

Giornata di studio su:

Sistemi innovativi di monitoraggio
delle popolazioni di insetti:
possibili applicazioni
per una difesa efficace e mirata delle colture

Firenze, 25 settembre 2008

Nuove tecniche di controllo di insetti fitofagi dannosi mediante l'uso di semiochimici

IL PROLOGO: LA FORMULAZIONE DELL'IDEA

La comunicazione è uno degli elementi fondamentali della vita che, in forme e modalità diverse, caratterizza e condiziona le relazioni biologiche fra gli organismi viventi di ogni ordine e grado evolutivo, dai rapporti elementari intercorrenti fra i microrganismi fino a quelli più evoluti propri della vita sociale degli umani (Schneider, 1992). La comunicazione basata su segnali di natura chimica è ampiamente diffusa fra gli organismi viventi e, sebbene fosse stata ipotizzata da molto tempo, solo recentemente ne è stato compreso pienamente il ruolo e l'importanza. Un notevole impulso agli studi sulla comunicazione chimica è stato impresso dalle osservazioni compiute sugli insetti dai naturalisti operanti tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo (Fabre, 1879; Forel, 1910). Secondo questi studi pionieristici le femmine dei lepidotteri sembravano emettere un odore sessuale in grado di attirare i maschi anche da notevoli distanze. Le conferme che via via si accumulavano circa l'esistenza di questi segnali odorosi stimolarono la curiosità non solo dei biologi naturalisti, ma anche di chimici ed agronomi interessati ad identificarne la natura e a sfruttarne le potenzialità attrattive a fini fitoiatrici. E infatti, dopo numerosi anni di ricerca e di applicazione di catture massali mediante l'uso di trappole innescate con femmine vergini, realizzate nei vigneti della Germania nel corso degli anni '30, l'entomologo Bruno Götz (1940) arrivò a preconizzare l'uso di questi attrattivi sessuali per il controllo della tignola della vite. Considerando lo straordinario potere attrattivo espresso dalle piccole quantità di odore sessuale emesse da una singola femmina, egli riteneva possibile, una volta trovato

* *Dipartimento Protezione delle Piante, Centro Sperimentale, IASMA (TN)*

il modo di identificarne la natura chimica e individuate le modalità per sintetizzarlo, l'applicazione di grandi quantità di attrattivo quale metodo di lotta che avrebbe rimpiazzato i tradizionali composti arsenicali all'epoca utilizzati (Arn, 1990). I suoi tentativi di identificare la natura dell'attrattivo sessuale emesso dalla tignola purtroppo non ebbero successo, e l'idea geniale di controllarne le infestazioni con un approccio così innovativo dovette lasciare il passo all'uso degli insetticidi di seconda generazione che, nel frattempo, iniziarono ad apparire sulla scena fitoiatrica, presidiandola efficacemente fino ai giorni nostri.

Dobbiamo attendere ancora un ventennio per ottenere la prima identificazione chimica di un attrattivo sessuale di insetti. Il successo si deve ad un ricercatore operante in quella straordinaria fucina scientifica rappresentata dal Max Planck Institute. Dopo essersi occupato dell'identificazione dei principali ormoni sessuali maschili e femminili, che gli valse il premio Nobel, Butenandt si cimenta nella sfida che fu del suo compatriota Götz e, nel 1959, scopre quello che chiamerà bombicolo, l'attrattivo sessuale di *Bombyx mori* L. (Lepidoptera, Bombycidae), il baco da seta (Butenandt et al., 1959). Nello stesso anno il suo collega Karlson formulerà per la prima volta il termine feromone per definire un attrattivo sessuale negli insetti (Karlson e Lüscher, 1959). Questo primo successo nell'identificazione di un feromone di insetto attivò una serie di virtuose collaborazioni fra chimici e biologi; i primi erano stimolati dalla disponibilità di nuovi strumenti e tecniche per l'isolamento e la determinazione della struttura dei composti organici, i secondi dal fascino di studiare il comportamento degli insetti utilizzando le molecole messe a loro disposizione dai chimici. Si intravvide così la possibilità di poter finalmente concretizzare l'idea che fu di Götz, vale a dire interferire sul normale comportamento degli insetti utilizzando le stesse sostanze che lo regolano in natura, controllando così gli insetti fitofagi senza causare danni all'ambiente (Silverstein, 1990). Sulle ali dell'entusiasmo e della nuova consapevolezza dei danni causati dai fitofarmaci (Carson, 1962) fioriscono le ricerche e le applicazioni empiriche di queste nuove molecole sia nell'ambito del monitoraggio che del controllo diretto. L'uso dei feromoni nel monitoraggio degli insetti fornisce informazioni strategiche per la gestione delle problematiche fitoiatriche; esso rappresenterà da questo momento in poi uno strumento strategico per l'implementazione del concetto di lotta integrata che si stava formulando proprio in quel periodo (FAO, 1965). Nel decennio successivo si identificano i feromoni di una ventina di insetti; tale numero salirà a circa 200 nel corso degli anni settanta e a più di 1000 alla fine degli anni '80. Nonostante questi risultati e le energie profuse in tale ambito, i progressi ottenuti furono

