

Il controllo biologico delle erbe infestanti

Combattere le piante dannose all'agricoltura mediante le tossine prodotte dai loro nemici naturali è un'alternativa agli erbicidi chimici che ha il pregio di essere efficace e al tempo stesso compatibile con l'ambiente

di Gary A. Strobel

L'uomo lotta contro le erbe infestanti almeno fin dagli albori dell'agricoltura. Si potrebbe addirittura affermare che questa battaglia risale ad Adamo: nel versetto 3:18 del *Genesi*, uno dei più antichi riferimenti alle piante infestanti, nell'Eden per altri aspetti perfetto Dio promette ad Adamo «spine e cardi».

I giardini in cui le erbe infestanti prosperano dove non dovrebbero sono uno degli esempi meno gravi dei danni che queste piante possono provocare. Esse intasano anche i corsi d'acqua, distruggono gli habitat naturali e ostacolano l'agricoltura. La loro diffusione incontrastata fa scomparire le aree a pascolo ed è responsabile di un terzo delle perdite di raccolti in tutto il mondo: una devastazione che la popolazione umana in continua espansione non può certo permettersi. Molte piante utili possono morire perché le erbe infestanti che si intrufolano tra di esse sottraggono acqua, sostanze nutritive e luce solare, oppure interferiscono con l'irrigazione; anche le operazioni di raccolta possono essere intralciate.

Alla necessità di tenere sotto controllo le erbe infestanti su scala mondiale è venuta principalmente incontro l'industria chimica. Gli erbicidi chimici sono spesso efficaci e indispensabili in agricoltura, ma provocano gravi problemi, in particolare modo se vengono utilizzati senza uno stretto controllo. Per esempio, questi composti tossici o comunque dannosi minacciano la salute dell'uomo e degli animali accumulandosi nelle piante alimentari, nella falda acquifera e nell'acqua potabile; possono anche mettere direttamente in pericolo gli agricoltori che li spargono.

In anni recenti l'industria chimica ha introdotto alcuni erbicidi che sono più sicuri dal punto di vista ecologico rispetto a quelli del passato, in particolare il

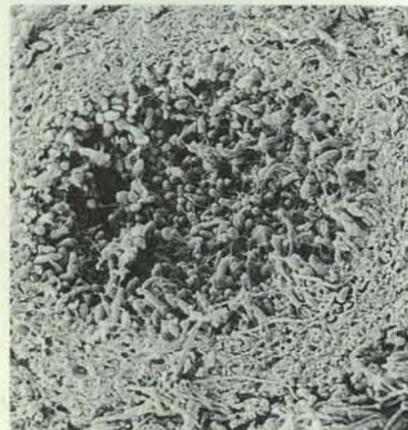
glifosato, prodotto dalla Monsanto, e una serie di composti, le sulfoniluree, messi a punto dalla Du Pont. Ma le nuove sostanze chimiche non potranno certo risolvere da sole il problema mondiale delle erbe infestanti. Per questo motivo un numero sempre maggiore di ricercatori, compresi i miei collaboratori e io alla Montana State University, sta interessandosi ad alternative biologiche che sfruttino le capacità erbicide innate di certi esseri viventi, in primo luogo insetti e microrganismi.

Gli agenti biologici oggi in uso sono compatibili con l'ambiente e molti hanno in più il vantaggio della specificità; in genere possono essere scelti per la loro capacità di attaccare bersagli ben precisi senza danneggiare altre piante (comprese quelle che potrebbero essere affini alle erbe infestanti prese di mira). Per contro alcuni dei più efficaci erbicidi chimici uccidono pressoché tutte le piante con cui entrano in contatto, risparmiando solo le poche specie che possiedono una resistenza naturale alla sostanza impiegata e quelle che sono state modificate geneticamente per essere più resistenti. Inoltre diversi agenti biologici possono essere impiegati solo una volta, senza che siano necessarie successive applicazioni, mentre in genere i prodotti chimici devono essere somministrati parecchie volte nel corso di una stagione agricola.

Può darsi che i metodi biologici non riescano a soppiantare completamente gli erbicidi chimici, ma dovrebbero comunque consentire di limitarne l'uso e di ridurre i rischi a essi associati. Potrebbero anche permettere di debellare quelle erbe infestanti che sfuggono all'azione dei comuni erbicidi.

Naturalmente l'uomo è il primo agente biologico di controllo delle erbe infestanti: per migliaia di anni egli ha taglia-

to ed estirpato le erbe infestanti per conquistare nuove estensioni di terreno coltivabile, con risultati però non sempre soddisfacenti.



La comparsa di chiazze sulle foglie di *Cyperus rotundus* è opera di un fungo, *Ascochyta cypericola*, che appartiene alla numerosa

Si ritiene che la prima riuscita introduzione di un agente di controllo biologico sia avvenuta alla metà dell'Ottocento. La cactacea *Opuntia vulgaris*, una varietà di fico d'India originaria delle Americhe, aveva provocato molti danni in India, ma venne finalmente messa sotto controllo liberando nell'ambiente un insetto, *Dactylopius ceylonicus*, che è un suo nemico naturale.

Da allora gli insetti sono stati impiegati per limitare la proliferazione di più di 30 specie di erbe infestanti in varie parti del mondo. Questi interventi hanno aperto la strada alla attuale sperimentazione con microrganismi che uccidono o indeboliscono le erbe infestanti. Parecchi di questi microrganismi sono già disponibili in commercio o stanno per esserlo, mentre decine di altri sono sottoposti a indagini approfondite in molti laboratori. La maggior parte dei microrganismi studiati è costituita da funghi, che sono i più comuni agenti patogeni delle piante, ma alcuni gruppi di ricercatori in tutto il mondo stanno interessandosi anche a virus, batteri e nematodi (vermi cilindrici).

Per mettere a punto misure di controllo biologico è necessario raccogliere un

gran numero di informazioni su ciascuna erba infestante presa come bersaglio. In particolare occorre conoscerne i nemici naturali e il ciclo vitale, in modo da poter liberare nell'ambiente i suoi antagonisti più potenti nel momento preciso del ciclo in cui questi agenti siano particolarmente distruttivi.

