

STEFANO COLAZZA
EZIO PERI
PAOLO LO BUE



LINEAMENTI DI ENTOMOLOGIA IN AGRICOLTURA BIOLOGICA

ENTOMOLOGIA GENERALE

MEZZI E METODI DI CONTROLLO

APPLICAZIONI IN CAMPO

PALERMO
UNIVERSITY
PRESS



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Dipartimento Scienze
Agrarie, Alimentari e Forestali
SAAF

GLI AUTORI

Stefano Colazza

Professore ordinario di Entomologia generale ed applicata presso il Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali (SAAF) dell'Università degli Studi di Palermo. Direttore del Dipartimento SAAF. Membro dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia e dell'Accademia dei Georgofili. Socio dell'International Organization for Biological Control (IOBC), di cui ha rivestito la carica di segretario generale. Socio dell'International Society of Chemical Ecology, di cui ha ricoperto la carica di consigliere. Componente del Gruppo di Ricerca sull'Agricoltura Biologica in Italia (GRAB-IT). Svolge attività di ricerca nel campo dell'ecologia comportamentale e chimica degli insetti parassitoidi nelle interazioni "tri-trofiche" pianta, fitofago, entomofago. Ha coordinato diversi progetti nazionali e comunitari.

Ezio Peri

Professore associato di Entomologia generale ed applicata presso il Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali (SAAF) dell'Università degli Studi di Palermo. Dottore di Ricerca in Entomologia agraria presso l'Università degli Studi di Napoli "Federico II", svolge attività di ricerca in campo entomologico con particolare riferimento ai rapporti piante-insetti fitofagi-antagonisti naturali e alle problematiche entomologiche di agrumi e vite. Ha coordinato progetti nazionali e comunitari.

Paolo Lo Bue

Professore a contratto dell'insegnamento "I prodotti fitosanitari in ambiente agroforestale ed urbano" presso il Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali (SAAF) dell'Università degli Studi di Palermo. Ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Entomologia e si occupa di tematiche di difesa fitosanitaria in regime di agricoltura biologica. È vice presidente dell'Ordine dei Dottori Agronomi e Forestali della Provincia di Palermo

STEFANO COLAZZA
EZIO PERI
PAOLO LO BUE



LINEAMENTI DI ENTOMOLOGIA IN AGRICOLTURA BIOLOGICA

PALERMO
UNIVERSITY
PRESS



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Dipartimento Scienze
Agrarie, Alimentari e Forestali
SAAF

LINEAMENTI DI ENTOMOLOGIA IN AGRICOLTURA BIOLOGICA

PRIMA EDIZIONE

A cura di
Stefano Colazza
Ezio Peri
Paolo Lo Bue

Dipartimento Scienze
Agrarie, Alimentari e Forestali
SAAF

Università degli Studi di Palermo

Edizione, elaborazione grafica
e assistenza alla stampa
Palermo University Press

In copertina, fronte: particolare del soffitto ligneo della Sala dei Baroni di Palazzo Chiaramonte-Steri (Palermo), sede del Rettorato dell'Università degli Studi di Palermo; retro: foto di adulti di *Parnassius apollo siciliae* Oberthur in fase di accoppiamento.

ISBN

Edizione cartacea: 978-88-31919-10-4
Edizione online: 978-88-31919-13-5



Lineamenti di Entomologia
in Agricoltura Biologica



PALERMO
UNIVERSITY
PRESS



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Dipartimento Scienze
Agrarie, Alimentari e Forestali
SAAF

Parte prima "Entomologia generale"

1 - Introduzione all'entomologia	12
1.1 - Biodiversità entomologica.....	13
1.2 - Servizi ecosistemici forniti dagli insetti	15
2 - Morfologia e anatomia esterna	18
2.1 - L'esoscheletro	18
2.1.1 - La cuticola.....	19
2.1.2 - L'epidermide	22
2.1.3 - La membrana basale	22
2.1.4 - L'endoscheletro.....	22
2.1.5 - Processi e appendici.....	22
2.1.6 - I colori	22
2.2 - Il capo o testa	23
2.2 - Il capo o testa.....	23
2.2.1 - Le antenne	24
2.2.2 - L'apparato boccale	25
2.2.2.1 - L'apparato boccale masticatore.....	26
2.2.2.2 - L'apparato boccale lambente succhiante	30
2.2.2.3 - L'apparato boccale succhiante.....	32
2.2.2.4 - L'apparato boccale dilatante.....	36
2.2.3 - I principali regimi dietetici.....	36
2.3 - Il torace	38
2.3.1 - Le zampe	40
2.3.2 - Le ali	44
2.4 - L'addome	45
2.4.1 - Le appendici genitali	45
2.4.1.1 - L'organo copulatore	46
2.4.1.2 - L'ovopositore morfologico	46
2.4.1.3 - L'ovopositore di sostituzione	48
2.4.2 - Le pseudozampe.....	48
2.4.3 - Altre appendici	48
3 - Anatomia interna e fisiologia	50
3.1 - Il sistema muscolare	51
3.2 - Il sistema circolatorio	51
3.2.1 - Il vaso dorsale.....	52
3.2.2 - L'emolinfa	52
3.2.3 - La circolazione dell'emolinfa.....	52
3.3 - Il sistema respiratorio	53
3.3.1 - Gli spiracoli	53
3.3.2 - Le trachee	54
3.3.3 - Le tracheole.....	54
3.3.4 - I sacchi aerei	54
3.3.5 - La respirazione	55
3.4 - Il sistema digerente	56
3.4.1 - Lo stomodeo.....	57

3.4.2 - Il mesentero.....	58	3.8.5 - Le ghiandole salivari	70
3.4.3 - Il proctodeo.....	58	3.8.6 - Le ghiandole della muta	70
3.4.4 - La digestione e l'assorbimento.....	59	3.9 - Il sistema riproduttore	70
3.4.5 - Modificazioni del canale alimentare e intestini di fabbrica speciale.....	59	3.9.1 - Il sistema riproduttore maschile.....	71
3.5 - Il sistema escretore.....	59	3.9.2 - Il sistema riproduttore femminile	71
3.5.1 - I tubuli Malpighiani	60	3.10 - Riproduzione e sviluppo.....	72
3.5.2 - I nefrociti	61	3.10.1 - Ovideposizione	74
3.6 - Il sistema nervoso	61	3.10.2 - Sviluppo embrionale	75
3.6.1 - I neuroni e le cellule nevrogli.....	62	3.10.3 - Sviluppo post-embriionale.....	77
3.6.2 - Il sistema nervoso centrale	62	3.10.4 - Muta.....	78
3.6.3 - Il sistema nervoso viscerale o simpatico	63	3.10.5 - Metamorfosi	79
3.6.4 - Il sistema nervoso periferico.....	63	3.10.6 - Tipi di larve.....	81
3.6.5 - La trasmissione dell'impulso nervoso	63	3.10.7 - Tipi di pupe.....	83
3.6.6 - Gli organi di senso	64	3.10.8 - Adulto	84
3.6.6.1 - I meccanorecettori.....	64	Parte seconda	
3.6.6.2 - I chemiorecettori.....	65	“Mezzi e metodi di controllo”	
3.6.6.3 - I termorecettori e gli igrorecettori	65	4 - Insetti ed ecosistemi	90
3.6.6.4 - I fotorecettori	65	4.1 - Agroecosistemi.....	91
3.7 - Il sistema endocrino.....	67	4.1.1 - Elementi di agroecologia	92
3.7.1- Il sistema neuroendocrino cerebrale	67	4.1.2 - Agricoltura biologica.....	93
3.7.2 - Il sistema cardio-aortico.....	68	4.2 - Dinamica di popolazione.....	96
3.7.3 - Le ghiandole protoraciche	68	5 - Mezzi tecnici e di controllo.....	98
3.7.4 - Gli ormoni nella regolazione dello sviluppo post-embriionale	68	5.1 - Agenti di controllo biologico.....	98
3.8 - Il sistema esocrino	69	5.1.1 - Predatori	100
3.8.1 - Le ghiandole a feromoni.....	69	5.1.1.1 - Localizzazione della preda .	100
3.8.2- Le ghiandole ceripare.....	69	5.1.1.2 - Modalità di predazione.....	102
3.8.3- Le ghiandole laccipare	69	5.1.2 - Parassitoidi	104
3.8.4- Le ghiandole sericipare	70	5.1.2.1 - Localizzazione dell'ospite...	106
		5.1.2.2 - Riconoscimento e accettazione dell'ospite	107
		5.1.2.3 - Modalità di sviluppo	110
		5.1.2.4 - Modalità di riproduzione.....	113
		5.1.3 - Produzione massale di entomofagi	114

5.2 - Feromoni e altri semiochimici.....	116	5.4 - Prodotti chimici insetticidi.....	144
5.2.1 - I feromoni	116	5.5 - Mezzi agronomici	146
5.2.1.1 - Classificazione dei feromoni	117	6 - Metodi di controllo	
5.2.1.2 - Modalità di produzione e percezione.....	120	6.1 - Il controllo biologico.....	150
5.2.1.3 - Metodologie investigative ..	121	6.1.1 - Controllo biologico classico	153
5.2.2 - Gli allelochimici.....	123	6.1.2 - Controllo biologico inoculativo.....	156
5.2.3 - Applicazione dei semiochimici ..	125	6.1.3 - Controllo biologico inondativo	158
5.2.3.1 - Metodo indiretto.....	125	6.1.4 - Controllo biologico conservativo....	159
5.2.3.2 - Metodo diretto	127	6.2 - Il controllo integrato.....	165
5.3 - Microrganismi Entomopatogeni....	130	6.2.1 - Meccanismi di difesa delle piante	166
5.3.1- Batteri.....	131	6.2.2 - Modalità decisionali.....	169
5.3.1.1 - <i>Bacillus thuringiensis</i>	131	6.3 - Il controllo integrato	
5.3.1.2 - Ciclo di sviluppo di <i>B. thuringiensis</i>	132	in agricoltura biologica.....	170
5.3.1.3 - Le tossine di <i>B. thuringiensis</i>	132	6.3.1 - Pratiche agronomiche	171
5.3.1.4 - Modalità di azione delle endotossine.....	133	6.3.2 - Infrastrutture ecologiche	172
5.3.1.5 - Formulazioni e modalità di applicazione.....	135	6.3.3 - Controllo biologico inoculativo e inondativo	172
5.3.1.6 - Resistenza indotta da <i>B. thuringiensis</i>	135	6.3.4 - Prodotti fitosanitari autorizzati	173
5.3.2 - Virus	136	6.3.5 - Prodotti biostimolanti e sostanze di base	177
5.3.2.1 - Baculoviridae	136	Parte terza	
5.3.2.2 - Modalità di applicazione	137	“Applicazioni in campo”	
5.3.3 - Funghi	138	7 - Entomologia applicata.....	182
5.3.3.1 - Ciclo infettivo	138	7.1 - Principali ordini di insetti fitofagi.....	182
5.3.3.2 - Zygomycota	139	7.1.1 - Tisanotteri	183
5.3.3.3 - Deuteromycotina.....	140	7.1.2 - Eterotteri	183
5.3.3.4 - Modalità di applicazione	140	7.1.3 - Omotteri.....	183
5.3.4 - Nematodi entomopatogeni	140	7.1.3.1 - Modalità di trasmissione degli agenti fitopatogeni.....	186
5.3.4.1- Nematodi rhabditidi	141	7.1.4 - Lepidotteri.....	188
5.3.4.2 - Nematodi neotylenchidi	143	7.1.5 - Ditteri	188
5.3.4.3 - Nematodi mermitidi.....	143	7.1.6 - Coleotteri.....	189
5.3.4.4 - Produzione, formulazione e impiego	144		

8 - Agrumeto**8.1 - Introduzione**..... 190**8.2 - Le specie di insetti fitofagi principali**... 191

8.2.1 - Antofagi e carpofagi 193

8.2.2 - Fillofagi 196

8.2.3 - Fitomizi 199

8.2.4 - Xilofagi e rizofagi..... 213

9 - Oliveto**9.1 - Introduzione**..... 214**9.2 - Le specie di insetti fitofagi principali**... 215

9.2.1 - Antofagi e carpofagi 215

9.2.2 - Fillofagi 221

9.2.3 - Fitomizi 224

9.2.4 - Xilofagi e rizofagi..... 228

10 - Vigneto**10.1 - Introduzione**..... 232**10.2 - Le specie di insetti fitofagi principali**..... 233

10.2.1 - Antofagi e carpofagi 233

10.2.2 - Fillofagi 238

10.2.3 - Fitomizi 242

10.2.4 - Xilofagi e rizofagi..... 254

Indice analitico..... 258**Bibliografia di riferimento** 264**Fonti delle illustrazioni** 266**Elenco codici QR**..... 266

PRESENTAZIONE





L'agricoltura biologica ha ormai assunto dimensioni notevoli in Europa, in Italia e soprattutto in Sicilia e, in questo contesto, la gestione delle popolazioni degli insetti fitofagi rappresenta una sfida continua che può essere affrontata solo con una giusta preparazione universitaria e con gli opportuni strumenti didattici. Nel periodo storico in cui viviamo, scrivere un nuovo testo può sembrare anacronistico; le nuove tecnologie sono sicuramente un prezioso supporto, ormai quasi imprescindibile, per la divulgazione e l'acquisizione di conoscenze, soprattutto nel campo scientifico, dove la ricerca è sempre in continuo sviluppo. In particolare, l'acquisizione di dati on-line rappresenta un sistema di apprendimento rivoluzionario, in quanto lo studente riesce ad ottenere le nozioni immediatamente, ovunque egli si trovi. Tuttavia, questa smisurata disponibilità di nozioni non può sostituirsi all'indispensa-

bile momento dello studio supportato dalla disponibilità di libri di testo adeguatamente strutturati.

In quest'ottica, il libro di testo *Lineamenti di Entomologia in Agricoltura Biologica* vuole essere un sussidio, un filo conduttore, nell'introduzione allo studio dell'entomologia agraria, con un occhio di riguardo alle problematiche riscontrabili nelle produzioni in regime di agricoltura biologica. Il testo, infatti, presenta le caratteristiche per fornire un valido supporto didattico agli studenti iscritti ai corsi di studio delle lauree in Scienze e Tecnologie Agrarie, Agroalimentari e Forestali, che affrontano insegnamenti di entomologia agraria. Non di meno, l'attenzione posta ad approfondire aspetti relativi ai mezzi e ai metodi di controllo può renderlo uno strumento valido anche per gli studenti che completano la formazione entomologica nelle lauree magistrali in Scienze delle Produzioni e delle Tecnologie Agrarie.

Il testo si compone di tre parti, ciascuna divisa in vari capitoli. Nella I parte, Entomologia Generale, il capitolo primo tratta gli aspetti introduttivi dell'entomologia, mettendo in evidenza l'importanza della biodiversità entomologica negli agroecosistemi, in quanto gli insetti sono il gruppo animale più idoneo a monitorare la sostenibilità ambientale delle pratiche agricole e a favorire il corretto funzionamento dei servizi ecosistemici da loro forniti. I capitoli che seguono offrono gli strumenti essenziali per comprendere come sono fatti e come “funzionano” gli insetti, con particolare attenzione agli aspetti di morfologia e fisiologia che sono il bersaglio di strategie di controllo.

La II parte, Mezzi e Metodi di Controllo, si apre con il capitolo quarto in cui è evidenziato il ruolo degli insetti negli ecosistemi e sono richiamati i principi basilari dell'agroecologia e dell'agricoltura biologica. Segue il capitolo quinto in cui vengono passati in rassegna i principali agenti per il controllo biologico degli insetti fitofagi. Infine, il capitolo sesto affronta nel dettaglio gli aspetti della difesa fitosanitaria in regime di agricoltura biologica.

La III e ultima parte, Applicazioni in Campo, rappresenta il momento della sintesi, che trova riscontro in tre agroecosistemi rappresentativi dell'area mediterranea: l'agrumeto, l'oliveto e il vigneto. Dapprima, nel capitolo settimo sono inquadrati i principali ordini di insetti fitofagi infeudati nei tre agroecosistemi, di cui sono riportate le informazioni essenziali di morfologia, biologia, danni e le possibili strategie di controllo in regime di agricoltura biologica. Seguono poi i capitoli ottavo, nono e decimo, in cui gli insetti fitofagi di ciascuno degli agroecosisti-

stemi trattati sono illustrati in successione, in funzione dei diversi regimi alimentari, an-tofagi e carpo-fagi, fillofagi, insetti fitomizi e, infine, xilofagi e rizofagi.

Il testo è valorizzato da un'ampia presenza di foto, disegni, schemi e tabelle che faciliteranno il processo di apprendimento dello studente. Inoltre, con un occhio attento alle novità offerte dalle nuove tecnologie, nella consapevolezza che queste non sostituiscono, bensì affianchino il “vecchio” testo, il libro è arricchito dalla presenza di QR Code (*Quick Response Code*), che in italiano è in uso tradurre con codici a risposta veloce, i quali rendono il testo interattivo e coinvolgente, in quanto permettono la consultazione di regolamenti e siti sempre aggiornati e la visione di brevi filmati esplicativi di specifici aspetti. In definitiva, il testo sembra possedere il taglio giusto e i contenuti essenziali per essere apprezzato non solo dagli studenti, ma anche da coloro che operano nel settore della difesa fitosanitaria.

In ultimo, la scelta della foto di copertina, tratta da uno dei pannelli del soffitto ligneo della Sala Magna del Palazzo Chiaramonte sede del Rettorato degli Università degli Studi di Palermo, raffigurante una scena campestre, con due splendide farfalle che richiamano il tema del libro, merita un apprezzamento particolare in quanto vuole sancire il legame tra il lavoro degli autori e la prestigiosa istituzione universitaria che essi rappresentano. ■


Prof. **Giovanni Liotta**

Professore Ordinario di Entomologia Agraria





I



PARTE PRIMA
ENTOMOLOGIA
GENERALE



1

INTRODUZIONE
ALL'ENTOMOLOGIA

Entomologia è una branca della Zoologia che si dedica allo studio degli insetti. L'accezione attuale della parola Entomologia ha avuto una lunga genesi. Fu introdotta per la prima volta da Aristotele (Stagira, 384 o 383 a.C. – Calcide, 322 a.C.) che utilizzò la parola greca *éntomon* per indicare tutte le specie animali che rientrano nel *phylum* degli Artropodi. Successivamente, il naturalista svedese Carl Nilsson Linnaeus (Råshult 1707 - Uppsala 1778), considerato il padre della moderna classificazione scientifica degli organismi viventi, utilizzò la corrispondente parola latina, *insectum*, per denominare la classe degli Insetti (*Insecta*).

Etimologicamente le due parole, quella latina e quella greca, hanno lo stesso significato, intendendo un corpo diviso in parti ben distinte

(tomi o setti). Successivamente, lo zoologo e naturalista francese Henri Marie Ducrotay de Blainville (Arques-la-Bataille 1777-Parigi 1850) utilizzò il termine Esapodi (*Hexapoda*) per raggruppare tutti gli animali caratterizzati da un corpo diviso in tre parti (capo, torace e addome), forniti di due antenne e sei zampe, caratteristiche queste che sono ancora oggi utilizzate per definire la classe degli Insetti.

Gli Insetti rappresentano il gruppo tassonomico più numeroso con circa 1.200.000 specie descritte, ovvero i due terzi degli organismi viventi, numero che, comunque, rappresenta solo una quota ridotta del totale stimato delle specie esistenti (Fig. 1.1 ►).

Va anche tenuto conto che la numerosità delle specie di artropodi non soltanto è di gran lunga più considerevole di quella delle piante e dei vertebrati messi insieme, ma in alcu-

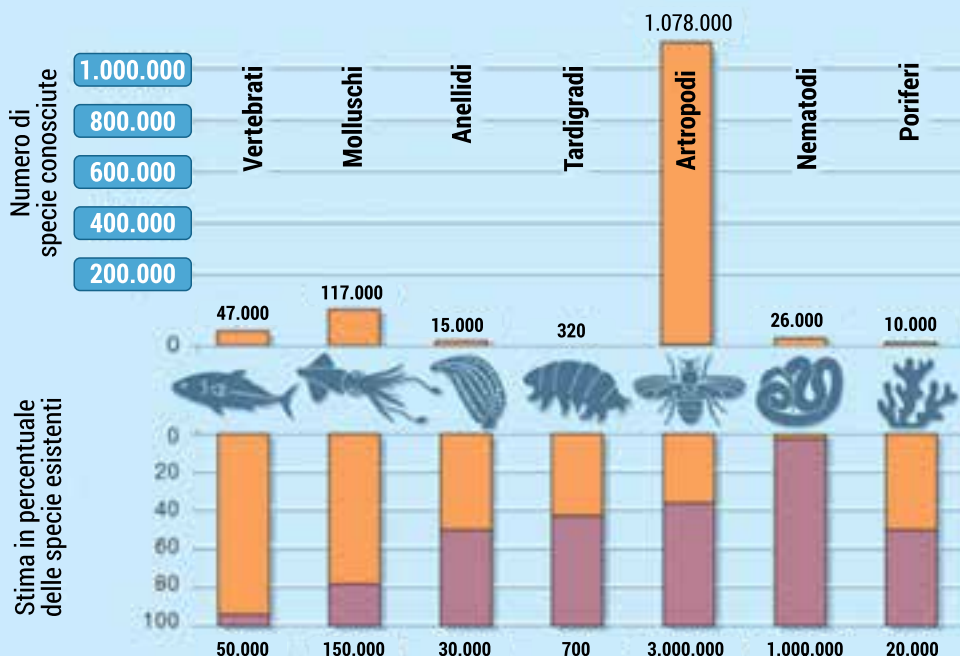


Fig. 1.1 - Numero di specie note e stimate in alcuni *phyla* animali. Gli istogrammi nella parte superiore indicano il numero di specie conosciute per un determinato *phylum* (in arancione). Gli istogrammi nella parte inferiore rappresentano il numero stimato di specie esistenti. In arancione le specie conosciute, in viola le specie di cui si suppone l'esistenza.

ni ecosistemi, ad esempio in quelli naturali, la biomassa degli artropodi da sola può superare quella dei vertebrati. Gli insetti hanno colonizzato tutte le nicchie ecologiche e costituiscono circa il 65% della biodiversità conosciuta.

1.1 BIODIVERSITÀ ENTOMOLOGICA

In ecologia il termine biodiversità o diversità biologica indica la diversità degli organismi viventi in tutte le loro molteplici forme, incluse le interazioni con le componenti abiotiche. Negli agroecosistemi la biodiversità è detta agrobiodiversità e rappresenta la varietà biologica delle specie vegetali e animali che sono presenti in un territorio, o semplicemen-

te in un'azienda, in cui viene praticata l'attività agricola. La ricchezza dell'agrobiodiversità produce beni e servizi che sono in genere compresi nell'ambito delle cosiddette risorse genetiche vegetali. Il termine biodiversità apparve per la prima volta verso la fine degli anni '80, ma la codifica giuridica ed economica avvenne in occasione della Conferenza delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo (UNCED), svoltasi nel 1992 a Rio de Janeiro con la firma della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (CQCC) e della Convenzione sulla Diversità Biologica (CDB).

In particolare, all'art.2 della CDB la biodiversità è definita «la variabilità degli organismi viventi di ogni origine, compresi inter alia, gli



ecosistemi terrestri, marini ed altri ecosistemi acquatici e i complessi ecologici di cui fanno parte; ciò include la diversità nell'ambito

delle specie e tra le specie e la diversità degli ecosistemi»; all'art.1 sono riportati i 3 obiettivi principali che la CDB intende perseguire e che sinteticamente possono essere individuati in: 1) la conservazione della diversità biologica, 2) l'utilizzazione durevole dei suoi elementi e la ripartizione giusta ed equa dei vantaggi derivanti dallo sfruttamento delle risorse genetiche, 3) il trasferimento delle tecnologie pertinenti, tenendo conto di tutti i diritti su tali risorse e tecnologie e mediante finanziamenti adeguati. Negli anni successivi, la maggiore consapevolezza del rapporto tra società ed ambiente e le conoscenze acquisite nella comprensione delle interazioni tra i sistemi sociali e i sistemi ambientali, hanno evidenziato come alcuni sistemi agricoli siano in grado di svolgere un ruolo fondamentale per la protezione della biodiversità in misura maggiore di altri.

È noto che tanto più è complessa la diversità biologica di una comunità, tanto maggiore è la sua stabilità e viceversa. L'attività agricola determina una sensibile semplificazione strutturale dell'ambiente, in quanto ridimensiona la biodiversità naturale degli ecosistemi a poche specie di piante coltivate e di animali domestici allevati. Questo è ancora più evidente nei modelli di agricoltura intensiva che nel tempo hanno determinato una serie di conseguenze negative, come la semplificazione strutturale degli ambienti, la creazione di paesaggi agrari omogenei, la perdita di habitat e l'erosione genetica di specie selvatiche. Se, per esempio, si concentra l'attenzione sulle piante eduli,

si può notare che nel mondo ne sono stimate circa 50.000 specie, ma di queste solo alcune centinaia contribuiscono in maniera significativa a fornire alimenti e appena 15 soddisfano il 90% dell'approvvigionamento calorico mondiale.

Gli insetti sono una componente essenziale di tutti gli ecosistemi terrestri in quanto svolgono funzioni primarie come l'impollinazione, la dispersione dei semi, il mantenimento della fertilità e della struttura dei suoli, il controllo delle popolazioni di vari organismi, oltre a favorire il ciclo biogeochimico dei nutrienti ed a rappresentare la componente primaria delle diete di molti taxa, uomo incluso. Anche in ambito agrario, caratterizzato da ecosistemi estremamente semplificati, è ormai accertato il ruolo fondamentale della biodiversità entomologica, essendo gli insetti il gruppo animale maggiormente adatto a monitorare la sostenibilità ambientale delle pratiche agricole e zootecniche.

Infatti, la perdita della diversità entomologica appare più rapida rispetto ai cambiamenti di biodiversità che possono essere riscontrati nei vertebrati. Un esempio è offerto dagli ortotteri, in quanto fortemente legati alle associazioni vegetali e, quindi, estremamente sensibili ai cambiamenti ambientali determinati dalle variazioni della vegetazione erbacea-arbustiva.

Le conseguenze della riduzione della biodiversità entomologica risultano particolarmente evidenti nella gestione fitosanitaria delle colture, in quanto si osserva uno stretto legame tra la recrudescenza di attacchi da parte di insetti fitofagi e l'espansione delle monocolture a scapito della vegetazione spontanea. Non tutti i sistemi di coltivazione determinano necessariamente i medesimi effetti, infatti il metodo di produzione biologico tiene conto di un complesso di pratiche di gestione degli

agroecosistemi che mirano ad avere effetti positivi per la conservazione della biodiversità in generale e in particolare di quella degli artropodi (cfr. paragrafo 4.1). È dimostrato che il depauperamento della biodiversità è causa di grave degrado della qualità degli ecosistemi e di perdita della loro funzionalità e delle loro capacità di fornire i servizi ecosistemici. Pertanto, sulla spinta dell'affermazione dell'agricoltura biologica, negli ultimi anni si osserva un interesse crescente per lo studio dell'artropofauna in relazione alla gestione agronomica.

1.2 - SERVIZI ECOSISTEMICI FORNITI DAGLI INSETTI

Come detto precedentemente, la distruzione e la frammentazione degli habitat naturali e l'intensificazione antropica dell'uso del suolo sono considerate le maggiori cause di perdita di biodiversità. Pertanto, la dipendenza dell'agricoltura convenzionale dalle risorse non rinnovabili potrebbe rendere più difficile soddisfare richieste sempre maggiori di prodotti alimentari nel medio e lungo periodo. In questa prospettiva, una valida alternativa è quella che mira all'ottimizzazione dei servizi che gli ecosistemi forniscono, i cosiddetti servizi ecosistemici (SE).

I SE sono convenzionalmente raggruppati in quattro categorie: 1. approvvigionamento (la produzione di cibo, fibre e materiali o combustibili), 2. supporto (ciclo dei nutrienti, conservazione del suolo e dell'acqua), 3. regolazione (controllo biologico e impollinazione) e 4. culturali (turismo ecologico, ricreazione e benessere) - (Fig. 1.2 ▼).

L'agricoltura riveste un ruolo complesso nei confronti dei SE. Infatti, se da un lato i processi produttivi agricoli utilizzano SE

generati dal territorio circostante, dall'altro essi stessi producono e forniscono SE alla società.

Gli insetti, negli agroecosistemi, forniscono SE relativi alla regolazione e, in particolare, i servizi di impollinazione e di controllo biologico.

L'impollinazione entomofila, operata cioè da specifici gruppi tassonomici di insetti, comunemente detti pronubi, svolge un ruolo insostituibile nella fecondazione incrociata, nella propagazione e nel miglioramento genetico di circa il 90% delle specie vegetali, favorendo la riproduzione sessuale in circa il 70 % delle specie coltivate in tutto il mondo, in particolare delle piante da frutto.

Tutto questo non solo genera grandi valori economici, ma ha anche effetti rilevanti sull'assetto vegetale e animale di un territorio. Tuttavia, i dati più recenti evidenziano un globale decremento delle popolazioni degli impollinatori che, se non arrestato, potrebbe compromettere la realizzazione di complessi processi ecologici e produttivi.

È importante sottolineare che il SE dell'impollinazione dipende strettamente dalla presenza di elementi semi-naturali nel paesaggio circostante, per esempio le siepi, che collegano i vari ecosistemi dell'ambiente agrario in quanto rappresentano "habitat permanenti" in un paesaggio caratterizzato per lo più da "habitat temporanei".

Il controllo biologico naturale degli insetti fitofagi, noto anche come controllo biologico conservativo, operato da insetti entomofagi, predatori e parassitoidi, è un SE di essenziale importanza a supporto della produzione agricola (cfr. paragrafo 6.1.4). Il controllo biologico conservativo si basa sulla valorizzazione degli insetti antagonisti naturali presenti spontaneamente in campo. In pratica, il controllo biologico conservativo

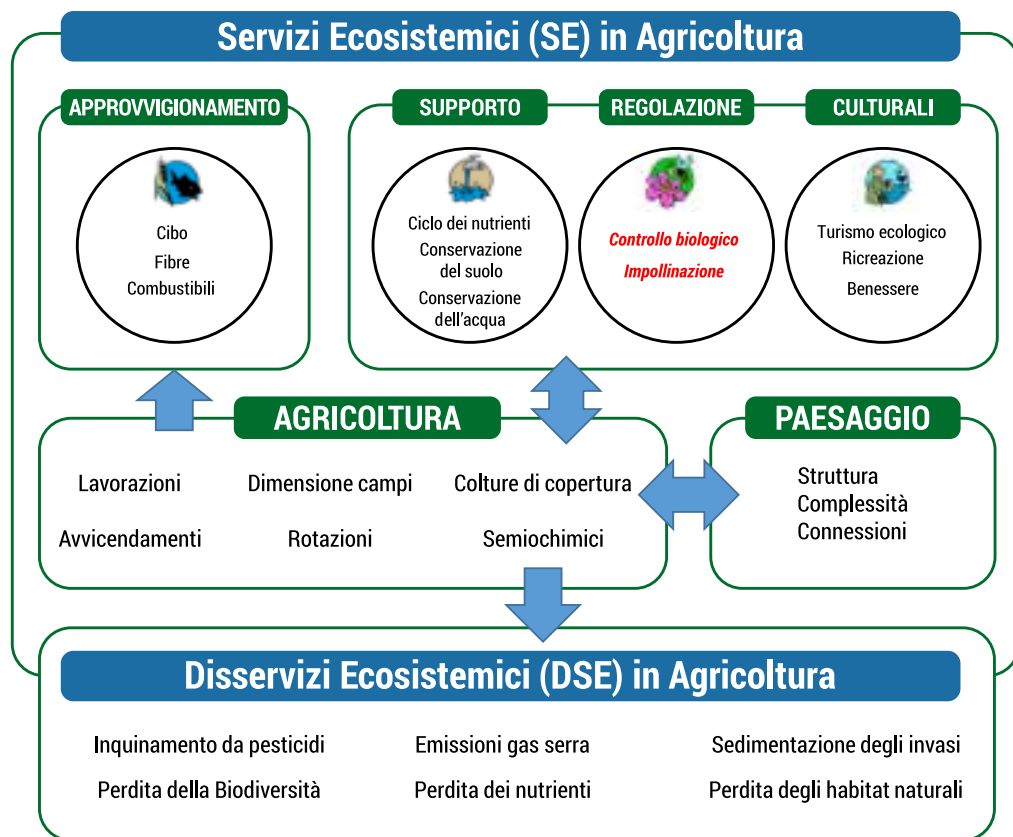


Fig. 1.2 - I servizi e i disservizi ecosistemici derivanti dalle pratiche agricole. In rosso e in corsivo sono evidenziati i servizi ecosistemici direttamente riconducibili alle attività degli insetti.

può essere valorizzato da diversi fattori che agiscono a scale spazio-temporali diverse, come la gestione delle singole colture e le loro variazioni nel contesto del paesaggio circostante. In particolare, in un agroecosistema, la complessità del paesaggio che circonda il campo coltivato, determinata dalla presenza di habitat semi-naturali, favorisce la presenza di comunità di entomofagi più diversificate ed abbondanti. In questo scenario, l'agricoltura biologica

persegue la difesa delle colture attraverso l'impiego di tecniche di gestione della biodiversità, con l'obiettivo di prevenire le cause che determinano gli incrementi demografici delle popolazioni di insetti fitofagi, anche attraverso il potenziamento dei loro antagonisti naturali e, solo quando queste tecniche non dovessero dare i risultati sperati, ricorrere ad apporti dall'esterno, come dettagliatamente riportato nei capitoli 5 e 6. ■





2

MORFOLOGIA E ANATOMIA ESTERNA

I corpo degli insetti è costituito da segmenti detti metameri; si distingue da quello degli altri Artropodi per essere suddiviso in tre regioni, dette tagma: Capo, Torace e Addome (Fig. 2.1 ►).

Normalmente ciascun metamero è separato dal precedente e dal successivo da una membrana intersegmentale che consente flessibilità e movimento all'intero corpo. Ai tre tagma sono associate diverse appendici, quali, per esempio, antenne, zampe e ali (Fig. 2.1).

La forma, le dimensioni e l'aspetto generale del corpo di un insetto sono estremamente variabili e tutti assieme forniscono i caratteri morfologici utili per comprenderne gli aspetti ecologici e funzionali, oltre a risultare indispensabili per la corretta identificazione sistematica.

2.1 - L'ESOSCHELETRO

L'intero corpo di un insetto è racchiuso da uno scheletro esterno detto Esoscheletro, un apparato tegumentale complesso in grado di assicurare protezione dagli agenti esterni, abiotici e biotici, evitare la perdita dei liquidi interni, fornire supporto agli organi interni e punti di ancoraggio al sistema muscolare. La presenza dell'esoscheletro è uno degli elementi che ha contribuito all'incredibile successo evolutivo degli insetti, anche se si deve tenere presente che la sua natura sostanzialmente rigida comporta una crescita discontinua dell'individuo, la quale richiede periodicamente la sostituzione e il rinnovo dell'esoscheletro attraverso il fenomeno della muta (cfr. paragrafo 3.10.4). L'esoschele-

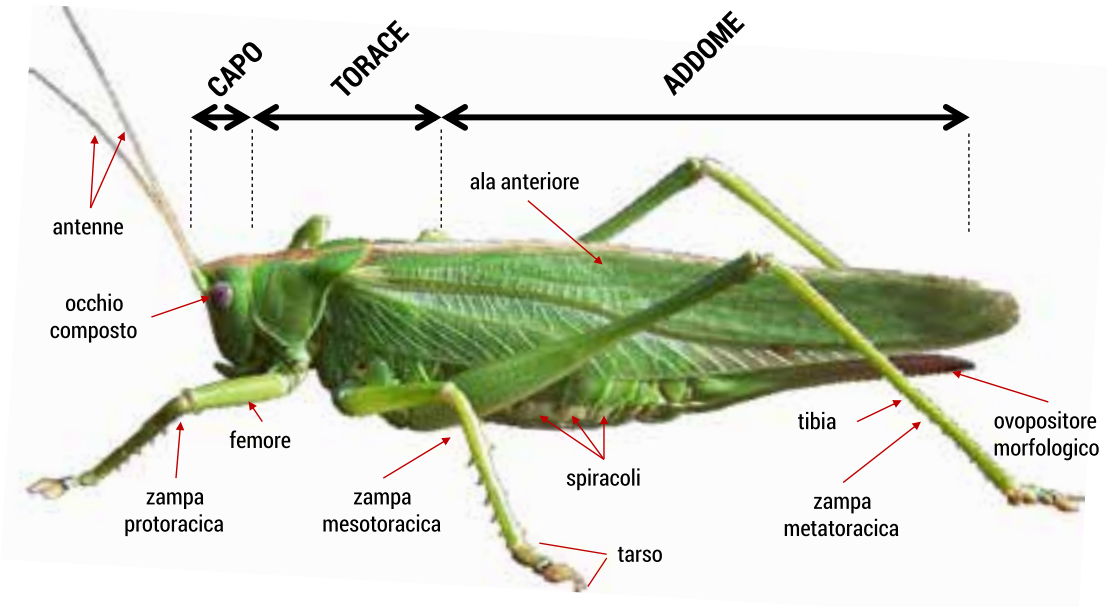


Fig. 2.1 - Rappresentazione schematica della morfologia di femmina di cavalletta (Orthoptera: Ensifera).

tro è costituito da tre strati che dall'esterno verso l'interno sono: la Cuticola, l'Epidermide e la Membrana Basale (Fig. 2.2 ▼).

2.1.1 - LA CUTICOLA

La cuticola è un rivestimento rigido pluristratificato esterno, inerte, secreto dalle cellule dell'epidermide, che serve a proteggere il corpo dagli agenti esterni e ad evitare la perdita dei fluidi interni con l'evaporazione. Riveste interamente il corpo degli insetti, prolungandosi all'interno con dei processi, detti apodemi, di varia forma ed estensione, che nell'insieme costituiscono l'endoscheletro, apparato di rinforzo, di attacco per i muscoli e di sostegno per gli organi interni.

La cuticola, inoltre, riveste le ali negli insetti pterigoti, delimita i tubi tracheali e costituisce il rivestimento del lume dell'intestino anteriore e posteriore, prendendo il nome di intima.

Spessore e costituzione della cuticola non sono uniformi in tutto il corpo, in quanto vi sono zone in cui la cuticola offre minore rigidità e maggiore flessibilità per permettere il movimento del corpo. Queste zone di minore resistenza sono caratterizzate da una consistenza membranosa determinata dal ridotto sviluppo dell'esocuticola e si identificano con le membrane intersegmentali e con le suture.

Le membrane intersegmentali si ritrovano nelle giunture tra i metameri e nelle articolazioni delle appendici per facilitare i movimenti delle diverse parti del corpo, mentre le suture sono presenti nel singolo segmento e delimitano le aree più rigide, favorendo l'elasticità e la flessibilità del segmento, come ad esempio nei segmenti del torace alifero degli insetti pterigoti. Dall'esterno verso l'interno si distinguono due strati: epicuticola e procuticola (Fig. 2.2).

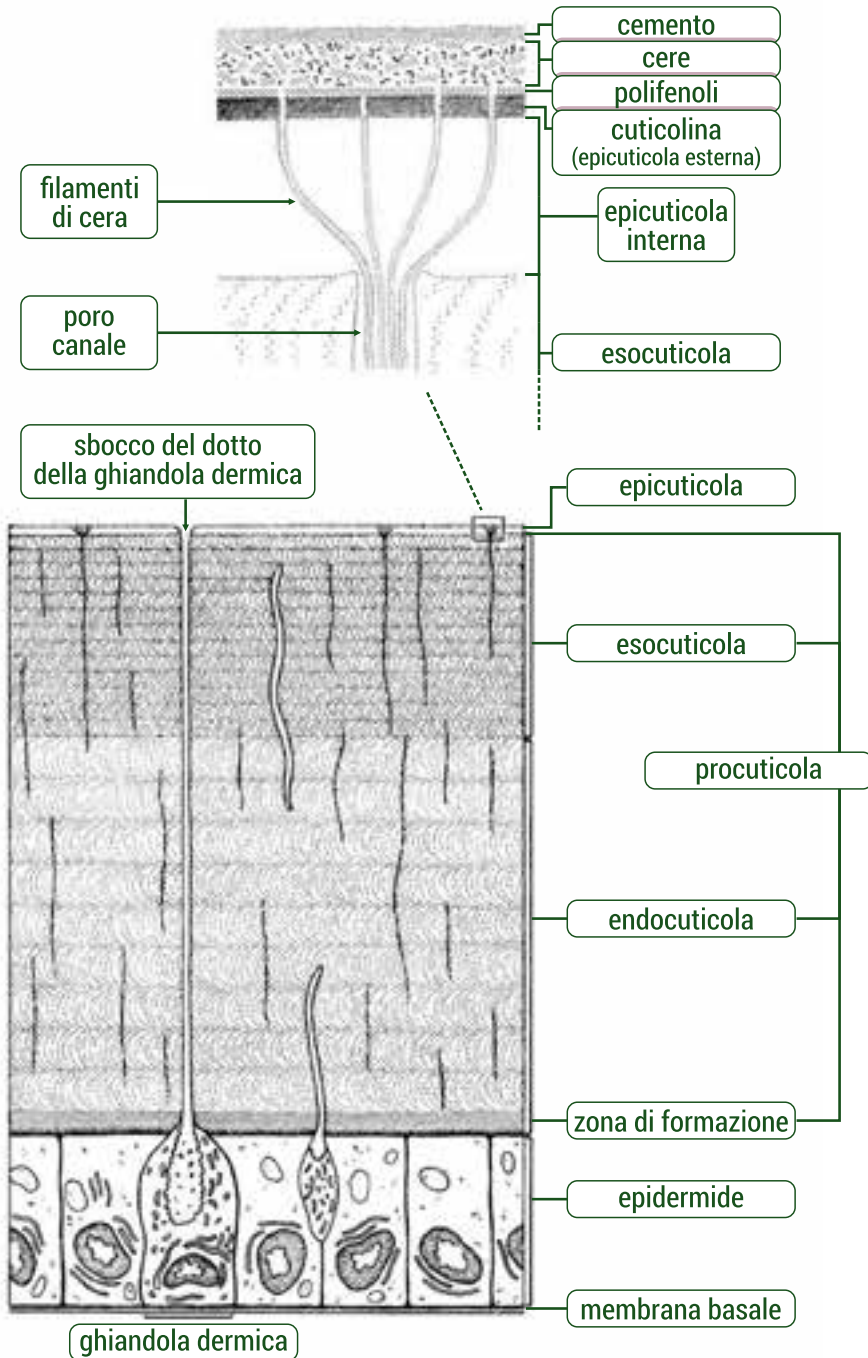


Fig. 2.2 - Rappresentazione schematica della struttura base dell'esoscheletro di un insetto con il dettaglio della regione apicale della cuticola.

L'epicuticola (Fig. 2.2 ◀) è lo strato che viene secreto per primo durante il processo di muta, è spessa poche unità di micron (1-3 μm) e può essere divisa in due parti: epicuticola esterna (cuticolina) ed epicuticola interna (strato interno).

Lo strato più esterno della cuticolina è caratterizzato dalla presenza di strati lipidici, costituiti da cere e cemento, dette cere epicuticolari.

Le cere epicuticolari rivestono un'importanza strategica per gli insetti, non solo svolgendo il ruolo di barriera alla disidratazione (inerzia chimica e impermeabilità), ma anche un ruolo chiave nelle relazioni semiochimiche, in quanto possono avere funzioni feromonalì (regolando le relazioni intraspecifiche) e caïromonalì (nelle relazioni intraspecifiche con antagonisti naturali).

La cuticolina è formata da proteine e lipidi simili a paraffine, mentre lo strato interno è costituito da proteine, lipidi e composti aromatici. Con il tempo, la cuticolina si trasforma in sclerotina per condensazione delle proteine ad opera di composti chinonici (tannizzazione), acquisendo doti di durezza e plasticità.

La procuticola (Fig. 2.2) è uno strato con spessore variabile (da 10 μm a 0,5 mm) costituito soprattutto da chitina, dal greco *chiton* che significa "tunica, rivestimento", un polimero composto da monomeri di N-acetil-D-glucosammina collegati tra loro. La chitina si presenta sotto forma di microfibrille flessibili (cristalliti) di 2,8 nm di diametro, immerse in una matrice di centinaia di proteine diverse; oltre ad essere uno dei principali componenti dell'esoscheletro degli insetti e di altri artropodi, la si ritrova anche nella parete cellulare di funghi e batteri. Dall'alto verso il basso, la procuticola si suddivide in esocuticola ed endocuticola.

L'esocuticola è costituita da fibrille di chitina immerse in una matrice lipoproteica tannizzata, simile pertanto alla sclerotina dell'epicuticola; svolge funzioni meccaniche, fornendo all'esoscheletro la sua peculiare rigidità.

L'endocuticola (Figg. 2.2 e 2.3 ▼) è lo strato più spesso dell'intera cuticola ed è caratterizzata dalla presenza di resilina, una proteina elastomerica che conferisce all'esoscheletro una notevole elasticità; per questa sua peculiarità tale proteina è presente nelle regioni del corpo interessate da un'intensa attività muscolare, es. negli scleriti ascellari che concorrono all'articolazione ala anteriore-torace.

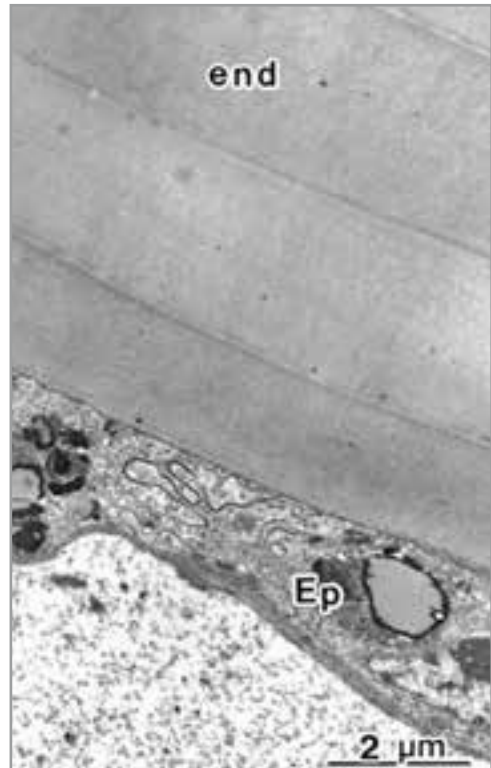


Fig. 2.3 - Micrografia elettronica di parte del profilo dell'esoscheletro di insetto in cui è visibile lo strato dell'endocuticola (end) e l'epidermide sottostante (Ep).

La procuticola è attraversata da numerosi pori canali (Fig. 2.2), che si ramificano nell'epicuticola, attraverso i quali passano i secreti delle cellule epidermiche che, nel corso della muta, generano la nuova cuticola sotto la vecchia. Di contro, i pori canali rappresentano anche la via attraverso la quale insetticidi che agiscono per contatto possono giungere sino all'emocele.

2.1.2 - L'EPIDERMIDE

L'epidermide (Fig. 2.2) è costituita da un tessuto epiteliale monostratificato, che governa principalmente la formazione della cuticola. Nelle forme giovanili le cellule si possono presentare di forma cubica o cilindrica per poi divenire piatte nell'insetto adulto quando non sono più attive, non dovendo più presiedere alla formazione di nuova cuticola. Nell'epidermide si trovano anche cellule specializzate nella formazione degli organi di senso e delle ghiandole dermiche.

2.1.3 - LA MEMBRANA BASALE

La membrana basale (Fig. 2.2) è molto sottile (0,5 μm), è costituita da collagene e svolge la funzione di isolamento tra l'epidermide e l'emocele.

2.1.4 - L'ENDOSCHELETRO

L'endoscheletro è costituito dalle diverse formazioni che si sviluppano dall'esoscheletro,

quali carene, tubercoli e lamine. Come già riportato, l'endoscheletro ha la funzione di rinforzo dell'esoscheletro, di sostegno degli organi interni e di punto di attacco per i muscoli somatici. Nel capo, l'endoscheletro è rappresentato dal tentorio, che è composto da due paia di bracci simmetrici, due anteriori e due posteriori, formati da introflessioni del tegumento. I due bracci posteriori partono in prossimità del foro occipitale e si dirigono in avanti collegandosi ai due bracci anteriori. Il tentorio sostiene il cervello e l'esofago ed è punto di attacco per i muscoli delle antenne, delle appendici boccali e del tratto anteriore del canale alimentare.

2.1.5 - PROCESSI E APPENDICI

La superficie del tegumento può apparire liscia oppure presentare delle estroflessioni dette processi o appendici. I processi si distinguono in cellulari e non cellulari. Tipici processi cellulari sono le proiezioni cuticolari, distinte in spine (Fig. 2.4 ▼), formate da cellule indifferenziate, peli e setole, prodotti da specifiche cellule tricogene situate nell'epidermide (Fig. 2.4). Alcuni processi cellulari (sensilli), possono svolgere funzioni sensoriali, in quanto connessi a terminazioni nervose. In generale, gli elementi morfologici dell'esoscheletro sono importanti per la determinazione tassonomica degli insetti.

2.1.6 - I COLORI

La colorazione del corpo degli insetti è determinata dall'interazione della luce con la superficie della cuticola (colori strutturali o fisici), oppure dalla pre-

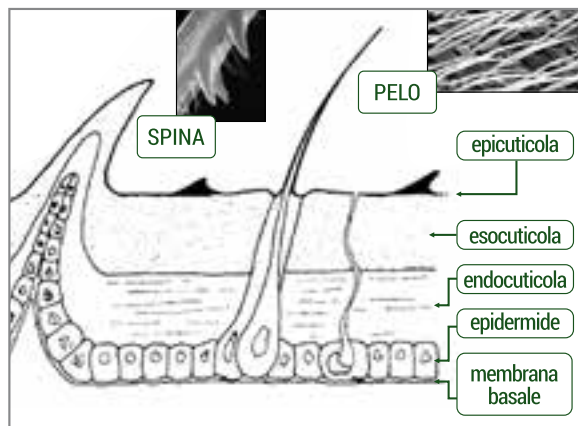


Fig. 2.4 - Rappresentazione schematica dei processi tegumentali presenti sul corpo di un insetto. In alto, foto al microscopio elettronico a scansione che mostrano i dettagli delle spine e dei peli.

senza di pigmenti (colori pigmentali o chimici). La colorazione fisica è determinata, per esempio, dalla rifrazione della luce dovuta all'orientamento dei cristalli di chitina presenti nell'epicuticola, fenomeno comune in molti coleotteri; oppure dalla diffrazione della luce prodotta dalla tessitura della superficie delle squame che ricoprono le ali dei lepidotteri; pertanto, i colori fisici rimangono per lo più inalterati nel tempo. La colorazione chimica è determinata dalla presenza di pigmenti che possono essere prodotti dal metabolismo dell'insetto, acquisiti dalla pianta ospite durante l'alimentazione o, più raramente, prodotti da organismi microbici endosimbionti. I pigmenti possono essere localizzati nella cuticola, nell'epidermide, nell'emolinfia o nei corpi grassi e, quindi, sono destinati ad alterarsi dopo la morte dell'insetto.

I colori svolgono diverse funzioni. Per esempio, i colori fisici concorrono nel processo di riconoscimento dei sessi per l'accoppiamento o di difesa verso gli antagonisti naturali, mentre quelli chimici agiscono nella formazione dell'immagine come nel caso degli ommocromi, i principali pigmenti presenti negli occhi degli insetti. Le colorazioni del corpo degli insetti svolgono inoltre funzione protettiva nei confronti delle radiazioni nocive dei raggi ul-

travioletti e offrono anche un beneficio termico per le specie terrestri, in quanto possono incrementare l'assorbimento o la riflessione della luce solare.

2.2 - IL CAPO O TESTA

La prima regione del corpo dell'insetto è il capo o testa. Questo tagma si presenta come una capsula rigida, che è il risultato della fusione di sei metameri, in accordo con il processo evolutivo della cefalizzazione, il quale ha comportato il raggruppamento dei principali organi sensoriali nel capo.

Nel capo non è distinguibile la metamerizzazione, ma sono presenti dei solchi che definiscono aree contigue, le quali prendono il nome di vertice, fronte, gena e clipeo. Infine, è presente un endoscheletro, detto tentorio, che funge da rinforzo della scatola cranica e da attacco per i muscoli che controllano l'apparato boccale. Il capo presenta due aperture, una anteriore, che corrisponde all'apertura boccale, e una posteriore, il foro occipitale, che mette in connessione il capo con il tagma successivo, il torace. La sua posizione in rapporto all'asse del corpo permette di distinguere diversi tipi di capo: prognato (Fig. 2.5A ▼), quando l'asse cefali-

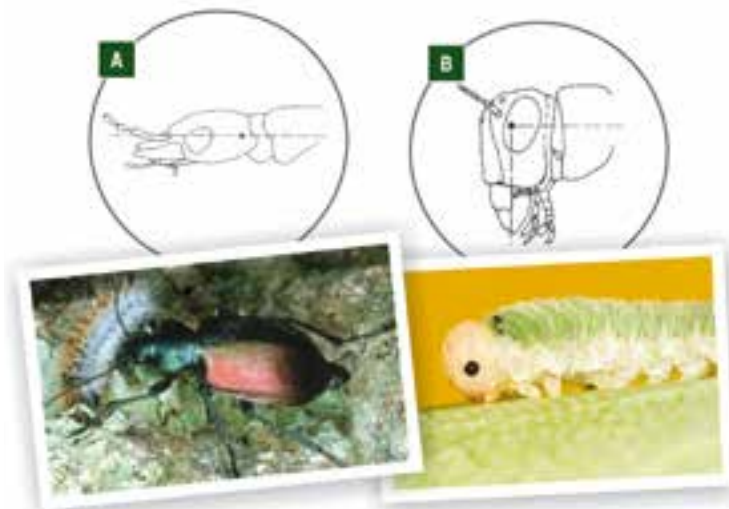


Fig. 2.5

Rappresentazione schematica di capo prognato (A) con, sotto, adulto di *Calosoma sycophanta* mentre preda una larva di processionaria del pino; ipognato (B) con, sotto, larva di imenottero sinfita mentre si nutre di una foglia.

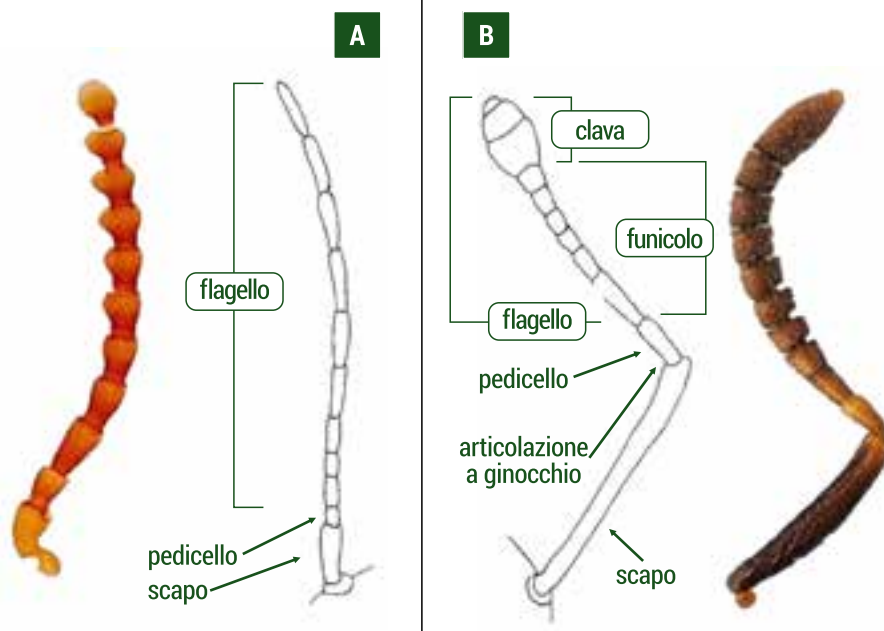


Fig. 2.6 - Rappresentazione schematica di antenna moniliforme (A) e clavata (B).

co e l'apertura boccale si trovano lungo l'asse orizzontale del corpo, come nel caso di insetti zoofagi predatori; ipognato (Fig. 2.5B ◀), quando l'asse cefalico con l'apertura boccale è in posizione ortogonale rispetto all'asse del capo, come nel caso di insetti fitofagi con apparato boccale masticatore; metagnato, quando l'asse cefalico con l'apertura boccale forma un angolo acuto con quello del corpo, come nel caso di insetti fitofagi ectofiti con apparato boccale pungente-succhiante; epignato, quando l'asse cefalico con l'apertura boccale è rivolto verso l'alto e forma un angolo ottuso con l'asse del corpo, come nel caso di insetti zoofagi predatori, che vivono in rifugi-trappole appositamente allestiti. Associati al capo sono presenti le appendici boccali, le antenne e gli organi per la vista.

