



Salvatore Germinara^a, Marco Pistillo^a,
Ilaria D'Isita^a, Giuseppe Rotundo^b

^aDipartimento di Scienze Agrarie, Alimenti, Risorse Naturali e Ingegneria
Università degli Studi di Foggia

^bDipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti
Università degli Studi del Molise
giacinto.germinara@unifg.it

I SEMIOCHIMICI NEL CONTROLLO SOSTENIBILE DEGLI INSETTI

I semiochimici (feromoni e allelochimici) sono sostanze naturali che regolano vari aspetti della vita di relazione degli insetti modulando, principalmente, il loro comportamento. Si riportano brevemente le tecniche di indagine per la caratterizzazione chimica e biologica di tali composti e si descrivono le principali applicazioni pratiche. I semiochimici rappresentano una componente fondamentale dei programmi di controllo biologico e integrato di insetti dannosi, in linea con gli obiettivi UE di sicurezza alimentare e di sostenibilità ambientale.



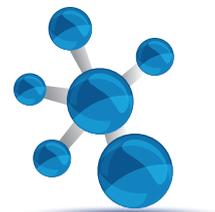
Il controllo degli insetti dannosi

Sin dalle origini dell'agricoltura, circa 10.000 anni fa, l'uomo ha dovuto proteggere le produzioni agricole dalla competizione di microrganismi patogeni e di animali e piante infestanti. Gli insetti, principalmente con la loro attività trofica e di ovideposizione, possono essere causa di danni diretti, rappresentati dalla riduzione delle quantità prodotte, e indiretti, dovuti a trasmissione di agenti patogeni, diffusione di microrganismi produttori di micotossine, alterazioni delle caratteristiche organolettiche e nutrizionali, contaminazione biologica degli alimenti con esuvie ed escrementi.

La protezione delle colture dagli attacchi degli insetti è stata caratterizzata, a partire dal secondo dopo-

guerra, da un uso intensivo e spesso irrazionale di insetticidi di sintesi quali clororganici, esteri fosforici e carbammati che, in pochi decenni, hanno manifestato i loro effetti negativi per l'insorgenza di ceppi resistenti nelle popolazioni trattate e conseguente perdita di efficacia, alterazioni degli equilibri naturali, bioaccumulo lungo le catene trofiche con inquinamento ambientale e rischi per la salute umana.

La crescente attenzione posta dall'opinione pubblica verso problematiche ambientali e per il consumo di alimenti sani e sicuri sta determinando, da diversi anni, una profonda evoluzione dei mezzi e delle strategie di difesa, passate dalla lotta chimica indiscriminata o "a calendario" a metodi di controllo biologico e integrato che mirano a ridurre l'impatto della chimica di sintesi in agricoltura. Entrambi questi metodi si basano su un attento monitoraggio dei parassiti al fine di valutare, sulla base di opportune soglie d'intervento, la convenienza economica ad adottare le misure di controllo e per individuare il momento più opportuno per la loro applicazione. Il controllo integrato, prevede l'impiego prioritario di mezzi di lotta a basso impatto (agronomici, microbiologici, semiochimici, lotta autocida, uso di piante resistenti) e, secondariamente, di insetticidi di sintesi con caratteristiche di selettività nei confronti degli organismi non bersaglio e utili (es. nemici naturali e



impollinatori). Il controllo biologico, invece, esclude completamente l'impiego di insetticidi di sintesi per la protezione delle colture.

Notevole impulso alle nuove tendenze nel controllo degli insetti dannosi è stato dato dalla revisione europea delle molecole attive (Direttiva CEE 91/414) che ha determinato una drastica riduzione nel numero di molecole ammesse e dal D.L. n. 150 del 14 agosto 2012 che ha recepito la Direttiva UE 128/2009 relativa a "Uso sostenibile degli agrofarmaci", rendendo obbligatoria l'adozione dei principi della difesa integrata.

Il *Green Deal*, dichiarato dalla Commissione Europea per i prossimi anni, prevede una serie di misure per rendere più sostenibili la produzione di energia e lo stile di vita dei cittadini, trasformando le problematiche climatiche e le sfide ambientali in opportunità di crescita per tutti i settori produttivi, agricoltura compresa. A tal proposito, il piano d'azione comprende una sezione specifica, "Farm to Fork", in cui è previsto l'aumento di pratiche sostenibili, come l'agricoltura biologica, e una significativa riduzione dell'uso di input chimici di sintesi, al fine di progettare una filiera alimentare sicura e rispettosa dell'ambiente.