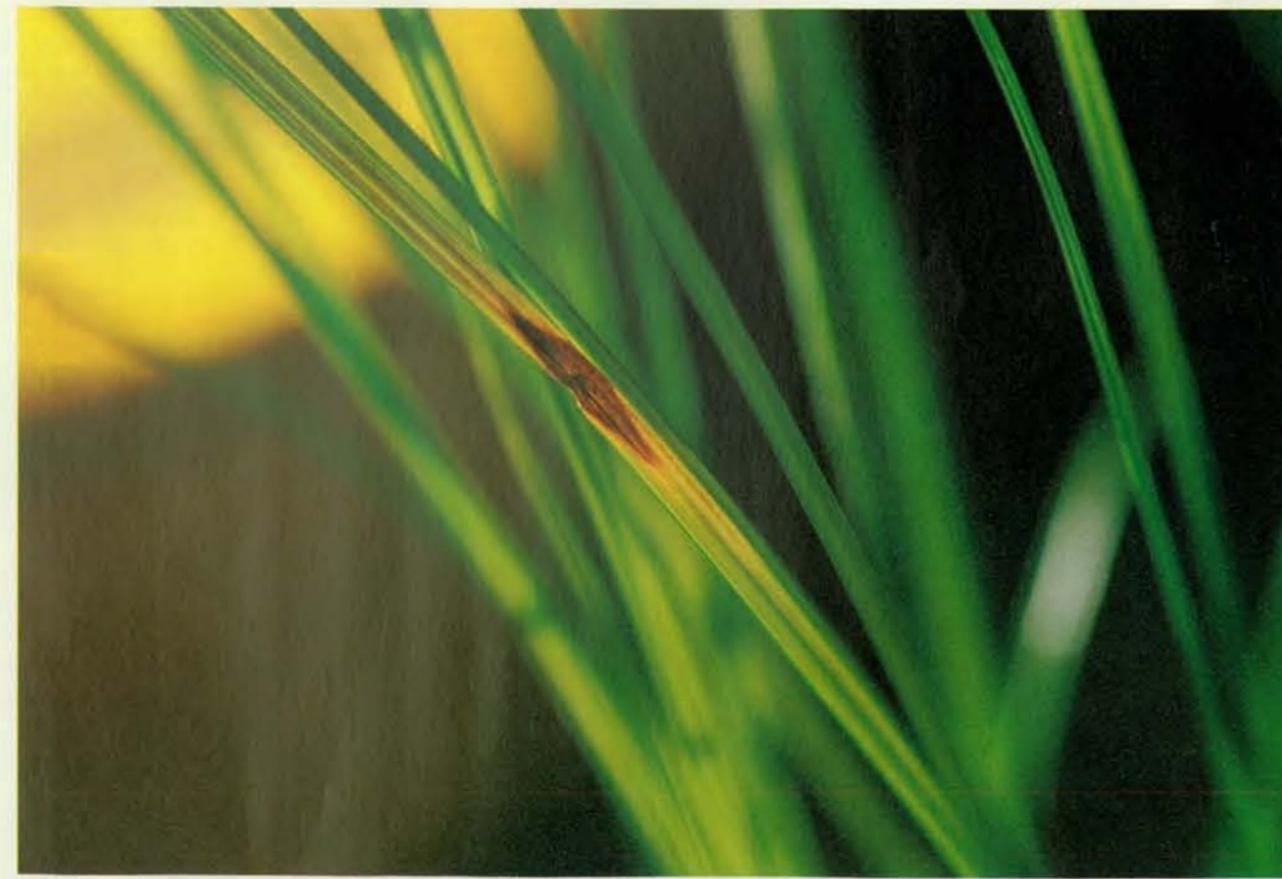
L'industria chimica sta oggi cercando di produrre erbicidi in maniera egualmente razionale, progettando certi composti in modo che interferiscano con specifici processi chimici di determinate erbe. In passato, invece, molti erbicidi standard nascevano da una ricerca condotta un po' alla cieca: i chimici creavano nuovi composti senza avere in mente un particolare bersaglio biochimico; successivamente valutavano le sostanze ottenute in base ai loro effetti su una vasta gamma di piante.

La ricerca dei nemici di un'erba infestante ha inizio di solito passando in rassegna la letteratura scientifica su quella particolare pianta, ma può anche comportare la ricognizione sul campo alla ricerca di antagonisti non ancora identificati. La caccia comincia spesso nell'area di origine della pianta infestante, in quanto lì i suoi avversari tendono a es-

sere più abbondanti. Molte piante nocive sono assai meno dannose nel loro centro di origine proprio perché altri organismi che si sono evoluti nella stessa regione ne limitano la diffusione.

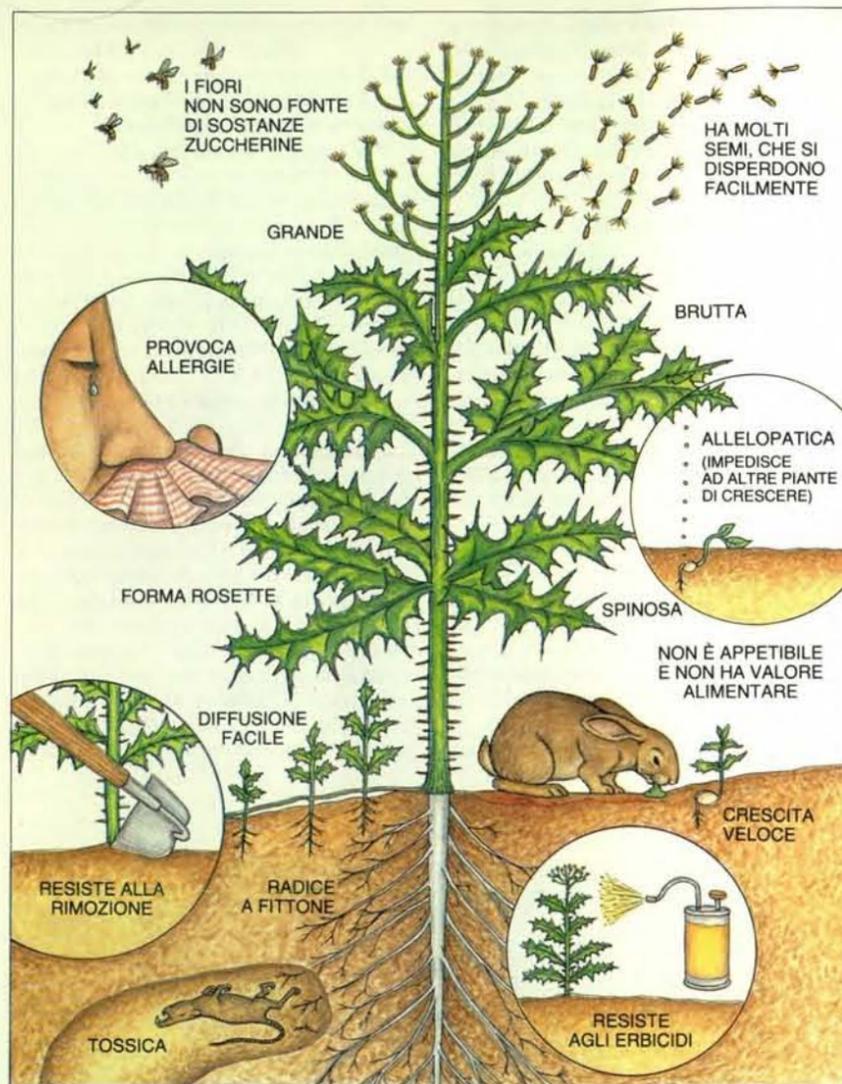
Per esempio, spedizioni effettuate nei siti di origine hanno permesso di scoprire promettenti agenti biologici contro il cipero odoroso (*Cyperus rotundus*), una pianta che assomiglia a una graminacea e produce fiori color lavanda. Dalla sua regione d'origine in India si è diffusa nei campi coltivati delle regioni tropicali di tutto il globo: difficile da debellare e senza proprietà che la redimano, è considerata da molti la peggiore erba infestante del mondo.

