

Difesa sostenibile delle colture

COLLANA EDAGRICOLE UNIVERSITÀ & FORMAZIONE

Agricoltura sostenibile [a cura di Michele Pisante]
Microbiologia enologica [a cura di Giovanna Suzzi e Rosanna Tofalo]
Igiene degli alimenti [a cura di Maria Schirone e Pierina Visciano]
L'acqua in agricoltura [a cura di Marcello Mastrorilli]
Difesa sostenibile delle colture [a cura di Paola Battilani]
Fertilizzazione sostenibile [a cura di Carlo Grignani]
Agricoltura di precisione [a cura di Raffaele Casa]
Politica agraria e di sviluppo rurale [a cura di Angelo Frascarelli]

DIRETTORE SCIENTIFICO

Michele Pisante

COMITATO SCIENTIFICO

Marco Acutis, Aniello Anastasio, Paolo Balsari, Paola Battilani, Marco Bindi, Raffaele Casa, Luisella Celi, Riccardo D'Andria, Guido D'Urso, Stefania De Pascale, Rosa Draisci, Angelo Frascarelli, Dario Frisio, Carlo Grignani, Maria Lodovica Gullino, Paolo Inglese, Rosalba Lanciotti, Marcello Mastrorilli, Fabio Molinari, Giuliano Mosca, Erasmo Neviani, Michele Perniola, Maria Schirone, Fabio Stagnari, Giovanna Suzzi, Rosanna Tofalo, Chiara Tonelli, Sandra Torriani, Giovanni Vannacci, Pierina Visciano

Difesa sostenibile delle colture

Principi, sistemi e tecnologie
applicate alle produzioni agricole

a cura di
Paola Battilani



1ª edizione: marzo 2016



© Copyright 2016 by «Edagricole - Edizioni Agricole di New Business Media srl»
via Eritrea 21 - 20157 Milano
Redazione: Piazza G. Galilei, 6 - 40123 Bologna

5504

Proprietà letteraria riservata - printed in Italy

La riproduzione con qualsiasi processo di duplicazione delle pubblicazioni tutelate dal diritto d'autore è vietata e penalmente perseguibile (art. II della legge 22 aprile 1941, n. 633). Quest'opera è protetta ai sensi della legge sul diritto d'autore e delle Convenzioni internazionali per la protezione del diritto d'autore (Convenzione di Berna, Convenzione di Ginevra). Nessuna parte di questa pubblicazione può quindi essere riprodotta, memorizzata o trasmessa con qualsiasi mezzo e in qualsiasi forma (fotomeccanica, fotocopia, elettronica, ecc.) senza l'autorizzazione scritta dell'editore. In ogni caso di riproduzione abusiva si procederà d'ufficio a norma di legge.

Realizzazione grafica: Emmegi prepress, via F. Confalonieri, 36 - 20124 Milano
Impianti e stampa: Rotolito Lombarda S.p.A. via Sondrio, 3 - 20096 Seggiano di Pioltello (MI)
Finito di stampare nel marzo 2016

ISBN 978-88-506-5504-5

Invito alla lettura

Gli obiettivi di sviluppo sostenibile, la necessità di ridurre la fame nel mondo e salvaguardare gli ecosistemi terrestri, sottolineano l'urgenza e l'importanza delle innovazioni applicate ai sistemi colturali, verso l'intensificazione sostenibile delle produzioni. A livello mondiale, secondo le stime della FAO, il 42,5 per cento delle calorie umane e il 37 per cento delle proteine, derivano dai principali cereali coltivati: grano, mais e riso che, ormai da parecchio tempo, manifestano segnali di cedimento della produttività per diverse cause, dai cambiamenti climatici alla perdita di fertilità dei suoli, alla riduzione della biodiversità e minore resilienza dei fattori ecologici.

Questi riscontri, diffusamente confermati ed aggravati dalla crescita demografica e dalla limitata disponibilità di terreni coltivabili, richiedono interventi razionali per abilitare gli agricoltori, ostacolati da un accesso inadeguato alle innovazioni, a produrre in modo più efficiente e in modalità tali da non aumentare ulteriormente il debito ecologico dell'umanità. Ma il progresso delle conoscenze deve essere accompagnato anche dall'ampliamento delle competenze, che solo attraverso la formazione continua può trovare soluzioni nuove e consapevoli che, tuttavia, richiedono sistematici adattamenti. E questo nuovo libro sulla difesa sostenibile delle colture, oltre ad offrire l'indispensabile strumento per favorire il trasferimento aggiornato delle conoscenze, rappresenta un compendio ampio per poter invertire le tendenze in atto ed aumentare le rese produttive unitarie, attraverso approcci integrati di difesa delle colture, minore ricorso ai mezzi di difesa chimica e, nelle condizioni idonee, sfruttando il potenziale dei processi naturali, non ancora del tutto esplorati. Malgrado la preminenza scientifica, questo cambiamento di paradigma spesso denota che, mentre i benefici sono chiari, non sempre sono immediati anche per la carente propensione a gestire le criticità emergenti in fase di applicazione.

Da qui l'originale impostazione del libro, suddiviso in quattordici capitoli con molteplici rimandi ad accurati risultati di ricerche, validati dalle comunità scientifiche di riferimento, che permettono di affrontare i singoli argomenti in modo tematico e complementare in una visione d'insieme di estrema attualità. Emerge da ogni pagina l'obiettivo trasversale di come difendere le colture dalle avversità, ridurre l'impatto ambientale, incrementare il

Invito alla lettura

reddito degli agricoltori, senza trascurare la sicurezza degli operatori e dei consumatori. Certamente, un merito particolare va riconosciuto alla curatrice dell'opera, con l'abilità e la perseveranza che le sono proprie, ha tracciato un percorso proiettato nell'immediato futuro per l'agricoltura del mondo che vogliamo.