inferiori alle aspettative. Come ebbe a dire molto più tardi Shorey nella sua prefazione al convegno sul tema tenutosi in Italia nel 1975 «l'identificazione e la sintesi di un feromone non è che l'inizio» (Shorey e McKelvey, 1997). Molti altri aspetti devono essere conosciuti prima che questo prezioso strumento sia efficace nel monitoraggio e nel controllo dei fitofagi. Si avverte già allora la carenza di conoscenza relativamente a come l'insetto usi in natura questa informazione chimica e se, e come, sia possibile interferire sul suo comportamento manipolandolo a nostro vantaggio. È proprio nel confrontarci con quest'ultimo obiettivo che le carenze di conoscenza apparvero evidenti anche a coloro che empiricamente avevano tentato di mettere a punto dei sistemi di lotta basati sull'uso dei feromoni. Il maschio, in genere, trova la partner seguendo una scia odorosa emessa dalla femmina vergine nel periodo di richiamo; si era ipotizzato, quindi, di diffondere nell'atmosfera della coltura una certa quantità di feromone sintetico al fine di "confondere" i maschi nella loro ricerca della femmina. In questo modo si sarebbe evitato o ritardato l'accoppiamento, annullando o riducendo il potenziale riproduttivo della specie bersaglio. I meccanismi alla base del funzionamento non erano (e non lo sono tuttora) perfettamente compresi, ma si ipotizzava (Bartell, 1982) che potessero basarsi su tre diverse modalità d'azione:

1. adattamento dei recettori antennali e del sistema nervoso centrale per la presenza di elevate quantità di feromone;
2. camouflagage o, altrimenti detto, mascheramento della scia feromonica;
3. falsa-traccia o disorientamento, vale a dire competizione fra sorgenti naturali e artificiali.

La relativa importanza di questi tre modi d'azione e il loro ruolo nel determinare la confusione sessuale è stata discussa a lungo da diversi autori. Secondo Bartell (1982) il meccanismo prevalente dipenderebbe dalla tecnica di distribuzione del feromone, mentre per Campion (1986) a livello di campo potrebbe verificarsi una combinazione dei tre meccanismi; infine, secondo Weatherston (1990) i tre meccanismi agirebbero in maniera sequenziale in funzione delle diverse condizioni ambientali o modalità applicative. Più recentemente è stato dimostrato che il meccanismo prevalente è anche dipendente dalla specie (Miller et al., 2006).

A fianco di incoraggianti successi ottenuti dal metodo sono stati segnalati frequenti casi di inefficacia che hanno minato l'entusiasmo di sperimentatori e agricoltori. I limiti di conoscenza segnalati da Shorey (Shorey e McKelvey,

1997) sono ancora largamente irrisolti alla fine degli anni '80. A quelli relativi all'inadeguatezza della conoscenza del comportamento e dei sistemi di comunicazione chimica fra gli insetti, Silverstein (1990) aggiunge anche quelli relativi alle condizioni bio-ecologiche (elevata densità di popolazione, immigrazione dall'esterno) e ai sistemi e modalità di distribuzione del feromone nella coltura da proteggere (scarsa qualità delle formulazioni, errato timing d'applicazione).

Nel frattempo il progresso tecnologico ha comunque messo a disposizione nuovi strumenti di indagine e nuovi materiali che hanno permesso, se non di risolvere interamente le problematiche relative al controllo dei fitofagi con l'uso dei feromoni, almeno di ampliare il nostro livello di conoscenza ponendo le basi per una loro vasta applicazione.

IL PRESUPPOSTO: LA COMPrensIONE DEI SISTEMI DI COMUNICAZIONE CHIMICA FRA GLI INSETTI

Le basi per comprendere i meccanismi reconditi della comunicazione chimica fra gli insetti furono poste ancora in quegli straordinari anni '50 e di nuovo presso il Max Planck Institute. Due anni prima che Butenandt identificasse il primo feromone, un suo collega, Dietrich Schneider, mise a punto una tecnica che permise di iniziare a comprendere la fisiologia della percezione olfattiva. Su sollecitazione di Karlson, impegnato nell'identificazione del bom-bicolo, Schneider realizzò un apparecchio che avrebbe dovuto provare, attraverso un test elettrofisiologico, l'efficacia delle frazioni analitiche saggiate. Lo strumento messo a punto da Schneider prevedeva di isolare un'antenna, montarla fra due elettrodi, investirla con uno stimolo odoroso e misurare attraverso un oscilloscopio la variazione di potenziale elettrico. La risposta così misurata venne chiamata elettroantennogramma (EAG) (Schneider, 1957). Questa strumentazione, perfezionata in seguito dall'allora suo allievo Karl-Ernst Kaissling, aprì un nuovo campo di studio che venne chiamato ecologia chimica (chemical ecology). Fu infatti possibile, mediante l'approccio elettrofisiologico, comprendere che gli insetti non percepivano solo i feromoni emessi dai loro partner sessuali, ma anche una miriade di altri stimoli odorosi presenti nell'ecosistema da loro occupato. In effetti essi popolano un universo ricco di stimoli chimici, provenienti da individui della stessa specie e dall'ambiente in generale, che li orientano nei due principali processi della vita: riproduzione ed alimentazione (Witzgall et al., 2008). I vantaggi legati all'uso di segnali chimici per la comunicazione dipendono dal fatto che pos-

