

PIERO CRAVEDI<sup>1</sup>, STEFANIA TEGLI<sup>2</sup>

## La sostenibilità in agricoltura: strategie e mezzi per la difesa antiparassitaria delle colture\*

<sup>1,2</sup> Comitato consultivo sui problemi della difesa delle piante

### I. SOSTENIBILITÀ: INNOVAZIONE NELLA TRADIZIONE

Il concetto di sostenibilità prevede che le scelte operate nel presente siano in grado di dare risposte ai bisogni attuali, ma senza compromettere o erodere analoghe opportunità e possibilità di scelta per le generazioni future. A tale scopo, l'approccio sostenibile parte innanzitutto dalla comprensione delle interazioni che esistono tra più sistemi complessi, che nel caso dell'agricoltura sono ambiente, economia e società, per procedere successivamente allo sviluppo e adozione di pratiche e condotte che contemporaneamente tutelino e rispettino ciascuno di essi. Quando applicato all'agricoltura, il concetto di sostenibilità impone che siano raggiunti una serie di obiettivi, che includono la garanzia quali-quantitativa della produzione nonché della redditività delle colture e della qualità della vita degli agricoltori e, più in generale, delle aree rurali. Ciò è reso possibile dall'adozione di pratiche colturali sia innovative che tradizionali, che siano a protezione dell'ambiente e delle risorse naturali, selezionate tra quelle che meglio si adattano alle condizioni in cui si deve operare. Considerando che il 30% delle terre emerse è dedicato ad attività agricole e che circa il 70% dell'acqua dolce è utilizzato per l'irrigazione per produzione di alimenti e mangini, il concetto di sostenibilità dovrebbe essere insito in quello stesso di agricoltura. In altri termini, sulla base di tali dati appare ovvio che l'agricoltura dovrebbe essere la principale attività umana responsabile non solo della gestione, ma anche della protezione delle risorse naturali, dalla scala

\* Con il contributo degli altri componenti del Comitato consultivo sui problemi della difesa delle piante (Alberto Alma, Maurizio Conti, Gaetano Magnano di San Lio, Giovanni P. Martelli, Giovanni Vannacci) e in collaborazione con Pio Federico Roversi e Riccardo Russo

locale a quella globale. Non vi è dubbio che l'agricoltura è stata determinante per lo sviluppo della civiltà umana stanziale, tramite la coltivazione di piante che fornissero maggiori garanzie nella costanza dell'approvvigionamento in termini di cibo e fibre, rispetto a quanto non accadesse alle popolazioni nomadi, nonché di alimenti destinati agli animali per i quali era in atto un analogo processo di domesticazione e quindi di allevamento. Nella cosiddetta "rivoluzione Neolitica" lo sviluppo dell'agricoltura si è basato essenzialmente su una serie di quelle che oggi definiremmo come innovazioni tecnologiche, a partire dallo sviluppo e adozione di strumenti rudimentali funzionali alla semplificazione del processo e alla massimizzazione delle rese, fino alla domesticazione di piante e animali. Già dagli albori, dunque, l'agricoltura ha avuto un notevole impatto sull'ambiente, di tipo selettivo e a determinare successivi e fondamentali salti evolutivi nell'ambito delle specie vegetali e animali oggetto di domesticazione. Da sempre le specie coltivate possono essere considerate il risultato di un processo evolutivo, o per meglio dire co-evolutivo, guidato dal controllo umano al fine di migliorare la produzione, a partire dalle specie selvatiche locali e accompagnato dall'introduzione di specie o varietà provenienti da altri ambienti, con eventi deliberati così come pure accidentali. In tale quadro, l'evento di portata fondamentale è stato poi l'introduzione di nuove specie vegetali e animali in Europa successivamente alla scoperta del "Nuovo Mondo", che ha contribuito ulteriormente e in modo sostanziale all'evoluzione delle specie vegetali, nonché a quella dei loro parassiti e patogeni e di eventuali loro vettori.

Esistono reperti fossili che dimostrano che le piante erano colpite da malattie causate da patogeni e parassiti già circa 250 milioni di anni fa (Dark e Gent, 2001). Nell'antica Roma, l'istituzione delle Feste di Rubigaglia avrebbero avuto la funzione di scongiurare gli attacchi della "Ruggine del frumento" (*Puccinia graminis*), attraverso sacrifici dedicati al dio Rubigus e alla dea Rubigo. La scoperta della natura biotica delle malattie infettive, incluse quelle delle piante, insieme con la graduale acquisizione delle relazioni causa/effetto hanno via via consentito che la Scienza e l'esperienza prevalessero sulle superstizioni nel gestire la difesa delle piante dalle malattie.

Si tratta di una materia alquanto articolata e complessa, poiché la difesa è già di per sé argomento caleidoscopico, considerando che si occupa di piante destinate alla produzione agroalimentare, ornamentale e vivaistica, di quelle tipiche di ambienti naturali e di interesse paesaggistico come le foreste, del verde urbano e, ancora, dei vegetali in post-raccolta, anche al fine di prevenire la presenza di micotossine molto pericolose nelle derrate alimentari. Tutto ciò premesso, oggi come in passato la difesa delle piante da patogeni e parassiti,

sia in ambito agricolo che forestale o paesaggistico, può definirsi “sostenibile” quando l’obiettivo di garantire la salute delle piante e la salubrità dei loro prodotti è conseguito mediante strategie con impatto nullo o contenuto, per quanto possibile, sull’ambiente e sull’economia senza che ciò comprometta l’efficacia dell’intervento e il benessere sociale.

