

SEBASTIANO BARBAGALLO

Socio corrispondente

## IL CONTROLLO DEGLI INSETTI DANNOSI, UN PROCESSO EVOLUTIVO TRA CHIMICA E BIOTECNOLOGIE

L'uomo agricoltore è stato da sempre impegnato nel dover competere con numerosi limitatori naturali che insidiano in modo più o meno incisivo l'integrità delle sue coltivazioni e i prodotti che da esse ne derivano. Ci si riferisce ai numerosi organismi animali (insetti, acari, nematodi e altri) a regime dietetico fitofago, nonché ad altrettanto perniciosi agenti patogeni (miceti, batteri, virus) e alle erbe infestanti. Tutto ciò senza considerare altri fattori di dannosità abiotica di origine climatica e ambientale, o persino di alterata fisiologia delle stesse piante coltivate. Si percepisce facilmente così che il problema generale della difesa delle colture e delle loro derrate si presenta assai complesso e coinvolge diversi settori di competenza operativa, nonché di ricerca scientifica applicata. Facendo riferimento alle predette cause di dannosità di origine parassitaria, emerge che esse sono responsabili di perdite produttive di non trascurabile entità essendo state mediamente computate (su base annua e scala mondiale) in oltre il 40% della produttività potenziale delle colture in fase vegetativa. Queste perdite, a loro volta, sono da attribuire per circa il 15% agli organismi animali prima cennati, per il 13% a crittogame e virus e il restante 12% all'azione competitiva delle malerbe. Questo nonostante l'impiego di prodotti fitosanitari o comunque di mezzi di contrasto, senza i quali le stesse stime indicano che la produzione media reale si ridurrebbe soltanto al 30% (cumulando quindi una perdita complessiva del 70%) rispetto a quella potenziale delle medesime colture. Il calcolo in oggetto fa riferimento a nove grandi colture estensive (cinque cereali principali, soia, patata, cotone e

caffè) e si colloca a metà degli anni novanta del secolo decorso (Oerke *et al.*, 1996). Tuttavia la situazione attuale circa l'entità dei danni predetti rimane pressoché immutata, pur se va precisato che tali dati sono il risultato di una media tra diversi continenti e quindi considerano realtà tra loro differenti. Di fatto in Africa e Asia si va su valori intorno al 50% di perdite alla produzione, mentre in altri continenti come N. America ed Europa esse ruotano intorno al 30% complessivo o poco meno. Inoltre, come se tanto non bastasse, bisognerà ancora sottrarre ulteriori perdite (quelle cosiddette "da magazzino") sui raccolti vegetali stoccati e in attesa di poter essere utilizzati (derrate alimentari, ortofrutticoli in conservazione). Quest'ultimi danni sono rappresentati da un'ulteriore perdita valutata tra il 10% e il 30% che si aggiunge a quella in preraccolta prima riferita. Ciò premesso, le considerazioni che seguono vengono confinate, in relazione alla tematica assunta, al settore della difesa dagli organismi animali e a insetti e acari fitofagi più in particolare. I danni apportati da tali organismi possono consistere in una diretta sottrazione di materia organica (tessuti, linfa) dalle piante infestate, ovvero in alterazioni morfologiche, fisiologiche ed organolettiche, le quali possono compromettere lo sviluppo, la produttività e/o la commerciabilità delle stesse piante e dei loro prodotti (Baccetti *et al.*, 2000). Infine alcuni di tali organismi (soprattutto insetti, ma anche acari e nematodi) possono essere vettori di agenti patogeni (virus e altri microrganismi) responsabili di malattie persino molto gravi per le piante interessate. Analogamente, l'attacco alle derrate in magazzino da parte degli stessi agenti biologici (insetti ed acari, oltre ai roditori), in aggiunta al danno diretto e di inquinamento organico (dovuto alla stessa presenza di tali intrusi e dei loro prodotti metabolici), favorisce l'insediamento e lo sviluppo di miceti (muffe) e di altri possibili microrganismi. Questi sono causa di ulteriore decadimento del prodotto interessato, nonché responsabili della produzione di micotossine, dannose per la salute umana e per quella degli animali domestici.

***L'esigenza della lotta contro gli insetti dannosi per la difesa delle colture.*** In considerazione di quanto è stato appena riferito appare indispensabile da parte dell'agricoltore esperire ogni azione di contrasto utile a impedire l'insediamento degli agenti biologici responsabili della cennata dannosità alle colture e ai loro prodotti. A tal fine è ben noto che

l'operatore agricolo ha utilizzato inizialmente le stesse tecniche colturali per contrastare come meglio poteva lo sviluppo dei vari parassiti. Ciò avveniva attraverso rotazioni colturali, consociazioni, potature e scelte varietali; ovvero ricorrendo a semplici tecniche fisico-meccaniche, come l'uso del calore, la raccolta e bruciatura di parti infestate e altre simili pratiche. Soltanto dalla seconda metà dell'Ottocento si è potuto fruire di mezzi chimici i quali fino agli anni '40 del Novecento sono state assai limitate: oli minerali, polisolfuri, composti del fluoro e dell'arsenico e pochi altri. Quest'ultimi, anche se talvolta molto tossici (arseniti, arseniati) per gli animali a sangue caldo (uomo incluso), manifestavano ridotti effetti indesiderati sulle stesse colture e l'ambiente. La situazione cambia invece radicalmente a partire dall'immediato dopoguerra, con l'insediamento in campo agricolo del DDT (= Dicloro-DifenilTricloroetano). Le proprietà insetticide di questa molecola, benché nota sin dalla seconda metà dell'Ottocento erano state evidenziate difatti soltanto nel 1939 in Svizzera, da parte del chimico della Geigy Paul H. Müller. Egli per tale ragione è stato poi insignito nel 1948 del premio Nobel per la medicina e la fisiologia, avendo contribuito con la sua scoperta a fermare le epidemie di malaria e febbre gialla a seguito dell'efficacia della lotta chimica contro le zanzare vettrici.