sono essere utilizzati al buio, che possono viaggiare in presenza di ostacoli senza subire alterazioni, che si prestano come marcatori, che possono essere veicolati a lunga distanza dal vento o dall'acqua senza ulteriore apporto energetico e che possono essere molto specifici (Howse et al., 1998). All'insieme delle sostanze chimiche coinvolte nella comunicazione venne dato il nome di semiochimici. Questo insieme di sostanze è stato a sua volta suddiviso in diverse categorie in funzione del rapporto intercorrente fra i soggetti coinvolti nella comunicazione. Furono pertanto individuati come feromoni i soli messaggeri chimici che vengono utilizzati da individui della stessa specie, mentre fra i messaggeri interspecifici (allelchimici) si distinsero i cairomoni, quando gli stimoli olfattivi determinano un beneficio per l'organismo destinatario del messaggio, dagli allomoni nel caso in cui le sostanze chimiche avvantaggiano l'individuo che le emette (Brown et al., 1970; Whittaker e Feeny, 1971). Queste nuove acquisizioni, oltre a colmare una grave carenza di conoscenza sui sistemi di comunicazione chimica, permisero di sviluppare o di ipotizzare nuove tecniche di monitoraggio e controllo.

I semiochimici emessi dalle piante sono in grado di produrre un'ampia gamma di risposte comportamentali negli insetti. Le sostanze volatili emesse dalle piante si aggiungono ai feromoni nel modellare il comportamento riproduttivo degli insetti. Alcuni insetti producono e rilasciano feromoni in risposta a specifici stimoli della pianta ospite e le sostanze chimiche della pianta ospite spesso inducono una risposta sinergica al feromone degli insetti. Esse, a differenza dei feromoni, agiscono su entrambi i sessi in quanto entrambi interessati a trovare la pianta ospite, la femmina perché deve deporre le uova in prossimità della futura fonte alimentare della prole, il maschio per identificare il sito dove è più probabile l'incontro con la femmina (Witzgall et al., 2008). Indagini elettrofisiologiche sulla percezione olfattiva periferica hanno permesso di evidenziare, oltre alle note cellule olfattive specifiche per la percezione di feromoni o cairomoni, anche l'esistenza di neuroni olfattivi in grado rispondere contemporaneamente alla sollecitazione di stimoli feromonal e cairomonali (De Cristofaro et al., 2004; Ansebo et al., 2005). È forse per questo motivo che l'aggiunta di sostanze cairomonali emesse dalla pianta ospite a componenti sintetici del feromone sessuale può indurre un effetto sinergico (Landolt e Phillips, 1997). Questa caratteristica è stata sfruttata per migliorare il potere attrattivo degli inneschi per il monitoraggio (Light et al., 1993). Sono inoltre in corso sperimentazioni per utilizzare questo effetto sinergico per migliorare il potere attrattivo dei diffusori utilizzati nel controllo diretto di quelle specie in cui il meccanismo d'azione della confusione sessuale è prevalentemente di tipo competitivo (disorientamento). Siccome

tali sostanze sono degli efficaci attrattivi anche per le femmine, sono stati sviluppati dei particolari inneschi in grado di catturare femmine (Schmidt et al., 2007) che hanno reso molto più affidabile l'informazione proveniente dall'attività di monitoraggio ai fini dell'identificazione del corretto momento per l'esecuzione dei trattamenti insetticidi (Schmidt et al., 2006). Sono state inoltre realizzate delle sperimentazioni preliminari nelle quali si è dimostrata la possibilità di interferire, mediante trattamenti con caïromoni, sulla corretta localizzazione dei siti di ovideposizione da parte delle femmine (Pasqualini et al., 2005a) e sul meccanismo di localizzazione dei frutti da parte di larve carpofaghe (Pasqualini et al., 2005b; Schmidt et al., 2008).

I semiochimici di origine vegetale, infine, possono avere anche un'azione inibitoria o repellente che interrompe la risposta dell'insetto al feromone, ed anche in tal caso possono giocare un ruolo le cellule olfattive stimolate da entrambi i tipi di composto (De Cristofaro et al., 2004; Ansebo et al., 2005), oppure attirare predatori e/o parassitoidi che attaccano i fitofagi dopo che questi hanno causato danni alla pianta (Reddy e Guerrero, 2004).