Va evidenziato, inoltre, che i nuovi metodi di difesa sostenibile dovranno contribuire efficacemente ad accrescere la disponibilità di cibo per soddisfare i fabbisogni alimentari di una popolazione mondiale in costante aumento e che tale sfida è resa ancora più difficile dall'intensificazione degli scambi commerciali e dai cambiamenti climatici in atto che favoriscono rispettivamente la diffusione e l'insediamento di specie aliene invasive in nuove aree del globo [1, 2].

I semiochimici degli insetti

In tale contesto, lo studio dei semiochimici (dal greco *semeion* = segnale), sostanze chimiche segnale coinvolte nella comunicazione tra organismi viventi, è tra i principali e più promettenti ambiti di ricerca per lo sviluppo di mezzi di controllo sostenibile dei fitofagi [1-3], essendo quella chimica la principale modalità di comunicazione degli insetti.

I semiochimici degli insetti si distinguono in allelochimici (dal greco *allelon* = reciproco), responsabili della comunicazione tra specie e regni viventi diversi [4], e feromoni (dal greco *pherein* = trasportare e *ormao* = stimolo) che agiscono tra individui della stessa specie. Gli allelochimici assumono nomi diversi in funzione dell'organismo che trae vantaggio dalla comunicazione. Principali categorie di allelochimici sono gli allomoni, utili all'organismo che emette lo stimolo (es. volatili vegetali repellenti), i cairomoni, utili all'organismo ricevente (es. volatili utilizzati per la localizzazione della pianta ospite), i sinomoni, utili ad entrambi gli organismi coinvolti nella comunicazione (es. odori dei fiori attrattivi per gli insetti impollinatori).

I feromoni possono modificare la morfologia e/o la fisiologia (*feromoni primer*) dell'organismo ricevente oppure il suo comportamento (*feromoni releaser*). Le risposte dell'organismo ricevente sono lente nel primo caso e immediate nel secondo; per tale caratteristica i feromoni *releaser* sono i più interessanti dal punto di vista applicativo. Esempi di quest'ultima tipologia di composti sono i feromoni di allarme, aggregazione e sessuali. I primi sono prodotti per allertare i conspecifici in caso di pericolo: un esempio interessante è il *trans*- β -farnesene degli afidi che induce la dispersione della colonia. I feromoni di aggregazione sono di solito utilizzati per segnalare la presenza di una sorgente di cibo e svolgono

un'azione centripeta nei confronti di entrambi i sessi di una specie. I feromoni sessuali regolano il comportamento riproduttivo di una determinata specie e sono noti per diversi ordini di insetti. Si tratta in genere di complesse miscele di molecole volatili alifatiche, con doppi legami (da 1 a 3) e un gruppo terminale (acetato, alcool, aldeide o raramente chetone), oppure epossidi, catene laterali metiliche o piccole molecole monoterpene cicliche. In genere, il feromone sessuale è emesso dalla femmina, da specifiche ghiandole esocrine e in un determinato periodo del giorno (Fig. 1), per attirare, anche a note-



Fig. 1 - Femmina vergine di lepidottero in postura di richiamo sessuale (estroflessione dell'apice addominale sede delle ghiandole a feromone)

vole distanza (oltre 7,5 km), il maschio che percepisce il feromone attraverso recettori olfattivi presenti in sensilli antennali. I chemiorecettori del maschio sono in grado di rilevare e riconoscere i singoli componenti di un blend feromonico secondo il modello “chiave-serratura” (interazione substrato recettore). Alla percezione dello stimolo segue la codifica del segnale, a livello del sistema nervoso centrale (SNC), l’elaborazione e l’esecuzione di una risposta comportamentale da parte del maschio.

Il componente principale di un feromone sessuale, dotato di elevata attività biologica, può fungere inizialmente da attrattivo e successivamente, a concentrazione più elevata, come quella che un maschio avverte in prossimità della femmina, anche da arrestante e spesso da stimolante sessuale. Talvolta, però, il componente principale da solo può attirare maschi di più specie, anche di gruppi diversi, mentre l’attrazione diventa altamente specifica in presenza dei componenti secondari, agenti a corto raggio, che possono avere anche effetti sinergici o additivi sull’attrazione. La comprensione dei meccanismi di controllo che governano la produzione, il rilascio e la percezione del feromone sono attuali argomenti di studio.