2.2.1 - LE ANTENNE

Le antenne degli insetti sono in numero di due, localizzate sulla regione frontale del capo, e sono formate da numerosi segmen-

ti, detti antennomeri; si distinguono tre parti principali: 1) la base o scapo è l'antennomero prossimale e si articola in una fossetta della capsula cefalica detta torulo; 2) il pedicello, il secondo antennomero, generalmente più breve dello scapo; 3) il flagello, la restante porzione, a sua volta suddivisa in vari antennomeri detti flagellomeri (Fig. 2.6 A ▲).

Il numero di articoli che formano il flagello varia di specie in specie. Normalmente, le antenne sono di tipo anulato, in quanto presentano muscoli intrinseci solo nello scapo e nel pedicello. In alcune specie di insetti, nel pedicello si trova un organo sensorio detto Organo di Johnston che, negli insetti volatori, è in grado di percepire il movimento dell'aria. Il flagello è caratterizzato dalla presenza di organi di senso e di ghiandole. Le antenne possono presentare estrema eterogeneità nella forma e nello sviluppo; queste differenze possono servire come caratteri tassonomici. Per esempio, i due sottordini dell'or-

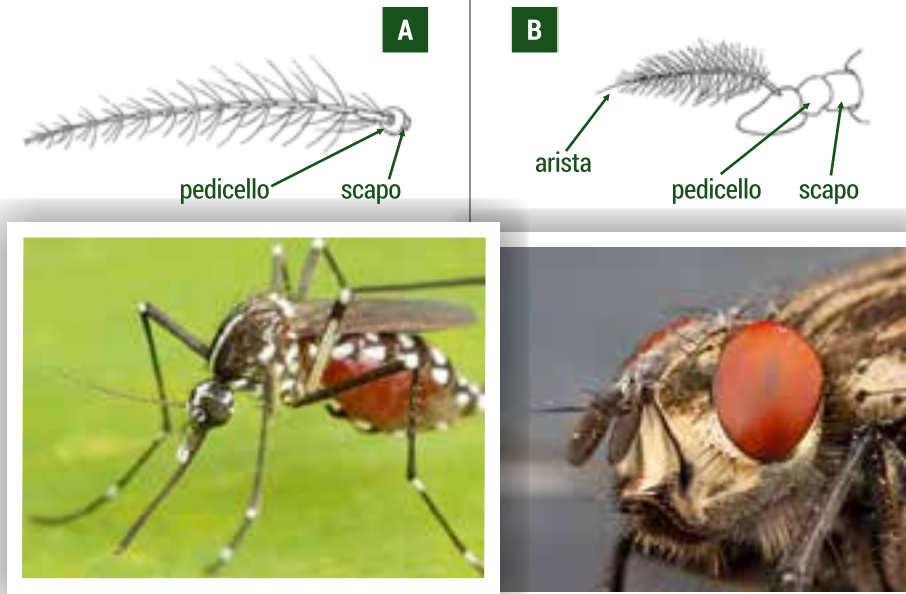


Fig. 2.7 - Rappresentazioni schematiche di antenna verticillata (A) con sotto adulto dittero nematocero e antenna aristata (B) con sotto adulto di dittero brachicero.

dine dei ditteri si differenziano, oltre che per altri caratteri meno evidenti, soprattutto per la conformazione delle antenne, le quali si presentano verticillate nei nematoceri (Fig. 2.7A ▲), cioè composte da articoli cilindrici con setole o peli più o meno lunghi disposti a verticillo, e aristate nei brachiceri (Fig. 2.7B ▲), cioè composte da tre articoli, scapo, pedicello e postpedicello; su quest'ultimo è presente un'appendice filiforme e pubescente detta arista. Le antenne possono anche rappresentare un carattere morfologico di dimorfismo sessuale. Per esempio, in alcune specie di lepidotteri geometridi e nottuidi, i maschi presentano le antenne bi-pettinate (Fig. 2.8A ▼), mentre le femmine moniliformi (Fig. 2.8B ▼).

Le antenne possono presentarsi con gli articoli del flagello simili tra loro, ad esempio l'antenna verticillata tipica dei coleotteri cerambicidi e l'antenna pettinata tipica dei coleotteri ela-

teridi, oppure possono presentare articoli del flagello diversi tra loro, per esempio l'antenna clavata tipica degli imenotteri scelionidi (Fig. 2.4B), in cui i primi antenomeri sono sottili, porzione detta funicolo, e quelli più distali sono ingrossati, porzione detta clava. Infine, possono presentare gli articoli del flagello provvisti di appendici, ad esempio la già citata antenna aristata di dittero brachicero.

2.2.2 - L'APPARATO BOCCALE

L'apparato boccale degli insetti è costituito da un insieme di appendici articolate alla scatola cranica, le quali formano l'apertura boccale e servono a svolgere in via prioritaria la funzione di assunzione degli alimenti e, secondariamente, altre funzioni non direttamente associate alla nutrizione. L'apparato boccale tipico è rappresentato dall'apparato masticatore, che è di derivazione più primitiva nonché il più diffuso tra gli insetti. È composto dal labbro

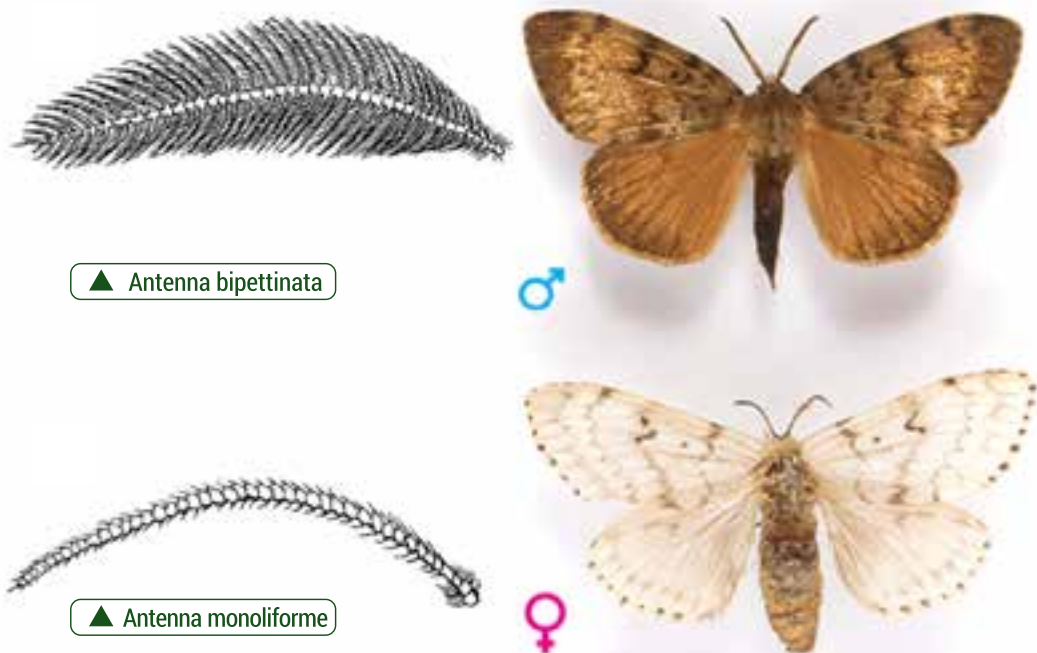


Fig. 2.8 - Rappresentazioni schematiche di dimorfismo sessuale nel carattere morfologico delle antenne in un lepidottero notturno.

2
2

superiore, dalle mandibole, dalle mascelle, dal labbro inferiore e dalla prefaringe. Nel corso dell'evoluzione, l'apparato boccale masticatore tipico ha subito modificazioni più o meno accentuate, in accordo con la notevole differenziazione dei regimi dietetici, tanto che si osservano profonde divergenze tra i diversi gruppi.

Nei paragrafi successivi, per ragioni didattiche e di semplificazione, sono descritti per primi l'apparato boccale masticatore tipico, utilizzando come modello quello degli ortotteri, e alcuni apparati boccali masticatori modificati; poi sono descritti gli apparati boccali di tipo lambente-succhiante, succhiante non perforante, pungente-succhiante e, infine, quello dilaniante.

2.2.2.1 - L'APPARATO BOCCALE MASTICATORE

Gli apparati boccali masticatori hanno la

caratteristica comune di possedere mandibole ben sviluppate con le quali causano lesioni nei tessuti vegetali o animali. L'apparato boccale masticatore tipico è morfologicamente atto ad assumere alimenti in forma solida, i quali sono triturati in modo sommario prevalentemente con le mandibole e ingeriti attraverso la cavità orale. Questo tipo di apparato boccale è molto diffuso e lo si ritrova sia in insetti fitofagi che zoofagi, seppure con alcune specifiche caratteristiche che saranno di seguito illustrate.

Nel caso degli insetti fitofagi, l'effetto più evidente dell'attività di nutrizione a carico della pianta è la formazione di lesioni e la riduzione dei tessuti vegetali.

Masticatore tipico

Adulto di cavalletta (ortottero)

Nell'apparato boccale masticatore tipico si distinguono: un labbro superiore, due man-

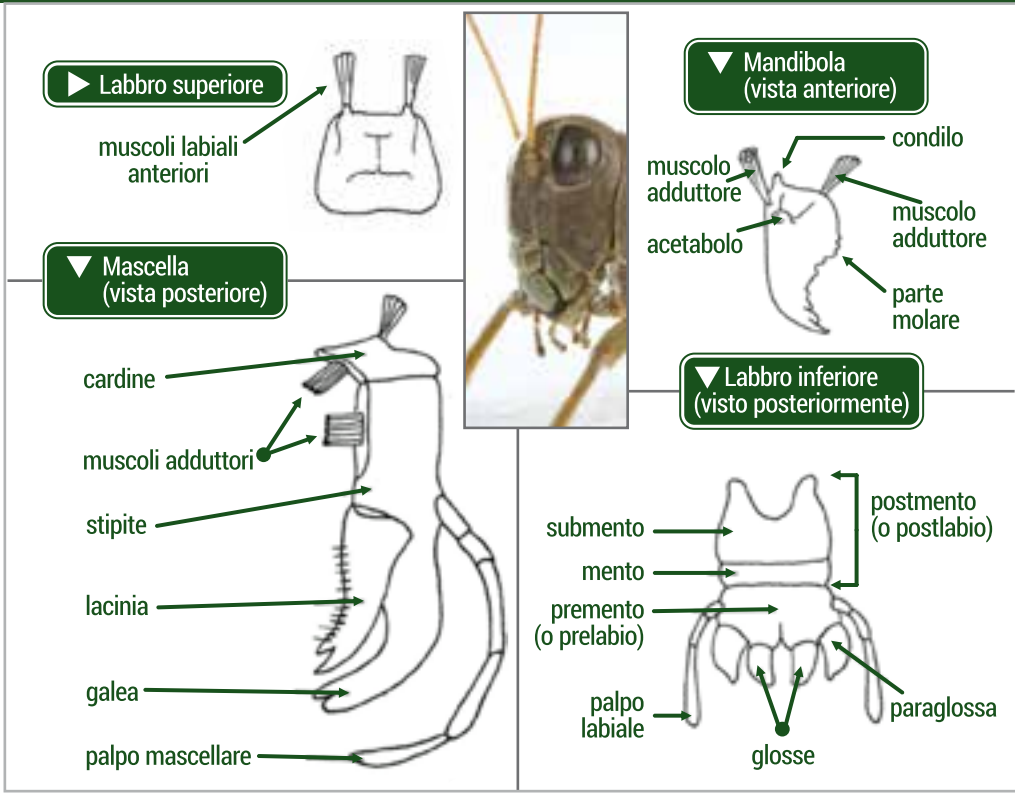


Fig. 2.9 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale masticatore tipico.

dibole, due mascelle, un labbro inferiore e la prefaringe (Fig. 2.9 ▲). Il labbro superiore è uno sclerite laminare di forma sub-quadrangolare, appiattito o leggermente convesso, che si articola superiormente al clipeo. Non prende parte attiva all'assunzione del cibo, ma agisce tenendo chiusa dorsalmente la cavità orale quando l'insetto non si sta alimentando. Le mandibole sono due appendici formate ciascuna da un unico sclerite notevolmente sclerotizzato di forma sub-triangolare. Le mandibole prendono parte attiva nell'alimentazione; negli insetti fitofagi si presentano di forma più tozza e con il margine interno dentellato, detto zona molare, mentre negli insetti zoofagi sono di forma più allungata, arcuata e acuta per dilaniare le prede. Le mandibole

sono articolate alla scatola cranica con articolazioni condilo-acetabolo e si muovono sul piano grazie all'azione dei muscoli adduttori e abduttori ad esse associati. Le mascelle sono due appendici simmetriche formate ciascuna da più scleriti: un cardine che si articola alla scatola cranica e uno stipite sclerotizzato che si prolunga in due lobi, quello esterno detto galea e quello interno detto lacinia. Sul lato esterno dello stipite è presente il palpo mascellare, una struttura sensoriale articolata in un numero di segmenti variabile da 1 a 7, in cui sono presenti sensilli meccanorecettori e chemiorecettori. Le mascelle agiscono attivamente nell'alimentazione fornendo supporto alle mandibole e favorendo l'assunzione dell'alimento.

Il labbro inferiore è un segmento impari costituito da articoli, uno prossimale, detto postmento, che in alcuni casi si suddivide in submento e mento, e uno distale, detto premento, sui cui lati si articolano i palpi labiali composti

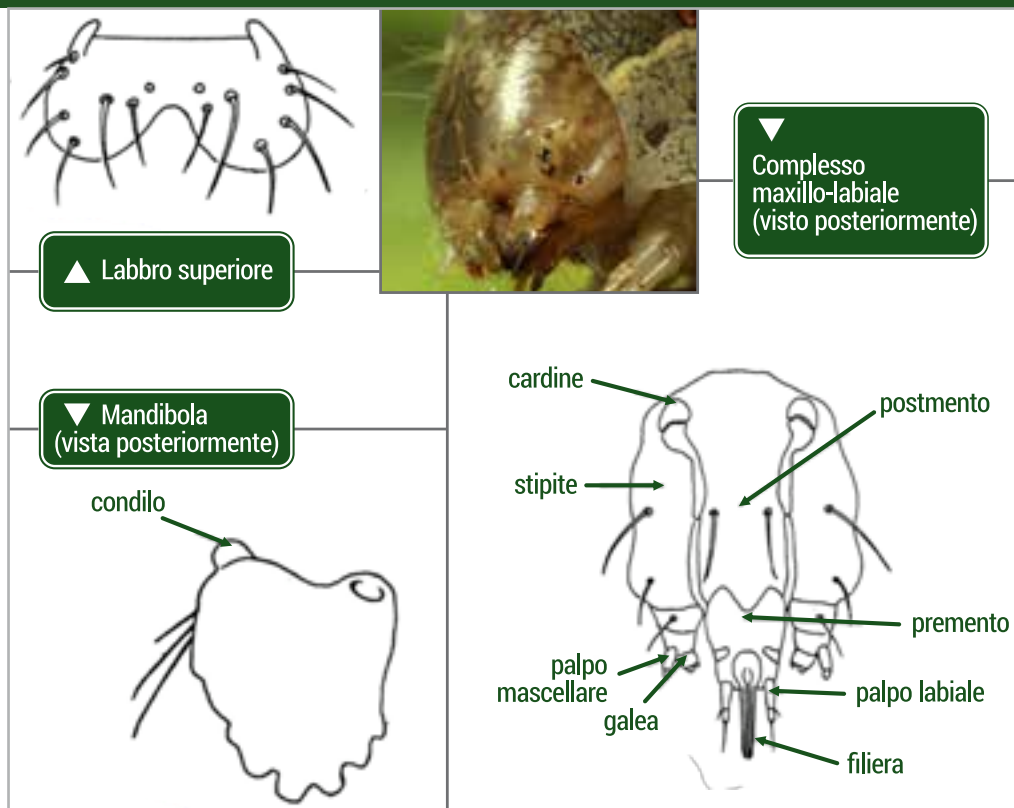


Fig. 2.10 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale masticatore di larva di lepidottero.

da 1 a 4 segmenti simili ai palpi mascellari. Nella parte distale sono presenti quattro lobi, i due interni sono detti glosse e i due esterni paraglosse. Il labbro inferiore concorre all'assunzione dell'alimento e, in posizione di riposo, chiude l'apertura boccale. Internamente la cavità orale è divisa dalla prefaringe in due parti, una dorsale, detta cibario, che continua con la faringe, e una ventrale, detta salivario, in cui sboccano i dotti delle ghiandole salivari.

Masticatore fitofago

Larva di lepidottero

L'apparato boccale masticatore fitofago è tipico dello stadio di larva di molti lepidotteri ed è composto da un labbro superiore, due mandibole e un complesso maxillo-labiale (Fig. 2.10 ▲).

Il labbro superiore è di dimensioni ridotte e bilobato. Le due mandibole sono di grandi dimensioni e robuste. Il complesso maxil-

lo-labiale è costituito dalla fusione delle due mascelle e del labbro inferiore e presenta all'apice, in posizione mediana, la filiera, una struttura dispari che termina con il dotto salivare, dal quale fuoriesce il filamento di seta prodotto dalle ghiandole sericipare.

Masticatore zoofago

Adulto di carabide (coleotteri)

L'apparato boccale degli adulti di carabidi, una famiglia di coleotteri che comprende specie predatrici, si compone di un labbro superiore, due mandibole e un complesso maxillo-labiale (Fig. 2.11 ►).

Il labbro superiore è uno sclerite di forma sub-quadrangolare leggermente appiattito. Le due mandibole sono formate ciascuna da

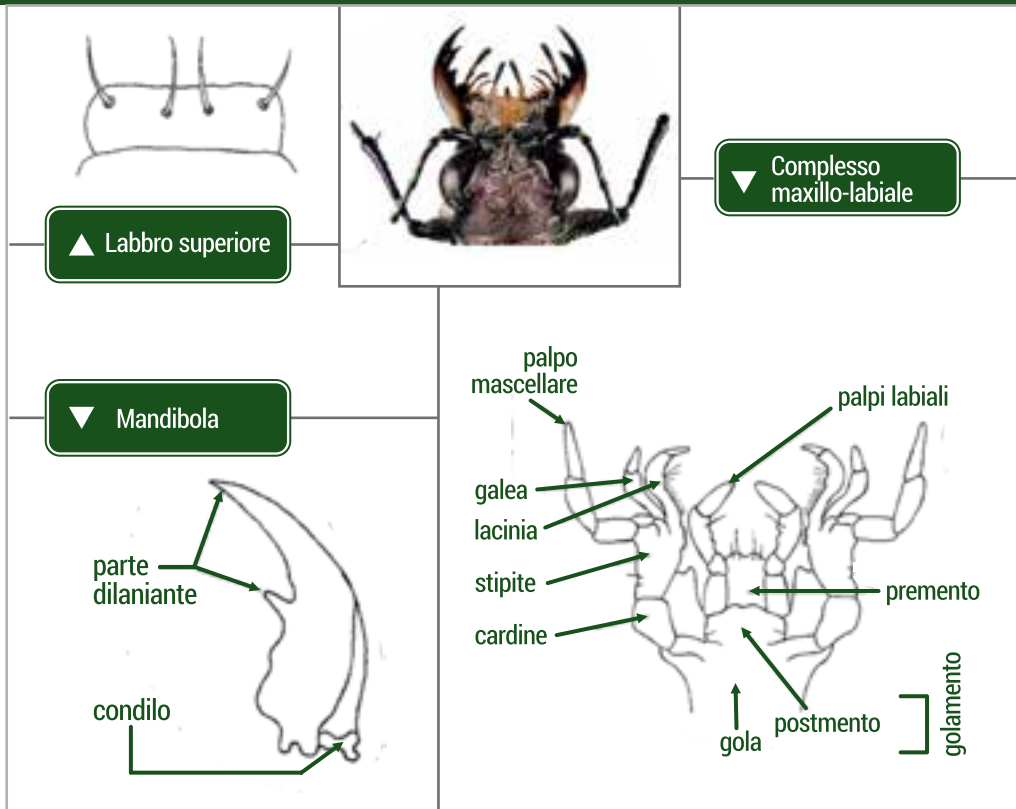


Fig. 2.11 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale masticatore di adulto di coleottero carabide.

un unico robusto e vistoso sclerite di forma allungata, denticolata arcuata, con un'accentuata zona dilaniante. Le mascelle e il labbro inferiore sono fusi assieme a costituire il complesso maxillo-labiale. Le mascelle e il labbro inferiore si presentano simili a quelli dell'apparato boccale masticatore tipico, ad esclusione della lacinia, che risulta sclerificata e denticolata per coadiuvare l'azione delle mandibole nell'afferrare e dilaniare le prede.

Masticatore zoofago

Ninfa di libellula (odonati)

La ninfa delle libellule vive negli acquitrini, dove preda invertebrati acquatici, girini e piccoli pesci. Il suo apparato boccale, detto maschera, si compone di un labbro superiore, due mandibole, due mascelle e un labbro infe-

riore (Fig. 2.12 ▼). Il labbro superiore, le due mandibole e le due mascelle non differiscono per morfologia e funzioni dall'apparato boccale masticatore tipico. Al contrario, appare profondamente modificato il labbro inferiore, che è costituito dal postmento e dal premento, i quali sono allungati e articolati. Il premento termina con due uncini costituiti dai palpi labiali articolati e sclerificati. Il labbro inferiore, tenuto raccolto a chiudere l'apertura boccale in posizione di riposo, viene estroflesso molto rapidamente per ghermire con i palpi labiali le prede che si trovano nelle vicinanze e portarle alla bocca per divorarle.

Masticatore lambente

Adulto di vespa (imenotteri)

L'apparato masticatore lambente dell'adulto delle vespe rappresenta un punto di transizione tra la funzione di masticazione e quella lambente. È costituito da un labbro superiore, due mandibole, due mascelle e un

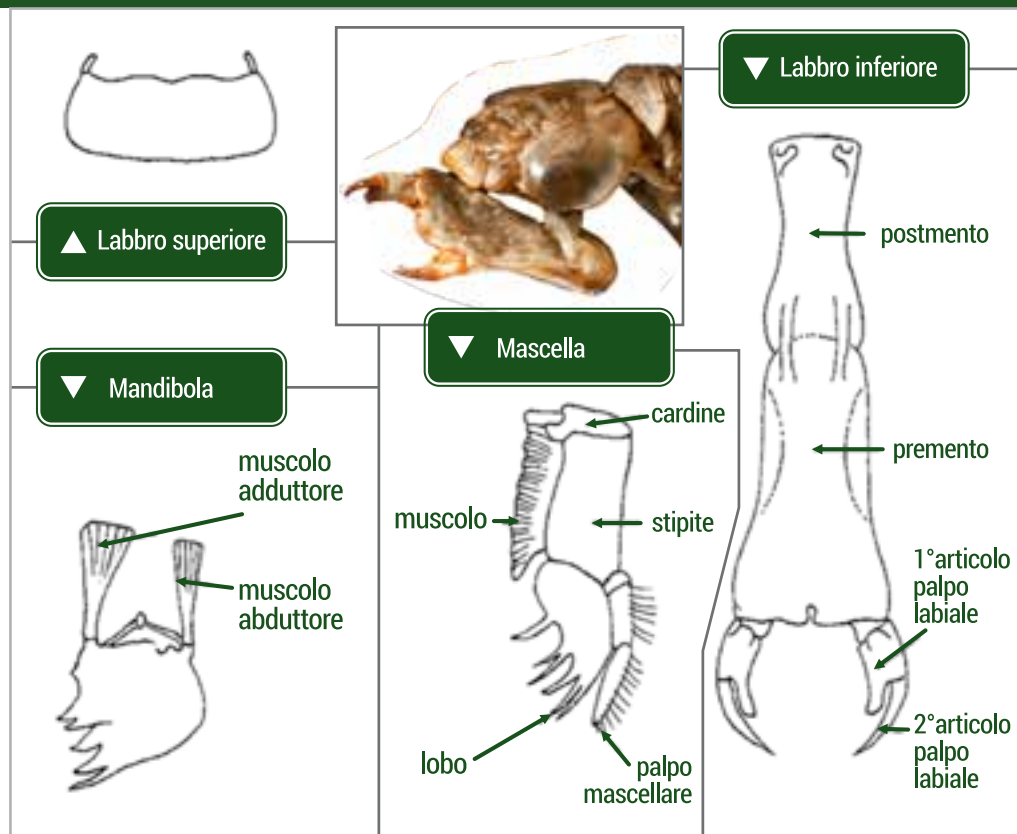


Fig. 2.12 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale masticatore di ninfa di odonato.

labbro inferiore (Fig. 2.13 ►). Il labbro superiore è di dimensioni ridotte e nascosto dal clipeo. Le due mandibole sono di forma sub-triangolare, sclerificate e ben sviluppate, atte a lacerare tessuti vegetali o animali. Le due mascelle si presentano simili a quelle dell'apparato boccale masticatore tipico, con la particolarità che la lacinia e la galea sono membranose e quest'ultima è notevolmente sviluppata. Il labbro inferiore si estende in lunghezza con le glosse molto sviluppate, membranose e fittamente pelose. Per nutrirsi l'adulto disgrega con le mandibole i tessuti vegetali o animali, provocando la fuoriuscita dei liquidi; questi sono quindi lambiti con le strutture membranose e fatti avanzare verso il cibario grazie alla tensione superficiale determinata dalla presenza di una fitta trama di peli.

2.2.2.2 - L'APPARATO BOCCALE LAMBENTE SUCCHIANTE

Gli apparati boccali di tipo lambente succhiante hanno la caratteristica comune di avere sviluppato appendici che permettono di assumere alimenti in forma liquida, rappresentati in genere da sostanze zuccherine di origine vegetale disponibili nell'ambiente e non protette da un tessuto vegetale.

Le mandibole hanno perso la funzione masticatoria e pertanto, durante l'alimentazione, gli insetti fitofagi dotati di questo tipo di apparato boccale non sono in grado di provocare lesioni ai tessuti vegetali.

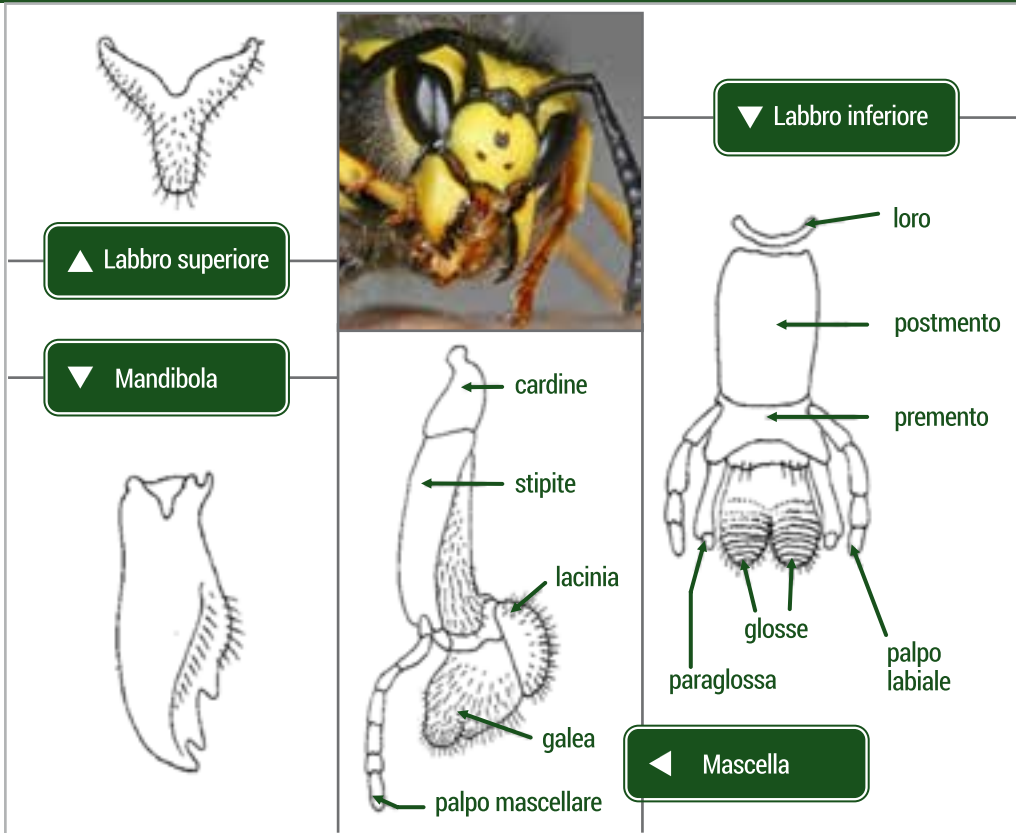


Fig. 2.13 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale masticatore di adulto di vespa.

Lambente succhiante

Femmina operaia di ape domestica (imenotteri)

L'apparato boccale si compone di un labbro superiore, due mandibole e un complesso maxillo labiale. Il labbro superiore è di dimensioni ridotte e forma sub-quadrangolare (Fig. 2.14 ▼). Ciascuna mandibola è formata da un unico sclerite poco sviluppato che ha perso del tutto la funzione di masticazione e ha acquisito quella di strumento atto a modellare la cera. Il complesso maxillo labiale, formatosi dalla fusione delle mascelle con il labbro inferiore, è detto proboscide. Le mascelle hanno le galee molto sviluppate e ornate di lunghe setole, mentre le lacinie e i palpi mascellari sono solo abbozzati. Il labbro inferiore si presenta

allungato e provvisto di due palpi, formati da quattro articoli. Le glosse fuse assieme costituiscono una lunga ligula flessibile e contrattile, di forma cilindrica e fittamente pelosa, che è attraversata da un solco ventrale, detto canale ligulare, e che termina con un'espansione, detta flabello.

Sulla superficie dorsale del labbro inferiore sboccano le ghiandole salivari, i cui secreti sono utili a sciogliere gli zuccheri induriti o semisolidi. Le galee mascellari ed i palpi labiali, accostandosi alla ligula, formano un canale di suzione che permette all'ape di succhiare gli alimenti liquidi, come nettare, melata e acqua, mediante l'azione aspirante del cibario.

Lambente succhiante

Adulto di mosca (dittero brachicero)

L'apparato boccale lambente succhiante di adulto di dittero muscivora è detto proboscide e si compone del labbro superiore, del labbro in-

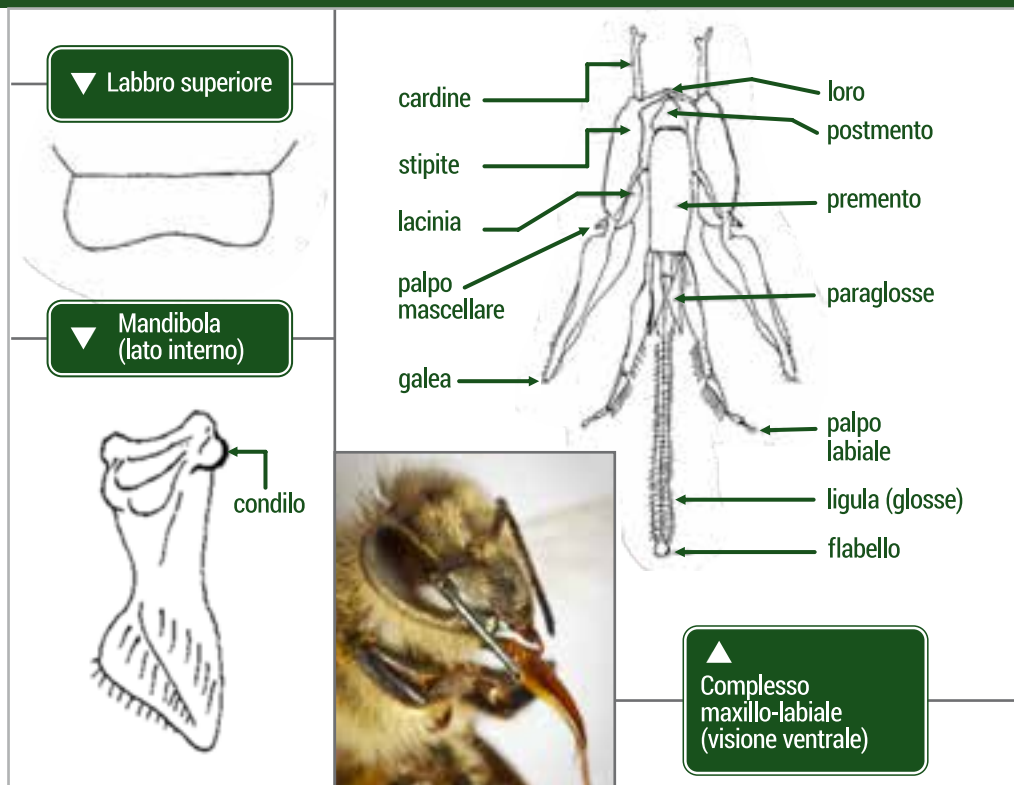


Fig. 2.14 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale lambente succhiante di adulto di ape domestica.

feriore e dell'ipofaringe (Fig. 2.15 ►). Le mascelle sono ridotte ai soli palpi e le mandibole sono scomparse.

Il labbro superiore si presenta a forma di stiletto docciaio. Il labbro inferiore costituisce gran parte dell'apparato; esso presenta il premento ingrossato e una doccia labiale, atta ad accogliere il labbro superiore e l'ipofaringe, i quali, addossandosi, costituiscono il canale di suzione (cibario); i palpi labiali si presentano membranosi e ingrossati a costituire il labello, la cui area ventrale è provvista di numerose pseudotrachee, attraverso le quali vengono assorbiti per capillarità i fluidi zuccherini. L'ipofaringe è lunga e stiliforme ed è attraversata dal canale salivare.

2.2.2.3 - L'APPARATO BOCCALE SUCCHIANTE

Gli apparati boccali succhianti sono propri di quegli insetti che assumono alimenti in for-

ma liquida. Nei casi in cui gli alimenti assunti sono disponibili come tali, come ad esempio il nettare dei fiori, l'apparato boccale è detto succhiante non perforante, mentre se sono protetti da strutture, come la linfa o i succhi cellulari dei tessuti parenchimatici o epidermici, è necessario incidere i tessuti per poterli assumere e l'apparato boccale è detto pungente succhiante. Gli insetti fitofagi con apparato boccale pungente succhiante sono detti fitomizi e l'effetto più evidente dell'attività di nutrizione a carico della piante è la formazione di deformazioni e maculature.

Succhiante non perforante

Adulto di lepidottero

L'apparato succhiante non perforante è composto quasi interamente da due mascelle e

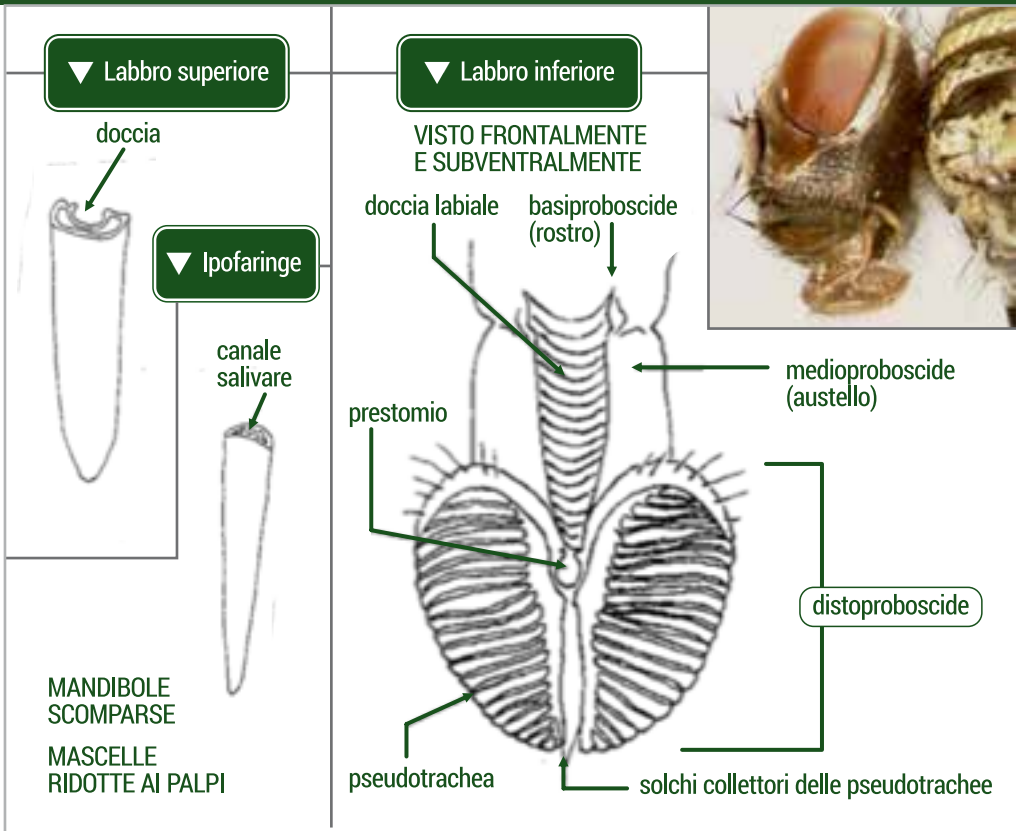


Fig. 2.15 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale lambente succhiante di adulto di dittero muscide.

un labbro inferiore (Fig. 2.16 ▼). Il labbro superiore è molto ridotto, mentre le due mandibole sono sub-atrofiche o del tutto assenti in alcuni gruppi. Ciascuna mascella è formata da cardine, stipite, palpo mascellare e galea; quest'ultima si presenta molto allungata. Il labbro inferiore presenta il mento e due palpi labiali.

L'accostamento delle galee mascellari forma la spirotromba (o spiritromba o proboscide), un canale adatto ad aspirare l'alimento. La spirotromba in posizione di riposo è portata arrotolata sotto il mento e viene allungata e introdotta nei fiori per suggerne il nettare. La lunghezza e la consistenza

della spirotromba è molto variabile. In alcune specie della famiglia degli sfingidi può essere lunga anche fino a tre volte l'intero corpo; in questo modo l'insetto può attingere il nettare dai fiori rimanendo sospeso in volo. In altre specie è poco sviluppata o atrofizzata, per esempio negli adulti del castnide delle palme, *Paysandisia archon*. Infine, in altre specie si presenta corta e robusta, come nel caso della sfinge testa di morto, *Acherontia atropos*, che si nutre del miele perforando le cellette opercolate degli alveari.

Pungente succhiante

Rincoti

L'apparato boccale pungente succhiante è costituito da un labbro superiore, due mandibole, due mascelle e un labbro inferiore. In questo tipo di apparato boccale sono scomparsi del tutto i palpi. Il labbro superiore è laminare e di forma triangolare stretta e al-

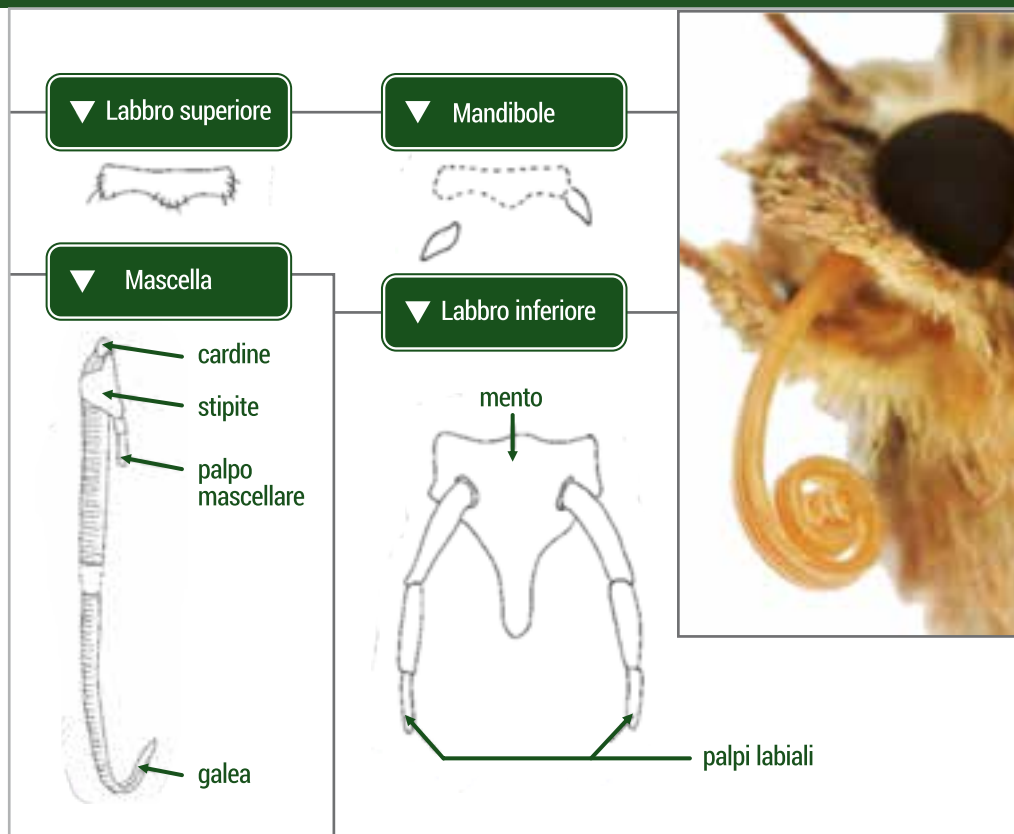


Fig. 2.16 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale succhiante non perforante di adulto di lepidottero.

lungata (Fig. 2.17 ►). Le mandibole e le mascelle sono trasformate in stiletti a sezione sub-triangolare. In particolare, gli stiletti mandibolari presentano la parte terminale dentelata e, nel lato interno, una doccia longitudinale. Quelli mascellari presentano la parte terminale appuntita e due docce longitudinali nel lato interno che, accostandosi, formano i canali del salivario e del cibario. Il labbro inferiore è composto da un numero variabile di articoli, più comunemente 4, e si presenta di forma cilindrica con una profonda doccia dorsale, nella quale alloggiavano gli stiletti mandibolari e mascellari quando l'insetto non si

nutre. Al momento della nutrizione il labbro inferiore è portato in avanti e ripiegato a gomito, l'estremità distale detta pinza trattiene in posizione gli stiletti, facilitando l'azione di puntura. Quest'azione è svolta dagli stiletti mandibolari che praticano una ferita nei tessuti vegetali o animali, attraverso la quale penetrano gli stiletti mascellari che successivamente, attraverso il canale salivare, rilasciano la saliva che idrolizza i tessuti attaccati e risucchiano, attraverso il cibario, le sostanze liquide.

Pungente succhiante Tisanotteri

Nei tisanotteri è presente un apparato boccale pungente succhiante di forma conoide e non simmetrico. È composto dal labbro superiore, due mandibole, due mascelle, il labbro inferiore e l'ipofaringe (Fig. 2.18 ▼). Il labbro superiore è poco sviluppato e di for-

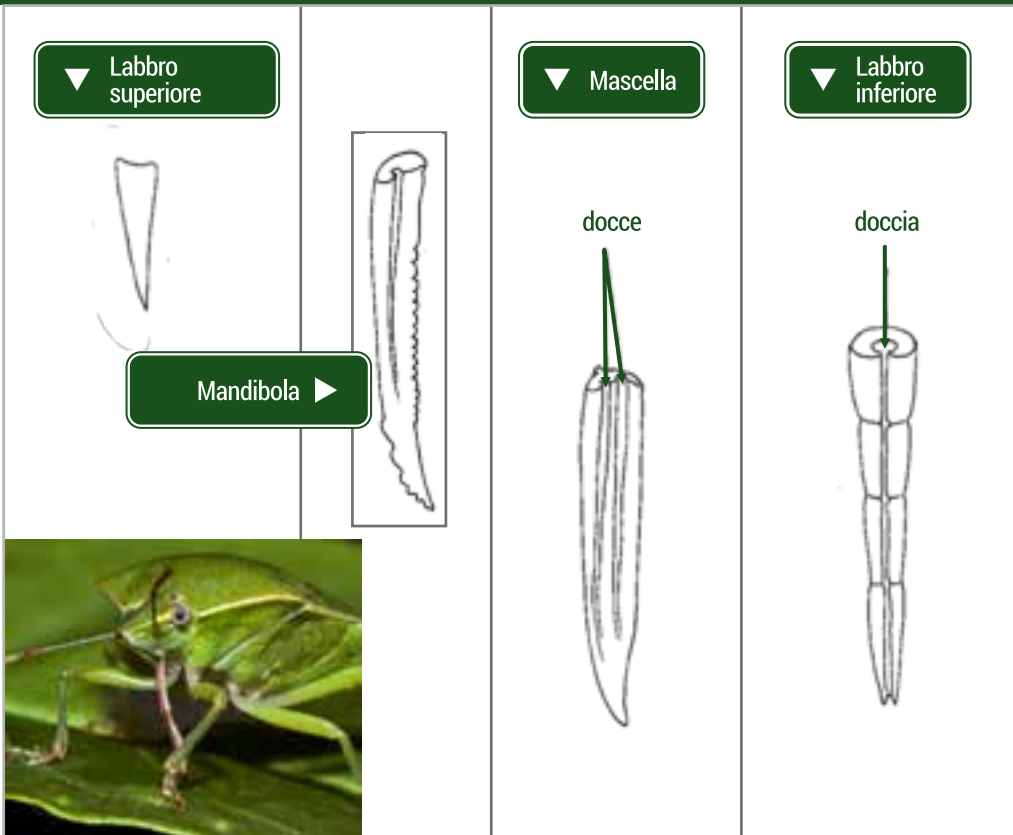


Fig. 2.17 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale pungente succhiante di rincote eterottero.

ma conoidale. Le mandibole sono stilettoformi, quella di sinistra è funzionale e usata per lacerare le cellule epidermiche dei vegetali, mentre quella di destra è subtrofica; questo differente sviluppo determina l'asimmetria dell'apparato. Le mascelle presentano le lacinie allungate, stilettoformi e con due docce; addossandosi, le lacinie delimitano i canali del salivario per l'immissione della saliva e del cibario per la suzione dei fluidi che fuoriescono dalle cellule lacerate. Le mascelle sono fornite dei palpi. Il labbro inferiore, detto rostro, ospita gli stiletti boccali a riposo e porta i palpi. L'ipofaringea porta due docce di cui quella dorsale prolunga il canale di suzione.

Pungente succhiante

Larva di neurotteri crisopidi

L'apparato boccale pungente succhiante delle larve dei crisopidi è detto forcipe e si compo-

ne di un labbro superiore, due mandibole, due mascelle e un labbro inferiore (Fig. 2.19 ▼). Il labbro superiore è di forma sub-triagonale e di dimensioni ridotte. Le mandibole sono allungate, acuminata, arcuata verso l'interno e presentano una doccia sulla faccia ventrale. Le mascelle presentano la lacinia, anch'essa allungata, acuminata e arcuata che, accostandosi al lato ventrale della mandibola, delimita un canale che funge sia da salivario che da cibario, iniettando la saliva nel corpo della preda e aspirandone i fluidi interni. I canali maxillo-mandibolari comunicano direttamente con il tratto anteriore del canale alimentare. Il labbro inferiore è ridotto alla presenza dei due palpi labiali.

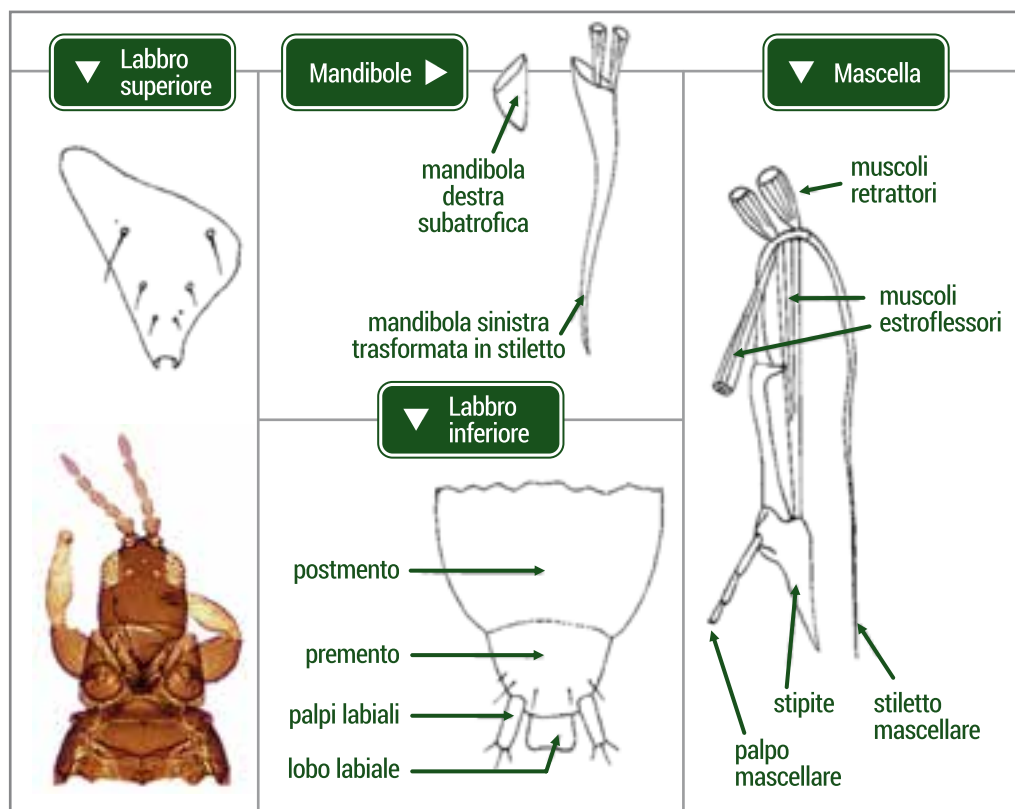


Fig. 2.18 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale pungente succhiante di tisanottero tripide.

2.2.2.4 - L'APPARATO BOCCALE DILANIANTE

L'apparato boccale dilaniante è discusso in riferimento alle larve di ditteri brachiceri per continuità con la descrizione dell'apparato boccale dello stadio adulto e anche in relazione al rilevante interesse in agricoltura, determinato prevalentemente dalla presenza di specie le cui larve si sviluppano nei frutti arrecando danni qualitativi e quantitativi.

Dilaniante - larva di dittero brachicero

L'apparato boccale delle larve di alcune specie di ditteri brachiceri è sostanzialmente costituito da due mandibole uncinatae, dette anche uncini boccali (Fig. 2.20 ▼).

Queste strutture sono molto robuste e sporgono dalla cavità orale; sono articolate ad un complesso apparato cefalo-faringeo, costituito da una serie di scleriti collocati nel capo e

nel torace in posizione latero-posteriore e in cui si riconoscono la piastra dentale, le piastre intercalari e le piastre verticali. Gli uncini sono mossi dai muscoli della capsula cefalica con movimenti secondo il piano verticale, i quali consentono all'individuo di alimentarsi ingerendo i frammenti di tessuto vegetale dilaniati e, nel caso di specie fitofaghe che si sviluppano all'interno dei frutti, di muoversi lungo la galleria.

2.2.3 I PRINCIPALI REGIMI DIETETICI

Gli insetti presentano una grande varietà di regimi alimentari, ma sostanzialmente posso-

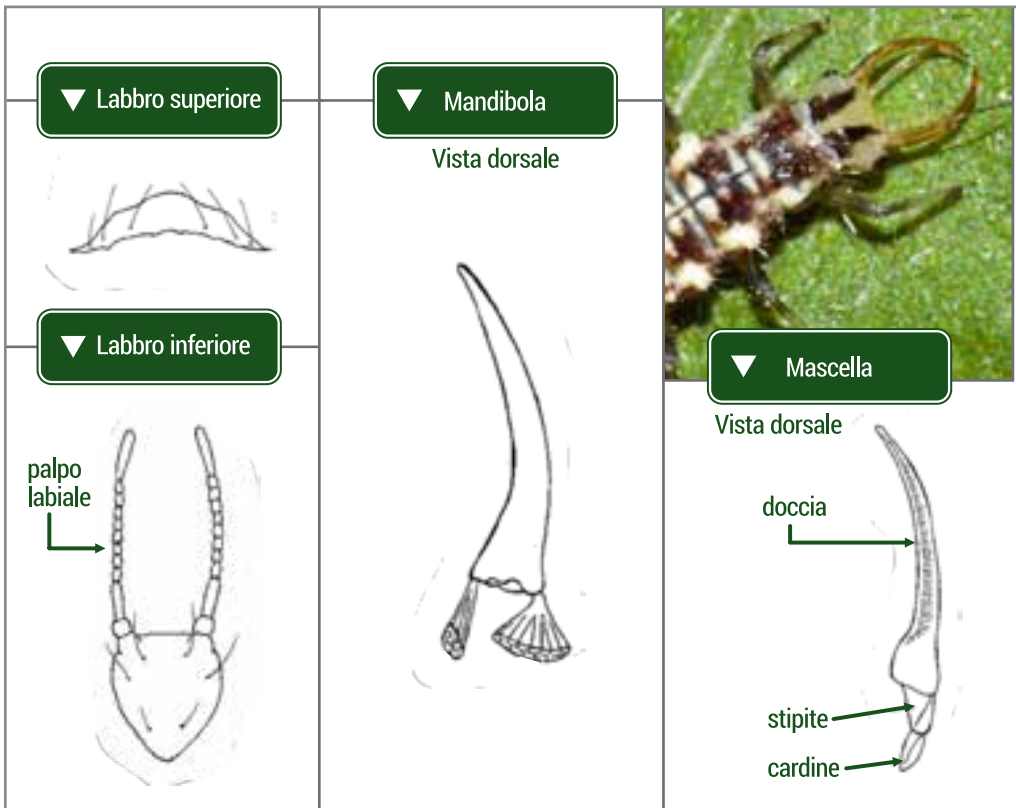


Fig. 2.19 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale pungente succhiante di larva di neurottero crisopide.

no essere distinti in: fitofagi, quando hanno un rapporto alimentare con le piante; zoofagi, quando il rapporto alimentare è con organismi animali; saprofagi e necrofagi, quando si nutrono di sostanza in disfacimento.

In base al loro regime alimentare, gli insetti fitofagi possono essere ulteriormente divisi in antofagi, se si nutrono di fiori, carpfagi, di frutti, fillofagi, di foglie, rizofagi, di radici, xilofagi, di legno, pollinifagi, di polline e glicifagi, di sostanze zuccherine prodotte dalle piante.

Una particolare categoria di fitofagi è quella dei fitomizi, in grado cioè di succhiare la linfa delle piante. Gli insetti fitofagi con apparato

boccale masticatore possono consumare i tessuti vegetali erodendoli dall'esterno oppure internamente, scavando gallerie più o meno profonde e alimentandosi del substrato interno. Quando le gallerie sono scavate nelle foglie gli insetti sono detti fillominatori e molto spesso le gallerie sono scavate dalle larve fra i due strati epidermici delle foglie per alimentarsi del mesofillo. Come risultato la foglia evidenzia una zona disseccata di forma irregolare o serpentiforme detta mina fogliare, la quale presenta internamente la larva in accrescimento e i suoi escrementi, spesso sotto forma di piccoli puntini nerastri.

Gli insetti fitofagi con apparato boccale pungente succhiante si alimentano dei fluidi presenti nel floema (insetti floemomizi), nello xilema (xilemomizi) o nelle cellule del parenchima (parenchimomizi).

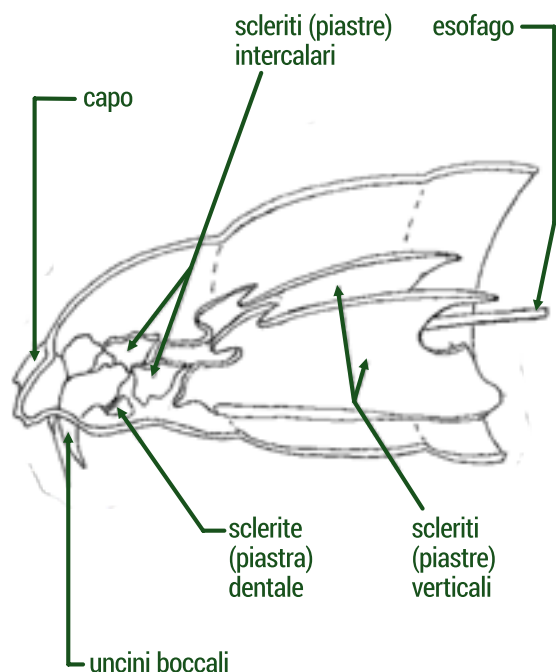


Fig. 2.20 - Foto e rappresentazione schematica dell'apparato boccale dilaniante di larva di dittero brachicero.

L'attività trofica dei fitofagi determina danni che sono distinti in diretti ed indiretti.

I danni diretti (Fig. 2.21 ►), in quanto direttamente collegati con l'alimentazione, sono dovuti alla sottrazione di porzioni di tessuto vegetale, quali erosioni a carico di foglie o germogli o gallerie scavate nel floema, nello xilema o nella polpa dei frutti, o sottrazione di linfa o succhi cellulari con la conseguente scomparsa di clorofilla, la formazione di zone clorotiche che possono essere a mosaico, a variegature oppure a striature, nonché all'induzione di deformazioni come bollosità e accartocciamenti.

