gli erbicidi hanno su altre avversità della coltura (insetti, funghi patogeni, virus, ...).

Con il 2,4 D aumentano, per esempio, gli afidi e la piralide nel mais a causa del più alto livello di proteine fogliari indotte dall'ormonico (Oka e Pimentel, 1976); anche nel grano con tale erbicida aumentano gli afidi in quanto, risultando tossico verso i coccinellidi predatori, viene a mancare il controllo biologico (Adams, 1960; Brown, 1978).

Le conoscenze degli effetti degli erbicidi sugli insetti sono limitate (Norris, 1982). Ciò è dovuto forse al fatto che le azioni sugli insetti il più delle volte non sono dovute a tossicità diretta ma riflettono le modificazioni dell'habitat conseguenti all'uso del diserbo.

Anche verso i funghi patogeni gli erbicidi svolgono azioni di vario tipo. Per approfondire tale tema, molto vasto, si rimanda alle rassegne di Katan ed Eshel, 1973; Altman e Campbell, 1977; Bollen, 1984. In questa sede merita solo ricordare che gli erbicidi possono stimolare o inibire direttamente il patogeno o alterare la sua virulenza, modificare la suscettibilità dell'ospite od infine alterare i rapporti tra il patogeno ed i suoi antagonisti. L'erbicida può aumentare la suscettibilità della pianta ospite o ridurre la sua resistenza intrinseca interferendo con i diversi meccanismi di difesa della stessa in vari modi:

1. può indurre modificazioni anatomiche che possono favorire la penetrazione nei tessuti del patogeno o la loro colonizzazione (nella vite diserbata con dalapon aumentano gli attacchi di *Botrytis cinerea*, analogamente nel mais diserbato con EPTC + antidoto aumenta la virulenza del carbone (Landi *et al.*, 1981), ...).

2. può alterare la composizione dei tessuti rendendoli più adatti allo sviluppo del patogeno. Gli erbicidi, oltre che effetti fisiologici, producono sulle piante trattate degli effetti "ecologici" (Fedtke, 1982): la diminuzione della concentrazione di zuccheri in piante trattate con erbicidi inibitori della fotosintesi favorisce le cosiddette "low sugar-diseases" (*Alternaria*, *Fusarium*, *Helminthosporium*); gli attacchi di *Fusarium* sono più intensi nel pomodoro con basso contenuto in fosforo, conseguenza del trattamento con idrazide maleica ...,

3. può stimolare la produzione di essudati radicali che a loro volta possono favorire i patogeni del terreno; numerosi erbicidi nella bietola favoriscono gli attacchi di *Rhizoctonia solani* a causa di una più elevata emissione di glucosio con gli essudati radicali operata dalla coltura

4. può alterare i meccanismi di difesa dell'ospite, cioè la produzione di

agenti antimicrobici (fenoli, chinoni, fitoalessine, ...).

Questo tipo di interferenza non è al momento attuale ancora ben conosciuta.

Meccanismi con azioni opposte a quelle sopra viste possono essere chiamati in causa per spiegare la diminuzione degli attacchi di alcuni patogeni a seguito dell'uso di erbicidi: 1) azione tossica diretta sul patogeno; 2) aumento della resistenza dell'ospite; 3) azione sugli altri microorganismi del terreno. Per ulteriori approfondimenti si rimanda sempre alle rassegne sopra citate.

L'analisi di queste interferenze evidenzia come la lotta alle malerbe non deve più rimanere un compartimento a se stante, ma deve essere integrata ad un livello più ampio nel cosiddetto I.P.M.S. (Integrated Pest Management System) (Shaw, 1982) approccio pluridisciplinare integrato alla lotta alle avversità delle colture, nel cui ambito l'I.W.M. (Integrated Weed Management) è solo una parte. Nell'I.P.M.S. i prodotti, le tecniche colturali, le strategie di gestione devono essere scelti in modo da controllare le avversità con l'obiettivo di rendere minimo il danno economico e l'impatto ambientale (Geissbuhler, 1981).

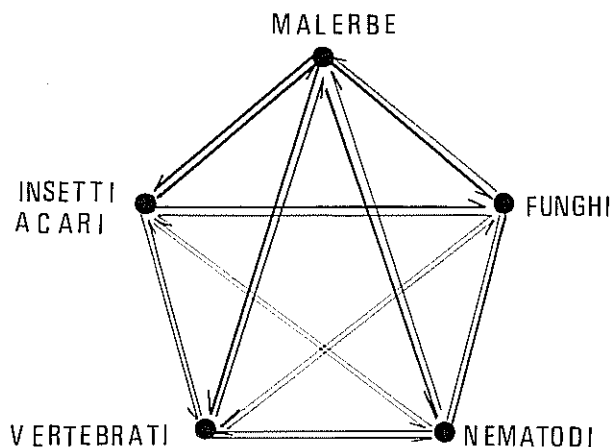


Figura 7 — Il pentagono delle avversità. Rappresentazione delle potenziali interazioni tra i diversi tipi di avversità. Lo spessore dei tratti indica l'intensità dell'interazione (da Norris 1982).

Gli erbicidi sono dotati di una relevantissima azione biologica che non si limita al bersaglio voluto, ma coinvolge, più di altri fitofarmaci tutti i livelli strutturali dell'agroecosistema, soprattutto perché eliminano la vegetazione spontanea che rappresenta uno dei primi o più importanti anelli della catena biologica. Una volta introdotti nella agrotecnica interagiranno quindi diretta-

mente o indirettamente con ogni suo segmento, a tal punto da diventare uno degli elementi condizionanti (Fig. 7).

Lavorazioni

Anche a livello di lavorazioni il diserbo ha inciso molto in profondità. La possibilità di eliminare le malerbe chimicamente ha permesso di pensare ad una agricoltura con interventi meccanici più ridotti e a volte del tutto assenti.