Le fasi della ricerca per l’identificazione dei semiochimici si avvalgono di competenze interdisciplinari. È richiesto, infatti, l’impiego di tecniche di estrazione (immersione in solvente, adsorbimento dei volatili dal flusso d’aria, SPME), elettrofisiologiche (elettroantennografia, EAG; Single Cell Recording, SCR) per valutare la presenza negli estratti di composti in grado di stimolare il sistema olfattivo antennale dell’insetto, chimico-biologiche (GC-EAD, GC-MS-EAD, gascromatografia abbinata ad elettroantennografia e spettrometria di massa) (Fig. 2) per identificare i composti EAG-attivi presenti negli estratti, e olfattometriche (tunnel del vento, olfattometri) per valutare la risposta comportamentale (attrazione/repellenza) degli insetti esposti a diverse concentrazioni dei composti identificati, singoli e in varie combinazioni. I composti o le miscele più promettenti sono successivamente valutati in saggi di attrattività o di repellenza in campo che hanno anche la finalità di ottimizzare la tipologia di dispensatore ed eventualmente di trappola da utilizzare per applicazioni pratiche.

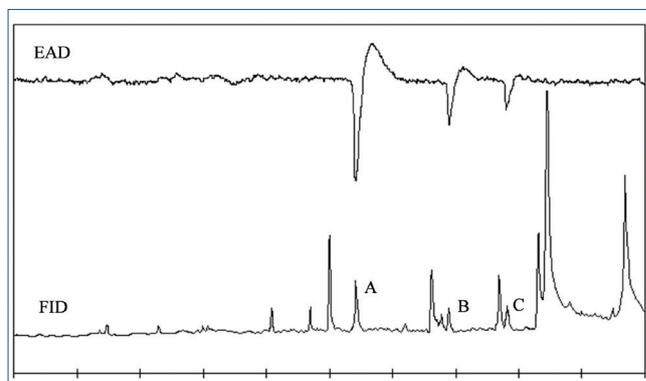
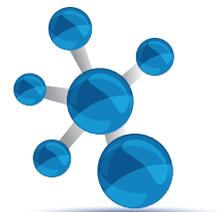


Fig. 2 - Analisi di un estratto da ghiandole a feromone di una femmina vergine del lepidottero *Sesamia cretica* (Lederer) mediante gascromatografia abbinata ad elettroantennografia (GC-EAD). La tecnica permette di registrare simultaneamente i segnali generati dal detector chimico (FID) e da un preparato elettroantennografico allestito con l’antenna di un maschio (EAD). Le lettere indicano i picchi del profilo GC in grado di generare una risposta elettrofisiologica dai recettori olfattivi del maschio (da Germinara et al., *Entomol. Exp. Appl.*, 2007, 124(2), 213)

Applicazioni dei semiochimici

L’origine naturale dei semiochimici degli insetti, l’elevata attività biologica, svolta anche a dosi molto basse (pg), la specificità e l’impatto pressoché nullo sulle specie non bersaglio, hanno determinato, sin dagli esordi, un significativo interesse applicativo per tali sostanze. L’idea di manipolare opportunamente il comportamento di insetti dannosi mediante l’impiego di semiochimici fu postulata subito dopo l’osservazione, nel 1870, di come una femmina del lepidottero *Saturnia pyri* (Denis e Schiffermüller, 1775) fosse in grado di attrarre a notevole distanza decine di maschi [5] e, molti anni prima della pubblicazione dell’identificazione e della sintesi del primo feromone sessuale di un insetto, il bombicolo delle femmine del baco da seta, *Bombyx mori* L. [6]. L’interesse per lo studio dell’ecologia chimica degli insetti suscitato da questo lavoro ha portato, nell’arco di sessant’anni, all’identificazione dei feromoni di diverse centinaia di specie e alla caratterizzazione dell’attività biologica di numerosi allelochimici [7, 8].