### *1a) La fase iniziale di riduzione della pressione chimica*

La ricerca di soluzioni alternative alla difesa delle piante da parassiti e fitopatogeni è scaturita fondamentalmente dalla constatazione delle conseguenze negative derivanti da un approccio quasi esclusivamente basato sull’efficacia di mezzi chimici di lotta. L’utilizzo di prodotti fitosanitari, quali ad esempio lo zolfo, era noto già ai Greci nel 1.000 a.C., sebbene il loro utilizzo su larga scala possa essere datato intorno al 1850 per la lotta contro l’oidio della vite (Rausch, 2007). E sono stati proprio prodotti fitosanitari a base minerale, ovvero sali di zolfo e di rame, che per quasi un centinaio di anni hanno garantito la difesa delle piante dalle malattie. Da considerare che proprio nel periodo che va dalla metà del 1800 alla metà del 1900, in Italia come anche in altre parti d’Europa è stato imponente il fenomeno dell’introduzione di specie d’insetti e di fitopatogeni da altri continenti, determinando situazioni altamente drammatiche con conseguente e pesante ricorso agli agrofarmaci via via disponibili. A partire dagli anni ’50 del secolo scorso sono stati inventati presidi fitosanitari derivanti da sintesi chimica, estremamente efficaci, quali insetticidi e successivamente fungicidi sistemici, che per circa una ventina d’anni sembrava potessero essere la soluzione ideale dei problemi relativi alla difesa delle colture, e furono sottovalutando eventuali effetti collaterali, che all’epoca non erano ancora adeguatamente conosciuti. In realtà, in tempi molto brevi fu chiara l’insorgenza di fenomeni di resistenza a tali agrofarmaci, dati dalla comparsa d’insetti, funghi e batteri non più sensibili al prodotto fitosanitario. Tutto ciò banalmente accade sulla base di un’evoluzione di tipo darwiniano, per cui la sostanza attiva esercita sulle popolazioni naturali di parassiti e patogeni, e come tali quindi eterogenee, una pressione selettiva che favorisce la sopravvivenza degli individui resistenti, rendendo ben presto nullo l’intervento di quel prodotto fitosanitario. Sfortunatamente ciò accade però non prima di avere innescato la cosiddetta “spirale dei trattamenti”, con la ricerca del ripristino dell’efficacia fitoiatrica tramite l’aumento delle concentrazioni e dei trattamenti, in un fenomeno perverso e perdente, oltre che in un inutile aumento di costi monetari ma anche ambientali. Inoltre, ma

non meno importante, ulteriori danni derivarono anche dall'aver trascurato l'importanza delle biocenosi che si instaurano sulle colture e nel suolo, e soprattutto il loro ruolo nel limitare l'azione delle specie dannose, con la distruzione indiscriminata anche di antagonisti e iperparassiti. In Italia, la corretta comprensione del fenomeno relativo all'uso eccessivo degli antiparassitari e dei prodotti fitosanitari in generale è possibile solo considerandolo alla luce delle complesse e profonde trasformazioni che hanno interessato l'agricoltura, e complessivamente l'intera società italiana, nel secondo dopoguerra. In quel periodo, infatti, la sensibilità ambientale e la preoccupazione della qualità degli alimenti erano decisamente poco elevate, e l'attenzione dell'opinione pubblica era concentrata su altre problematiche, talvolta più urgenti ed essenziali a partire proprio dalla disponibilità di cibo.

In realtà proprio in quel periodo brillante risultato in termini sia di sostenibilità che d'innovazione letteralmente "biotecnologica" si ottenne contro la fillossera della vite, con il ricorso all'innesto della vite europea su piede di vite americana. La scuola italiana ebbe un periodo di grande rilievo, grazie principalmente alle ricerche di Antonio Berlese e Filippo Silvestri. Il cambio di visione della strategia da adottare nella difesa antiparassitaria viene riconosciuto all'enunciazione del concetto di "Integrated Control" da parte di Stern nel 1959 sulla rivista scientifica «*Hilgardia*» (Stern et al., 1959). In Europa un ruolo fondamentale di coordinamento delle attività di ricerca e applicazione è svolto fin dal 1954 dalla "International Organization for Biological and Integrated Control" (IOBC/SROP), a cui la comunità scientifica italiana ha da sempre collaborato, anche con ruoli di responsabilità.

Già si è ricordato che l'interesse dell'opinione pubblica sulla "sostenibilità" è piuttosto recente e spesso basata su risposte emotive e scarsa conoscenza delle problematiche. Attualmente, l'attenzione riguarda prevalentemente l'ambiente e la qualità dei prodotti agricoli, con grande preoccupazione per gli eventuali residui di antiparassitari. Spesso anche il solo uso di una sostanza chimica, anche se non se ne rilevano residui sugli alimenti, desta allarme. Si vengono così a determinare situazioni che possono essere disinvoltamente criticate e utilizzate a scopi commerciali. Meno conosciuto è il grave problema delle intossicazioni degli operatori agricoli che si verificavano con frequenza preoccupante negli anni di più intenso ricorso agli antiparassitari. Fu proprio l'attenzione alla sicurezza degli operatori che indusse alcune Regioni ad avviare programmi di Difesa integrata. L'elevata concentrazione di frutteti e vigneti di estese aree dell'Emilia-Romagna evidenziò la gravità della situazione e sollecitò le Università e i Servizi Fitosanitari del territorio a occuparsene. Analogamente l'interesse per la difesa integrata si manifestò contemporane-

amente anche in altri comprensori italiani, analogamente a quanto si stava verificando in altri Paesi europei.

A parte le polemiche poco costruttive con cui definire le nuove strategie di difesa, si può convenire che nella fase iniziale il modo più sicuro di limitare gli effetti negativi dell'abuso degli antiparassitari consisteva nell'usarli meglio, possibilmente in quantità minore e con una maggiore consapevolezza delle loro caratteristiche (Capella et al., 2012). Sempre all'insegna della sostenibilità, è il concetto di "soglia economica di intervento": sebbene molto bello in teoria, è praticamente impossibile da determinare con precisione, ma è stato essenziale per dare l'avvio allo studio dei metodi di monitoraggio, all'approfondimento dei cicli biologici delle specie dannose e dei loro antagonisti naturali con buoni risultati che emersero fin dalle prime esperienze di campo. Gli interessi si rivolsero inizialmente alle colture poliennali quali i fruttiferi e la vite. Si avviò quindi un processo di valutazione dei mezzi di lotta a disposizione cercando di ridurre la pressione chimica e valorizzare anche altri metodi che progressivamente hanno assunto un'importanza maggiore nell'ambito di strategie integrate. Un supporto prezioso per il monitoraggio di specie assai dannose e difficili da osservare, quali i lepidotteri carpofagi, derivò dagli studi di base sulla comunicazione chimica degli insetti. L'individuazione delle molecole emesse dalle femmine dei lepidotteri per richiamare i maschi e avviare il corteggiamento che precede l'accoppiamento consentì di predisporre apposite trappole per il monitoraggio e, in seguito, erogatori idonei come mezzi di lotta.

L'adozione di soluzioni "sostenibili" nella difesa delle colture dipende certamente dal progresso nella ricerca scientifica in specifici settori, ma non si deve dimenticare l'importanza della sperimentazione su larga scala, l'assistenza tecnica e più in generale, il miglioramento del livello culturale e della consapevolezza della responsabilità dell'intero settore.