***Gli insetticidi post-bellici.*** Al grande interesse applicativo suscitato dal successo ottenuto dal DDT ha fatto immediato riscontro la ricerca e la produzione di ulteriori composti analoghi da parte delle industrie chimiche. Così sono stati sintetizzati altri *cloroderivati* dello stesso gruppo chimico del DDT, cioè degli idrocarburi alogenati aromatici (come DDD, Perthane, Metossicloro), nonché principi attivi del gruppo dei ciclodienici (Gammesano o ECE, incluso il suo isomero gamma Lindano, Aldrin, Dieldrin, Endosulfan etc.). Sono tutti prodotti ad azione neurotossica sugli insetti, ma in genere di moderati effetti acuti sui vertebrati. La maggior parte di essi sono stati largamente utilizzati in agricoltura negli anni '50 e '60; i ciclodienici in particolare come geodisinfestanti, altri per irrorazione o impolverazione contro insetti dannosi all'apparato epigeo dei vegetali, ovvero contro quelli infestanti le derrate (Lindano soprattutto). Essi non hanno tardato però a rivelarsi quali prodotti perniciosi per rischi tossicologici di natura cronica (a motivo della loro lenta degradabilità), aggravata dalla capacità di

essere bioaccumulabili negli organismi animali attraverso le catene alimentari, comportando così imprevisti gravi rischi per la biodiversità. Sono stati pertanto gradualmente aboliti dall'uso agricolo, domestico e civile, con l'emanazione di appositi decreti ministeriali (febbraio '74 per i ciclodienici; ottobre '78 per DDT). Più a lungo utilizzati sono stati il Lindano impiegato, sia pure con limitazioni, fino agli anni novanta e l'Endosulfan fino a tempi più recenti. Altri idrocarburi alogenati (della serie alifatica) sono stati parimenti impiegati per uso agricolo, quali i fumiganti cloropicrina e bromuro di metile. Quest'ultimo è stato di larga utilizzazione agricola per la sua alta efficacia biocida contro i nematodi fitoparassiti, ma è stato da alcuni anni revocato a motivo dei suoi effetti ambientali indesiderati.

Alla categoria dei cloroderivati hanno fatto seguito i cosiddetti *fosfororganici*, che sono in termini chimici esteri dell'acido fosforico. Fra i primi di questi prodotti (inizialmente concepiti come aggressivi chimici durante il secondo conflitto mondiale) ad essere sintetizzati sono stati lo Schradan (OMPA) nel 1942 e il Parathion. Quest'ultimo, sintetizzato nel 1944 con la sigla E605, è stato poi immesso sul mercato quale insetticida a largo spettro d'azione a partire dal 1947, rimanendo in uso per vari decenni. In sequenza sono stati sintetizzati decine di ulteriori molecole afferenti alla stessa classe di prodotti, risultate tutte di largo impiego nel settore della Fitoiatria. Fra queste, oltre alle due molecole citate, si richiamano il Methilparathion, il Clorpyrifos, il Dimetoato, il Fenthion, il Malathion e vari altri. Si tratta di principi attivi tossici o molto tossici per gli animali superiori e di solito con persistenza ambientale medio-lunga, benché biodegradabili. Vari di essi manifestavano la caratteristica di essere citotropici e translaminari (cioè di riuscire a penetrare nei tessuti più superficiali dei vegetali) o persino sistemici; quest'ultimi erano capaci di circolare con la linfa delle piante trattate, una volta penetrati nei loro tessuti dopo un trattamento epigeo ovvero per assorbimento radicale. Tale caratteristica poteva rappresentare un vantaggio fitoiatrico, poiché consentiva di raggiungere insetti endofitici o comunque non esposti e che potevano sfuggire al contatto diretto con l'insetticida irrorato. La loro azione era ovviamente polivalente e quindi assai nociva per l'entomofauna utile. Pochissimi di tali prodotti sono ancora commercializzati, essendo stati in massima parte revocati dell'autorizzazione all'uso.

A seguire è comparsa fra gli insetticidi la classe chimica dei *carbammati* (esteri dell'acido carbammico), i quali si ponevano in prevalenza (benché non tutti) quali prodotti a minore tossicità, comparativamente ai più rischiosi fosfororganici. Uno dei primi è stato il Carbaryl (Sevin), prodotto a partire dal 1952 e poi largamente utilizzato in agricoltura. Esso è stato altresì impiegato per uso veterinario contro i parassiti cutanei del bestiame, stante la sua moderata tossicità. Altre sostanze attive fra le più note in questo gruppo sono state Arprocarb (Baygon), di largo impiego contro insetti delle case, Pirimicarb, Methomyl, Methiocarb, Ethiofencarb e varie altre molecole. Alcuni di tali prodotti sono sistemici e quindi possono circolare con la linfa della pianta. Qualche principio attivo, in aggiunta all'attività insetticida, esplica azione acaricida, molluschicida o persino nematocida.

Ai carbammati vengono imputati effetti secondari analoghi a quelli dei fosfororganici, forse con l'aggiunta di una maggiore persistenza ambientale e in alcuni casi di sospetta cancerogenicità dei residui. Fosfororganici e carbammati hanno un meccanismo d'azione di tipo colinergico, in quanto interferiscono con l'Acetil-colinesterasi, impedendo che questo enzima scinda l'acetilcolina, dopo la sua stimolazione alle sinapsi nervose e neuromuscolari. L'accumulo di questo mediatore biochimico degli stimoli nervosi determina tremori incoordinati, paralisi e conseguente morte degli organismi animali di qualsiasi gruppo (dagli insetti ai vertebrati) che dovessero assumere una delle sostanze biocide in causa.