La capacità di riunire intorno al progetto editoriale, ricercatori di diverse discipline ed esperienze, rappresenta quell'ulteriore valore aggiunto per un'opera completa che tratta i principali aspetti e metodi applicativi di difesa delle colture. Particolare risalto alla definizione delle interazioni pianta- parassita-ambiente, all'analisi della normativa vigente, all'illustrazione dei moderni mezzi di lotta e gli agenti di bio-controllo, senza trascurare alcuni fondamentali aspetti evolutivi come i modelli previsionali, gli approcci genomici, genetici e biotecnologici per la resistenza e la difesa delle colture. Spiega le modalità di gestione e controllo delle malerbe, prevenzione da pericolosi contaminanti come le micotossine, estende opportunamente la protezione delle produzioni agricole anche al post-raccolta e, per completare, descrive gli indicatori di sostenibilità con utili e chiari esempi applicativi. Dalla lettura o consultazione, per studio ma anche per aggiornamento professionale, il libro rappresenta una guida da cui ciascuno potrà trarre sicuro beneficio, per i diversi aggiornamenti ed approfondimenti riportati in apposite schede, avvalorati da una rilevante bibliografia e sitografia, elencate al termine di ciascun capitolo.

Per la collana editoriale Edagricole "Università e Formazione", nata solo tre anni fa con deciso impegno istituzionale, questo testo rappresenta il quinto contributo ad alta intensità di conoscenze disciplinari che, nel condividere le idee per migliorare il flusso delle informazioni, promuovono l'avanzamento delle tecnologie su basi scientifiche, riconoscendo l'insostituibile ruolo degli agricoltori e dei professionisti che operano in agricoltura come innovatori.

Michele Pisante

Direttore Scientifico della Collana Editoriale Edagricole

Gli autori

Riccardo Baroncelli

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università degli Studi di Pisa

Paola Battilani

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Paolo Bertolini

CRIOF, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alma Mater Studiorum Università degli Studi di Bologna

Agostino Brunelli

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alma Mater Studiorum Università degli Studi di Bologna

Tito Caffi

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Maura Calliera

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Marco Camardo Leggieri

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Marina Collina

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alma Mater Studiorum Università degli Studi di Bologna

Piero Cravedi

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Ettore Capri

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Filippo De Curtis

Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Università degli Studi del Molise

Anna Di Natale

Servizio Fitosanitario Regionale e Lotta alla Contraffazione Regione Siciliana,
Osservatorio per le Malattie delle Piante di Acireale (CT)

Francesco Faretra

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (Di.S.S.P.A.),
Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

Gli autori

Annibale Folchi

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alma Mater Studiorum Università degli Studi di Bologna

Antonio Pietro Garonna

Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Paola Giorni

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Maria Lodovica Gullino

Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DI.S.A.F.A.), Università degli Studi di Torino

Antonio Ippolito

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (Di.S.S.P.A.),
Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

Lucrezia Lamastra

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Alessandra Lanubile

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Sara Elisabetta Legler

Horta, *spin off* Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Giuseppe Lima

Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Università degli Studi del Molise

Nadia Lombardi

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante (CNR-IPSP),
Portici (NA)

Matteo Lorito

Dipartimento di Arboricoltura, Botanica e Patologia vegetale, Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Adriano Marocco

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Roberta Marra

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante (CNR-IPSP),
Portici (NA)

Valentina Maschietto

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Emanuele Mazzoni

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Fabio Molinari

Consulente, già professore associato di Entomologia Agraria Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Elisa Novelli

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Michela Panini

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Euro Pannacci

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Unità di Ricerca di Agronomia e Coltivazioni erbacee, Università degli Studi di Perugia

Vittorio Rossi

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DI.PRO.VES),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Agostino Santomauro

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti, Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”

Simona M. Sanzani

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti, Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”

Sabrina Sarrocco

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università degli Studi di Pisa

Valeria Terzi

Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria (CREA-GPG),
Centro di Ricerca per la Genomica Vegetale, Fiorenzuola d'Arda (PC)

Giorgio Tumino

Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria (CREA-GPG),
Centro di Ricerca per la Genomica Vegetale, Fiorenzuola d'Arda (PC)

Giovanni Vannacci

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università degli Studi di Pisa

Francesco Vidotto

Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DI.S.A.F.A.), Università degli Studi di Torino

Maurizio Vurro

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari, Bari

8 I feromoni nella gestione degli insetti

Fabio Molinari

8.1 Premessa

La difesa antiparassitaria delle piante ha visto negli ultimi decenni enormi progressi. È ormai riconosciuta l'importanza d'impostare programmi in base ai principi della produzione integrata, metodo di produzione obbligatorio per l'agricoltura convenzionale, a partire dal 2014, secondo la direttiva Ue 128/09 sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari. I feromoni, da tempo impiegati per il monitoraggio dei lepidotteri, hanno assunto un ruolo di crescente importanza come mezzi di lotta veri e propri. Il poter disporre di sostanze pressoché prive di tossicità che agiscono come modificatori del comportamento di specie chiave, in particolare per le principali colture frutticole e per la vite, consente una sensibile diminuzione dell'impiego di insetticidi convenzionali.

I sistemi di erogazione sono stati oggetto di approfondimenti e verifiche per cui ora sono disponibili varie alternative per controllare anche una stessa specie. In Italia, le colture maggiormente interessate sono le pomacee, la vite e le drupacee.

Le applicazioni pratiche di rilievo sono legate ancora quasi esclusivamente all'impiego di analoghi sintetici dei feromoni sessuali dei lepidotteri, ma si registrano sempre più numerosi casi di applicazioni di attrattivi anche in altri ordini, soprattutto coleotteri e ditteri, per lo più con feromoni sessuali o di aggregazione.