L'effetto più immediato si è visto a carico delle sarchiature che hanno perso molta della loro originale importanza. La loro principale azione di rinet-tamento è stata completamente surrogata dal mezzo chimico. Ultimamente si nota, comunque, un certo rinnovato interesse dovuto soprattutto a considera-zioni di carattere ambientale.

Anche la preparazione dei letti di semina vede un ricorso via via cre-scente agli erbicidi, in particolare di quelli non selettivi ad assorbimento fo-ggliare e con persistenza agronomica in pratica nulla (dipiridilici, glyphosa-te, ...). Un tempo tale operazione era garantita dalle estirpature ed erpicature. La tendenza a preparare per tempo i letti di semina (es. nella bietola), la superiore affidabilità e flessibilità dell'intervento chimico e l'indifferenza eco-nomica tra le due opzioni sono i motivi che stanno decretando il successo di tale tecnica.

Tuttavia, l'innovazione sostanziale introdotta dal diserbo è rappresentata dalla possibilità di ridurre le lavorazioni: l'insieme delle pratiche che consen-tono di eliminare tutte o in parte le operazioni meccaniche che interessano il terreno si definisce *conservation tillage* (C.T.) (Meed, 1987).

A livello mondiale l'importanza del C.T. è crescente.

È ormai constatato che sulle colture estensive (grano, mais, soia, ...) si può avere una buona resa anche senza arare a patto si garantisca l'elimina-zione delle malerbe (Hayes, 1982). Ciò si può ritenere vero anche per l'Italia pur essendo i risultati ottenuti finora meno favorevoli rispetto ad altri Paesi (Toderi e Bonari, 1986). Il tipo di terreno, la distribuzione ed entità delle piogge sono i fattori che condizionano l'efficacia di detta tecnica che abbisogna quindi di una più articolata messa a punto. In ogni caso, il controllo delle malerbe diventa, nell'ambito del C.T., l'aspetto più critico (Miller, 1984) almeno per tre motivi: 1) lo stock di semi è più superficiale e come tale sostiene una percen-tuale di emergenze superiore rispetto al terreno lavorato, 2) le emergenze sono più precoci e quindi l'infestazione è più competitiva, 3) le vivaci sono favorite nel loro sviluppo.

Il weed management (W.M.) nell'ambito del C.T. deve essere finalizzato soprattutto ad evitare o ridurre la disseminazione della flora infestante.

È questo l'obiettivo principale anche in un terreno lavorato, ma nel C.T. assume un'importanza del tutto particolare; infatti se si attua un diserbo effi-cace c'è la possibilità teorica di abbassare drasticamente la consistenza dello

stock superficiale (0-6 cm) in un periodo di 4-6 anni (Forcella e Lindstrom, 1988). Arrivati a questo punto nel C.T., la lotta alle malerbe potrebbe essere gestita con interventi sporadici e localizzati sulle chiazze delle specie vivaci più irriducibili (*Calystegia sepium*, *Rumex* spp., *Equisetum* spp., ...). Le prime esperienze italiane sul ridge-till sembrerebbero accreditare questa ipotesi (Giardini, 1988) e avvalorare la seguente strategia: controllo chimico ad alta intensità per i primi anni ed in seguito gestione delle chiazze con interventi localizzati in post-emergenza. In prospettiva però una tale strategia non è priva di rischi: la gamma notevolmente ridotta dei disturbi che si possono attuare nel C.T. (legata in particolare all'assenza o scarsità di quelli meccanici) (Cantele *et al.*, 1986) impone una rigorosa alternanza delle colture e degli erbicidi per evitare l'instaurarsi di flore di compensazione o di fenomeni di resistenza.

Nonostante quindi il C.T. richieda una gestione delle malerbe più complessa, perlomeno all'inizio, si ritiene che le prospettive dal punto di vista malerbologico possano essere forse anche più interessanti delle tradizionali lavorazioni.

Ma il favore con cui è visto il C.T. deriva soprattutto dai notevoli vantaggi di ordine ambientale che comportano una minore erosione eolica ed idrica ed una riduzione dei problemi di inquinamento delle acque superficiali e sottosuperficiali ad opera degli erbicidi (Witt e Herron, 1980; Hall *et al.*, 1984; Ghadiri *et al.*, 1984; Kenimer *et al.*, 1987).

È la presenza in superficie dei residui colturali che produce direttamente o indirettamente i benefici effetti prima ricordati. In riferimento alla tecnica di lotta alle malerbe, lo strato pacciamante dei residui colturali rende poco efficaci i trattamenti di pre-emergenza; di norma si dà la preferenza pertanto agli erbicidi di post-emergenza il cui impatto è minore rispetto ai prodotti applicati al terreno: infatti la loro persistenza è molto limitata e solo un terzo del prodotto, mediamente, raggiunge il terreno essendo i restanti due terzi intercettati dall'apparato fogliare della coltura e delle malerbe e successivamente metabolizzati. La quota parte che raggiunge la superficie del terreno viene trattenuta dai residui colturali; il rilascio degli erbicidi è poi rallentato e incompleto in quanto una certa percentuale rimane adsorbita ad essi.

Nel C.T. si interpongono due filtri molto efficaci tra erbicidi e terreno: la "canopy" della comunità vegetale ed i residui colturali che rallentano e riducono le quantità di erbicidi che arrivano al suolo (Baker, 1981).

Ambiente

Parlando di lavorazioni si è introdotto l'aspetto ambientale. La notevole diffusione della tecnologia diserbo ha fatto sorgere nuovi problemi a livello ambientale, dal più semplice cambiamento fisionomico delle comunità di malerbe, alla più preoccupante presenza di erbicidi nelle acque di superficie e

profonde. Salvo casi particolari, la contaminazione rientra nei livelli degli altri Paesi ad agricoltura avanzata (Holden, 1986).