I danni indiretti non sono direttamente indotti dall'alimentazione e sono tipici dei fitomizi; sono causati dalla trasmissione di patogeni vegetali, come virus e fitoplasmii, o dal favorire lo sviluppo di funghi epifiti, le fumaggini, sulla melata (escrementi liquidi e zuccherini prodotti dai fitomizi) che ricopre la superficie fogliare. Alcuni gruppi di specie fitofaghe inducono la formazione di tumori,

detti galle, in concomitanza dell'attività trofica o di ovideposizione, e in genere la loro forma è tipica della specie che le produce, consentendo un facile riconoscimento. Gli insetti fitofagi possono svilupparsi a spese di molte specie di piante, anche distanti da un punto di vista tassonomico (specie polifaghe), a spese di una sola specie di pianta (specie monofaghe), o di poche specie sistematicamente vicine (specie oligofaghe).

2.3 - IL TORACE

Il torace è la seconda regione del corpo dell'insetto. Questo tagma è costituito dai tre metameri successivi a quelli cefalici: il Protorace, quello anteriore, il Mesotorace, quello mediano, e il Metatorace, quello posteriore; nella maggiore parte dei casi essi mantengono una chiara identità morfologica. I segmenti toracici normalmente presentano quattro aree o scleriti: una dorsale,



Fig. 2.21 - Tipologie di danno dovute all'azione trofica degli insetti: macchie clorotiche (A), mine fogliari (B), erosioni (C), galla (D), fori di sfarfallamento da gallerie scavate nelle drupe (E).

detta tergo o noto, due laterali, dette pleure, e una ventrale, detta sterno. Queste quattro aree sono identificate per ciascun segmento toracico con i prefissi *pro-*, *meso-* e *meta-*.

La morfologia e la consistenza dei segmenti del torace è molto variabile, in quanto il grado di complessità e di sclerificazione è direttamente correlato allo sviluppo e alla funzionalità degli organi di locomozione, in particolare delle ali. Per esempio, negli afidi, una superfamiglia di insetti fitomizi dell'ordine dei rincoti, di notevole importanza agraria, nelle forme attere i segmenti del torace si presentano ridotti e poco differenziati, con aspetto simile a quello dei segmenti addominali, se non per la presenza delle zampe, mentre nelle forme alate, il meso- e il metatorace assumono un aspetto ben evidenziato e con un elevato grado di sclerificazione, in modo da fornire un adeguato supporto all'innesto e all'attività dei muscoli delle ali (Fig. 2.22 ▼).

Il tergo del pronoto di alcuni insetti, come nel caso di alcuni rincoti, può estendersi fino a

ricoprire l'intero capo o parte di esso, oppure presentare processi di varia forma e sviluppo, mentre il tergo del metanoto dei ditteri appare ridotto a causa della trasformazione delle ali posteriori in bilancieri. Le pleure sono percorse da una sutura, detta solco pleurale, che le divide in due aree, una anteriore, episterno, e una posteriore, epimero. La parte superiore delle pleure dei segmenti degli insetti aliferi è in relazione con il tergo nel punto di attacco delle ali, mentre la parte ventrale è in relazione con la coxa, il primo segmento morfologico delle zampe.

Il torace può presentare modificazioni nella composizione dei segmenti, come nel caso degli imenotteri apocriti in cui il primo segmento addominale, detto propodeo, concorre a formare la regione del torace assumendo la fisionomia di un quarto segmento toracico.

Ciascun segmento toracico può presentare un paio di zampe e, limitatamente ai segmenti meso- e meta-toracici degli insetti pterigoti, un paio di ali.

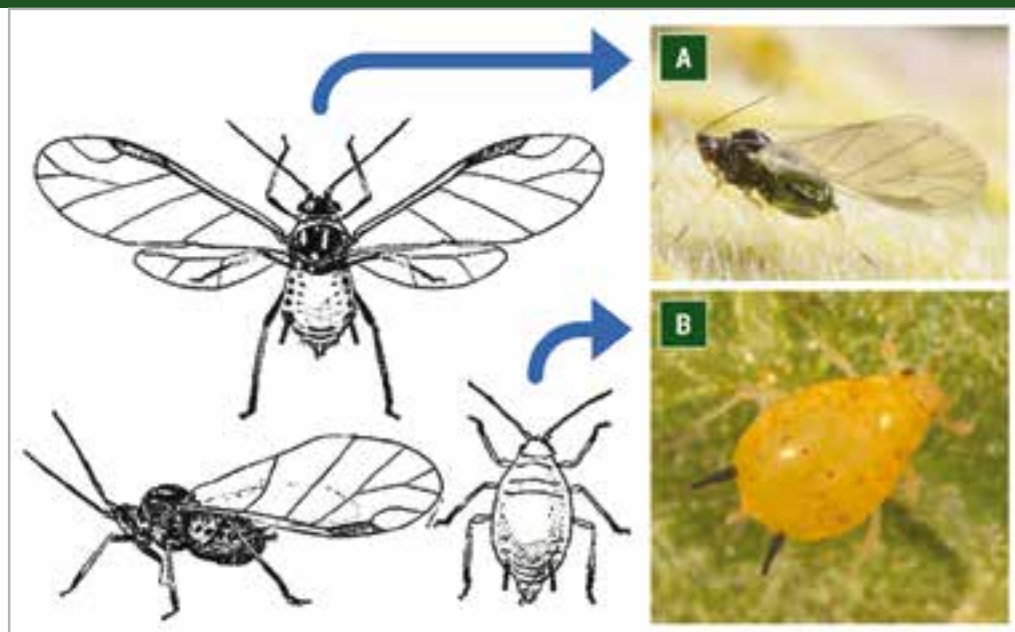


Fig. 2.22 - Foto e rappresentazione schematica di forme alate (A) e attere (B) di *Aphis gossypii*.

2.3.1 - LE ZAMPE

Le zampe degli insetti sono appendici articolate, pari e simmetriche, presenti in ciascun segmento toracico e, per questo, si distinguono in zampe protoraciche, quelle anteriori, zampe mesotoraciche, quelle mediane, e zampe metatoraciche, quelle posteriori. Generalmente, la zampa è strutturata in sei segmenti detti poditi che, in ordine prossimale-distale, sono: coxa, trocantere, femore, tibia, tarso e pretarso (Fig. 2.23 ►).

La coxa è il segmento prossimale della zampa, si presenta normalmente breve e compatta, si articola alle pleure con un'articolazione coxo-pleurale ed è mossa da muscoli estrinseci. Il trocantere è un segmento breve in cui raramente sono presenti strutture di rilievo dal punto di vista tassonomico.

Il femore è il segmento più sviluppato; esternamente è caratterizzato dalla presenza di strutture morfologiche tegumentali come setole, spine, processi e internamente da una robusta muscolatura.

La tibia, come il femore, si presenta molto allungata ma più sottile; anche in questo

podite possono essere presenti formazioni tegumentali di utilità tassonomica, ma che nel contempo assolvono a funzioni specifiche svolte dall'arto nella deambulazione.

Il tarso è la struttura che si articola all'estremità distale della tibia ed è composto da più segmenti, detti tarsomeri.

Il pretarso è il segmento che si trova all'estremità della zampa, sul quale si possono trovare varie strutture che facilitano la locomozione dell'insetto sulle diverse superfici, quali unghie, arolio e empodio (Fig. 2.24 ▼).

Le unghie si trovano lateralmente e consistono in due processi sclerificati e ricurvi connessi per mezzo di una base membranosa; esse consentono la locomozione su superfici scabrose e ruvide; l'arolio e l'empodio sono strutture impari e membranose, la prima a forma di lobo, la seconda a forma di stilo, collocate tra le unghie; queste favoriscono la locomozione su superfici lisce.

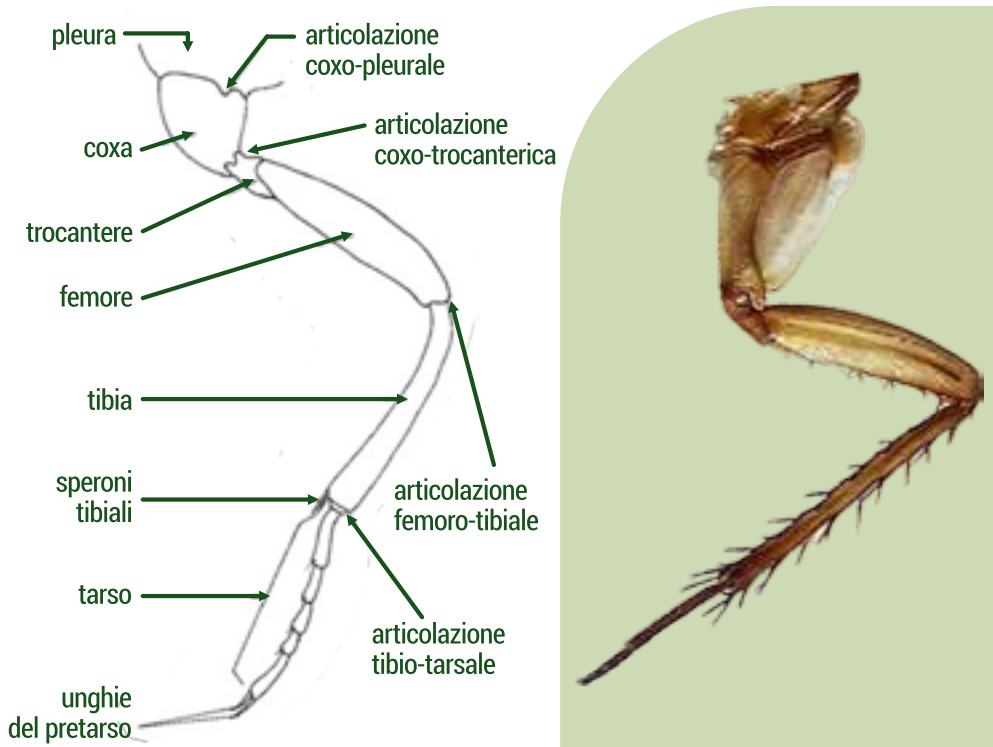


Fig. 2.23 - Foto e rappresentazione schematica di zampa di adulto.

Le zampe possono presentare modifiche, anche rilevanti, nella forma e nella consistenza dei poditi, in ragione dei diversi compiti che sono chiamate ad assolvere.

Le zampe atte alla locomozione sono dette cursorie quando presentano tibia, femore e tarso relativamente allungati e sono presenti i 5 tarsomeri con unghie ben sviluppate; deambulatorie, quando questi poditi sono più corti e tozzi.

Le zampe cursorie sono tipiche di insetti che si muovono velocemente o che si spostano su superfici accidentate, come nel caso dei soprassuoli boschivi, mentre quelle deambulatorie sono più comuni negli insetti che si spostano più lentamente e frequentano per lo più la superficie della pianta.

Le zampe atte a nuotare sono dette natatorie, presentano generalmente tarsi pelosi e sono tipiche di alcuni coleotteri ed emitteri acquatici. Le zampe possono presentare modifiche anche nel singolo individuo, le quali possono riguardare per lo più le zampe anteriori o quelle posteriori (Fig. 2.25 ▼).

Nel caso delle zampe anteriori, queste possono essere modificate, per esempio, in raptatorie o fossorie. Le zampe raptatorie, atte a catturare le prede, presentano femore e tibia allungati, fra loro opponibili e con processi spinosi laterali.

Le zampe fossorie sono modificate per essere usate come benne per scavare nel terreno; in questo caso si



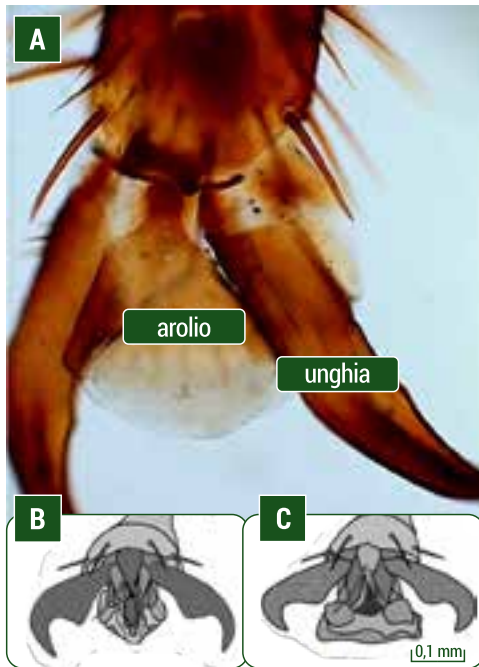


Fig. 2.24 - Micrografia del pretarso (A) di adulto in cui sono visibili le unghie e l'arolio. Accanto la rappresentazione schematica del pretarso in cui l'arolio è retratto (B) o esteso (C).

presentano con articoli robusti, tozzi e appiattiti; la tibia, in particolare, appare fortemente appiattita e slargata e il tarso ridotto.

La trasformazione più tipica delle zampe posteriori è quella che permette all'insetto di spiccare salti talvolta di notevole ampiezza rispetto alle sue stesse dimensioni.

Le zampe saltatorie sono caratterizzate da un generale ingrossamento della coxa e del femore per via dello sviluppo delle masse muscolari. La flessione dell'arto può avvenire con l'articolazione femoro-tibiale, come nel

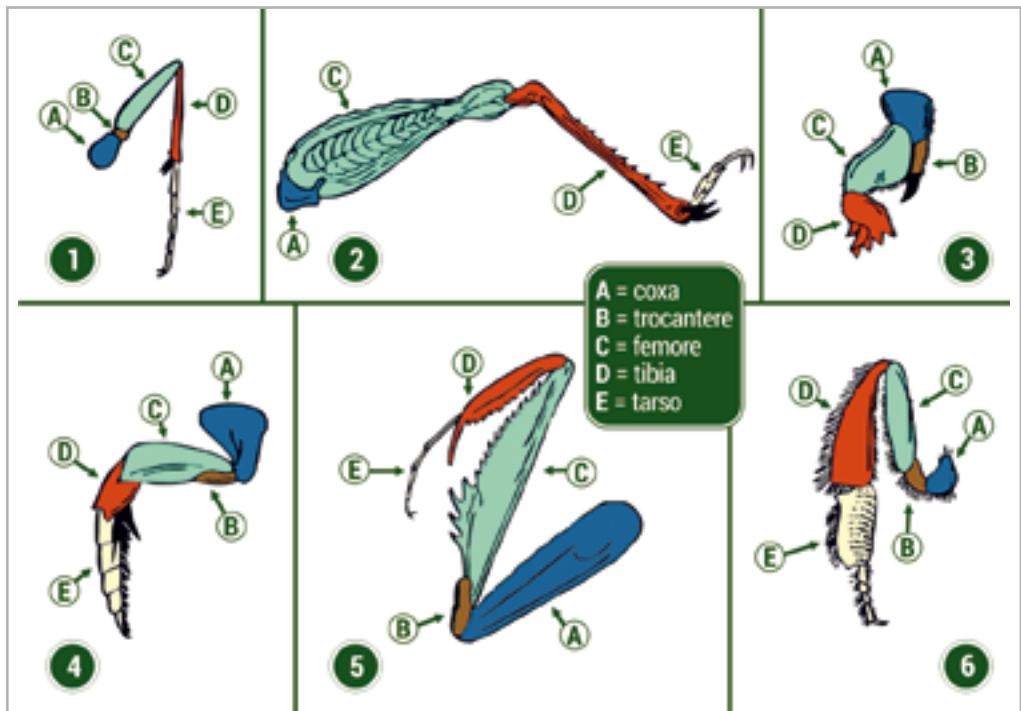


Fig. 2.25 - Rappresentazione schematica di vari tipi di zampe. 1) zampa deambulatoria; 2) zampa saltatoria di tipo femoro-tibiale; 3) zampa fossoria adulto; 4) zampa fossoria larva; 5) zampa raptatoria di tipo femoro-tibiale; 6) zampa per la raccolta del polline.

caso delle cavallette (ortotteri), oppure con la coxo-trocanterica, come nel caso psille (rinco-ti), oppure con entrambe, come nel caso delle pulci (sifonatteri).

Nelle api si ritrovano modifiche sia nelle zampe anteriori che posteriori (Fig. 2.26 ▼).

La zampa anteriore presenta sul margine distale esterno della tibia un processo mobile piatto, detto sperone, provvisto di spine disposte circolarmente a pettine, che si proietta sul margine interno del primo articolo del tarso, il quale presenta una fossetta semicircolare anch'essa provvista di spine. Quando la zampa si piega, lo sperone chiude l'apertura dell'incavo, delimitando un foro attraverso il quale l'ape fa passare l'antenna per pulirla e liberarla dalla polvere e dai granuli di polline.

Nella zampa posteriore, la tibia presenta esternamente una lieve concavità circonscritta da lunghi peli incurvati, detta cestella, in cui si raccoglie il polline compattato attorno ad una lunga setola collocata al centro della cestella e detta setola allungata. In corrispondenza dell'articolazione tibio-tarsale, il margine distale libero della tibia, provvisto di un pettine, detto pettine tibiale, formato da numerose grosse spine, e il margine prossimale libero del tarso, provvisto di peli e ricurvo a forma di becco, formano la pinza tibio-tarsale che serve per raccogliere i granuli di polline e compattarli nella cestella.

Le tre coppie di zampe toraciche possono essere presenti negli stadi giovanili de-

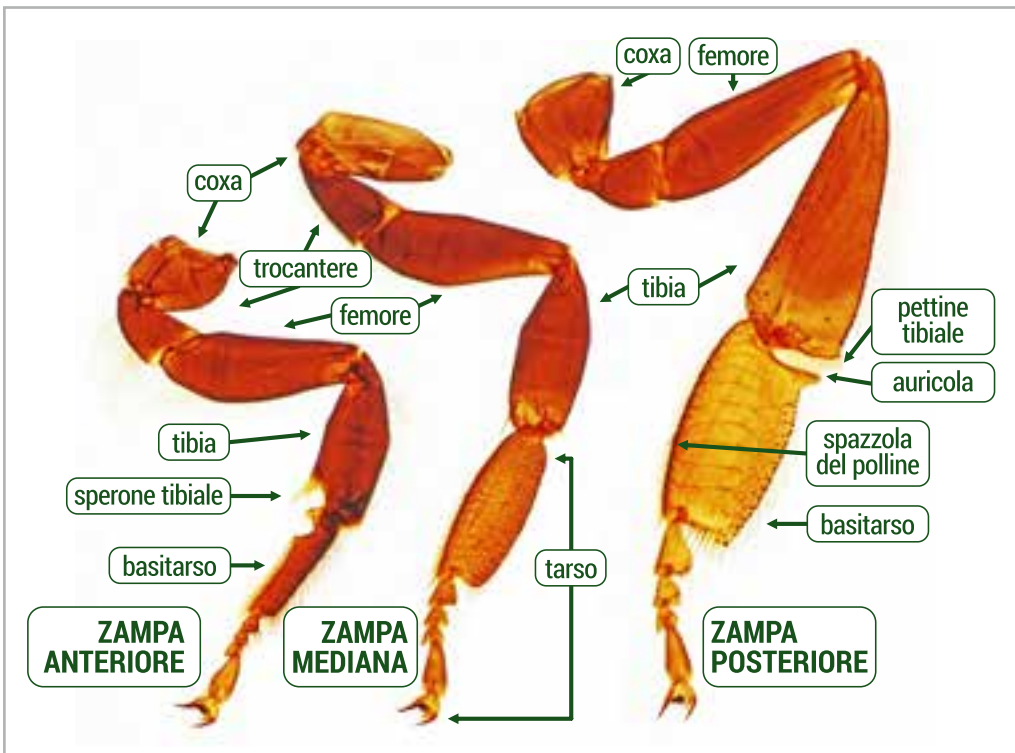


Fig. 2.26 - Micrografia delle zampe di ape operaia in cui sono evidenziate le modifiche della zampa anteriore e di quella posteriore.

gli insetti (vedi tipi di larve). Sono formate da un numero di segmenti simile a quello che compone le zampe degli adulti, sebbene generalmente si presentino più corte e tozze. Anche in queste zampe si possono avere delle modifiche che le rendono idonee a particolari funzioni come, ad esempio, le zampe anteriori fossorie tipiche di alcuni coleotteri terricoli.

2.3.2 - LE ALI

Le ali degli insetti possono essere al massimo in numero di quattro, ma in alcuni gruppi possono essere due o mancare del tutto. Sono localizzate nel meso- e nel meta-torace, articolate per mezzo di una serie di scleriti, detti pteralia, e si presentano come lamine estremamente appiattite derivanti dalle espansioni degli angoli tergo-pleurali.

Sono attraversate da una serie di nervature, nelle quali scorre l'emolinfa e passano nervi e trachee. Le nervature servono a dare consistenza alle ali e sono denominate in senso antero-posteriore: costale, radiale, mediale, cubitale e anale.

Negli insetti che ne presentano due paia, le ali possono muoversi all'unisono mediante apparati di collegamento, i quali possono essere in forma di setole ed uncini che si incastrano in apposite strutture presenti nei margini delle due ali. Nei rincoti eterotteri il margine anteriore dell'ala posteriore forma un ispessimento che si incastra fra due rilievi sclerificati presenti sul margine posteriore dell'ala anteriore. Nei lepidotteri il margine posteriore dell'ala anteriore è ispessito, in modo da trattenere una o più setole disposte lungo il margine anteriore dell'ala posteriore. In generale, le due paia di ali sono di tipo membranaceo, cioè si pre-

sentano di consistenza membranosa, per lo più trasparenti e sono entrambe deputate al volo. Possono presentare nervature molto diffuse, come negli odonati, o ridotte, come negli imenotteri, e formazioni tegumentali come cilia lungo i margini, come nei tisanotteri, oppure squame che ricoprono l'intera superficie o parte di essa, come nei lepidotteri. Tuttavia, esistono svariati casi di adattamenti morfo-funzionali che spesso comportano differenze tra le ali del primo e quelle del secondo paio (Fig. 2.27 ►).

Per esempio, nel caso degli ortotteri, le ali del primo paio sono dette tegmine e presentano un certo grado di sclerificazione che non impedisce loro di prendere parte attiva nel volo ma che, in posizione di riposo, consente loro di assolvere anche una funzione protettiva. In altri casi, per esempio le ali anteriori dei rincoti eterotteri, le ali sono dette emielitre e si presentano sclerificate nella metà prossimale e membranose in quella distale; anche in questo caso conservano l'adattamento al volo.

Infine, nei coleotteri le ali anteriori sono dette elitre, si presentano estremamente sclerificate e, in posizione di riposo, ricoprono interamente il secondo paio di ali, proteggendo anche la parte superiore del mesotorace, del metatorace e dell'addome. In procinto di prendere il volo, le elitre sono divaricate in modo da consentire la fuoriuscita delle ali posteriori membranose, le quali sono le uniche a consentire il volo. Anche le ali posteriori possono subire modificazioni, come nel caso dei ditteri, in cui esse si presentano estremamente ridotte e trasformate in bilancierci con funzione di giroscopi (Fig. 2.27).








ALI		ORDINE	
ANTERIORE	POSTERIORE		
Membranacea	Membranacea	Lepidotteri	
Tegmina	Membranacea	Ortotteri	
Emielitra	Membranacea	Rincoti Eterotteri	
Elitra	Membranacea	Coleotteri	
Membranacea	Bilanciere	Ditteri	

Fig. 2.27 - Principali tipi di ali.

2.4 - L'ADDOME

L'addome è la terza regione del corpo dell'insetto.

Questo tagma è comunemente formato da 11 segmenti, detti uriti, ciascuno distinto in un'area dorsale, il tergo, una ventrale, lo sterno, e due laterali, le membrane laterali o tergo-sternali (Fig. 2.28 ▼).

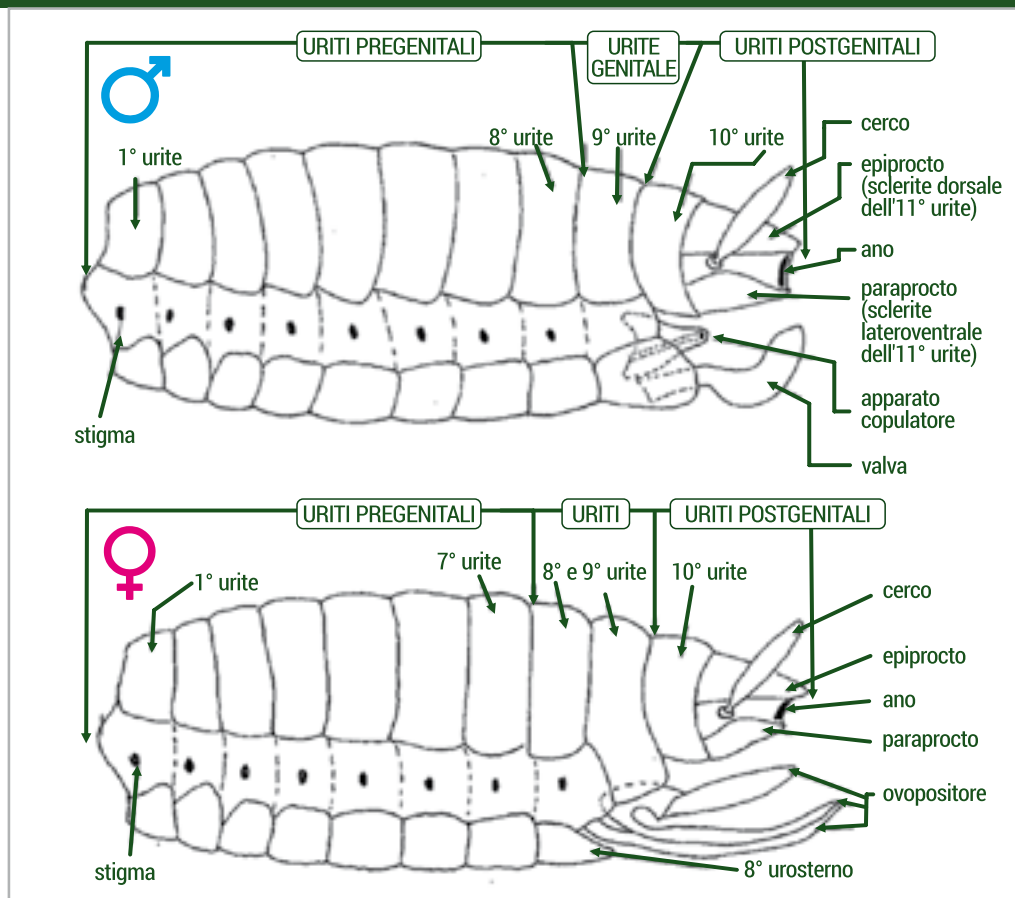
Gli uriti sono interconnessi dalla membrana intersegmentale che conferisce all'addome elasticità e flessibilità; per esempio, permette la dilatazione del tagma nelle femmine gravide, fenomeno detto fisogastrìa.

Sulle membrane laterali di ogni urite può essere presente uno spiracolo tracheale o stigma. La forma degli uriti è molto variabile, in funzione del diverso sviluppo degli

uroterghi e degli urosterni, facendo assumere all'addome diverse sezioni tipiche per i diversi gruppi sistematici, variando da sezioni subcilindriche fino a forme molto appiattite. L'addome è definito sessile, quando i primi uriti hanno lo stesso diametro del metatorace, mentre è detto peduncolato o peziolato, quando il 1° urite è spostato nella regione toracica a formare il propodeo, il 2° urite ha il diametro molto ridotto e forma una strozzatura, detta peziolo e quelli che seguono sono più espansi a costituire l'addome apparente, detto gastro.

2.4.1 - LE APPENDICI GENITALI

L'addome può presentare delle appendici di varia forma e funzione che sono distinte in genitali e non genitali. Le appendici genitali sono costituite dagli organi genitali esterni, detti gonapofisi, presenti in entrambi i sessi.



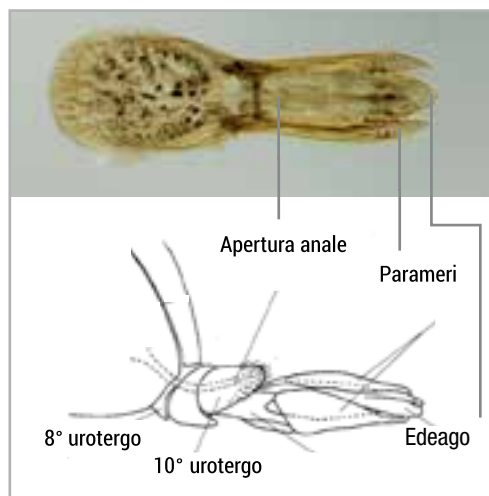
▲ Fig. 2.28 - Rappresentazione schematica di addome dell'insetto

2.4.1.1 - L'ORGANO COPULATORE

La gonopofisi maschile è l'Organo Copulatore (Fig. 2.29 ►). È presente nel 9° urite ed è formato da una porzione basale, Fallobase, e una distale, Edeago, in cui sbocca il condotto eiaculatore. La funzione è quella di consentire il trasferimento del liquido seminale nell'apparato riproduttore femminile durante l'accoppiamento.

2.4.1.2 L'OVOPOSITORE MORFOLOGICO

La gonopofisi femminile è l'Ovopositore (Fig. 2.30C-D-E ►). Esso trova impiego nella deposizione delle uova ed è formato dalle



▲ Fig. 2.29 - Micrografia (A) e rappresentazione schematica (B) dell'organo copulatore di adulto di coleottero.

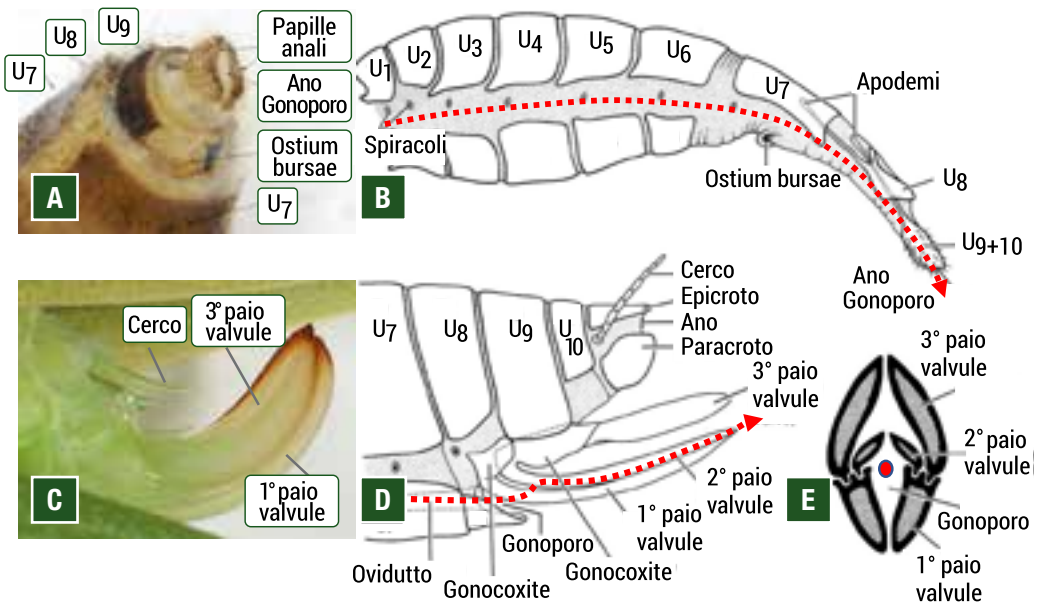


Fig. 2.30 - Micrografia di ovopositore di sostituzione estroflesso di lepidottero notturno (A) e sua rappresentazione schematica della visione laterale (B). Micrografia di ovopositore morfologico di ortottero tettigonide (C) e sua rappresentazione schematica della visione laterale (D) e in sezione trasversale (E). Le linee rosse tratteggiate rappresentano il passaggio delle uova. U= urosternite.

espansioni degli urosterni degli uriti 8° e 9°, in prossimità dell'apertura esterna della vagina. Le espansioni, dette valve o valvule, sono in tutto sei, il primo paio è associato all'8° urosterno, le altre al 9°.

L'ovopositore può presentare marcate differenziazioni morfo-funzionali che hanno anche valore sistematico. Per esempio, negli ortotteri celiferi, le valvule sono tozze e corte per facilitare la deposizione delle uova in terreni sabbiosi; le uova sono riunite in speciali contenitori, detti ooteche, costruiti con il secreto emesso dall'apparato genitale, il quale indurisce rapidamente trattenendo i frammenti di terreno. Negli ortotteri ensiferi, l'ovopositore si presenta di notevoli dimensioni, con le valvule a forma arcuata per conficcare le uova

nei terreni in cui è presente un cotico erboso; le uova possono essere deposte separatamente o a gruppi, ma sempre prive di ooteca. Negli imenotteri apocriti terebranti l'ovopositore è detto terebra e assolve le funzioni di penetrazione, emissione di secreti e deposizione dell'uovo. Il secreto emesso dalla terebra negli insetti fitofagi galligeni induce una reazione dei tessuti vegetali che porta alla formazione di galle, mentre nelle forme entomofaghe, dette parassitoidi, è un veleno che paralizza l'ospite.

Infine, negli imenotteri aculeati, l'ovopositore ha perso la funzione di ovideposizione, in quanto la vagina non è più connessa fisicamente all'ovopositore, e si è trasformato in un organo di offesa-difesa, detto aculeo o pungiglione.

2.4.1.3 L'OVOPOSITORE DI SOSTITUZIONE

In alcuni insetti l'ovopositore morfologico non è presente e le uova sono deposte grazie all'adattamento morfologico degli ultimi uriti, i quali si avvolgono a vicenda formando un tubo telescopico estroflessibile, grazie all'allungamento delle membrane intersegmentali (Fig. 2.30A-B ▲). In genere, le femmine dotate di ovopositore di sostituzione non possono incidere tessuti vegetali, se non quando l'ultimo segmento si presenta sfinato e sclerificato, come nel caso dei ditteri tefritidi, le comuni mosche della frutta, le cui femmine sono in grado di perforare l'epidermide dei frutti durante l'ovideposizione.

2.4.2 - LE PSEUDOZAMPE

Le pseudozampe sono presenti nelle larve degli insetti endopterigoti e si presentano come processi ventrali di forma conico-cilindrica non articolati, al termine dei quali può essere presente una corona di uncini. La loro distribuzione è importante per la determinazione tassonomica delle larve (cfr. paragrafo 3.10.6).

2.4.3 - ALTRE APPENDICI

Nell'addome si possono ritrovare altre appendici presenti in specifici gruppi sistematici. Gli stili si ritrovano ai lati di alcuni uriti nei tisanuri e sono utilizzati per sostenere l'addome e contribuire alla locomozione.

I sifoni, tipici degli afidi, si ritrovano nel 5° e 6° urite in posizione latero-dorsale e hanno la funzione di rilasciare il feromone di allarme con cui gli individui segnalano ai conspecifici la presenza di antagonisti naturali.

I cerci sono appendici presenti tipicamente nell'11° segmento ed hanno funzione sensoriale, ma possono anche svilupparsi in forma di forcipe, come nel caso dei dermatteri e dei dipluri.

Gli urogonfi sono due appendici simmetriche, spesso filiformi, presenti nel 10° urite delle larve di alcuni coleotteri.

Infine, i pigopodi sono appendici presenti nell'ultimo urite di larve di tipo campodeiforme di alcuni ordini e hanno varie funzioni, tra cui quella di favorire la locomozione. ■





3

ANATOMIA INTERNA E FISIOLOGIA

Gli insetti sono provvisti di una cavità interna detta emocoela in cui circola l'emo-linfa. Nella cavità emocelica sono con-

tenuti l'intestino, gli organi escretori, gli organi riproduttivi, il sistema nervoso, il sistema respiratorio e il sistema circolatorio (Fig. 3.1 ▼).

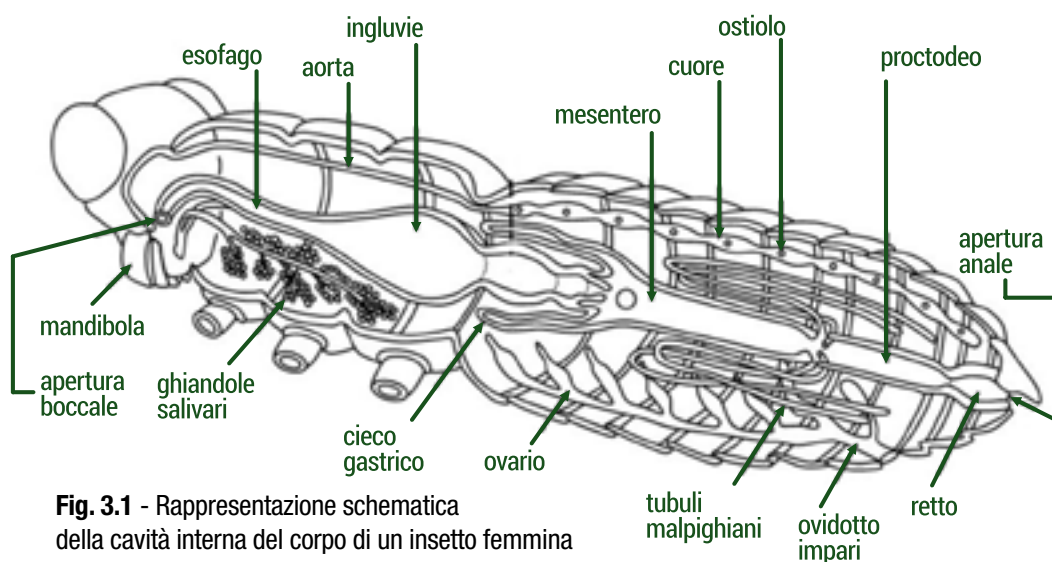


Fig. 3.1 - Rappresentazione schematica della cavità interna del corpo di un insetto femmina in cui sono riprodotti i principali organi.

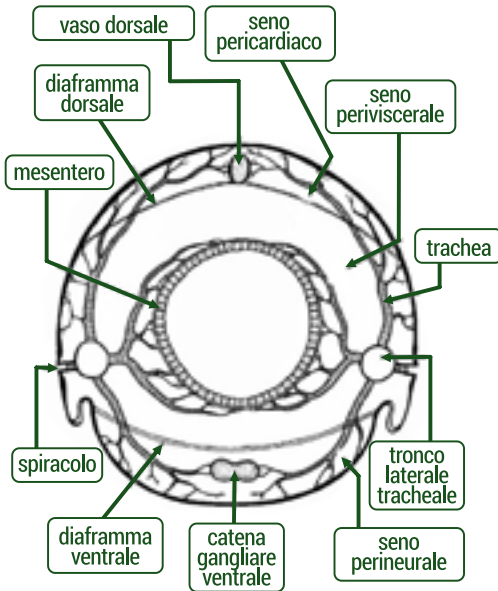


Fig. 3.2 - Sezione trasversale schematica dell'emocele.

Due diaframmi muscolari, uno dorsale e uno ventrale, dividono la cavità generale del corpo in tre seni: pericardico, periviscerale e perineurale.

In sezione trasversale (Fig. 3.2 ▲), nell'emocele troviamo dorsalmente il vaso dorsale, medialmente l'intestino e ventralmente la catena gangliare ventrale.

3.1 - IL SISTEMA MUSCOLARE

I muscoli degli insetti sono distinti in scheletrici, deputati al movimento delle appendici e delle regioni morfologiche del corpo, e viscerali, associati agli organi interni. I muscoli scheletrici sono attaccati al tegumento per mezzo di tonofibrille, simili ai tendini dei vertebrati, che sono costituite da filamenti che giungono fin dentro l'esocuticola sovrastante, dopo aver attraversato le cellule associate alle miofibrille muscolari. In alcuni casi, i muscoli scheletrici sono inseriti nelle

introflessioni cuticolari che costituiscono l'endoscheletro. I muscoli associati alle appendici segmentate possono essere estrinseci o intrinseci.

I muscoli estrinseci dipartono da punti di inserzione al di fuori dell'arto, mentre quelli intrinseci hanno origine e inserzione entro l'arto. In funzione del numero delle contrazioni muscolari per unità di tempo si distinguono muscoli sincroni e muscoli asincroni.

Nei muscoli sincroni un solo stimolo nervoso determina un ciclo di contrazione e di rilassamento, mentre nei muscoli asincroni si possono registrare più cicli di contrazioni e di rilassamento, in quanto sono presenti meccanismi che generano contrazioni supplementari del muscolo in grado di fare registrare fino a 1.000 cicli di contrazione. I muscoli sincroni sono più comunemente presenti nei muscoli viscerali, mentre quelli asincroni sono tipicamente i muscoli delle ali degli emitteri e di molti imenotteri, coleotteri e ditteri. Una particolare attenzione meritano i muscoli che presiedono alla attività di volo (Fig. 3.3 ▼). Questi sono distinti in diretti ed indiretti; i primi sono direttamente connessi agli scleriti ascellari delle ali e dei segmenti toracici e determinano non solo l'innalzamento e l'abbassamento delle ali, ma anche limitate torsioni; i secondi deformano il torace e le deformazioni comportano elevazione e depressione delle ali.

3.2 - IL SISTEMA CIRCOLATORIO

Il Sistema Circolatorio negli insetti è di tipo aperto e si compone di un Vaso Dorsale e di Organi Pulsanti Accessori che favoriscono la circolazione dell'Emolinfa nella Cavità Emocelica (Fig. 3.4 ▼).

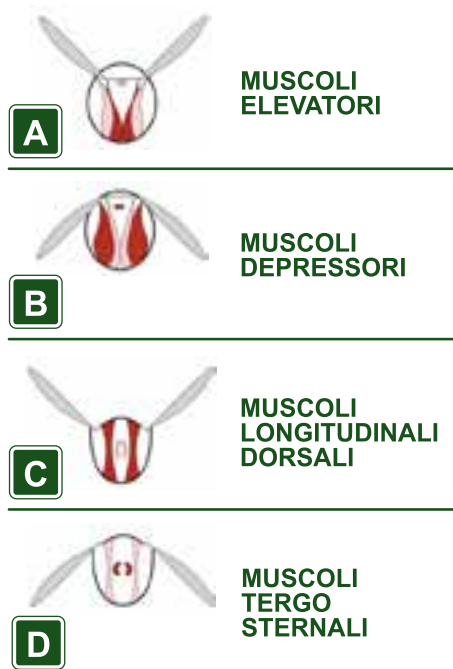


Fig. 3.3 - Rappresentazione schematica del battito alare, in rosso sono rappresentati i muscoli in contrazione. Nei muscoli diretti del volo, il movimento dell'ala è determinato dalla contrazione dei muscoli elevatori (A) e dei muscoli depressori (B). Nei muscoli indiretti del volo, il movimento dell'ala è determinato dalla contrazione dei muscoli longitudinali dorsali (C) e dei muscoli tergo sternali (D).

3.2.1 - IL VASO DORSALE

Il vaso dorsale consiste in un tubo che percorre longitudinalmente il corpo dell'insetto, chiuso nell'estremità posteriore e aperto in quella anteriore.

Si distinguono due tratti, uno posteriore, il cuore, e uno anteriore, l'aorta. Il cuore è composto da più camere intercomunicanti, dette ventricoliti, ciascuna delle quali è provvista lateralmente di due valvole, dette ostioli; sulle pareti laterali dei ventricoliti si inseriscono i muscoli alari (Fig. 3.5 ▼).

L'aorta è il tratto più lungo e si apre anteriormente nel capo a livello del seno frontale in uno o più rami. Gli organi pulsanti accessori si possono ritrovare alla base di alcune appendici, la cui particolare conformazione riduce sostanzialmente il lume dell'emocele, come antenne, ali e zampe, e si presentano sotto forma di diverticoli o ampolle dotati di fibre muscolari in grado di pulsare autonomamente, facilitando il flusso dell'emolinfa.

3.2.2 - L'EMOLINFA

L'emolinfa è costituita da una parte liquida, plasma, e da una parte cellulare, figurata. Il plasma è composto per circa il 90% da acqua con reazione neutra o debolmente acida, pH compreso tra 6 e 7. Può essere colorato per la presenza di pigmenti alimentari e vi si rinvencono molecole (carboidrati, proteine, grassi e aminoacidi) e ioni (Na, K e Cl). Normalmente, nell'emolinfa non sono presenti i pigmenti respiratori, perché l'ossigeno raggiunge direttamente i tessuti (cfr. Sistema Respiratorio). La parte figurata è costituita da emociti nelle diverse modificazioni morfologiche, tra le quali si segnalano i fagociti, che svolgono funzione immunitaria imprigionando i corpi estranei. Nell'emocele si rinvencono anche ammassi consistenti di cellule adipose che costituiscono il corpo grasso e svolgono funzione di sintesi e immagazzinamento dei materiali di riserva e funzione escretoria, accumulando sali urici.

3.2.3 LA CIRCOLAZIONE DELL'EMOLINFA

La circolazione dell'emolinfa è di tipo vascolare in senso caudale-cefalico ed emocelica in senso cefalo-caudale (Fig. 3.4 ►) ed è garantita dall'attività pulsante del cuore. Nella fase di contrazione dei muscoli alari,

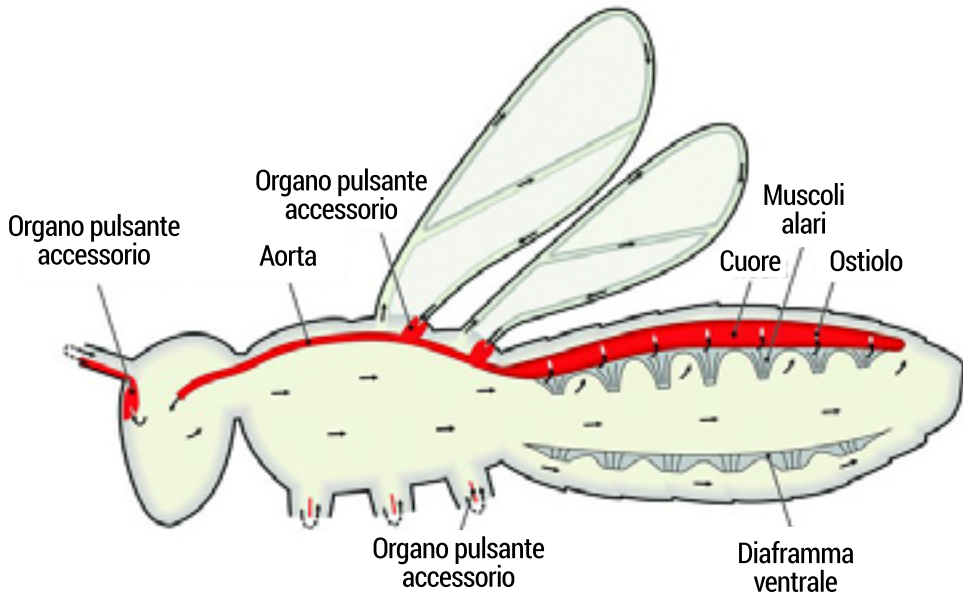


Fig. 3.4 - Schema della disposizione del sistema circolatorio di un insetto. Le frecce indicano il verso di circolazione dell'emolinfa che è di tipo vascolare in senso caudale-cefalico ed emocelica in senso cefalo-caudale.

gli ostioli si aprono per consentire l'ingresso dell'emolinfa; nella fase di rilassamento, gli ostioli si chiudono e l'emolinfa è spinta lungo l'aorta, dalla quale fuoriesce e si dirige verso il seno perineurale, poi dal diaframma ventrale giunge al seno periviscerale per rientrare nel cuore attraverso gli ostioli. L'emolinfa svolge la funzione di trasporto delle sostanze nutritive ed ormonali a tutti i tessuti ed organi, di mantenimento delle condizioni ottimali di pH e di pressione osmotica e meccanica nel determinare l'incremento di volume in determinate porzioni dell'emocele, con lo scopo, ad esempio, di favorire la frattura della cuticola in occasione della muta oppure la maggiore efficienza di alcune appendici.

3.3 - IL SISTEMA RESPIRATORIO

Il sistema respiratorio consente di utilizzare l'ossigeno ed eliminare l'anidride carbonica

tramite una fitta rete tubulare che si compone di Spiracoli (Stigmi), Trachee, Tracheole e Sacchi Aerei (Fig. 3.6 ▼).

3.3.1 - GLI SPIRACOLI

Gli spiracoli costituiscono le aperture tegumentali che mettono in comunicazione il sistema respiratorio con l'ambiente esterno. In genere si presentano in numero di due coppie nel torace e otto coppie nell'addome, ma possono esserci insetti con 11 paia (insetti iperpneusti), o più spesso con numero ridotto o totalmente privi (apneusti). Essi sono localizzati nelle pleure o nelle membrane laterali. Morfologicamente si caratterizzano per un ispessimento cuticolare, detto peritrema, che spesso si apre in una camera, detta atrio, in cui possono essere presenti setole con funzioni filtranti (Fig. 3.7 ▼). Il peritrema può essere associato a meccanismi di chiusura atti a regolare l'ingresso dell'aria.

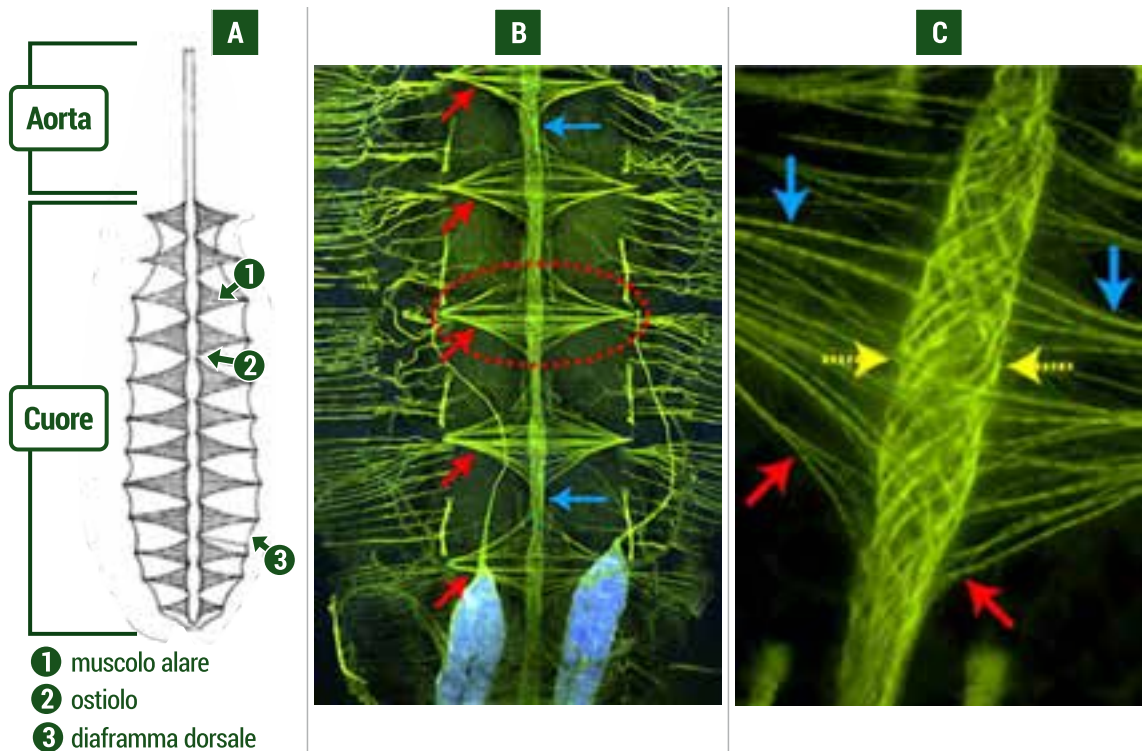


Fig. 3.5 - Vaso dorsale: rappresentazione schematica (A); micrografia ottica in fluorescenza del vaso dorsale dissezionato da adulto di dittero in cui sono visibili i muscoli alari colorati in giallo ed evidenziati con le frecce rosse - (B); dettaglio della zona cerchiata in rosso in cui sono visibili gli ostioli evidenziati con le frecce in giallo (C).

3.3.2 - LE TRACHEE

Le trachee (Fig. 3.8 ►) si presentano di forma tubulare e di colore argenteo; istologicamente sono costituite da uno strato interno di cuticola, detto intima, un epitelio e una membrana basale; hanno aspetto striato, dovuto ad un ispessimento cuticolare a decorso elicoidale attorno alla circonferenza interna, detto tenidio, che serve ad opporre resistenza allo schiacciamento delle trachee, dovuto all'eventuale pressione esercitata dai movimenti del corpo.

3.3.3 - LE TRACHEOLE

Alle trachee seguono le tracheole, che si originano da cellule stellate, i tracheoblasti; presentano una struttura simile alle trachee ma un diametro inferiore a $1\mu\text{m}$; alle estremità sono piene di liquido o di aria (Fig. 3.9 ▼). Le tracheole penetrano all'interno dei tessuti e arrivano fino alle singole cellule dove, per diffusione, avvengono gli scambi gassosi di ossigeno e anidride carbonica, veicolati dall'assorbimento nelle cellule del liquido tracheale e dall'ingresso di maggiore quantità d'aria nelle porzioni terminali delle tracheole.

3.3.4 - I SACCHI AEREI

L'assenza di tenidi in determinate parti del sistema tracheale dà origine alla formazione dei sacchi aerei, ingrossamenti sferoidali che possono svolgere varie funzioni, come camere di riserva di aria, alleggerimento per il volo o casse di risonanza.

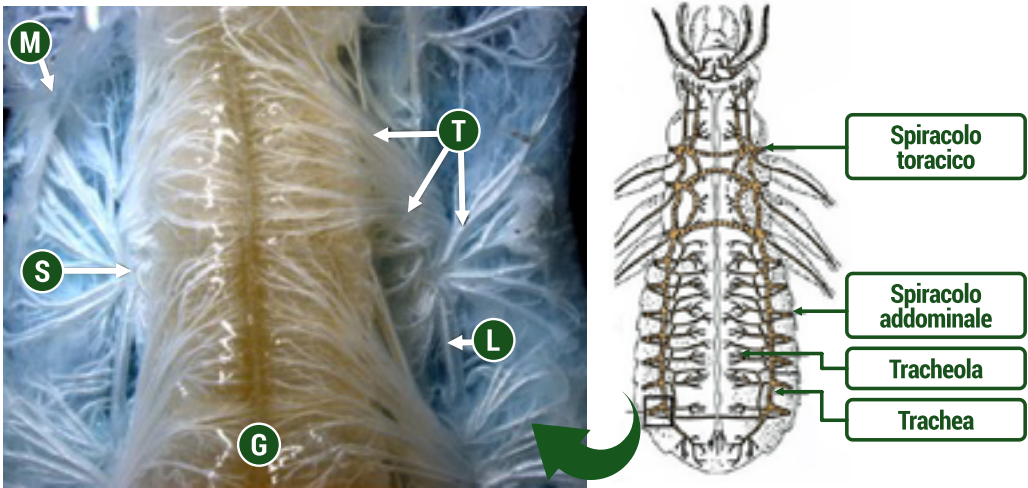


Fig. 3.6 - Foto e rappresentazione del sistema respiratorio visto dorsalmente. Nella micrografia è visibile il canale alimentare (G), il sistema respiratorio formato da spiracoli (s), trachee (T e L) e una porzione di tubo Malpighiano (M).

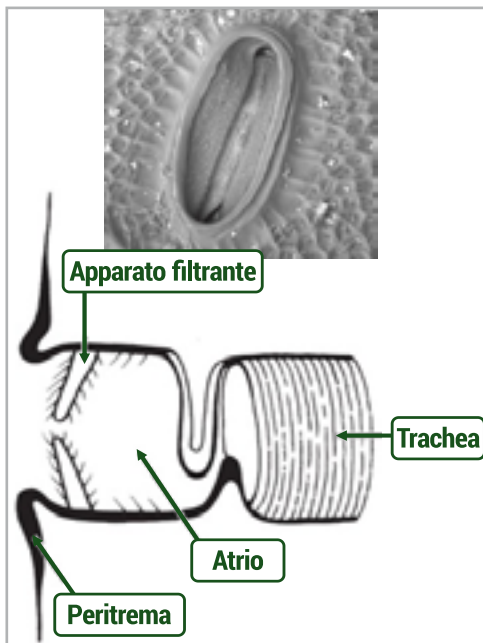


Fig. 3.7 - Micrografia elettronica di uno spiracolo tracheale con, in basso, sezione schematica.