I successi ottenuti con i feromoni hanno dato impulso a studi sempre più promettenti nel campo delle comunicazioni tra insetti di specie diverse e tra insetti e piante, estendendosi oltre le comunicazioni chimiche (semiochimici), per considerare anche altri mezzi quali i messaggi sonori.

A parte l'impiego nel monitoraggio, ormai applicato nelle normali pratiche a supporto della difesa delle colture, l'inibizione degli accoppiamenti o confusione sessuale è l'obiettivo maggiormente perse-

guito. Per ottenere migliori risultati sono disponibili diversi sistemi di distribuzione, che agiscono in modo anche sensibilmente differente tra loro: alcuni provocano nei maschi la saturazione degli apparati di percezione ed elaborazione del segnale, altri generano una quantità di false tracce che distolgono i maschi dalla ricerca della femmina, altri ancora mascherano i segnali naturali sovrapponendo una quantità di feromone sintetico alle tracce naturali; quasi sempre sono coinvolti più meccanismi contemporaneamente.

Un'altra modalità di impiego dei feromoni è il metodo attratticida, che comporta l'attrazione degli insetti verso fonti avvelenate; trova le sue applicazioni di maggiore interesse nella lotta ai ditteri, particolarmente contro i tefritidi. Il metodo delle catture massali ha fatto registrare risultati positivi soprattutto nella difesa da coleotteri xilofagi.

8.2 Cenni storici

8.2.1 Le prime evidenze

L'ipotesi che una comunicazione chimica possa intercorrere tra organismi risale a molto tempo fa. Gli antichi greci già avevano osservato che le secrezioni di una cagna in calore erano fortemente attrattive per i cani maschi. Per quanto riguarda gli insetti, Charles Butler, nel suo trattato di apicoltura del 1609, *The feminine Monarchy*, scriveva che quando una persona viene punta da un'ape, altre api, attratte dal richiamo olfattivo emanato, sopraggiungono in gran numero per pungere a loro volta.

La prima evidenza a supporto dell'ipotesi sul ruolo di sostanze chimiche nella trasmissione di informazioni tra insetti si ebbe nel XIX secolo per merito del naturalista francese Jean Henri Fabre, il quale verificò come le femmine vergini dei Lepidotteri fossero in grado di attrarre maschi anche da lunghe distanze.

8. I feromoni nella gestione degli insetti

Fabre notò che femmine di *Saturnia pyri* appena sfarfallate dai suoi allevamenti attiravano una grande quantità di maschi. Ponendo le femmine dietro una schermatura di rete che ne impediva la vista, osservava che i maschi comparivano nella stanza, riuscendo a individuarle, trascurando invece altre femmine visibili ma isolate all'interno di vasi di vetro ermetici.

Sulla scorta di tali osservazioni, rese pubbliche nel 1870, in alcune aree frutticole europee, negli anni trenta del secolo scorso venivano preparate trappole con gabbiette contenenti femmine di lepidotteri fitofagi per attrarre i maschi allo scopo di valutare la presenza della popolazione in campo e prendere decisioni sugli interventi di difesa.

Poco dopo la scoperta di Fabre, l'entomologo americano Joseph Lintner, compiendo studi con il saturnide *Callosamia promethea*, giunse alle stesse conclusioni, ma ebbe anche un'intuizione a dir poco profetica.

Considerando che le femmine erano in grado di produrre una sostanza così fortemente attrattiva al cui richiamo i maschi non erano in grado di resistere, ipotizzò che, se si fosse riusciti a produrla in quantità con costi accettabili, sarebbe stato possibile usarla nella difesa delle colture.

I limiti tecnologici dell'epoca non consentirono di verificare la sua teoria, ma intorno al 1930 diversi ricercatori ripresero a interessarsi dell'argomento. Merita menzione la proposta che il tedesco Albrecht Bethe fece nel 1932 di chiamare "ectormoni" una vasta categoria di sostanze, tra l'altro non ancora ben definite, aventi varie funzioni, dalla comunicazione all'attrazione tra animali, fino agli attrattivi alimentari.

8.2.2 La scoperta

Una pietra miliare nella storia dei feromoni è sicuramente rappresentata dalle ricerche di Adolph Butenandt (1959), già premio Nobel per i suoi studi sugli ormoni sessuali umani. Nel corso di ricerche quasi trentennali, lavorando complessivamente con gli addomi di circa mezzo milione di femmine del baco da seta, riuscì a ottenere e caratterizzare un estratto in grado di indurre i maschi della stessa specie a comportarsi come se fossero alla presenza di femmine, agitando le ali in segno di corteggiamento. Pubblicò le sue ricerche nel 1959, chiamando la sostanza "bombicolo", dal nome scientifico del baco da seta, *Bombyx mori*.

Nello stesso anno Karlson e Lüscher introdussero il termine *Pheromon*, tradotto in inglese *pheromone*. La parola, che deriva dal greco *pherein* (io porto) e *ormao* (io eccito), intendeva caratterizzare sostanze

che avessero la sola funzione di comunicare tra individui della stessa specie, prodotte da una varietà di organi, ma non da ghiandole endocrine (come invece gli ormoni). La definizione, riconosciuta anche ai giorni nostri è la seguente:

...“i feromoni sono sostanze secrete nell'ambiente esterno da un individuo e ricevute da un secondo della medesima specie nel quale provocano una reazione specifica, come ad esempio un comportamento ben definito o un processo di sviluppo” (Wyatt, 2009)...

Altri ricercatori, sull'onda del successo ottenuto da Butenandt, iniziarono ad applicarsi allo studio dei feromoni, impiegando per lo più saggi comportamentali e tramite l'osservazione dei maschi che iniziavano ad agitare velocemente le ali come risposta agli stimoli odorosi, riuscirono a individuare un certo numero di sostanze attive.