***Prodotti di più recente produzione.*** La constatazione degli inconvenienti ambientali e tossicologici manifestati da gran parte degli insetticidi prima indicati ha inevitabilmente sospinto la ricerca scientifica e l'industria chimica a esplorare vie alternative. Ovviamente, l'attenzione maggiore è stata puntata sull'esigenza di poter disporre di sostanze attive che avessero specificità d'azione verso gli organismi bersaglio e, per quanto possibile, ridotti effetti collaterali. Un primo gruppo chimico di prodotti orientati verso tale obiettivo sono stati i *piretroidi*, prodotti di sintesi analoghi per struttura chimica alle piretrine naturali. Le loro prime molecole erano state in realtà sintetizzate sin dagli anni quaranta. Esse erano però fotolabili e quindi inadatte ad essere utilizzate in agricoltura, fin tanto che non si riuscì per tentativi successivi a renderle

stabili con la loro alogenazione. Oggi sono disponibili varie sostanze attive di questo gruppo di insetticidi, adoperate sia in campo agricolo che domestico e civile. Si tratta di prodotti che agiscono per contatto con forte potere abbattente esprimendo attività neurotossica, come modulatori del canale del sodio, ma non hanno purtroppo specificità d'azione, per cui risultano letali anche per l'entomofauna utile. Hanno il pregio di essere poco tossici per i vertebrati a sangue caldo (omeotermi), ma non per quelli eterotermi (pesci, anfibi, rettili), verso i quali invece esprimono una elevata tossicità. Un loro aspetto positivo è quello di essere a rapida degradabilità ambientale, manifestando un tempo medio di carenza di 3-7 giorni.

Analogamente, i *neonicotinoidi* si ispirano nella loro struttura alla nicotina, alcaloide del tabacco con nota capacità insetticida e già utilizzato (come solfato in miscela con saponi) sin dal periodo pre-bellico contro insetti a tegumento molle. Varie molecole di questo gruppo d'insetticidi sono oggi vantaggiosamente impiegate contro diversi insetti dannosi alle colture (spesso come aficidi). Essi manifestano ridotti tempi di sicurezza (3-14gg.), che comunque variano a seconda della specie vegetale trattata. Hanno inoltre il pregio (a motivo del loro meccanismo d'azione) di essere prodotti a media e bassa tossicità per i mammiferi e i vertebrati in generale. Sono di solito sistemici e talvolta selettivi nei confronti degli impollinatori delle piante. Esplicano azione di antagonisti dell'acetilcolina sui recettori nicotinici delle cellule nervose impedendo il regolare passaggio degli impulsi.

Un terzo interessante gruppo di insetticidi rappresentato da varie sostanze attive è quello dei regolatori di crescita degli insetti, universalmente indicati con la sigla IGR (Insect Growth Regulators) i quali esplicano azione di inibitori della formazione della cuticola (gruppo chimico delle benzoiluree). Queste sostanze agiscono interferendo nei processi di formazione della nuova cuticola nelle fasi di muta e metamorfosi con conseguente morte degli esemplari trattati. Essendo tali processi fisiologici una prerogativa degli insetti (o in effetti degli artropodi in generale) ne consegue che i prodotti menzionati manifestano una sostanziale azione selettiva, la quale non interferisce di conseguenza su organismi animali di altri gruppi (vertebrati inclusi). I prodotti in causa agiscono pertanto da larvicidi e ovidi sugli insetti, inibendo l'azione dell'enzima chitino-sintetasi, indispensabile mediatore del processo di

sintesi della chitina, componente essenziale del tegumento degli insetti, nonché delle parti di origine ectodermica di organi interni (come ad esempio l'intestino anteriore e quello posteriore). Il rovescio della medaglia è che purtroppo le stesse sostanze agiscono negativamente anche sugli stadi larvali di altri insetti non bersaglio e fra questi gli entomofagi (soprattutto predatori) presenti nello stesso agrosistema sottoposto a trattamento. Fra i principi attivi del gruppo in questione si richiamano le molecole denominate Diflubenzuron (Dimilin), primo prodotto sintetizzato di questa serie, Lufenuron, Teflubenzuron e diverse altre.

In affinità con il precedente gruppo di prodotti IGR sono alcune sostanze analoghe degli ormoni coinvolti nello sviluppo degli insetti, quali l'ecdisione (ormone della muta) e la neotenina (ormone giovanile degli insetti). Analoghi mimetici dell'ecdisione sono il Metossifenozone e il Tebufenozone convenzionalmente indicati come MAC (Moulting Accelerating Compounds) in quali inducono mute premature con conseguente collasso dei normali processi di accrescimento in larve di varie cidae e altri dannosi microlepidotteri dei fruttiferi e della vite, contro i quali l'uso dei citati composti viene suggerito. Sul fronte dell'ormone giovanile sono state individuate e sintetizzate anche qui un paio di molecole ad azione neotenino-simile (quali Pyriproxyfen e Ciromazina). I due principi attivi funzionano da inibitori dello sviluppo e della metamorfosi impedendo la trasformazione in adulto degli insetti sensibili contro i quali vengono applicati (cocciniglie e aleirodi la prima e ditteri fillominatori la seconda sostanza attiva).