### *1b) Evoluzione dei metodi di difesa*

Il risultato fino ad ora raggiunto è stato ottenuto secondo un processo di progressivo miglioramento chiaramente individuato per l'Entomologia nel 1977, in un documento elaborato da un gruppo di lavoro dell'OILB/SROP, di cui fece parte anche il prof. Giorgio Celli dell'Università di Bologna. Tale documento è noto come Dichiarazione di Ovronnaz, località sulle Alpi Svizzere. Qui Celli e altri quattro entomologi si incontrarono per discutere la possibilità d'introdurre approcci sostenibili nella lotta ai parassiti. In tale do-

cumento è stata infatti previsto il passaggio dalla lotta “a calendario” alla lotta “guidata”, poi a quella “integrata” per giungere infine alla “produzione integrata” (Boller et al., 1998).

Un’attendibile dimostrazione dell’impegno pionieristico delle istituzioni di ricerca italiane al miglioramento della difesa antiparassitaria può essere trovata anche nel contributo del 1975 di Principi, Domenichini e Martelli (Principi et al., 1975). L’ultimo stadio previsto, a cui attualmente siamo effettivamente arrivati, considera che la difesa antiparassitaria deve inserirsi nella strategia complessiva della produzione aziendale e che tutti gli interventi colturali devono essere valutati anche per le loro conseguenze sulle avversità della coltura. L’impegno a ricercare soluzioni sostenibili nella difesa dagli insetti dannosi ha una consolidata tradizione che deve essere continuamente aggiornata per far fronte a situazioni fitosanitarie in continuo cambiamento.

### *1c) Evoluzione della Normativa e dei prodotti fitosanitari disponibili*

Grande importanza per l’applicazione di strategie sostenibili ha avuto l’evoluzione della normativa sull’autorizzazione all’impiego dei prodotti fitosanitari che ha progressivamente comportato la revoca di numerosi principi attivi con conseguente limitata disponibilità di prodotti con meccanismi d’azione tradizionali.

Le prime esperienze di razionalizzazione della difesa antiparassitaria evidenziarono la necessità di selezionare i mezzi chimici disponibili. Dalla metà degli anni ’60 del secolo scorso si susseguirono numerose disposizioni legislative. Il Decreto Ministeriale concernente la produzione e la vendita dei fitofarmaci risale al 1968. Altri Decreti hanno imposto imitazioni d’impiego e revoche di prodotti fitosanitari, ritenuti pericolosi per l’ambiente e per la salute. Tra essi si ricorda ad esempio la revoca delle registrazioni a base di D.D.T. del 1978. L’autorizzazione all’impiego dei prodotti fitosanitari segue attualmente una complessa valutazione tecnico scientifica in base alla Direttiva europea 91/414, recepita in Italia con il DL n. 194/1995 che ha comportato la revoca di numerosi preparati (Consiglio UE, 1991). Il profondo cambiamento che si è verificato nel corso dei decenni emerge chiaramente consultando i prontuari degli agrofarmaci. Uno dei più diffusi, a firma del compianto Mario Muccinelli, nelle sue numerose edizioni testimonia la progressiva diminuzione dei principi attivi di sintesi disponibili e l’aumento dei mezzi di difesa biotecnologici e dei modificatori del comportamento, oltre ad altri mezzi dalle modalità d’azione complesse (Muccinelli, 2006).

Ulteriore e notevole elemento d'innovazione è stata la Direttiva europea 2009/128/CE, relativa all'uso sostenibile dei fitofarmaci; è stata introdotta per la prima volta la regolamentazione dell'impiego di questi prodotti, secondo un'azione armonica a livello comunitario, oltre a prevedere l'obbligo d'attuazione dei principi della difesa integrata. In Italia la Direttiva è stata recepita con il Decreto legislativo n.150 del 14 agosto 2012, e per l'attuazione di tale direttiva è stato adottato un Piano d'Azione Nazionale (PAN), con il decreto interministeriale del 22 gennaio 2014, che si occupa di promuovere pratiche di utilizzo dei prodotti fitosanitari maggiormente sostenibili (Decreto interministeriale, 2014). Il PAN ha stabilito in modo più attento che in passato obiettivi quantitativi di riduzione dell'impatto e dei rischi eventualmente connessi all'uso degli antiparassitari sulla salute umana, sull'ambiente e sulla biodiversità, oltre a indicare ovviamente sia i tempi che le modalità operative da adottare. In tale contesto è stata poi data particolare importanza alla realizzazione di azioni di monitoraggio, periodiche e *in itinere*, fornendone addirittura gli indicatori. Il monitoraggio è infatti essenziale per la verifica delle azioni intraprese e di possibili criticità intervenute, al fine di procedere eventualmente anche alla revisione delle misure da adottare. Altro elemento importante di "sostenibilità" e che vale la pena di essere sottolineato, anche perché sicuramente poco noto non solo alla maggioranza dell'opinione pubblica ma talvolta anche agli addetti ai lavori, è l'ambito nel quale il PAN ha stabilito di attuare il monitoraggio. Ovvero l'impatto correlato all'uso di prodotti fitosanitari non è esclusivamente valutato nelle aree agricole, ma anche nelle aree naturali protette e soprattutto in quelle extra agricole, quali in aree verdi urbane, presso vie di comunicazione quali strade e ferrovie.

A garanzia alla corretta applicazione di quanto previsto nella Direttiva 2009/128/CE (Parlamento e Consiglio UE, 2009), e quindi nel PAN, sono anche le azioni relative all'obbligo di formazione certificata e permanente dei soggetti coinvolti come utilizzatori dei fitofarmaci, nonché quanto previsto dal Regolamento n.1185/2009(CE) del Parlamento Europeo e del Consiglio. Tale Regolamento ha istituito infatti un quadro comune che deve essere di riferimento in tutti gli Stati membri per la produzione sistematica e armonica di statistiche europee sui quantitativi annuali di pesticidi immessi in commercio nonché utilizzati, essenziali anche nella fase di valutazione dei rischi correlati a questi prodotti. Per quello che riguarda l'Italia, il Regolamento n.1185/2009 (CE) è andato a migliorare quanto in realtà già in attuazione sulla base al DPR 290/2001, modificato in base al DPR 55/2012.

Considerata la durata quinquennale del PAN attivato nel 2014 e valutati i risultati finora ottenuti, è stata già predisposta una bozza del nuovo PAN,

che dovrà sostituire integralmente il precedente. Tale bozza è stata disponibile sui siti dei Ministeri delle Politiche Agricole, dell'Ambiente e della Salute, per consentire la realizzazione di una consultazione pubblica, conclusa il 15 ottobre 2019, sulla cui base sarà redatta la bozza definitiva del nuovo PAN da inviare alla Commissione europea.