Nello stesso periodo, il biologo Dietrich Schneider, che stava conducendo studi di elettrofisiologia, ebbe l'idea di utilizzare le antenne dei maschi come recettori che, sottoposti a un flusso d'aria contenente la giusta sostanza, reagivano emettendo una piccola scarica elettrica. I primi esperimenti furono condotti con antenne di *Bombyx mori* immerse in un flusso d'aria contenente bombicolo, fornito da Butenandt.

Il risultato fu un picco di attività elettrica quando l'estratto era presente. Era il 1957 quando Schneider presentò quello che chiamò "elettroantennogramma" (EAG) Schneider e Kaissling (1957).

Nonostante i progressi compiuti, un problema persistente era che estratti altamente attivi perdevano le loro proprietà quando i diversi componenti venivano purificati; inoltre, composti sintetici che mostravano di eccitare i maschi in laboratorio, risultavano inattivi in campo. Le ricerche di Silverstein e Wood (1966), dimostrando che erano necessari tutti i tre componenti identificati del feromone di *Ips latidens* per ottenere una attrazione simile a quella ottenuta con l'estratto naturale, aprirono la strada alla comprensione dei fenomeni sinergici tra i componenti delle sostanze attrattive.

8.2.3 Verso impieghi pratici

Una delle prime idee scaturite dalle acquisizioni di conoscenze sui feromoni fu di impiegarli per combattere in qualche modo gli insetti e nel 1960 Beroza formalizzò la possibilità di utilizzare i feromoni sessuali per inibire gli accoppiamenti; ciò fu messo in pratica per la prima volta da Shorey (1967) su *Trichoplusiani*.

A partire dagli anni '70, però, i feromoni sintetici iniziarono ad essere usati sempre più comunemente

per catturare i maschi come campionamento della popolazione presente in campo; a quell'epoca erano stati sintetizzati i feromoni di una ventina di specie, quasi tutte appartenenti all'ordine dei lepidotteri. Mentre il numero degli attrattivi conosciuti e riproducibili in laboratorio cresceva (più di cento all'inizio degli anni '80), iniziarono ad essere messi a punto altri metodi per utilizzarli. Dopo importanti esempi di catture di massa di coleotteri scolitidi in Scandinavia, negli anni '90 l'uso dei feromoni per inibire gli accoppiamenti iniziò a diffondersi sempre più rapidamente.

Attualmente *The Pherobase Database*, sito costantemente aggiornato dedicato alla catalogazione dei feromoni e in generale dei semiochimici, cita circa 3500 semiochimici conosciuti, riferibili non solo a insetti, ma anche alghe, crostacei, ragni, pesci, anfibi, rettili, mammiferi (Witzgall *et al.*, 1996; Hardie e Minsk, 1999; Arn *et al.*, 2000; El-Sayed, 2014).

8.3 I Semiochimici

Gli insetti sono, probabilmente, il gruppo di animali che usa maggiormente i messaggi olfattivi come mezzo di comunicazione (Matthews e Matthews, 1979). Anche segnali ottici o acustici possono caratterizzare i loro sistemi di relazione: per fare riferimento solo a qualche esempio conosciuto da tutti, i coleotteri lampiridi sono comunemente chiamati lucciole a causa della bioluminescenza che serve alle femmine per richiamare i maschi, mentre grilli e cavallette producono suoni grazie ad organi di stridulazione.

La modalità di comunicare tramite segnali chimici è in grado di trasferire informazioni in modo preciso ed efficiente, se si considera che molti insetti sono dispersi nell'ambiente con distanze relativamente grandi tra individuo e individuo; questo sistema regola un elevato numero di processi vitali, come la scelta del partner per l'accoppiamento, il meccanismo di selezione della pianta ospite, la selezione del sito di ovideposizione, la localizzazione della preda, ecc..

Le sostanze coinvolte nella comunicazione, sia all'interno della specie, sia tra specie diverse, vengono chiamate semiochimici (dal greco *semeion*, segnale), cioè sostanze chimiche che permettono lo scambio di informazioni tra gli organismi.

Se il messaggio è interspecifico, cioè avviene tra individui di specie diverse, la sostanza semiochimica prende il nome di **allelochimico**, se il messaggio è intraspecifico, cioè avviene tra due individui appartenenti alla stessa specie, prende il nome di **feromone** (Tab. 8.1).

Tabella 8.1 - Principali categorie di semiochimici.

Semiochimici	
Attività intraspecifica	Attività interspecifica
• Feromoni	• Cairomoni
allarme sessuale aggregazione territoriale ovideposizione traccia riconoscimento della prole	feromoni, allomoni, tossine, metaboliti, ecc. usati nell'individuazione dell'ospite/preda profumi dei fiori
	• Allomoni
	secrezioni difensive repellenti profumi dei fiori

Un feromone è una secrezione ghiandolare (liquida o gassosa) che, emessa all'esterno da un individuo, produce una reazione specifica negli individui della stessa specie, alterandone il modello di comportamento con una risposta immediata (feromoni *releaser*) oppure agendo come *primer*, il programma fisiologico, il differenziamento embrionale.

I primi (*releaser*) agiscono direttamente sul sistema nervoso scatenando una risposta immediata e reversibile. Un esempio sono i marcatori, sostanze che inducono al "rispetto" del territorio individuale il cui perimetro è stato marcato da un occupante temporaneo. Alla sua partenza o morte il comportamento di rispetto cessa. Altri marcatori di rilascio sono quelli che instradano tutti i membri di una popolazione su un percorso di andata-ritorno dal nido fino a che dura la traccia odorosa, come avviene tipicamente nelle formiche. I feromoni di richiamo sessuale appartengono a questa categoria.