La riduzione dell'impatto ambientale è legata ad una scelta razionale del prodotto funzione oltre che delle classiche valutazioni agronomiche anche delle caratteristiche idropedologiche del terreno (Jury *et al.*, 1987; Taccheo Barbina e Spessotto, 1988), chimico-fisiche (solubilità, pka, ...) e partitive (Kow, Kd, ...) del prodotto (Swann *et al.*, 1983). Opportune scelte agronomiche (adozione, dove possibile, del C.T. e l'uso preferenziale dei trattamenti di post-emergenza) migliorano, tuttavia, la compatibilità ambientale di tale tecnologia, soprattutto se sono viste a livello territoriale, non unicamente aziendale. È auspicabile quindi che la lotta alle malerbe venga gestita e coordinata a livello territoriale come del resto già accade per altri segmenti della tecnica culturale (es.: irrigazione, difesa antiperonosporica).

La frammentarietà delle comunità di malerbe e delle condizioni pedoclimatiche rende indubbiamente difficile l'attuazione di un tale criterio di gestione delle malerbe. È fuori di dubbio comunque che esistono spazi ampi e non ancora del tutto esplorati per razionalizzare l'impiego di questa tecnologia.

Il futuro del diserbo chimico

Allo stato attuale delle conoscenze, l'innovazione nel settore del controllo delle piante infestanti sta percorrendo le seguenti principali direttrici: a) tolleranza e piante transgeniche; b) micoerbicidi; c) approccio biorazionale.

Tolleranza e piante transgeniche

È noto che il controllo genetico della risposta delle piante alle sostanze chimiche diserbanti può variare a seconda della specie.

È anche noto che varietà diverse della stessa specie possono reagire diversamente ai trattamenti con diserbanti (Catizone e Toderi, 1973; Martin, 1985).

Nell'ambito di tale variabilità si è indagato negli ultimi 30 anni soprattutto con riferimento a mais, canna da zucchero, riso, soia, lino, colza, grano e diverse graminacee foraggere. I risultati ottenuti non hanno però portato alla costituzione di particolari genotipi la cui risposta differenziale ad un dato diserbante fosse tale da influenzare sostanzialmente l'impiego di quest'ultimo. Questa linea di ricerca ha piuttosto consentito di perfezionare l'impiego dei diserbanti individuando varietà con tolleranza verso uno o più erbicidi tale da sconsigliare su di esse determinati trattamenti.

La comparsa, in seguito a trattamenti ripetuti, di infestanti resistenti nell'ambito di specie inizialmente sensibili (Le Baron e Gressel, 1982), ha stimo-

lato lo sviluppo di ricerche finalizzate ad introdurre deliberatamente il carattere resistenza nelle piante. Tale linea di ricerca può profondamente modificare il modo di intendere la selettività degli erbicidi. Fino ad oggi, infatti, la capacità degli erbicidi, di distinguere le specie utili da quelle infestanti, era principalmente basata sulle caratteristiche chimico strutturali della molecola utilizzata come erbicida. L'individuazione di nuovi diserbanti passava perciò attraverso lo screening di un gran numero di strutture chimiche. La creazione, per manipolazione genetica, di piante tolleranti fa sì che la relazione pianta-erbicida sia condizionata dalla pianta più che dalla sostanza utilizzata. Si passa, cioè, da un sistema statico basato sulla struttura chimica delle sostanze impiegate a un sistema che è espressione della natura dinamica, mutabile ed interattiva propria delle popolazioni (Chaleff, 1986; Marshall, 1987).

Diverse tecniche genetiche sono utilizzabili per l'introduzione nelle piante coltivate della resistenza agli erbicidi. Esse variano dalle tecniche di breeding convenzionale (Beversdorf e Kott, 1987) che mirano a trasferire nelle colture la resistenza presente nelle infestanti (Fig. 8), fino all'ottenimento di piante transgeniche isolando e trasferendo il gene che conferisce tolleranza, mediante procedure di ricombinazione del DNA. I rapidi progressi ottenuti nelle tecniche di trasferimento dei geni fa ritenere che nei prossimi anni sarà possibile utilizzare queste tecnologie con riferimento a diverse colture e diserbanti.

Tabella 6 — Erbicidi inibitori della sintesi degli aminoacidi.

Erbicidi	Sostanza attiva	Enzima bersaglio	Sorgente resistenza
Roundup	glyphosate	5-enolpiruvilschima-to-3-fosfatosintetasi	batterio
Oust	sulfometuron-methyl	acetolattatosintetasi	batterio lievito pisello
Glean	chlorsulfuron	acetolattatosintetasi	tabacco pisello
Arsenal	AC 243,997	acetolattatosintetasi	mais
Amitrole	aminotriazolo	imidasi-glicerol fosfatodeidratasi	batterio
Basta	fosfinotricina	glutaminosintetasi	pisello

È soprattutto nell'ambito del gruppo di erbicidi che inibiscono la biosintesi degli amminoacidi che è in corso di svolgimento una grande mole di lavoro per l'ottenimento di piante transgeniche (Tab. 6) (Falco *et al.*, 1987).

La concreta prospettiva di introdurre su larga scala l'impiego di piante resistenti agli erbicidi stimola la focalizzazione di alcuni aspetti. Essi riguardano l'attenzione che dovrà essere prestata al possibile rischio di trasferire la tolleranza anche alle infestanti ed ai rischi che l'introduzione di materiali geneticamente manipolati può comportare per l'equilibrio ambientale. Dal punto di