Altri esempi abbondano. Ricercatori avventuratisi in paesi lontani hanno scoperto i nemici naturali di erbe infestanti come l'avena selvatica (*Avena fatua*), diffusasi dal Medio Oriente pressoché in tutte le aree del mondo in cui crescono i cereali; la cannareccia (*Sorghum halepense*), una pianta originaria dell'area mediterranea che nella maggior parte delle zone agricole è una vera rovina per le colture di sorgo e di granturco; la canapa indiana (*Cannabis sativa*), proveniente dalle zone dell'Asia a clima



famiglia dei possibili erbicidi biologici. Il fungo prolifera sull'erba infestante generando picnidi (corpi rotondeggianti nella microfotografia elettronica a scansione in alto), ognuno dei quali contiene

spore (rigonfiamenti all'estremità dei filamenti nella sezione in basso). I picnidi sono ingranditi 31 volte; le spore 305 volte. Le microfotografie sono di Wilford Hess della Brigham Young University.



L'erba infestante «ideale» non ha alcun carattere positivo. Brutta e inutile, è sgradevole o anche tossica per gli animali e non ha sostanze zuccherine che possano essere trasformate in miele. Cresce molto, si diffonde rapidamente e inibisce lo sviluppo di altre piante (allelopatia). Scatenata anche reazioni allergiche nell'uomo. E non è facile da estirpare: con la lunga radice a fittone e le rosette, resiste alla rimozione meccanica e non teme gli erbicidi. La cactacea *Opuntia vulgaris* (in basso) è stata la prima erba infestante a essere controllata, verso la metà dell'Ottocento in India, da un insetto, *Dactylopius ceylonicus* (nel riquadro).



temperato; e infine le dannosissime e ampiamente diffuse piante acquatiche di cui il giacinto d'acqua (*Eichhornia crassipes*), originario dell'America Meridionale, è il tipico rappresentante (si veda l'articolo *Il controllo dell'invasione di piante acquatiche infestanti* di Spencer C. H. Barrett in «Le Scienze» n. 256, dicembre 1989). In ciascun caso, l'esportazione accidentale o imprudente di queste piante è costata miliardi di lire per la riduzione che si è avuta nell'entità dei raccolti o per la necessità di ricorrere a misure di controllo, o per entrambe queste ragioni.

Sia nella zona di origine sia in quella di adozione di una pianta si possono identificare potenziali agenti di controllo biologico cercando piante che mostrino sintomi di malattia o di infestazione da parte di insetti. Alcuni sintomi comuni sono l'ingiallimento o la caduta delle foglie, la marcescenza delle parti fiorali, il deterioramento delle radici o il danneggiamento dei fusti (in caso di infezione), oppure la presenza di uova o di insetti adulti (in caso di infestazione). Generalmente, a questo punto è possibile isolare gli agenti distruttivi oppure identificarli a partire dalle spore o dalle uova che lasciano sulle piante.

È sorprendente la facilità con cui si possono trovare questi agenti. Per esempio, l'anno scorso il mio collaboratore Rajeev K. Upadhyay e io abbiamo scoperto un agente patogeno fungino di *Cyperus rotundus*, fino a quel momento sconosciuto, semplicemente cercando in India piante che avessero macchie ingiallite o necrotiche. Attualmente stiamo esaminando la possibilità che il fungo, *Ascochyta cypericola*, possa essere sfruttato per tenere sotto controllo questa erba infestante.

In generale, i biologi concentrano le ricerche soprattutto sugli agenti che attaccano in modo specifico ed efficace una singola erba infestante o una gamma limitata di erbe infestanti affini. Tuttavia questi organismi non potranno essere commercializzati liberamente fino a quando non sarà stata eseguita tutta una serie di esperimenti che includono test in serra seguiti da prove limitate sul campo, in piccoli lotti isolati, e infine da studi sul campo estesi a zone più vaste.

Nel caso di insetti e agenti patogeni provenienti da altri paesi, le leggi federali e dei singoli Stati, negli Stati Uniti e in molte altre nazioni, impongono ai ricercatori di eseguire tutte le analisi di laboratorio e i test in serra in condizioni di quarantena, limitando l'ingresso e l'uscita di persone, aria e acqua. In effetti, per evitare di provocare involontariamente epidemie, è necessario trattare questi organismi con una prudenza straordinaria; in passato turisti e viaggiatori hanno provocato epidemie proprio liberando accidentalmente nell'ambiente i microrganismi responsabili della grafiosi dell'olmo, del cancro della corteccia

del castagno e di varie malattie degli alberi da frutto come agrumi, meli, peri e banani.