Le norme attuali hanno anche impresso, come conseguenza, un rilevante impulso alla ricerca e alla richiesta di nuove autorizzazioni per mezzi tecnici di Bioprotezione. Tuttavia, nonostante le aspettative e il giudizio favorevole dell'opinione pubblica, il settore dei Biopesticidi lamenta la lunghezza dei tempi e la complessità del percorso di registrazione. Per superare le difficoltà nell'individuare e poi nell'immettere sul mercato mezzi innovativi per la difesa delle colture sarà fondamentale l'attività di ricerca condotta con la collaborazione di Università, Centri di Ricerca e partner industriali.

#### *1d) Le pubblicazioni. Ricerca Scientifica e Sperimentazione*

Le indagini compiute sulla percentuale di citazioni nel web of science di pubblicazioni sulla difesa integrata (IPM) evidenziano un progressivo e rapido aumento dal decennio 1970-1979 al decennio 2000-2010 (Albajes et al., 2017). L'incremento della ricerca scientifica in tale settore si è certamente verificato negli ultimi tempi, ma l'immagine delle pubblicazioni relative al settore appare piuttosto imprecisa. Il numero di riviste indicizzate, inizialmente basso, è cresciuto solo negli anni più recenti, inoltre la tipologia dei lavori della fase iniziale ha avuto un'impostazione prevalentemente applicativa. Si evidenzia quindi un'iniziale prevalenza di esperienze sperimentali con grande attenzione alla divulgazione. La situazione attuale delle pubblicazioni è caratterizzata dal prevalere di aspetti scientifici di base e una loro distanza dalle esigenze applicative. Il livello della ricerca scientifica è migliorato, ma la sperimentazione e l'assistenza tecnica soffrono per una certa difficoltà a recepire e divulgarne i risultati. La letteratura a carattere eminentemente tecnico risulta, negli ultimi anni, decisamente penalizzata.

## 2. PRINCIPALI TEMATICHE DI RICERCA

Le ricerche in corso spaziano in settori scientifici molto eterogenei e afferiscono spesso a discipline tradizionalmente separate. La tendenza attuale della ricerca scientifica evidenzia tuttavia la convergenza di metodiche e strumenti di lavoro comuni. La biologia molecolare, l'informatica, l'automazione dei



processi stanno avendo effetti più o meno radicali sulla ricerca scientifica, contribuendo a eliminare antiche e ormai superate separazioni. Il panorama delle ricerche in atto risulta assai vasto, sempre più complesso e difficilmente schematizzabile. Sarà quindi possibile fornirne solo una visione incompleta e certamente superficiale.

Sicuramente nel processo che va dal disegno all'introduzione di strategie sostenibili di difesa si deve necessariamente partire dall'analisi dei fattori che hanno prodotto o producono un'alterazione dell'equilibrio altrimenti esistenti tra un patogeno/parassita e il suo ospite, dove la malattia è inevitabilmente parte del sistema. Dall'esame della storia passata a quella recente, sono sicuramente da considerarsi elementi destabilizzanti tutte le pratiche che comportano una riduzione della variabilità dell'ecosistema, sia del potenziale ospite (es. la monocoltura) che degli altri organismi/microrganismi di tale sistema (es. riduzione o assenza di rotazioni, impoverimento della microflora tellurica e della sua eterogenità, ecc.), così come pure tutti gli eventi che impongono una variazione repentina e sostanziale dello stesso (es. introduzione di patogeni e parassiti da quarantena, alieni, invasivi, ecc). È quindi immediatamente chiaro come spesso malattie, parassitosi e loro scoppi epidemici possano essere controllati in modo sostenibile essenzialmente con lo sviluppo e l'adozione di strategie preventive, le quali per la loro stessa natura già sono in grado di determinare una sostanziale riduzione dell'uso dei fitofarmaci.

### *Interruzione della comunicazione per il controllo di insetti o di fitopatogeni*

Gli insetti comunicano prevalentemente utilizzando messaggi odorosi, ma anche ottici e acustici (Rotundo e Germinara, 2016). Le sostanze coinvolte nella comunicazione chimica, note nel complesso come "semiochimici", comprendono i "feromoni", ad azione intraspecifica e i "caïromoni", ad azione intraspecifica. Già si è accennato all'importanza dei feromoni in trappole per il monitoraggio di diverse specie dannose, prevalentemente di lepidotteri. La loro disponibilità ha avuto un ruolo fondamentale nella applicazione della difesa integrata, mediante il campionamento delle specie dannose e l'individuazione dei momenti ottimali degli interventi di difesa. Egualmente di rilievo è stato il loro uso come mezzi diretti di lotta. Le catture massali dei maschi, il metodo attratticida ma soprattutto la "confusione sessuale", basata sulla inibizione degli accoppiamenti, trovano consolidata applicazione. Per la confusione sessuale esiste un vivace settore di innovazione legato alle tecno-

logie di distribuzione dei feromoni. I feromoni trovano utilizzo anche per il monitoraggio di alcune cocciniglie. Contro specie di Ditteri quali la mosca mediterranea della frutta e la mosca delle olive si ottengono buoni risultati con l'impiego di attrattivi non feromonici di cui sono stati perfezionate le tecniche di utilizzo. Recenti studi hanno inoltre evidenziato la possibilità di far ricorso ai messaggi vibrazionali (Nieri e Mazzoni, 2019). Da qualche anno sono in corso studi promettenti sulla possibilità di provocare confusione, via substrato, a mezzo di diffusori vibrazionali nel vettore della Flavescenza dorata della vite, la cicalina *Scaphoideus titanus*. Un prototipo di trappola multi-stimolo (vibrazioni e feromoni) è in fase di sperimentazione per controllare le infestazioni della cimice asiatica.

Anche i batteri, incluso quelli fitopatogeni, comunicano tra di loro al fine di organizzare l'attacco del potenziale ospite, una volta percepito che hanno raggiunto una densità di popolazione che potrebbe garantire loro il successo. Tale meccanismo di comunicazione, basato su segnali diffusibili, prende il nome di Quorum Sensing. Come sempre accade nei fenomeni biologici, quando necessario ha la possibilità di essere inattivato da un altro meccanismo analogo definito Quorum Quencing, che in base a varie modalità prevede l'interruzione della comunicazione. Varie sono le molecole, sia di natura microbica che d'origine vegetale, che hanno attività di Quorum Quencing e sulle quali sono in allestimento formulati utilizzabili nella lotta ai batteri fitopatogeni (Kalia, 2019).