LA SINTESI SCIENTIFICA E TECNOLOGICA: LO SVILUPPO DELLE FORMULAZIONI

Lo sviluppo di sistemi di distribuzione dei semiochimici che soddisfacessero al contempo i requisiti chimici, biologici e agronomici necessari per garantire un efficace controllo del fitofago ha richiesto parecchi anni. Le sostanze feromonalı sono spesso dei composti chimici molto instabili, soggetti facilmente ad ossidazione, isomerizzazione e fotodegradazione che determinano la perdita del loro potere attrattivo. Per molto tempo la ricerca si è dedicata alla messa a punto di formulazioni che assicurassero allo stesso tempo la stabilità chimica del feromone e la costanza di emissione, unitamente ad una persistenza adeguata a coprire l'intero periodo di attività sessuale del fitofago. Dopo le prime esperienze effettuate con sistemi artigianali (Ioriatti et al., 1987; Ioriatti e Vita, 1989) l'interessamento dell'industria ha consentito di mettere a punto rapidamente dei sistemi in grado di soddisfare efficacemente i requisiti richiesti. Il problema è stato affrontato con due diversi approcci:

1. sistemi in grado di diffondere quantità rilevanti di feromone da un limitato numero di erogatori per ettaro;
2. sistemi di diffusione del feromone che tendenzialmente avrebbero dovuto simulare le quantità emesse dalle femmine.

Nel primo caso si tratta sostanzialmente di matrici di diversa natura impregnate di attrattivo (Ecodian, Isagro; Ecotape, Certis; Checkmate, Concep; Cidetrak, Trece; ecc.), oppure di diffusori detti “a serbatoio” dai quali l’attrattivo, permeando attraverso le pareti, è emesso nell’atmosfera della coltura (Isonet, Shin-Etsu/CBC; RAK, Basf). Le tipologie attualmente più utilizzate a livello mondiale sono gli erogatori in polietilene a spaghetto Isonet e gli erogatori a doppia ampolla RAK, i quali sono risultati essere la soluzione che meglio soddisfa i requisiti richiesti in termini di stabilità chimica dell’attrattivo, costanza di emissione dall’erogatore e persistenza nel tempo (Rizzi et al., 2008). In tutti i casi gli erogatori sono applicati manualmente in ragione di 500-2000 unità per ettaro in funzione della tipologia. Il meccanismo sul quale si basa l’efficacia dei diffusori è ritenuto essere prevalentemente l’attrazione competitiva (Miller et al., 2006) e la concentrazione di feromone nell’atmosfera della coltura conseguibile con l’applicazione di 100 g di feromone/ha/stagione è stimata essere dell’ordine di 1 ng/mc (Koch et al., 1997). Lo svantaggio di queste formulazioni consiste nel fatto che il feromone emesso nel corso della giornata risulta per lo più inefficace ai fini del controllo degli accoppiamenti, i quali si verificano solo in specifiche ore del giorno. A questo si aggiungono i costi di applicazione che, qualora la coltura abbia una certa estensione, possono rappresentare un fattore limitante. Una possibile soluzione a queste problematiche è rappresentata dall’uso di diffusori temporizzati collocati nella coltura in numero di qualche unità per ettaro ed in grado di diffondere l’attrattivo solo nelle ore nelle quali effettivamente è necessario. Questi erogatori, chiamati “puffers”, sono collocati lungo il perimetro dell’appezzamento e rilasciano, nel caso del controllo della carpocapsa delle mele, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae), 250 mg/ha/giorno riuscendo ad assicurare concentrazioni di feromone nell’aria fino a 60 ng/mc (Shorey e Gerber, 1996). Un’altra possibile soluzione per ridurre il tempo di applicazione è stata perseguita con la messa a punto di formulazioni microincapsulate distribuibili sulla vegetazione con i normali atomizzatori o con mezzi aerei. Attualmente questo approccio è purtroppo limitato dalla ridotta persistenza, dalla notevole perdita per dilavamento in caso di pioggia e dalla fotodegradazione, che impone di ripetere il trattamento più volte nel corso della stagione.

L’approccio che prevedeva la messa a punto di micro-erogatori tali da simulare la femmina in richiamo ha dato eccellenti risultati a metà degli anni ’70, quando fu proposto l’impiego di microfibre cave (hollow fiber) ciascuna caricata con piccole quantità di feromone e resa adesiva da un collante,

che venivano distribuite sulla vegetazione in grandi quantità. Il meccanismo d'azione in questo caso è chiaramente l'attrazione competitiva fra la sorgente naturale e quella equivalente costituita dal microerogatore. Le sperimentazioni, malgrado avessero dato risultati interessanti, furono abbandonate per le difficoltà tecniche incontrate nella distribuzione, per la scarsa persistenza e per l'imbrattamento della coltura (Witzgall et al., 2008). Gli stessi presupposti stimolarono la messa a punto di un'altra tecnica denominata *Attract and Kill* (Ioriatti e Angeli, 2002). In questo caso l'attrattivo era miscelato ad un insetticida abbattente in una pasta che veniva applicata manualmente sulla chioma in ragione di qualche migliaio di punti/ha di frutteto. L'insetto in parte subiva l'attrazione competitiva delle gocce e in parte, qualora fosse venuto a contatto con le gocce, sarebbe stato ucciso dall'azione dell'insetticida. Anche in tal caso la ridotta persistenza e i prolungati tempi di applicazione erano tali da determinare un forte limite alla sua applicazione generalizzata nelle colture commerciali.