Gli organismi prescelti dall'industria o dagli enti governativi per il controllo delle erbe infestanti devono di norma soddisfare parecchi criteri. Gli insetti devono essere in grado di riprodursi rapidamente, così come i microrganismi patogeni devono riuscire a generare in abbondanza spore o altre strutture che diano origine a nuove generazioni. I microrganismi devono anche rimanere vitali quando vengono introdotti in una «formula», cioè mescolati con sostanze che ne impediscono il disseccamento e ne facilitano l'adesione alle erbe infestanti. Inoltre, tranne quando si vuole agire contro un ampio spettro di infestanti,

i microrganismi dovrebbero attaccare specificamente una certa pianta ed essere in grado di indebolirla in una grande varietà di condizioni ambientali. Negli Stati Uniti le norme in vigore impongono anche ai ricercatori di dimostrare che un organismo non è nocivo prima di sperimentarlo al di fuori del laboratorio e di distribuirlo su vasta scala.

I primi organismi patogeni a superare questi ostacoli scientifici e normativi hanno cominciato ad aggiungersi ai prodotti basati sugli insetti, già presenti sul mercato agli inizi degli anni ottanta (si veda la tabella in questa pagina). Alcuni dei prodotti oggi disponibili o che saranno probabilmente messi in vendita nel prossimo futuro si basano su microrga-

nismi endemici dell'area di applicazione; altri invece sono importati dalla zona di origine della pianta.

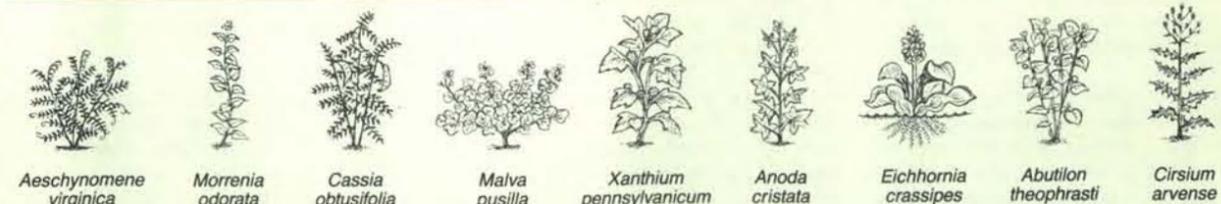
Il comportamento di uno dei primi organismi sfruttati commercialmente, un ceppo del fungo *Colletotrichum gloeosporioides* (il cui nome commerciale è Collego), è per certi aspetti tipico dei nuovi erbicidi che impiegano agenti patogeni.

Questo particolare fungo, rappresentante della classe di microrganismi endemici, proviene dagli Stati Uniti meridionali e sta contribuendo a limitare i danni prodotti nelle risaie dell'Arkansas da *Aeschynomene virginica*. Come potenziale agente di controllo è stato identificato, e successivamente formulato e sperimentato, da George E. Temple-

Agenti patogeni per le erbe infestanti già in commercio o allo studio

AGENTE PATOGENO	ERBA INFESTANTE	AREE INFESTATE
Già in commercio		
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> nome commerciale: Collego	<i>Aeschynomene virginica</i>	Risaie nell'Arkansas
<i>Phytophthora palmivora</i> nome commerciale: DeVine	<i>Morrenia odorata</i>	Agrumeti negli Stati Uniti sudorientali
In attesa di commercializzazione		
<i>Alternaria cassiae</i> nome commerciale: Casst	<i>Cassia obtusifolia</i>	Colture di soia e di arachidi negli Stati Uniti sudorientali; varie colture in Australia
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (ceppo diverso da quello del Collego) nome commerciale: BioMal	<i>Malva pusilla</i>	Colture di cereali a seme piccolo negli Stati Uniti e in Canada
Promettenti prove sul campo*		
<i>Alternaria helianthi</i>	<i>Xanthium pennsylvanicum</i>	Colture di soia negli Stati Uniti meridionali; colture in Australia e in Israele
<i>Alternaria macrospora</i>	<i>Anoda cristata</i>	Colture di cotone e soia negli Stati Uniti meridionali
<i>Cercospora rodmanii</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	Corsi d'acqua nelle regioni tropicali e subtropicali del globo
<i>Colletotrichum coccoides</i>	<i>Abutilon theophrasti</i>	Colture di granoturco e di soia negli Stati Uniti centro-occidentali
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (modificato geneticamente)	<i>Cirsium arvense</i>	Campi, pascoli, argini di canali d'irrigazione e colture di cereali a seme piccolo nelle zone temperate del globo

* Scelti tra un gran numero di organismi promettenti





In un campo sperimentale di *Anoda cristata*, un'erba infestante comune nella parte orientale degli Stati Uniti, si nota una zona con piante morte che dimostra il potenziale erbicida del fungo *Alternaria macrospora*. Queste prove limitate sul campo sono necessarie prima di sperimentare gli agenti biologici su scala più ampia. Un



esemplare di *Centaurea maculosa* (a sinistra nella fotografia qui sopra) è stato oggetto di una strategia biologica diversa: è stato danneggiato dalla maculosina, una fitotossina che attacca specificamente questa pianta e viene estratta dal fungo *Alternaria alternata*. L'esemplare non trattato (a destra) non reca tracce di danni.

ton e collaboratori dell'Università dell'Arkansas.

I composti chimici (erbicidi fenossiderivati) che gli agricoltori usano normalmente contro le erbe infestanti uccidono pressoché tutte le piante di *Aeschynomene virginica*, ma quando vengono applicati senza precauzioni possono danneggiare anche il riso, oltre che le colture di cotone e soia nei campi vicini. Per contro, il «micoerbicida» non danneggia le piante agricole. Impiega più tempo per esplicare la propria azione rispetto ai prodotti chimici standard ed è leggermente meno potente, dato che uccide forse il 99 per cento dei bersagli. Ma il tempo necessario è ragionevole e la percentuale di erba infestante eliminata accettabile, dato che non occorre far sparire completamente le piante nocive, ma solo ridurne la popolazione fino a che non possano più competere con le piante utili.

La ruggine *Puccinia chondrillina*, che provoca la comparsa sulle piante di una patina rugginosa, ha un comportamento analogo. Esempio di agente patogeno importato, sta contribuendo in Australia a limitare la diffusione di una pianta originaria dal Mediterraneo, *Chondrilla juncea*. Come nel caso precedente, questo micoerbicida non elimina ogni pianta di *Chondrilla juncea*, ma riesce comunque a far risparmiare ogni anno l'equivalente di miliardi di lire che verrebbero spesi per gli erbicidi tradizionali e per la manodopera necessaria alla loro applicazione.