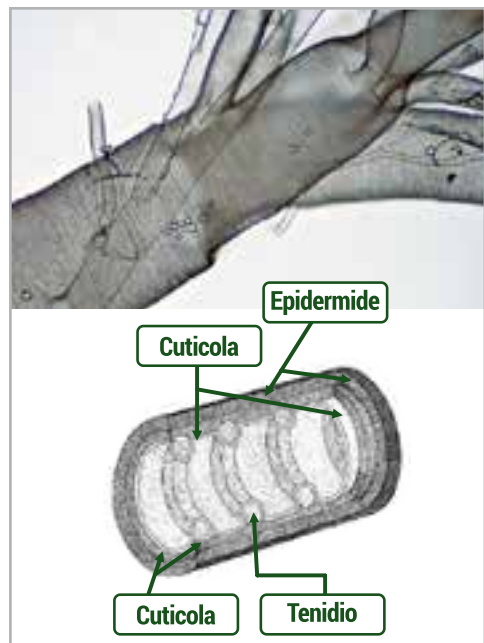
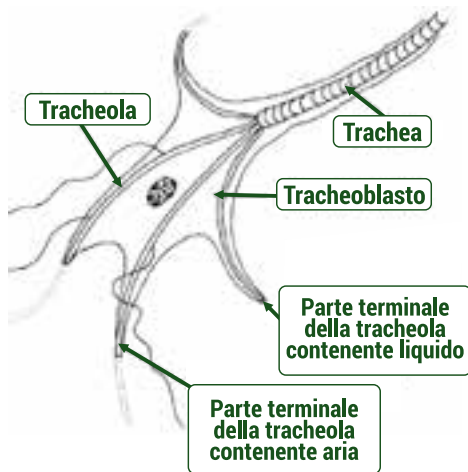


Fig. 3.8 - Micrografia elettronica di una trachea con, in basso, sezione schematica.

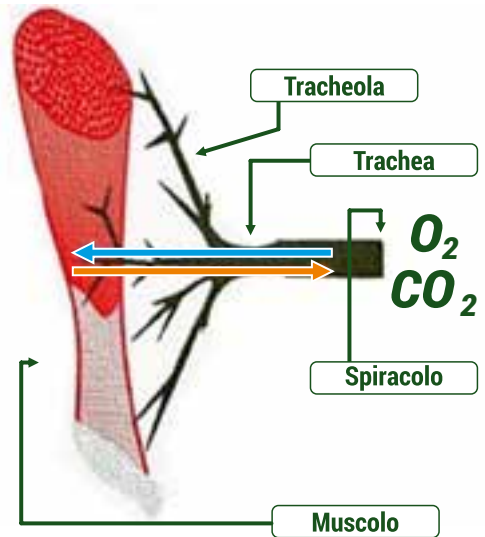
3.3.5 - LA RESPIRAZIONE

Negli insetti terrestri di piccole dimensioni la respirazione, ingresso di ossigeno atmosferico e fuoriuscita di anidride carbonica, avviene

esclusivamente per diffusione gassosa indotta dalla differenza fra la pressione atmosferica e quella presente all'estremità delle trachee (Fig. 3.10 ▼).



▲ **Fig. 3.9** - Rappresentazione schematica di una diramazione respiratoria in cui è messo in evidenza un tracheoblasto e le tracheole da esso originate.



▲ **Fig. 3.10** - Rappresentazione schematica degli scambi gassosi. La freccia blu indica la direzione dell'ossigeno e la freccia arancione la direzione dell'anidride carbonica.

3

4

Negli insetti di maggiori dimensioni, la respirazione avviene grazie a movimenti respiratori del sistema tracheale, che consistono nell'apertura e chiusura degli spiracoli tracheali, e alla concomitante attività dei muscoli addominali che favoriscono l'espansione e la contrazione del volume corporeo. Nonostante quest'attività respiratoria, che favorisce l'ingresso e l'uscita dell'aria nelle trachee, gli scambi gassosi delle cellule non possono prescindere dal fenomeno della diffusione nelle tracheole. Infatti, il grado di diffusione dei gas, assieme al peso dell'esoscheletro, rappresenta il principale elemento che limita le dimensioni corporee degli insetti.

Negli insetti acquatici possono essere presenti le branchie tracheali, espansioni a parete sottile dotate di numerose trachee, attraverso le quali si ha la diffusione dell'ossigeno dell'acqua, oppure i sifoni respiratori che si trovano localizzati all'estremità dell'addome. Infine, la respirazione in acqua può avvenire grazie a bolle d'aria che gli insetti portano aderenti al

corpo quando si immergono e che consentono loro di utilizzarne l'ossigeno attraverso gli spiracoli tracheali (insetti acquaioli).

3.4 - IL SISTEMA DIGERENTE

Gli insetti si sono adattati a diverse situazioni trofiche; questo ha determinato la conformazione di diversi tipi di apparati boccali (cfr. paragrafo 2.2.2), atti ad assimilare specifici alimenti, e la conseguente costituzione di sistemi digerenti differenti per morfologia e fisiologia. In generale, il sistema digerente è assimilabile ad un canale, il canale alimentare, più o meno lungo, che parte dall'apertura boccale, attraversa longitudinalmente e medialmente il corpo e termina con l'apertura anale. Il canale alimentare è diviso in tre sezioni: stomodeo o intestino anteriore, mesentero o intestino medio e proctodeo o intestino posteriore (Fig. 3.11 ►).

Lo stomodeo e il proctodeo sono di origine ectodermica, derivando dalla invaginazione

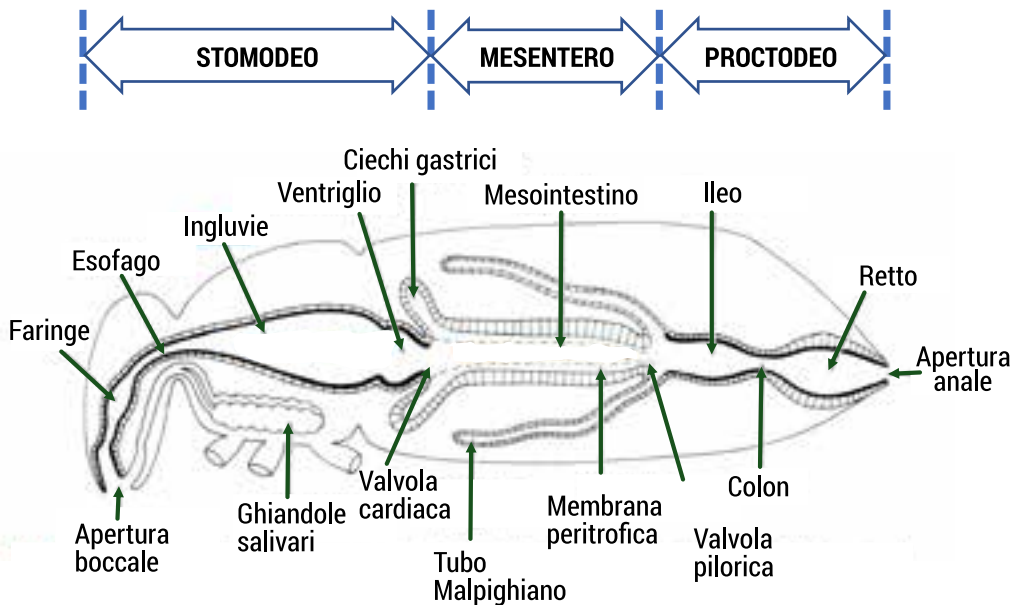


Fig. 3.11 - Rappresentazione schematica del canale alimentare di un insetto.

del tegumento, e istologicamente si compongono di un'intima, uno strato epiteliale, una membrana basale e due strati muscolari che li avvolgono circolarmente e longitudinalmente. Il mesentero, invece, ha normalmente origine dalla proliferazione delle cellule endodermiche, anche se in specifici gruppi si origina da altri tipi di cellule come, per esempio, le cellule energidi. Istologicamente esso si compone di un epitelio monostratificato formato da cellule microvillate, seguito dalla membrana basale e da fibre muscolari organizzate in fasci longitudinali e circolari (Fig. 3.12 ▼).

3.4.1 - LO STOMODEO

Lo stomodeo topograficamente prende avvio con la cavità preorale, dalla quale si diparte uno stretto canale, detto faringe, in cui è comune la presenza della pompa faringea, una struttura provvista di muscoli potenti che facilita l'aspirazione e l'ingestione dell'alimen-

to. La faringe continua con l'esofago, che in alcuni casi è direttamente collegato con il mesentero, mentre in altri si dilata verso l'estremità posteriore nell'ingluvie, una camera atta ad immagazzinare e conservare anche per lungo tempo il cibo ingerito e dove, talvolta, possono avvenire anche fenomeni di predigestione enzimatica, ovvero si dilata nel ventriglio, una struttura circondata da una robusta muscolatura e munita verso il lume interno di ingrossamenti sclerotizzati che permettono un'ulteriore triturazione del cibo. Nelle api l'ingluvie è detta "borsa melaria", in quanto viene utilizzata per trasportare all'alveare il nettare bottinato sui fiori. Lo stomodeo è separato dal mesentero da uno sfintere, simile allo sfintere cardiaco dell'uomo, detto valvola cardiaca.

Negli insetti terrestri sono comunemente presenti le ghiandole salivari, ghiandole di origine ectodermica, per lo più localizzate nel torace, di forma tubulare o racemosa e

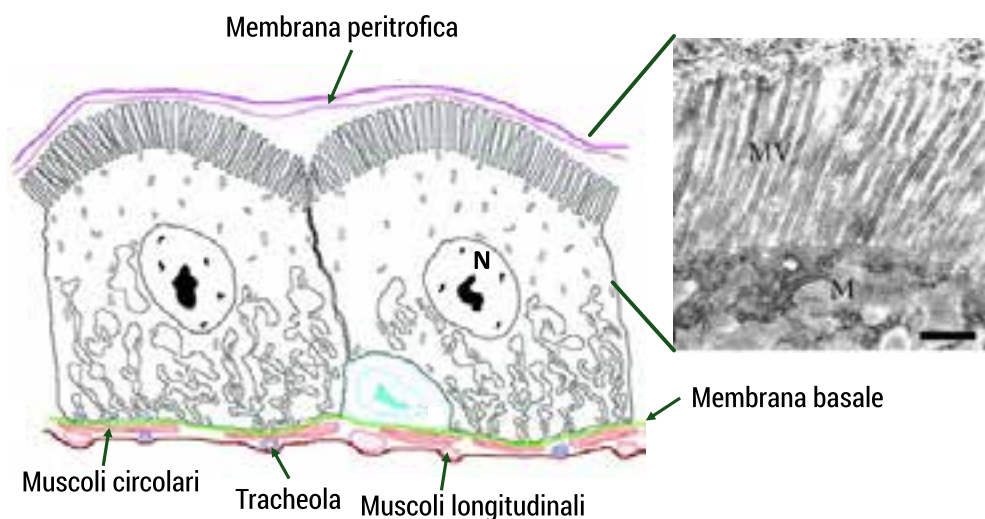


Fig. 3.12 - Rappresentazione schematica delle cellule dell'epitelio del mesentero e micrografia elettronica del particolare dei villi intestinali. MV = microvilli, M = mitocondrio, N = nucleo.

che sboccano alla base dell'ipofaringe. Nelle larve dei lepidotteri le ghiandole sono trasformate in organi per la produzione di seta utilizzata per la costruzione dei bozzoli (cfr. paragrafo 3.8.3).

3.4.2 - IL MESENTERO

Il mesentero presenta cellule intestinali caratterizzate da una membrana apicale organizzata in un fitto orletto a spazzola con numerosi microvilli (Fig. 3.12 ▲), i quali garantiscono una notevole superficie di scambio esposta verso il lume; le cellule epiteliali sono attive per periodi relativamente brevi e pertanto devono essere sostituite regolarmente, compito svolto da gruppi di cellule staminali frequentemente raccolte in aggregati detti nidi.

Le cellule dell'intestino medio sono protette dalla membrana peritrofica, una struttura altamente specializzata di consistenza gelatinosa, costituita prevalentemente da una maglia di fibrille di chitina, che è prodotta dalle cellule epiteliali oppure da particolari cellule poste a livello della valvola cardiaca.

La membrana peritrofica agisce 1) da barriera meccanica all'abrasione della membrana apicale delle cellule epiteliali; 2) da filtro selettivo, in quanto il diametro medio dei pori della rete permette la permeazione di molecole con un peso molecolare non superiore a 200 kDa, ma impedisce il passaggio di patogeni ingeriti con il cibo, come microrganismi e virus, e di sostanze potenzialmente tossiche presenti nelle piante, come i tannini.

Nel mesentero possono essere presenti delle estroflessioni a forma di tubuli a fondo cieco, i ciechi gastrici, che concorrono alla digestione e all'assorbimento di nutrienti e di acqua. L'intestino medio è separato dall'intestino posteriore tramite uno sfintere detto valvola pilorica; in questa zona si trova lo sbocco dei tubuli Malpighiani (cfr. paragrafo 3.5).

3.4.3 - IL PROCTODEO

Come detto in precedenza, il proctodeo è di origine ectodermica, pertanto il lume interno è foderato da una cuticola chitinoso.

Topograficamente l'intestino posteriore è costituito dalle regioni ileo, colon e retto. Nel retto si trovano le papille rettali, costituite da aggregati di cellule ben distinti dal resto dell'epitelio rettale, che formano una struttura specializzata nel riassorbimento di acqua e soluti che concorre al mantenimento dell'equilibrio idro-salino dell'insetto.

3.4.4 - LA DIGESTIONE E L'ASSORBIMENTO

Negli insetti la digestione delle molecole complesse e l'assorbimento dei nutrienti, dei sali minerali e dell'acqua avviene nel mesentero. Una volta che i nutrienti sono resi disponibili, questi sono assorbiti dall'epitelio intestinale e immessi nella circolazione emolinfatica per essere distribuiti agli organi interni. La digestione è operata sia da enzimi che da microrganismi simbiotici presenti nell'intestino medio, quali Batteri, Funghi e Protozoi. Queste simbiosi sono il risultato del rapporto coevolutivo tra l'insetto e i microrganismi ospitati e sono di fondamentale importanza in quanto sono in grado di fornire adeguati integratori nutrizionali a quegli insetti con diete altamente specifiche. Negli afidi, per esempio, la carenza di amminoacidi essenziali tipica della linfa vegetale è compensata dalla presenza di batteri endosimbionti dispersi nell'emocele che metabolizzano amminoacidi non essenziali, come il glutammato. Oppure, le termiti, insetti che si nutrono di legno, ospitano nell'intestino batteri e protozoi flagellati in grado di digerire la cellulosa.

3.4.5 - MODIFICAZIONI DEL CANALE ALIMENTARE E INTESTINI DI FABBRICA SPECIALE

La grande varietà di regimi alimentari che gli insetti possono adottare ha determinato una

ampia variazione nella morfologia e nella fisiologia dei canali alimentari (Fig. 3.13 ▼). Per esempio, gli insetti che si nutrono di alimenti solidi presentano, di norma, un canale alimentare più corto di quelli che si nutrono di alimenti liquidi.

Una modifica particolare si osserva in insetti che si nutrono di liquidi floematici molto ricchi di saccarosio, come molte specie di psille, aleurodidi e cocciniglie. Questi sono in grado di concentrare gli scarsi materiali proteici presenti nella propria dieta per mezzo delle camere filtranti (Fig. 3.14 ▼). In pratica, questo apparato digerente di fabbrica speciale presenta l'intestino anteriore e la prima parte dell'intestino medio a contatto con l'intestino posteriore, in modo da permettere all'acqua di passare direttamente nel proctodeo senza transitare nel mesentero, ove diluirebbe gli enzimi presenti, e agli zuccheri semplici di transitare direttamente dall'intestino anteriore a quello posteriore; in questo modo l'insetto evita di digerire gran parte degli zuccheri, i quali vengono espulsi all'esterno sotto forma di un fluido fortemente zuccherino, detto melata.

La melata si deposita sulla superficie vegetale e su di essa si sviluppano diverse specie fungine epifittiche e saprofitarie, dette fumaggini, che formano una patina nerastra in grado di compromettere l'attività fisiologica delle piante. La melata può rappresentare una fonte alimentare importante per molti insetti, inclusi quelli entomofagi, quali predatori e parassitoidi, che svolgono un ruolo essenziale come regolatori demografici naturali delle popolazioni degli insetti fitofagi (cfr. paragrafo 5.1).

3.5 - IL SISTEMA ESCRETORE

L'apparato escretore svolge le funzioni di eliminazione delle sostanze di rifiuto, rappresentate dai prodotti del metabolismo azota-

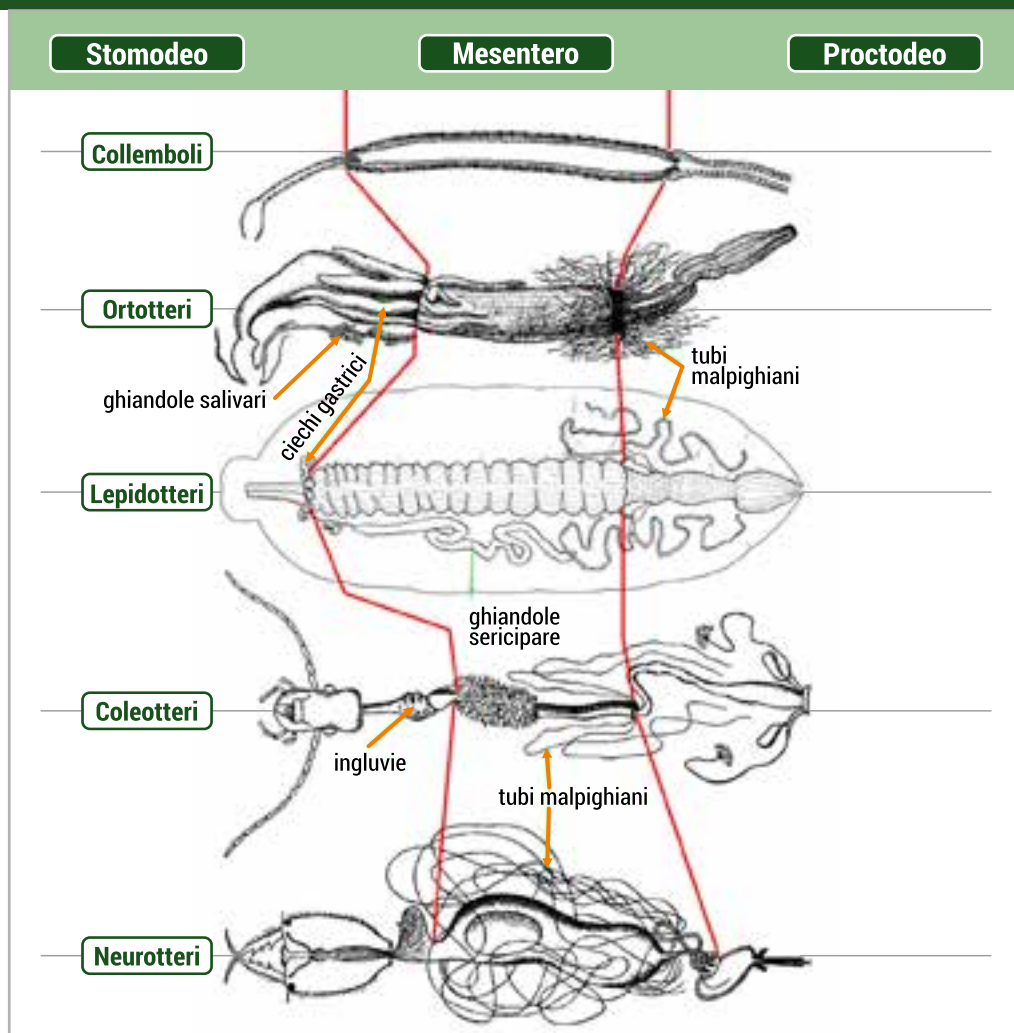


Fig 3.13 - Rappresentazione schematica dei canali alimentari di alcuni ordini di insetti di interesse agrario.

to, di controllo del volume dell'acqua e della pressione osmotica, di osmoregolazione e di regolazione dell'equilibrio acido-base.

Il sistema escretore è costituito da due sistemi: uno localizzato, rappresentato dai Tubuli Malpighiani e dall'intestino posteriore (cfr. paragrafo 3.4.3), e l'altro diffuso, rappresentato dai Nefrociti.

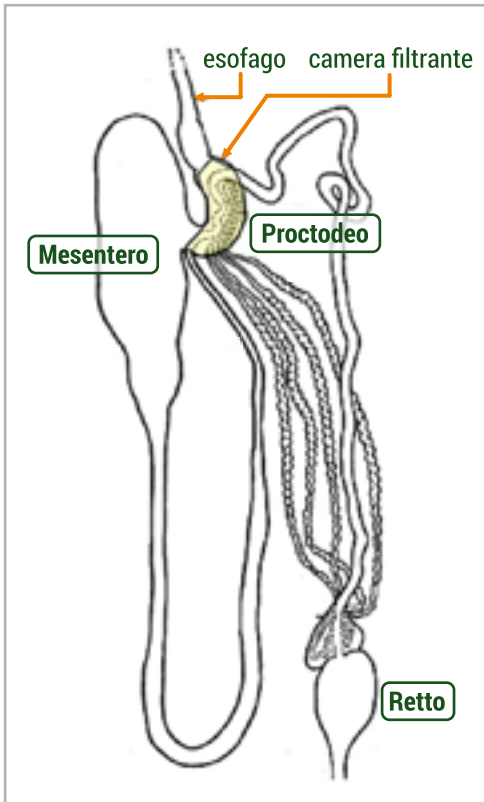
3.5.1 - I TUBULI MALPIGHIANI

I tubuli Malpighiani sono delle estroflessioni a fondo cieco del proctodeo che si forma-

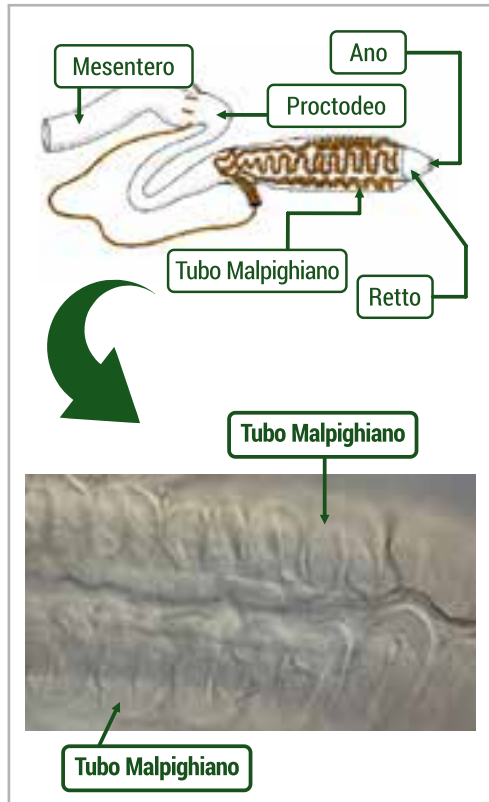
no nella zona di confine con il mesentero. Istologicamente essi presentano una parete costituita da un epitelio monostratificato, avvolto da una tunica peritoneale fittamente attraversata da tracheole.

Il loro numero è molto variabile da alcune unità (specie oligonefriche), fino ad oltre 200 (specie polinefriche), ma possono essere anche assenti come negli afidi.

Nella maggior parte dei casi, essi fluttuano liberi nell'emolinfa, ma in altri casi, per



▲ Fig. 3.14 - Rappresentazione schematica di camera filtrante



▲ Fig. 3.15 - Foto e rappresentazione schematica del sistema escretore criptonefrico

esempio in alcune specie di lepidotteri e di coleotteri, si presentano addossati alla parete del retto a formare il sistema criptonefrico (Fig. 3.15 ►), il quale risulta più efficiente nel riassorbire l'acqua, funzione questa particolarmente importante nelle specie a regime dietetico xilofago.

3.5.2 - I NEFROCITI

I nefrociti sono cellule di derivazione mesodermica che si trovano sparse nell'emocele o concentrate in alcune regioni, per esempio i nefrociti pericardiali; sono in grado di regolare la composizione dell'emolinfa attraverso processi di filtrazione e di immagazzinamento dei cataboliti.

3.6 - IL SISTEMA NERVOSO

Il sistema nervoso negli insetti è caratterizzato da un tessuto biologico altamente specializzato nel ricevere, trasmettere, controllare ed elaborare gli stimoli interni ed esterni al corpo, al fine di coordinare le funzioni percettive, motorie, relazionali e vegetative dell'individuo e dare luogo a un ampio repertorio comportamentale.

Nel sistema nervoso si distinguono una fitta rete di cellule nervose o neuroni e le cellule neuroglia. Esso è organizzato in un Sistema Nervoso Centrale, un Sistema Nervoso Viscerale o Simpatico e un Sistema Nervoso Periferico.

3.6.1 I NEURONI E LE CELLULE NEVROGLIA

I neuroni sono le unità cellulari che formano il tessuto nervoso. Presentano un corpo piriforme, detto soma, a cui giungono una o più ramificazioni corte, dette dendriti o fibre afferenti, che ricevono l'impulso nervoso, e da cui si diparte una ramificazione più lunga, detta assone, neurite o fibra efferente, che trasmette l'impulso.

In base alla morfologia distinguiamo: neuroni unipolari, provvisti del solo assone; bipolari, provvisti di un dendrite e di un assone che si staccano dai poli opposti del soma; multipolari, provvisti di molti dendriti che giungono in vari punti del soma e di un unico assone.

In base alla funzione i neuroni si dividono in: sensoriali (afferenti), generalmente bipolari, che sono associati con i recettori sensoriali e trasmettono i segnali sensoriali verso il sistema nervoso centrale; motori (efferenti), generalmente unipolari, che conducono segnali dal sistema nervoso centrale alla periferia; associativi (interneuroni), generalmente multipolari, che fungono da connessione all'interno del sistema nervoso centrale fra i neuroni sensoriali e quelli motori. Le cellule nevroglia hanno funzione nutritiva e di sostegno per i neuroni e assicurano l'isolamento dei tessuti nervosi e la protezione da corpi estranei in caso di lesioni.

3.6.2 IL SISTEMA NERVOSO CENTRALE

Il sistema nervoso centrale è tipicamente organizzato in coppie di gangli presenti in ogni metamero. I gangli sono collegati fra loro da commessure trasversali e da connesure longitudinali; questi collegamenti possono scomparire per la fusione dei gangli in un

corpo unico. Si distinguono: il ganglio sopraesofageo o cervello, derivato dalla fusione delle prime tre coppie di gangli, il ganglio sottoesofageo o gnatocerebro, derivato dalla fusione di altre tre coppie, e la catena nervosa gangliare ventrale, costituita da coppie di gangli, che decorre ventralmente lungo il corpo dell'insetto (Fig. 3.16 ►).

Il cervello è derivato dalla fusione dei gangli dei primi tre metameri cefalici; si divide in 3 parti che, in senso antero-posteriore, sono: il protocerebro, il deutocerebro e il tritocerebro. Il protocerebro di solito costituisce la parte più voluminosa, innerva gli occhi composti per mezzo di due lobi ottici e gli ocelli tramite i lobi ocellati; al suo interno si trovano i corpi fungiformi, strutture lobate appaiate in cui ha sede il controllo del comportamento e i processi di apprendimento e memorizzazione; sono presenti anche gruppi di cellule neurosecernenti detti *pars intercerebralis*.

Il deutocerebro innerva con i due lobi olfattivi le antenne, mentre il tritocerebro innerva il clipeo e il labbro superiore. Dal tritocerebro si origina il cingolo periesofageo che collega il cervello con lo gnatocerebro. Lo gnatocerebro deriva dalla fusione dei gangli del quarto, quinto e sesto metamero cefalico; innerva le mandibole, le mascelle ed il labbro inferiore.

Allo gnatocerebro segue la catena nervosa gangliare ventrale, la quale è costituita da tre coppie di gangli toracici che innervano le zampe e fino a undici coppie di gangli addominali che controllano le attività dei singoli metameri; l'ultima coppia controlla gli organi della riproduzione. In alcuni casi, i gangli della catena nervosa gangliare risultano fusi assieme a formare un'unica massa gangliare, in cui ogni coppia di gangli continua ad innervare il segmento corrispondente e le eventuali appendici.

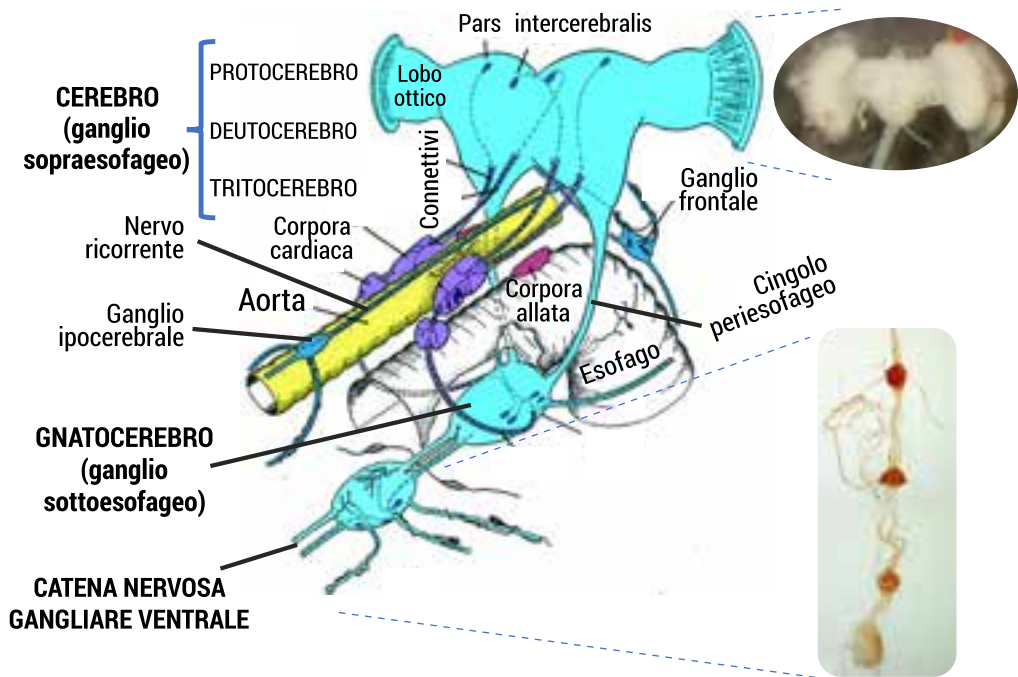


Fig. 3.16. Rappresentazione schematica del sistema nervoso centrale.

3.6.3 - IL SISTEMA NERVOSO VISCERALE O SIMPATICO

Il sistema nervoso viscerale comprende il simpatico dorsale o stomatogastrico, il simpatico ventrale e il simpatico caudale. Il simpatico dorsale è localizzato nella parte dorsale dello stomodeo; si compone del ganglio frontale, localizzato nella regione cefalica anteriormente al cervello e connesso al tritocerebro, del ganglio ipocerebrale, anch'esso localizzato nella regione cefalica ma posteriormente al cervello, connesso al ganglio frontale dal nervo ricorrente, e del ganglio stomacale connesso al ganglio ipocerebrale tramite nervi esofagei. Il simpatico dorsale innerva sia il vaso dorsale che l'intestino. Il simpatico ventrale si origina dallo gnatocerebro e dai gangli della catena gangliare ventrale; consiste in un cordone nervoso che innerva gli spiracoli tracheali e le trachee.

Il simpatico caudale si sviluppa dall'ultimo ganglio della catena gangliare ventrale ed innerva gli organi genitali ed il proctodeo.

3.6.4 IL SISTEMA NERVOSO PERIFERICO

Il sistema nervoso periferico è costituito da un complesso di cellule nervose sensoriali diffuse in varie parti del corpo e localizzate nell'epidermide. I dendriti innervano i vari organi di senso, mentre gli assoni raggiungono i gangli del sistema nervoso centrale.

3.6.5 - LA TRASMISSIONE DELL'IMPULSO NERVOSO

I neuroni ricevono e trasmettono gli impulsi nervosi grazie alle loro proprietà fisiologiche e chimiche. La trasmissione dell'impulso nervoso lungo l'assone si realizza in forma di impulso elettrico determinato dall'alterazione del potenziale di membrana.

La trasmissione dell'impulso tra due cellule nervose avviene tramite sinapsi chimiche, grazie al rilascio di sostanze neuromediatriche in grado di attivare il neurone adiacente e consentire il passaggio dell'impulso nervoso. Il principale neuromediatore è l'acetilcolina che è sintetizzata dall'enzima colina-acetil-transferasi utilizzando come substrato colina e acido acetico.

Dopo il rilascio, l'acetilcolina si distribuisce nello spazio sinaptico legandosi ai recettori postsinaptici, attivando così la cellula nervosa adiacente. Immediatamente dopo, l'acetilcolina viene idrolizzata dall'enzima acetilcolinesterasi che la scinde in colina e acido acetico, in modo che la stimolazione nervosa cessi.

3.6.6 - GLI ORGANI DI SENSO

Gli organi di senso sono detti sensilli e sono tipicamente formati da una parte cuticolare e una cellulare. La parte cuticolare può assumere diverse forme, la più diffusa è quella di setola, ma può essere anche squamiforme, basiconica o ampollacea. La parte cellulare è composta da 1 o più neuroni e 3 cellule di supporto così costituite: una cellula tricogena, responsabile della formazione della parte cuticolare, una tormogena, responsabile della formazione della cavità in cui si inserisce il sensillo e una tecogena, la più interna, secernente una guaina che avvolge il neurone (Fig. 3.17 ►). I sensilli si distinguono in esterorecettori, sensibili a stimoli provenienti da fonti esterne e propriorecettori, sensibili alla posizione e al movimento del corpo nello spazio. Dal punto di vista funzionale i sensilli si distinguono in meccanorecettori, chemiorecettori, termorecettori, igrorecettori e fotorecettori.

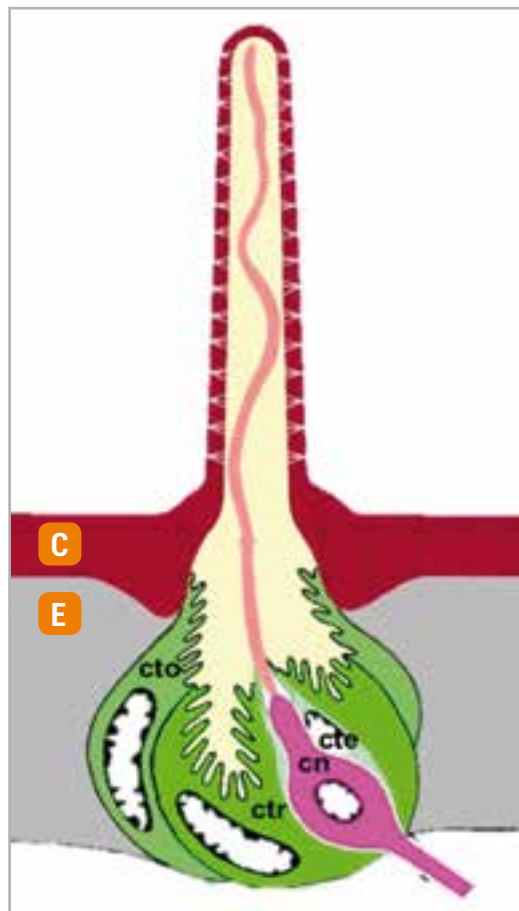


Fig. 3.17 - Rappresentazione schematica di un sensillo olfattivo. C = cuticola, E = epidermide, cto = cellula tormogena, ctr = cellula tricogena, cte = cellula tecogena, cn = cellula nervosa.

3.6.6.1 - I MECCANORECETTORI

I sensilli meccanorecettori sono distribuiti su tutta la superficie corporea, con maggiore concentrazione in alcune parti specifiche come antenne e zampe e si possono presentare in varie forme. I sensilli tricoidei si presentano come espansioni cuticolari a forma di pelo, al cui interno sono presenti i dendriti localizzati alla base del sensillo. La stimolazione è provocata dalla deformazio-

ne meccanica del recettore. Quelli presenti sulla superficie corporea hanno la funzione di propriocettori in grado di rilevare i vari movimenti del corpo, per esempio della zona posteriore del cranio o delle articolazioni. I sensilli campaniformi si presentano come dischi ovali appiattiti e normalmente rilevano deformazioni dell'esoscheletro; sono localizzati prevalentemente sulle zampe, in prossimità dell'innesto delle ali e lungo i punti di giunzione tra scleriti contigui dell'esoscheletro. I sensilli cordotonali sono propriocettori interni che funzionano come organi dell'udito specializzati per il rilevamento del suono; contengono una o più unità funzionali specializzate, denominate scolopidi, e sono situati all'interno di una cavità timpanica. Gli organi dell'udito possono essere presenti in diverse parti del corpo, compresi l'apparato boccale, le ali e le zampe e possono variare in modo considerevole in struttura e complessità. Per esempio, negli ortotteri ensiferi, essi sono confinati nelle tibie anteriori, mentre negli ortotteri celiferi ai lati del primo urite. L'organo di Johnston è un grande sensillo cordotonale localizzato alla base del flagello antennale ed in alcuni insetti ha funzione di propriocettore in grado di fornire informazioni circa la posizione e l'orientamento delle antenne.

3.6.6.2 - I CHEMIORECETTORI

I sensilli chemiorecettori rispondono a stimoli di natura chimica e sono caratterizzati dalla presenza di microscopici fori nella parte cuticolare, attraverso i quali le sostanze chimiche raggiungono i dendriti dei neuroni che innervano il sensillo determinando la stimolazione sensoriale. In generale, i chemiorecettori sono presenti in maniera sparsa su tutta la superficie del corpo, ma in alcune appendici possono trovarsi ad-

densati, ad esempio, sulle antenne e sulle appendici boccali. In base alla forma della struttura cuticolare esterna possono essere di tipo tricoideo, basicnico o celoconico, mentre in base allo stato di aggregazione delle sostanze chimiche che stimolano la risposta sensoriale possono essere distinti in olfattivi e gustativi. I sensilli gustativi sono deputati alla percezione di sostanze chimiche in fase liquida o solida e pertanto sono stimolati solo tramite contatto diretto con le sostanze attive. Morfologicamente sono caratterizzati dalla presenza di uno o più pori microscopici localizzati nella parte apicale della cuticola e sono innervati da un numero limitato di neuroni le cui terminazioni dendritiche attraversano il sensillo per tutta la lunghezza. I sensilli olfattivi sono specializzati nella percezione di sostanze chimiche in fase gassosa e di conseguenza la loro stimolazione è favorita dal movimento dell'aria. Morfologicamente sono caratterizzati dalla presenza di molti microscopici pori distribuiti lungo tutta la parete cuticolare, attraverso i quali le sostanze chimiche penetrano all'interno del sensillo e stimolano i dendriti dei neuroni che possono essere presenti anche in numero molto consistente (Fig. 3.17).

3.6.6.3 - I TERMORECETTORI E GLI IGRORECETTORI

I sensilli termorecettori percepiscono gli stimoli termici, mentre gli igrorecettori l'umidità relativa dell'aria. Questi sensilli sono normalmente presenti sulle antenne; a volte entrambi gli stimoli sono percepiti da uno stesso sensillo, detto termo-igrorecettore.

3.6.6.4 - I FOTORECETTORI

Gli organi visivi degli insetti sono distinti in base alla diversa complessità strutturale e

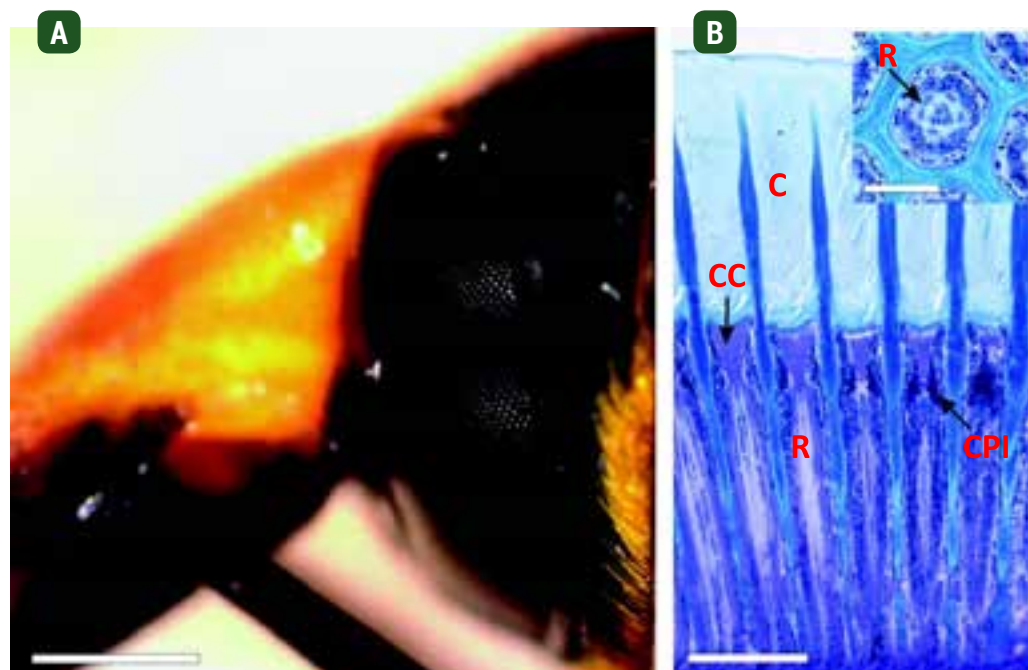


Fig. 3.18 - Fotorecettore di *Rhynchophorus ferrugineus*: A. particolare dell'occhio composto posizionato alla base del rostro; B. Micrografia elettronica: sezione longitudinale che mostra la cornea (C), il cono cristallino (CC), le cellule pigmentarie primarie dell'iride (CPI), il rabdoma (R). Nel riquadro in alto il rabdoma (R) e le cellule retinulari. Barra = 0,5 mm nella figura A, =50 μ m nella figura B, =20 μ m nel riquadro.

funzionale in occhi composti, occhi semplici o ocelli e occhi laterali o stemmata.

Gli occhi composti sono i principali organi visivi e sono situati in posizione dorso-laterale nel capo (Fig. 3.18A ▲). Sono detti composti perché costituiti da un insieme di unità ottiche elementari, dette ommatidi, il cui numero può variare da poche unità fino a circa 25 mila nel caso delle libellule. Ogni ommatide è costituito da un apparato diottrico, un apparato recettore e un apparato catottrico (Fig. 3.18B ▲).

L'apparato diottrico funziona come una lente biconvessa; è composto da una cornea di forma esagonale, costituita da una cuticola sottile e trasparente e prodotta da 2 cellule corneogene presenti nell'epidermide, e da

un cristallino o lente, composto da 4 cellule coniche trasparenti. L'apparato recettore è la parte sensoriale ed è composto dalla retina, formata da 6-7 cellule visive retinulari allungate e sottili, a stretto contatto, a formare un asse centrale detto rabdoma. Nel rabdoma si concentra il pigmento fotosensibile, il retinene. I rabdomi dei diversi ommatidi di ciascun occhio composto confluiscono poi nel nervo ottico.

L'apparato catottrico ha la funzione di isolare i diversi ommatidi; è costituito dalle cellule pigmentate, distinte in cellule primarie dell'iride, quelle che circondano il cono cristallino, e cellule secondarie dell'iride, quelle che circondano il rabdoma. In breve, la visione avviene in quanto l'apparato diottrico rifran-

ge la luce incidente sulle sottostanti cellule fotorecetrici, che sono in grado di recepirle tramite il retinene e generare impulsi nervosi attraverso un processo fotochimico del tutto simile a quello dei fotorecettori presenti nei vertebrati. Gli impulsi nervosi sono poi trasmessi, attraverso il rabdoma prima e il nervo ottico poi, ai lobi del protocerebro per l'elaborazione dell'informazione visiva. Gli occhi composti possono fornire due modelli di visione: quella per apposizione, tipica degli insetti diurni, e quella per sovrapposizione, tipica degli insetti notturni o crepuscolari.

Nella visione per apposizione ciascuna lente corneale mette a fuoco la luce sul proprio rabdoma, che quindi percepisce solo i raggi paralleli al proprio asse, mentre quelli provenienti dalle lenti adiacenti sono assorbiti dalle cellule pigmentate che separano completamente gli ommatidi. In questo modo l'immagine che si compone assomiglia ad un mosaico che fornisce una percezione nitida dell'ambiente circostante. Nella visione per sovrapposizione, gli ommatidi non sono del tutto isolati dalle cellule pigmentate e quindi i rabinieri percepiscono la luce anche dalle lenti degli ommatidi contigui. In questo caso la visione che si ottiene è sufficientemente luminosa anche in condizioni di scarsa luminosità, ma l'immagine risulta meno nitida.

Gli ocelli, in numero di 2 o 3 unità, sono situati nella regione dorsale o frontale del capo. Questi sono costituiti da una cornea, generata anch'essa da due cellule corneogene, che sovrasta un insieme di alcune decine di cellule sensoriali. Gli ocelli non formano immagini, ma reagiscono alle variazioni dell'intensità luminosa e alla luce polarizzata.

Gli stemmata, in numero variabile da 1 a 6, sono localizzati ai lati del capo negli stadi larvali degli insetti ometaboli. Dal punto di vista morfologico lo stemmata somiglia ad un singolo ommatidio di un occhio composto ed è innervato dai lobi ottici. La larva ha una visione dell'ambiente circostante limitata e l'immagine che può elaborare è molto poco dettagliata, ma è comunque in grado di distinguere i movimenti degli oggetti che la circondano.

3.7 - IL SISTEMA ENDOCRINO

Il sistema endocrino è riconducibile al complesso di strutture di tipo ghiandolare endocrino o neuroendocrino che secernono ormoni. Gli ormoni sono molecole in grado di modulare l'attività delle cellule di un organismo al fine di coordinarne il comportamento e di regolarne la crescita, lo sviluppo e le attività fisiologiche. Le sedi principali della produzione degli ormoni implicati nella regolazione di fasi critiche dello sviluppo dell'individuo, come, per esempio, lo sviluppo post-embrionale, sono riconducibili al complesso costituito dal Sistema Neuroendocrino Cerebrale, dal Sistema Cardio-aortico e dalle Ghiandole Protoraciche.

3.7.1 - IL SISTEMA NEUROENDOCRINO CEREBRALE

Il sistema neuroendocrino cerebrale è costituito da cellule neurosecretrici presenti nella zona mediana del protocerebro (Fig. 3.19 ▼). Queste cellule sono particolari neuroni i cui assoni si diffondono nei corpora cardiaca. Le cellule neurosecretrici sono in grado di produrre la maggior parte degli ormoni identificati negli insetti e in particolare l'ormone protoracicotropico, noto anche come ormone cerebrale.

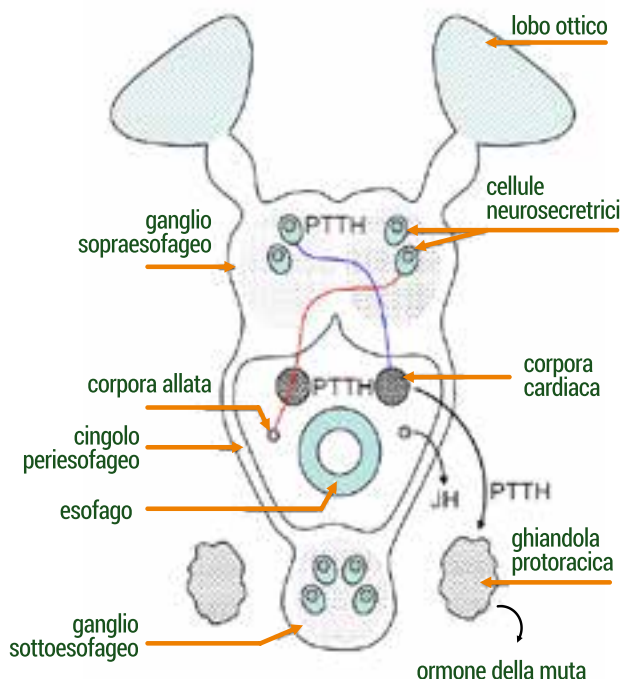


Fig. 3.19 - Rappresentazione schematica del cervello di insetto in sezione trasversale per mettere in evidenza il sistema neurale che regola lo sviluppo post-embriale. PPTH = ormone protoracicotropico; JH = neoteniina.

3.7.2 IL SISTEMA CARDIO-AORTICO

Il sistema cardio-aortico è costituito dai corpi cardiaca e dai corpi allata (Fig. 3.19 ▲). I corpi cardiaca sono due corpi neuroghiandolari localizzati ai lati dell'aorta e posteriormente al cervello, in grado di produrre specifici ormoni. Sono principalmente la sede di accumulo e di rilascio dell'ormone cerebrale prodotto dalle cellule neurosecretrici del protocerebro. I corpi allata sono due corpi neuroghiandolari addossati ai due lati dello stomodeo, anche se in alcuni casi possono risultare fusi assieme, deputati alla produzione dell'ormone giovanile o neoteniina, un estere derivato metilico del farnesolo.

3.7.3 LE GHIANDOLE PROTORACICHE

Le ghiandole protoraciche sono due ghiandole localizzate fra il capo e il torace (Fig. 3.19). In alcuni insetti, per esempio in molte specie di ditteri, le ghiandole protoraciche sono fuse assieme ai corpi cardiaca e ai corpi allata a formare una ghiandola detta ad "anello". Le ghiandole protoraciche producono l'ormone della muta o ecdisone, uno steroide appartenente alla categoria degli ecdisteroidi.

3.7.4 - GLI ORMONI NELLA REGOLAZIONE DELO SVILUPPO POST-EMBRIONALE

L'ormone cerebrale, la neoteniina e l'ecdisonone sono i principali ormoni coinvolti nella regolazione dello sviluppo post-embriale. L'ormone cerebrale viene prodotto dalle cellule neurosecretrici del protocerebro e inviato ai corpi neuroghiandolari del sistema cardio-aortico, dai quali viene liberato nell'emolinfa per giungere alle ghiandole protoraciche che vengono stimulate a produrre l'ecdisonone.

La biosintesi degli ecdisteroidi, di cui fa parte l'ecdisonone, richiede la presenza di colesterolo che gli insetti ricavano dalla dieta; gli insetti zoofagi lo ricavano direttamente dalla vittime, mentre gli insetti fitofagi lo ottengono dalla biosintesi dei fitosteroli presenti nei vegetali.

L'ecdisonone liberato nell'emolinfa innesca il fenomeno della muta. Tuttavia, l'azione degli ecdisteroidi nella regolazione dello sviluppo post-embriale è strettamente influenzata

dalla presenza e dalla concentrazione di un altro ormone, la neotenina, prodotto e rilasciato dai corpora allata. In presenza di elevati livelli di neotenina, l'ecdisione induce la muta, consentendo il passaggio dell'individuo alla successiva età, mentre, in presenza di ridotti livelli di neotenina, se non addirittura nulli per la temporanea riduzione dell'attività dei corpora allata, l'ecdisione induce profonde modifiche biologico-strutturali che portano alla metamorfosi, consentendo la formazione dello stadio adulto.

3.8 - IL SISTEMA ESOCRINO

Il sistema esocrino è rappresentato dal complesso di ghiandole uni- o pluricellulari, per lo più di derivazione epidermica, che presentano una struttura semplificata, di tipo tubolare, alveolare o a racemo, provviste di un serbatoio di raccolta e di dotti con i quali rilasciano i secreti al di fuori del corpo dell'insetto. Di seguito sono riportati i principali tipi di ghiandole esocrine.

3.8.1 - LE GHIANDOLE A FEROMONI

Le ghiandole a feromoni producono i feromoni, sostanze che favoriscono la comunicazione tra individui appartenenti alla stessa specie (cfr. paragrafo 5.2).

Le ghiandole che producono feromoni sessuali nei lepidotteri sono presenti generalmente nelle membrane intersegmentali fra il settimo e l'ottavo urite oppure tra l'ottavo e il nono.

3.8.2 - LE GHIANDOLE CERIPARE

Le ghiandole ceripare producono la cera, una sostanza formata da composti organici saturi che ne determinano la stabilità chimica; ad esempio, la cera d'api è composta da idrocarburi, acidi grassi ed esteri.

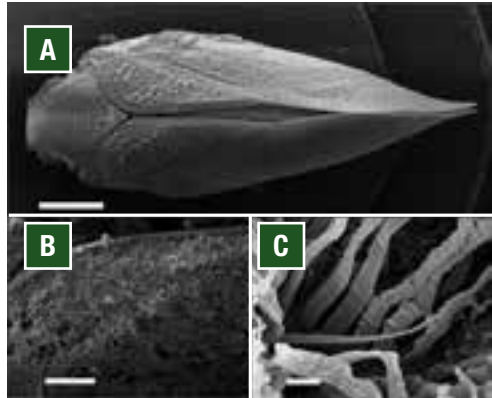


Fig. 3.20 - Micrografia elettronica di adulto di *Metcalfa pruinosa*. (A) adulto fotografato dorsalmente (barra = 1 mm). (B) dettaglio dell'ala anteriore parzialmente ricoperta di cera (barra = 200 µm). (C) Particolare dei filamenti di cera che fuoriescono dagli sbocchi delle ghiandole ceripare (barra = 10 µm).

Le cere possono presentarsi in forma filiforme, polverulenta, laminare, scagliosa o liquida. Le cere sono secrete dagli insetti per svolgere diverse funzioni, ad esempio, protettiva nei confronti di fattori biotici e abiotici, come le polveri cerose di alcune specie di rincoti omotteri (Fig. 3.20 ▲), oppure di materiale di costruzione, come le cere scagliose prodotte dalle api per la costruzione delle celle dei favi.

3.8.3 - LE GHIANDOLE LACCIPARE

Le ghiandole laccipare producono la lacca, una miscela di resine, cera e pigmenti. Le ghiandole laccipare sono presenti specificamente in alcune specie di rincoti coccidi, che la producono, anche in quantità copiosa, a scopo protettivo. Il secreto prodotto da una cocciniglia esotica, la cocciniglia della lacca, *Kerria lacca* (Fig. 3.21 ▼), trova impiego industriale per la produzione della gomma-

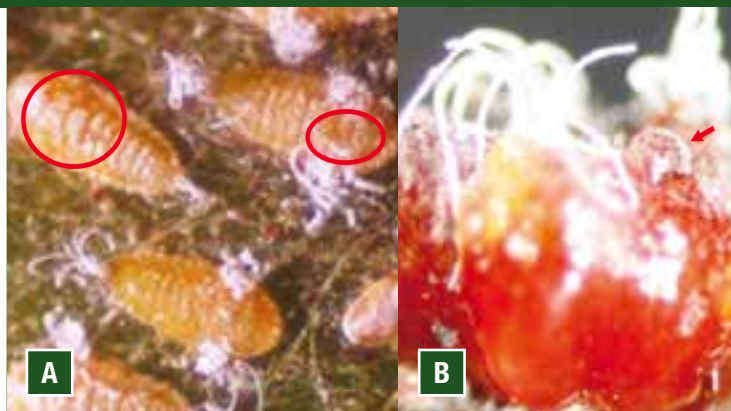


Fig. 3.21 - Foto di cocciniglia della lacca, *Kerria lacca*. Neanidi di 1^a età in cui è visibile l'emissione della lacca evidenziata con cerchi rossi (A). Femmina adulta in cui è visibile l'emissione della lacca sotto forma di gocce evidenziata con la freccia rossa (B).

lacca, uno dei principali costituenti della ceralacca di pregio.

3.8.4 - LE GHIANDOLE SERICIPARE

Le ghiandole sericipare emettono la seta, una fibra costituita essenzialmente da due proteine, la fibroina e la sericina. Le ghiandole sericipare possono essere localizzate in varie parti del corpo e la seta è prodotta per diversi scopi, come la costruzione di ricoveri, di scudetti di rivestimento a protezione del corpo, e di ooteche. Tipiche ghiandole sericipare sono le ghiandole labiali presenti nelle larve delle specie di lepidotteri che tessono il bozzolo. Tra queste meritano particolare attenzione le larve del baco da seta, *Bombyx mori* (Fig. 3.22 ►), che sono utilizzate per la produzione industriale della seta. Alcune specie di coleotteri e neurotteri secernono la seta dai tubi Malpighiani.

3.8.5 - LE GHIANDOLE SALIVARI

Le ghiandole salivari emettono la saliva in cui sono presenti enzimi digestivi. Come ricordato nella descrizione dell'apparato digerente (cfr. paragrafo 3.4), le ghiandole salivari labiali sono in numero di due, localizzate nel torace, e si presentano in forma tubulare o racemosa. Ciascuna ghiandola presenta un proprio dotto che si riunisce con l'altro a formare un dotto unico che sbocca

alla base dell'ipofaringe. Nei fitomizi, il secreto delle ghiandole salivari è rilasciato nei tessuti vegetali della pianta ospite, con il risultato di una degradazione enzimatica dei componenti delle cellule vegetali che facilita l'estrazione dei nutrienti e causa i tipici danni da insetto con apparato boccale pungente succhiante (Fig. 2.21A).

3.8.6 - LE GHIANDOLE DELLA MUTA

Le ghiandole della muta producono il liquido esuviale che durante il fenomeno della muta lubrifica lo scivolamento della cuticola neo formata dall'esuvia.