### *Controllo delle specie parassite e fitopatogene aliene e invasive*

Il numero di specie accidentalmente introdotte da altri continenti è in continuo aumento. In diversi casi, si è verificato un sensibile peggioramento del quadro fitosanitario interessando importanti colture quali la vite, l'olivo e il mais. Insetti che destano particolare preoccupazione sono, tra gli altri, *Popillia japonica*, *Tuta absoluta*, *Bactrocera dorsalis* e *Diaphorina citri* e *Drosophila suzukii*. Alcune di tali specie hanno reso necessario l'emanazione di Decreti di lotta obbligatoria. Tra i più recenti si possono citare quelli riguardanti il Cinipide del castagno (*Dryocosmus kuriphilus*), il Punteruolo delle palme (*Rhynchophorus ferrugineus*) il Cerambicide asiatico (*Anoplophora chinensis*) la Diabrotica del mais (*Diabrotica virgifera*) e la Cimice asiatica (*Halyomorpha halys*). Contro insetti originari di altri continenti sono stati tradizionalmente ottenuti ottimi risultati con l'introduzione dai paesi di origine di loro parassitoidi o predatori per la ricostruzione dei rapporti antagonistici. Purtroppo il

recepimento del decreto comunitario relativo alla conservazione di equilibri naturali e della flora e della fauna selvatiche (D.P.R. 8 settembre 1997 n. 357) non hanno previsto alcun percorso autorizzativo in deroga bloccando di fatto l'introduzione da altri paesi anche di antagonisti naturali bloccando così ogni possibilità di lotta biologica classica. Solo molto recentemente si è posto rimedio a tale situazione (D.P.R. 5 luglio 2019 n. 102), con una normativa che reintroduce in Italia la possibilità di realizzare gli interventi di "Lotta Biologica Classica". Per comprendere a pieno le caratteristiche di tali operazioni è bene ricordare che anche l'introduzione di parassitoidi e predatori da altri Paesi comporta dei rischi per l'ambiente che devono essere rigorosamente valutati mediante apposita ricerca. In base alle recenti disposizioni attualmente, prima di un effettivo rilascio in campo, è in fase di studio presso il CREA-DC di Firenze il *Trissulcus japonicus*, noto come vespa samurai, antagonista naturale della Cimice asiatica. L'importanza di limitare la dannosità di *H. halys* è stata recentemente ben illustrata dall'assessore all'Agricoltura dell'Emilia Romagna, Simona Caselli, che ha evidenziato che oltre l'emergenza economica e ambientale, esiste anche quella sociale per le importanti ricadute che le perdite di produzione di varie colture frutticole comportano sul piano occupazionale.

Fondamentali sono poi gli interventi da attuare contro gli insetti vettori di fitopatogeni da quarantena, causa di recenti epidemie in Italia, e più in generale nell'Europa mediterranea, come nel caso di *Xylella fastidiosa* su Olivo. Il principale vettore di questo batterio, ad habitat xilematico e agente causale della malattia denominata complesso del disseccamento rapido dell'olivo (CoDiRO), è stato identificato in *Philaelus spumarius*. Comunemente chiamato "sputacchina", questo insetto si nutre della linfa xilematica, potendo così assumere *X. fastidiosa* dalle piante infette per trasmetterla successivamente in modo persistente. Ricontrato per la prima volta nel 2013 in Puglia, sugli olivi del Salento, questo batterio ha come ospiti noti circa 180 specie vegetali, tra cui molte spontanee. Questo elemento rende estremamente difficile la lotta, che alla luce delle conoscenze attuali non può che basarsi sulla lotta al vettore. Sebbene per *X. fastidiosa* non sia ancora stata accertata la via d'introduzione nel nostro continente, è pur vero che la quasi totalità degli insetti parassiti e dei fitopatogeni alieni finora introdotti in Europa è arrivata tramite la via del commercio di piante e dei loro materiali di riproduzione gamica e agamica. Tale fenomeno è stato sicuramente facilitato dalla globalizzazione dei commerci e dalla rapidità con la quale questi si realizzano. Nonostante esistano leggi nazionali e internazionali su controlli da attuare per scongiurare il pericolo d'introduzione di tali parassiti e fitopatogeni alieni, spesso motivi

di varia natura impediscono nei fatti l'accuratezza necessaria per un controllo efficace. Peraltro, i cambiamenti climatici in atto possono favorire spesso più che in passato sia l'insediamento del fitopatogeno che dell'eventuale vettore. Tra le strategie preventive proposte per aiutare a prevenire queste invasioni vi sono le cosiddette "piante sentinella", considerabili una sorta di bio-indicatori nell'ambito di un programma più vasto di monitoraggio/sorveglianza sanitaria, soprattutto per l'epidemie in ambito forestale. In altri termini, tramite le piante sentinella si stima in anticipo la significatività del rischio fitosanitario dato da taluni insetti e fitopatogeni prima del loro arrivo, per ridurre al minimo la possibilità di invasione o l'eventuale impatto. A seconda che le specie vegetali siano originarie del Paese esportatore o importatore si parla rispettivamente delle cosiddette modalità *in patria* e *ex patria*, sempre con lo scopo di rilevare nuove associazioni con parassiti e patogeni con i quali tali specie vegetali non si sono evolute, oppure di fornire informazioni sul potenziale impatto derivante da un'eventuale invasione (Eschen et al., 2018).

### *Lotta biologica e preparati microbiologici*

In Entomologia agraria, la lotta biologica trova interessanti applicazioni proprio nelle colture sotto serra ove, tra le specie dannose, si sono sovente verificati fenomeni di resistenza ai mezzi chimici di lotta. Il lancio di antagonisti delle specie dannose secondo i metodi inoculativo e inondativo è stato possibile grazie alla produzione massale di entomofagi in biofabbriche. Le ditte produttrici sono aumentate, a dimostrazione dell'interesse anche commerciale del settore, e l'elenco degli insetti parassitoidi e predatori e degli acari predatori disponibili è sufficientemente ampio. A supporto di metodiche applicative ben conosciute è doveroso ricordare gli studi di base che riguardano i rapporti fra le piante, gli insetti fitofagi e i loro antagonisti. Le interazioni tritrofiche sono basate su stimoli di natura chimico e fisica che progressivamente vengono individuati e consentono di interpretare con rigore scientifico un mondo complesso e affascinante, fino ad ora, poco conosciuto (Pennacchio et al., 2003; Gatehouse, 2017). Tra gli antagonisti naturali degli insetti, in natura, figurano anche vari microrganismi che sono stati oggetto di approfonditi studi. Il perfezionamento delle formulazioni ha consentito un aumentato dell'efficacia dei preparati e semplificato le modalità di impiego favorendo l'impiego di virus, batteri e funghi entomopatogeni. Sono disponibili anche nematodi entomopatogeni che risultano preziosi per risolvere situazioni particolari quali quelle provocate dalle larve terricole dei ditteri sciaridi nelle