I secondi (*primer*) agiscono stimolando reazioni del sistema endocrino, alterano la fisiologia e rendono l'individuo sensibile a un successivo stimolo della stessa o di diversa natura (vista, tatto, udito). La maggior parte dei feromoni ad azione *primer* producono un effetto irreversibile, per es. i regolatori del differenziamento embrionale e larvale negli insetti sociali provocano un accrescimento differenziato dei vari organi che si traduce nella formazione di individui appartenenti, irreversibilmente, a caste sociali diverse.

La concentrazione molecolare efficiente è comunque incredibilmente piccola; le femmine dei lepidotteri ne producono quantità variabili in relazione alle loro dimensioni, ma comunque nell'ordine di nanogrammi per ora.

I feromoni possono agire come prodotti singoli, o possono agire in sinergia con altre sostanze; produ-

8. I feromoni nella gestione degli insetti

cono, a concentrazioni diverse, differenti reazioni; risultano attivi o inattivi nelle varie fasi dei bioritmi e nei diversi momenti del ciclo biologico; inoltre, la stessa sostanza può avere effetto diverso in specie diverse.

Questo significa che, sebbene si possa definire feromone solo una specifica sostanza o miscela, è la qualità della risposta a definire un feromone. Essi sono cioè riferiti alle principali funzioni degli organismi viventi: riproduzione (gli attraenti o afrodisiaci, a seconda del sesso); cure parentali verso i piccoli (stimolanti, inibenti, regolatori); nutrizione (stimolanti la ricerca del cibo per altri membri del gruppo); difesa e riposo (allarmanti, aggreganti); moto orientato (marcatori); controllo della densità di popolazione (inibenti, aggreganti, stimolanti, repellenti, disperdenti); organizzazione sociale (di gerarchia sociale).

Le maggiori speranze ai fini applicativi sono state riposte nello studio di:

- **feromoni di aggregazione:** causano un notevole aumento della densità degli individui di una certa specie nei pressi della sorgente odorosa. Sono stati descritti numerosi comportamenti legati a questi composti, soprattutto negli imenotteri sociali (api e vespe) e nei coleotteri scolitidi;
- **feromoni di dispersione:** stimolano la fuga ed altri comportamenti di difesa. Se ne trovano esempi nelle api e negli afidi;
- **feromoni sessuali:** regolano i comportamenti che permettono ai due sessi di avvicinarsi e di accoppiarsi. Possono servire sia alla localizzazione del partner a distanza (attraenti sessuali), sia al coordinamento delle attività riproduttive del maschio e della femmina “a corto raggio” (feromoni di corteggiamento).

I feromoni sessuali corrispondono a quella categoria di sostanze semiochimiche che ha ricevuto maggiori attenzioni e ha consentito le più importanti applicazioni pratiche in campo agronomico; per questo motivo faremo riferimento fondamentalmente ad essi nel descrivere l'utilizzo pratico dei semiochimici, aggiungendo solo alcuni cenni ad altri attraenti in fase di valutazione per prospettive future.

8.4 Utilizzo dei feromoni

I principali utilizzi pratici dei feromoni possono essere catalogati, secondo uno schema non esente da possibili critiche, a causa di confini ambiguamente definiti tra le categorie proposte:

- monitoraggio
- cattura di massa (*mass-trapping*)
- inibizione degli accoppiamenti (*mating disruption*)
- *Attract&Kill*.

Al di là di tutte le proposte e delle sperimentazioni, che hanno fornito risultati di rilievo, i metodi elencati sono ormai entrati a far parte delle strategie di difesa di diverse colture (Molinari e Schiaparelli, 2012). Il monitoraggio con trappole a feromoni è pratica comune in moltissime colture e per un numero così grande di fitofagi, che è quasi impossibile tenerne il conto. Gli altri tre metodi sono stati applicati su diversi gruppi di insetti, tra i quali i lepidotteri sono ancora i più fortemente rappresentati, utilizzando in alcuni casi anche sostanze non feromoniche (Tabb. 8.2, 8.3 e 8.4) (Jutsum e Gordon, 1989; Silverstein, 1990).

Tabella 8.2 - Casi riportati di utilizzo pratico dei feromoni nel controllo di insetti secondo il metodo delle catture di massa (*Mass trapping*) El Sayed (2014). *The Pherobase: Database of Pheromones and Semiochemicals*. <http://www.pherobase.com>.

Ordine	Cattura di massa	
	Famiglie	Specie
Lepidotteri	13	48
Coleotteri	8	44
Omotteri	3	4
Eterotteri	1	1
Ditteri	4	10
Isotteri	1	1
Tisanotteri	1	1
Imenotteri	1	1

Tabella 8.3 - Casi riportati di utilizzo pratico dei feromoni nel controllo di insetti secondo il metodo attrattivo (*Lure&Kill*) El Sayed (2014). *The Pherobase: Database of Pheromones and Semiochemicals*. <http://www.pherobase.com>.

Ordine	<i>Attract&Kill</i>	
	Famiglie	Specie
Coleotteri	4	7
Ditteri	3	10
Lepidotteri	6	15
Isotteri	1	2

Tabella 8.4 - Casi riportati di utilizzo pratico dei feromoni nel controllo di insetti secondo il metodo dell'inibizione degli accoppiamenti (*Mating disruption*) El Sayed (2014). *The Pherobase: Database of Pheromones and Semiochemicals*. <http://www.pherobase.com>.

Ordine	Mating Disruption	
	Famiglie	Specie
Lepidotteri	15	127
Coleotteri	4	9
Omotteri	3	5
Eterotteri	3	4
Imenotteri	1	1

8.4.1 Monitoraggio

Il monitoraggio rappresenta storicamente il campo d'impiego più diffuso, interessando tutte le principali colture e costituendo tuttora uno degli strumenti indispensabili, insieme ai modelli previsionali, per una razionale difesa integrata.