Purtroppo, come accade in molti settori della scienza, le promesse iniziali non sempre si traducono in applicazioni utili. In effetti la maggior parte degli insetti e dei microrganismi che in serra riescono a tenere sotto controllo le erbe

infestanti risulta inefficace sul campo, dove sia il clima sia le proprietà del suolo sono più variabili e possono essere presenti imprevisti nemici naturali dell'agente biologico. Per esempio, Peter Harris dell'Agriculture Canada (l'equivalente canadese del Ministero dell'agricoltura) ha notato che, nei test sul campo condotti in Australia, solo cinque insetti sui 51 introdotti per controllare *Opuntia vulgaris* si sono dimostrati utili.

D'altro canto, i risultati raggiunti fino a oggi dimostrano che gli agenti biologici possono di fatto essere efficaci e servire come alternativa ai prodotti chimici. Inoltre, se i protocolli che ho descritto vengono seguiti scrupolosamente, il rischio di arrecare per errore danni alle piante utili è basso. Suzanne W. T. Batra dell'Agricultural Research Service dello US Department of Agriculture ha fatto notare che, degli oltre 100 insetti introdotti in tutto il mondo per tenere sotto controllo le erbe infestanti, nessuno ha modificato le proprie abitudini alimentari e ha abbandonato l'erba infestante ospite per nutrirsi di una pianta economicamente importante. Né vi è stata alcuna valutazione scientifica errata degli agenti patogeni che sono stati liberati su vasta scala; nessuno infatti ha cominciato improvvisamente ad attaccare piante che non aveva mai danneggiato prima.

I miei collaboratori e io stiamo studiando un procedimento biologico che ci permetta di scavalcare l'esigenza di liberare nell'ambiente organismi interi, eliminando così anche il minimo rischio che gli agenti patogeni possano inaspettatamente insediarsi in nuovi ospiti. La nostra strategia si basa, anziché sui microrganismi, sulle sostanze che questi producono, soprattutto sulle fito-

tossine che danneggiano le erbe infestanti. L'impiego di queste sostanze eliminerebbe anche la necessità di assicurarsi che i microrganismi rimangano vitali dopo essere stati introdotti in una formula e immagazzinati oppure applicati alle piante.

Lo studio delle fitotossine interessa anche per altre ragioni. Dopo essere state estratte dagli agenti patogeni, queste sostanze possono essere analizzate singolarmente per stabilire quale sia il meccanismo esatto con cui gli agenti patogeni uccidono le erbe infestanti. La determinazione della struttura di queste molecole dovrebbe permetterci di sintetizzarle, evitando così di raccogliere o di conservare colonie di agenti patogeni per produrre gli erbicidi biologici. Cosa ancora più importante, dovrebbe essere possibile sintetizzare derivati che migliorino l'efficacia delle tossine originali.

Nel mio laboratorio si stanno studiando da 10 anni, in collaborazione con Jon C. Clardy della Cornell University, Fumio Sugawara dell'Istituto di ricerche chimiche e fisiche di Tokyo e tutta una schiera di studenti e laureati di queste due istituzioni, alcune fitotossine dannose per le erbe infestanti. In realtà un decennio è un periodo di tempo relativamente breve, considerando che il lavoro procede lentamente e che solo il nostro gruppo e un pugno di altri laboratori stanno lavorando sulle fitotossine. Nonostante ciò, sono stati fatti importanti progressi.

Sono stati presi in esame più di 25 funghi nocivi per le erbe infestanti; gli studi effettuati dimostrano che quasi tutti, tranne forse le ruggini e le muffe, producono fitotossine e insieme a esse anche famiglie di composti affini dal punto di vista strutturale. Ogni data famiglia

può includere sia molecole innocue sia molecole fitotossiche.

A volte i composti affini agiscono di concerto: questo dato fa pensare che alcuni futuri erbicidi basati sulle fitotossine potranno consistere di parecchi membri di una singola famiglia strutturale. Qual è però il ruolo delle sostanze non tossiche? A mio parere i funghi generano talvolta molti derivati di un'unica molecola per garantire che almeno uno danneggi la pianta ospite e permetta al fungo patogeno di aver libero accesso alle sostanze nutritive della pianta.

Un dato un poco sconcertante è che solo una fitotossina, fra quelle isolate da funghi che attaccano specificamente certe erbe infestanti, è essa stessa specifica per l'ospite (un'indicazione che la specificità della maggior parte dei funghi deriva da altri fattori). Alcune fitotossine sono quanto meno selettive e danneggiano un gruppo limitato di erbe infestanti affini. Ma la maggior parte di esse non è

selettiva e potrebbe quindi danneggiare piante utili se venisse somministrata come erbicida. Tuttavia la scoperta anche di un piccolo numero di fitotossine specifiche o selettive implica che ne esistano altre, le quali attendono solo di essere scoperte. In effetti, se si ammette che vi siano migliaia di specie di erbe infestanti e che ciascuna di esse sia sensibile a forse 20 o più agenti patogeni, allora l'elenco dei funghi e degli altri organismi patogeni ancora da esaminare diventa enorme.

Nell'ultimo decennio sono state determinate le strutture di numerose fitotossine e di composti a esse affini. Dato che la ricerca sugli effetti erbicidi delle fitotossine è relativamente recente, nessuno sa ancora come la maggior parte di questi composti danneggi le piante. C'è però un'eccezione: il mio collega Doug Kenfield della Montana State University ha chiarito perché i triticoni A e B, che derivano dal fungo *Curvularia clavata*, siano tossici per parecchie graminacee in-

festanti. Essi inattivano enzimi d'importanza fondamentale per la sopravvivenza delle erbe, combinandosi con gruppi solfidrilici (zolfo e idrogeno) situati nei siti attivi degli enzimi. Così legati, questi ultimi non possono interagire in modo efficace con altre molecole.

La tecnica di base adottata dal mio gruppo per identificare e analizzare le fitotossine e per affrontare i problemi ardui ed entusiasmanti che questa ricerca comporta possono essere descritti nel modo migliore con l'esempio della maculosina, una fitotossina che agisce su *Centaurea maculosa*. Questa pianta, che produce fiori rosati maculati di bianco, infesta gli Stati Uniti nordoccidentali e il Canada sudoccidentale.