Appare ovvio che le predette molecole mimetiche dell'ecdisione e della neotenina sono specifiche nei confronti di insetti e non interferiscono su altri organismi animali di gruppi differenti. Ulteriori molecole insetticide di recente costituzione hanno meccanismi d'azione specifica di natura diversa. Alcune di esse interferiscono sulla permeabilità della membrana nervosa agli ioni sodio (come Metaflumizone, Etofenprox, Indoxacarb). Qualche altro insetticida attiva i recettori rianodinici delle fibre muscolari interferendo con il rilascio degli ioni calcio (Clorantpriliprole), ovvero inibisce la sintesi lipidica per interferenza sull'enzima specifico che la presiede (Spirodiclofen). L'insetticida Pimetrozina è un fagoinibitore, su aleirodi e afidi, in quanto altera gli stimoli nervosi che permettono il funzionamento della loro pompetta salivare.

Alcune delle più attuali sostanze insetticide di origine naturale han-

no altrettanti sofisticati meccanismi d'azione. Così, l'Azadiractina (alcaloide estratto dai semi di due specie di Meliacee) blocca negli insetti la sintesi dell'ecdisone (prima menzionato) oltre ad avere sugli stessi organismi vari altri effetti fisiologici negativi. Due altri prodotti naturali, Emamectina e Spinosina, sono derivati da microrganismi del terreno (gen. *Streptomyces* e *Saccharopolyspora*, rispettivamente); la loro attività insetticida si connette all'azione neurotossica sui recettori GABA (Gamma Amino Butyric Acid) e nicotinici (la Spinosina) delle cellule nervose.

Tutti i prodotti insetticidi richiamati in questo paragrafo costituiscono l'attuale farmacopea agricola in uso nel nostro Paese per tale gruppo di sostanze. Un fugace raffronto con i prodotti utilizzati allo stesso fine negli anni '80 - allorché erano ammesse all'uso circa 140 differenti molecole zoocide - evidenzia che essi sono stati più o meno dimezzati per numero di sostanze attive disponibili all'uso contro gli stessi organismi animali dannosi. Soprattutto più importante è il fatto che tali prodotti sono cambiati nella loro composizione qualitativa. Difatti, sono scomparsi del tutto i cloroderivati e sono stati fortemente ridotti (eccetto pochissime molecole rimaste tutt'ora in uso) i fosfororganici e i carbammati, a vantaggio di piretroidi, di alcuni neonicotinoidi e soprattutto di altre sostanze ad azione più specifica (benché non del tutto scevre ovviamente di effetti indesiderati), come i regolatori di crescita, nonché sostanze ad azione neurotossica più mirata, incluse alcune di origine naturale. Le indicazioni selettive per la revoca di tanti vecchi prodotti o per l'ammissione di altri nuovi hanno certamente privilegiato la minore tossicità acuta e cronica verso i vertebrati, i minori tempi di persistenza, la possibile assenza di metaboliti tossici nel corso della biodegradazione dei prodotti stessi e altri parametri che nel complesso stanno ad indicare un minore impatto ambientale. Analogo screening ministeriale di ordine riduttivo ha riguardato, assieme agli insetticidi, anche acaricidi e nematocidi.

***Utilizzazione e consumo di prodotti fitosanitari.*** L'incrementata disponibilità di prodotti fitosanitari di sintesi, utilizzati contro i vari parassiti delle piante coltivate, ha portato nella seconda metà del secolo passato a un inevitabile incremento dei loro consumi in tutto il mondo. Ciò è scaturito dalle esigenze di un'agricoltura intensiva al fine

di incrementare le rese produttive ma ancor più gli standard qualitativi, soprattutto su prodotti ortofrutticoli, per soddisfare la domanda dei consumatori. Csicché tra gli anni '50 e '80 è stato indicato un consumo di fitofarmaci decuplicato su scala mondiale. In Italia per i soli insetticidi-acaricidi, si è passati da poco meno di 5.000 t del 1940 a quasi 52.000 t nel quarantennio fino al 1980 (Delrio, 1988). Un'ampia rassegna sull'impiego degli insetticidi e altri prodotti fitosanitari in Italia sino alla fine degli anni '80 è stata riportata da Nucifora (1991).

Tuttavia a partire dalla fine degli anni ottanta si comincia ad osservare una graduale discesa, per cui a metà degli anni '90 i consumi per la stessa categoria di prodotti si attestavano sulle 33.000 t (Tremblay, 2003), per diminuire ancora in anni più recenti. Difatti, il raffronto tra i dati ISTAT dell'ultimo decennio circa evidenziano che i consumi su scala nazionale di tutti i prodotti fitosanitari sono stati (valori arrotondati) di 116.800 t nel 2017 contro 153.400 t del 2007 (-24%); questi, per gli stessi due anni sono da ripartire nelle seguenti categorie: insetticidi e acaricidi 22.400 t c/ 27.300 t (-18%); fungicidi, 54.500 t c/ 77.900 t (-30%); erbicidi, 21.000 t c/ 23.500 (-24%); prodotti vari (inclusi nematocidi e altre molecole) 18.800 t c/ 20.300 t (-8%). Il *trend* discendente interessa quindi tutte le categorie di prodotti fitosanitari e indubbiamente si tratta di un riscontro incoraggiante, anche perché l'Italia è stata nei decenni passati fra le nazioni con maggior consumo per unità di superficie coltivata a raffronto delle altre nazioni europee, dove la recente tendenza è di sostanziale stabilità nei consumi di tali prodotti (Albajes & Madeira, 2017). Nel predetto decennio il consumo in Italia è passato da circa 12 kg/ha nel 2007 a 9 kg/ha del 2017. In questo contesto la Sicilia è una delle regioni a maggior consumo in Italia, con i suoi quasi 8 kg/ha del 2017 (ma si attestava al primo posto regionale nel 2007 con circa 15 kg/ha).