serre e nelle fungaie. L'impiego dei preparati microbiologici trova attualmente un largo impiego sia nell'agricoltura biologica sia in quella integrata, particolarmente nella fase che precede la raccolta. L'aumentata attenzione ai residui di antiparassitari chimici sulle produzioni agricole favorisce il ricorso a mezzi alternativi. È inoltre da considerare che non tutti gli organismi nocivi delle piante possono essere combattuti con i prodotti fitosanitari, oppure in alcuni casi, anche se possibile, il loro impiego può essere complesso e pericoloso per l'ambiente, l'uomo e gli animali come nel caso di foreste e boschi e del verde urbano. Come già detto, l'entrata in vigore del DPR 5 luglio 2019 n. 102 reintroduce nel nostro Paese la possibilità di realizzare interventi di "Lotta Biologica Classica", mediante l'importazione volontaria dall'areale di origine di specie aliene di insetti dannosi, accidentalmente introdotti nei nostri ambienti, dei loro antagonisti naturali. L'introduzione di predatori e parassitoidi consentirà di difendere la nostra agricoltura, selvicoltura e l'ambiente mediante il ristabilimento di nuovi equilibri naturali profondamente alterati da specie provenienti da altri continenti. Un esempio particolarmente attuale è rappresentato dalla cimice asiatica *H. halys*, molto dannosa a numerose colture nell'Italia settentrionale, per cui, fino ad ora, non sono state individuate strategie di lotta soddisfacenti. Molte speranze per il suo contenimento, sono riposte nella possibilità di allevare e liberare in campo i suoi antagonisti naturali. L'applicazione della nuova norma potrà avvenire dopo la pubblicazione, che si ritiene ormai prossima, del relativo Regolamento contenente i criteri per realizzare tali interventi. Saranno così disponibili nuove opportunità per la difesa delle piante soprattutto in riferimento agli alberi in bosco e al verde urbano in aree in cui è impossibile o vietata la difesa chimica.

In Patologia vegetale, agenti di lotta biologica ("Biological Control Agents", BCAs) sono ormai largamente utilizzati e commercializzati. Vari sono i loro meccanismi d'azione, che vanno dalla capacità di indurre resistenza nella pianta, alla competizione sia per nutrienti che per lo spazio con i potenziali fitopatogeni, fino al parassitismo ed all'antibiosi. Le difficoltà nello sviluppo di questi preparati a base di BCA consistono essenzialmente nella verifica dell'effettivo potenziale *in planta*, oltre a quanto verificato *in vitro*, e al monitoraggio del loro destino nell'ambiente (Kohl et al., 2019).

### *La resistenza agli insetticidi, fungicidi e battericidi*

La necessità di impiegare nel modo migliore i prodotti fitosanitari disponibili limitandone gli effetti secondari negativi mantenendo la loro efficacia è di-

ventato evidente anche con la comparsa di fenomeni di resistenza che a livello mondiale ha interessato le avversità delle colture. Per far fronte a questa complessa problematica sono state avviate ricerche sui meccanismi della resistenza, sui fattori che ne favoriscono la comparsa e sulle strategie per contrastarne l'insorgenza (Mazzoni e Cravedi, 2002; Panini et al., 2015; Saccone, 2018). Il patrimonio di conoscenze che si sta accumulando rappresenta un indispensabile riferimento per il corretto uso dei prodotti fitosanitari su basi scientifiche evitando soluzioni empiriche. Varie limitazioni e suggerimenti sull'impiego dei prodotti fitosanitari sono ora riportate sulle loro etichette e sono integrate con indicazioni sui disciplinari di produzione. Un capitolo in fase di sviluppo recente è quello riguardante la conoscenza del genoma degli insetti come contributo alla difesa antiparassitaria. Sono già stati ottenuti interessanti risultati sulla identificazione di geni coinvolti nella detossificazione di insetticidi e mutazioni che conferiscono resistenza. Il recentissimo sequenziamento del genoma della locusta ha consentito di identificare numerosi target molecolari per nuovi insetticidi.

Infine, uno delle strategie per combattere l'insorgenza di resistenze, in particolare tra i funghi e i batteri fitopatogeni nei confronti del Rame, è identificare e introdurre l'uso di fitochimici naturali nella protezione delle piante dalle malattie. Queste sostanze consistono in quei metaboliti secondari, in genere a base fenolica, che le piante hanno naturalmente a disposizione per combattere gli attacchi di tali fitopatogeni (Gujar et al., 2012; Biancalani et al., 2016; Lamichane et al., 2018).

### *Miglioramento genetico delle piante e le nuove Biotecnologie*

Gli studi sui meccanismi di difesa delle piante e sulle basi genetiche degli adattamenti a stress biotici sono assai promettenti. Alla selezione convenzionale si è aggiunta la possibilità di selezione assistita con marcatori molecolari. Il ricorso alle biotecnologie per la difesa delle piante trova in Europa atteggiamenti contrari che rendono difficile anche la ricerca scientifica che invece, a livello mondiale, evolve in continuazione. Da tempo sono coltivate su grandi superfici a livello mondiale, ma non in Italia, piante quali mais, soia e cotone transgeniche. La biologia molecolare progredisce però con rapidità sorprendente fornendo nuove e prodigiose opportunità. Un esempio riguarda le tecnologie "genome editing" che negli ultimi anni sono diventate uno dei più importanti strumenti per il miglioramento della resistenza ai patogeni delle piante. Grazie al sistema noto come CRISPR/Cas9, il "genome editing"

consente di modificare o introdurre un solo carattere favorevole e mantenere la restante parte del genoma di una varietà. Risultati molto promettenti sono stati ottenuti applicando tale sistema anche agli insetti, inizialmente a specie di Ditteri, ma poi anche a Imenotteri, Lepidotteri e Coleotteri. La tecnica dell'insetto sterile (TIS), che prevede l'allevamento massivo degli insetti interessati, potrà utilmente avvalersi di tali studi (Saccone, 2018; Schetelig, 2018).