Essa è stata probabilmente introdotta negli anni venti, dopo che i suoi semi si erano mescolati con altri importati dall'Europa, come i semi di erba medica. Può anche darsi che siano stati apicoltori provenienti dall'Europa a introdurre la

Alcune fitotossine allo studio per il controllo delle erbe infestanti

Il gruppo dell'autore ha isolato di recente i composti sottoindicati (da funghi che infettano le erbe infestanti «ospiti» elencate) e ne ha determinato la struttura; sta ora analizzando la potenzialità erbicida delle fitotossine elencate e di molte sostanze strettamente imparentate a esse, come pure di numerose altre fitotossine. Le

più promettenti per uno sviluppo commerciale sono risultate le molecole specifiche per l'ospite (che uccidono in modo efficace un'unica specie di erba infestante) o che danneggiano selettivamente una gamma limitata di specie. Purtroppo, come indica la tabella, composti così «particolari» sembrano essere relativamente rari.

FITOTOSSINA	FUNGO PRODUTTORE	ERBA INFESTANTE OSPITE	AREE INFESTATE	COMMENTO
Bipolaroxina	<i>Bipolaris cynodontis</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	Campi di granoturco, cotone, canna da zucchero e altre colture in tutto il mondo	Prima fitotossina nota selettiva per l'ospite
Curvulina	<i>Drechslera indica</i>	<i>Portulaca oleracea</i>	Decine di colture in tutto il mondo	Selettiva per l'ospite; agisce bene a basse concentrazioni
Cipreina	<i>Ascochyta cypericola</i>	<i>Cyperus rotundus</i>	Decine di colture in tutto il mondo	Non selettiva, ma estremamente tossica per <i>Cyperus rotundus</i>
Exseroione	<i>Exserohilum holmi</i>	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Campi di granoturco, cotone, canna da zucchero e altre colture nelle regioni tropicali e subtropicali	Non selettiva
Gigantenone	<i>Drechslera gigantea</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	Campi di granoturco, cotone, canna da zucchero e altre colture in tutto il mondo	Non tossica per le graminacee, ma uccide certe erbe infestanti a larga foglia
Maculosina	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Centaurea maculosa</i>	Pascoli negli Stati Uniti nordoccidentali e nel Canada sudoccidentale	Specifica per l'ospite; la migliore candidata alla commercializzazione
Ofiobolina I	<i>Drechslera sorghicola</i>	<i>Sorghum halepense</i>	Campi di granoturco, cotone e canna da zucchero nella maggior parte del globo	Non specifica, ma alcune forme affini sembrano specifiche per altri ospiti
Triticoni A e B	<i>Curvularia clavata</i>	Varie graminacee	Prati, campi e pascoli negli Stati Uniti e altrove	Non specifica



Cynodon dactylon



Portulaca oleracea



Cyperus rotundus



Dactyloctenium aegyptium



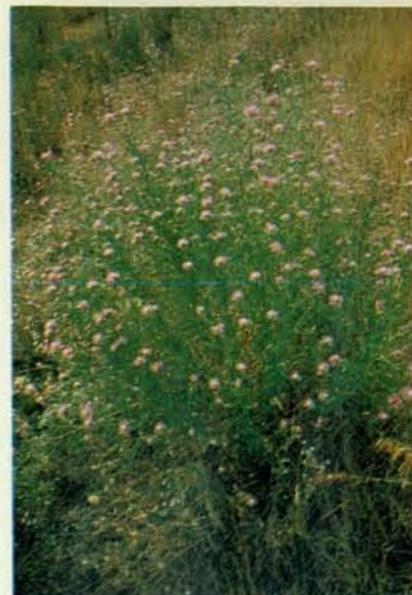
Centaurea maculosa



Sorghum halepense



Questo tabellone eretto a nord di Missoula, nel Montana, riflette la preoccupazione delle autorità dello Stato per il fatto che *Centaurea maculosa*, un'erba non appetita dagli animali, minaccia la fauna selvatica infestando i campi e soffocando le piante che servono da alimento all'alce e ad altri erbivori. Tutti i tentativi compiuti



finora non sono riusciti ad arrestare la diffusione della pianta (che si vede in fiore nella fotografia a destra) negli Stati Uniti nordoccidentali, e neppure ai piedi del tabellone. Si spera che fitotossine come la maculosina o altri agenti di controllo biologico possano rendere più efficaci i tentativi in corso per controllare la pianta.

pianta, di cui intendevano servirsi come fonte di miele. Gli insetti producono effettivamente miele dal nettare dei fiori, ma la presenza di materiale zuccherino è forse l'unica proprietà che possa riscattare la pianta.

Nella sua area di adozione infatti *Centaurea maculosa* sloggia rapidamente la maggior parte delle graminacee e delle altre angiosperme, ricoprendo in breve tempo pendii e prati. Il territorio diventa così inadatto per il pascolo, dato che il bestiame non si nutre di *C. maculosa*. L'infestazione dei pascoli costa ogni anno, nel solo Stato del Montana, milioni di dollari ai proprietari terrieri, una cifra che tende ad aumentare di pari passo con l'estensione dell'area in cui la pianta è predominante.

Nella primavera del 1984 Andrea C. Stierle, allora studentessa, mi disse che voleva unire nella sua tesi di laurea lo studio della chimica a quello della patologia vegetale. Io le consigliai di cercare di isolare e di analizzare fitotossine attive contro *C. maculosa*. L'impresa sarebbe stata ardua: passando in rassegna la letteratura sulle erbe infestanti, si scoprì che fino a quel momento non era stato descritto alcun agente patogeno attivo contro questa pianta.

Insieme con il marito, la giovane trascorse l'estate nei pascoli d'altura del Montana cercando inutilmente esemplari malati di *Centaurea*. Poi, un giorno dell'inizio del mese di settembre, su una collina vicino alla sua casa a Butte, notò inaspettatamente una pianta gravemen-

te deperita, con foglie e steli intaccati da macchie nere che indicavano necrosi dei tessuti. Tornata in laboratorio, la Stierle isolò dalle lesioni un agente patogeno fungino e dimostrò che esso provocava macchie simili su piante sane di *C. maculosa* coltivate in serra. L'agente patogeno risultò essere un nuovo ceppo di un fungo comune, *Alternaria alternata*.

La Stierle rivolse quindi la sua attenzione all'aspetto chimico della sua ricerca. Nel laboratorio di John H. Cardellina II, sempre alla Montana State University, ella coltivò il fungo ed estrasse e purificò laboriosamente i composti da esso prodotti. Quindi determinò la struttura chimica delle molecole che sembravano dannose per *Centaurea*.