Rimanendo nell'ambito dei diffusori "female-equivalent", come sono definiti dai colleghi anglosassoni, si stanno studiando dei sistemi che facilitino la distribuzione delle sorgenti attrattive. L'approccio è alquanto innovativo e per il momento ancora in fase di studio. Si sta infatti valutando la possibilità di distribuire le sorgenti attrattive avvalendosi degli insetti stessi, i quali, opportunamente "contaminati" d'attrattivo lo veicolerebbero nella coltura, divenendo essi stessi delle sorgenti di attrazione. A tal proposito si è proposto di imbrattare i maschi con l'attrattivo della femmina della stessa specie (auto-confusione) (Howse et al., 2007) o addirittura maschi e femmine di specie affini (*ménage a trois*) (Suckling et al., 2007).

Nel primo caso si fa uso di particelle inerti (tecnologia *EsoSex*) che hanno la caratteristica di aderire elettrostaticamente alla cuticola degli artropodi. Il fitofago è attirato all'interno di una stazione di contaminazione dove si sporca con questa polvere miscelata al feromone sessuale. Gli studi preliminari su questa nuova tecnologia sembrano indicare che il meccanismo d'azione coinvolto nel determinare l'efficacia sia riconducibile all'affaticamento sensoriale, all'inibizione del corteggiamento e alla dilazione dell'accoppiamento. La stessa tecnologia è stata utilizzata per verificare la possibilità di disseminare nell'ambiente attraverso gli insetti (*carriers*) insetticidi di sintesi o biologici (auto-disseminazione).

Nel secondo caso, il metileugenolo, un attrattivo efficace sui maschi di alcune specie di mosche della frutta (Diptera, Tephritidae), viene applicato sugli individui di una specie affine che andranno a costituire una sorgente mobile di attrattivo sintetico. Il concetto, che è stato per il momento solo

abbozzato in prove del tutto preliminari, potrebbe trovare utile applicazione laddove si potesse disporre di attrattivi potenti (feromoni) da applicare a specie affini non dannose o ad ibridi sterili.

Parallelamente al progresso compiuto nella predisposizione di sistemi di distribuzione affidabili si sono affrontate anche le problematiche legate alle corrette modalità di applicazione in campo che soddisfacessero i requisiti imposti dal contesto bioecologico in cui si opera. Le difficoltà connesse con la gestione di elevate densità di popolazione del fitofago, le difficoltà di controllare la potenziale immigrazione dall'esterno degli insetti, nonché la necessità di contrastare la diluizione della concentrazione del feromone nell'atmosfera della coltura operata dai movimenti dell'aria, hanno per molti anni stimolato l'attenzione e l'impegno degli sperimentatori di campo. La soluzione fu trovata quando si passò da una applicazione su superfici di limitata estensione all'applicazione su scala territoriale. Esempi in tal senso sono presenti negli stati orientali degli USA con il progetto CAMP per il controllo della carpocapsa, l'esperienza altoatesina per il controllo dello stesso carpofo e quella trentina per il controllo delle tignole della vite (Calkins et al., 2003; Ioriatti et al., 2004; Waldner, 2005). In tutti questi casi la superficie trattata è di diverse migliaia di ettari (dai circa 10.000 del Trentino ai 18.000 dell'Alto-Adige, ai 48.000 degli USA). Il trattamento di ampie superfici contigue ha consentito di migliorare la diffusione del feromone nell'atmosfera, mantenendo stabile la sua concentrazione e minimizzando i danni lungo i bordi dell'area trattata, normalmente esposti all'attacco causato dall'immigrazione di insetti dall'esterno. La gestione coordinata su area territoriale ha consentito un graduale ridimensionamento dell'uso di insetticidi (inizialmente applicati in combinazione con la lotta con semiochimici), pur mantenendo una densità di popolazione compatibile con il metodo della confusione. Se il monitoraggio degli insetti mediante le trappole a feromoni ha rappresentato una colonna portante della lotta integrata, così l'uso dei feromoni per il controllo diretto dei fitofagi costituisce spesso l'occasione e il presupposto per l'applicazione del concetto di gestione della difesa delle colture su scala territoriale (Rabb, 1977; Koul et al., 2008). Con questo approccio la superficie trattata con semiochimici per il controllo diretto dei fitofagi è rapidamente cresciuta e attualmente ha superato i 600.000 ettari a livello mondiale (tab. 1).