La diminuzione dei consumi in Italia è in realtà attenuata in parte dalle più ridotte dosi d'impiego dei vari formulati attivi fra quelli di più recente costituzione. Ma è pur vero che negli ultimi lustri si è gradualmente cominciato ad assumere maggiore cautela nell'utilizzo dei prodotti fitosanitari, rivolgendo maggiore attenzione a metodi alternativi eco-compatibili, quali i mezzi biotecnici (v. oltre), oltreché prodotti fitosanitari fra quelli consentiti in agricoltura biologica.

Si osserva inoltre una manifesta tendenza da parte dell'operatore

agricolo a preferire fitofarmaci per quanto possibile con più ridotti rischi tossicologici. Emerge infatti che quelli classificati dalla normativa vigente come “molto tossici o tossici” sono il 5% e quelli classificati come “nocivi” il 15% del totale utilizzato (Garonna in Pennacchio, 2014); ciò equivale a dire che la rimanente e ben più ampia frazione (80%) afferisce a prodotti “non classificati” che sono notoriamente quelli a più bassa tossicità acuta e ambientale.

***Effetti indesiderati dei prodotti fitosanitari.*** L'impiego dei fitofarmaci in agricoltura è inevitabilmente foriero di ripercussioni negative; la loro incidenza varia in primo luogo con la natura della sostanza adoperata o persino con le circostanze ambientali e le modalità della loro utilizzazione. Gli inconvenienti qui sinteticamente richiamati non erano peraltro inaspettati, tant'è vero che essi sono stati previsti ancor prima che si rendessero ben manifesti da parte di illuminati biologi ed ecologi che hanno paventato i rischi tossicologici cui si andava incontro con la somministrazione in campo di tali prodotti (Grandi, 1952; Carson 1962). I più rilevanti inconvenienti si possono sintetizzare nei seguenti tre punti: (1) aspetti tossicologici sugli operatori e i consumatori; (2) inconvenienti ambientali esterni ai campi coltivati; (3) problematiche bio-dinamiche in seno agli agrosistemi sottoposti ai trattamenti fitosanitari.

Il primo punto si connette direttamente al rischio che l'uso dei fitofarmaci comporta per la salute umana. Il problema riguarda non soltanto la tossicità acuta che possono esprimere le varie molecole attive adoperate, ma forse e ancor più gli aspetti subdoli e talora assai più ampi di tossicità cronica. Indubbiamente i primi ad essere esposti a rischi di avvelenamenti acuti sono gli operatori di settore, quali gli addetti delle industrie produttrici di fitofarmaci, nonché gli interessati alla loro distribuzione e vendita, magari per motivi accidentali che possano riguardare chiunque venisse a contatto con tali prodotti. In secondo luogo gli stessi rischi si ribaltano sull'operatore agricolo che attua la somministrazione dei prodotti sulle colture, le derrate o il terreno da disinfestare. Non meno negletto a questo punto appare il rischio per lo stesso consumatore per accidentale o negligente mancato rispetto dei prescritti tempi di sicurezza, cioè dell'intervallo in giorni che devono trascorrere tra l'applicazione fitoiatrica e l'utilizzo del prodotto trattato. Per quanto

si riferisce a quest'ultimo aspetto, la normativa ha previsto ovviamente le quantità massime di residui consentiti per ciascuna sostanza nei prodotti alimentari e al cui rispetto si è obbligati ad essere particolarmente attenti. Non meno importanti sono però i rischi di tossicità cronica, anche perché questi possono più facilmente sfuggire nella loro essenza e rivelarsi persino dopo anni di utilizzazione di un determinato prodotto. A rendere più complessa la questione si richiama il fatto che la tossicità residuale può spesso connettersi a metaboliti di degradazione delle sostanze attive utilizzate, con effetti mutagenici o cancerogenici. Il caso dei residui dei cloroderivati, nonché di altri prodotti a lunga permanenza ambientale, hanno evidenziato che la precauzione non è mai eccessiva (Delrio, 1988).

Circa la contaminazione ambientale, cioè degli spazi esterni ai campi coltivati, essa può interessare sia habitat urbani che ecosistemi naturali persino alquanto distanti dai campi agricoli. Ciò si può connettere a motivi di deriva per inquinamento dell'aria (per eventi climatici, come il vento) ovvero delle acque e del suolo perché direttamente o indirettamente raggiunti dall'antiparassitario utilizzato o dai suoi residui. La casistica può essere la più varia, come evidenziato peraltro da non infrequenti fatti di cronaca. Un pernicioso inconveniente in questo contesto è stato il fenomeno del *bioaccumulo* dei residui di cloroderivati, come DDT, Dieldrin e altri. Tali prodotti, benché avessero una tossicità acuta piuttosto moderata nei confronti dei vertebrati sono risultati scarsamente biodegradabili negli habitat da essi inquinati, manifestando anzi dannosi incrementi dei loro residui attraverso le catene alimentari. In pratica tracce infinitesimali di DDT, in un sistema acquico lagunare, marino o terrestre, potevano subire incrementi di oltre centomila volte superiori attraverso i vari passaggi alimentari tra gli organismi viventi nello stesso habitat (esempio: plancton → pesci planctofagi → pesci carnivori → uccelli ittiofagi). Ciò in quanto il prodotto assunto, essendo liposolubile e minimamente degradabile, si accumulava nei corpi grassi e nel fegato, fino a raggiungere dosi subletali o letali su utilizzatori apicali (es. uccelli predatori) con conseguenze deleterie per gli stessi organismi negli ecosistemi interessati (Celli, 1980).