In generale, i semiochimici trovano applicazione sia come mezzi indiretti (monitoraggio o catture spia) che diretti di controllo (cattura massale, lotta attrattiva, confusione sessuale, disorientamento del maschio). Tali applicazioni riguardano principalmente i semiochimici intraspecifici e, in



particolare, i feromoni sessuali e di aggregazione e, in minor misura, alcuni kairomoni e allomoni. Il monitoraggio dei voli degli insetti dannosi (Fig. 3) mediante trappole attivate con attrattivi sessuali specifici è considerato dal citato D.L. n. 150 del 14 agosto 2012, componente essenziale di una strategia di controllo integrato. Un corretto monitoraggio, infatti, rilevando tempestivamente l'inizio di una infestazione, permette di ottimizzare il *timing* applicativo delle misure di controllo, aspetto fondamentale per un'efficace applicazione dei moderni insetticidi caratterizzati da una limitata azione curativa, di valutare l'efficacia degli stessi trattamenti e di stabilire opportune soglie di intervento specifiche per fitofago e coltura.

I feromoni di specie molto dannose, come ad esempio alcuni lepidotteri che attaccano i fruttiferi (pomacee, drupacee, vite) e le derrate conservate, sono attualmente utilizzati per interferire efficacemente sulla loro attività riproduttiva e, quindi, come mezzi diretti di controllo, alternativi all'uso degli insetticidi di sintesi. La cattura massale ha l'obiettivo di eliminare il maggior numero possibile di maschi, se realizzata mediante feromoni sessuali, o di ma-



Fig. 3 - Catture di tignola dell'olivo in trappole a feromone utilizzate per il monitoraggio dei voli degli adulti

schi e femmine, se attuata con feromoni di aggregazione, al fine di limitare al massimo le possibilità di accoppiamento e, quindi, conseguire una graduale diminuzione della popolazione nel tempo e dei relativi danni. Essa si attua disponendo in ambiente un cospicuo numero di trappole in grado di trattenere un elevato numero di insetti [9].

La lotta attratticida, considerata una variante della cattura massale, consiste nell'attrarre gli insetti, mediante feromoni e/o attrattivi alimentari, su un supporto trattato con un insetticida di contatto. L'insetto non viene trattenuto sul supporto ma è libero di allontanarsi dalla superficie trattata e contaminare i propri conspecifici prima di morire.

La tecnica della confusione sessuale ha l'obiettivo di interferire efficacemente sulla percezione e sulla risposta comportamentale del maschio al feromone sessuale della femmina, attraverso un complesso di meccanismi fisiologici, ancora non del tutto noti, tra cui la saturazione dei sensilli antennali, l'assuefazione del SNC, il mascheramento e lo sbilanciamento del messaggio feromonico [10-12]. La tecnica prevede il rilascio controllato in campo, mediante opportuni dispositivi (dispensatori a membrana, ad ampolla, fili polimerici cavi, dispensatori temporizzati, ecc.), di elevate concentrazioni del feromone sessuale della specie da combattere a partire dall'inizio del primo volo dell'anno. Il disorientamento del maschio o delle false tracce di volo mira a ridurre gli accoppiamenti attraverso la competizione con le femmine nell'attrazione dei maschi e consiste nella dislocazione in campo di un elevato numero di erogatori (1000-2000) attivati con una quantità di feromone minore rispetto a quella per la confusione sessuale e tale da simulare l'emissione naturale della femmina.

Negli ultimi anni, la confusione sessuale è stata sperimentata con successo per il controllo dei principali lepidotteri dannosi a fruttiferi [13, 14], vite [15, 16] e castagno [17].

Risultati interessanti sono stati raggiunti anche con l'impiego di alcuni kairomoni, attrattivi di origine vegetale che offrono la possibilità di monitorare anche le femmine oltre che i maschi. È stato dimostrato, inoltre, che alcuni kairomoni possono aumentare il potere attrattivo dei feromoni utilizzati per il monitoraggio e la cattura massale [18, 19].