In questo contesto appare ancora più evidente quanto sia importante investire su modalità di distribuzione del feromone che riducano i tempi di applicazione, ma forse ancora più importante è poter disporre di tecnologie innovative per il monitoraggio automatico che ci diano un costante aggior-

FITOFAGO	COLTURA	AREA (HA)	PRINCIPALI PAESI*
<i>Pectinophora gossypiella</i>	cotone	55.000	USA, IL, MEX, E
<i>Cydia pomonella</i>	melo, pero, noce	155.000	USA, I, F, SA, RA., AUS
<i>Grapholitha molesta</i>	pesco, melo susino	58.000	USA, AUS, I, ZA
<i>Lobesia botrana</i>	vite	50.000	D, I, E, CH, F, A, P
<i>Eupoecilia ambiguella</i>	vite	56.000	D, I, CH, A
<i>A. orana</i> , <i>P. heparana</i> , <i>A. lyngiana</i> etc.	fruttiferi, tea	15.000	J, USA, I
<i>S. myophaformis</i> , <i>S. tipuliformis</i> , etc.	fruttiferi, ribes	10.000	USA, NZ, J
<i>Keiferia lycopersicella</i>	pomodoro	10.000	J, MEX
<i>Zeuzera pyrina</i>	pero, olivo	3.000	E, P, I
<i>Chilo suppressalis</i>	riso	2.000	E
<i>Lymantria dispar</i>	forestali	200.000	USA
Altri		27.000	J, USA, CDN, ZA
Totale superficie (ha)		641.000	

Tab. 1 Superficie mondiale trattata con semiochimici per il controllo dei fitofagi (dati 2006) (modificata da Veronelli; Congresso Italiano di Entomologia, 2007)

*Argentina, RA; Austria, A; Canada, CDN; Francia, F; Giappone, J; Israele, IL; Italia, I; Messico, MEX; Nuova Zelanda, NZ; Spagna, E; Stati Uniti d'America, USA; Svizzera, CH; Sud Africa, ZA

namento della situazione in essere (Waldner, 2005; Witzgall et al., 2008). Questi sistemi di lotta preventiva infatti esigono una costante opera di sorveglianza che viene realizzata mediante l'uso di trappole sessuali distribuite nelle aree trattate che devono essere sistematicamente controllate al fine di allertare gli operatori non appena si verifichi un segnale di inefficacia del metodo.

RINGRAZIAMENTI

Un vivo ringraziamento a tutti i colleghi che da anni condividono con me l'interesse e l'attività di ricerca su questo argomento a me tanto caro. Un ringraziamento particolare al Prof. Antonio De Cristofaro (UNIMOL), al Dott. Andrea Lucchi (UNIP) e al Dott. Gianfranco Anfora (FEM-IASMA) per il loro prezioso contributo nella revisione critica di questo manoscritto.

RIASSUNTO

La scoperta che la comunicazione negli insetti è mediata principalmente da sostanze chimiche ha consentito di pensare ad una possibile utilizzazione delle stesse per il controllo delle infestazioni nelle colture agrarie e forestali. Ciò si è potuto concretizzare a seguito dell'identificazione e della sintesi dei feromoni, ma soprattutto dopo aver compreso i meccanismi che regolano la comunicazione negli insetti e aver messo a punto adeguate

formulazioni per la diffusione dei semiochimici nell'atmosfera delle colture. Grande impulso all'applicazione di questa tecnologia, che oggi interessa oltre 600.000 ettari a livello mondiale, è stato dato dall'implementazione del concetto di gestione territoriale della difesa delle colture. Un ulteriore sostegno alla sua diffusione potrà verificarsi con la messa a punto di sistemi agili per la sorveglianza capillare del territorio.

ABSTRACT

Since when we have known that communication among insects is mediated by chemicals, we began to speculate on the possible use of the same compounds in the integrated pest management. That was actually possible with the chemical identification and synthesis of the insect pheromones, the definition of their chemical communication systems and the development of adequate pheromone formulations. The great success of the semiochemical based mating disruption, that nowadays accounts for more than 600,000 ha worldwide, was achieved thanks to the area wide pest management approach. A wider implementation of semiochemical tools in the pest control could be possible if easy, reliable and automated devices for the area wide surveillance will be available.