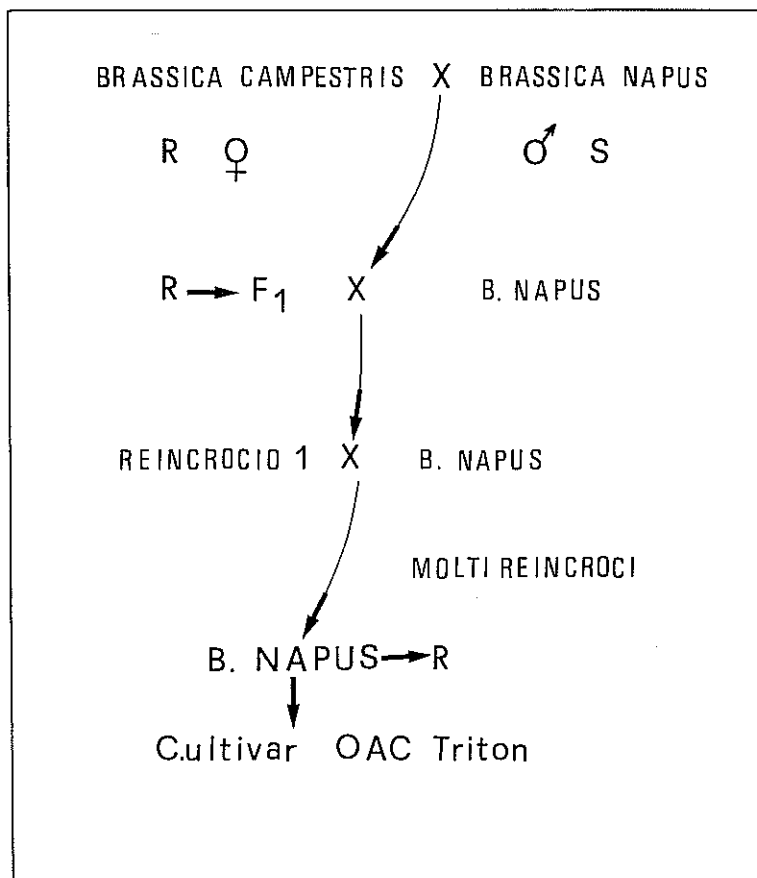


Figura 8 — Modalità di introduzione del carattere resistenza all'atrazina in *Brassica napus* (R = resistente all'atrazina, S = sensibile all'atrazina).

vista industriale è da tener presente che l'estensione d'impiego di un erbicida già esistente, su piante tolleranti ridurrebbe consistentemente i costi relativi alla scoperta e sviluppo del diserbante.

L'industria sementiera, da parte sua, dovrebbe trovare conveniente l'introduzione della tolleranza agli erbicidi nel proprio germoplasma commerciale poiché essa rappresenterebbe oltre che una caratteristica aggiuntiva positiva anche una forma di protezione per gli altri caratteri agronomici posseduti dalle varietà.

Per l'agricoltore vi potrebbe, infine, essere il grande vantaggio di utilizzare pochi diserbanti altamente efficaci ed accettabili dal punto di vista ambientale.

Micoerbicidi

Nell'ambito della lotta biologica alle piante infestanti una posizione di particolare interesse stanno acquisendo i micoerbicidi. Si tratta di nuovi prodotti costituiti da funghi dannosi ad una data infestante ma non in grado di danneggiare la coltura. I micoerbicidi sono utilizzabili seguendo due strategie: quella "classica" e quella "innondativa" (Templeton *et al.*, 1986). La prima mira a trasformare una endemia in una epidemia mentre la seconda introduce un nuovo parassita provocando una improvvisa epidemia. Quest'ultima si è dimostrata utile in condizioni di agricoltura intensiva mentre la strategia "classica" trova applicazioni nelle aree poco disturbate.

Il primo esempio di lotta biologica "classica" risale al 1971 quando in Australia fu introdotta una ruggine: *Puccinia chondrillina* contro l'infestante *Chondrilla juncea*. Altri esempi sono l'introduzione nelle Hawaii del deuteromicete *Cercospora agerantiae* contro *Agerantia riparia* e l'introduzione in Cile dall'Europa di *Phragmidium violaceum* contro *Rubus* spp.

Il primo esempio di lotta biologica "innondativa" risale al 1981 e si riferisce all'impiego, in Florida, del Devine, un formulato costituito da una sospensione di clamidospore di *Phytophthora palmivora* attivo contro *Morrea odorata* presente nei frutteti. Di norma si opera contro infestanti allo stadio di 3-5 foglie, con 1-2 l/ha di Devine in 1000 litri di acqua.

Nel 1982 è stato registrato un altro micoerbicida, il Collego, prodotto secco contenente il 15% di spore di *Colletotrichum glaesporioides* f.sp. *aeschinomenae* attivo contro *Aeschinomena virginica* in colture di soia e riso (Del Serrone e Catizone, 1988).

Attualmente sono in corso di registrazione altri due micoerbicidi: il Biomal e il Casst, il primo a base di conidi di *Colletotrichum glaesporioides* f.sp. *malvae* contro *Malva pusilla* ed il secondo a base di *Alternaria cassiae* contro *Cassia obtusifolia* (Anonimo, 1987).

Allo stato attuale delle conoscenze, con riferimento ai micoerbicidi, le limitazioni e le possibilità di sviluppo futuro devono tener conto dei seguenti aspetti:

- a) L'impiego dei micoerbicidi è limitato ad aree definite ove coesistono malva sensibile, coltura non sensibile e condizioni di sviluppo del fungo.
- b) Sono in corso studi finalizzati all'impiego di più patogeni con lo stesso formulato allo scopo di avere micoerbicidi a più vasta gamma d'azione.
- c) È possibile utilizzare i micoerbicidi in miscela con i diserbanti chimici. Esistono già applicazioni di Collego con acifluorfen e bentazone su soia. Sono soprattutto i coformulanti dei diserbanti che, fino ad oggi, hanno evidenziato la maggiore tossicità nei confronti dei micoerbicidi.
- d) La registrazione di questo tipo di prodotto biologico non è mai stata effettuata in Europa.