Alcuni dei prodotti attivi erano fitotossine, che erano già state trovate in altri funghi. Ma due prodotti tra loro correlati erano sconosciuti. Uno di essi era solo leggermente tossico, mentre il secondo, che chiamammo maculosina, ci sorprese. Anche applicato in minime dosi, produceva macchie nere sulle foglie di *C. maculosa* e, cosa ancora più importante, agiva solo su questa specie e non su altre piante esaminate, tra cui due molto affini a essa, *Centaurea picris* e *Centaurea diffusa*. Era stata così scoperta per la prima volta una fitotossina specifica per questa pianta.

La Stierle produsse in seguito maculosina sintetica come prima tappa di un'altra fase del nostro lavoro: lo studio del meccanismo d'azione. Sang Ho Park, un altro laureando unitosi al progetto, ottenne una versione della macu-

losina marcata con isotopi radioattivi e dimostrò che in *C. maculosa* la maculosina viene trasformata in almeno tre altri prodotti. Uno o più di questi prodotti potrebbe essere la causa delle lesioni nere. Altri colleghi stanno analizzando la struttura chimica delle varie sostanze, nel tentativo di risalire alle interazioni molecolari che esse hanno nell'ospite.

Nel contempo, stiamo dandoci da fare per capire perché solo *Centaurea maculosa* sia suscettibile alla maculosina. Abbiamo identificato nella pianta parecchi recettori specifici per questa sostanza, il che fa pensare che il legame della maculosina a uno o più recettori danneggi *Centaurea* interferendo con la funzione che questi ultimi svolgono normalmente. Non sappiamo ancora come conciliare questo risultato con la scoperta dei tre metaboliti da parte di Park, né sappiamo se la maculosina o un suo derivato possa servire validamente da erbicida biologico. Attualmente stiamo producendo forme alterate di maculosina nel tentativo di determinare se alcune di esse siano candidati migliori della sostanza originale per prove sul campo.

Oggi il costo della nebulizzazione di enormi tratti coperti da *C. maculosa* con erbicidi tradizionali è proibitivo, in parte perché sono necessarie ripetute applicazioni per impedire il ritorno di quest'erba molto resistente. Forse un giorno la maculosina o una sua variante sintetica ancora più potente contribuirà a risolvere in modo più economico il problema. Come minimo, la scoperta del composto fa sorgere la speranza che altre fitotossi-

ARISTOCRAZIA DEL VINO ROSSO

NEI RIGOGLIOSI VIGNETI DEL VINO NOBILE DI MONTEPULCIANO.

A sud-sud-est di Siena, sui colli digradanti da un lato verso la Val di Chiana, dall'altro verso la Val D'Orcia, è il territorio di Montepulciano, uno dei paradisi enologici della Toscana e patria eletta del Vino Nobile. Se eccelsa è la qualità, addirittura "papale" è la tradizione di questo vino, che può vantarsi di avere varcato nel '300 le porte pontificie per divenire il vino prediletto di S.S. Papa Paolo III° Farnese. Si legge in proposito su di un "strumento" datato il 13 ottobre 1350: "È perfettissimo tanto il verno che



la state, et meglio è il rosso la state, io ne sono certo. Tali vini hanno odore, colore et sapore et volentieri Sua Santità ne beveva non tanto a Roma dove gli erano portati i fiaschi, ma ancora a Perugia". Ma è grazie a Francesco Redi, scienziato, scrittore e poeta del '600 che il Vino Nobile di Montepulciano varca trionfalmente le

INFORMAZIONE PUBBLICITARIA

soglie della celebrità. È infatti nel suo famoso ditirambo "Bacco in Toscana", in cui accompagna idealmente Bacco e Arianna in un giocoso itinerario alla scoperta dei vini pregiati di Toscana, che il Redi forgia il motto oggi a tutti conosciuto "Montepulciano d'ogni vino è Re". Tornando ai giorni nostri, è per merito di aziende come la Fassati, antica casa vinicola del Chianti, nata nel 1913 e incorporata per fusione nel 1990 dalla Fazi-Battaglia S.p.A., che questo prezioso vino perpetua la sua illustre tradizione e ottiene prestigiosi riconoscimenti. Primo a fregiarsi nel 1980, fra sei vini italiani, della denominazione di origine controllata e garantita, il Vino Nobile di Montepulciano "Fassati" nasce a mezza collina nei vigneti di Gracciano, Caggiole, Sanguinetto e Cervognano, sui terreni migliori per la coltivazione di Prugnolo Gentile, Canaiolo Nero, Malvasia del Chianti, Trebbiano Toscano, Pulcinculo e Mammolo, cioè di tutte le uve che entrano con percentuali e "compiti" diversi nella composizione del Vino Nobile. Per riconoscerne il pregio, basti pensare che la resa massima delle uve non deve superare 80 quintali per ettaro di vigneto specializzato e la resa massima delle uve in vino al primo travaso è del 70% mentre a fine invecchiamento non dovrà superare il 65% ... in conclusione, da un ettaro di vigneto si ricavano soltanto 50 quintali di Vino Nobile contro, per esempio, i 65 di un ottimo Chianti. E ad accrescere la qualità di questo prodotto straordinario ecco pronte le pregiate botti in legno di rovere di Slavonia, dove il vino, già ricco di corpo e profumo, riposerà due anni per acquistare ancora più forza e austerità. Dopo un anno di affinamento in bottiglia, scrupolosamente etichettato secondo il vigneto di provenienza, non resta che versarlo e gustarlo, facendo bene attenzione che la bottiglia sia stata stappata almeno due ore prima (in caso di invecchiamento prolungato se ne consiglia la decantazione) e che il bicchiere sia di cristallo finissimo senza sfaccettature o colorazioni, con il calice a forma di tulipano con stelo panciuto in basso e più stretto in alto. Vale la pena di leggerne la scheda:

Vino: Vino Nobile di Montepulciano D.O.C.G.
Uve: Prugnolo Gentile (Sangiovese Grosso) 50-70%, Canaiolo Nero 10-20%, Malvasia del Chianti e Trebbiano Toscano 10-20%, Pulcinculo (Greghetto Bianco) e Mammolo 5%.
Aspetto: Si presenta con morbida trasparenza.

Colore: Rosso rubino con riflessi arancione. Con l'invecchiamento tende al rosso granato.