BIBLIOGRAFIA

- ANSEBO L., IGNELL R., LÖFQVIST J., HANSSON B. (2005): *Responses to sex pheromone and plant odours by olfactory receptor neurons housed in sensilla auricillica of the codling moth, Cydia pomonella (Lepidoptera: Tortricidae)*, «J. Insect Physiol.», 51, pp. 1066-1074.
- ARN H. (1990): *Pheromones: prophecies, economics, and the ground swell*, in *Behaviour-modifying chemicals for insect management: applications of pheromones and other attractants*, a cura di R.L. Ridgway, R.M. Silvertein, M.N. Inscoc, Marcel Dekker Inc., New York, pp. 717-722.
- BARTELL R.J. (1982): *Mechanisms of communication disruption by pheromone in the control of Lepidoptera: a review*, «Physiol. Entomol.», 7, pp. 353-364.
- BROWN W.L., EINNER T., WHITTAKER R.H. (1970): *Allomones and kairomones: transpecific chemical messengers*, «BioScience», 20, pp. 21-22.
- BUTENANDT A., BECKMANN R., STAMM D., HECKER E. (1959): *Über den Sexuallockstoff des Seitenspinners Bombyx mori. Reindarstellung und Konstitution*, «Z. Naturforsch.», 14b, pp. 283-284.
- CALKINS C.O., FAUST R.J. (2003): *Overview of areawide programs and the program for suppression of codling moth in western USA directed by the United States department of Agriculture – Agricultural research service*, «Pest Manag. Sci.», 59, pp. 601-604.
- CAMPION D.G. (1986): *Survey of pheromone uses in pest control*, in *Techniques in pheromone research*, a cura di H.E. Hummel e T.A. Miller, Springer Verlag, New York, pp. 405-449.
- CARSON R. (1962): *Silent spring*, Houghton Mifflin, Boston.
- DE CRISTOFARO A., IORIATTI C., PASQUALINI E., ANFORA G., GERMINARA G.S., VILLA M., ROTUNDO G. (2004): *Electrophysiological responses of Cydia pomonella to codlemone and pear ester ethyl (E,Z)-2,4-decadienoate: peripheral interactions in their perception and*

- evidences for cells responding to both compounds, «Bulletin of Insectology», 57, 2, pp. 137-144.
- FABRE J.H. (1879): *Souvenirs Entomologiques*, Delagrave, Paris.
- FAO (1965): *Proceeding FAO symposium on integrated pest control*, Roma.
- FOREL A. (1910): *Das Sinnesleben der Insekten*, Reinhard, München.
- GÖTZ B. (1940): *Sexualduftstoffe als Lockmittel in der Schädlingsbekämpfung*, «Umschau», 44, pp. 794-796
- HOWSE P., STEVENS I., OWEN J. (1998): *Insect pheromones and their use in pest management*, Chapman and Hall, London.
- HOWSE P., ARMSWORTH C. BAXTER I. (2007): *Autodissemination of Semiochemicals and Pesticides: a New Concept Compatible with the Sterile Insect Technique*, in *Area-Wide Control of Insect Pests From Research to Field Implementation*, a cura di M. J. B. Vreysen, A. S. Robinson and J. Hendrichs, Springer, Netherlands, pp. 275-281.
- IORIATTI C., CHARMILLOT P.J., BLOESCH B. (1987): *Etude des principaux facteurs influençant l'émission d'attractifs sexuels synthétiques a partir de diffuseurs en caoutchouc et en plastique*, «Entomologia Experimentalis et Applicata», 44, pp. 123-130.
- IORIATTI C., VITA G. (1989): *Resultats preliminaires d'un essai de lutte par confusion sexuelle contre le vers de la grappe (L. botrana Schiff) dans un vignoble du Trentino*, «IOBC/WPRS Bulletin» 23, 7, pp. 80-84.
- IORIATTI C., ANGELI G. (2002): *Evaluation of an Attract an Kill formulation to control Cydia pomonella L. (Lepidoptera: Tortricidae)*, «IOBC/WPRS Bulletin», 25, 9, pp. 129-136.
- IORIATTI C., BAGNOLI B., LUCCHI A., VERONELLI V. (2004): *Vine moths control by mating disruption in Italy: results and future prospects*, «Redia», 87, pp. 117-128.
- KARLSON P., LÜSCHER M. (1959): *Pheromone, ein Nomenklatur-vorschlag für ein Wirkstoffklasse*, «Naturwissenschaften», 46, 63-64.
- KOCH U.T., LÜDER W., CLEMENZ S., CHICON L.I. (1997): *Pheromone measurements by field EAG in apple orchards*, «IOBC/WPRS Bulletin», 20, 1, pp. 181-190.
- KOUL O., CYPERUS G.W., ELLIOT N. (2008): *Areawide Pest Management: theory and implementation*, CABI, p. 590
- LANDOLT P.J., PHILLIPS T.W. (1997): *Host-plant influences on sex pheromone behaviour of phytophagous insect*, «Annu. Rev. Entomol.», 42, pp. 371-391.
- LIGHT D.M., FLATH R. A., BUTTERY R.G., ZALOM F.G., RICE R.E., DICKENS J.C., JANG E.B. (1993): *Host-plant green-leaf volatiles synergize the synthetic sex pheromones of the corn earworm and codling moth (Lepidoptera)*, «Chemoecology», 4, pp. 145-152.
- MILLER J.R., GUT L.J., DE LAME F.M., STELINSKY L.L. (2006): *Differentiation of competitive vs. non-competitive mechanisms mediating disruption of moth sexual communication by point sources of pheromone (part 2): case studies*, «J. Chem. Ecol.», 32, pp. 2115-2143.
- PASQUALINI E., SCHMIDT S., ESPÍÑA I., CIVOLANI S., DE CRISTOFARO A., MOLINARI F., VILLA M., LADURNER E., SAUPHANOR B., IORIATTI C. (2005a): *Effects of the kairomone ethyl (2E-4Z)-2,4-decadienoate (DA 2313) on the oviposition behaviour of Cydia pomonella: preliminary investigations*, «Bulletin of Insectology», 58, 2, pp. 119-124.
- PASQUALINI E., VILLA M., CIVOLANI S., ESPINHA I., IORIATTI C., SCHMIDT S., MOLINARI F., DE CRISTOFARO A., SAUPHANOR B., LADURNER E. (2005b): *The pear ester ethyl (E,Z)-2,4-decadienoate as a potential tool for the control of Cydia pomonella larvae: preliminary investigation*, «Bulletin of Insectology», 58, 1, pp. 65-69.
- RABB R.L. (1978): *A sharp focus on insect populations and pest management from a wide-area view*, «ESA Bulletin», 24, 1, pp. 55-61.