Approccio biorazionale

Si ritiene che molte delle sostanze presenti in natura siano potenzialmente idonee a dare origine a nuove sostanze erbicide. Questo tipo di approccio ha avuto, per esempio, successo con gli insetticidi piretroidi. L'utilizzo di prodotti naturali presenta alcuni vantaggi potenziali. Il primo si ritiene possa essere quello di accedere a strutture chimiche completamente nuove rispetto alle attuali. Inoltre si ritiene che le sostanze naturali non radioattive, a parte poche eccezioni, pongano rischi contenuti per l'uomo e l'ambiente. Molte fitotossine, soprattutto quelle originate dai fitopatogeni, sono inoltre in grado di interessare un grande numero di bersagli e possono essere caratterizzate da selettività inconsuete rispetto agli erbicidi fino ad oggi conosciuti. Le piante verdi e i microorganismi possono essere considerati fonti vastissime di fitotossine e di sostanze potenzialmente tali (Duke, 1986a).

Per quanto concerne le piante verdi alcuni modelli ai quali si fa riferimento sono quelli riportati nella figura 9 (Duke e Lydon, 1987).

È soprattutto, però, dalle fitotossine prodotte dai microorganismi che ci si attendono i risultati di maggiore interesse applicativo (Duke, 1986b) in considerazione della loro alta selettività e della loro efficacia a bassi dosaggi. Due sono i gruppi di fitotossine prodotte dai microorganismi, quelle caratterizzate da specificità d'ospite e quelle non caratterizzate da tale specificità.

Le prime sono in genere prodotte da funghi e sono tossiche solo per quelle specie o varietà infettate dal patogeno. Si tratta pertanto di sostanze altamente selettive il cui sviluppo come diserbanti potrebbe essere interessante solo se efficaci contro malerbe di grande diffusione.

Le tossine non specifiche sono quelle tossiche anche per specie di piante normalmente non infettate dal microorganismo. Esse sono prodotte sia da batteri che da funghi. Questo gruppo di sostanze è stato già foriero di risultati utili anche dal punto di vista applicativo. L'anisomicina ottenuta dal metabolismo di *Streptomyces* risulta attiva su *Echinochloa crus-galli* e *Digitaria* spp. e selettiva nei confronti del riso e del pomodoro. Questo prodotto ha costituito la base per la messa a punto di un erbicida sintetico (KN-049). Da *Streptomyces viridochromogenes*, in Giappone, è stato ottenuto l'erbicida bialophos ad azione totale e sistemica. Nelle piante questo prodotto è metabolizzato in fosfinotricina che è l'agente tossico in grado di portare a morte la pianta (Munakata *et al.*, 1973). La Hoechst ha ottenuto sinteticamente la fosfinotricina sviluppandola come diserbante (glufosinate) in grado di inibire nelle piante l'enzima glútamino sintetasi (GS). Diversi altri prodotti microbici attivi sulla GS sono stati individuati; la maggior parte di essi sono analoghi del glufosinate (Fisher e Bellus, 1983).

Alternaria alternata e *Streptomyces saganonensis* sono rispettivamente

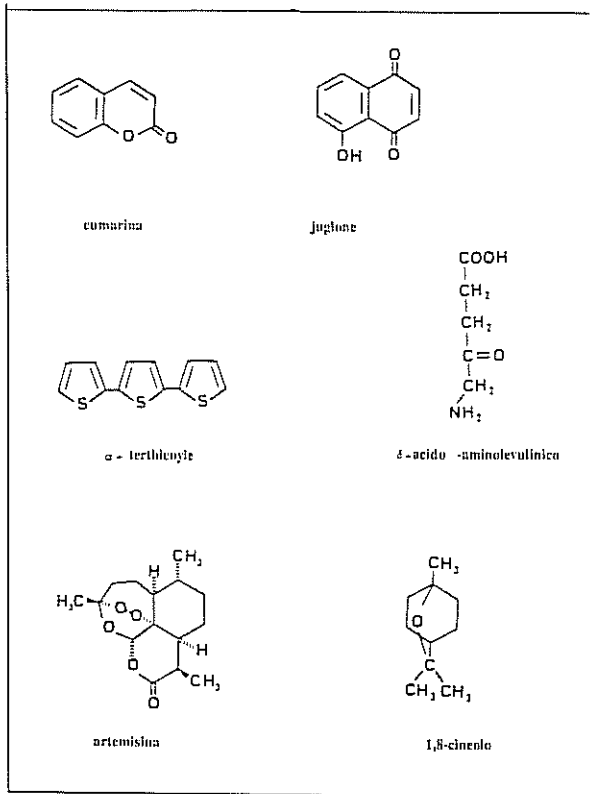


Figura 9 — Strutture di alcune sostanze fitotossiche prodotte dalle piante.

gli agenti produttori di tentaxina e di erbicina (A e B), la prima sostanza selettiva verso soia e mais ed attiva contro diverse specie infestanti tra le quali il *S. halepense*, la seconda selettiva verso il riso con azione diserbante soprattutto graminicida (Duke, 1986a).

Uno dei limiti connessi con lo sfruttamento delle fitotossine è dovuto al fatto che esse sono sostanze strutturalmente complesse e perciò difficili e costose da produrre per sintesi. Nel caso di KN-049 e glufosinate sono state, di fatto, sfruttate strutture molecolari più semplici rispetto a quelle prodotte dal microorganismo. Si ritiene tuttavia che i problemi connessi con la complessità delle molecole possano essere risolti per via biosintetica. Le probabilità di successo di tale via dovrebbero essere consistentemente incrementate, in futuro, dallo sviluppo di nuove biotecnologie.