Profumo: Vinoso con garbo, tende a bouquet persistente e pronunciato in cui domina la mammola.



Sapore: Asciutto con fondo amarognolo, leggermente tannico; nerbo avvertito e stoffa elegante.

Ha carattere gradevolmente pieno. **Invecchiamento:** 2 anni in botti di rovere e un anno di affinamento in bottiglia. È vino che, conservato in luogo idoneo, può



invecchiare fino a 12 anni ed oltre, raggiungendo l'apice della sua perfezione.

Tenore d'alcool: 12,5°.

Acidità totale: 4-6,5‰.

Produzione annuale: 100-110 mila bottiglie da 75 cl. a seconda delle annate.

Gastronomia: È un grande vino da arrosto di carni sia bianche che rosse. Si accosta splendidamente a pollame nobile, cacciagione e selvaggina, ma non disdegna la compagnia di formaggi rustici e di monte. Per la sua tipicità è classico vino "da meditazione" che può gustarsi anche fuori dal pasto.

Casa Vinicola
FAZI-BATTAGLIA S.p.A.
Stabilimento Enologico
Via Graccianello 3/A
Montepulciano - Gracciano (Siena)

Per accordi con
la ZANICHELLI EDITORE S.p.A.
siamo lieti di offrire ai lettori
de LE SCIENZE, a prezzi speciali,
i volumi della collana
NUOVI CLASSICI DELLA SCIENZA
edizione italiana
della "Scientific American Library"

FARMACI, DROGHE E CERVELLO

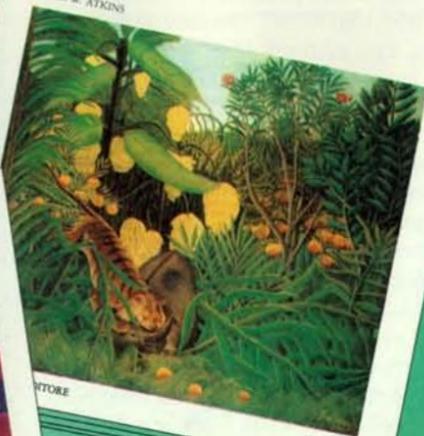
SOLOMON H. SNYDER



ZANICHELLI EDITORE

IL SECONDO PRINCIPIO

PETER W. ATKINS



ZANICHELLI EDITORE

I FOSSILI E LA STORIA DELLA VITA

di George Gaylord Simpson
L. 35.500 (anziché L. 39.000)

LA SCOPERTA DELLE PARTICELLE SUBATOMICHE

di Steven Weinberg
L. 31.500 (anziché L. 35.000)

POTENZE DI DIECI

di Philip e Phyllis Morrison
L. 35.500 (anziché L. 39.000)

LA DIVERSITÀ UMANA

di Richard Lewontin
L. 31.500 (anziché L. 35.000)

LA SCIENZA DEL SUONO

di John R. Pierce
L. 31.500 (anziché L. 35.000)

IL SECONDO PRINCIPIO

di Peter W. Atkins
L. 31.500 (anziché L. 35.000)

L'EREDITÀ DI EINSTEIN

di Julian Schwinger
L. 33.500 (anziché L. 37.000)

IL SISTEMA SOLARE

di Roman Smoluchowski
L. 35.500 (anziché L. 39.000)

OCCHIO, CERVELLO E VISIONE

di David H. Hubel
L. 35.500 (anziché L. 39.000)

FARMACI, DROGHE E CERVELLO

di Solomon H. Snyder
L. 35.500 (anziché L. 39.000)

SABBIA

di Raymond Siever
L. 35.500 (anziché L. 39.000)

DIMENSIONI E VITA

di Thomas A. McMahon
e John Tyler Bonner
L. 34.500 (anziché L. 38.000)

Per approfittare
di questa occasione
utilizzare la cedola
"ordine per libri"
allegata alla rivista.

ne specifiche o selettive nei confronti delle molte erbe infestanti che creano danni in tutto il mondo possano essere trovate e impiegate o direttamente o servire da modelli strutturali per nuovi erbicidi compatibili con l'ambiente.

Lo studio delle fitotossine può anche aprire prospettive di altro genere. La ricerca sta cominciando a fornire informazioni su come i funghi provochino malattie nelle piante: interferendo con le normali attività di queste ultime, le fitotossine stanno facilitando la scoperta di nuovi aspetti della fisiologia vegetale. In futuro, qualcuna di esse potrebbe addirittura dimostrarsi preziosa come cura per le malattie dell'uomo.

Per molti anni le indagini sul controllo biologico delle erbe infestanti sono state relativamente limitate e disorganizzate. Oggi però i progressi nella ricerca sulle fitotossine e gli studi sul campo di altri agenti promettenti stanno attirando un maggior numero di ricercatori e fondi più cospicui verso questo settore. A mano a mano che il lavoro procede, la strategia del controllo «integrato» delle erbe infestanti, che riunisce misure di intervento biologico con pratiche agricole modificate e un uso ridotto degli erbicidi chimici, dovrebbe diventare sempre più comune. Questo modo di procedere comporta uno sforzo di programmazione superiore alla norma, ma ritengo che ne varrà la pena se questo impegno servirà a dare cibi più sani, acque più pure e un ambiente più pulito.

BIBLIOGRAFIA

CHARUDATTAN RAGHAVAN e WALKER H. LYNN (a cura), *Biological Control of Weeds with Plant Pathogens*, John Wiley and Sons, 1982.

KENFIELD DOUG, BUNKERS GREG, STROBEL GARY A. e SUGAWARA FUMIO, *Potential New Herbicides-Phytotoxins from Plant Pathogens* in «Weed Technology», 2, n. 4, ottobre 1988.

STIERLE ANDREA C., CARDELLINA JOHN H. II e STROBEL GARY A., *Maculosin, a Host-Specific Phytotoxin for Spotted Knapweed from Alternaria alternata* in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 85, pp. 8008-8011, novembre 1988.

CHARUDATTAN R., *Release of Fungi: Large-Scale Use of Fungi as Biological Weed Control Agents in Risk Assessment in Agricultural Biotechnology: Proceedings of the International Conference*, pubblicazione n. 1928, Division of Agriculture and Natural Resources, Università della California, 1990.

HOAGLAND ROBERT E. (a cura), *Microbes and Microbial Products as Herbicides*, American Chemical Society, Washington, 1990.

LE SCIENZE S.p.A.