Negli anni '70 iniziarono ad affacciarsi in commercio le prime trappole, per poche specie di lepidotteri. In quel periodo si usava attribuire a ciascun attrattivo sintetico un nome che si riferiva all'insetto per il quale veniva utilizzato. Le trappole utilizzate erano del tipo ad ala (*wing trap*), innescate con i feromoni Codlemone (*Cydia pomonella*, Codling Moth), Orfamone (*Cydia molesta*, Oriental Fruit Moth), Grapamone (*Lobesia botrana*, European Grapevine Moth) e Anamone (*Anarsia lineatella*, Peach Twig Borer).

Seguirono diversi modelli di trappola, tra cui la Traptest, chiamata impropriamente a "pagoda" (Fig. 8.1). Questi modelli "omnidirezionali" si differen-



Figura 8.1 - Trappola "Traptest", diffusamente impiegata per il monitoraggio di lepidotteri.

ziano dagli altri con solo due aperture o "direzionali", indicati come a "delta" (Fig. 8.2) o a "tunnel" (Fig. 8.3), nei quali la più sottile traccia odorosa esercita un maggiore potere attrattivo verso certi insetti, come i maschi di *Carpocapsa* (*Cydia pomonella*) (Madsen, 1973; Accinelli *et al.*, 1998).

Oggi è possibile monitorare, con numerosi tipi di trappole a feromoni, un centinaio di specie di lepi-



Figura 8.2 - Trappola a "delta".



Figura 8.3 - Trappola a "tunnel", specificatamente progettata per aumentare le catture dei maschi di *Cydia pomonella*.

8. I feromoni nella gestione degli insetti

dotteri, oltre ad alcune cocciniglie, ditteri tefritidi e coleotteri, in agricoltura, selvicoltura e nelle industrie alimentari. I feromoni prevalentemente impiegati sono quelli sessuali ma non mancano quelli di aggregazione, in particolare per i coleotteri.

Nonostante la vastissima diffusione delle trappole a feromoni per il monitoraggio dei lepidotteri, non tutti gli utilizzatori conoscono in modo chiaro il loro corretto uso e l'interpretazione dei dati di cattura.

Tra gli attrattivi, i feromoni sessuali sono tra i più specifici e potenti in quanto, oltre a richiamare a grande distanza, non subiscono interferenze da parte di altri fattori ambientali competitivi; gli attrattivi alimentari, ad esempio, vedono la loro attività fortemente condizionata dalla presenza di altre fonti di cibo, come la stessa pianta ospite. I feromoni dei lepidotteri sono stati i primi identificati e sono anche i feromoni più approfonditamente studiati. Emessi per lo più dalle femmine, sono costituiti da miscele di alcoli, acetati e aldeidi a catena lineare da 10 a 20 atomi di carbonio e fino a 3 doppi legami.

L'idea alla base del loro impiego è quella di ricavare, dal numero delle catture per unità di tempo, indicazioni sull'entità della popolazione presente in campo e stabilire una soglia d'intervento; molti disciplinari di protezione integrata (DPI) indicano di intervenire con insetticidi, se vengono rilevate catture settimanali per trappola superiori a un determinato numero: è il caso di *Cydia molesta* nei pescheti o *Cydia pomonella* nei meleti o pereti. Bisogna sottolineare che questi citati sono tra i pochi casi in cui è possibile programmare i trattamenti insetticidi sulla base del numero di catture.

È stupefacente la precisione con cui queste sostanze stimolano, anche a grandi distanze, risposte quasi stereotipate, tanto che quando si è in grado di riprodurre la miscela naturale, è possibile attrarre i maschi e catturarli in trappole di vario tipo, ma ci sono alcune variabili, non facilmente quantificabili, che rendono talora problematico comprendere il rapporto tra catture e popolazione reale.

Nei lepidotteri, la comunicazione tramite feromoni avviene in un orario determinato, del giorno o della notte, secondo le specie. Le femmine, dopo uno o due giorni dallo sfarfallamento, cominciano a emettere il feromone, assumendo la tipica posizione di richiamo, con l'addome sollevato ed estroflettendo il tessuto delle ghiandole situate all'estremità dell'addome. Il feromone viene emesso a dosi di pochi picogrammi per secondo (Backman *et al.*, 1997). Anche poche molecole della sostanza attrattiva sono in grado di stimolare nei maschi una risposta caratteristica: agitano freneticamente le ali, camminando come se cercassero una direzione verso la

quale orientarsi (questa fase è chiamata *attivazione*). Successivamente spiccano il volo mantenendo una direzione ben precisa lungo la scia, o "piuma" di attrattivo, ma con un caratteristico andamento a zig zag che consente loro, sulla base della combinazione di stimoli visivi e olfattivi, di avvicinarsi con sicurezza al punto di emissione della sostanza; questa fase è chiamata volo orientato (*upwind flight*). La terza fase consiste nell'atterraggio (*landing*) nei pressi della sorgente; infine il maschio esegue una sorta di danza di corteggiamento (*courtship*), camminando intorno alla femmina, agitando le ali ed esponendo l'estremità dell'addome, provvista di ciuffi (*hair-pencils*) dai quali è emesso un feromone afrodisiaco per stimolare la femmina all'accoppiamento (Murlis *et al.*, 1992).

Quanto più la composizione dell'attrattivo e la sua emissione dal supporto utilizzato si avvicina alla precisa composizione dell'attrattivo naturale e alla sua emissione da parte della femmina, tanto più la risposta in termini di attrazione e contatto con la fonte di emissione è veloce ed efficace.