Infine, il terzo aspetto prima richiamato si connette alle ripercussioni negative negli stessi agro-sistemi, cioè nei campi coltivati dove i prodotti fitosanitari vengono adoperati. Di apicale interesse appare

qui la *resistenza* che emerge negli stessi fitofagi bersaglio sottoposti a una continua pressione selettiva con l'applicazione dei trattamenti fitoiatrici stessi. Il meccanismo selettivo è un semplice fenomeno naturale che porta a soccombere gli esemplari più sensibili al fitofarmaco usato, mentre sopravvivono quelli geneticamente "meglio attrezzati" per resistere. È inevitabile che la progenie di questi e delle loro successive generazioni incrementa facilmente il fenomeno, che è spesso di natura fisiologica e connesso alla capacità di detossificare la molecola dannosa che viene da loro assunta (Tremblay, 2003). Il problema è molto impegnativo in termini applicativi, poiché comporta una serie di accorgimenti (incremento delle dosi d'impiego, cambio di principio attivo etc.) che non sempre portano l'agricoltore al risultato sperato. Gli insetti dannosi divenuti resistenti sono stati indicati oggi in oltre 500 specie nelle varie parti del mondo. Altro aspetto molto importante nell'esercizio colturale è l'effetto negativo degli insetticidi nei confronti degli ausiliari e degli impollinatori (api, bombi). Gli insetti ausiliari o entomofagi soccombono insieme a quelli dannosi a seguito di trattamenti con insetticidi a largo spettro d'azione. La conseguenza provata è che i fitofagi dannosi (per caratteristiche biologiche proprie) sono più pronti a riprendersi dopo un trattamento chimico riproponendo la loro infestazione, la quale sospinge l'agricoltore a intervenire ulteriormente. Lo stesso meccanismo può essere causa, come dimostrato da vari avvenimenti, dell'insorgenza di altre specie fitofaghe prima di trascurabile interesse applicativo, ma che a seguito della soppressione (o depauperamento) dei loro antagonisti assurgono alla soglia di dannosità. Infine, si richiama il fenomeno dell'insorgenza di infestazioni da acari fitofagi (es. ragnetti rossi e gialli), per un meccanismo biologico indicato come *trofobiosi*, i quali, a seguito di alcuni trattamenti insetticidi, manifestano persino un aumento della loro fecondità, acuendo così le loro pullulazioni.

***Lo sviluppo di strategie alternative.*** Come è ben noto l'entusiasmo iniziale con cui erano state accolte le prime molecole di sintesi (sia insetticide che fungicide) aveva persino suggerito l'opportunità di effettuare, almeno sulle principali colture, dei "trattamenti a calendario", cioè a date fisse in coincidenza delle diverse fasi fenologiche della pianta da proteggere. Ma l'emergenza degli effetti collaterali, di cui si

è prima riferito, ha fatto abbandonare dopo pochi anni tale insostenibile procedura. Si instaura così il concetto di lotta guidata (“Supervised control” con termine anglosassone), di fatto con il significato di razionalizzare la lotta chimica contro gli organismi animali dannosi. Essa viene imperniata sull’osservanza di alcuni parametri valutativi, quali: (a) la preliminare suddivisione, per ogni coltura, tra fitofagi principali e secondari, al fine di (b) stabilire delle soglie di intervento ( in particolare per i primi) in modo da limitare i trattamenti chimici soltanto al superamento di tali valori; (c) di effettuare idonei e periodici campionamenti di campo allo scopo di monitorare la densità dell’infestazione ( o di danno) in riferimento ai valori di soglia suggeriti; (d) procedere, infine, a un’oculata scelta del principio attivo da impiegare in caso di intervento, onde preferire quello/i che ove possibile, oltre alla giusta efficacia, potessero manifestare minori effetti indesiderati. Ovviamente, la conoscenza di ulteriori parametri collaterali (di natura biologica sul parassita, nonché di ordine climatico), può contribuire a migliorare i risultati fitoiatrici. Gli stessi mezzi impiegati per la distribuzione dei fitofarmaci hanno notevole importanza in termini di risparmio sul prodotto somministrato e sui conseguenti inquinamenti (Nucifora, 1991). Il sistema operativo delineato, oltre ad essere convalidato per la sua efficacia applicativa, consente una riduzione degli interventi fino al 30-50% in realtà operative di primario livello colturale (Briolini, 1989).

La lotta guidata non rappresenta tuttavia il traguardo finale nel contesto della difesa fitosanitaria delle colture, ma va considerata quale parte iniziale e complementare del *controllo integrato* (o lotta integrata). Questa consiste, appunto, in “un’integrazione di tutte le possibili tecniche, nel rispetto dei principi ecologici, tossicologici ed economici” (Tremblay, 2003). Il concetto di controllo integrato, universalmente indicato con la sigla IPM (Integrated Pest Control), viene avanzato per la prima volta da Stern *et al.* (1959), ricercatori dell’Università della California, che attraverso una serie di valide considerazioni propugnavano allora di integrare la lotta chimica con quella biologica per un più efficace e razionale controllo degli insetti dannosi. L’applicazione della lotta integrata è oggi sostenuta su scala mondiale ed è proposta quale sistema prioritario di difesa delle piante nell’ambito dell’UE. Essa rappresenta una metodologia già pienamente validata nel contesto di un sistema colturale eco-compatibile (Albajes & Madeira, 2017).

L'UE (allora Comunità Europea), nell'ottica di programmare il controllo integrato delle colture, ha promosso e attentamente stimolato, a partire dalla fine degli anni '70, numerosi incontri fra esperti di settore dei vari Paesi partner e ha sostenuto progetti comunitari di ricerca sui problemi fitoiatrici delle principali colture: cereali, orticole, vite, fruttiferi, agrumi, olivo e altre (Cavalloro, 1988). Allo stesso modo hanno operato organismi internazionali, non rare volte in sintonia con la stessa UE, quali l'EPPO (= European and Mediterranean Plant Protection Organization) e l'IOBC (= International Organization Biological Control). Quest'ultimo ha organizzato la costituzione di gruppi di lavoro su base europea (vari dei quali tutt'ora operativi) allo scopo di favorire gli scambi scientifici internazionali tra esperti di settore, con l'intento di promuovere interventi di difesa fitoiatrice su basi biologiche ed eco-sostenibili.