Considerazioni conclusive

Si ritiene che nei prossimi anni a fronte di una sostanziale staticità delle superfici coltivate a livello mondiale, vi sarà un lieve incremento delle superfici diserbate. Al riguardo l'Italia tenderà ad allinearsi con gli altri Paesi ad agricoltura avanzata. Si assisterà ad una graduale sostituzione degli erbicidi tradizionali — alcuni dei quali superati dal punto di vista tecnico o tossicologico-ambientale — con prodotti sempre meno tossici, di più elevato valore aggiunto, ma non necessariamente di maggiore costo per unità di superficie. Alla ulteriore diffusione della pratica del diserbo dovrebbe fare riscontro un uso più ragionato dei diserbanti per ciò che riguarda i dosaggi di impiego, l'abbinamento e la rotazione dei diversi principi attivi e l'integrazione con alcune pratiche agronomiche. A livello aziendale si cercherà sempre più di ottimizzare il controllo delle infestanti e quindi la scelta degli erbicidi nell'ambito dell'avvicendamento colturale.

Come tendenza di fondo — già condivisa dai fungicidi e dagli insetticidi — si diffonderà l'impiego di nuovi composti ad elevata attività biologica (es. solfoniluree, imidazolinoni, nuovi graminicidi) aventi proprietà tossicologiche favorevoli e dosi d'impiego molto inferiori a quelle attuali, ciò che comporterà una riduzione sostanziale della quantità di erbicidi diffusa nell'ambiente.

È inoltre prevedibile un notevole sviluppo nel campo della resistenza agli erbicidi indotta geneticamente: negli ultimi anni, in anticipo sui tempi previsti, è stato possibile ottenere germoplasma di diverse colture (pomodoro, patata, tabacco, cotone, colza, girasole, erba medica, soia, mais) dotato di elevata resistenza ad alcuni erbicidi a largo spettro di attività (glyphosate, glufosinate, bromoxynil, imidazolinoni, solfoniluree). Agli inizi degli anni '90 saranno introdotte le prime varietà transgeniche di alcune colture e si prevede che entro il Duemila esse avranno una marcata influenza sullo sviluppo delle tecniche di diserbo, indirizzando il consumo verso un numero inferiore di prodotti più efficaci e più accettabili dal punto di vista ambientale (Fraley *et al.*, 1987). Altre linee di ricerca riguarderanno la sintesi e la produzione industriale di fitotossine di origine microbica con effetto erbicida e lo screening dell'attività di micotossine con specifiche proprietà fitotossiche.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, J.B., 1960. Effects of spraying 2,4 D amine on coccinellid larvae. Can. J. Zool., 38, 285-288.
- ALTMAN, J., CAMPBELL, C.L., 1977. Effect of herbicides on plant diseases. Ann. Rev. Phytopathol., 15, 361-385.
- AMADEI, G., BASSI, M., BRUNELLI, A., CATIZONE, P., 1986. I benefici ed i costi dei fitofarmaci. La

- difesa delle piante, 1986, 9 (2), 195-210.
- AMMON, H.U., BEURET, E., NIGGLI, U., 1986. Die Ziele der Unkrautbekämpfung im Wandel der Zeit — vom verdammen der Unkräuter zur zeitbezogenen Schadschwelle. Schweiz. Landw. Fo., 25 (3), 351-366.
- BAKER, J.L., 1981. Herbicide runoff losses as affected by application method and use of conservation tillage. NCNCC, 36, 10-11.
- BEVERSDORF, W.D., KOTT, L.S., 1987. Development of triazine resistance in crops by classical plant breeding. Weed Sci., 35 (suppl. 1), 9-11.
- BOLLEN, G.J., 1984. Non-target effects of pesticides on soil-borne pathogens. Les Colloques de l'INRA, n. 31: "Comportement et effets secondaires des pesticides dans le sol", 11-26.
- BROWN, A.W.A., 1978. Ecology of pesticides. John Wiley e Sons, 344-361.
- CANTELE, A., ZANIN, G., ZUIN, M.C., 1984. Evolution de la flore adventice du maïs en Frioul (Italie nord-orientale) et rôle de la monoculture. 7eme Colloque International sur l'Ecologie, la Biologie et la Systematique des mauvaises herbes, COLUMA-EWRS, 437-447.
- CANTELE, A., ZANIN, G., ZUIN, M.C., 1985. Resistenza cloroplastica alle triazine: attuale estensione del fenomeno e prospettive. L'Informatore Agrario, 9, 153-168.
- CANTELE, A., ZANIN, G., ZUIN, M.C., 1986. Semplificazioni delle lavorazioni e flora reale e potenziale. Rivista di Agronomia, 2/3, 288-300.
- CANTELE, A., ZANIN, G., 1988. Effetto dei residui di atrazina e della modalità di semina sulla selettività di chlortoluron e trifluralin applicati su *Hordeum vulgare* L. Rivista di Agronomia, 21, 4 suppl., 136-142.
- CATIZONE, P., TODERI, G., 1973. Reazioni di varietà di *Triticum aestivum* L. a trattamenti diserbanti con Terbutrina, Nitrofen e Estere butossiglicolico del 2, 4-D. Atti Giorn. Fitopatol., Bologna, 479-488.
- CATIZONE, P., FUSI, P., FRANCI, M., 1983. Persistenza dell'atrazina nel terreno: risultati di undici anni di sperimentazione. Rivista di Agronomia, 4, 449-457.
- CHALEFF, R., 1986. Herbicides resistance e BCPC, Mono n. 34 Biotechnology and Crop Improvement and Protection, 111-121.
- CHANDLER, J.M., SAVAGE, K.E., 1980. Phytotoxic interaction between phenylurea herbicides in a cotton (*Gossypium hirsutum*) soybean (*Glycine max*) sequence. Weed Sci., 28, 5, 521-526.
- COVARELLI, G., 1978. Effetto residuo dei diserbanti per la bietola su alcune colture che possono sostituirla sullo stesso appezzamento. Rivista di Agronomia, 3, 129-135.
- COVARELLI, G., 1986. Il diserbo del girasole: un'operazione indispensabile per ottenere alte produzioni. L'Informatore Agrario, 13, 79-87.
- COVARELLI, G., GIGLIOTTI, 1979. Effetto residuo dei principali diserbanti il maïs su alcune colture che possono sostituirlo sullo stesso appezzamento. L'Informatore Agrario, 39, 7521-7525.
- COVARELLI, G., PECCETTI, G., 1980. Sensibilità di alcune cultivar di frumento ai principali erbicidi graminicidi. Atti Giornate Fitopatologiche, supplemento III, 313-330.
- COVARELLI, G., DELLA PIETÀ, S., 1986. La flora di sostituzione nelle principali colture dovuta al diserbo chimico. La difesa delle piante, 9 (2), 133-160.
- CRAFTS, A.S., 1975. Modern weed control. University of California Press, 1-440.
- DEL SERRONE, P., CATIZONE, P., 1988. I bioerbicidi nella lotta contro le malerbe, quali prospettive?