Linn *et al.* (1986) hanno dimostrato in maniera convincente in esperimenti in campo che miscele ottimali inducono l'inizio del volo dei maschi da distanze maggiori rispetto a miscele subottimali o nelle quali manca qualche componente. In alcuni insetti l'intera sequenza è innescata dalla contemporanea presenza di più componenti, mentre in altri casi uno solo di essi può essere sufficiente a stimolare l'attivazione e il volo orientato ma è necessaria l'aggiunta di altri componenti per osservare il completamento del processo fino al corteggiamento.

La ricerca della miscela più attrattiva per le diverse specie e del dosaggio più efficace sono solo una parte del lavoro che ha fatto dei feromoni un potente mezzo di monitoraggio e avvertimento.

L'efficacia delle trappole non può essere prevista con sicurezza "a tavolino", poiché ogni specie di insetto risponde in modo differente alla forma, alle dimensioni e al colore della trappola; tutte queste variabili devono essere valutate con prove in campo, che tengano conto dell'effetto del posizionamento (altezza, esposizione), della densità, della variazione di efficacia nel corso della stagione (Riedl *et al.*, 1979; Kehat *et al.*, 1994).

È chiaro che un insetto indotto ad atterrare vicino all'attrattivo rimarrà più facilmente invischiato sul fondo incollato di una trappola (Fig. 8.4); l'efficienza di cattura di una trappola dipende anche dalla capacità dell'apparato di imprigionare gli insetti che si avvicinano, e in questo la struttura della trappola gioca un ruolo fondamentale. Ad esempio, nel monitoraggio della piralide del mais (*Ostrinia nubilalis*), il feromone sintetico riesce ad attirare i maschi ma



Figura 8.4 - Fondo invischiato con adulti di lepidotteri.

non induce l'atterraggio e il corteggiamento e solo alcuni degli insetti che si avvicinano alle comuni trappole con il fondo invischiato si posano su di esso e vengono catturati; osservando il comportamento degli adulti, che volano di preferenza in prossimità del suolo come anche alcuni nottuidi, sono state messe a punto trappole a cono di rete (Fig. 8.5 a, b) nelle quali gli adulti, che si avvicinano al fero-

mone dalla base aperta del cono attratti dal feromone, continuano a volare ma, urtando le maglie del cono di rete, si dirigono preferibilmente verso l'alto e rimangono intrappolati in un contenitore. Il monitoraggio della carpocapsa del melo (*C. pomonella*), spesso presenta il problema che il numero di catture è molto basso e per questo si ritiene sufficiente catturare uno o due insetti per trappola in una settimana per giustificare un intervento. Utilizzando trappole chiuse, con solo due fori di pochi centimetri di diametro (Fig. 8.3), il flusso dell'attrattivo risulta più concentrato e le catture solitamente più abbondanti rispetto alle trappole tradizionali.

In altri casi, come ad esempio la tignoletta della vite *Lobesia botrana*, o la minatrice del pomodoro *Tuta absoluta*, la situazione è opposta: durante il periodo di volo le trappole si riempiono di centinaia di maschi e, nonostante l'elevatissima attrattività, è praticamente impossibile stabilire un rapporto tra il numero di individui catturati e probabilità di danno (Fig. 8.6); il problema è che quando una trappola richiama i maschi da grandi distanze, le sue catture non sono rappresentative dell'area in cui la trappola è collocata, poiché i maschi possono provenire anche da aree esterne a quella che si intende monitorare.



Figura 8.5 - a) Trappola a cono di rete per la cattura di nottuidi e piralide del mais. b) particolare del contenitore in cui rimangono imprigionati gli adulti.

8. I feromoni nella gestione degli insetti



Figura 8.6 - Fondo di trappola con numerosi individui di *Lobesia botrana*.

L'importante è che la trappola fornisca prestazioni regolari in tutte le situazioni e le informazioni ottenute possano essere integrate con altri rilievi che consentano di costruire un quadro utile a prendere le corrette decisioni: le trappole della tignoletta della vite sono estremamente tempestive nel segnalare l'inizio dei voli, indicando il periodo in cui è opportuno compiere campionamenti visuali sui grappoli per individuare l'andamento dell'ovideposizione e della schiusura delle uova. Nei casi in cui siano disponibili modelli previsionali per le specie da monitorare, questi forniscono tempestive indicazioni dei momenti di rischio, mentre le trappole informano sul livello di popolazione presente nello specifico campo.

Il monitoraggio di fitofagi endemici con trappole a feromoni è ormai applicato da decenni con successo per un gran numero di specie in tutto il mondo; come supporto alle decisioni d'intervento, è sempre preferibile disporre più trappole, possibilmente almeno tre, negli appezzamenti seguiti, per poter ricavare un dato medio che riduca la variabilità dovuta alla posizione. Le trappole devono essere ispezionate a intervalli regolari, di solito settimanalmente, e i dati di cattura registrati su moduli predisposti, per poterli analizzare agevolmente e mantenere traccia dell'andamento delle popolazioni.

Nonostante l'elevata specificità dei feromoni non è infrequente registrare sistematiche catture di maschi appartenenti a specie differenti da quella per cui il feromone è utilizzato; nella maggior parte dei casi ciò è dovuto al fatto che alcuni componenti della miscela feromonica di una specie possono far parte del feromone di altre specie; ad esempio,

lo (Z)-8-dodecenil acetato, principale componente del feromone della tignola orientale del pesco (*Cydia molesta*), è utilizzato come attrattivo da altre 116 specie accertate, per la maggior parte della stessa famiglia dei tortricidi, ma anche 12 lepidotteri di altre famiglie e 2 specie di imenotteri icneumonidi del genere *Exetastes* (El-Sayed, 2014). Nel caso degli icneumonidi e di altri imenotteri parassitoidi, non è raro il caso che siano attratti dal feromone emesso dalle specie ospiti, che consente loro di localizzare la zona da queste frequentata, agendo pertanto anche da caimone.