3.9 IL SISTEMA RIPRODUTTORE

Negli insetti la riproduzione è di tipo sessuata. Il sistema riproduttore maschile e quello femminile possono presentare notevoli variazioni nei differenti taxa che riguardano, per esempio, sia la forma delle gonadi e delle ghiandole accessorie, che la consistenza numerica degli ovaroli o dei testicoliti. È comunque possibile identificare una tipologia generale dell'apparato riproduttore, sia maschile che femminile, che prevede la presenza di due gonadi, due gonodotti pari, un gonodotto impari, ghiandole accessorie e, in quello femminile, organi annessi. In entrambi i sessi, le gonadi sono

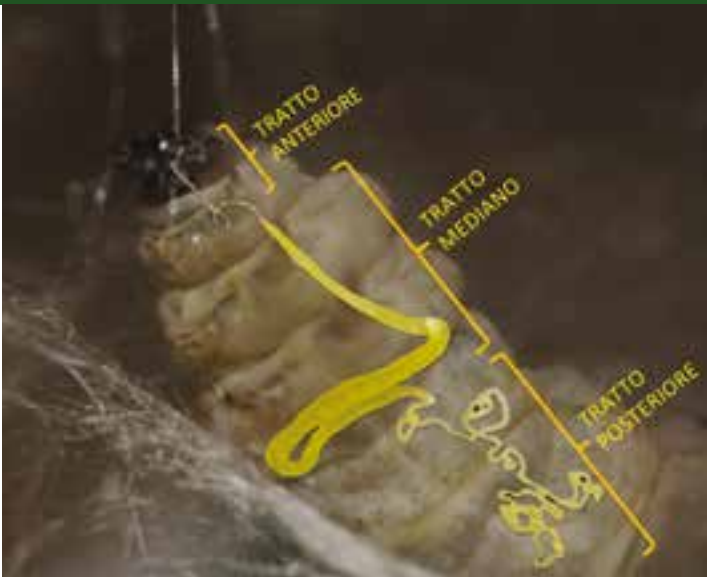


Fig. 3.22 - Larva matura di *Bombyx mori* nell'atto di secernere il filo sericeo su cui è stata sovrapposta una foto di ghiandola labiale per evidenziarne lo sviluppo lungo il corpo della larva.

di origine mesodermica, mentre i gonodotti e gli organi genitali esterni sono di origine ectodermica.

3.9.1 - IL SISTEMA RIPRODUTTORE MASCHILE

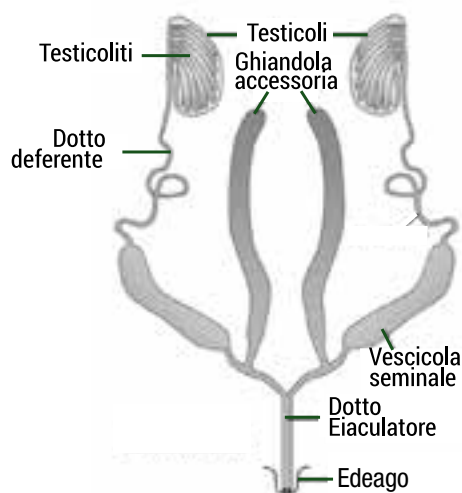
Il sistema riproduttore maschile è composto da due testicoli, che nei lepidotteri si fondono per formare un singolo organo, due canali deferenti, che continuano con le vescicole seminali, e un dotto eiaculatorio mediano a cui è associato un complesso di ghiandole accessorie (Fig. 3.23 ▼). I testicoli sono localizzati normalmente al di sotto del canale alimentare. Ciascun testicolo è formato da un numero variabile di elementi tubulari, detti testicoliti o follicoli testicolari, che sono tenuti insieme da una guaina di tessuto connettivo.

Lungo i testicoliti si svolge la spermatogenesi in accordo con le diverse aree di sviluppo che, dalla zona distale a quella prossimale, sono: il germario, dove le cellule germinali si dividono per produrre gli spermatogoni; la zona di crescita, dove gli spermatogoni si dividono in spermatociti; la zona di maturazione, dove gli spermatociti, attraverso due divisioni

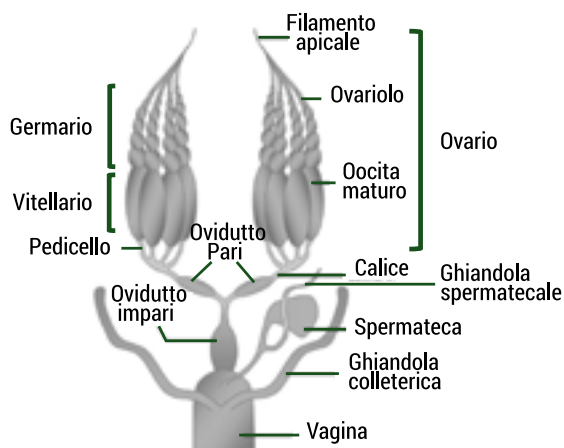
meiotiche, si trasformano in spermatidi; la zona di trasformazione, nella quale si completa la spermatogenesi con la trasformazione degli spermatidi in spermatozoi. Ciascun testicolo è seguito dal canale deferente che, nella parte prossimale, può presentare un ingrossamento detto vescicola seminale. I canali deferenti si riuniscono nel dotto eiaculatorio impari che prosegue all'esterno nell'armatura genitale maschile. Le ghiandole accessorie producono secreti che favoriscono la funzionalità degli spermatozoi, ad esempio fornendo loro nutrimento durante il trasferimento alla femmina, ma che possono svolgere anche funzione feromonale nei confronti delle femmine, in quanto, trasferiti in esse durante l'accoppiamento, le inibiscono ad accettare altri maschi.

3.9.2 - IL SISTEMA RIPRODUTTORE FEMMINILE

Il sistema riproduttore femminile è costituito da due ovari, due ovidotti laterali, un ovidotto comune, una borsa copulatrice, ghiandole accessorie e da un organo annesso, la spermateca (Fig. 3.24 ▼). Gli ovari sono costituiti da un numero variabile di elementi singoli, detti ovaroli, che sono tenuti assieme dal filamento apicale. Negli ovaroli si svolge



▲ **Fig. 3.23** - Rappresentazione schematica del sistema riproduttore maschile.



▲ **Fig. 3.24** - Rappresentazione schematica del sistema riproduttore femminile.

l'oogenesi, durante la quale le cellule germinali, oociti, matureranno a formare le cellule uovo. In ciascun ovariolo è possibile distinguere un germario, che è la zona in posizione distale che contiene le cellule nutrici e gli oogoni, i quali daranno origine agli oociti, e un vitellario, che è la zona, in porzione centrale, di accrescimento e maturazione, lungo la quale gli oociti si arricchiscono di nutrienti attraverso il processo di vitellogenesi. In funzione di come avviene il processo di vitellogenesi, si distinguono tre principali tipi di ovariolo: ovariolo panoistico, se l'oocita riceve i nutrienti dall'emolinfa tramite le cellule follicolari della parete dell'ovariolo; ovariolo meroistico acrotrofico, se l'oocita riceve i nutrienti da cellule nutrici (trofociti), confinate nel germario e collegate agli oociti tramite prolungamenti citoplasmatici; ovariolo meroistico politrofico, se ogni oocita è corredato da un certo numero di trofociti con cui si alterna lungo l'ovariolo (Fig. 3.25 ►).

Le uova mature di ciascun ovariolo convergono verso il calice e proseguono lungo l'ovidotto

laterale, per giungere nell'ovidotto impari che si estende nella borsa copulatrice e prosegue all'esterno con l'armatura genitale femminile (Fig. 3.24). A circa metà dell'ovidotto impari sbocca la spermateca, una struttura che ha la funzione di accogliere e conservare anche per lunghi periodi gli spermatozoi, anche grazie ai secreti con funzione trofica prodotti dalla ghiandola spermatecale. Le ghiandole accessorie associate al sistema riproduttore femminile producono secreti di varia natura che coadiuvano l'ovideposizione; tra queste si ricordano le ghiandole colleteriche, il cui secreto si raccoglie alla base dell'uovo dopo l'ovideposizione e, ossidandosi al contatto con l'aria, forma uno strato sottile e compatto che agisce da collante dell'uovo al substrato.

3.10 - RIPRODUZIONE E SVILUPPO

Il modello riproduttivo più comune negli insetti prevede l'accoppiamento o copula fra individui adulti a sessi distinti.

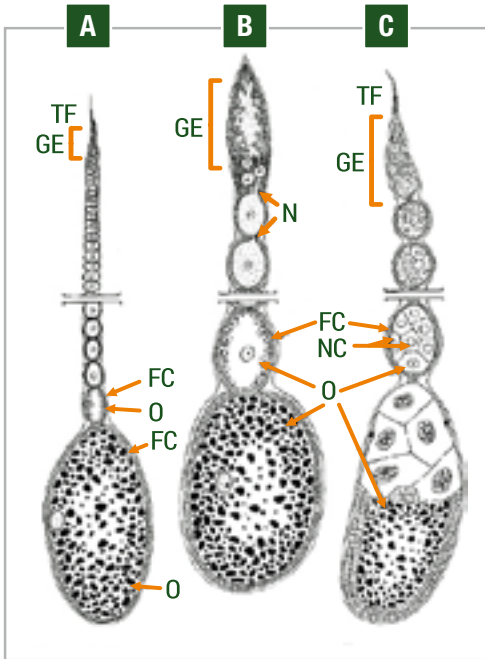


Fig. 3.25 - Schema dei tre tipi principali di ovario: A) tipo panoistico; B) tipo acrotrofico; C) tipo politrofico.

GE: germario; TF: filamento apicale; FC: cellule follicolari; NC: cellule nutrici; N: prolungamento citoplasmatico; O: oociti.

L'accoppiamento è normalmente preceduto dalla fase di localizzazione del partner mediante segnali di natura chimica, che possono essere percepiti anche a lunga distanza, a cui segue la fase di corteggiamento a distanza ravvicinata mediata da stimoli visivi, tattili, sonori e chimici. Durante l'accoppiamento, il maschio inserisce l'organo riproduttore nella

vagina o nella borsa copulatrice in cui riversa gli spermatozoi (fase di inseminazione). La durata della copula è estremamente variabile in funzione della specie, da qualche secondo ad alcuni giorni; nei casi di accoppiamento prolungato si ritiene che gli spermatozoi siano trasferiti a intervalli di tempo. Gli spermatozoi possono essere conservati nella spermateca, se presente, oppure raggiungere direttamente gli ovari per la fase di fecondazione. Con la copula, il maschio può trasferire alla femmina anche i secreti delle ghiandole accessorie; questi possono successivamente inibire la femmina ad accogliere altri maschi (feromoni antiafrodisiaci) e/o stimolarla all'ovideposizione.

In genere, le femmine depongono uova fecondate, da cui, dopo una fase di incubazione più o meno prolungata, fuoriescono i nuovi individui (Fig. 3.26 ▼).

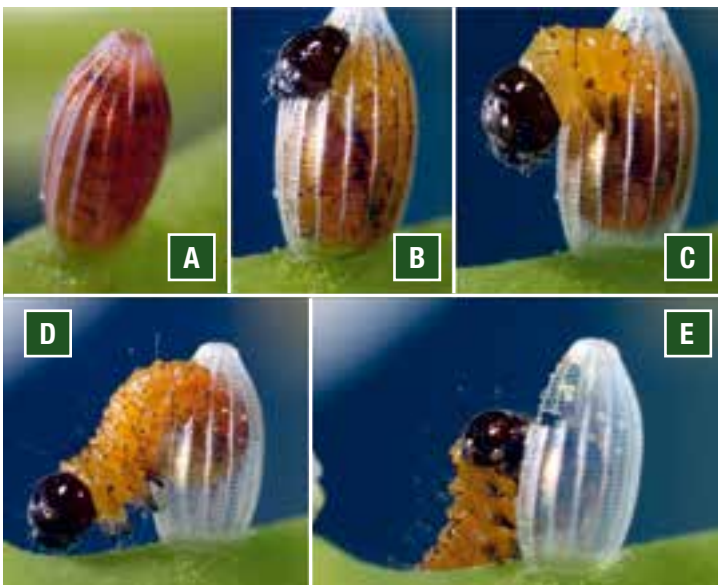


Fig. 3.26 - Uovo di lepidottero pieride in fase avanzata di sviluppo embrionale (A), larva neoformata che rompe il corion (B, C e D), larva che si nutre del corion dopo lo sgusciamiento (E).

Oltre al modello di riproduzione per Anfignonia, gli insetti possono presentare altre forme di riproduzione sessuale che sono di seguito descritte.

La Partenogenesi, in cui le uova danno origine a nuovi individui senza essere state fecondate, è un modello riproduttivo che richiede il solo gamete femminile ed è comune in molti ordini. Si distingue in obbligatoria, quando i maschi mancano, sono rarissimi o non sono funzionali, e facoltativa, quando coesiste con la normale riproduzione anfignonica. Un esempio di partenogenesi facoltativa è presente in molti imenotteri che si riproducono per aploidiploidia, in quanto la progenie si ottiene sia da uova non fecondate, da cui si origineranno maschi aploidi, che da uova fecondate, da cui si origineranno femmine diploidi, comprese le femmine sterili od operaie delle specie sociali. Infine, si può osservare la partenogenesi ciclica quando una o più generazioni partenogenetiche si alternano con una generazione anfignonica. In alcuni afidi (Fig. 3.27 ►) e nei cinipidi galligeni la partenogenesi è estiva per favorire una rapida riproduzione in condizioni favorevoli, a cui succede la riproduzione anfignonica per recuperare variabilità genetica. Un particolare tipo di partenogenesi è quella indotta da *Wolbachia*, un genere di batteri Gram-negativi, non sporigeni, parassiti intracellulari obbligati, in grado di infettare molte specie di insetti.

La Poliembrionia è la produzione di due o, più comunemente, molti embrioni da un solo uovo, che può essere stato fecondato oppure può svilupparsi per partenogenesi. Per esempio, nell'imenottero parassitoide *Copidosoma* sp. da un solo uovo si possono formare fino a 3.000 embrioni.

Normalmente le uova completano lo sviluppo embrionale fuori dal corpo della genitrice: in questo caso si parla di riproduzione ovipara,

ma in alcune specie lo sviluppo embrionale viene completato all'interno del corpo della madre, che perciò partorisce giovani larve (riproduzione vivipara). Infine, si conoscono forme di riproduzione che sono in grado di abbreviare il ciclo di sviluppo dell'insetto.

La Pedogenesi, tipica dei ditteri cecidomidi, comporta che nel corpo di larve genitrici si sviluppino uova non fecondate che danno origine a larve figlie, le quali possono ripetere questo ciclo o dare origine ad adulti di sesso maschile o femminile.

La Neotenia, tipica delle femmine di omotteri coccoidei, determina lo sviluppo delle capacità riproduttive in forme giovanili che non acquisiranno i caratteri tipici dell'adulto, ma che sviluppano le gonadi così da produrre progenie.

3.10.1 - OVIDEPOSIZIONE

L'inizio e la fine di un evento riproduttivo in una femmina di insetto è fortemente influenzato dai fattori ambientali, come temperatura, umidità, fotoperiodo, e dalla disponibilità di alimenti e di luoghi idonei all'ovideposizione.

La selezione del luogo di deposizione delle uova è una fase critica del processo di ovideposizione; infatti, nella maggior parte degli insetti, dopo l'ovideposizione i genitori non mettono in atto cure parentali, pertanto vi è la necessità di scegliere ambienti in grado di garantire la massima sopravvivenza della progenie.

Per esempio, in alcune specie l'ovideposizione avviene sulla pagina inferiore delle foglie, in questo modo le uova e le forme giovanili che da esse fuoriescono risultano protette dagli agenti abiotici. La deposizione delle uova può seguire modalità differenti (Fig. 3.28 ▼). Per esempio, le uova possono essere deposte isolate, in gruppo (ovatura) o racchiuse in un involucreto secreto

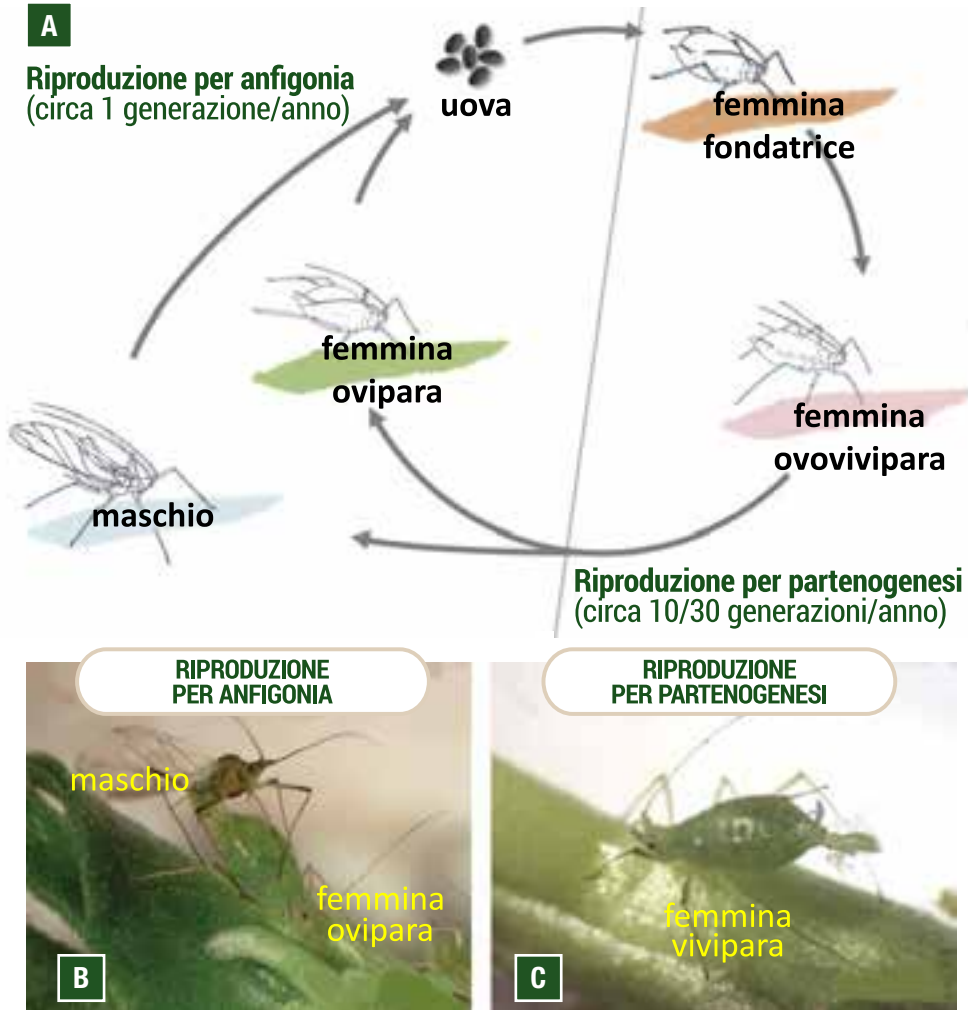


Fig. 3.27 - Rappresentazione schematica di riproduzione per partenogenesi ciclica di afide (A). Femmina ovipara in fase di accoppiamento (B). Femmina vivipara (C).

da apposite ghiandole (ooteca). Le ovature inoltre possono essere esposte o protette da squame, peli, secreti, escrementi. Infine, le uova possono essere deposte all'esterno, sul substrato, o all'interno di tessuti vegetali o animali.

3.10.2 - SVILUPPO EMBRIONALE

Lo sviluppo embrionale è il periodo che intercorre tra la fecondazione e lo sgusciamiento dell'individuo neoformato. L'uovo

negli insetti è tipicamente formato da un guscio esterno, detto corion, secreto dall'epitelio follicolare. Il corion si presenta in genere bistratificato. Lo strato più esterno, detto esocorion, può essere liscio o, più frequentemente, presentare varie sculture e processi. Lo strato più interno, detto endocorion, è l'elemento strutturale più rilevante e permette gli scambi gassosi con l'esterno. È formato da uno strato interno, sottile e poroso, collegato mediante colonne allo stra-

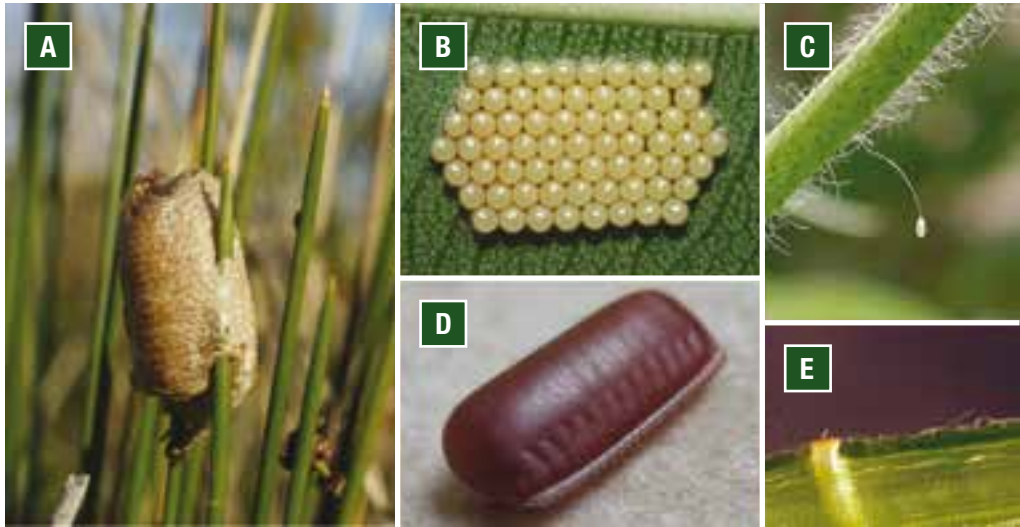


Fig. 3.28 - Esempi di uova deposte singolarmente o in gruppo. Uova racchiuse in ooteche: ooteca di mantide (A) e di blatta (D). Uova deposte in gruppi a formare ovature: ovatura di eterottero pentatomide (B). Uova parzialmente inserite nel tessuto vegetale: uovo di eterottero ligeide (E). Uova peduncolate: uovo di neurottero crisopide (C).

to esterno, più spesso dove sono presenti cavità che comunicano con l'esterno attraverso gli aeropili (vedi di seguito); alla base è presente uno strato cereo molto sottile che riduce la perdita d'acqua.

Al di sotto del corion si trova la membrana vitellina prodotta dalla cellula uovo, una struttura rigida in grado di mantenere la forma dell'uovo anche dopo la rimozione del corion. Al polo anteriore dell'uovo si trovano alcuni pori attraverso i quali penetrano gli spermatozoi (micropili), o avvengono gli scambi gassosi con l'esterno senza che vi sia perdita d'acqua per evaporazione (aeropili). In alcuni insetti i micropili sono anche le aperture attraverso cui l'ossigeno si diffonde nell'uovo (Fig. 3.29 ►).

Infine, il corion presenta una zona del guscio meno resistente, detta opercolo, una struttura piana che si trova all'estremità anteriore

dell'uovo, la quale favorisce la fuoriuscita della larva al termine dell'embriogenesi.

Le uova degli insetti sono centrolecittiche, cioè il tuorlo o vitello, che in genere è abbondante, occupa la parte centrale ed è circondato da uno strato sottile periferico di citoplasma, il periplasma. Ci sono anche casi di uova in cui il tuorlo è ridotto (uova oligolecittiche), o assente (alecittiche).

La fecondazione dell'uovo è seguita da una divisione ripetuta del nucleo zigotico. Le cellule derivate dall'attività mitotica, dette blastomeri, si dispongono all'esterno a formare uno strato plasmodiale che avvolge il vitello, detto blastoderma, mentre altri nuclei di divisione, circondati dal citoplasma adiacente, formano le cellule vitelline. La differenziazione dell'embrione ha luogo in prossimità del polo micropilare, all'inizio della gastrulazione: in questa zona, le cellule del blastoderma diven-

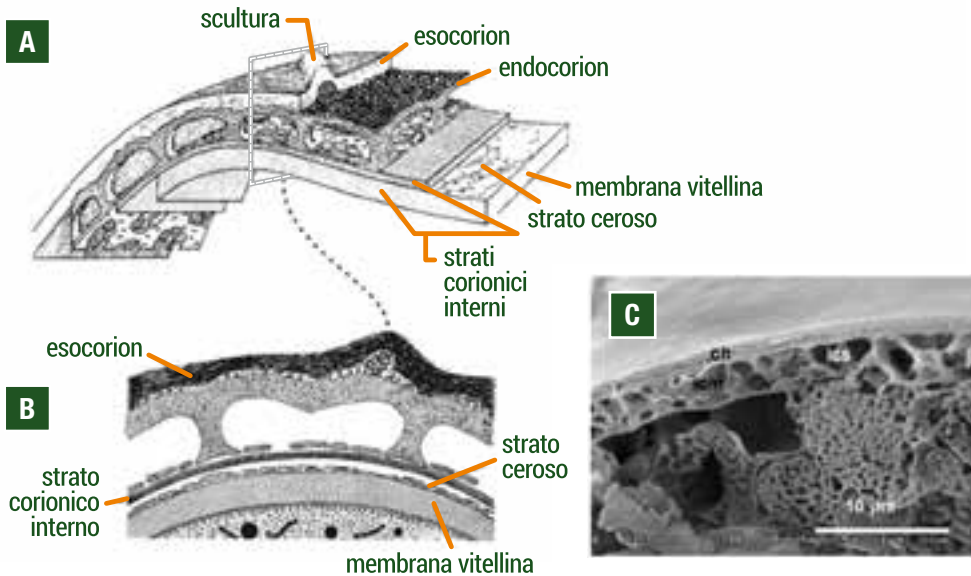


Fig. 3.29 - Foto e rappresentazione schematica della struttura del guscio dell'uovo di *Drosophila melanogaster*. Ricostruzione tridimensionale (A) e sezione trasversale bidimensionale (B); micrografia elettronica in sezione trasversale (C). ch = corion, ics = strato corionico interno, icm = strato corionico esterno.

tano più spesse e differenziano la stria germinativa dalla quale, con il procedere dello sviluppo, si originano tre strati: ectoderma, mesoderma ed endoderma. Da questi derivano i diversi organi e tessuti. In dettaglio, dall'ectoderma si originano l'esoscheletro, l'endoscheletro, il sistema nervoso, lo stomodeo, il proctodeo, le trachee, i condotti genitali e i tubi malpighiani. Dal mesoderma si originano il sistema muscolare, l'apparato circolatorio e la parte interna dell'apparato riproduttore. Infine dall'endoderma si originano il mesenteron nonché, in alcune specie, i tubi malpighiani.

3.10.3 - SVILUPPO POST-EMBRIONALE

Lo sviluppo post-embrionale è il periodo che intercorre dallo sgusciamento dall'uovo allo

sfarfallamento dell'adulto. Lo sgusciamento dall'uovo avviene a conclusione dello sviluppo embrionale. L'individuo neoformato si apre un varco attraverso il corion, che può essere fatto senza modalità prefissate o anche lungo linee predeterminate di minore resistenza nella zona dell'opercolo. Negli eterotteri è comune la presenza di una struttura sclerotizzata della cuticola embrionale, denominata *ruptor ovi*, che aiuta l'insetto a sollevare l'opercolo e che subito dopo viene abbandonata. In altri ordini, l'individuo neoformato rompe il corion con l'ausilio delle mandibole e digerendone una parte per via enzimatica (Fig. 3.26).

Dopo lo sgusciamento, inizia una fase di accrescimento che comporta progressive modifiche anatomiche, più o meno accentuate, fino allo sfarfallamento della forma adulta. In questa fase, l'accrescimento in peso, accre-

scimento continuo o ponderale, è intervallato da un accrescimento di tipo discontinuo, in quanto l'insetto, a causa della presenza dell'esoscheletro, deve periodicamente abbandonare la vecchia cuticola e formarne una nuova. Questo processo estremamente complesso prende il nome di muta. Il periodo di vita che intercorre fra due mute viene definito età o stadio, a seconda dei casi.

3.10.4 - MUTA

Il processo della muta è un fenomeno complesso che ha inizio con l'apolisi, la riattivazione delle cellule epidermiche, che determina il distacco della cuticola, e si conclude con l'ecdisi, l'abbandono della vecchia cuticola, detta esuvia o spoglia, da parte dell'individuo che ha completato la formazione della nuova (Fig. 3.30 ▼). Questo intervallo di tempo è detto fase farata. Come detto, la fase dell'apolisi inizia con la riattivazione delle cellule dell'epidermide che, attraverso la mitosi, aumentano in numero, determinando il distacco dalla cuticola. Successivamente, nello spazio ecdisiale, posto fra la vecchia e la nuova cuticola in formazione, viene secreto un liquido esuviale che contiene enzimi chitinolitici e proteolitici in grado di digerire la chitina e la frazione pro-

teica non tannizzata dell'endocuticola. Quindi inizia la sintesi dei nuovi strati cuticolari da parte delle cellule epidermiche, anche grazie al materiale recuperato dalla parziale digestione della vecchia cuticola (Fig. 3.30).

La formazione degli strati cuticolari inizia con la sintesi dello strato più esterno e sottile dell'epicuticola, a cui segue lo strato interno dell'epicuticola e, infine, lo spesso strato della procuticola. Completata la formazione della nuova cuticola, l'individuo si libera della parte di cuticola non digerita, l'esuvia. In quest'ultima fase, il vecchio rivestimento è rotto lungo linee di fragilità predeterminate, come la linea di rottura ecdisiale del capo e una linea dorsale mediana nel torace, dopodiché l'insetto se ne libera faticosamente e gradualmente, attraverso contrazioni muscolari e aumenti di turgore. Per agevolare l'operazione, alcune specie durante la muta producono liquidi oleosi lubrificanti secreti dalla ghiandole della muta (cfr. paragrafo 3.8.5), altre si sospendono a testa in giù per trovare aiuto nella forza di gravità. Insieme all'esuvia vengono perduti i rivestimenti interni delle trachee, dell'intestino anteriore e di quello posteriore. Dopo l'ecdisi, la cuticola neoformata si presenta morbida,

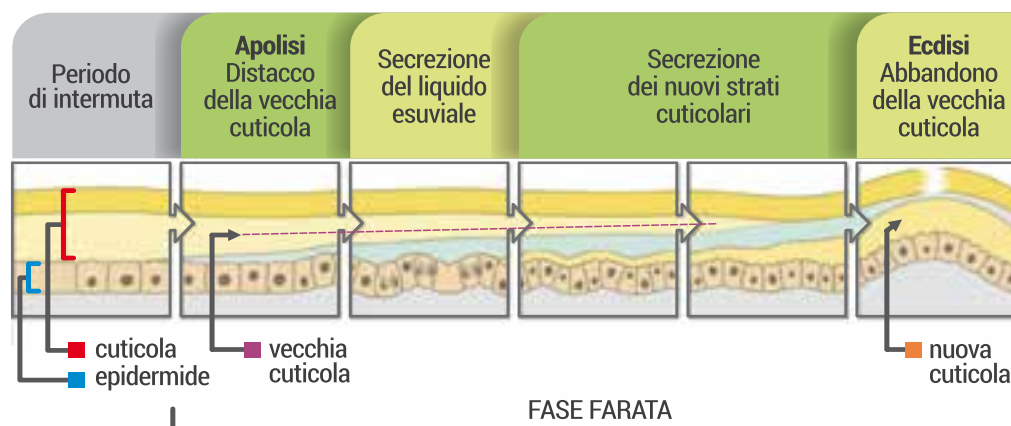


Fig. 3.30 - Schema del processo di sintesi della nuova cuticola e abbandono della vecchia durante il processo di muta.

flessibile e poco pigmentata, in quanto non ancora tannizzata e sclerificata. In breve tempo l'ingresso di aria nel sistema tracheale e nei sacchi aerei e l'aumento della pressione dell'emolinfia attraverso le contrazioni muscolari determinano l'espansione della superficie corporea; contemporaneamente, l'esposizione all'aria avvia i fenomeni di sclerotizzazione e melanizzazione che conferiranno all'individuo la forma e le colorazioni definitive.

3.10.5 - METAMORFOSI

Con il termine metamorfosi si intendono le trasformazioni anatomiche e fisiologiche che gli insetti affrontano con un susseguirsi di mute fino a raggiungere la forma adulta, detta immagine. Durante questo processo l'insetto va incontro a cambiamenti che favoriscono l'accrescimento ponderale dell'individuo e che comportano la perdita di strutture tipicamente giovanili e la differenziazione di organi tipici della raggiunta maturità.

Negli insetti Apterigoti, che costituiscono una sottoclasse di piccoli insetti caratterizzati dall'assenza di ali, la metamorfosi è detta ametabolia, poiché lo sviluppo postembrionale avviene attraverso una serie di mute che comportano il solo accrescimento dell'individuo, in quanto gli stadi giovanili (neanidi) differiscono dagli adulti solo per l'aspetto dimensionale. Gli stadi di sviluppo sono: uovo-neanide (di diverse età)-adulto.

Negli insetti Pterigoti, vasta sottoclasse che comprende tutte le forme provviste di ali, la metamorfosi avviene secondo due modelli principali (Fig. 3.31 ►).

Negli insetti Eopterigoti, in cui le ali si formano gradualmente negli stadi giovanili a partire da abbozzi esterni, la metamorfosi è detta eterometabolia o metamorfosi incompleta, in quanto, durante lo sviluppo embrionale, gli stadi giovanili sono molto simili all'adulto e le modifiche a cui vanno incontro sono poco vistose. Le ali compaiono come rudimenti esterni nello stadio di ninfa di 1ª età, e aumentano di dimensione e di complessità nell'età successiva. Le gonadi presenti come abbozzi cellulari nella neanide appena schiusa si differenziano gradualmente, sviluppandosi progressivamente. Il numero di segmenti delle antenne, dei tarsi e dei cerci può aumentare con le mute successive e gli occhi composti crescono con la differenziazione di ommatidi aggiuntivi. Si possono osservare anche cambiamenti nel colore. Gli stadi sono: uovo-neanide (di diverse età) -ninfa (di diverse età) -adulto (Tab. 3.1 ▼).

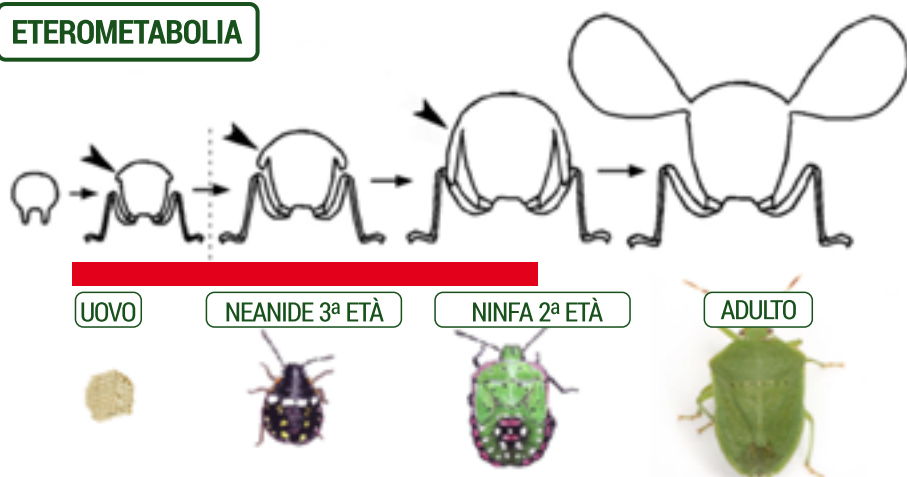
Lo stadio di ninfa si distingue da quello di neanide per la presenza degli abbozzi alari. Questo tipo di metamorfosi può essere ulteriormente distinta in: paurometabolia, se le forme giovanili e l'adulto vivono nello stesso ambiente, come nel caso degli ortotteri e dei

PRESENZA/ASSENZA DELLE ALI	FORMAZIONE INTERNA/ESTERNA DELLE ALI	TIPO DI METAMORFOSI	STADI DI SVILUPPO			
APTERIGOTI	-	Ametabolia	uovo	neanide	adulto	
PTERIGOTI	Eopterigoti	Eterometabolia	uovo	neanide	ninfa mobile	adulto
		Neometabolia	uovo	neanide	ninfa immobile	adulto
		Catametabolia	uovo	neanide		adulto
	Endopterigoti	Olometabolia	uovo	larva	pupa	adulto

TAB. 3.1

Principali tipi di metamorfosi.

ETEROMETABOLIA



OLOMETABOLIA

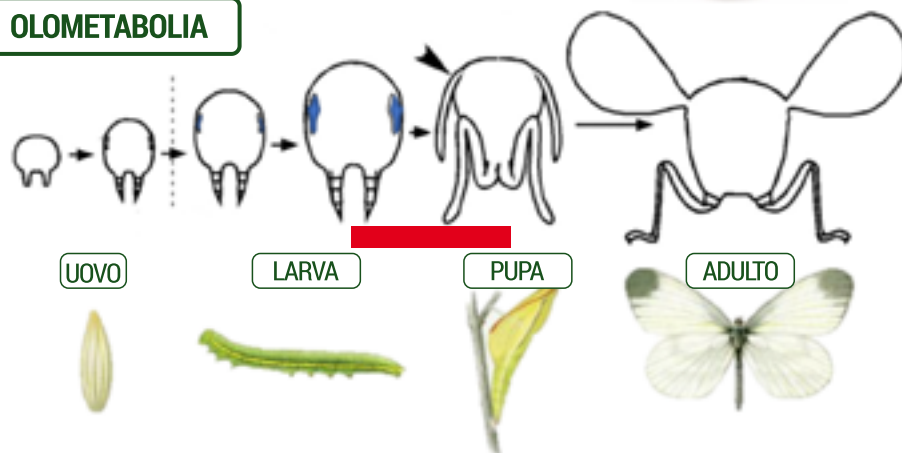


Fig. 3.31 - Confronto tra i due principali modelli di metamorfosi negli insetti pterigoti. Il grafico rappresenta la sezione trasversale di un individuo all'altezza del torace. La barra rossa rappresenta lo sviluppo delle ali; la linea tratteggiata indica la schiusura dell'uovo. In alto, l'eterometabolia degli esopteropterigoti rappresentata dagli stadi di sviluppo della comune cimice verde; le frecce nere evidenziano la formazione degli abbozzi alari. In basso, l'olometabolia degli endopteropterigoti rappresentata dagli stadi di sviluppo della cavolaia. Le zone colorate in blu nelle sezioni delle larve evidenziano la presenza dei dischi immaginali.

blattoidei; emimetabolia, se l'ambiente di vita degli stadi giovanili è diverso da quello dell'adulto, come nel caso degli odonati.

Negli insetti Endopteropterigoti, in cui le ali si formano in un preciso stadio preimmaginale, quello di pupa, da abbozzi alari interni, la metamorfosi è detta olometabolia o metamorfosi completa, in quanto le forme giovanili hanno un aspetto profondamente diverso dall'adulto.

La larva, appena fuoriesce dall'uovo, si accresce attraverso un numero di mute, passando da un'età all'altra, fino a raggiungere l'età di larva matura per poi mutare in pupa, uno stadio immobile e afago. Gli stadi sono: uovo-larva (di diverse età) -pupa-adulto (Tab. 3.1). Altri tipi di metamorfosi di interesse applicativo sono la neometabolia e la catametabolia. La neometabolia è caratteristica, per esempio,

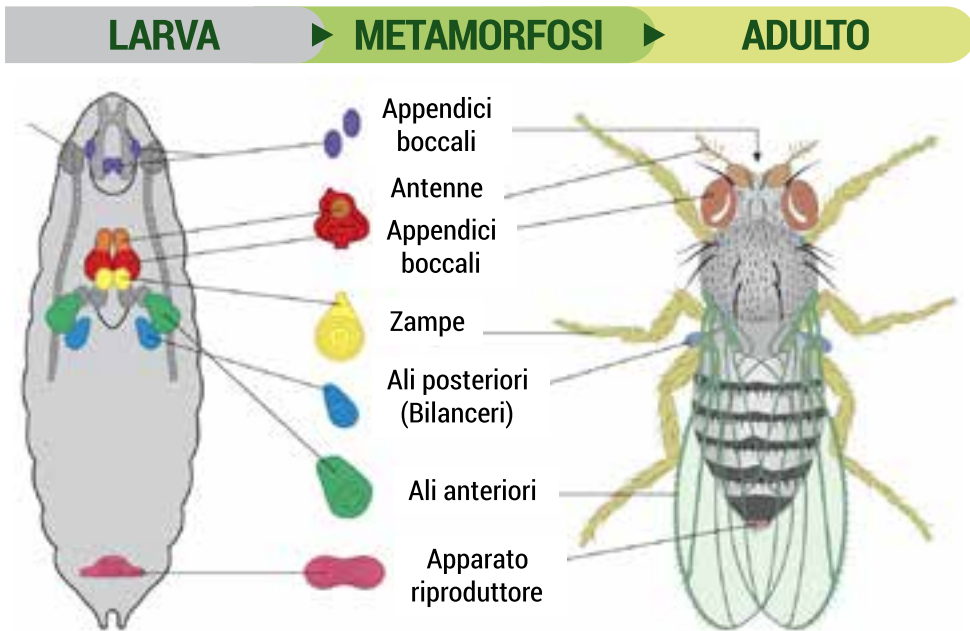


Fig. 3.32 - Rappresentazione schematica della distribuzione dei dischi immaginali in *Drosophila* e i relativi organi che si svilupperanno durante la metamorfosi per l'ottenimento dello stadio adulto.

della linea maschile degli omotteri coccidi, in cui gli stadi giovanili non differiscono molto dall'adulto ma, affinché possano trasformarsi in adulto, necessitano di un periodo di inattività e di isolamento che ricorda la fase pupale degli Endopterygota (Tab. 3.1).

La catametabolìa è un particolare modello di sviluppo postembrionale, caratteristico per esempio delle femmine di alcune specie di omotteri coccoidei, in cui la neanide di prima età è mobile, mentre dalla seconda età è immobile perché priva delle zampe: l'adulto è in grado di sviluppare gli ovari e di portare normalmente a maturazione le uova (Tab. 3.1). Come già accennato, negli insetti eterometaboli lo sviluppo delle strutture esterne e interne tipiche dello stadio adulto è graduale e diretto.

Nelle forme giovanili si assiste a pochi cambiamenti, che possono essere sommariamente ricondotti a un aumento di dimensio-

ni, alla modifica delle proporzioni e ad una limitata elaborazione strutturale. Invece, nell'olometabolìa la formazione della pupa innesca processi di lisi degli organi e dei tessuti larvali, detta istolisi, seguita da un'equivalente differenziazione di strutture adulte, detta istogenesi. Questo processo si realizza a partire da aggregati di cellule staminali detti dischi immaginali (Fig. 3.32 ▲). I dischi immaginali si presentano come corpi tondeggianti avvolti in sottili sacche epiteliali e costituiti da gruppi di cellule progenitrici che si dividono abbondantemente durante il processo di istogenesi per formare uno specifico organo (Fig. 3.32).

3.10.6 - TIPI DI LARVE

Le larve degli endopterygota presentano un'ampia varietà di forme, che tuttavia sono raggruppate in tre tipologie principali: apode, oligopode e polipode, sebbene possano esse-

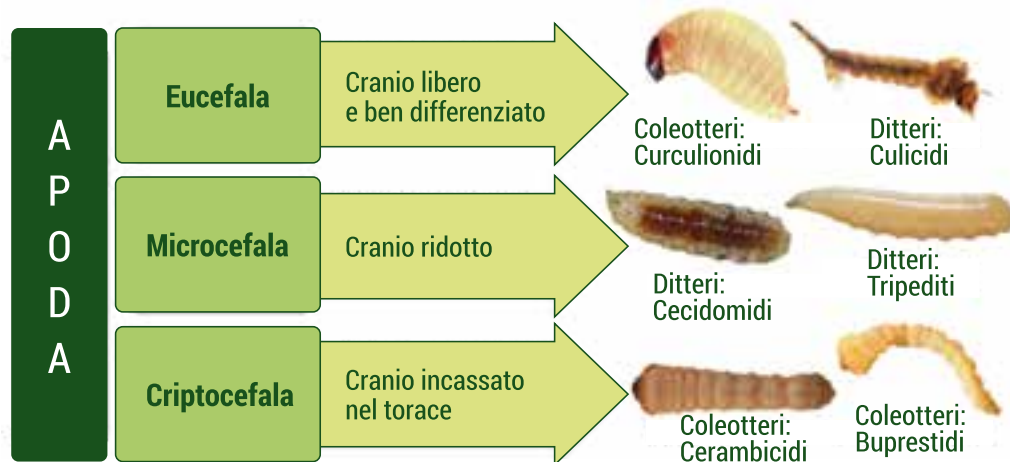


Fig. 3.33 - Caratteri morfologici per la distinzione delle larve apode, cioè prive di zampe e di altre appendici, suddivise in funzione del grado di sviluppo della capsula cefalica e della retrazione entro il torace.

re presenti forme intermedie. La larva apoda o vermiforme è priva di zampe e processi simili. La larva apoda è detta eucefala, microcefala o criptocefala, in funzione del grado di sviluppo della capsula cefalica e della sua retrazione nel torace (Fig. 3.33 ▲).

La larva eucefala presenta il cranio libero e ben sviluppato; è caratteristica, per esempio, dei coleotteri curculionidi e dei ditteri culicidi. La larva microcefala ha la capsula cefalica ridotta ed è tipica dei ditteri cecidomidi e tripetidi. Infine, la larva criptocefala ha il cranio retratto nel torace ed è tipica dei coleotteri cerambicidi e buprestidi.

La larva oligopoda è provvista di zampe toraciche, presenta il capo ben differenziato e non ha appendici addominali. La larva oligopoda può presentare diverse forme in funzione dell'aspetto generale del corpo, le più comuni delle quali sono cirtosomatica, onisciforme, campodeiforme ed elateriforme (Fig. 3.34 ►).

La larva cirtosomatica, tipica dei coleotteri scarabeidi, ha il corpo arcuato a forma di

“C”, le zampe toraciche corte, l'addome poco sclerificato con l'estremità ingrossata. La larva onisciforme, cosiddetta per la rassomiglianza con i crostacei del genere *Oniscus*, presenta il corpo appiattito e allargato nella zona mediana ed è tipica dei coleotteri silfidi. La larva campodeiforme è di solito predatrice e per questo presenta il corpo sclerificato, le zampe toraciche allungate, le appendici boccali molto sviluppate e robuste e si muove con agilità; è tipica dei coleotteri coccinellidi e dei neurotteri crisopidi. La larva elateriforme ha un corpo allungato subcilindrico con il capo infossato nel protorace, il tegumento è fortemente sclerificato; è tipica dei coleotteri elateridi.

La larva polipoda, detta anche eruciforme, è caratterizzata dalla presenza delle 3 paia di zampe toraciche e di un numero variabile di pseudozampe addominali che sono utilizzate durante la locomozione (Fig. 3.35 ▼).

Nei mecopteri le pseudozampe sono presenti dal I all'VIII urite. Negli imenotteri sinfiti le pseudozampe si ritrovano, salvo alcune eccezioni, dal II all'VIII urite e poi nel X. Infi-

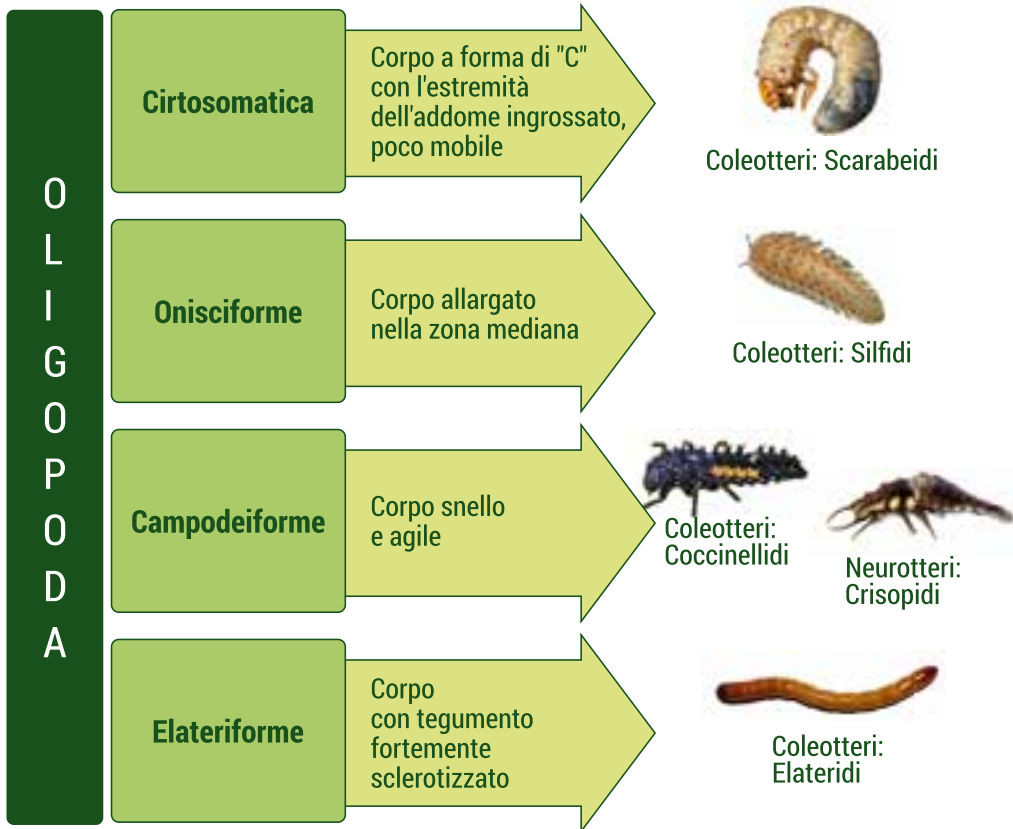


Fig. 3.34 - Caratteri morfologici per la distinzione delle larve oligopode, cioè con solo zampe toraciche.

ne, nei lepidotteri sono presenti dal III al VI urite per poi ripresentarsi nel X, con l'eccezione della famiglia dei geometridi che hanno le pseudozampe solo nel VI e nel X urite.

3.10.7 - TIPI DI PUPE

La larva degli endopterigoti, raggiunta la maturità, inizia a preparare il processo di impupamento, al termine del quale si trasformerà in adulto. In genere la pupa è uno stadio quiescente; vi sono tuttavia alcune eccezioni, come le pupe dei neurotteri, che possono essere più o meno attive, anche se la loro mobilità è da ricondurre all'attività dell'adulto neoformato in fase farata. In generale, si distinguono due tipi principali

di pupa: exarata e obtecta. La pupa exarata presenta la cuticola blandamente sclerificata con le appendici e i processi del futuro adulto liberi dal corpo (Fig. 3.36 ▼). La pupa exarata può essere dectica o adectica (Fig. 3.36). La pupa dectica è dotata di mandibole articolate, che sono usate dall'adulto in fase farata per rompere il bozzolo o la cella pupale prima dell'uscita. La pupa adectica non ha mandibole funzionali e l'insetto adulto sfarfalla utilizzando spine o altri processi particolari.

La pupa obtecta presenta la cuticola sclerificata e pigmentata, con le appendici e i processi del futuro adulto, almeno in parte,

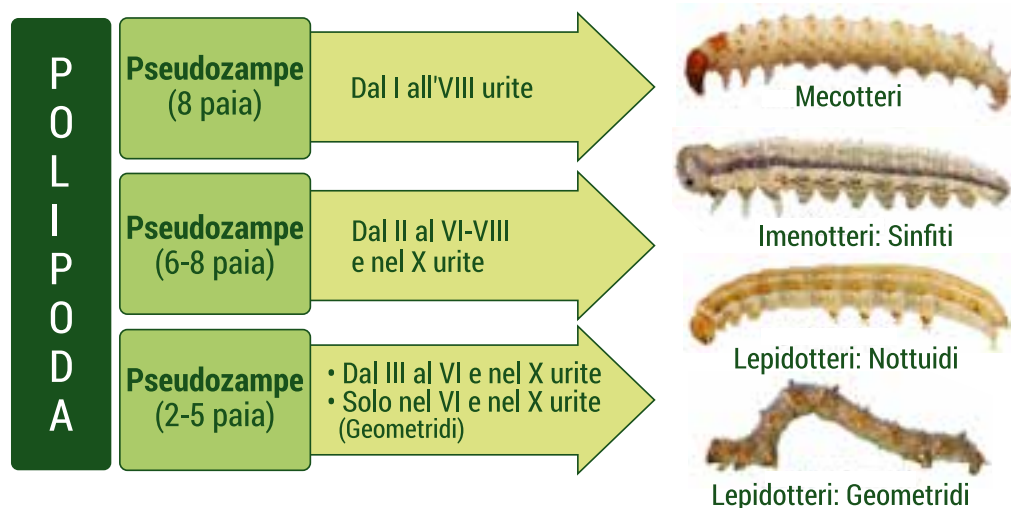


Fig. 3.35 - Caratteri morfologici per la distinzione delle larve polipode, cioè con zampe toraciche e pseudozampe addominali.

saldati alle pareti del corpo (Fig. 3.36 ►). L'apertura provocata dallo sfarfallamento è più o meno irregolare ed è dislocata, di solito, nella regione dorsale o anteriore. La pupa obtecta è tipica dei lepidotteri e prende il nome di crisalide.

Come ricordato, lo stadio di pupa è molto critico per la vita dell'insetto, in quanto non si nutre, affronta una serie complessa di trasformazioni ed è particolarmente vulnerabile, perché privo di mezzi atti alla difesa e scarsamente o per nulla mobile. Per sopperire a queste difficoltà, la larva, prima di impuparsi, può preparare strutture di protezione. In funzione del tipo di protezione si possono distinguere i seguenti tipi di pupa: anoica, emioica, evoica e coartata (Fig. 3.37 ►).

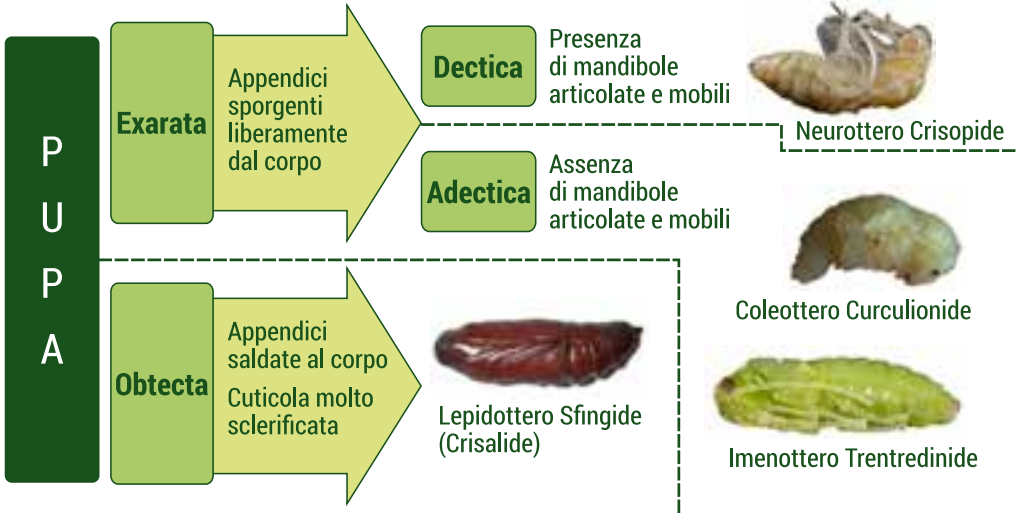
La pupa anoica non presenta protezioni particolari e rimane esposta all'ambiente. Alcune pupe sono libere, altre si fissano a supporti di varia natura per mezzo di un complesso di uncini, detto cremaster, oppure con delle cinture sericee. La pupa emioica si caratterizza per la presenza di una parziale protezione offerta dall'esuvia della

larva matura, che avvolge la parte posteriore del corpo della pupa. La pupa evoica si forma all'interno di un rivestimento protettivo, come il bozzolo, costruito con la seta secreta dalla larva matura, oppure la camera pupale, costruita dalla larva matura imbrigliando materiali di varia natura. Infine, la pupa coartata si forma all'interno dell'esuvia dell'ultima età larvale; è detta anche pupario ed è tipica dei ditteri.