Atti convegno Agrinnova, Lugo (RA), 9 aprile (in corso di stampa).

- DUESING, J., 1983. Genetic analysis of herbicides resistance. NCWCC Proceedings, 38, 143-147.
- DUKE, S., 1986a. Naturally occurring chemical compounds as herbicides. *Reviews of Weed Science*, 2, 15-44.
- DUKE, S., 1986b. Microbially produced toxins as herbicides. A perspective. In *advance in allelopathy*, Wiley. Interscience, New York, 287-304.
- DUKE, S., LYNDON, J., 1987. Herbicides from natural compounds, *Weed Technology*, 2, 122-128.
- FABBRINI, R., GAIDANO, R., 1987. La legislazione italiana sui fitofarmaci e le normative degli altri Paesi. *Informatore Fitopatologico* n. 11, 19-24.
- FALCO, S., KNOWALTON, S., LAROSSA, L., SMITH, J., MAZUR, T., 1987. Herbicide that inhibit byosynthesis: the sulfonylureas a case study. British Crop Protection Conference, Weed, 149-157.
- FEDTKE, C., 1982. Biochemistry and physiology of herbicide action. Springer-Verlag, 1-202.
- FERRARI, C., SPERANZA, M., CATIZONE, P., 1984. Weeds and crop management of wheat in northern Italy. 7th International Symposium on Weed Biology, Ecology and Systematics. COLUMA-EWRS, 411-420.
- FERRARI, C., BALDONI, G., TEI, F., 1987. Lo studio della vegetazione infestante le colture agrarie. Atti VI Convegno SILM, Milano, 12 settembre 1-153.
- FISCHER, H., BELLERS, D., 1983. Phytotoxicants from micro-organism and related compounds. *Pest. Sci.* 14, 334-346.
- FORCELLA, F., LINDSTROM, M.J., 1988. Movement and germination of weed seeds in ridge-till crop production systems. *Weed Sci.*, 36, 56-59.
- FRALEY, R., KISHORE, G., GASSER, C., PADGETTE, S., HORSCH, R., ROGERS, S., DELLA CIOPPA, G., SHAH, D., 1987. Genetically engineered herbicide tolerance - technical and commercial considerations, 1987 BCPC Proceedings - Weeds.
- GAILLARDON, P., GAUVRIT, C., 1984. L'absorption foliaire des herbicides. *Phytoma-Defense des cultures*, 12-16.
- GEISSBUHLER, H., 1981. The agrochemical industry's approach to integrated pest control. *Phil. Trans. R. Soc. Lon.* B295, 111-123.
- GHADIRI, H., SHEA, P.J., WICKS, G.A., HADERLIE, L.C., 1984. Atrazine dissipation in conventional till and no-till sorghum. *J. Environ Qual.*, 13, 549-552.
- GIARDINI, A., 1988. Un nuovo sistema di minima lavorazione per mais e soia: la coltivazione a porche permanenti. *L'Informatore Agrario*, 6, 49-65.
- GIARDINI, L., ASSIRI, A., BIANCARDI, E., BONGIOVANNI, G.C., CIDRI, G., MONTUSCHI, G., RAPPARINI, G., ROSSO, F., ROTA, F., VENTURI, F., VENTURI, G.P., ZANIN, G., 1981. Stato attuale della lotta alle malerbe nella barbabietola da zucchero in Italia. Atti SILM, Rovigo 18 dicembre, 13-244.
- HAAS, H., STREIBIG, J.C., 1982. Changing patterns of weed distribution as a result of herbicide use and other agronomic factors. In "Herbicides resistance in plants". Ed. Le Baron H.M. e Gressel J. - John Wiley and Sons, 57-79.
- HALL, J.K., HARTWIG, N.L., HOFFMAN, L.D., 1984. Cyanazine losses in runoff from no-tillage corn in "living" and dead mulches vs unmulched, conventional tillage. *J. Environ. Quality*, 13, 1: 105-110.