Dispiace constatare che il ricorso alle biotecnologie per il miglioramento genetico per la resistenza, anziché essere considerato uno dei metodi più ecologici da per la difesa sostenibile delle colture, viene penalizzato in Europa e particolarmente in Italia, dove la normativa in vigore è stata elaborata ormai da diversi decenni. L'attuale regolamentazione delle biotecnologie risulta non più adeguata ai recenti sviluppi tecnologici e una sua revisione appare necessaria.

### *Sistemi di supporto alle decisioni*

La complessità della gestione delle colture e l'aumento della regolamentazione relativa all'utilizzo di fertilizzanti, prodotti fitosanitari e altri mezzi chimici rendono apprezzati gli strumenti utili ad agevolare il processo decisionale (Caffi *et al.*, 2016). Lo sviluppo dell'informatica e l'utilizzo di internet hanno consentito di rendere disponibili nuovi Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS) e di migliorarne l'accettazione da parte degli agricoltori. Un aspetto positivo consiste anche nella constatazione che vengono visti favorevolmente dalle autorità pubbliche di controllo, dall'industria alimentare, dalla grande distribuzione e dai consumatori. L'utilizzo di questi sistemi viene apprezzato e considerato come dimostrazione del corretto uso dei mezzi chimici. L'aumento dell'accesso a internet e il miglioramento delle altre tecnologie di comunicazione nelle aree rurali sono indispensabili per stimolare l'innovazione e consentire la diffusione dei DSS.

## 3. CONCLUSIONI

Altri temi di ricerca e sperimentazione meritano almeno una citazione per il loro contributo che apportano alla difesa antiparassitaria sostenibile quali: l'agricoltura di precisione, i sistemi di distribuzione dei prodotti fitosanitari, la biodiversità funzionale che coinvolge le infrastrutture ecologiche presenti

nell'ambiente e le strategie di lotta contro gli insetti vettori di malattie. La difesa antiparassitaria ha poi caratteristiche del tutto particolari, nella delicata fase post raccolta dei prodotti ortofrutticoli e dei cereali.

Da non trascurare sono poi il ruolo dell'assistenza tecnica e quello dell'istruzione agraria. Gli insegnamenti universitari della Patologia vegetale e dell'Entomologia agraria risultano, in molte sedi, meno rilevanti e con un numero di docenti ridotto rispetto a un recente passato. Anche questo può avere importanza per il futuro. La vasta produzione scientifica, in gran parte interdisciplinare, testimonia l'interesse e il prezioso contributo che il mondo della ricerca sta apportando alla "sostenibilità" della difesa antiparassitaria.

Molto è stato fatto, ma tanto rimane da fare in considerazione del fatto che il quadro fitosanitario delle colture subisce continue variazioni. Due cause emergono per importanza: l'introduzione, che sembra inarrestabile, di nuove malattie, fitofagi e patogeni, combinata con le variazioni climatiche che modificano l'areale di distribuzione di organismi e micorganismi. La gravità di molte emergenze fitosanitarie in atto evidenzia l'importanza della ricerca indispensabile per introdurre innovazioni. Nel corso degli ultimi decenni l'agricoltura "tradizionale" è stata trasformata in agricoltura "integrata" ed è stata affiancata da quella "biologica". Oggi è in aumento dell'interesse per l'agricoltura "biodinamica", variante di quella "biologica" che si avvale di preparati riconosciuti come "corroboranti". Progressivamente le forme di produzione si sono avvicinate, anche se l'agricoltura "biologica" e le sue varianti si caratterizzano per la proibizione del ricorso a mezzi chimici di sintesi. Merita di sottolineare che la ricerca scientifica fornisce risultati validi in termini generali e utilizzabili in ogni contesto. Esiste una sostanziale convergenza di obiettivi per cui una maggiore collaborazione e posizioni meno polemiche sarebbero auspicabili. Purtroppo esistono esigenze commerciali che stimolano l'adozione di strategie di "green marketing" piuttosto disinvolute.

#### RIASSUNTO

La difesa delle piante da parassiti e patogeni è "sostenibile" quando l'obiettivo di garantire la salute delle piante, in ambito agricolo, forestale e paesaggistico, è ottenuto attraverso strategie e pratiche con nullo o ridotto impatto sull'ambiente e sull'economia, a garanzia del benessere sociale. Dopo una fase iniziale prevalentemente rivolta alla riduzione della pressione chimica che negli anni immediatamente successivi al secondo conflitto mondiale erano diventati eccessivi, si è verificato una rapida e continua evoluzione delle strategie di difesa antiparassitaria. Anche le normative sull'autorizzazione all'impiego dei prodotti fitosanitari sono state adeguate alle maggiori sensibilità ambientali e sanitarie. Una sintetica rassegna delle principali tematiche di ricerca nei settori della Patologia



vegetale e dell'Entomologia agraria forniscono un quadro, sia pur riassuntivo, delle principali linee di ricerca in atto. Molto è stato fatto, ma tanto rimane da fare in considerazione del fatto che il quadro fitosanitario subisce continue variazioni. La gravità di molte esigenze fitosanitarie in atto evidenzia l'importanza della ricerca e la necessità di introdurre innovazioni.

#### ABSTRACT

The control and management of plant pathogens and insect pests can be defined as "sustainable" if the goal to safeguard plant health in agriculture, forestry and food production, is obtained through strategies and practices having null or negligible negative impact and harmful effects both on the environment and on profit, and without affecting the social well-being.

Although the wide use of plant protection products was essential in the past to increase primary production in agriculture, their use had become excessive in the years immediately following the Second World War. This also contributed to the onset of resistance phenomena in target pathogens and pests, thus to reduce their efficacy. After an initial phase mainly aimed to reduce the chemical pressure deriving from their excessive application, plant diseases and pests control strategies rapidly started to move towards the search and application of low impact and safer solutions, as well as able to preserve production, biodiversity and incomes along the whole production chain. The current public perception and concerns about environmental pollution and healthy risks have been among the most fundamental drivers for the design of the new regulations about the authorization and use of plant protection products, which are undergoing to continuous changes to continuously adapt to the current and most urgent phytosanitary needs. In this overall frame, research is currently pivotal also to develop innovative approaches to preserve plant health and able to face the challenges posed by the ongoing global changes, including climate change and globalization of trades. Here, a concise overview of the main current research topics in this areas is provided for both Plant Pathology and Agricultural Entomology.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALBAJES R., MADEIRA F. (2017): *Current status of integrated pest management (IPM) in Europe*, «Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia», LXV, pp. 45-51.
- BIANCALANI C., CERBONESCHI M., TADINI-BUONINSEGNI F., CAMPO M., SCARDIGLI A., ROMANI A., TEGLI S. (2016): *Global analysis of Type Three Secretion System and Quorum Sensing inhibition of Pseudomonas savastanoi by polyphenols extracts from vegetable residues*, PLoS ONE 11: e0163357. <http://doi:10.1371/journal.pone.0163357>
- BOLLER E.F., AVILLA J., GENDRIER J.P., JORG E., MALAVOLTA C. (1998): *Integrated Production in Europe: 20 years after the declaration of Ovronaz*, «IOBCwprs Bulletin», 21 (1), 41, [www.iobc.ch](http://www.iobc.ch).
- CAFFI T., LEGLER E., ROSSI V. (2016): *L'applicazione dei sistemi di supporto alle decisioni nella moderna difesa integrata delle colture*, in *Difesa sostenibile delle colture*, a cura di