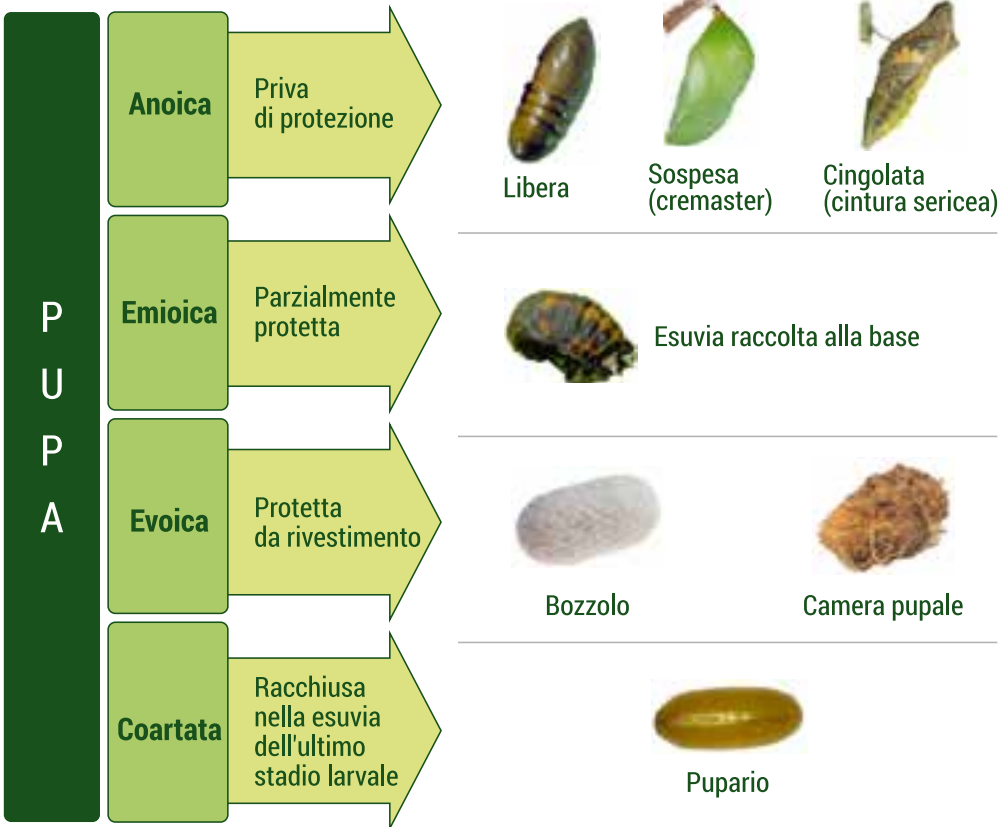
3.10.8 - ADULTO

L'ultima fase dello sviluppo dell'insetto è lo sfarfallamento ovvero la fuoriuscita dell'individuo adulto dall'involucro dell'ultimo stadio giovanile: la ninfa negli esopterigoti, la pupa negli endopterigoti.

Anche lo sfarfallamento è una fase critica per la vita dell'insetto, per la consistenza delicata del tegumento e soprattutto delle ali che, spesso, si presentano ripiegate rendendo difficile il movimento. In breve tempo, i processi di tannizzazione e di sclerificazione e il riempimento di aria delle trachee permettono all'individuo di acquisire la normale pigmen-



▲ Fig. 3.36 - Principali tipi di pupe in base alle caratteristiche morfologiche.



▲ Fig. 3.37 - Principali tipi di pupe in base ai differenti accorgimenti di protezione adottati.

tazione, la consistenza del tegumento e la distensione delle ali.

L'adulto si presenta con caratteristiche peculiari che differenziano i due sessi, non solo relative ai caratteri sessuali primari, cioè quelli connessi con le gonadi e le armature esterne collegate, ma spesso anche relative a caratteri sessuali secondari. Queste differenze danno origine al dimorfismo sessuale, che può essere funzionale o semplicemente ornamentale. Esempi di dimorfismo sessuale sono le dimensioni del corpo, generalmente le femmine sono più grosse dei maschi, soprattutto per lo sviluppo dell'addome, la differente forma di alcune appendici, come le antenne in alcuni lepidotteri o i processi del capo dei coleotteri scarabeidi, le differenti colorazioni delle livree, la presenza di organi sonori, come nei maschi dei grilli o delle cicale.

In alcuni insetti si può assistere anche alla presenza di più forme per uno dei sessi o per entrambi (polimorfismo). Ad esempio, possono essere presenti individui con ali sviluppate (macrotteri) e individui con ali ridotte (microtteri). Queste forme possono essere contemporaneamente presenti o alternarsi nel corso della stagione (polimorfismo stagionale).

Gli afidi, per esempio, hanno cicli complessi durante i quali, in funzione del clima, delle piante ospiti, della densità di popolazione, si manifestano forme attere e forme alate, femmine partenogenetiche vivipare e femmine anfigoniche ovipare. In alcune specie di ortotteri esistono forme solitarie, gregarie e di transizione (polimorfismo ambientale). Infine gli isotteri e gli imenotteri sociali – api, vespe, formiche – sono caratterizzati da polimorfismo sociale. In questi insetti si ha la contemporanea presenza di forme le cui differenze a livello morfologico e fisiologico sono così marcate da portare alla costituzione di caste – reali, operai, soldati – ciascuna delle quali svolge una specifica attività all'interno della società.

Il ciclo di sviluppo degli insetti è caratterizzato da una durata generalmente breve se confrontato con quello di altre specie animali. Infatti, a seconda delle specie, può variare da pochi giorni ad alcuni anni.

Per consuetudine, la descrizione di un ciclo di sviluppo (o generazione) si fa iniziare con lo stadio di uovo. La frequenza di generazioni annuali è detta voltinismo: una specie è detta monovoltina o univoltina se compie una sola generazione all'anno, polivoltina se compie più generazioni all'anno, come in alcune specie di afidi in grado di compiere fino a quasi 30 generazioni in un solo anno, semivoltina se richiede più anni per compiere una generazione.

Il numero di generazioni in un anno è regolato geneticamente, in quanto si è evoluto in risposta alle condizioni ambientali, e non è correlato alla lunghezza del ciclo poiché in una popolazione possono coesistere differenti stadi di sviluppo con sovrapposizione di più generazioni. Il ciclo di sviluppo di un insetto è fortemente condizionato da due principali condizioni stagionali avverse: 1) l'assenza di piante ospiti oppure la loro presenza ma non nella fase vegetativa idonea allo sviluppo dell'insetto; 2) la presenza di condizioni ambientali sfavorevoli.

In condizioni avverse gli insetti possono arrestare il proprio sviluppo (fase di diapausa). La diapausa è detta obbligatoria quando è geneticamente determinata e pertanto non richiede condizioni climatiche esterne per manifestarsi; è invece detta facoltativa se si manifesta solo a carico della generazione che attraversa un periodo sfavorevole dell'anno. In questo caso, la diapausa è indotta dalla concomitanza delle variazioni stagionali della lunghezza del giorno (fotoperiodo) e della temperatura (termoperiodo) che segnalano, per esempio, l'avvicinarsi dell'inverno ed è interrotta dalle condizioni che segnalano la fine di tale periodo. ■





II

PARTE SECONDA
MEZZI E METODI
DI CONTROLLO





4

INSETTI ED ECOSISTEMI

Unità funzionale di base nell'ecologia è rappresentata dall'ecosistema. Un ecosistema è composto dalla componente fisica, detta ecotopo, e da quella biotica, detta biocenosi, che include i vegetali, gli animali e i microorganismi. In generale, gli organismi presenti in un ecosistema sono distinti in tre categorie in funzione di come ricavano e utilizzano l'energia necessaria al loro sviluppo: produttori, consumatori e decompositori. I produttori sono gli organismi autotrofi, in grado, cioè, di produrre le sostanze organiche partendo da sostanze inorganiche, ad esempio tramite la fotosintesi clorofilliana nel caso delle piante. I consumatori includono gli organismi eterotrofi che non sono in grado di produrre sostanze organiche, ma che ottengono il nutrimento a spese di altri esseri viventi. Si distinguono in consumatori primari, gli erbivori, i quali vivono a spese

di vegetali, e consumatori secondari, i carnivori, i quali vivono a spese di animali. Infine, i decompositori sono capaci di degradare le molecole organiche complesse contenute negli organismi morti e di liberare sostanze nutritive inorganiche. La struttura alimentare o trofica di un ecosistema può essere rappresentata graficamente nella cosiddetta piramide ecologica in cui la componente biotica è collocata in vari gradini detti livelli trofici per il fatto che gli organismi che occupano un determinato livello vivono a spese di quelli che occupano il livello inferiore.

Gli insetti sono presenti negli ecosistemi terrestri occupando vari livelli trofici (Fig. 4.1 ►). Per esempio in un agroecosistema, nel 2° livello trofico, occupato dai consumatori primari, sono presenti gli insetti fitofagi e nel 3°, occupato dai consumatori secondari,

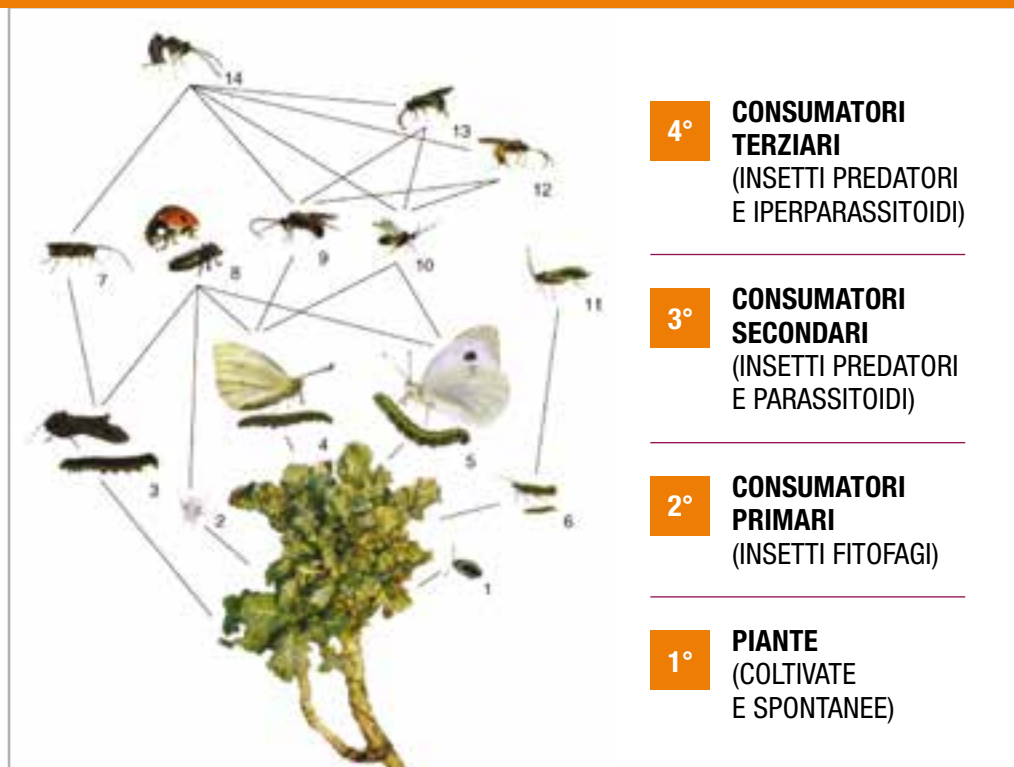


Fig. 4.1 - Rappresentazione schematica delle possibili interazioni trofiche nell'artropodofauna presente su pianta di cavolo broccolo, *Brassica oleracea*. Gli insetti contrassegnati nell'intervallo 1-6 rappresentano i consumatori primari, quelli nell'intervallo 7-11 i consumatori secondari e quelli nell'intervallo 12-14 i consumatori terziari.

gli insetti predatori e parassitoidi. Il 4° livello trofico è rappresentato da consumatori terziari, quali, per esempio, gli iperparassitoidi (cfr. 5.1.2.3).

Gli ecosistemi si autoregolano mediante meccanismi basati su equilibri dinamici che mirano alla stabilità dei rapporti quantitativi regolando il controllo demografico delle popolazioni presenti nei vari livelli. Il controllo demografico si realizza in seguito a interazioni di vario genere all'interno di un livello trofico, ad esempio allelopattie e territorialismo, o tra differenti livelli trofici. In questo caso l'azione è di tipo diretto sul livello sottostante, come l'azione svolta dagli insetti fitofagi nei confronti delle piante, e di tipo indiretto sul livello sovrastante, come quella degli insetti

fitofagi nei confronti dei loro antagonisti naturali, in quanto le variazioni di disponibilità della biomassa (piante coltivate o spontanee) modifica la quantità degli insetti fitofagi (consumatori primari) a disposizione dei parassitoidi e predatori (consumatori secondari).

4.1 - AGROECOSISTEMI

Un agroecosistema può essere definito come l'insieme degli ecosistemi, di origine antropica e/o di origine naturale, in cui vengono svolte attività agricole, selvicolturali o pastorali. Le sfide globali degli ultimi due decenni, quali il cambiamento climatico, la perdita di biodiversità, le invasioni degli agenti biotici, l'urbanizzazione, la domanda asimmetrica di cibo e la globalizzazione della produzione

4
1

alimentare, hanno determinato cambiamenti drastici delle pratiche agricole. Nei paesi industrializzati, l'intensificazione dell'agricoltura iniziata negli anni '60 è ritenuta la causa principale degli effetti negativi che stanno minando la sostenibilità dei sistemi di produzione alimentare, quali, per esempio, l'ampliamento delle estensioni dei campi coltivati, i livelli elevati di applicazione di prodotti agrochimici di sintesi per unità di superficie, l'intensiva lavorazione del terreno, la frammentazione degli habitat semi-naturali dei paesaggi agricoli, la semplificazione delle rotazioni e la diminuzione della diversità genetica delle colture. Anche se l'intensificazione dell'agricoltura ha consentito di soddisfare la crescente domanda di cibo, è ormai riconosciuto che tali cambiamenti hanno gravemente influenzato l'ambiente, la salute umana e anche gli obiettivi di produzione a lungo termine. In questo scenario, una possibile soluzione è rappresentata dall'agroecologia che può offrire alternative promettenti per la progettazione di sistemi di produzione vegetale innovativi, produttivi ed ecocompatibili. In questo capitolo sono forniti alcuni aspetti essenziali dell'agroecologia e dell'agricoltura biologica in modo che possano essere effettuati gli opportuni collegamenti con i mezzi e i metodi di controllo trattati nel volume.

4.1.1 - ELEMENTI DI AGROECOLOGIA

L'agroecologia è considerata non solo una disciplina scientifica, ma anche un movimento sociale e un sistema di gestione. Storicamente, il termine agroecologia è stato introdotto nella letteratura scientifica nel 1930 e, nel corso degli anni '80, la sua importanza ha subito un notevole sviluppo. Oggi, dal punto di vista scientifico, l'agroecologia è conside-

rata una disciplina in grado di interfacciare le conoscenze agronomiche con quelle ecologiche e con quelle economico-sociali. Due definizioni di agroecologia mettono in risalto questi legami: la prima definisce l'agroecologia "lo studio integrato dell'ecologia di tutto il sistema alimentare nelle dimensioni ecologiche, economiche e sociali"; la seconda la definisce "la scienza che applica i concetti e principi ecologici per la progettazione e gestione di sistemi alimentari sostenibili". In aggiunta a questo punto di vista scientifico, il termine è anche recentemente apparso in diversi rapporti redatti da responsabili politici a livello nazionale e internazionale, quale strumento di orientamento per la riorganizzazione dei sistemi di produzione alimentare nei diversi paesi europei basati sulla limitazione dell'uso dei prodotti fitosanitari. Nonostante l'ampia gamma delle terminologie, delle forme di utilizzo e delle possibili implicazioni sociali di alcuni principi chiave della visione scientifica dell'agroecologia, il concetto più generale è riferito all'integrazione e alla regolazione delle funzioni dell'ecosistema fornite dalle diverse componenti della biodiversità presenti nei sistemi agricoli, con l'obiettivo di diminuire l'impiego delle sostanze chimiche di sintesi e gli impatti ambientali negativi che ne derivano e, contemporaneamente, massimizzare la produttività. Questo approccio è per definizione particolarmente importante nella gestione delle popolazioni degli agenti entomologici, in quanto le conoscenze delle specie presenti, delle loro dinamiche di popolazione e delle relazioni trofiche forniscono le basi necessarie per lo sviluppo di strategie di controllo degli insetti fitofagi, basate principalmente sui servizi ecosistemici forniti dagli agenti di controllo biologico.



Fig. 4.2 - Andamento delle produzioni in regime di agricoltura biologica (Rapporto SINAB "Bio in cifre 2015).

4.1.2 - AGRICOLTURA BIOLOGICA

L'agricoltura biologica rappresenta in Italia un settore molto rilevante del comparto agroalimentare, come chiaramente dimostrano i dati di incremento della dimensione media delle aziende in biologico e della loro progressiva strutturazione, la crescita dei consumi dei prodotti biologici e il loro consolidamento nella fase produttiva. Un recente rapporto redatto dal Sistema di Informazione Nazionale sull'Agricoltura Biologica "SINAB - Bio in cifre 2015", mette in evidenza che in Italia, alla fine del 2014, la superficie coltivata con il metodo dell'agricoltura biologica era di 1.387.913 ettari (11,2% della SAU italiana), per un totale di 55.433 imprese agricole biologiche (+ 5,8% rispetto al 2013) (Fig. 4.2 ▲). Di queste, oltre il 45% si concentrava in tre regioni, Sicilia, Calabria e Puglia.

I concetti di Agricoltura Biologica e Agricoltura Biodinamica come li conosciamo oggi sono il risultato di un amalgama di idee che hanno

origine alla fine dell'Ottocento principalmente in Germania, Inghilterra e in altri paesi di lingua anglosassone, quali Australia e India. A cavallo delle due guerre mondiali, l'agricoltura basata sulla diffusione di fertilizzanti azotati, fosfatici e potassici artificiali, sull'applicazione di prodotti fitosanitari di sintesi, sull'intensiva lavorazione del terreno, sulla semplificazione delle rotazioni e sulla diminuzione della diversità genetica delle colture era caratterizzata da una profonda crisi. In alternativa, i pionieri dell'agricoltura biologica elaborarono negli anni '20 e '30 delle teorie con fondamenti scientifici, le quali cominciarono a trovare applicazione in campo negli anni '30 e '40, ma che si diffusero e si consolidarono in molte parti del mondo solo negli anni '70, in piena crisi ambientale.

Un notevole impulso a queste nuove idee venne dalla Germania. Qui, dopo la prima guerra mondiale, l'agricoltura era in profonda crisi, con riduzioni fino al 40% delle produzioni,

nonostante l'impiego massiccio di fertilizzanti minerali. Era opinione diffusa nel mondo accademico che questo scenario fosse l'inevitabile conseguenza dei modelli produttivi sopra ricordati. Contemporaneamente, tra i consumatori si andava diffondendo la percezione di un generale declino della qualità dei prodotti agricoli, tanto da favorire l'affermazione di spinte culturali orientate verso il ritorno alla natura che, nella sfera degli antroposofici, contribuirono ad avviare nel mondo agricolo un percorso spirituale e filosofico basato sugli insegnamenti di Rudolf Steiner che portò alla definizione del metodo biodinamico. Nel 1924, a Koberwitz, una località vicino a Breslavia, in Polonia, Rudolf Steiner presentò ad un vasto pubblico, per lo più formato da agricoltori antroposofici, otto conferenze intitolate *Fondamento spirituale per il rinnovamento dell'agricoltura*, che volevano rappresentare solo delle linee guida e non un vero e proprio modello operativo, ma che, in un secondo momento, costituirono i dettami dell'agricoltura biodinamica. Nei successivi anni '30 e '40, in Europa, si avviarono le prime esperienze di conduzione agricola basata sulle teorie biodinamiche e iniziarono a nascere le prime associazioni di agricoltura biodinamica. Negli anni successivi, il concetto di agricoltura biodinamica è andato sempre più delineandosi grazie al contributo di personalità quali Ehrenfried Pfeiffer, Harald Kabisch e Maria Thun. Oggi il metodo biodinamico è ufficialmente riconosciuto come metodo di coltivazione in Australia e Svizzera e i prodotti etichettati biodinamici si caratterizzano per avere, oltre alla certificazione obbligatoria ai sensi delle normative sul metodo di coltivazione biologica, il marchio internazionale *Demeter* registrato all'Organizzazione mondiale per

la proprietà intellettuale di Ginevra nel 1952 e detenuto dall'associazione privata *Demeter International*, presente in circa 80 Stati con i suoi enti di certificazione. Nell'agricoltura biodinamica, le problematiche fitosanitarie trovano soluzione principalmente mantenendo le piante in "buona salute" in modo che possano resistere meglio agli attacchi degli agenti fitopatogeni e degli insetti fitofagi. Per alcuni versi l'agricoltura biodinamica è considerata precorritrice dell'agricoltura biologica, dalla quale tuttavia si differenzia per la presenza di una forte connotazione ideologica che preclude la validazione del metodo biodinamico con metodi scientifici.

Le radici dell'agricoltura biologica che si svilupperà nei paesi a lingua anglosassone sono da ricercare in India, dove Sir Albert Howard, un botanico britannico pioniere dell'agricoltura biologica pubblicò nel 1943 un testo intitolato *An Agricultural Testament* in cui affronta le tematiche della gestione della fertilità del suolo e riporta 9 metodi di compostaggio (Fig. 4.3 ▼).

Negli stessi anni, Walter Ernest Christopher James, Barone di Northbourne, pubblicò il libro *Look to the Land: Organic versus Chemical Farming*, considerato il manifesto dell'agricoltura biologica. Lord Northbourne è anche ricordato per avere coniato il termine *organic farming* che autori moderni, come Michael Pollan (2006) and Lee Silver (2006), erroneamente attribuiscono all'americano Jerome Rodale. Successivamente, Lady Evelyn Barbara "Eve" Balfour, ispirata dalle idee di Lord Northbourne, pubblicò nel 1943 *The*



Fig. 4.3 - Il frontespizio del testo "*An Agricultural Testament*" scritto da Sir Albert Howard.

Living Soil, che rappresenta il primo studio comparativo tra metodi agricoli convenzionali e naturali, e nel 1945 promosse il primo incontro internazionale finalizzato all'istituzione di un organo che raccogliesse e divulgasse le informazioni provenienti da tutto il mondo riguardo i metodi di coltivazione naturale, organizzazione che, successivamente, diventerà la *Soil Association*. Negli anni '50, Maria e Hans Müller-Bigler definirono i criteri della *Organic-Biological Farming* che si affermarono prima in Svizzera e successivamente in molti altri paesi, divenendo una delle pratiche di agricoltura biologica più diffuse. Nel 1972 fu istituita e registrata in Germania l'organizzazione non profit *International Federation of Organic Agriculture Movements* (IFOAM), la principale istituzione di riferimento per l'agricoltura biologica mondiale. Gli scopi che questa fondazione tuttora persegue sono quelli di individuare e promuovere gli obiettivi cardine di riferimento per i diversi movimenti di agricoltura biologica e definire le basi etico-filosofiche sulle quali costruire i programmi e gli standard da diffondere fra gli agricoltori. I principi individuati dall'IFOAM sono: 1) *The principle of health* (principio del benessere); 2) *The principle of ecology* (principio dell'ecologia); 3) *The principle of fairness* (principio dell'onestà); 4) *The principle of care* (principio della precauzione). Poco dopo, nel 1973, in Svizzera, fu fondato l'Istituto di Ricerche dell'Agricoltura Biologica (FiBL) su base privata, con lo scopo, inizialmente, di fornire consulenza e formazione agli agricoltori e, successivamente, di sviluppare ricerche sull'agricoltura biologica. Nel 1980 il FiBL mise assieme le principali associazioni biologiche Demeter, Biofarm, SGBL e ProGana, dando origine all'odierna Bio Suisse; vennero così impartite le prime direttive bio per la tutela e il controllo dell'agricoltura biologica. Grazie alla progressiva crescita di queste as-

sociazioni, sostenute dall'interesse mostrato dai consumatori verso i prodotti da agricoltura biologica e da una sempre maggiore sensibilità dei cittadini verso le tematiche ambientaliste, si è giunti alla necessità di una regolamentazione che identifichi i criteri da rispettare per certificare i prodotti ottenuti da agricoltura biologica. Attualmente in Europa, dal punto di vista legislativo, l'agricoltura biologica deve tenere conto degli standard e delle norme previste nel Regolamento (CE) 834/2007 che disciplina la produzione e l'etichettatura dei prodotti biologici e nel Regolamento (CE) 889/2008, recante le modalità di applicazione del regolamento 834/2007.

A partire dal 1° luglio 2010 il logo europeo definito "Logo di produzione biologica dell'Unione Europea" dal Regolamento (CE) 271/2010, anche conosciuto come *Euro-leaf*, è diventato obbligatorio per tutti i nuovi imballaggi al fine di fornire visibilità ai prodotti biologici. In generale, i canoni dell'agricoltura biologica fanno riferimento ad un approccio olistico di gestione dell'azienda agricola e di produzione agroalimentare che mira alla salvaguardia della biodiversità e delle risorse naturali, alla restituzione al suolo degli elementi nutritivi attraverso i reflui e al benessere degli animali. È evidente che questi principi ben si identificano con quelli basilari dell'agroecologia ovvero di integrità ecologica, giustizia sociale e vitalità economica, da considerare nel loro insieme in uno stato di equilibrio e armonia anche per salvaguardare le generazioni presenti e future.



4.2 - DINAMICA DI POPOLAZIONE

Una popolazione è un gruppo di individui appartenenti alla stessa specie, diffusi in una determinata area e tra loro legati sia in termini riproduttivi che in termini funzionali (interazioni trofiche, competitive o cooperative). Una popolazione di insetti è costituita da diversi stadi di sviluppo e quindi la sua dinamica è descritta in termini di variazione della densità relativa di ciascuno di questi. Come è noto, nel tempo le popolazioni sono soggette a variazioni dell'abbondanza del numero di individui dovute a fenomeni di natura demografica, quali natalità e mortalità, e a fenomeni migratori, come immigrazione ed emigrazione.

Osservando la dinamica di popolazione di una singola specie, per esempio una specie aliena di insetto fitofago che accidentalmente riesce a colonizzare un nuovo areale, si può notare che in un primo periodo la popolazione si accresce in modo esponenziale, in accordo con il modello matematico messo a punto da Malthus nel 1798 che descrive l'evoluzione di una popolazione in presenza di risorse illimitate e in assenza di predatori o di antagonisti per l'utilizzo delle risorse. Questo modello di accrescimento (Fig. 4.4 ►) è descritto dall'equazione " $dN/dt = rN$ " dove N è la dimensione della popolazione, t il tempo e r una costante, detta tasso intrinseco di accrescimento della popolazione o potenziale biotico della popolazione, il cui valore varia da 0 a 1. Evidentemente il modello di crescita malthusiana è valido solo nel periodo in cui gli individui non si influenzano reciprocamente e i parametri demografici sono costanti. Questa condizione può sussistere finché la densità della popolazione è bassa, ma, all'aumentare del numero degli individui, si determinano condizioni di affollamento che comportano un aumento delle interazioni reciproche tali da influenzare negativamente le capacità di

sopravvivenza e riproduzione degli individui. Inoltre, elementi esterni alla popolazione, quali per esempio condizioni climatiche avverse, antagonisti naturali, competizione con altre specie, limitano ulteriormente l'accrescimento malthusiano. In questo caso si parla di capacità portante dell'ambiente, che si indica con K e che rappresenta il numero massimo di individui di una popolazione che un certo ambiente è in grado di sostenere; il parametro K dipende dalle risorse disponibili ed è un valore che tende a variare nel tempo e nello spazio. Quindi, ritornando all'esempio di prima, anche la dinamica di popolazione di una specie aliena, dopo una prima fase di esplosione demografica, nel tempo tende a soggiacere all'azione della capacità portante del sistema. Per descrivere questo andamento demografico, nell'equazione malthusiana viene introdotta la capacità portante del sistema ottenendo la formula " $dN/dt = rN(1-N/K)$ " conosciuta come equazione logistica e che è stata definita per la prima volta dallo statistico belga Verhulst a metà del secolo scorso.

In pratica, la capacità portante del sistema è definita da tutta una serie di fattori, distinti in fattori a densità indipendenti e fattori a densità dipendenti, che si oppongono al potenziale biotico r di una specie e che ne determinano un andamento fluttuante attorno al valore di equilibrio. I fattori a densità indipendenti sono cosiddetti perché la quota della popolazione su cui agiscono è costante e non dipende dalla sua densità; tipicamente sono rappresentati dai fattori abiotici, come gli eventi meteorologici. Di contro, i fattori a densità dipendenti sono cosiddetti perché la quota della popolazione su cui agiscono varia all'aumentare della densità della popolazione.

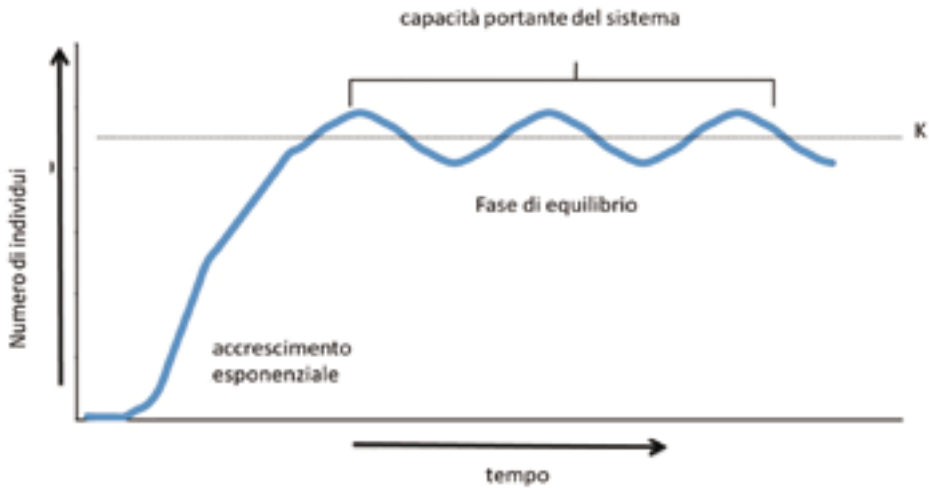


Fig. 4.4 - Rappresentazione grafica dell'andamento di una popolazione che si accresce in un primo momento in maniera esponenziale e successivamente in maniera logistica.

In generale, negli ecosistemi semplificati, ad esempio negli agrosistemi, la dinamica di popolazione delle componenti basilari coinvolte nelle relazioni tritrofiche è essenzialmente influenzata dai fattori a densità dipendenti. Pertanto, nella dinamica di popolazione che contempla due specie, ad esempio un insetto fitofago e un suo antagonista naturale, si osservano due curve sinusoidali tra loro sfasate. Un classico esempio è quello condotto in condizioni di laboratorio con un bruchide fitofago del fagiolo e un suo imenottero parassitoide. In presenza di popolazioni consistenti del bruchide la sopravvivenza del parassitoide è elevata; via via che aumenta la popolazione del parassitoide quella del bruchide diminui-

sce e, di conseguenza, anche la popolazione del parassitoide diminuisce, consentendo a più ospiti di sopravvivere e quindi al fitofago di aumentare di nuovo la sua popolazione e così via (Fig. 4.5 ▼).

Oltre a quelle appena presentate, in letteratura sono state sviluppate ulteriori teorie nel tentativo di illustrare la dinamica delle popolazioni di insetti, ma la complessità delle interazioni a cui questi soggiacciono anche in ecosistemi semplificati rende difficile la loro applicazione. Questi modelli matematici sono comunque uno strumento importante per la messa in atto di programmi di controllo biologico e/o integrato. ■

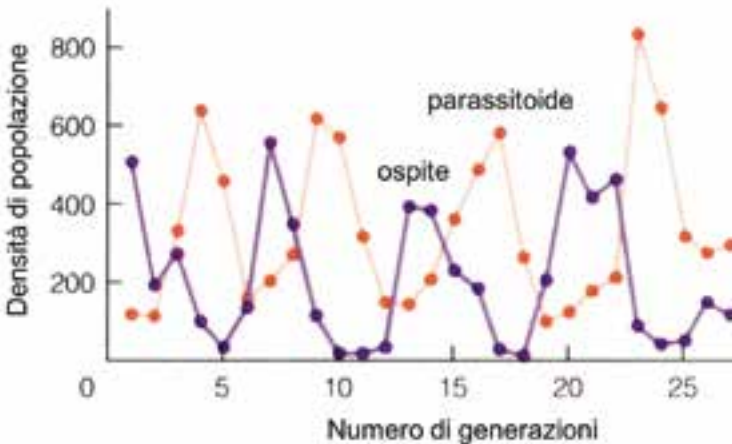


Fig. 4.5
Relazione tra la dinamica di popolazione di un bruchide fitofago del fagiolo (linea viola) e quella di un suo parassitoide (linea arancione) ottenuta da dati di laboratorio.



5

MEZZI TECNICI E DI CONTROLLO

I mezzi tecnici di controllo che possono essere usati dall'uomo per la gestione delle popolazioni degli insetti fitofagi sono molteplici. In questo capitolo saranno trattati inizialmente i principali agenti di controllo biologico, con particolare attenzione agli insetti predatori e parassitoidi; a seguire i semiochimici, i microorganismi entomopatogeni, i prodotti chimici insetticidi e, infine, i mezzi agronomici.

5.1 - AGENTI DI CONTROLLO BIOLOGICO

In un ecosistema, ogni specie è soggetta ad interazioni con fattori di controllo, abiotici e biotici, che ne regolano la propria dinamica di popolazione. In questo contesto, gli inset-

ti, con la loro cospicua biomassa, svolgono un ruolo insostituibile nell'equilibrio ecologico, in quanto costituiscono la principale risorsa alimentare per un'ampia varietà di organismi che popolano i livelli trofici superiori, quali mammiferi, uccelli, rettili, anfibi e invertebrati. Gli organismi che si nutrono di insetti, anche detti entomofagi, svolgono il ruolo di agenti di controllo biologico degli insetti fitofagi.

Tra questi, i più numerosi sono rappresentanti del phylum degli Artropodi, con predominanza assoluta degli insetti. I rapporti di antagonismo che si possono instaurare tra le specie di insetti parzialmente o completamente zoofaghe e le loro vittime sono riconducibili essenzialmente alla predazione (insetti predatori) e



Fig. 5.1 - Chiave dicotomica per la classificazione degli artropodi antagonisti naturali di insetti fitofagi.

al parassitismo (insetti parassitoidi) - (Fig. 5.1 ▲). Questi due rapporti antagonisti si differenziano per alcuni aspetti principali di seguito sinteticamente descritti. Per nutrirsi l'insetto predatore generalmente ricerca la propria vittima, detta preda, sia nello stadio giovanile che in quello di adulto; inoltre, per completare il proprio sviluppo, un singolo predatore consuma molte prede, che possono appartenere a più specie. Di contro, l'insetto parassitoide ricerca la vittima, detta ospite, quando si trova allo stadio di femmina adulta, la quale, in questo modo, assicura alla progenie il cibo necessario al suo sviluppo; un singolo parassitoide completa lo sviluppo a spese di un solo ospite che generalmente appartiene ad un ristretto numero di specie e si trova in un determinato stadio di sviluppo.

Il rapporto antagonista fra ospite e parassitoide include non solo rapporti trofici, come nel caso del rapporto preda-predatore, ma anche anatomici e fisiologici, il cui insieme determina la morte dell'ospite. Pertanto, questo particolare rapporto antagonista presenta caratteristiche biologiche intermedie fra i predatori e i parassiti in senso stretto; questi ultimi, pur mostrando una stretta integrazione funzionale con l'ospite possono svolgere più cicli di sviluppo senza portarlo a morte (Fig. 5.1). Si deve comunque sottolineare che i parassiti sono molto rari nelle associazioni antagonistiche fra artropodi, mentre predominano predatori e parassitoidi con un'ampia varietà di soluzioni adattive che sono riassunte nella tabella 5.1 ▼ e trattate separatamente nelle sezioni che seguono.

	PREDATORI	PARASSITOIDI
ESIGENZE TROFICHE	Un singolo individuo si sviluppa a spese di più prede	Un singolo individuo si sviluppa a spese di un singolo ospite
METAMORFOSI	Eterometabolia, Olometabolia	Olometabolia
STADIO PREDATORE	Forme eterometaboliche: - predazione allo stadio di larva e di adulto Forme olometaboliche: - predazione allo stadio di larva o allo stadio di larva e di adulto	- Adulto: conduce vita libera, si nutre di nettare, la femmina può predare l'ospite (Host feeding) - Larva: conduce esclusivamente vita parassitaria
LOCALIZZAZIONE DELLA VITTIMA	- Attesa => mimetismo; zampe modificate - Ricerca attiva => segnali fisici; segnali chimici di attrazione e di arresto - Allestimento di trappole => raro negli agrosistemi	- Ditteri: segnali chimici e fisici, basso livello di specializzazione - Imenotteri: segnali chimici e fisici, alto livello di specializzazione
MODALITÀ DI RIPRODUZIONE	Anfigonia	Anfigonia - Imenotteri aplo-diploidia
RAPPORTO CON LA VITTIMA	Trofico	Trofico, anatomico, fisiologico

TAB. 5.1

Sintesi delle principali caratteristiche che differenziano insetti predatori e parassitoidi

5.1.1 - PREDATORI

Le specie predatrici sono largamente diffuse nei principali ordini di insetti di interesse applicativo e, in linea di massima, sono ascrivibili a circa 32 famiglie; di queste le principali sono: antocoridi, pentatomidi e reduviidi per l'ordine dei rincoti, carabidi, coccinellidi e stafilinidi per i coleotteri, crisopidi per i neurotteri, cecidomidi e sirfidi per i ditteri, formicidi per gli imenotteri (Fig. 5.2 ►). L'appartenenza dei predatori a vari ordini comporta la presenza di specie eterometaboliche e olometaboliche. Nelle specie eterometaboliche la predazione è esercitata quando il predatore è sia allo stadio di larva che di adulto. Nelle specie olometaboliche il regime dietetico è più diversificato. Alcune specie possono predare in tutti gli stadi, come nel caso dei coleotteri, che sono spesso caratterizzati da una

modesta diversificazione a livello trofico tra stadi preimmaginali ed immaginali. Altre predano solo nello stadio di larva, come nel caso dei ditteri sirfidi, mentre gli adulti si nutrono di polline, nettare o melata. Infine, altre specie predano solo nello stadio di adulto, come nel caso di alcuni ditteri asilidi.

5.1.1.1 - LOCALIZZAZIONE DELLA PREDAZIONE

Nei predatori le strategie di localizzazione della preda sono sostanzialmente tre: una basata sull'attesa, una sulla ricerca attiva e una terza, assai meno comune, basata sull'allestimento di trappole. Le specie che catturano le prede stando ferme in attesa presentano in genere livree omocromatiche con l'ambiente, per favorire il mimetismo, e zampe anteriori raptatorie atte ad afferrare repentinamente

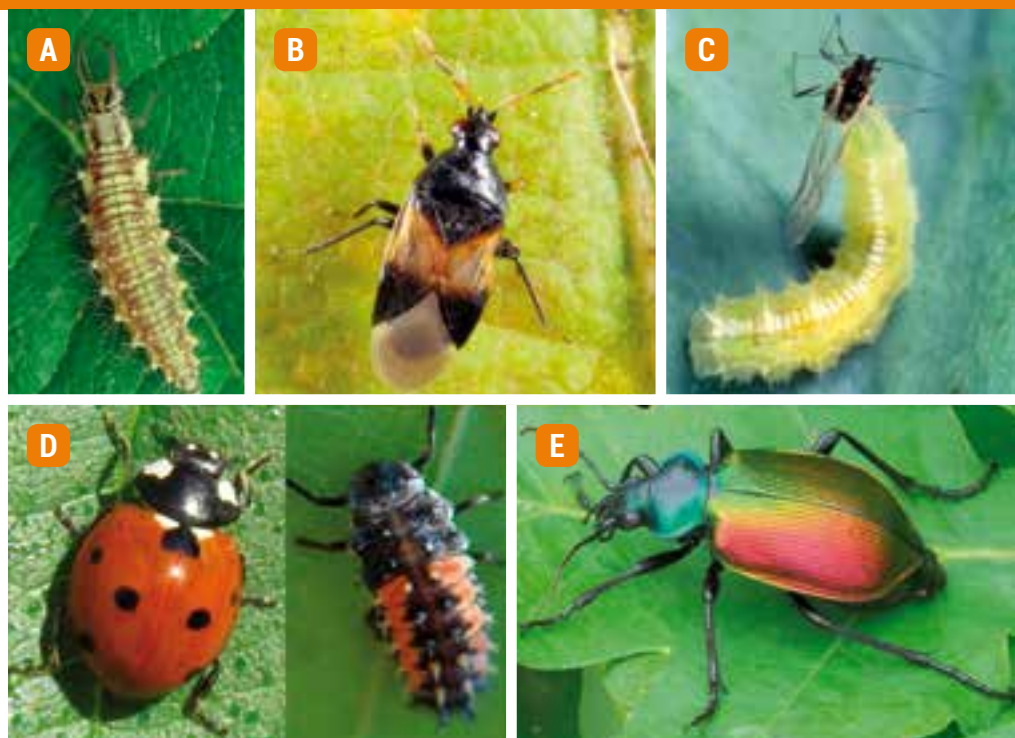


Fig. 5.2 - Alcune delle principali famiglie di insetti predatori di interesse applicativo: crisopidi (A), antocoridi (B), sirfidi (C), coccinellidi (D), carabidi (E).

le prede. Un esempio molto comune è offerto da alcune specie di mantidi che si confondono efficacemente con la vegetazione (Fig. 5.3 ▼).

Le specie predatrici che adottano comportamenti di ricerca attivi hanno normalmente larve di tipo campodeiforme e adulti spesso con capo prognato, cioè con gli gnatidi rivolti in avanti per facilitare la presa della vittima, e zampe cursorie, per muoversi rapidamente ed effettuare incursioni repentine nelle colonie delle prede. Questo comportamento di ricerca è abbastanza comune tra le specie predatrici, ma è particolarmente evidente in quelle specie, quali antocoridi (Fig. 5.4 ▼) e coccinellidi afidifagi (Fig. 5.5 ▼), la cui attività antagonista avviene a spese di insetti che si presentano sotto forma di popolazioni

strutturate in colonie più o meno numerose, quali aleurodidi e afidi.

Nella ricerca attiva, le specie predatrici si avvalgono della combinazione di movimenti locomotori aleatori, che consentono di esplorare ampie superfici fogliari, e di segnali direttamente connessi alla preda (cairomoni), come la melata prodotta dagli afidi, che incrementano le probabilità di successo della ricerca. Il comportamento dei predatori impegnati nella ricerca attiva delle prede è influenzato sostanzialmente da due tipologie di stimoli, definiti di attrazione e di arresto. Gli stimoli di attrazione inducono il soggetto ad orientarsi verso la zona dove è o dove potrebbe essere presente la preda. Una volta raggiunta questa zona, gli stimoli di arresto inducono una diminuzione della velocità di spostamento e, di conseguenza, un incremento del tempo



▲ **Fig. 5.3** - Esemplare di mantide mimetizzato con l'ambiente che ha afferrato una preda.



▲ **Fig. 5.4** - Esemplare adulto di *Orius insidiosus* mentre preda una colonia di aleurodidi.

dedicato all'esplorazione. Le specie predatrici che catturano le prede allestendo apposite trappole si rinvencono raramente negli agroecosistemi, tuttavia il loro grado di specializzazione è tale che merita di essere menzionato. Tra le possibili trappole, si ricordano gli imbuti allestiti dalla larve dei neurotteri mirmeleontidi, la comune formicaleone.

5.1.1.2 - MODALITÀ DI PREDAZIONE

Come è stato più volte sottolineato, i predatori normalmente instaurano con la preda un rapporto esclusivamente di tipo trofico, in cui la vittima soccombe rapidamente. Questa attività entomofaga è normalmente svolta a spese di un'ampia varietà di insetti di differenti specie e di diversi stadi di sviluppo. In genere, i predatori presentano un elevato livello di polifagia, sebbene esista-

no preferenze alimentari, che determinano la presenza di specie con regimi dietetici oligofagi, come nel caso dei coccinellidi afidifagi, o strettamente monofagi, come nel caso del coccinellide *Rodolia cardinalis*. Va anche ricordata l'esistenza di specie predatrici caratterizzate da un regime alimentare zoo-fitofago, in grado cioè di alimentarsi non solo di insetti, ma anche di specie vegetali, ad esempio i miridi dicifini.

Se da un lato la zoo-fitofagia rappresenta un indubbio vantaggio, perché consente al predatore di sopravvivere più a lungo in assenza di prede, dall'altro potrebbe rappresentare un serio problema per le piante. Per esempio, nel controllo biologico degli aleurodidi, è stato messo in evidenza che la presenza di elevate densità di popolazione del predatore *Nesidiocoris tenuis* (Fig. 5.6A ►) può comportare perdite significative di produzione, in quanto il predatore, alimentandosi a carico del tessuto vegetale, provoca danni alle giovani foglie sotto forma di aree necrotiche e



▲ **Fig. 5.5** - Larva (A) e adulto (B) di *Coccinella septempunctata* mentre preda una colonia di afidi.

clorotiche (Fig. 5.6B ▶). Per ovviare a questa situazione viene suggerito di distribuire nei punti di introduzione del predatore alimenti alternativi, quali uova devitalizzate di Tignola grigia della farina, *Ephesia kuehniella*, al fine di migliorare l'insediamento del predatore in situazioni di scarsa disponibilità di prede, riducendone, di conseguenza, la fitofagia.

Le modalità con cui una specie predatrice consuma la propria preda sono varie e in molti casi non tanto dissimili dalle modalità di nutrizione di specie fitofaghe tassonomicamente vicine. Infatti, alcune specie predatrici hanno apparato boccale pungente succhiante, ad esempio molte specie di emitteri, in



▲ **Fig. 5.6** - Esemplare adulto di *Nesidiocoris tenuis* mentre preda una colonia di aleurodidi (A). Aree necrotiche e clorotiche cerchiare in rosso causate dalle punture di nutrizione del predatore (B).

grado di perforare la preda e di iniettare tossine e saliva per poi succhiarne gli umori; altre specie hanno apparato boccale masticatorio, in cui la principale differenza con le specie fitofaghe è la presenza di robuste mandibole allungate ed appuntite atte a dilaniare la preda; altre, infine, sono dotate di apparato boccale perforante-succhiante in grado di perforare il corpo della vittima ed effettuare una digestione extra-orale prima della suzione degli umori, come gli stadi giovanili di neurotteri (Fig. 5.7 ▼).





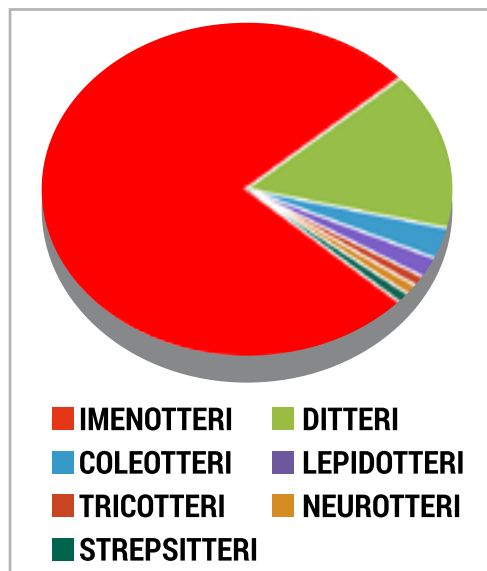
▲ **Fig. 5.7** - Larva di *Chrysoperla carnea* mentre preda un afide.

Infine, le modalità con cui un predatore consuma la preda possono variare anche nelle diverse età larvali; per esempio, le larve di alcune specie di coccinellidi afidifagi delle prime età perforano la preda e ne succhiano il contenuto, mentre quelle delle ultime età la dilanano e la ingeriscono.

5.1.2 - PARASSITOIDI

Il termine parassitoide è stato coniato per la prima volta nel 1913 per definire la strategia utilizzata da una specie che, per consentire lo sviluppo della propria progenie, instaura in una fase del proprio ciclo biologico un rapporto di tipo trofico, anatomico e fisiologico con un'altra specie, detta ospite. In conseguenza dello sviluppo preimmaginale del parassitoide l'ospite muore e il nuovo individuo che sfarfalla conduce vita libera. Questo genere di rapporto antagonistico è comune a molti organismi presenti in natura, tuttavia, per l'estensione del fenomeno e per i riscontri applicativi, il termine parassitoide è di uso quasi esclusivo della classe degli insetti.

I parassitoidi sono riscontrabili in almeno 6 ordini, ma la quasi totalità delle specie che hanno interesse applicativo appartengono agli ordini dei ditteri e degli imenotteri (Fig. 5.8 ►).



▲ **Fig. 5.8** - Distribuzione delle specie di insetti parassitoidi nei diversi ordini.

Nei ditteri le specie parassitoidi appartengono principalmente alla famiglia dei tachinidi (Fig. 5.9 ►), distinta in quattro subfamiglie: Exoristinae, Dexiinae, Tachininae, e Phasiinae. Negli imenotteri le specie parassitoidi sono presenti nel sottordine Apocrita sezione Terebrantia, detta anche Parasitica. Fra i terebranti le specie di maggiore interesse applicativo nei programmi di controllo biologico appartengono alle superfamiglie Calcidoidea e Ichneumonoidea (Fig. 5.9 ►).

I parassitoidi rappresentano il raggruppamento di antagonisti naturali che viene maggiormente impiegato per il controllo biologico degli insetti fitofagi. Lo studio dei vari aspetti biologici ed ecologici di questi insetti è, pertanto, di rilevante interesse; in particolare, la conoscenza dei meccanismi di ricerca e riconoscimento dell'ospite offre importanti prospettive per migliorare l'efficacia e la sicurezza del controllo biologico.



Fig. 5.9
Rappresentazione schematica delle principali famiglie di insetti parassitoidi di interesse applicativo: scelionidi (A), afelinidi (B), braconidi (C), icnemonidi (D), tachinidi (E).

Tra i due principali ordini, ditteri e imenotteri, si possono osservare differenti gradi di specializzazione come verrà di seguito evidenziato.

L'adulto parassitoide è, in genere, un buon volatore, conduce vita libera, frequenta i fiori e si nutre di nettare e di sostanze liquide di varia natura. La femmina di alcune specie di imenotteri può anche svolgere attività "predatrice" a spese degli ospiti, nutrendosi dei fluidi che fuoriescono dalle ferite praticate appositamente con l'ovopositore, attività nota con il termine anglosassone di *host feeding*. Questo comportamento è determinato dalla necessità da parte della femmina di acquisire proteine animali per favorire lo sviluppo delle uova (specie sinovigeniche). Dal punto di vista applicativo l'attività di *host feeding* presenta degli aspetti interessanti poiché determina un incremento di mortalità negli ospiti in aggiunta a quella determinata dall'attività di parassitizzazione. Ad esempio, la femmina di *Encarsia formosa*, un parassitoide molto utilizzato

per il controllo della mosca bianca, *Trialeurodes vaporariorum*, nelle colture orticole ed ornamentali, pratica *host feeding* a spese di neanidi giovani inadatte alla parassitizzazione, incrementando la mortalità dell'ospite di oltre il 40% (Fig. 5.10).



Fig. 5.10 - Femmina di *Encarsia formosa* nell'atto di praticare *host feeding* a spese di una neanide di mosca bianca, *Trialeurodes vaporariorum*.

Le larve dei parassitoidi conducono esclusivamente vita parassitaria e generalmente si presentano apode, ialine e con il tegumento molle ed esile; sono in grado di instaurare rapporti anatomici e fisiologici con la vittima, sebbene con marcate differenze tra ditteri e imenotteri che saranno discusse di seguito.

5.1.2.1 - LOCALIZZAZIONE DELL'OSPITE

Come già evidenziato, i parassitoidi per riprodursi hanno la necessità di localizzare gli ospiti nel loro habitat naturale e nello stadio idoneo alla parassitizzazione. Contrariamente a quanto è comune nei predatori, i parassitoidi hanno normalmente dimensioni minori

dei loro ospiti e di norma uno solo di questi è sufficiente a garantirne il completamento dello sviluppo postembrionale.

Il processo di scelta dell'ospite da parte della femmina di parassitoide è il risultato di un insieme di fasi mediate da fattori fisici, semiochimici e biochimici, che consentono di ottimizzare le potenzialità riproduttive in un tempo spesso limitato. Questi sofisticati meccanismi riducono al minimo la possibilità di incontro di specie ospiti non idonee. La sequenza comportamentale che porta alla parassitizzazione dell'ospite è generalmente suddivisa in localizzazione dell'habitat dell'ospite, localizzazione dell'ospite, riconoscimento e accettazione dell'ospite, sviluppo (Fig 5.11 ▼).

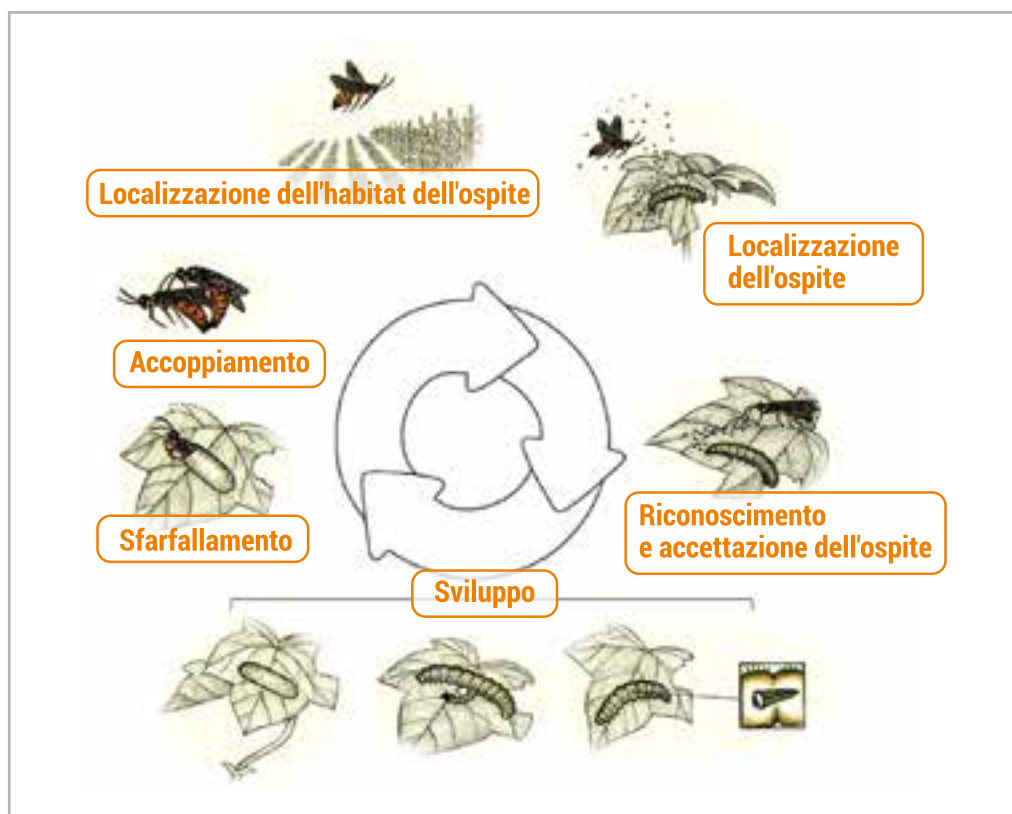


Fig. 5.11 - Rappresentazione schematica del ciclo di sviluppo di un insetto parassitoide imenottero.

Nei ditteri parassitoidi la femmina adulta ricerca attivamente gli ambienti in cui vi è un'elevata probabilità di rinvenire gli ospiti idonei e per farlo utilizza soprattutto segnali fisici, come suoni e colori, e chimici. La localizzazione dell'ospite non sempre avviene in modo specie-specifico e questo fornisce un'ulteriore conferma del minore livello di specializzazione presente nei ditteri parassitoidi.

Negli imenotteri il livello di specializzazione è più marcato e le femmine sono guidate da un complesso di stimoli di natura fisica e semiochimica, che provengono dall'habitat, dalle piante o dall'ospite stesso, in modo da ottimizzare il breve tempo disponibile.

Nella localizzazione dell'habitat dell'ospite sono coinvolti soprattutto 1) fattori abiotici, come temperatura, luce e umidità, 2) fattori ecologici, quali la presenza di ricoveri e di fonti di alimento, e 3) fattori semiochimici di diversa origine, quali, prevalentemente, i composti volatili prodotti dalle piante (sinonimi volatili costitutivi) - (cfr. paragrafo 5.2.2).

Nella localizzazione dell'ospite mantengono la loro importanza gli stimoli fisici, ma la comunicazione chimica diventa largamente predominante in quanto assumono una particolare rilevanza i segnali semiochimici percepiti con i sensilli chemiorecettori antennali di tipo olfattivo o gustativo. In particolare, in questa fase, un ruolo considerevole è svolto da sostanze volatili, direttamente e/o indirettamente associate all'ospite, capaci di esercitare un'attrazione a lungo raggio. Tra queste sono da ricordare le sostanze rilasciate dalla pianta in conseguenza dell'alimentazione e/o dell'ovideposizione del fitofago (sinonimi volatili indotti) e quelle prodotte dagli stadi attaccati dal parassitoide (caironi dell'ospite).

5.1.2.2 - RICONOSCIMENTO E ACCETTAZIONE DELL'OSPITE

Subito dopo che la femmina di un parassitoide ha trovato l'ospite, ha inizio la fase di parassitizzazione che comprende il riconoscimento e l'accettazione dell'ospite idoneo allo sviluppo della progenie e, infine, la deposizione dell'uovo. Anche in questa fase si ritrovano caratteristiche specifiche in ditteri e imenotteri.