- REDDY G.V.P., GUERRERO A. (2004): *Interactions of insect pheromones and plant semi-chemicals*, «TRENDS in Plant Science», 9, 5, pp. 253-261.
- RIZZI C., ANFORA G., ANGELI G., IORIATTI C. (2008): *Per la confusione sessuale decisiva la durata dei dispenser*, «L'Informatore Agrario», 18, pp. 56-61.
- SCHMIDT S., ANFORA G., DE CRISTOFARO A., MATTEDI L., MOLINARI F., PASQUALINI E., IORIATTI C. (2006): *(2E, 4Z)-2,4-decadienoato di etile (derivato del pero): un nuovo strumento per il monitoraggio delle femmine di Cydia pomonella L. (Lepidoptera Tortricidae)*, «Informatore Fitopatologico», 5, pp. 17-24.
- SCHMIDT S., ANFORA G., GERMINARA G.S., IORIATTI C., ROTUNDO G., DE CRISTOFARO A. (2007): *Biological activity of ethyl (E,Z)-2,4-decadienoate on different tortricid species: electrophysiological responses and field tests*, «Environ. Entomol.», 36, 5, pp. 1025-1031.
- SCHMIDT S., TOMASI C., PASQUALINI E., IORIATTI C. (2008): *Activity of a kairomonal spray adjuvant formulation, DA-MEC, on the biological efficacy of Cydia pomonella Granulovirus in laboratory and field efficacy experiments*, «J. Pest Sci.», 81, 1, pp. 29-34.
- SCHNEIDER D. (1957): *Elektrophysiologische Untersuchungen von Chemo-und Mechano-rezeptoren der Antenne des Seidenspinners Bombyx mori*, «Z. Vergl. Physiol.», 40, pp. 8-41.
- SCHNEIDER D. (1992): *100 Years of pheromone research*, «Naturwissenschaften», 79, pp. 241-250.
- SILVERSTEIN R.M. (1990): *Practical use of pheromone and other behaviour-modifying compound: overview*, in *Behaviour-modifying chemicals for insect management: applications of pheromones and other attractants*, a cura di R.L. Ridgway, R.M. Silverstein, M.N. Inscoe, Marcel Dekker Inc., New York, pp. 1-8.
- SHOREY H.H., GERBER R.G. (1996): *Use of puffers for disruption of sex pheromone communication of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in walnut orchards*, «Environ. Entomol.», 25, pp. 1398-1400.
- SHOREY H.H., MCKELVEY J.J. (1997): *Chemical Control of insect behaviour*, John Wiley & Sons, New York.
- SUCKLING D.M., JANG E.B., CARVALHO L.A., NAGATA J.T., SCHNEIDER E.L., EL-SAYED A.M. (2007): *Can ménage-a-trois be used for controlling insects?*, «J. Chem. Ecol.», 33, pp. 1494-1504.
- WALDNER W. (2005): *Constant monitoring enhances the success of pheromones in IFP*, «IOBC/WPRS Bulletin», 28, 7, pp. 277-281.
- WEATHERSTON I. (1990): *Principles of design of controlled-release formulations*, in *Behaviour-modifying chemicals for insect management: applications of pheromones and other attractants*, a cura di R.L. Ridgway, R.M. Silverstein, M.N. Inscoe, Marcel Dekker Inc., New York, pp. 183-192.
- WHITTAKER R.H., FEENY P. (1971): *Allelochemicals: chemical interactions between species*, «Science», 171, p. 757.
- WITZGALL P., STELINSKI L., GUT L., THOMSON D. (2008): *Codling moth management and chemical ecology*, «Annu. Rev. Entomol.», 53, pp 503-522.