- HAYES, W.A., 1982. Minimum tillage farming. In "No-till Farmer", Inc., Brookfield, Wisconsin.
- HOLDEN, P.W., 1986. Pesticides and groundwater quality. Issues and problems in four States. National Academic Press.
- JURY, W.A., FOCHT, D.D., FARMER, W.J., 1987. Evolution of pesticide groundwater pollution from standard indices of soil chemical adsorption and biodegradation. J. Environ. Qual. 16, 4, 422-428.
- KATAN, J., ESHEL, Y., 1973. Interactions between herbicides and plant pathogens. Residue Reviews, vol. 45, 145-177.
- KENIMER, A.L., MOSTAGHIMI, S., YOUNG, R.W., DILLAHA, T.A., SHANHOLTZ, V.D., 1987. Effects of residue cover on pesticides losses from conventional and no-tillage systems. A.S.A.E., 30 (4), 953-959.
- LADLIE, J.S., MEGGITT, W.F., PENNER, D., 1977a. Effects of trifluralin and metribuzin combinations on soybean tolerance to metribuzin. Weed Sci., 25, 1, 88-93.
- LADLIE, J.S., MEGGITT, W.F., PENNER, D., 1977b. Effects of atrazine on soybean tolerance to metribuzin. Weed Sci., 25, 2, 115-121.
- LANDI, P., CATIZONE, P., CONTI, S., 1981. Comportamento differenziale di linee ed ibridi dimais sottoposti a trattamenti diserbanti con Eradicane 6E (EPTC + R25788). Rivista di Agronomia, 85-94.
- LE BARON, H., GRESSEL, J., 1982. Herbicides resistance in plants. Willey Interscience, New York, 401 pp.
- LOCKHART, J.A., 1965. The analysis of interactions of physical and chemical factors on plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol., 16-37.
- MARSHALL, G., 1987. Implication of herbicide — tollerant cultivars and herbicide — resistant weeds for weed control management. British Crop Protection Conference, Weeds, 389-498.
- MARTIN, F.A., 1985. Genetic variability of response to plant growth. In Reviews of Weed Science, 1, 64-73.
- MEED, R.W., 1987. Conservation tillage and weed revolutions. Plant Protection Quarterly, vol. 2, 31-34.
- MILLER, S.D., 1984. Integrated weed science programs for no-till small grain production. NCWCC Proceedings, vol. 39, 154-158.
- MUNAKATA, D., YAMADA, D., ISHIDA, S., FUTATSUYA, F., ITO, K., 1973. NK 049: from natural products to new herbicides. Proc. Asian. Pac. Weed Sci. Soc. Conf., 4, 215-219.
- NASH, R.G., 1968. Synergistic phytotoxicities of herbicide-insecticide combinations in soil. Weed Sci., 74-77.
- NASH, R.G., HARRIS, W.G., 1973. Screening for phytotoxic pesticide interactions. J. Environ. Quality, 2, 493-497.
- NORRIS, R.F., 1982. Interactions between weeds and other pest in the agro-ecosystem. In "Biometeorology in integrated pest management", 343-406.
- OKA, I.N., PIMENTEL, D., 1976. Herbicide (2,4 D) increases insect and pathogen pests on corn. Science, vol. 193, 239-240.
- PFISTER, K., RADOSEVICH, S.R., ARNTZEN, G.J., 1979. Modifications of herbicide binding to photosystem II in two biotypes of *Senecio vulgaris* L.. Plant Physiol., 64, 995-999.

- PUTNAM, A.R., PENNER, D., 1974. Pesticide interactions in higher plants. *Residue Rev.*, 50, 73-110.
- PIMPINI, F., BERTI, A., ZANIN, G., 1986. Action residuelle d'herbicides employes sur la tomate sur des cultures suivantes. 13^a Conf. COLUMA, tome III, 177-187.
- ROSSO, F., 1987. L'avvicendamento colturale rilanciato dalla soia, riferimento essenziale per la lotta integrata. *Tra le bietole*, 5, 4-8.
- ROSSO, F., MERIGGI, P., 1987. Il controllo delle infestanti nella rotazione. *Tra le bietole*, 1, 6-12.
- SATTIN, M., 1984. Influenza di alcuni geodisinfezzanti sul mais in relazione alle modalità d'impiego e all'uso dell'Eradicane 6E (EPTC + R25788): risultati preliminari. *La difesa delle piante*, 1, 29-44.
- SHAW, W.C., 1982. Integrated weed management systems technology for pest management. *Weed Science*, supplement, 2-12.
- SISTO, A.M., 1965. Repertorio sistematico dei principi attivi ad azione diserbante. Società Italiana di Fitoiatria.
- SWANN, R.L., LASKOWSKI, D.A., MC CALL, P.J., VANDER KUY, K., DISHBURGER, H.J., 1983. A rapid method for the estimation of the environmental parameters octanol/water partition coefficient, soil sorption constant, water to air ratio and water solubility. *Residue Rev.*, 85, 17-28.
- TACCHEO BARBINA, M., SPESSOTTO, C., 1988. Erbicidi su colture di larga diffusione in Friuli Venezia Giulia: sistema di una valutazione di impatto ambientale. *L'Informatore Agrario*, 19, I-VIII.
- TEI, F., COVARELLI, G., 1988. Colture di sostituzione del frumento diserbato con chlorsulfuron, isoproturon e neburon. *Atti Giornate Fitopatologiche*, III: 155-164.
- TEMPLETON, G., SMITH, R., TEBUST, D., 1986. Progress and potential with mycoherbicide. *Reviews of Weed Science*, 2, 1-14.
- TISSUT, M., SEVERIN, F., 1984. Plantes, herbicides et desherbage. *ACTA*.
- TODERI, G., BONARI, E., 1986. Lavorazioni del terreno: aspetti agronomici. II. Lavorazioni e pianta coltivata. *Rivista di Agronomia*, 2/3, 106-133.
- TORREY, S., 1982. Preemergence herbicides. *Chemical Technology Review*, n. 211. N.O.C., U.S.A., 1-335.
- ZANIN, G., 1987. L'atrazina nel diserbo del mais (*Zea mays* L.) e del sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.): possibilità di sostituzione e di riduzione delle dosi d'impiego. *Atti: "Diserbo, Ecologia, Sanità"*, Alessandria, 21 gennaio, 27-52.
- ZANIN, G., CANTELE, A., DELLA PIETÀ, S., LORENZONI, G.C., TEI, F., VAZZANA, C., 1985. Le erbe infestanti graminacee nella moderna agricoltura: dinamica, problemi e possibili soluzioni. *Atti SILM*, Verona, 14 novembre, 1-310.
- ZANIN, G., MOSCA, G., CATIZONE, P., 1988. La vegetazione infestante del mais nella pianura padana veneta: risultati di un'indagine — Nota I: aspetti qualitativi. *L'Informatore Agrario*, 9, 195-205.
- WITT, W.W., HERRON, J.W., 1980. Reduced-tillage, Past, present, future. *Weeds Today*, 9-10.
- , 1987. Mycoherbicides a major growth area, *A grow* n. 44, 19.