- Paola Battilani, Edagricole, Bologna, pp. 171-190.
- CAPELLA A., CRAVEDI P., LACCONE G., POLLINI A., SGARZI B. (2012): *Storia degli insetticidi ed acaricidi ed altri mezzi ed evoluzione della difesa dai principali fitofagi e fitomizi in Italia*, «Atti Giornate Fitopatologiche», 1, pp. 41-84.
- COMMISSIONE EUROPEA (2017): Regolamento 2017/269 della Commissione, del 16 febbraio 2017 per elenco delle sostanze attive. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0269&from=IT>
- CONSIGLIO UE (1991): Direttiva 91/414/CEE del 15 luglio 1991 relativa all'immissione in commercio dei prodotti fitosanitari. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0414&from=en>
- DARK P., GENT H. (2001): *Pests and Diseases of Prehistoric Crops: A Yield 'Honeymoon' for Early Grain Crops in Europe?*, «Oxford J. Archaeol.», 20, pp. 59-78. <http://doi.org/10.1111/1468-0092.00123>
- Decreto del Presidente della Repubblica D.P.R. 5 luglio 2019, n. 102 [http://www.edizioneuropee.it/LAW/HTML/213/zn5\\_06\\_094.html](http://www.edizioneuropee.it/LAW/HTML/213/zn5_06_094.html)
- Decreto del Presidente della Repubblica D.P.R. 8 Settembre 1997, n. 357 <https://www.minambiente.it/normative/dpr-8-settembre-1997-n-357-regolamento-recante-attuazione-della-direttiva-9243cee-relativa>
- Decreto Interministeriale (2014) del 22 gennaio su Piano di azione nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari. [https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/normativa/dim\\_22\\_01\\_2014.pdf](https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/normativa/dim_22_01_2014.pdf)
- ESCHEN R., O'HANLON R., SANTINI A., VANNINI A., ROQUES A., KIRICHENKO N., KENIS M. (2019): *Safeguarding global plant health: the rise of sentinels*, «J Pest Sci», 92, p. 29. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1041-6>
- GATEHOUSE A.M.R. (2017): *Plant response to biotic stress: can this be exploited for crop protection?*, «Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia», LXV, pp.175-178.
- GURJAR M.S., SHAHID A., MASOOD A., SINGH K.S. (2012): *Efficacy of plant extracts in plant disease management*, «Agricultural Science», 3, pp. 425-433. <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/as.2012.33050>
- KALIA V.C. ed (2019): *Biotechnological Applications of Quorum Sensing Inhibitors*, Springer, Singapore, <http://doi.org/10.1007/978-981-10-9026-4>, pp. 473.
- KÖHL J., KOLNAAR R., RAVENBERG W.J. (2019): *Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy*, «Front. Plant Sci.», 10, p. 845. <http://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845>
- LAMICHHANE J. R., OSDAGHI E., BEHLAU F., KOHL J. JONES J. B., AUBERTOT J. N. (2018): *Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review*, «Agron. Sustain. Dev.», 38, p. 28. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>
- MAZZONI E., CRAVEDI P. (2002): *Analysis of insecticide resistant Myzus persicae (Sulzer) population collected in Italian peach orchards*, «Pest Manag Sc», 58, pp. 975-980. <http://doi.org/10.1002/ps.564>
- MUCCINELLI M. (2006): *Prontuario degli agrofarmaci*, XI ed., Edagricole, Bologna, pp. 1-969.
- NIERI R., MAZZONI V. (2019): *Vibrational mating disruption of Empoasca vitis by natural or artificial disturbant noises*, «Pest Manag Sci.», 75, pp. 1065-1073. <http://doi.org/10.1002/ps.5216>
- PANINI M., ANACLERIO M., PUGGIONI V., STAGNATI L., NAUEN R., MAZZONI M. (2015): *Presence and impact of allelic variation of two alternative s.kdr mutation, M 918T and M 918L, in the voltage gated sodium canne of the green-peach aphid Myzus persicae*, «Pest

- Manag Sc», 71, pp. 878-884. <http://doi.org/10.1002/ps.3927>
- PARLAMENTO EUROPEO E CONSIGLIO UE (2009), Direttiva 2009/128/CE del 21 ottobre 2009, per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0128&from=it>
- PENNACCHIO F., TREMBLAY E., TRANFAGLIA A., BIN F., RAO R., MALVA C. (2003): *Biotecnologie per il controllo degli insetti fitofagi*, «I Georgofili. Quaderni», 2003, I, pp. 103-128.
- PRINCIPI M.M., DOMENICHINI G., MARTELLI M. (1975): *Lotta integrata e lotta guidata nei frutteti dell'Italia settentrionale*, Atti X Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Sassari, pp. 113-159.
- RAUSCH T. (2007): *When Plant Life Gets Tough Sulfur Gets Going*, «Pl. Biol.», 9, pp. 551-555. <http://doi.org/10.1055/s-2007-965435>
- ROTUNDO G., GERMINARA G.S. (2016): *I semiochimici in agricoltura*, «I Georgofili. Quaderni», 2015, II, pp. 25-41.
- SACCONE G. (2018): *Sex determination and gene editing in tephritids: converging on innovative biocontrol strategie*, «Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia», LXV, pp. 115-121.
- SCHETELIG M.E. (2018): *Genomic engeneering of insects for sustainable crop protection*, «Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia», LXV, pp. 111-114.
- STERN V.M., SMITH R.F., VAN DEN BOSCH R., HAGEN K.S., (1959): *The integration of chimica and biological control of the spotted alfalfa aphid. The Integrated Control Concept*, «Hilgardia», 29, pp. 81-101. <http://doi.org/10.3733/hilg.v29n02p081>