Nel seguito l'UE ha emanato una serie di norme che interessano il settore della difesa delle piante, fra le quali si evidenziano il Reg. (CE) n.834/2007 con successive modifiche, relativo alle produzioni biologiche, nonché la Dir.2009/128/CE nell'applicazione del controllo integrato e l'utilizzo sostenibile dei pesticidi per "la tutela della salute umana e dell'ambiente". Dal recepimento nazionale di questa direttiva discendono il DL 14.8.12 n.150 e il Piano di Azione Nazionale (PAN) di cui al DL 22.1.14 per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari. I Servizi Fitosanitari Regionali per parte loro, hanno elaborato i Disciplinari di produzione integrata delle principali colture territoriali, allo scopo di fornire le opportune informazioni procedurali per l'applicazione della lotta integrata agli operatori interessati.

Il controllo integrato delle colture vuole essere pertanto un sistema di difesa fitosanitaria a basso apporto di fitofarmaci, privilegiando prioritariamente gli altri mezzi di lotta non inquinanti sui quali si fa di seguito soltanto un brevissimo richiamo.

I *mezzi colturali* di difesa contro organismi animali dannosi fanno riferimento alle diverse pratiche agronomiche che, caso per caso, si possono opportunamente orientare per contrastare il loro sviluppo (Altieri *et al.*, 2003). Sicuramente fra tali mezzi di lotta fa risalto la *resistenza* naturale delle stesse piante coltivate, ove sfruttabile ai fini pratici; il caso della vite europea innestata su vitigni americani resistenti alla fillossera è forse il più eclatante esempio di pieno successo.

In tema di resistenza delle piante è forse opportuno ricordare che in vari Paesi del mondo trovano ormai largo impiego le cosiddette piante-*Bt* resistenti. Si tratta di biotipi di alcune importanti specie erbacee (mais, soia, cotone), che vengono rese resistenti attraverso il trasferimento di un gene *Cry*, prelevato da *Bacillus thuringensis*, il quale presiede alla sintesi di una proteina tossica per le larve dei Lepidotteri dannosi alle stesse piante. Tali piante, essendo degli OGM (Organismi Geneticamente Modificati) non sono però ammesse a coltura in Italia e in vari altri Stati dell'UE.

Anche alcuni *mezzi fisico-meccanici* sono validamente sfruttabili contro insetti dannosi, soprattutto in ambienti confinati come le serre, o nei magazzini e silos di stoccaggio delle derrate. Tuttavia, anche in pieno campo si può avere qualche utile applicabilità, come con la raccolta e distruzione di parti infestate delle piante; ovvero attraverso l'uso di trappole luminose di cattura o di tavolette cromotropiche che funzionano, rispettivamente, attraverso gli stimoli alla luce e/o ai colori cui sono sensibili vari insetti (esse possono funzionare sia come sistema di monitoraggio, che per catture massali, in quest'ultimo caso nelle serre).

Indubbiamente di prestigioso interesse ecologico ed applicativo sono i metodi di *controllo biologico*, sia di tipo classico che biotecnico. Il primo caso (*lotta biologica classica*) contempla l'utilizzazione degli entomofagi per contrastare lo sviluppo di fitofagi nocivi alle piante coltivate e sul cui impiego l'Italia vanta una lunga tradizione, con vari casi di pieno successo (Martelli, 1991). Gli entomofagi sono rappresentati da insetti (oltre ad acari predatori) che vivono a spese di altri insetti, comportandosi da predatori ovvero da parassitoidi, a seconda del loro comportamento biologico. Essi effettuano un controllo naturale e spontaneo su specie di insetti suscettibili ai loro attacchi. L'operatore agricolo può sfruttare a suo vantaggio l'azione ausiliaria degli insetti entomofagi e persino potenziarla a proprio favore contro vari fitofagi dannosi nel contesto della difesa integrata su differenti colture (Viggiani, 1997). Per l'approvvigionamento di alcune specie di entomofagi oggi ci si può rivolgere alle *biofabbriche* che si occupano del loro allevamento e successiva distribuzione in idonee confezioni commerciali, con le quali si possono effettuare lanci "inoculativi" o "aumentativi".

Rientra nei mezzi biologici la *lotta microbiologica* effettuata con l'impiego di organismi patogeni (funghi, batteri, virus) contro insetti fi-

tofagi. Ben nota è l'azione di *B. thuringensis*, inizialmente usato contro larve di lepidotteri, ma ora utilizzabile (con differenti sottospecie) contro Coleotteri (Dorifora) e Ditteri ematofagi (larve di zanzare, Simulidi e Chironomidi). Alcune specie di Nematodi manifestano parimenti attività entomopatogena e sono disponibili in commercio per la lotta contro alcuni insetti dannosi.