La femmina di dittero non è dotata di ovopositore morfologico e pertanto depone le uova esclusivamente all'esterno dell'ospite, utilizzando due diverse strategie: depone le uova direttamente sul corpo dell'ospite o le abbandona sulla pianta. Nel primo caso, la femmina in volo atterra sull'ospite e rapidamente incolla sul corpo di questi un uovo ialino di circa 1 mm di diametro, detto macrotipico, facilmente visibile anche ad occhio nudo (Fig. 5.12A ►). Le uova così deposte possono essere facilmente rimosse dalla vittima quando si strofina il corpo con le zampe, pertanto non è raro osservare una femmina deporre più uova sullo stesso individuo, probabilmente per ovviare a questo rischio (Fig. 5.12B ►). In altre specie, la femmina depone le uova in zone più protette, ad esempio sotto le ali, come nel caso di *Gymnosoma* sp. oppure sotto l'espansione laminare del pronoto, come nel caso *Ectophasia crassipennis*, risultando in entrambi i casi non visibili all'esterno (Fig. 5.13 ►). La larva neonata penetra direttamente all'interno della vittima per completare il ciclo di sviluppo. Nella seconda strategia, la femmina abbandona un gran numero di uova sulle foglie su cui si stanno alimentando le larve ospiti. In questo caso, le uova sono dette microtipiche (circa 0,2 mm di diametro) e vengono ingerite dall'ospite assieme al tessuto vegetale; subito dopo schiudono le larve (Fig. 5.12B).

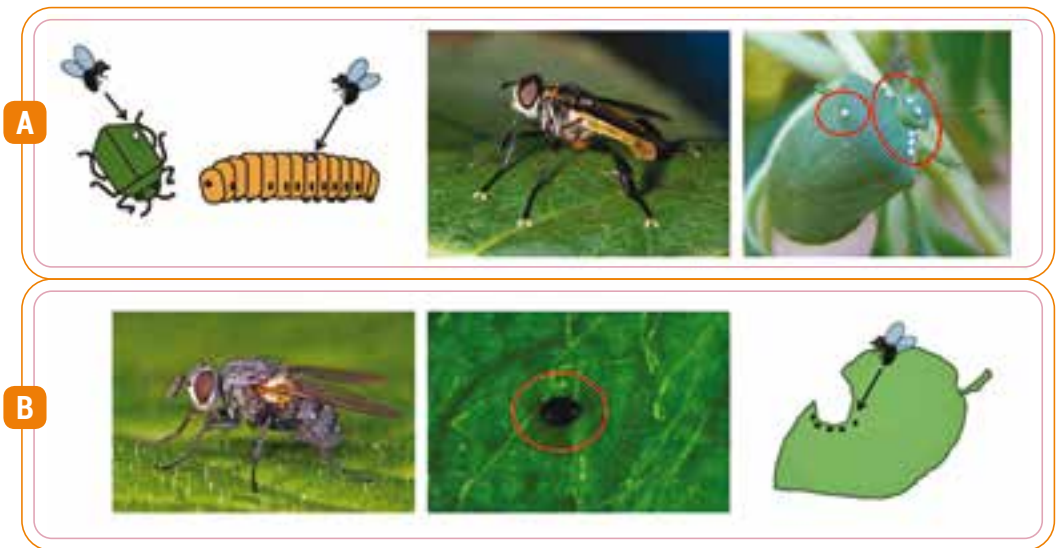


Fig. 5.12 - Rappresentazione schematica delle due principali modalità di ovideposizione nei ditteri tachinidi, le uova deposte sono cerchiare in rosso. (A) Uova macrotipiche incollate sul corpo dell'ospite, *Trichopoda pennipes* - *Nezara viridula*. (B) Uovo microtipico abbandonato sulla foglia, *Cyzenis albicans* - *Operophtera brumata*.

Nella fase di riconoscimento dell'ospite la femmina di imenottero parassitoide utilizza segnali più specifici come caïromoni poco volatili presenti sulla superficie dell'ospite stesso o emessi da materiale protettivo di vario tipo (caïromoni di riconoscimento). Particolarmente importanti possono essere anche gli stimoli fisici, quali la dimensione e la forma dell'ospite che sono percepiti con i sensilli meccanorecettori antennali a seguito del comportamento detto di "tamburellamento". Infine, l'accettazione dell'ospite è mediata da molecole idrosolubili quali sali e amminoacidi

presenti nel corpo dell'ospite, nel caso degli endoparassitoidi, o da sostanze presenti sulla superficie dell'ospite nel caso di ectoparassitoidi (caïromoni stimolanti l'ovideposizione). Inoltre, la femmina di imenottero parassitoide dispone di un ovopositore morfologico ben sviluppato, detto terebra, con cui può deporre le uova sopra, nelle immediate vicinanze o all'interno del corpo dell'ospite (Figg. 5.14 ► e 5.15 ▼). La terebra è un organo altamente specializzato e svolge un ruolo cruciale nella fase di parassitizzazione in quanto la femmina

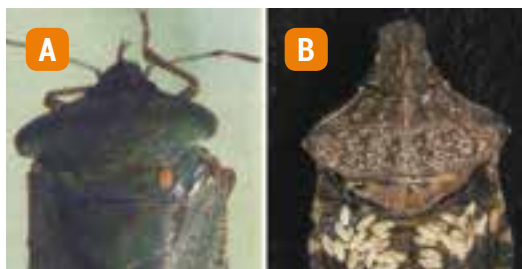


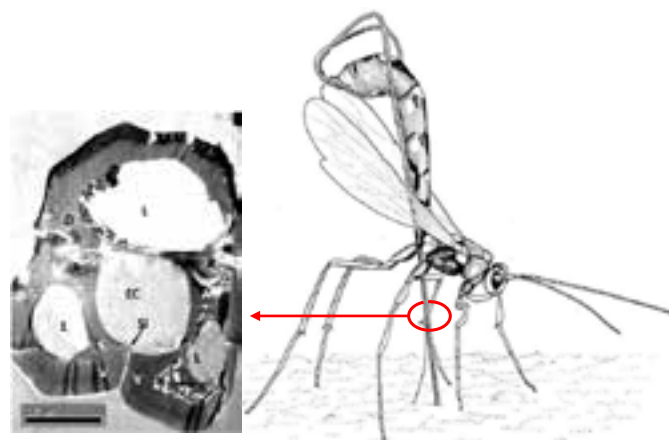
Fig. 5.13 - Adulto di *Nezara viridula* con l'espansione laminare del pronoto sollevata ad arte per mostrare l'uovo macrotipico di *Ectophasia crassipennis* incollato sul mesonoto (A). Adulto di *Halyomorpha halys* con le ali rimosse ad arte per mostrare le uova macrotipiche di *Gymnosoma* sp. incollate sull'addome (B).

lo usa per assolvere vari compiti oltre a quello di liberare le uova. Per esempio, nel caso in cui le uova sono deposte all'interno del corpo dell'ospite, la femmina con l'ovopositore può iniettare anche sostanze velenifere prodotte dalle ghiandole accessorie oppure virus simbiotici in grado di interferire con la biologia dell'ospite, rendendolo idoneo allo sviluppo della progenie. Inoltre, la femmina utilizza l'ovopositore anche per marcare con sostanze feromonalmente l'ospite appena parassitizzato, al fine di evitare che lei stessa o altre femmine conspecifiche lo parassitizzino ulteriormente, riducendo, così, i fenomeni di competizione larvale che possono compromettere lo sviluppo della progenie.

Lungo tutto lo sviluppo dell'ovopositore si rinvencono diversi sensilli meccanorecettori e chemiorecettori. I chemiorecettori sono di tipo olfattivo e gustativo e consentono alla femmina di valutare la qualità dell'ospite, ad esempio se è stato precedentemente paras-

sitizzato da un altro individuo, e decidere se procedere con la parassitizzazione, per non compromettere la sopravvivenza della progenie. Dal punto di vista meccanico, l'ovopositore è in grado di perforare superfici anche particolarmente resistenti, come il legno, in modo che la femmina possa raggiungere ospiti endofiti anche occultati in profondità.

Dopo avere consumato l'ospite, la larva del parassitoide si trasforma in una pupa adectica ed in genere exarata, internamente o esternamente alla vittima, talvolta racchiusa in un bozzolo di seta o protetta da un pupario. Se l'impupamento avviene internamente al corpo della vittima, la larva rende più resistente il tegumento dell'ospite emettendo dei secreti, oppure, come nel caso dei parassitoidi di afidi, formando un bozzolo che rende il tegumento dell'ospite più duro, gonfio e non segmentato; in questo caso l'ospite prende il nome di "mummia" e si distingue con facilità nella colonia afidica.



5.1.2.3 - MODALITÀ DI SVILUPPO

Come già ricordato, i parassitoidi instaurano con l'ospite rapporti fisiologici più o meno intimi che possono essere schematicamente discussi in funzione: a) degli effetti sull'ospite (idiobionte/coinobionte); b) del rapporto con l'ospite (ecto/endoparassitoidi).

Fig. 5.14 - Femmina di parassitoide nell'atto di ovideporre con accanto una macro fotografia al microscopio elettronico a trasmissione della sezione trasversale dell'ovopositore. Il canale dell'uovo (EC) è delimitato, in posizione dorsale, dalle due valvole del 1° paio (D) e, in posizione ventrale, dalle due valvole del 2° paio che sono fuse assieme (V). Le valvole del 1° e del 2° paio sono tenute assieme da una cooptazione a coda di rondine (R e A). L = lume delle valvole, SI = lembo chitinoso longitudinale che tiene unite la valvole dorsali.



Fig. 5.15 - Femmine di parassitoidi imenotteri in fase di ovideposizione. *Aphidius colemani* endoparassitoide di *Aphis gossypii* (A). *Semielacher petiolatus* ectoparassitoide di *Phyllocnistis citrella* (B). *Diachasmimorpha longicaudata* endoparassitoide di *Bactrocera oleae* (C). *Megarhyssa macrurus* parassitoide di *Sirex* sp (D).

de); c) dello stadio dell'ospite (oofagi, larvali, pupali, etc.); d) del rapporto progenie/ospite; (solitario/gregario); e) della competizione tra gli stadi giovanili (superparassitismo/multi-parassitismo); f) della collocazione nei livelli trofici (parassitoidi primari/iparassitoidi).

a) Effetti sull'ospite

Una specie parassitoide è definita idiobionte quando, a seguito della parassitizzazione, lo sviluppo dell'ospite viene interrotto; pertanto se l'ospite è un insetto fitofago non è più in grado di interagire con la pianta. In pratica, la femmina prima dell'ovideposizione inietta un veleno che determina nell'ospite paralisi,

arresto dello sviluppo o morte. Esempi più comuni di idiobionti sono i parassitoidi che si sviluppano a spese di stadi ospite immobili e che non si accrescono in modo ponderale, quali quello di uovo e di pupa, oppure di stadi mobili come larve di età avanzata che seppure paralizzate possono comunque fornire la quantità di alimento sufficiente allo sviluppo della progenie del parassitoide. Gli idiobionti sono tendenzialmente generalisti e possono compiere un numero di generazioni superiore a quello degli ospiti. Di contro, una specie è definita coinobionte quando l'ospite prosegue lo sviluppo anche dopo essere stato parassitizzato. Nel caso delle specie coinobionti, molte

delle quali sono endoparassitoidi, la femmina inietta anch'essa un veleno prima dell'ovideposizione, ma al solo scopo di determinare una paralisi temporanea nell'ospite che rimane vitale, ma con le difese immunitarie inibite in modo da permettere alla larva del parassitoide di regolare il proprio metabolismo con quello dell'ospite. Dal punto di vista applicativo, l'ospite fitofago può ancora svilupparsi, seppure per un intervallo di tempo limitato, e quindi continuare a nutrirsi della pianta.

b) Rapporto con l'ospite

Si definiscono ectoparassitoidi le specie in cui gli stadi giovanili si sviluppano esternamente al corpo dell'ospite; endoparassitoidi quando invece lo sviluppo avviene internamente al corpo dell'ospite (Figg. 5.16 e 5.17 ▼). In generale gli ectoparassitoidi idiobionti sono considerati molto prossimi ai predatori se non altro perché non instaurano con l'ospite quei rapporti intimi che invece caratterizzano gli endoparassitoidi, i quali devono confrontarsi con aspetti molto critici di adattamento, quali le difese immunitarie dell'ospite, la respirazione delle larve e, nel caso dei coinobionti, la sopravvivenza dell'ospite fino a fasi avanzate dell'accrescimento della larva endofaga. La distinzione tra specie ectofaghe ed endofaghe non è sempre netta; infatti sono note specie le cui larve si comportano come endofaghe nelle prime fasi dell'accrescimento, per divenire successivamente ectofaghe. In generale, la deposizione delle uova nel corpo dell'ospite, sia nel caso di stadi preimmaginali che di adulto, avviene nell'emocele, molto raramente in organi particolari della vittima.

Nei ditteri non vi è correlazione tra le modalità di attacco, precedentemente descritte, ed il successivo comportamento delle larve, in quanto queste sono tutte endofaghe.

c) Stadio dell'ospite

I parassitoidi possono svilupparsi a spese di uno stadio specifico dell'ospite. In questo caso la categoria prende il nome dallo stadio in cui avviene l'ovideposizione, ad esempio parassitoide oofago (Fig. 5.16), larvale, pupale o immaginale. Oppure possono svilupparsi a spese di più stadi dell'ospite, in questo caso nel nome della categoria vengono riportati lo stadio in cui avviene l'ovideposizione e quello in cui si completa lo sviluppo, ad esempio ovo-larvale, larvo-pupale, ovo-pupale, ecc.

Nei ditteri, che non sono in grado di attaccare l'ospite allo stadio di uovo, le forme più comuni sono le larvali e le larvo-pupali.

d) Rapporto progenie/ospite

La progenie di un parassitoide si può sviluppare singolarmente (parassitoide solitario), o in gruppi (parassitoide gregario). Le larve di 1^a età delle specie solitarie sono generalmente dotate di mandibole robuste e a forma di falchetto per competere con altre larve (vedi di seguito). In generale l'eliminazione delle larve soprannumerarie avviene prima che sia stata consumata una quantità apprezzabile dell'ospite. Questi combattimenti normalmente avvengono tra larve coetanee, ma può anche avvenire che larve di 1^a età aggrediscano con successo larve competitori di età successive, le quali molto spesso sono prive di mandibole.

e) Competizione tra gli stadi giovanili

In alcune condizioni, come in caso di sovrappollamento di femmine di parassitoidi e/o di carenza degli ospiti, si possono registrare più ovideposizioni a carico della stessa vittima sia da parte di femmine della stessa specie (superparassitismo), sia di femmine appartenenti a specie differenti (multiparassitismo).



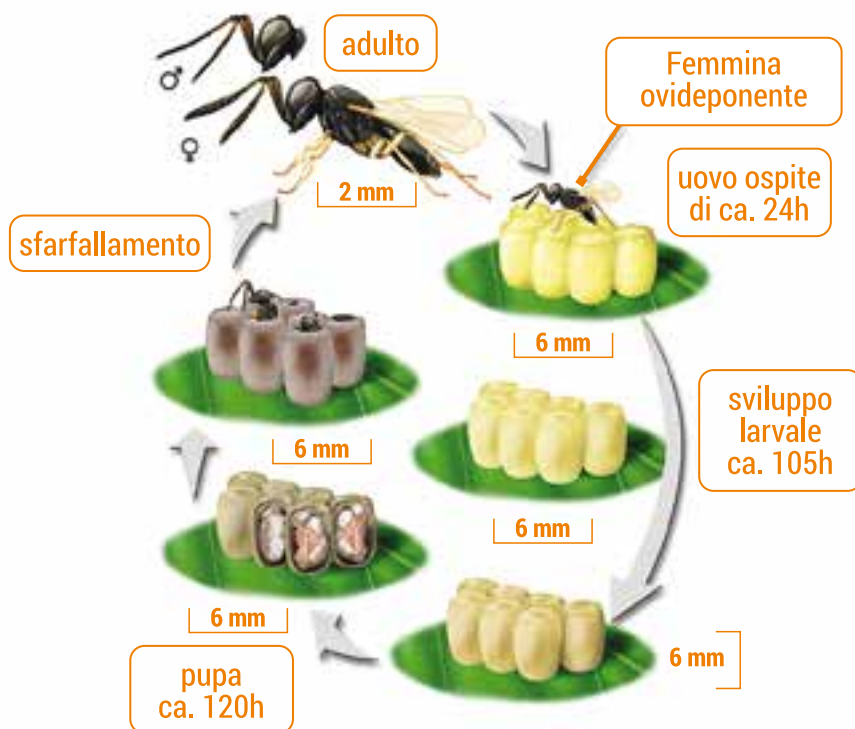


Fig. 5.16 - Rappresentazione schematica del ciclo biologico di un imenottero scelionide, parassitoide oofago solitario.

Nelle specie solitarie, la competizione tra le larve, che sia di tipo intra- o interspecifica, porta generalmente allo sviluppo di un solo individuo e alla soppressione di tutti gli altri.

Anche nel caso dei parassitoidi gregari si possono osservare fenomeni di mortalità larvale quando il numero di uova deposte eccede il numero massimo di individui in grado di svilupparsi. In questo caso le larve non sono in grado di combattere e pertanto i meccanismi di soppressione sono di tipo fisiologico.

f) Collocazione nei livelli trofici

I parassitoidi di specie fitofaghe sono detti primari; a loro volta questi possono essere parassitizzati da altri parassitoidi che costituiscono la categoria degli iperparassitoidi (Fig. 5.18 ▼). Gli iperparassitoidi sono ob-

bligati, quando il loro sviluppo è possibile solo a spese di un parassitoide primario, o facoltativi, quando in particolari condizioni possono svilupparsi come parassitoidi primari. L'azione svolta dagli iperparassitoidi ha effetti negativi sull'azione svolta dai parassitoidi primari.

5.1.2.4 - MODALITÀ DI RIPRODUZIONE

La determinazione del sesso, intesa come il processo che porta alla formazione di progenie maschile e/o femminile, è un aspetto rilevante negli insetti parassitoidi anche per le possibili ricadute nella pianificazione di programmi di controllo biologico. Negli imenotteri, ad esempio, è presente una modalità di riproduzione chiamata aplodiploidia in cui le femmine possono deporre sia

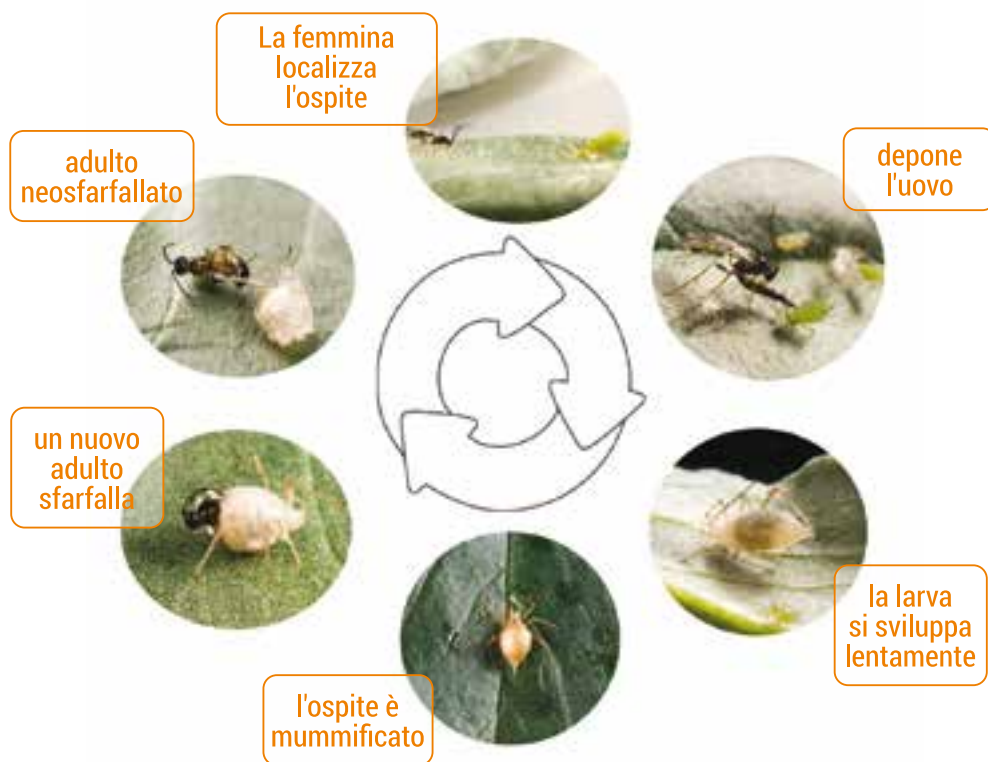


Fig. 5.17 - Rappresentazione del ciclo biologico di *Aphidius ervi* endoparassitoide solitario di afidi.

uova fecondate che uova non fecondate (partenogenesi). Quelle fecondate danno origine ad un individuo diploide, quelle non fecondate ad uno aploide (Fig. 5.19 ▼). La condizione più comune è quella della partenogenesi arrenotoca, in cui il sesso aploide è quello maschile. Questa riproduzione è anche detta biparentale perché la femmina per garantire la continuità generazionale deve accoppiarsi e determinare il sesso della progenie tramite il controllo della fecondazione. Infatti, la femmina accoppiata può conservare il liquido seminale nella spermateca e “decidere” il sesso della progenie rilasciando selettivamente gli spermatozoi al passaggio dell’uovo lungo l’ovidotto comune. Come risultato, i figli ricevono il materiale genetico solamente dalla madre e pertanto sono imparentati con questa al 100%; di contro le figlie ricevono il

50% del genoma da ciascun genitore. Meno comune è la riproduzione per partenogenesi telitoca, anche detta uniparentale perché, in questo caso, le femmine vergini producono progenie femminile e pertanto le figlie sono imparentate al 100% con la madre. Questa forma di riproduzione, comune in vari calcidoidi afelinidi del genere *Encarsia*, presenta evidenti vantaggi per gli allevamenti di entomofagi nelle biofabbriche e anche nel loro impiego in pieno campo.

5.1.3 - PRODUZIONE MASSALE DI ENTOMOFAGI

L’impiego degli antagonisti naturali nel controllo biologico (vedi sezione 6.1) presuppone il loro allevamento su scala industriale, in grandi quantità e a costi contenuti in struttu-



Fig. 5.18 - Iperparassitoidi: femmina di *Acroclisoides* sp. nell'atto di parassitizzare un uovo di eterottero parassitizzato da *Trissolcus basalidis* (A); femmina di *Dendrocerus aphidum* nell'atto di ovideporre in un afide mummificato parassitizzato da *Aphidius colemani* (B).

re dette biofabbriche, generalmente gestite da organismi privati. Storicamente, la produzione massale degli entomofagi destinati all'agricoltura inizia in California nel 1917, anno in cui fu inaugurato un allevamento massale di *Cryptolaemus montrouzieri*, un coccinellide predatore di numerose specie di cocciniglie cotonose (pseudococcidi), per il controllo della cocciniglia *Pseudococcus calceolariae*. L'iniziativa fu coronata da un successo tale che già nel 1930 erano state realizzate negli USA 16 biofabbriche in grado di produrre 20 milioni di insetti all'anno. Nel mondo attualmente sono attive oltre 90 biofabbriche in grado di commercializzare circa 230 specie di antagonisti naturali, sia predatori che parassitoidi.

In Europa la più famosa è Koppert Biological Systems che è stata fondata nel 1967. L'attività della Koppert ha inizio con la produzione dell'acaro predatore *Phytoseiulus*

persimilis utilizzato contro il ragnetto rosso. Oggi Koppert è una holding di famiglia che vanta 27 filiali in più di 90 Paesi con circa 1.200 dipendenti.

In Italia la prima azienda per l'allevamento di antagonisti naturali è stata Bioplanet. La società, una cooperativa con sede in Cesena (FC), è stata fondata nel 1999 a seguito della riorganizzazione del laboratorio Biolab, un laboratorio per l'allevamento di antagonisti naturali sorto, sotto la guida scientifica del prof. Giorgio Celli dell'Università degli Studi di Bologna, presso la Centrale ortofrutticola di Cesena a supporto di un progetto regionale di lotta integrata. Attualmente Bioplanet è presente in diversi mercati europei con circa il 40% dell'attività a sostegno del mercato italiano.



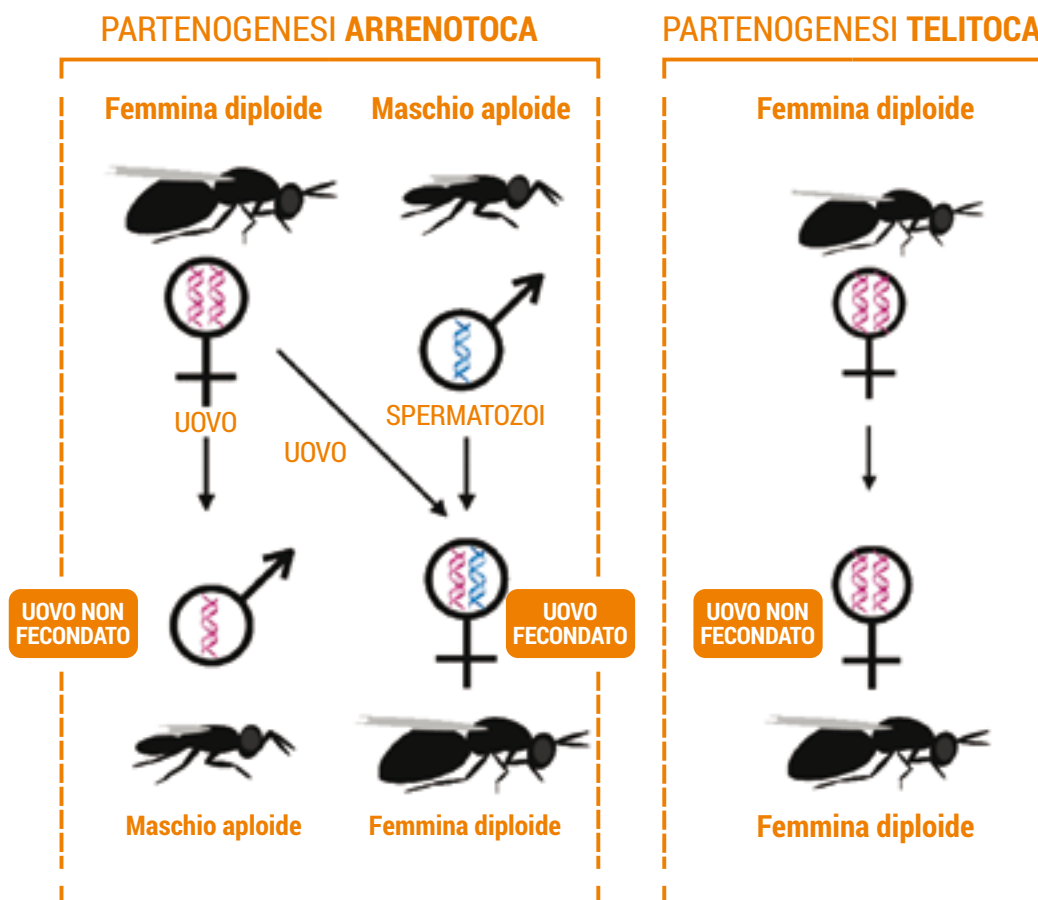


Fig. 5.19 - Rappresentazione schematica delle modalità di riproduzione per partenogenesi arrenotoca e telitoca negli imenotteri parassitoidi.



In Sicilia è presente una biofabbrica ubicata a Ramacca (CT) che è stata costruita con fondi del Programma Operativo Plurifondo Sicilia 1994-1999; la biofabbrica è di proprietà dell'Ente di Sviluppo Agricolo (ESA) della Regione Sicilia che ne ha gestito la fase di progettazione e di realizzazione. Attualmente, è in appalto a privati e la produzione di punta riguarda tre antagonisti naturali che trovano impiego nel controllo biologico in agrumicoltura, *Aphytis melinus*, *Criptolaemus montrouzieri* e *Leptomastix dactylopii*.

5.2 - FEROMONI E ALTRI SEMIOCHIMICI

I semiochimici sono sostanze chimiche prodotte dagli esseri viventi e rilasciate all'esterno che regolano le interazioni tra organismi stimolando nell'organismo ricevente risposte di tipo fisiologico e/o comportamentale. I semiochimici sono tuttora oggetto di numerosi studi da parte di strutture di ricerche sia pubbliche che private, in quanto la conoscenza dei meccanismi biologici che regolano le relazioni tra gli organismi presenti nei diversi ecosistemi rappresenta un tassello fondamentale per l'uso di queste sostanze ai fini del con-

trollo delle popolazioni degli insetti, organismi in cui la comunicazione chimica assume un ruolo rilevante. Le sostanze semiochimiche vengono classificate in feromoni, se regolano i rapporti tra individui appartenenti alla stessa specie, e allelochimici, se regolano i rapporti tra individui appartenenti a specie differenti; questi a loro volta sono distinti in allomoni, cairomoni e sinomoni (Fig. 5.20 ►). Si deve tenere presente che questa classificazione è esclusivamente legata al ruolo ecologico che la sostanza svolge, pertanto non è raro osservare che una determinata sostanza chimica possa svolgere contemporaneamente più funzioni, per esempio, feromone per la specie che la emette e cairomone per la specie antagonista che la intercetta.

5.2.1 - I FEROMONI

I feromoni sono composti chimici che favoriscono la comunicazione tra individui appartenenti alla stessa specie. I feromoni sono oggetto di intensa attività scientifica sin dalla fine del XVII secolo, allorquando cominciarono ad essere avanzate le prime ipotesi di presenza di forme di comunicazione chimica tra insetti appartenenti alla stessa specie. Le prime evidenze scientifiche risalgono al XIX secolo, periodo in cui il naturalista francese Henri Fabre con una serie di esperimenti scoprì che le femmine vergini del lepidottero *Saturnia pyri* erano in grado di attrarre maschi anche a lunghe distanze. Come spesso accade, Fabre cominciò a dedicarsi a questi studi dopo una casuale osservazione. Una sera nel suo studio con le finestre aperte notò la presenza di un cospicuo numero di maschi di *S. pyri* che volteggiavano nei pressi di una gabbietta, all'interno della quale era presente una femmina neosfarfallata della stessa specie. Questa osservazione lo portò ad ipotizzare

che la femmina vergine producesse una sorta di raggi X o altro segnale che richiamava i maschi. Quasi contemporaneamente, osservazioni simili furono eseguite dall'entomologo americano Joseph A. Lintner con un altro lepidottero, *Callosamia promethea*. Si deve comunque attendere la fine degli anni '50 perché il primo feromone, quello del baco da seta, *Bombyx mori*, denominato bombicolo, fosse identificato grazie all'opera del chimico tedesco Adolph Budenandt che, per ottenere questo storico risultato, impiegò venti anni di esperimenti utilizzando per ogni estrazione le estremità addominali di migliaia di femmine vergini. All'incirca negli stessi anni Peter Karlson, biochimico tedesco, e Martin Luscher, entomologo svizzero, coniarono il termine feromone accoppiando e contraendo i due verbi greci *phero* (trasporto) e *ormao* (stimolo). Sebbene all'inizio l'identificazione dei feromoni procedette molto a rilento, negli ultimi 25 anni si è osservato un incremento esponenziale come si vede nella tabella 5.2 ▼. A oggi sono stati identificati i feromoni di circa 7000 insetti appartenenti a diversi ordini, di cui 2500 solo nei Lepidotteri. Nel database "The Pherobase" (Fig. 5.21 ▼) è possibile trovare tutte le informazioni scientifiche aggiornate riguardo ai feromoni e agli altri semiochimici.

5.2.1.1 - CLASSIFICAZIONE DEI FEROMONI

I feromoni si distinguono in funzione del tipo di risposta comportamentale che sono in grado di indurre; per esempio, sono detti feromoni sessuali quelli che facilitano la riproduzione, feromoni traccia quelli che indirizzano verso i luoghi di nutrizione o di ricovero, feromoni di allarme quelli che, segnalando un pericolo, inducono l'allontanamento dal punto di emis-

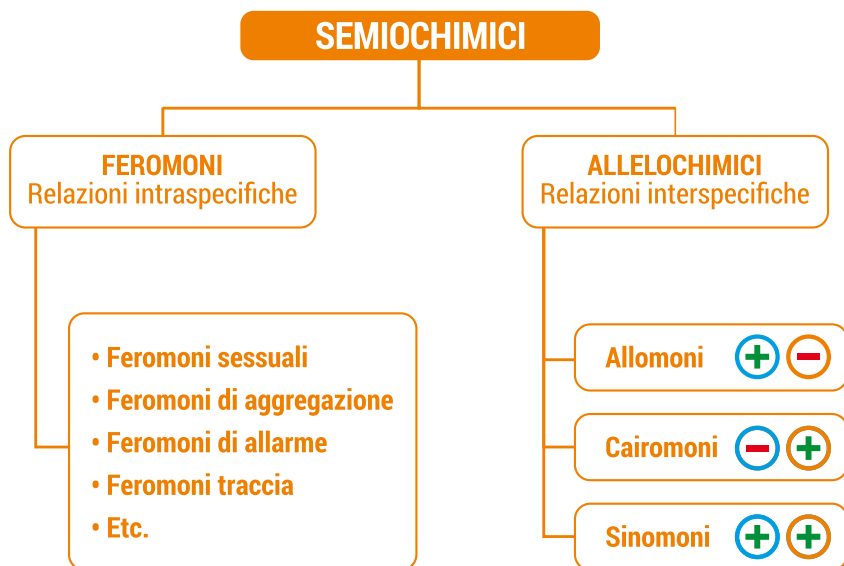


Fig. 5.20 - Schema di classificazione dei semiochimici. I simboli + e - indicano se l'allelochimico è favorevole (+) o sfavorevole (-) al soggetto che lo emette (cerchio blu) o a quello che lo riceve (cerchio arancione).

sione, feromoni di aggregazione e di dispersione quelli che regolano la densità della popolazione. Le sostanze feromonali sono anche distinte in *releaser* e *primer* in funzione del tipo di risposta che inducono nell'individuo ricevente. I feromoni *releaser* inducono un tipo di risposta immediata e comportamentale, ad esempio un adulto maschio di lepidottero che percepisce il feromone sessuale emesso da una femmina adulta vergine modifica immediatamente il proprio volo indirizzandosi verso la sorgente di emissione. Al contrario i feromoni *primer* inducono una serie di lente trasformazioni fisiologiche come lo sviluppo o la maturazione sessuale; per esempio, il feromone prodotto dalle ghiandole mandibolari dell'ape regina inibisce lo sviluppo sessuale delle operaie, che rimangono sterili, e ne regola la divisione del lavoro.

I feromoni sessuali regolano i comportamenti che permettono ai due sessi di avvicinarsi e

di accoppiarsi. Possono agire "a medio/lungo raggio" inducendo l'individuo che lo percepisce a muoversi verso l'individuo emettente e in questo caso sono detti attrattivi sessuali; possono agire "a corto raggio" quando, rilasciati in prossimità dell'individuo ricevente, ne stimolano la ricettività o il comportamento di copula e in questo caso sono detti feromoni di corteggiamento. I feromoni sessuali sono generalmente rilasciati dalle femmine (Fig. 5.22 ▼), ma possono essere rilasciati dai maschi, come per esempio in *Galleria mellonella*, o da entrambi i sessi, come per esempio nelle mosche della frutta, *Ceratitis capitata*, e dell'olivo, *Bactrocera oleae*. Appartengono ai feromoni sessuali anche i feromoni antifrodiziaci prodotti dai maschi di alcune specie al termine dell'accoppiamento per inibire la femmina dall'accettare altri partner.

I feromoni di aggregazione causano un incremento della densità degli individui conspeci-

TAB. 5.2

Numero di feromoni identificati nell'intervallo di tempo 1960-1990.

1960	1965	1970	1975	1980	1986	1990
1	1	22	80	222	436	800



Fig. 5.21 - Pagina web del sito “The Pherobase”, una banca dati che raccoglie le informazioni presenti nella letteratura scientifica relative ai feromoni e agli altri semiochimici.

fici nei pressi della sorgente odorosa. Sono stati descritti numerosi comportamenti legati a questi composti, soprattutto negli imenotteri sociali e nei coleotteri scolitidi. Possono servire per richiamare nuovi individui allorquando sono emessi dagli adulti che per primi colonizzano una pianta ospite (feromoni di colonizzazione dei substrati), ad esempio nel caso dei coleotteri scolitidi appartenenti al genere *Ips*; in altre specie servono a mantenere aggregati gli individui (feromoni gregarizzanti), come nel caso delle cavallette o di

molti eterotteri pentatomidi, le comuni cimici, le cui neanidi di prima età trascorrono i primi giorni di vita in una numerosa colonia prima di disperdersi sulle piante ospiti. In *Locusta migratoria*, la comune cavalletta migratoria, il feromone gregarizzante, il locustolo o 2-metossi-5-etilfenolo, oltre ad essere di tipo *releaser*, in quanto induce l'avvicinamento degli individui, ha anche un effetto *primer* in quanto influenza la fisiologia degli individui, inducendo la comparsa della forma gregaria a partire dalla forma solitaria. I feromoni di ag-

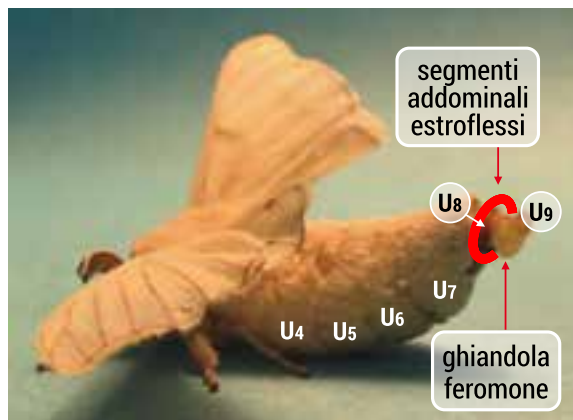


Fig. 5.22 - Femmina di baco da seta nella tipica posizione di richiamo con gli ultimi segmenti addominali estroflessi per favorire il rilascio del feromone sessuale.

gregazione possono essere sostanze volatili e/o di contatto.

I feromoni di allarme stimolano l'allontanamento dalla colonia, per esempio negli afidi, o comportamenti di difesa, per esempio nelle api. Sono generalmente sostanze a basso peso molecolare, volatili, caratterizzate da rapida dispersione e bassa persistenza nell'ambiente, dovendo rapidamente segnalare una situazione di pericolo venutasi a creare ed evitare falsi allarmi. Sono spesso prodotti in ghiandole responsabili di biosintesi, immagazzinamento e rilascio di secrezioni di difesa. L'associazione tra feromoni di allarme e organi di difesa fa ipotizzare che i feromoni di allarme siano un'evoluzione di sostanze chimiche con un originario ruolo difensivo. Sono numerosi gli esempi di insetti che producono feromoni di allarme: molte specie di afidi, quando disturbati o attaccati, rilasciano una sostanza, nota come (E)- β -farnesene, emessa sotto forma di goccioline da strutture chiamate sifoni poste nel tratto dorsale

posteriore dell'addome, che causa allontanamento dalla colonia e caduta dalle piante (Fig. 5.23 ▼).

Molte specie di pentatomidi, le comuni cimici, producono un mix di sostanze chimiche quando vengono molestate. Queste sostanze, prodotte negli adulti dalle ghiandole metatoraciche, hanno il compito sia di difendere direttamente l'individuo che le emette, risultando repellenti per parassitoidi o predatori (quindi con funzione allo-

monale), sia di comunicare il pericolo imminente ai conspecifici. In *Nezara viridula* uno dei componenti delle secrezioni di difesa, l'idrocarburo n-tridecano, ha una doppia funzione feromonale, causando dispersione ad alta concentrazione e aggregazione a bassa concentrazione. L'emissione di un feromone di allarme può determinare una risposta negli individui conspecifici che si realizza in una variazione del comportamento, ad esempio nelle api e in molte specie di formiche induce un aumento dell'aggressività. Una sola ape operaia, ad esempio, può mettere in allarme l'intero alveare emettendo diversi tipi di feromoni di allarme, tra questi uno dei più importanti è l'isopentilacetato prodotto da una ghiandola annessa all'aculeo.

I feromoni traccia sono molto comuni tra gli insetti sociali; le formiche e le termiti li utilizzano soprattutto per marcare itinerari di foraggiamento o di trasferimento della colonia.

5.2.1.2 - MODALITÀ DI PRODUZIONE E PERCEZIONE

I feromoni prodotti dagli insetti sono generalmente di natura lipidica. Hanno un basso peso molecolare, con un numero di atomi di carbonio inferiore o uguale a 20, e sono gene-



Fig. 5.23 Rappresentazione schematica di un afide nell'atto di rilasciare il feromone di allarme dai sifoni.

5
2

ralmente volatili. Contengono gruppi ossigenati come gruppi alcolici, esterici, chetonici, epossidici, cui si accompagnano composti quali monoterpeni, sesquiterpeni e idrocarburi che agiscono come sostanze attrattive a medio/lungo raggio. Molti insetti biosintetizzano i feromoni *ex novo*. Ad esempio i feromoni sessuali di alcune specie di lepidotteri sono costituiti da catene di idrocarburi contenenti da 8 a 18 atomi di carbonio e gruppi funzionali quali aldeidi, alcoli o acetati. Altri insetti producono i feromoni modificando in minima parte specifiche molecole di origine vegetale prodotte dalle piante ospiti. Questa biosintesi si può osservare in molte specie di lepidotteri appartenenti alle famiglie artiidi, danaidi e ninfalidi, in cui il maschio per sintetizzare un feromone di corteggiamento modifica leggermente alcune molecole provenienti dalle piante di cui si è nutrito durante lo stadio larvale. Questi feromoni sono prodotti in ghiandole specializzate situate nell'estremità dell'addome e successivamente spruzzati

sulla femmina o applicati con scaglie adatte, chiamate *hair pencils*, da sacchetti rigonfi reversibili presenti nella zona ventro-laterale di alcuni segmenti addominali chiamati coremata. La percezione del feromone di corteggiamento permette alla femmina di valutare la fitness del maschio ai fini di un successivo accoppiamento.

Altri insetti delegano la produzione di feromoni ad organismi simbionti. È il caso dello scolitide *Ips typographus*, un temibile fitofago delle foreste europee. Quando gli scolitidi pionieri colonizzano un nuovo albero, cominciano a rilasciare un feromone di aggregazione che richiama sulla stessa pianta adulti conspecifici in modo da riuscire a sopraffare le sostanze di difesa prodotte dalla pianta (resine tossiche e appiccicose). Una delle sostanze costituenti il feromone, il *cis-verbenolo*, deriva dalla detossificazione di un terpene, l' α -pinene, composto con funzione difensiva per la pianta, operata da un lievito contenuto nell'intestino del coleottero. Successivamente, quando il livello di colonizzazione della pianta è ritenuto adeguato, il lievito trasforma il *cis-verbenolo* in *verbenone*, il quale agisce come feromone disaggregante, bloccando ulteriori colonizzazioni e quindi un'eccessiva competizione. Composti di origine vegetale possono essere utilizzati dagli insetti come feromoni anche senza successive modificazioni. I maschi di alcune specie di api impollinatrici di orchidee tropicali visitano i fiori di queste piante provvedendo alla loro impollinazione. Dalla loro attività non ricevono in cambio nettare o polline, ma una quantità di sostanze odorose che immagazzinano in speciali organi contenuti nei femori posteriori e che si ipotizza servano a facilitare l'accoppiamento, richiamando le femmine.

I feromoni sono generalmente prodotti in ghiandole esocrine specializzate che si possono trovare in diverse parti del corpo, generalmente nell'epidermide. La loro produzione è limitata ad alcune ore del giorno o della notte, con un andamento ciclico giornaliero, legato al bioritmo dell'insetto.

I feromoni volatili sono percepiti da chemiorecettori olfattivi posti nelle antenne, la maggior parte dei quali è di tipo tricoideo. Si tratta di strutture simili a sottilissimi peli, dotate di numerosi micropori, attraverso cui le molecole odorose raggiungono molecole accettrici, poste sui dendriti dei neuroni sensori presenti alla base dei sensilli. L'eccitazione del neurone e quindi la trasmissione del segnale sono determinate dalla corrispondenza stereochimica tra molecola feromonica e molecola accettrice. I feromoni costituiti da molecole più grosse sono meno volatili e sono percepiti da chemiorecettori di contatto posti in diverse parti del corpo come, ad esempio, l'ovopositore e/o le antenne. In questo caso, il sensillo olfattivo è generalmente di tipo placoideo, costituito da una placca cuticolare a forma di disco sotto la quale si trova il dendrite nervoso.

5.2.1.3 - METODOLOGIE INVESTIGATIVE

Per le indagini sul valore ecologico delle sostanze volatili e lo studio delle fasi comportamentali sono disponibili diverse metodologie investigative. Per gli studi comportamentali gli strumenti più utilizzati sono il tunnel del vento e l'olfattometro, a due o più vie. Il funzionamento è, a grandi linee, simile: l'aria pura o purificata da una batteria di filtri assorbenti entra da un'estremità (la velocità è regolabile), attraversa una o più sorgenti di sostanze volatili (odori), investe gli insetti

ed esce dall'estremità opposta. La risposta dell'insetto può essere valutata in termini di parametri traiettometrici (direzione, velocità lineare e angolare) o di scelta. Gli strumenti possono essere supportati da sistemi di videoregistrazione associati a programmi informatici per la registrazione e l'analisi di eventi (The Observer) e per l'acquisizione automatica e l'analisi di dati traiettometrici (X-Bug, Ethovision).

Il tunnel del vento (Fig. 5.24 ▼) è generalmente utilizzato per lo studio delle sostanze volatili a lungo raggio e per gli insetti che si muovono essenzialmente con il volo. Essendo uno strumento di grandi dimensioni crea limitate costrizioni agli insetti, permettendo di valutare situazioni più simili a quelle di campo. La/e sorgente/i delle sostanze volatili e gli insetti sono posti nella stessa struttura a distanze variabili in funzione del tipo di sostanza, delle capacità di volo dell'insetto in osservazione, etc.

L'olfattometro (Fig. 5.25 ►) è utilizzato soprattutto per lo studio delle sostanze volatili a breve raggio e per gli insetti che hanno buone attitudini alla locomozione. Nella maggior parte dei casi è uno strumento di minori dimensioni rispetto al tunnel del vento per cui può presentare problemi legati al rapporto con le dimensioni dell'insetto. Può essere a due o più vie, permettendo all'insetto di operare una scelta tra più sostanze odorose fornite contemporaneamente (una per braccio).

La cromatografia è una tecnica di separazione di vari componenti di una miscela, che sfrutta in modo particolarmente efficiente la diversa attitudine che ogni molecola o ione possiede

nel distribuirsi tra due differenti fasi (una stazionaria e una mobile). Secondo lo stato fisico della fase stazionaria, la gas-cromatografia si può suddividere in cromatografia gas solido (GSC) e cromatografia gas liquido (GLC). Lo strumento che permette questa separazione è il gas-cromatografo. Spesso nelle analisi di sostanze complesse questo strumento è affiancato da uno spettrometro di massa. Lo spettrometro di massa è uno strumento che scompone lo spettro di una sostanza e ne misura le componenti in base alle loro masse (atomi, molecole, composti).



L'elettroantennografia (Fig. 5.26 ►) è una tecnica che serve a saggiare biologicamente le sostanze volatili, ovvero per analizzare il possibile stimolo che esse esercitano sugli insetti e quantificarne l'attività biologica. Consiste nel registrare, previa amplificazione, la risposta elettrica dell'antenna di un insetto quando viene sottoposta ad un flusso d'aria contenente una sostanza che si vuole biosaggiare. Lo strumento che permette questi biosaggi è l'elettroantennografo.

Questo strumento registra la risposta dell'insetto alle diverse sostanze somministrate, analizzando gli impulsi elettrici che attraversano l'antenna dell'insetto, sulla quale sono posizionati, in prossimità dei sensilli, due elettrodi. La differenza di potenziale registrata fra i due elettrodi fornisce la misura del valore biologico della sostanza somministrata. Spesso elettroantennografo e gascromatografo sono collegati; in questo caso si ha contemporaneamente la composizione chimica della sostanza analizzata e il valore biologico delle sue componenti.

5.2.2 - GLI ALLELOCHIMICI

Gli allelochimici sono messaggeri chimici che regolano i rapporti tra individui appartenenti a specie differenti, anche di regni diversi. Sono sostanze ancora poco conosciute, ma che negli ultimi anni stanno attirando sempre più l'attenzione della comunità scientifica per le grandi opportunità che possono offrire nel concorrere alla gestione degli insetti fitofagi. In funzione dell'individuo che ne trae vantaggio, gli allelochimici vengono distinti in allomoni, kairomoni e sinomoni (Fig. 5.20).

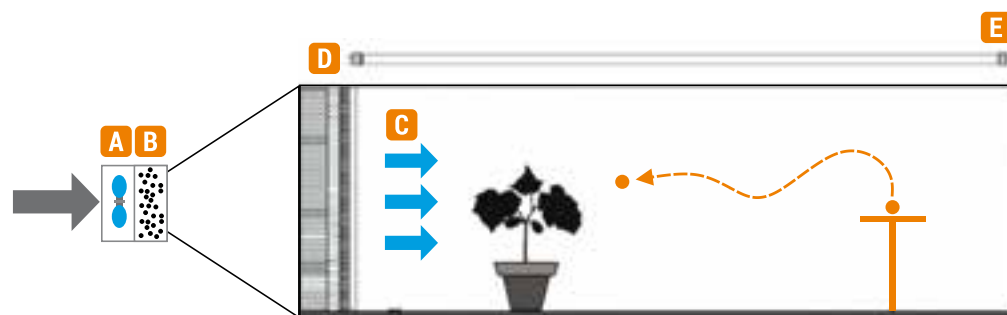


Fig. 5.24 - Rappresentazione schematica di tunnel del vento: ventilatore (A); filtro a carbone attivo (B); camera del volo (C); sistema di griglie per rendere lineare il flusso (D); illuminazione (E). Le frecce azzurre rappresentano la direzione del flusso d'aria nella camera del volo. Il pallino arancio rappresenta l'insetto; la linea tratteggiata, il suo volo dal predellino di rilascio verso la pianta.

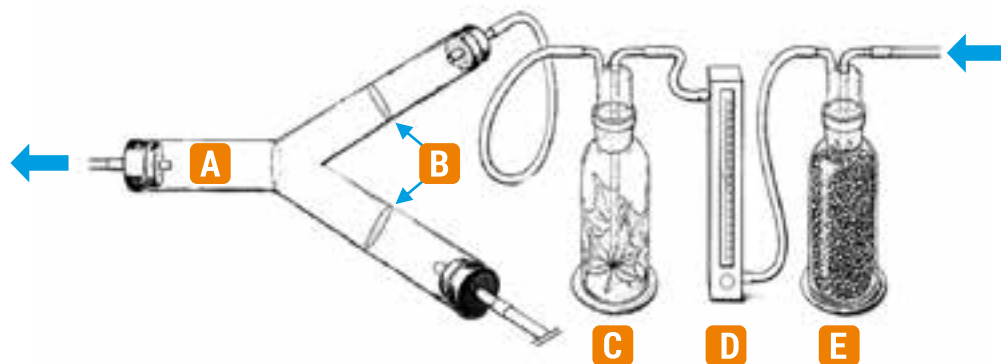


Fig. 5.25 - Rappresentazione schematica di un olfattometro a due vie: zona di rilascio dell'insetto (A); punto oltrepassato il quale si considera che l'insetto abbia effettuato la scelta (B); camera di rilascio dello stimolo (C); regolatore del flusso d'aria (D); filtro a carbone attivo (E). Le frecce indicano la direzione del flusso d'aria.

Gli allomoni sono sostanze utili solo per la specie che le emette. Alcune specie di insetti usano produrre ed emettere nell'ambiente sostanze repellenti per difendersi da eventuali aggressori. Altre specie producono delle sostanze chimiche simili a quelle prodotte da individui di specie differenti; si parla in questo caso di mimetismo chimico. Questa forma di mimetismo è utilizzata, ad esempio, da alcune specie di vespe sociali del genere *Polistes*

(*P. sulcifer*, *P. semenowi* e *P. atrimandibularis*) in cui le regine usurpano giovani colonie di specie appartenenti allo stesso genere (*P. dominulus*, *P. nymphus*, *P. gallicus* e *P. biglumis*), ne scacciano o ne sottomettono la femmina dominante e "costringono" le operaie ad allevare la prole parassita, costituita esclusivamente da riproduttori. Un altro esempio di mimetismo chimico è rappresentato dal coleottero *Atemeles pubicollis* che depone

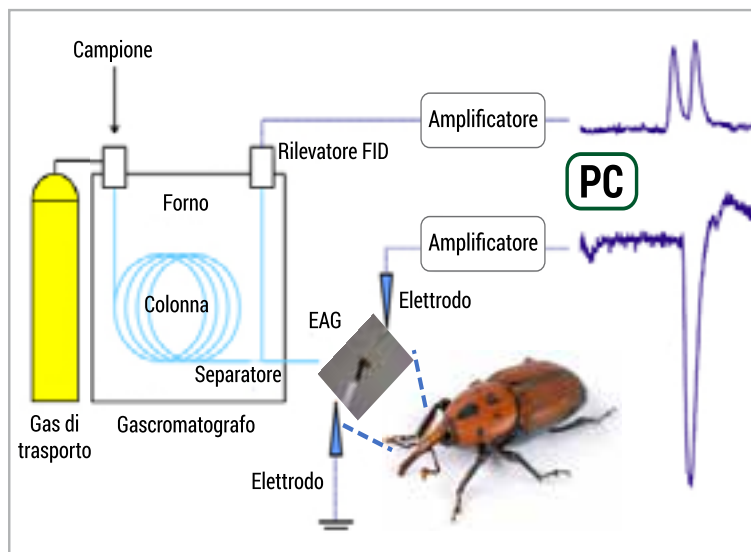


Fig. 5.26 Rappresentazione schematica di un sistema per elettroantennografia appaiata alla gascromatografia (GC-EAG). In blu sono riportati il cromatogramma (in alto) e l'elettroantennogramma (in basso). Nella foto, la preparata di un'antenna di punteruolo rosso delle palme con accanto l'adulto.

le uova nei formicai di *Formica polictena*. Le giovani larve del coleottero non vengono scoperte dalle formiche perché emettono sostanze chimiche simili a quelle che stimolano le cure parentali da parte delle formiche, le quali le nutrono come se fossero le proprie. Il mimetismo chimico si ritrova anche nel mondo vegetale: ad esempio, i fiori di orchidee della famiglia delle Ofridi emettono sostanze simili ai feromoni emessi dalle femmine di alcune specie di insetti impollinatori; i maschi di queste specie vengono attratti e tentano di accoppiarsi con le strutture floreali. Durante l'attività, sull'addome dell'insetto rimane incollata una minuscola sacca pollinica che, trasportata su un'altra pianta durante un successivo tentativo di accoppiamento, ne permette la fecondazione.

I kairomoni sono sostanze vantaggiose per la specie che le percepisce. Appartengono a questa categoria i prodotti derivanti dall'attività metabolica che permettono agli organismi del livello trofico superiore di orientarsi nell'ambiente e localizzare i propri ospiti o prede. A seconda della loro volatilità e della distanza della sorgente di emissione dall'individuo ricevente, queste sostanze vengono distinte in kairomoni a lungo raggio, a breve raggio o di contatto. Sono kairomoni a lungo raggio, ad esempio, il feromone sessuale emesso dagli adulti di lepidotteri e la saliva prodotta dalle larve dei lepidotteri durante l'erosione dei tessuti vegetali, utilizzati dai parassitoidi durante il processo di ricerca dell'ospite. Esempi di sostanze ad azione kairomonale a breve raggio e/o di contatto sono la melata prodotta da afidi e cocciniglie, le sostanze cerose prodotte dalle cocciniglie, le scaglie perdute dalle femmine dei lepidotteri durante l'ovideposizione, le glicoproteine con funzione di collante per le uova prodotte dagli ovidepositori

pentatomidi o dalle ghiandole colleteriche dei coleotteri crisomelidi.

Analogamente, i fitofagi specialisti usano semiochimici prodotti dalle piante ospiti per localizzarle e spostarsi su di esse. Ad esempio, il lepidottero *Pieris rapae* localizza le piante ospiti, appartenenti alla famiglia delle Brassicacee, attraverso gli isocianati, composti volatili caratteristici di questa famiglia.