Alcuni allomoni (repellenti) possono essere incorporati in imballaggi bioattivi per ridurre il rischio di infestazioni in post-raccolta e nella implementazione della strategia “push and pull”, in cui i repellenti vengono distribuiti nel campo da proteggere in abbinamento a trappole attivate con attrattivi e poste lungo i bordi. Interessante risulta anche l'uso di repellenti vegetali e/o di feromoni di allarme in combinazione con insetticidi di contatto per migliorare l'efficacia di questi ultimi a seguito dell'aumentata motilità degli insetti indotta dal semiochimico. I sinomoni emessi dalle piante ed attrattivi per i nemici naturali di insetti dannosi, opportunamente formulati, possono esaltare le prestazioni biologiche degli ausiliari incoraggiandone la loro permanenza nei siti di rilascio e migliorandone la capacità di ricerca dell'ospite [20, 21].

In definitiva, i semiochimici, per l'ampia gamma di applicazioni possibili, sono destinati a svolgere un ruolo sempre più importante nella messa a punto di strategie ecosostenibili di controllo degli insetti dannosi e a contribuire concretamente al raggiungimento degli obiettivi delle attuali politiche di sostenibilità ambientale e sicurezza alimentare dell'Unione Europea. Tale tendenza è confermata anche dalle previsioni sul mercato dei feromoni il cui volume di affari dovrebbe passare da 360 milioni di dollari del 2018 a 870 milioni di dollari nel 2025 [22].

BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Witzgall, P. Kirsch, A. Cork, *J. Chem. Ecol.*, 2010, **36**(1), 80.
- [2] E. Civantos, W. Thuiller *et al.*, *BioScience*, 2012, **62**(7), 658.
- [3] H.A.F. El-Shafie, J.R. Faleiro, *Biological Control of Pest and Vector Insects*, 2017, 1.
- [4] R.H. Whittaker, P. Feeny, *Sci.*, 1971, **171**, 757.
- [5] J.H. Fabré, *Social life in the insect world*, Penguin, Harmondsworth, 1911.
- [6] A. Butenandt, R. Beckmann *et al.*, *Z. Naturforsch.*, 1959, **14b**, 283.
- [7] A.M. El-Sayed, *The Pherobase: Database of Insect Pheromones and Semiochemicals*, 2019, <http://www.pherobase.com>
- [8] G.S. Germinara, A. De Cristofaro, G. Rotundo, *Entomata*, 2019, **9**, 16.
- [9] G. Rotundo, G.S. Germinara, I semiochimici in agricoltura, *Atti dell'Accademia dei Georgofili*, Serie VIII, 2015, **12**, 25.
- [10] R.T. Cardè, A.K. Minks, *Annu. Rev. Entomol.*, 1995, **40**, 559.
- [11] J.R. Miller, L.J. Gut *et al.*, *J. Chem. Ecol.*, 2006a, **32**, 2089.
- [12] J.R. Miller, L.J. Gut *et al.*, *J. Chem. Ecol.*, 2006b, **32**, 2115.
- [13] G. Rotundo, G. Viggiani, *OILB-SROP Bull.*, 1992, **15**, 61.
- [14] G. Angeli, G. Anfora *et al.*, *J. Appl. Entomol.*, 2007, **131**(5), 311.
- [15] C. Ioriatti, G. Anfora *et al.*, *J. Econ. Entomol.*, 2011, **104**, 1125.
- [16] A. Cocco, A. Lentini, G. Serra, *J. Insect Sci.*, 2014, **14**, 144.
- [17] A. De Cristofaro, R. Griffo *et al.*, Proc. of the 11th European Congress of Entomology, Napoli, 2018, 37.
- [18] J.C. Dickens, E.B. Jang *et al.*, *Naturwissenschaften*, 1990, **77**(1), 29.
- [19] D.M. Light, R.A. Flath *et al.*, *Chemoecology*, 1993, **4**(3), 145.
- [20] G.S. Germinara, A. De Cristofaro, G. Rotundo, *J. Stored Prod. Res.*, 2009, **45**(3), 195.
- [21] G.S. Germinara, A. De Cristofaro, G. Rotundo, *BioMed Res. Int.*, 2016, **8**.
- [22] Reports monitor, Global Pheromones Market Report, History and Forecast, 2014-2025, 2019.

Insect Semiochemicals in Sustainable Pest Management Strategies

Pheromones and allelochemicals are natural compounds that deeply affect many aspects of insects' life by acting as behavior modifying compounds. The investigation techniques used for chemical and biological characterization of these compounds are briefly mentioned and the main practical applications are described. Insect semiochemicals have become fundamental components of biological and integrated pest management (IPM) programs matching the EU objectives of food safety and environmental sustainability.