Agli stessi metodi biologici si associano i cosiddetti *mezzi biotecnici*, anche questi selettivi, poiché basati sull'uso di semiochimici prodotti dagli stessi insetti al fine di trasmettere segnali di natura olfattiva tra gli esemplari di una determinata specie. Quelli meglio conosciuti sono i *feromoni sessuali*, molti dei quali (soprattutto nei Lepidotteri) si riesce a produrre per sintesi chimica ormai da alcuni decenni. Queste sostanze sono prodotte, nei Lepidotteri, dalla femmina non fecondata allo scopo di attirare a sé i maschi. Questo principio di funzionamento viene sfruttato in termini applicativi collocando la fonte feromonica in un congegno a trappola, entro la quale vanno a finire i maschi (di quella determinata specie fitofaga che si vuole controllare) presenti nell'habitat nel quale si opera (ad es. un frutteto o un vigneto). Questo procedimento può servire a scopo di monitoraggio (cioè valutare la presenza e la densità di popolazione della specie in causa) ovvero per effettuare delle catture massali, nel tentativo di sottrarre tutti i maschi da quell'ambiente e lasciare le rispettive femmine non fecondate ad evitare così i danni che si sarebbero avuti da parte delle loro larve. Gli stessi feromoni possono usarsi altresì col "metodo della confusione", cioè saturando l'aria con il feromone (contenuto in appositi dispenser appesi agli alberi in un quantitativo prescritto per ha), cosicché i maschi non sono più capaci di intercettare le femmine ivi presenti. Questo sistema può essere oggi validamente impiegato, per alcuni casi, in alternativa alla lotta chimica con comprensibili vantaggi ambientali.

Per chiudere sull'argomento in esame si evidenzia, infine, che l'applicazione della lotta integrata secondo lo stesso dettato normativo, prevede che soltanto dopo avere esperito i vari procedimenti eco-sostenibili di cui si è data qui una semplice traccia, è ammesso il ricorso alla lotta chimica con "prodotti fitosanitari che presentino il minor rischio per la salute umana e l'ambiente tra quelli disponibili per lo stesso scopo".

**Possibili percorsi futuri per il controllo dei fitofagi dannosi.** Da quanto è stato appena delineato si evince che l'applicazione delle metodologie di lotta integrata si possono considerare una realtà procedurale già acquisita. È facile prevedere che essa sarà tuttavia ulteriormente incrementata venendo ad assumere carattere di ineludibile percorso tecnico da seguire in tutte le circostanze operative, come peraltro già previsto dalla normativa europea e nazionale di recepimento prima richiamata. In quest'ottica diventeranno indubbiamente più pregnanti le azioni di studio e di ricerca scientifica che condurranno all'applicazione di mezzi e metodi sempre più consoni in termini di eco-sostenibilità, seguendo i possibili percorsi che da qualche tempo sembrano delinearsi (Tremblay, 2003; AA.VV. in Pennacchio, 2014). Questi possono riguardare in primo luogo l'utilizzo di ulteriori nuovi prodotti fitosanitari caratterizzati da maggiore selettività d'azione e più basso impatto ambientale. Ci si può attendere inoltre la realizzazione di nuove biotecnologie entomologiche, operanti attraverso l'induzione di resistenza nelle piante all'attacco dei fitofagi, ovvero mediante meccanismi di interazione tra insetti e altri organismi che sono oggi in fase avanzata di ricerca e/o sperimentazione applicativa.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ALBAJES R., MADEIRA F., *Current status of integrated pest management (IPM) in Europe*. Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, LXV: 45-51, 2017.

ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I., PONTI L. – *Biodiversità e controllo dei fitofagi negli agroecosistemi*, Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, Tipografia Coppini, Firenze, 223 pp, 2003.

BACCETTI B., BARBAGALLO S., SÜSS L., TREMBLAY E. – *Zoologia Agraria*, Delfino Editore, Roma, IX + 573 pp., 2000.

BRIOLINI G. – *La lotta guidata e integrata contro i parassiti animali*. L'Italia agricola, 125: 301-310, 1989.

CARSON R. – *Silent spring*. H. Hamilton Ltd., London, 304 pp., 1962. Edizione italiana: *Primavera silenziosa*, 7a ed., Feltrinelli editore, Milano, 332 pp., 2016.

CAVALLORO R. – *La difesa fitosanitaria nei programmi di ricerca della Comunità Europea*. Tecnica Agricola, 4: 301-323, 1988.

CELLI G. – *I limiti e i pericoli dell'impiego degli insetticidi in agricoltura*, 3-48. In: "Prospettive di controllo biologico degli insetti in agricoltura", C.N.R., Monografia. AQ/1/51-56, La Garangola editore, Padova, VIII+164 pp., 1980.

DELRIO G. – *Effetti sull'ambiente degli insetticidi a largo spettro d'azione*, Atti S.I.T.E., 8: 15-24, 1988.

GRANDI G. – *Discorso presidenziale per l'inaugurazione dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*, Atti Accademia Nazionale Italiana Entomologia, Rendiconti, I: 23-34, 1952.

MARTELLI M. – *L'inquinamento e la difesa antiparassitaria delle colture*, 715-727. In: *Agricoltura e Ambiente*, Accademia Nazionale Agricoltura, Edagricole, Bologna, XIII + 800 pp., 1991.

NUCIFORA A. – *Insetticidi e ambiente in agricoltura*, 385-442. In: *Agricoltura e Ambiente*, Accademia Nazionale Agricoltura, Edagricole, Bologna, XIII + 800 pp., 1991.

OERKE E.C., DEHNE H.W., SCHÖNBECK F., WEBER A. – *Perdite della produzione agricola causate da agenti biotici*, *Informatore Fitopatologico*, 11: 2-10, 1996.

PENNACCHIO F. – *Gli insetti e il loro controllo*, Liguori editore, Napoli, XII+737 pp., 2014.

STERN V.M., SMITH R.F., VAN DEN BOSCH R., HAGEN K.S. – *The integrated control concept*, *Hilgardia*, 29: 81-101, 1958.

TREMBLAY E. – *Entomologia Applicata – Vol. I*, Liguori editore, Napoli, 282 pp., 2003.

VIGGIANI G. – *Lotta biologica e integrata nella difesa fitosanitaria – Vol. 2°*, Liguori editore, Napoli, XI+445 pp., 1997.