Oltre al vastissimo uso come supporto alle decisioni nella protezione delle colture, le trappole a feromoni sono utilizzate per individuare la presenza sul territorio di insetti altrimenti difficili da individuare. È il caso di specie che presentano comportamento migratorio, come il nottuido *Agrotis ipsilon* oppure di specie in fase di espansione territoriale: l'intensificarsi degli scambi commerciali con spostamenti di merci attraverso tutto il mondo ha infatti reso sempre più frequente la colonizzazione di nuovi areali da parte di molti fitofagi. Installando una rete di trappole nelle aree ritenute a rischio di introduzione è possibile evidenziare l'eventuale presenza dei primi individui con una grande tempestività e soprattutto con un impegno di personale enormemente inferiore rispetto ad altri metodi di rilevamento.

8.4.2 Cattura di massa (*mass trapping*)

È una modalità di utilizzo degli attrattivi, non necessariamente feromoni, che deriva dal medesimo prin-



Figura 8.7 - Mastrap L per la cattura massale di *Cossus cossus*.

cipio ispiratore del monitoraggio. Utilizzando trappole altamente efficienti e in numero elevato, si tende a catturare un numero di insetti significativo con il risultato di eliminare un gran numero di adulti presenti e, conseguentemente, prevenire il danno larvale. Nell'ambito della frutticoltura (Fig. 8.7) sono utilizzate le trappole per la cattura massale dei lepidotteri cossidi *Cossus cossus* e *Zeuzera pyrina* (Mastrap L).

Diffusa in molte forme, questa tecnica con attrattivi solo in alcuni casi a base di feromoni, per la lotta contro i ditteri carpo-fagi come *Ceratitis capitata*, *Rhagoletis cerasi* e *Bactrocera oleae*. In questi casi vengono utilizzate prevalentemente esche alimentari, estremamente attrattive per entrambi i sessi, talvolta addizionate di attrattivi feromonici, che aumentano l'effetto nei confronti dei maschi. Non è sempre facile catalogare questa tecnica, se come cattura di massa o metodo attratticida, dal momento che nella maggior parte dei casi gli insetti attratti vengono uccisi con un insetticida: dal punto di vista della normativa, la presenza dell'insetticida obbliga alla registrazione tra i prodotti fitosanitari, che per i sistemi di cattura, anche massale, non è invece richiesta.

Nel *mass trapping* sono utilizzati attrattivi specifici come feromoni sessuali o di aggregazione e attrattivi alimentari, per attrarre gli insetti e imprigionarli nelle trappole all'interno delle quali muoiono; la densità e la capacità attrattiva delle trappole devono essere sufficienti a ridurre i danni economici. A differenza del monitoraggio, la cattura di massa tende a ridurre la popolazione; sebbene in un primo momento fosse ritenuta una soluzione difficilmente praticabile, da 1970 al 2005 sono riportati circa 200 casi di applicazione nella difesa delle colture agrarie e in ambito forestale su superfici da alcuni ettari a migliaia su più di cento specie appartenenti a lepidotteri, coleotteri, ditteri e omotteri (Tab. 8.2).

Il concetto è precedente rispetto all'utilizzo dei feromoni; per i coleotteri, il mass trapping con feromoni sintetici fu sperimentato da Silverstein *et al.* (1968), poco dopo la scoperta del feromone di aggregazione dello scolitide *Ips latidens*. Negli scolitidi il feromone utilizzato è di aggregazione e attira entrambi i sessi più o meno in egual misura; nei lepidotteri, la femmina produce un feromone sessuale specifico che attira solo i maschi. Il tipo di feromone usato ha grande influenza sulla riduzione della popolazione; nei lepidotteri l'obiettivo è di catturare il maggior numero possibile di maschi prima che possano accoppiarsi, poiché le femmine, che non sono attratte dal feromone, possono accoppiarsi con qualsiasi maschio sfuggito alla cattura.

Nei ditteri vengono usati principalmente attrattivi alimentari, sfruttando la difficoltà che le femmine hanno a procurarsi alimenti proteici; trappole innescate con proteine idrolizzate e lieviti, oppure varie miscele di acetato di ammonio, putrescina, trimetilamina vengono usate in combinazione con il feromone trimedlure (Fig. 8.8 a, b).

8.4.2.1 Applicazione del mass trapping

Il *mass trapping* viene impiegato sia come unico mezzo di lotta sia in combinazione con insetticidi o altri mezzi. L'obiettivo di catturare un numero elevato di insetti, tale da impedire che possano riprodursi e danneggiare la coltura, richiede che:

- le trappole emettano feromone o altro attrattivo che sia percepito da un'elevata percentuale degli insetti presenti nell'area da difendere;
- l'attrattivo usato sia più efficiente rispetto alle sorgenti di attrazione naturali come femmine vergini, aggregazioni o fonti di cibo;
- le trappole siano in grado di catturare gli insetti attratti e ne impediscano la fuga prima che possano accoppiarsi e riprodursi;
- l'attrattivo e le trappole mantengano la loro efficienza durante l'intero periodo di sfarfallamento;
- il costo del materiale e della mano d'opera necessari abbiano un costo competitivo con quello degli altri mezzi di lotta disponibili.

8.4.2.2 Fattori che influenzano il successo del mass trapping

Competitività delle trappole rispetto alle femmine

È un elemento che può essere facilmente sottovalutato poiché le femmine richiamano in momenti precisi della giornata, mentre le trappole emettono

DIFESA SOSTENIBILE DELLE COLTURE



**Clicca QUI per
ACQUISTARE il libro ONLINE**

**Clicca QUI per scoprire tutti i LIBRI
del catalogo EDAGRICOLE**

**Clicca QUI per avere maggiori
INFORMAZIONI**