I sinomoni sono sostanze utili sia per la specie che le emette che per quella ricevente. Le sostanze volatili rilasciate dalle piante infestate da insetti fitofagi agiscono da sinomoni quando attraggono entomofagi che parassitizzano o predano i fitofagi responsabili dell'attacco (vantaggio per chi riceve), riducendo l'infestazione e quindi il danno per le piante (vantaggio per chi emette). Questi volatili possono essere estremamente selettivi, risultando attrattivi solo per la specie che effettivamente vive a spese dell'insetto fitofago responsabile dell'attacco. Ad esempio il parassitoide braconide *Cardiochiles nigriceps* è attratto dalle sostanze volatili prodotte dalle piante di cotone, tabacco e mais danneggiate dalle larve del lepidottero *Heliothis virescens*, ma non da quelle prodotte dalle piante danneggiate dalle larve di una specie molto vicina, *Helicoverpa zea*, che non sono ospiti del parassitoide.

5.2.3 - APPLICAZIONE DEI SEMIOCHIMICI

I semiochimici trovano ampia applicazione nel controllo degli insetti fitofagi in quelle strategie che mirano alla manipolazione del comportamento dell'insetto bersaglio per lo più nell'ottica di ridurre le possibilità di accoppiamento e quindi di produrre progenie. In agricoltura biologica trovano largo impiego in quanto sono sostanze naturali, attive a dosi molto basse, altamente specifiche e ad impatto minimo, se non

nullo, nei confronti delle specie non bersaglio. I semiochimici possono essere impiegati con metodo indiretto o diretto (Tab. 5.3 ►). Nel modo indiretto, il semiochimico non è utilizzato per limitare la popolazione dell'insetto bersaglio, ma solo per acquisire le informazioni utili a pianificare possibili interventi con altri mezzi di lotta. Nel modo diretto, il semiochimico agisce direttamente nell'abbattere le popolazioni dell'insetto bersaglio. Ad oggi tali applicazioni riguardano quasi esclusivamente i feromoni, in particolare i feromoni sessuali e, in minor misura, i feromoni di aggregazione.

5.2.3.1 - METODO INDIRETTO

I feromoni sono applicati indirettamente nel controllo delle popolazioni degli insetti bersaglio con la tecnica del Monitoraggio o Catture Spia. Nel monitoraggio, i feromoni, formulati in opportuni erogatori e in combinazione con diversi modelli di trappola, servono a rilevare la presenza dell'insetto, definirne l'attività di volo e/o stimarne la densità di popolazione, al fine di decidere, previo confronto con eventuali soglie di intervento, se, quando e con quali mezzi intervenire. I feromoni maggiormente impiegati nel monitoraggio sono i feromoni sessuali di diverse specie di lepidotteri e i feromoni di aggregazione di alcuni coleotteri, tra cui specie dannose alle derrate alimentari e di interesse forestale.

Le trappole sono lo strumento che permette di catturare gli insetti attratti dal feromone rilasciato dagli erogatori. Possono essere classificate in unidirezionali e polidirezionali a seconda che il feromone sia diffuso in una o in più direzioni. Di seguito sono descritti alcuni tra i principali modelli di trappole a feromoni di impiego comune.



La trappola cromotropica (Fig. 5.27A ►) è costituita da fogli plastici ricoperti di colla che secca molto lentamente, la cui

efficacia attrattiva è esercitata dal colore (giallo, azzurro o bianco). Le trappole cromotropiche costituiscono un valido sistema di monitoraggio per quelle specie di cui non si ha a disposizione il feromone. Le dimensioni più comunemente usate sono 20x22 cm. Le trappole possono essere usate sia in pieno campo che in serra. In pieno campo sono sufficienti 3-5 trappole per ettaro per evidenziare la presenza degli insetti. Negli ambienti protetti è consigliato disporre le trappole poco sopra la chioma delle piante in numero di 1 ogni 10/15 mq di superficie. Le trappole cromotropiche possono anche essere potenziate aggiungendo un erogatore del feromone.

La funnel trap (Fig. 5.27B ►) è una trappola in plastica rigida composta da 3 parti: una parte superiore con apposito attacco per i vari tipi di feromone; una parte intermedia ad imbuto; una parte inferiore per la raccolta degli insetti catturati. La trappola è facilmente assemblabile e smontabile in quanto provvista di attacchi ad incastro.

La trappola a bottiglia (Fig. 5.27C ►) rappresenta una delle più semplici tipologie di trappole a feromoni in quanto può essere preparata anche artigianalmente usando una comune bottiglia di plastica, all'interno della quale, ancorato al tappo, è inserito l'erogatore contenente il feromone. Sulla superficie sono praticati 10-12 fori per permettere l'ingresso degli insetti. Recentemente sono stati messi in commercio particolari tappi universali da applicare alle bottiglie, come per esempio il

TAB. 5.3

AZIONE NEI CONFRONTI DEL FITOFAGO	TECNICA DI IMPIEGO	SCOPO	METODO	VANTAGGI	LIMITI
INDIRETTA	Monitoraggio (catture spia)	<ul style="list-style-type: none"> • seguire la dinamica di popolazione dell'insetto • stabilire la presenza degli adulti • definire l'attività di volo • stimare la densità di popolazione • valutare la necessità di interventi 	<ul style="list-style-type: none"> • trappole innescate con feromone • poche trappole per unità di superficie • distribuzione nel campo in modo opportuno (zone maggiormente frequentate dal fitofago) • controlli cadenzati (1/settimana) 	<ul style="list-style-type: none"> • riduzione del numero dei trattamenti • tempestività degli interventi 	<ul style="list-style-type: none"> • in alcuni casi non è possibile stabilire una relazione tra catture e soglie di intervento • informazioni indirette (da interpretare)
DIRETTA	Cattura massale	<ul style="list-style-type: none"> • abbattimento delle popolazioni del fitofago 	<ul style="list-style-type: none"> • trappole innescate con feromone • molte trappole/unità di superficie • distribuzione nel campo in modo opportuno (zone maggiormente frequentate dal fitofago) 	<ul style="list-style-type: none"> • efficace contro lepidotteri e coleotteri 	<ul style="list-style-type: none"> • limitate applicazioni in campo agrario • costi sostenuti di gestione • interazioni con entomofagi
	Confusione sessuale	<ul style="list-style-type: none"> • abbattimento delle popolazioni del fitofago 	<ul style="list-style-type: none"> • erogatori distribuiti in campo 	<ul style="list-style-type: none"> • efficace contro lepidotteri • erogatori in grado di fornire una copertura stagionale 	<ul style="list-style-type: none"> • poco efficace a bassa densità di popolazione del fitofago • poco efficace su appezzamenti di limitate estensioni • interazione con entomofagi

Tab. 5.3 - Tabella riepilogativa dei principali metodi di applicazione dei feromoni per il controllo delle popolazioni delle specie di insetti fitofagi.



Fig. 5.27 - Rappresentazione dei principali modelli di trappole utilizzate per il monitoraggio: trappole cromotropiche (A); funnel trap (B); trappola a bottiglia (C); delta trap (D); trappola a imbuto (E).

Tap-Trap[®], che facilitano l'uso delle trappole a bottiglia e ne incrementano il potere attrattivo, anche nell'ottica di un uso ai fini della cattura massale. La trappola a bottiglia è pratica, efficiente e poco costosa.

La delta trap (Fig. 5.27D ▲) è una trappola bidirezionale versatile in plastica pieghevole che, grazie alla presenza di una base collosa mobile, è facilmente ispezionabile senza dover essere smontata. Il feromone viene collocato al centro della base collosa o in un apposito alloggiamento della tettoia. La trappola viene impiegata indifferentemente sia negli ambienti chiusi che in pieno campo. Se ne sconsiglia l'impiego in quelle aree dove la polvere può costituire un serio inconveniente.

La trappola ad imbuto (Fig. 5.27E ▲) può avere diverse forme e/o strutture, ma il principio di funzionamento è quello della funnel trap: gli insetti attratti dal feromone sessuale po-

sizionato all'interno della trappola, nella parte più stretta dell'imbuto, volano in quest'ultima, scivolano nel foro e vengono catturati in un apposito sacchetto di plastica posto attorno al foro di uscita dell'imbuto.

5.2.3.2 - METODO DIRETTO

I feromoni sessuali trovano applicazione pratica come mezzi diretti di controllo di specie bersaglio attraverso tecniche che mirano a interferire con la loro attività riproduttiva, quali la Cattura Massale e la Confusione Sessuale.

La cattura massale persegue il fine di rimuovere dall'ambiente il maggiore numero possibile di individui, di sesso maschile, se si utilizzano feromoni sessuali per il controllo dei lepidotteri o degli omotteri, oppure di entrambi i sessi, se si impiegano feromoni di aggregazione per il controllo dei coleotteri. La rimozione degli individui dovrebbe limitare al

massimo gli accoppiamenti e quindi determinare nel tempo una sostanziale diminuzione della popolazione dell'insetto bersaglio. Il successo della cattura massale è legato ad alcuni fattori quali l'estensione della superficie oggetto del controllo e un livello di infestazione di partenza medio basso. Infatti se la cattura massale viene applicata in piccoli appezzamenti, inseriti in aree colturali più vaste o con livelli alti di infestazione del fitofago, la probabilità che si verifichino accoppiamenti rimane in ogni caso elevata. I successi maggiori sono riconducibili al controllo di insetti forestali come quello messo in atto alla fine degli anni '70 nelle foreste di conifere in Norvegia a seguito di una grave infestazione di *Ips typographus*; il metodo, applicato su larga scala, ha portato alla cattura di più di 7 bilioni di individui nei diversi anni di realizzazione.

La confusione sessuale persegue il fine di interferire sulla percezione e sulla risposta comportamentale del maschio al feromone sessuale emesso dalla femmina. È applicata principalmente per il controllo di alcuni lepidotteri. Nel metodo della confusione sessuale non vengono utilizzate trappole, ma vengono distribuiti in gran numero nell'ambiente degli erogatori (*dispenser*) impregnati con la sostanza feromonica. In commercio esistono *dispenser* di diverse forme: spaghetti, piastrina, ampollina ecc. Diverse sono le ipotesi che possono spiegare i meccanismi fisiologici e comportamentali che entrano in gioco nella confusione sessuale; i più accreditati sono riconducibili a due tipologie: meccanismi non competitivi e meccanismi competitivi.

Nei meccanismi non competitivi il feromone sessuale distribuito nell'ambiente in quantità elevata, nell'ordine di alcuni milligrammi al giorno (all'incirca alcune centinaia di volte

superiore a quella emessa da una femmina), non compete con il feromone emesso naturalmente delle femmine, ma agisce sulla capacità di attrazione del maschio secondo due principali meccanismi: il mascheramento del messaggio feromonico e la desensibilizzazione del sistema ricettivo del maschio. Nell'ipotesi del mascheramento del messaggio feromonico, il maschio, pur conservando la capacità di percepire il feromone, non è più in grado di determinare i confini del "corridoio odoroso" creato dall'emissione del feromone naturale e pertanto non riesce a compiere il tipico movimento a zig-zag che gli consente di seguire la traccia odorosa della femmina (Fig. 5.28 ►). Nell'ipotesi della desensibilizzazione del sistema ricettivo del maschio, si ritiene che questo, esposto a una dose elevata di feromone sintetico, subisca una sensibile riduzione della capacità di percepirlo a causa di meccanismi di saturazione dei chemiorecettori antennali e di assuefazione del sistema nervoso centrale e pertanto cessa di volare. Tra i più diffusi erogatori utilizzati per il rilascio di elevate quantità di feromone in modo uniforme per 5-6 mesi si segnalano l'erogatore a spaghetti (Isonet®L - Shin-Etsu Chemical) e l'erogatore ad ampolla (Rak®2max - Basf Italia) (Fig. 5.29A, B ▼) che diffondono passivamente il feromone grazie alle plastiche con cui sono realizzati, le quali hanno caratteristiche di porosità tali da favorire l'evaporazione del feromone in relazione alla temperatura e alle correnti d'aria. Altri erogatori sono dei dispositivi elettronici temporizzati, ad esempio CheckMate® Puffer LB (Suterra) (Fig. 5.29C ▼), che sono in grado di rilasciare attivamente il feromone, formulato in bombolette per aerosol, in dosi e momenti prestabiliti.

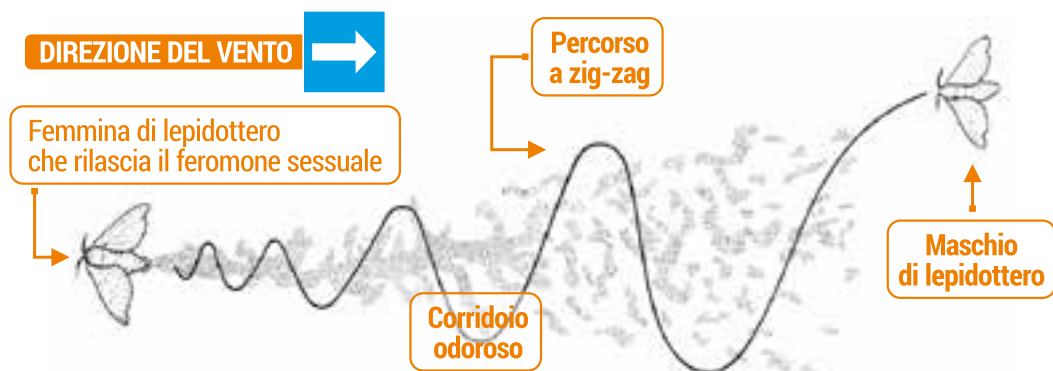


Fig. 5.28 - Rappresentazione schematica della modalità con cui il maschio segue la traccia rilasciata dalla femmina.

Nei meccanismi competitivi (o disorientamento sessuale) il feromone sessuale è distribuito in modo da competere direttamente con quello emesso dalla femmine attraverso la tecnica delle false piste. La tecnica delle false piste prevede il posizionamento in campo di un elevato numero di erogatori (circa 2.000-3.000/ha) attivati con una quantità di feromone di circa dieci volte minore rispetto a quella utilizzata per la confusione sessuale, in modo che il maschio impieghi molto tempo per seguire le false piste. Erogatori in grado di creare false piste sono, per esempio, Ecodian (Isagro) costruito con materiale biodegradabile e utilizzato per il controllo di *Cydia pomonella* e *Cydia molesta* sulle pomacee (Fig. 5.29D ▼); il filo Ecodian SL (Isagro) costituito da un filo diffusore di cellulosa rivestito di materiale biodegradabile, Mater-Bi, per il basso rilascio di feromone per il controllo di *Spodoptera littoralis* in condizioni di serra o di pieno campo (Fig. 5.29E ▼).

Recentemente sono state messe a punto delle varianti del metodo della confusione sessuale note come autoconfusione e auto-sterilizzazione.

Nel metodo dell'autoconfusione, il feromone sessuale è usato per impregnare delle polveri finissime con cui, per effetti elettrostatici, si imbrattano i maschi alla ricerca delle femmine; in questo modo, essi stessi diventano attivi erogatori di feromone creando l'effetto confusione. Il metodo dell'autosterilizzazione si differenzia da quello appena illustrato per il fatto che le sostanze con cui si imbrattano i maschi inducono la sterilità dell'individuo contaminato. Negli ultimi anni l'applicazione della confusione sessuale e più in generale dei sistemi di inibizione degli accoppiamenti ha avuto notevoli sviluppi anche se le esperienze acquisite mettono sempre di più in evidenza l'importanza di un costante e regolare controllo nel corso della stagione da parte di tecnici competenti e preparati, in grado di valutarne l'efficacia ed eventualmente intervenire in modo adeguato.

5.3 - MICRORGANISMI ENTOMOPATOGENI

Gli insetti sono suscettibili ad un ampio spettro di malattie acute o letali causate da microrganismi patogeni che possono essere utilizzati come regolatori demografici delle



Fig. 5.29 - Tipi di erogatori utilizzati nel metodo della confusione sessuale: erogatore a spaghetti (A); erogatore ad ampolla (B); erogatore elettronico temporizzato (C); erogatore a gancetto (D); erogatore a filo (E).

popolazioni di insetti fitofagi. Da un punto di vista applicativo questi organismi patogeni sono oggetto di importanti ricerche nazionali ed internazionali che hanno lo scopo di commercializzare prodotti a base di organismi entomopatogeni sempre più efficaci da applicare in programmi di gestione fitosanitaria eco-compatibili. Questa esigenza è diventata ancora più attuale anche in considerazione dei nuovi regolamenti comunitari che favoriscono sempre più lo sviluppo e la registrazione di sostanze a minore impatto ambientale per il controllo degli organismi dannosi (Direttiva CE 2009/128; Regolamento CE 1107/2009). Il mercato dei preparati microbiologici in Italia rappresenta ancora una quota ridotta, anche se si prevede un consistente sviluppo nei prossimi anni. In generale l'impiego di preparati microbiologici è in molti casi operativamente simile all'intervento che potrebbe essere attuato con sostanze chimiche, tuttavia per una buona riuscita dell'inter-

vento, esso necessita di conoscenze tecniche approfondite e della comprensione delle relazioni che legano l'insetto con l'entomopatogeno e l'ambiente.

Gli agenti entomopatogeni che saranno trattati sono: Batteri, Virus, Funghi e Nematodi entomoparassiti. Questi ultimi, pur essendo animali, sono tradizionalmente inclusi nel contesto dei microorganismi entomopatogeni in quanto le specie di interesse applicativo agiscono in virtù di rapporti simbiotici con batteri intestinali indispensabili nel processo di soppressione dell'insetto ospite.

5.3.1 - BATTERI

I batteri sono organismi procarioti unicellulari. Si contraddistinguono essenzialmente per la mancanza di organuli come nucleo e mitocondri e per la riproduzione di tipo binaria. Molte specie di batteri vivono in rapporto con gli insetti, alcune di queste sono patogene primarie, altre invece si comportano come

patogene secondarie od opportuniste, trattandosi per lo più di specie di batteri saprofiti o simbiotici che agiscono come patogeni solo in particolari condizioni.

In generale i batteri entomopatogeni inducono nell'ospite una riduzione del turgore del corpo che progredisce fino al flaccido. La maggior parte delle infezioni batteriche avviene a spese dell'intestino medio determinando sintomi quali cessazione dell'alimentazione e diarrea. Ad esempio nel caso del *Bacillus thuringiensis*, l'insetto infettato presenta un'iniziale colorazione grigiastra della zona toracica e traslucida in quella addominale. Con il procedere della malattia, tutto il corpo assume colorazioni scure (marrone-nero) come conseguenza dell'estendersi dell'infezione batterica in tutto l'emocele.

La maggior parte dei batteri entomopatogeni si ritrova nelle famiglie Bacillaceae, Pseudomonadaceae, Enterobacteriaceae, Streptococcaceae e Micrococcaceae; di queste Bacillaceae ed Enterobacteriaceae comprendono la maggior parte delle specie entomopatogene. Se si escludono poche eccezioni, i batteri entomopatogeni più comunemente impiegati possono essere allevati su un'ampia gamma di substrati non molto costosi, una caratteristica questa che ne ha facilitato enormemente la produzione industriale.

5.3.1.1 - *BACILLUS THURINGIENSIS*

La famiglia Bacillaceae, in cui sono presenti batteri sporigeni di forme aerobiche e forme anaerobiche, include il genere *Bacillus* che presenta caratteristiche di interesse applicativo in quanto in grado di produrre tossine insetticide molto selettive. La ricerca si è concentrata su *Bacillus thuringiensis* (Bt) che è in commercio da oltre 40 anni.

Le principali motivazioni del sorprendente

successo di Bt sono: 1) la notevole efficacia insetticida; 2) la presenza di più tipi di proteine che hanno efficacia verso un'ampia gamma di insetti fitofagi; 3) la relativa non tossicità nei confronti di insetti fitofagi non-bersaglio, di insetti entomofagi (predatori e parassitoidi) e di insetti impollinatori; 4) la facilità della produzione industriale e con costi contenuti; 5) l'adattabilità verso formulazioni convenzionali e comuni tecnologie per l'applicazione in campo. Ad oggi si conoscono più di 150 specie di insetti appartenenti agli ordini dei lepidotteri, ditteri e coleotteri che sono suscettibili a Bt. Affinché il batterio sia efficace deve essere ingerito dall'insetto allo stadio larvale. Bt è un batterio sporigeno di forma allungata (1,2-5 micron), gram positivo, aerobico facoltativo; utilizza carboidrati come fonte principale di energia; può essere facilmente isolato in un semplice medium di agar da una ampia varietà di habitat come suolo, acqua, piante, farine, insetti morti ed escrementi di insetto. È stato isolato per la prima volta nel 1901 da larve infette di *Bombyx mori*, il comune baco da seta. Nel 1915, Ernest Berliner fece la prima descrizione di questo batterio ottenuto da larve di *Ephestia kuehniella*, la comune tignola delle farine, rinvenute in un granaio di Thuringia in Germania da cui il nome della specie "thuringiensis". Attualmente Bt è considerato un complesso di sottospecie tutte caratterizzate dal fatto di produrre un corpo parasporale durante le sporulazione (Fig. 5.30 ▼). In letteratura, il termine sottospecie lo si può trovare sostituito dal termine varietà o dal termine ceppo. Bt produce una gamma di tossine e sinergizzanti di tossine. Tra le principali tossine si ricordano le δ -endotossine Cry e Cyt, le β -esotossine, presenti solo in alcuni isolati di Bt, e alcuni enzimi come le fosfolipasi che favoriscono l'attività delle δ -endotossine. Le δ -endotossine sono pro-

teine contenute nel corpo parasporale, sotto forma di protossine, le quali, dopo l'ingestione, sono convertite in tossine per mezzo degli enzimi proteolitici presenti nell'intestino medio degli insetti.

Attualmente si conoscono oltre 60 sottospecie di Bt distinte con test sierologici basati sugli antigeni flagellari (antigene H). Ciascuna sottospecie corrisponde ad uno specifico numero di antigeni H. Poiché la nomenclatura "sottospecie-sierotipo H" non sempre corrisponde alle proprietà insetticide del batterio, per individuare le specie isolate vengono adoperati acronimi e numeri.

5.3.1.2 - CICLO DI SVILUPPO DI *B. THURINGIENSIS*

Il ciclo di sviluppo di Bt si presenta piuttosto semplice se confrontato con quello di altri patogeni di insetti (Fig. 5.31 ►). In presenza di sufficienti elementi nutritivi, le spore di Bt germinano producendo cellule vegetative che si accrescono e si riproducono per divisione binaria (crescita vegetativa). Le cellule batteriche continuano a moltiplicarsi fino a che uno o più nutrienti, es. zucchero, alcuni particolari amminoacidi e ossigeno, sono presenti in quantità sufficiente. In assenza di queste sostanze, si assiste a un processo di maturazione delle cellule che si trasformano in sporangi (fase di sporulazione) (Fig. 5.30). Uno sporangio si compone di una membrana protettiva detta esosporio, che racchiude una spora e un corpo parasporale, talvolta anche più di uno, comunemente chiamato cristallo, formato da proteine cristallizzate, che rappresenta all'incirca il 20-30% delle proteine dello sporangio. Le spore sono metabolicamente inattive e possono sopravvivere per lunghi periodi fino a quando non si ripresentano le condizioni favorevoli allo sviluppo vegetativo.



Fig. 5.30 - Foto al Microscopio Elettronico a Trasmissione della sezione longitudinale di *Bacillus thuringiensis* nella fase finale del ciclo di sporulazione. Sono visibili la spora di forma ovoidale e di colorazione nera e il cristallo a forma bipiramidale e di colorazione grigia.

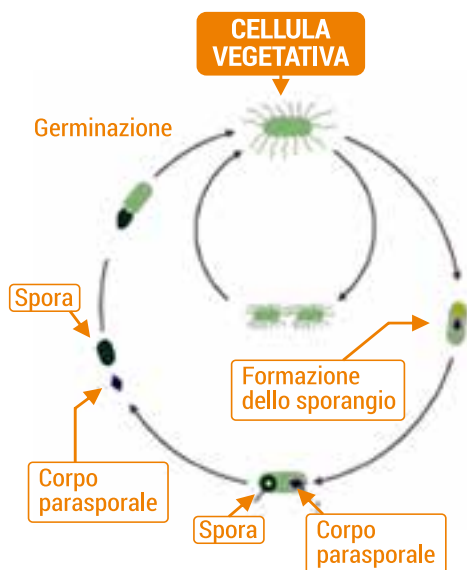


Fig. 5.31 - Rappresentazione schematica del ciclo di sviluppo di Bt.

5.3.1.3 - LE TOSSINE DI *B. THURINGIENSIS*

Nei preparati commerciali a base di Bt i principali composti attivi sono la spora e il corpo parasporale. Nei confronti di molte

specie di insetti bersaglio, l'azione insetticida è svolta dal corpo parasporale che, come riportato in precedenza, è formato da proteine δ -endotossine. Le proprietà tossiche di queste proteine erano note fin dalla loro individuazione (anni '50), ma è solo negli anni '80, grazie allo sviluppo delle tecniche sul DNA ricombinante, che si è stabilito che le δ -endotossine di Bt sono codificate da geni presenti nei plasmidi. Sulla scia di queste scoperte, si è avviata un'intensa attività di ricerca svolta da molti laboratori al fine di comprenderne le basi genetiche e le caratteristiche molecolari. Nel 1989 è stata applicata una terminologia esemplificata per denominare ogni proteina Bt ad azione insetticida. In base a questa nomenclatura ci si riferisce a proteine Cry e Cyt.

La sigla Cry (contrazione del termine anglosassone *crystal*) identifica un gruppo di proteine ad azione tossica codificate da un gene identificato dalla corrispondente sigla cry. La sigla Cry è completata da un numero arabo che identifica il patotipo (1 e 2 per le proteine tossiche verso i lepidotteri, 3 per quelle tossiche nei confronti dei coleotteri e 4 per quelle tossiche per i ditteri) e da lettere, in maiuscolo e in minuscolo, che ne indicano altri caratteri, come, ad esempio, la dimensione.

La sigla Cyt (contrazione del termine *cytolysis*) è utilizzata per un gruppo di tossine isolate per la prima volta da Bt sottospecie *israelensis* con attività citolitica, codificate dal gene indicato con la sigla cyt. In generale le proteine del cristallo rappresentano il componente tossico di circa il 90% dei prodotti insetticidi microbiologici che vengono prodotti nel mondo.

5.3.1.4 - MODALITÀ DI AZIONE DELLE ENDOTOSSINE

Tossine Cry

Lo sporangio di Bt, giunto per penetrazione passiva (ingerito dalla larva) nell'intestino medio dell'insetto, in condizioni di pH ottimale (8-10) si dissolve e il corpo parasporale libera le tossine (Fig. 5.32 ▼). Affinché questa liberazione avvenga è necessario che si abbia la riduzione dei ponti disolfurici responsabili della stabilizzazione delle molecole Cry nel corpo parasporale. Una volta attivate, le tossine oltrepassano la membrana peritrofica e si legano a specifici recettori presenti sui microvilli dell'epitelio intestinale (Fig. 5.32). Questo passaggio, essenziale perché si inneschi il processo, però non è di per sé sufficiente per avviare il fenomeno della intossicazione. Infatti è dimostrato che esistono importanti processi post legame della tossina con i recettori della membrana plasmatica delle cellule intestinali che favoriscono l'integrazione della tossina stessa e la formazione di pori.

A seguito della formazione di questi pori si ha un riversamento del contenuto intestinale nell'emocele dell'insetto che altera il pH dell'emolinfa e che induce rapidamente la paralisi dei muscoli che controllano l'attività delle appendici boccali. Anche se la morte dell'insetto avviene dopo alcuni giorni, il blocco dell'attività di nutrizione comporta che l'insetto non possa produrre ulteriori danni alla pianta.

Tossine Cyt

Questo gruppo di tossine è denominato Cyt per il fatto di avere azione citolitica nei confronti di un'ampia gamma di cellule di organi-

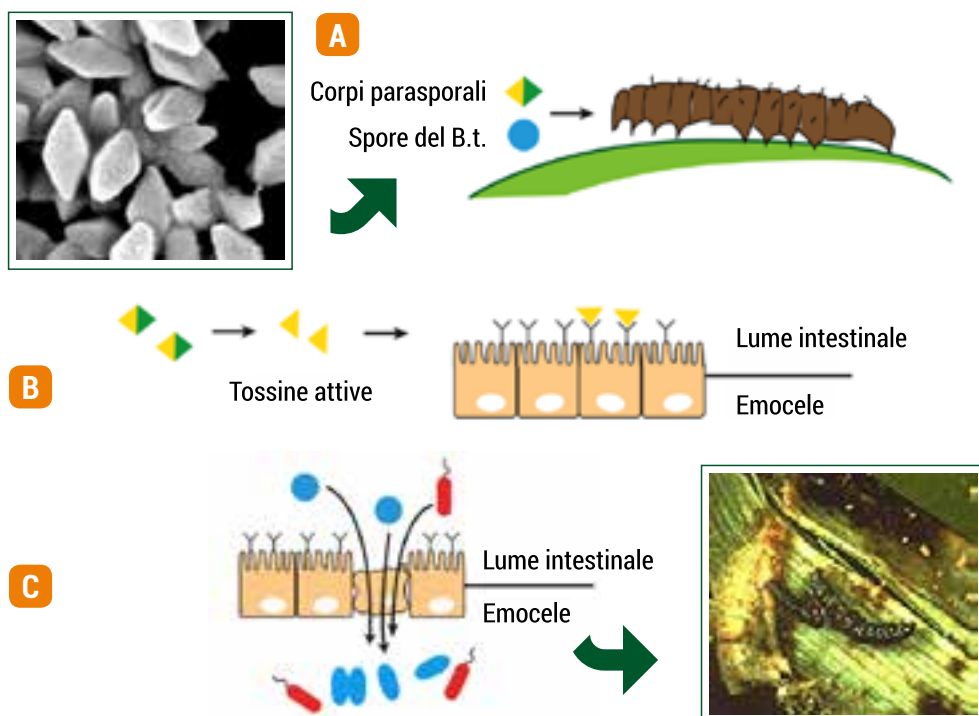


Fig. 5.32 - Rappresentazione schematica della modalità di azione delle tossine Cry: la larva nutrendosi ingerisce gli sporangi di Bt contenenti le spore e i corpi parasporali (A); i corpi parasporali nell'intestino si dissolvono e liberano le tossine che si legano a specifici recettori presenti sui microvilli dell'epitelio intestinale (B); si formano pori dai quali si ha riversamento del contenuto intestinale nell'emocele e viceversa con conseguente paralisi e morte dell'insetto (C).

smi vertebrati ed invertebrati. Come nel caso delle tossine Cry, anche le tossine Cyt sono prodotte durante la fase della sporulazione e si ritrovano cristallizzate a formare parte del corpo parasporale. Spesso si presentano associate con le proteine Cry, ma non danno origine a fenomeni di co-cristallizzazione. La modalità di azione di queste proteine è simile a quella già descritta per le proteine Cry. Si differenziano da queste ultime per il fatto di non avere bisogno di specifici recettori della membrana plasmatica, in quanto si legano ad essa tramite affinità con la porzione lipidica della membrana. Un'importante proprietà delle proteine Cyt è quella di avere un'azione sinergica con le proteine Cry poiché ne favoriscono l'attività tossica.

Altre tossine

Durante la fase vegetativa, alcune sottospecie di Bt producono un metabolita secondario, la β -esotossina, che ha un certo interesse pratico. Questa esotossina è stata isolata per la prima volta da Bt subsp. *thuringiensis*; all'inizio, si riteneva che fosse un metabolita solo di alcune sottospecie, negli ultimi anni, tuttavia, è stata ritrovata in molti altri isolati naturali. La β -esotossina agisce come inibitore della sintesi del RNA interferendo con l'RNA polimerasi. In molti Paesi non ne è consentita la presenza nei preparati commerciali per via della sua temuta teratogenicità nei confronti dei vertebrati. Recentemente si è messo in evidenza il ruolo sinergizzante della β -esotossina nei confronti delle altre tossine. Per

esempio, esperimenti effettuati con Bt subsp. *kurstaki* nei confronti di larve di un lepidottero defogliatore hanno evidenziato un aumento della mortalità dal 20 al 70%, aggiungendo al prodotto insetticida circa 0,01% di β -esotossina. Si pensa che la β -esotossina interferendo con la sintesi delle proteine impedisca alla larva di riparare i danni all'epitelio intestinale causati dalle endotossine.

5.3.1.5 - FORMULAZIONI E MODALITÀ DI APPLICAZIONE

Bt è tipicamente prodotto per fermentazione sommersa e non richiede particolari esigenze nutritive per lo sviluppo vegetativo, anche se è necessario garantire abbondanza di azoto e di carbonio e di ioni fosfato. Se inizialmente erano impiegati sottoprodotti dell'industria alimentare, oggi si tende a utilizzare substrati più sofisticati e di composizione nota.

Dal punto di vista della formulazione, le esigenze di un organismo entomopatogeno sono di norma maggiori e più complesse di quelle richieste da una molecola chimica. Infatti devono essere garantite non solo la stabilità del formulato in fase di conservazione, ma anche la facilità di distribuzione e la protezione da fattori avversi sia di natura abiotica (luce e temperatura) che biotica (antagonisti naturali). Per questo scopo possono essere aggiunte al formulato sostanze di varia natura che favoriscano l'assunzione da parte dell'insetto e ne aumentino la velocità di azione. I prodotti commerciali a base di Bt sono disponibili in molte formulazioni quali granuli, polvere bagnabile, sospensione acquosa, sospensione emulsionabile, etc. Differentemente da quasi tutti gli altri preparati microbiologici, i prodotti a base di Bt possono essere conservati anche a temperatura ambiente e per periodi piuttosto lunghi, purché siano riposti in ambienti asciutti.

5.3.1.6 - RESISTENZA INDOTTA DA *B. THURINGIENSIS*

In passato si è ritenuto che i trattamenti a base di Bt non inducessero fenomeni di resistenza nei fitofagi e in effetti questo batterio è stato utilizzato per oltre 40 anni senza che fosse stato segnalato alcun caso di resistenza. Tuttavia attorno agli anni '80 è stato segnalato un primo caso di resistenza nella tignola delle farine, *Plodia interpunctella*, insetto lungamente e intensamente combattuto con Bt; in campo la prima segnalazione è avvenuta per *Plutella xylostella*, un lepidottero defogliatore di crocifere coltivate.

Si ritiene che la resistenza di un insetto alle tossine Bt sia dovuta a cambiamenti nelle proteasi presenti nell'intestino medio o a modificazioni della loro attività proteolitica, cosicché le protossine vengano convertite in tossine molto più lentamente. Inoltre una modificazione nella struttura delle proteasi potrebbe favorire il fenomeno della resistenza incrociata nei confronti di tutte le tossine Bt che sono normalmente attivate da questi enzimi. In effetti in alcuni insetti si è osservata la capacità di resistere ad un'ampia gamma di tossine Cry. Il fenomeno della resistenza sembra essere reversibile se i soggetti non sono più esposti a tossine Bt, anche se la resistenza potrebbe rimanersi molto più velocemente se i soggetti fossero successivamente riesposti a trattamenti a base di Bt.

5.3.2 - VIRUS

I virus sono patogeni endocellulari obbligati. Le particelle virali nella loro forma più semplice sono costituite da acido nucleico (DNA o RNA) racchiuso in un involucro proteico (capside) assieme al quale formano il cosiddetto nucleocapside; uno o più nucleocapsidi circondati da una membrana lipoproteica costituiscono

l'entità infettiva (virione). In forme di virus più complesse i virioni possono essere inglobati all'interno di una matrice proteica, formando il corpo di inclusione o di occlusione. La presenza e la natura di questa matrice proteica sono elementi di classificazione dei virus.

Alcuni virus che infettano insetti portandoli a morte sono di grande interesse per il controllo degli insetti fitofagi. Tuttavia, in molti casi l'associazione virus-insetto non è di tipo patogeno; è ben noto, infatti, il ruolo che a volte l'insetto compie come vettore di virus che possono infettare sia un vertebrato che una pianta.

5.3.2.1 - BACULOVIRIDAE

I principali virus di interesse per il controllo degli insetti fitofagi appartengono alla famiglia Baculoviridae caratterizzata dalla produzione di corpi di inclusione. Sono stati isolati esclusivamente da invertebrati e pertanto sono considerati sicuri nei confronti dei mammiferi.

Ad oggi sono state rinvenute oltre 600 specie di insetti suscettibili di infezione e tra questi la maggior parte è stata rinvenuta nei lepidotteri e in minor misura negli imenotteri. Questi virus sono distinti in Virus della Poliedrosi Nucleare (NPV) e Virus della Granulosi (GV). I sintomi sono variabili a seconda del tipo di virus e dell'ospite infettato e possono causare cambiamenti biochimici e/o comportamentali. I prodotti disponibili in commercio contengono i virus appartenenti a due generi: *Alphabaculovirus* (NPV) e *Betabaculovirus* (GV), attivi nei confronti di alcune specie di lepidotteri.

Ciclo infettivo

Come detto precedentemente, l'infezione delle larve degli insetti ospiti avviene per via ora-

le (Fig. 5.33A ►). I corpi di inclusione ingeriti dalla larva giungono nell'intestino medio dove in condizioni di pH ottimali (> 9,5) vengono solubilizzati e liberano i nucleocapsidi. Questi, superata la membrana peritrofica, si fondono con la membrana cellulare ed entrano nella cellula. Il nucleocapside giunto nel nucleo libera il materiale genetico che interferisce con quello della cellula alterandone la funzionalità. Quindi si ha la formazione di uno stroma virale e dei nuovi virioni, i quali continueranno il processo infettivo. Il fenomeno di patogenesi a questo punto si differenzia a seconda del sottogruppo virale e dell'ospite infettato. Ad esempio, nel caso di un NPV che infetta lepidotteri, la prima fase di replicazione si ha nelle cellule intestinali, dopodiché l'infezione si estende a tutti gli altri tessuti. Negli imenotteri, invece, l'infezione resta confinata alle cellule intestinali che vengono infettate originando una cospicua produzione di corpi di inclusione. La morte della larva sopraggiunge a causa della degradazione degli organi vitali. Tipicamente le larve di lepidottero morte per infezione da NPV assumono la posizione detta a "candela" o a "V rovesciata" in quanto rimangono appese alla pianta attaccate per le pseudozampe (Fig. 5.33B ►).

Virus della Poliedrosi Nucleare (NPV)

Il Virus della Poliedrosi Nucleare (NPV) presenta un corpo di inclusione a forma poliedrica avvolto da membrana composta prevalentemente da carboidrati. I virioni sono formati da uno o più nucleocapsidi che contengono DNA circolare a doppia elica e di dimensioni variabili da 0,5 µm a 15 µm. Attualmente si conoscono più di 500 isolati. I prodotti commerciali sono specifici, ad esempio, per il controllo di lepidotteri nottuidi e, per essere efficaci, devono essere impiegati contro le larve neonate.

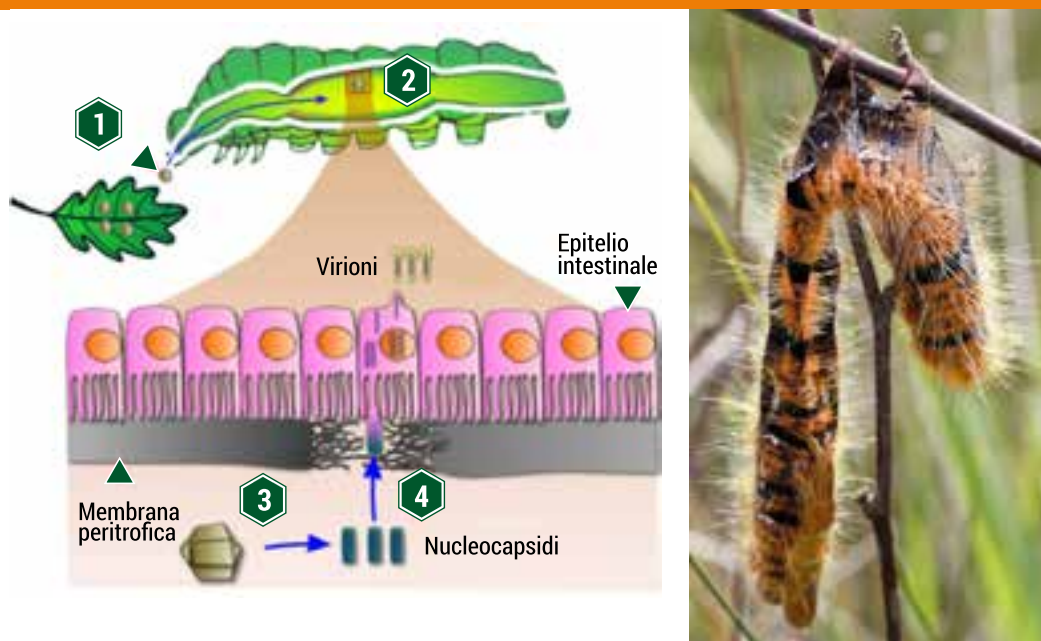


Fig. 5.33 - Ciclo infettivo di Baculovirus. Sezione schematica di larva di insetto (A): la larva ingerisce il corpo di inclusione presente sulla foglia (1); il corpo di inclusione raggiunge l'intestino medio (2) e libera i nucleocapsidi (3) che degradano la membrana peritrofica (4) e si legano ai microvilli dell'orletto a spazzola delle cellule dell'epitelio intestinale e, raggiunto il nucleo, si riproducono per replicazione. Larva di lepidottero in disgregazione (B)

Virus della Granulosi (GV)

Il Virus della Granulosi (GV) presenta il virione sferoidale con un solo nucleocapside e di dimensioni variabili da 0,5 μm a 15 μm . Si conoscono circa 100 isolati e tutti rinvenuti solo in lepidotteri. Al pari degli NPV, inizialmente i GV si replicano nel nucleo cellulare, ma a seguito della precoce disintegrazione della membrana cellulare si diffondono e pertanto la replicazione e la formazione dei nuovi virioni può essere completata in tutte le cellule. Anche in questo caso i trattamenti sono consigliati nei confronti delle giovani larve.

5.3.2.2 - MODALITÀ DI APPLICAZIONE

I formulati commerciali a base di *Baculovirus* sono sensibili ai fattori abiotici, raggi UV e temperatura, pertanto i trattamenti vanno ef-

fettuati nelle ore serali. Per evitare fenomeni di lisciviazione, al momento del trattamento le piante non devono essere umide per pioggia o rugiada; inoltre per aumentare l'efficacia si deve avere cura di trattare uniformemente tutte le parti vegetali. Per una corretta conservazione, il prodotto dovrebbe essere tenuto in frigorifero a 4/6 °C, in queste condizioni rimane stabile per almeno 2 anni, mentre a circa 30 °C la stabilità non supera le 2 settimane.

5.3.3 - FUNGHI

I funghi (miceti) comprendono un ampio gruppo di organismi eucarioti che si distinguono dai vegetali principalmente per la presenza di una membrana cellulare e per la mancanza di cloroplasti e, quindi, di attività fotosintetica. I funghi possono essere saprofiti o parassiti di piante ed animali e ottengono i costituen-

ti organici direttamente dal substrato su cui vivono. La fase vegetativa, nota con il nome di tallo, può essere sia unicellulare che pluricellulare e filamentosa, in questo ultimo caso si ha la formazione di un micelio. Durante lo sviluppo vegetativo, il micelio è formato principalmente da ife, che possono essere septate o non septate, le quali si diffondono sul substrato assorbendone i nutrienti. La riproduzione può essere sessuata o asessuata; durante questa fase il micelio produce delle strutture specializzate, quali spore, sporangi e conidi. I funghi sono organismi ubiquitari, in grado cioè di colonizzare ambienti estremamente diversificati, dai terreni agrari ai sistemi acquatici. Alcuni gruppi sviluppano spore durevoli che costituiscono una forma resistente alle condizioni avverse.

I funghi entomopatogeni sono importanti regolatori naturali delle popolazioni di insetti. Le specie più note dal punto di vista applicativo sono generaliste, ma alcune sono in grado di attaccare un numero più ristretto di ospiti. La classificazione più accreditata riconduce le principali specie di funghi entomopatogeni al Phylum Ascomycota, subphylum Entomophthoromycotina.

Di particolare interesse applicativo sono gli Ascomiceti entomopatogeni in quanto sono in grado di infettare l'emocele di un'ampia gamma di insetti ospiti (es. afidi, aleurodidi, tripidi, coleotteri, lepidotteri e ditteri) rilasciando sostanze tossiche. In natura possono sopravvivere come saprofiti a spese dei cadaveri degli insetti infettati e la loro produzione su scala industriale è facilitata dal fatto di poterli allevare su substrati artificiali.

5.3.3.1 - CICLO INFETTIVO

I funghi sono in grado di infettare gli insetti penetrando attivamente attraverso la cuticola dell'ospite. Nel caso di *Beauveria bassiana* (Fig. 5.34 ►) il processo infettivo inizia con i conidi che giungono a contatto con la cuticola degli insetti. Se le condizioni sono ottimali i conidi sviluppano un appressorio, con il quale si fissano alla cuticola, subito dopo germinano e le ife colonizzano l'emocele; se in questa fase iniziale l'insetto muta, il processo infettivo si interrompe. I fattori chiave che consentono la fase della germinazione dei conidi sono: adeguata umidità (talvolta anche superiore al 90%), temperatura ottimale (20-27°C) e, in alcuni casi, anche la disponibilità sulla cuticola dell'insetto di elementi nutritivi.

La penetrazione della cuticola avviene per mezzo di un tubo di germinazione che agisce per via meccanica ed enzimatica (Fig. 5.34).

Una volta giunto nell'emocele dell'insetto il fungo inizia il suo processo di diffusione mediante lo sviluppo di un vero e proprio micelio, oppure le ife si frammentano e danno origine a numerosi propaguli che si diffondono nell'emolinfa determinando altrettanti centri di infezione. L'insetto si può opporre a questa fase di colonizzazione tramite fenomeni di immunologia, ad esempio incapsulando gli elementi fungini. Di contro, durante il suo sviluppo, il fungo produce delle tossine che inibiscono la risposta immunitaria dell'ospite e sostanze antibiotiche per bloccare lo sviluppo di eventuali microorganismi saprofiti che potrebbero competere per le risorse nutritive. La completa colonizzazione del corpo dell'insetto, che porterà a morte lo stesso, generalmente richiede dai 3 ai 5 giorni. La morte del soggetto è dovuta, durante la fase di pene-

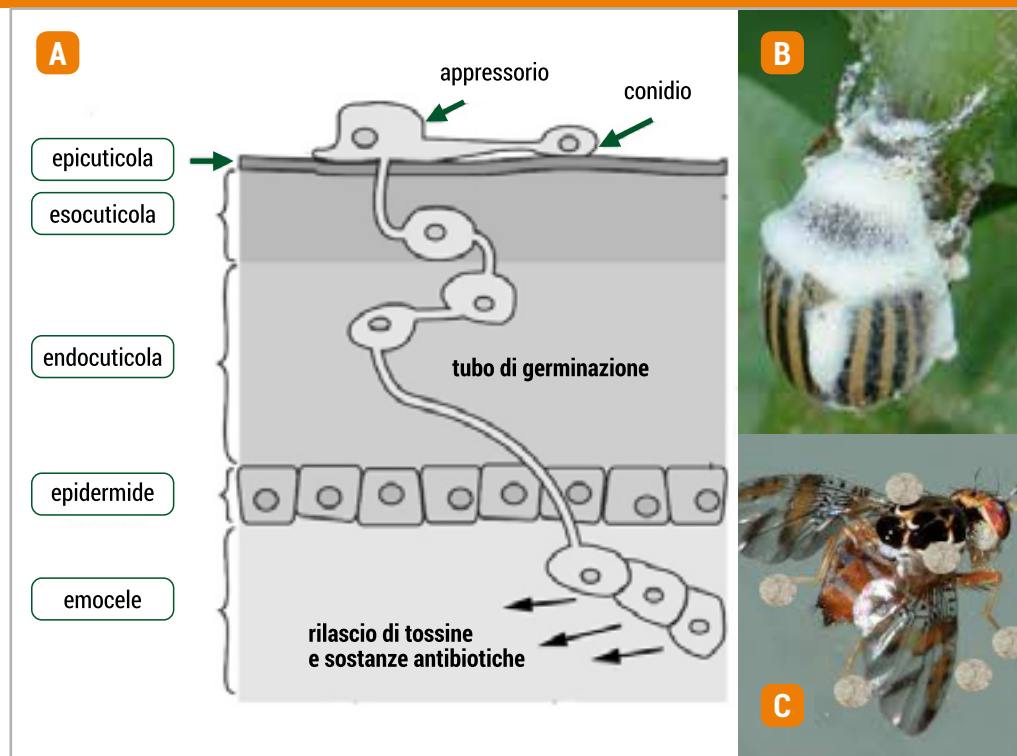


Fig. 5.34 - Ciclo biologico di *Beauveria bassiana*. Rappresentazione schematica della fase di germinazione di una spora infettiva (conidio) che sviluppa l'appressorio, penetra la cuticola dell'ospite con il tubo di germinazione, raggiunge l'emocele dove sviluppa il micelio rilasciando tossine e sostanze antibiotiche (A); adulto di Dorifora della patata con il corpo completamente colonizzato dal fungo (B); adulto di mosca della frutta da cui fuoriescono le efflorescenze conidiche (C).

trazione, all'azione meccanica ed enzimatica di degradazione della cuticola e, durante la fase di proliferazione, alla disgregazione di organi vitali. Successivamente, se le condizioni di umidità ambientali sono superiori al 90%, il micelio dà origine ad efflorescenze conidiche che, trasportate dalle correnti aeree, giungono su un nuovo ospite dando vita ad un nuovo ciclo.

5.3.3.2 - ZYGOMYCOTA

La divisione Zygomycota è formata da numerosi generi, molti dei quali sono entomopatogeni nei confronti di rincoti omotteri

(es. afidi e cicaline). I generi più interessanti dal punto di vista applicativo sono *Conidobolus*, *Entomophthora* e *Erynia*, tutti patogeni di afidi. Gli Zygomycota sono funghi parassiti obbligati e altamente specifici, caratteristiche queste che li rendono poco adatti ad essere sviluppati come insetticidi microbiologici. Di contro, di particolare interesse appare il loro impiego nel Controllo Biologico Classico, come è dimostrato dal successo registrato dall'introduzione di *Erynia radicans* da Israele in Australia per il controllo dell'afide dell'erba medica *Therioaphis maculata*.

5.3.3.3 - DEUTEROMYCOTINA

In questo gruppo sono presenti le specie che attualmente trovano impiego nel controllo di insetti fitofagi: *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, che sono in grado di infettare un'ampia gamma di ospiti. La scoperta di *B. bassiana* è opera dell'entomologo Agostino Bassi, il quale per primo mise in evidenza che una malattia del baco da seta, *Bombix mori*, era provocata da un Eumicete, successivamente denominato *B. bassiana* in suo onore. *Beauveria bassiana* è presente in tutte le aree geografiche ed è stata rinvenuta in oltre 500 specie di insetti appartenenti soprattutto all'ordine dei lepidotteri e dei coleotteri. Durante la fase infettiva, questo micete produce enzimi e tossine, in particolare i depsipectidi beauvericina e bassianolide. Tuttavia, questi metaboliti tossici secondari non sono prodotti da nessuno dei ceppi utilizzati nei prodotti commerciali. Le tossine prodotte da *M. anisopliae*, denominate dextrusine, presentano la particolarità di agire anche per contatto.

In generale, *B. bassiana* e *M. anisopliae* trovano impiego per il controllo di popolazioni di insetti che frequentano ambienti freschi e umidi, come ad esempio larve di coleotteri terricoli o cavallette delle risaie, anche se sono possibili applicazioni in pieno campo o contro gli insetti delle derrate alimentari. Una menzione merita anche *Verticillium lecanii*, il quale presenta una gamma di ospiti più limitata (coccidi e afidi).

5.3.3.4 - MODALITÀ DI APPLICAZIONE

I formulati commerciali a base di funghi entomopatogeni sono estremamente sensibili ai fattori abiotici, in particolare per la sopravvivenza e la riproduzione sono richieste condizioni ambientali caratterizzate da ele-

vati livelli di umidità e temperature ottimali in genere non superiori ai 20 °C. Queste stringenti caratteristiche ambientali rendono più idoneo l'impiego dei funghi entomopatogeni ad ambienti confinati, quali serre o terreno. Per una corretta conservazione, il prodotto dovrebbe essere tenuto in frigorifero a 4/6 °C e in queste condizioni rimane stabile per almeno 1 anno.

5.3.4 - NEMATODI ENTOMOPATOGENI

I nematodi (Phylum Nematoda) raggruppano circa 12.000 specie e rappresentano il Phylum più consistente degli Aschelminți, nonché uno dei gruppi di animali più diffusi ed abbondanti. Comprendono sia forme acquatiche che terricole. Le dimensioni sono estremamente variabili, da poco più di 0,1 mm, nel caso di soggetti che conducono vita libera, fino a qualche metro per le specie parassite di vertebrati.

Il corpo si presenta di forma cilindrica avvolto da una spessa cuticola di collagene disposta in vari strati che si rinnova più volte nel corso della vita dell'organismo. Sono dotati dei sistemi digerente, riproduttivo, muscolare, escretore e nervoso, mentre non sono presenti i sistemi circolatorio e respiratorio. Molte specie sono a sessi separati, ma si conoscono anche specie a riproduzione partenogenetica o ermafrodita. I maschi sono in genere più piccoli delle femmine e durante l'accoppiamento si avvolgono attorno al corpo delle femmine assumendo la posizione che va sotto il nome caratteristico di "anello nuziale". Molte specie conducono vita libera, mentre altre sono parassite di piante o di animali, insetti inclusi.

Le relazioni nematode-insetto sono molto diversificate e variano dal rapporto casuale

sino al parassitismo obbligato. Alcune specie di nematodi instaurano con gli insetti una relazione mutualistica di tipo commensale. Altre specie instaurano un rapporto parassitario che può essere facoltativo od obbligato. Nelle relazioni parassitarie facoltative, il nematode può condurre vita libera indipendentemente dalla presenza di un eventuale insetto ospite ma, nel momento in cui questo si rendesse disponibile nell'ambiente, il nematode può entrare in fase parassitaria, come, ad esempio, il nematode *Deladenus siricidicola*, usato in ambito forestale per combattere gli adulti di *Sirex noctilio*. Nelle relazioni parassitarie obbligate, il nematode non può sopravvivere in assenza dell'insetto ospite. I nematodi, sebbene organismi metazoi, sono trattati nell'ambito dei microorganismi entomopatogeni, in quanto le specie di maggiore interesse applicativo agiscono grazie alla simbiosi che instaurano con alcune specie di batteri.

Fin dagli anni '80, un'attenzione particolare è stata riservata a un gruppo di nematodi entomopatogeni delle famiglie Steinerematidae, Heterorhabditidae e Mermithidae. In generale, si tratta di nematodi che attaccano un ampio spettro di specie di insetti con prevalenza di quelle terricole e di quelle che vivono in habitat protetti (es. fitofagi xilofagi).

I nematodi entomopatogeni attualmente in uso appartengono alle famiglie: Heterorhabditidae e Steinerematidae (ordine Rhabditida), che raggruppano entomopatogeni facoltativi, usati in prevalenza verso insetti del terreno o che vivono in ambienti protetti; Neotylenchidae (ordine Thylencida), a cui appartengono entomopatogeni facoltativi, di cui il genere *Deladenus*, come detto, trova impiego nel controllo dell'imenottero xilofago *Sirex noctilio*; Mermithidae (ordine Mer-

mithida) che comprende entomopatogeni obbligati, usati principalmente per il controllo delle zanzare.

5.3.4.1 - NEMATODI RHABDITIDI

Le famiglie più interessanti dal punto di visto applicativo sono Heterorhabditidae e Steinerematidae. Questi nematodi di dimensioni ridotte (tra 1 e 3 mm di lunghezza) vivono prevalentemente nel terreno e svolgono la loro azione soprattutto nei confronti degli insetti terricoli. Il ciclo di sviluppo comprende gli stadi di uovo, larva, con quattro età, e adulto. La particolarità di questi nematodi è il rapporto di simbiosi mutualistica che instaurano con alcuni batteri. Per esempio, *Steinernema carpocapsae* è in simbiosi con la specie batterica *Xenorhabdis nematophilis*, mentre *Heterorhabditis bacteriophora* è in simbiosi con *Photorhabditis luminescens*. Un'altra caratteristica è la presenza di una forma larvale, detta forma infettiva (Fig. 5.35 ▼), rappresentata dalla 3^a età larvale avvolta dalla cuticola della 2^a età, forma che è in grado di sopravvivere liberamente nell'ambiente. L'esuvia della 2^a età larvale sembra funzionare come barriera protettiva nei confronti di avversità abiotiche e/o biotiche.

Il ciclo biologico di questi nematodi può così essere schematizzato (Fig. 5.35). La forma infettiva si trova libera nel terreno alla ricerca degli ospiti. Si conoscono almeno due differenti strategie di ricerca. Una, cosiddetta "di agguato" (*ambusher*, in lingua anglosassone), è utilizzata prevalentemente dalle specie *S. carpocapsae* e *S. scapterisci*: la forma infestante del nematode si ancora con la parte terminale del corpo ad un granello di terreno e rimane in attesa che un potenziale ospite passi nelle vicinanze; quando

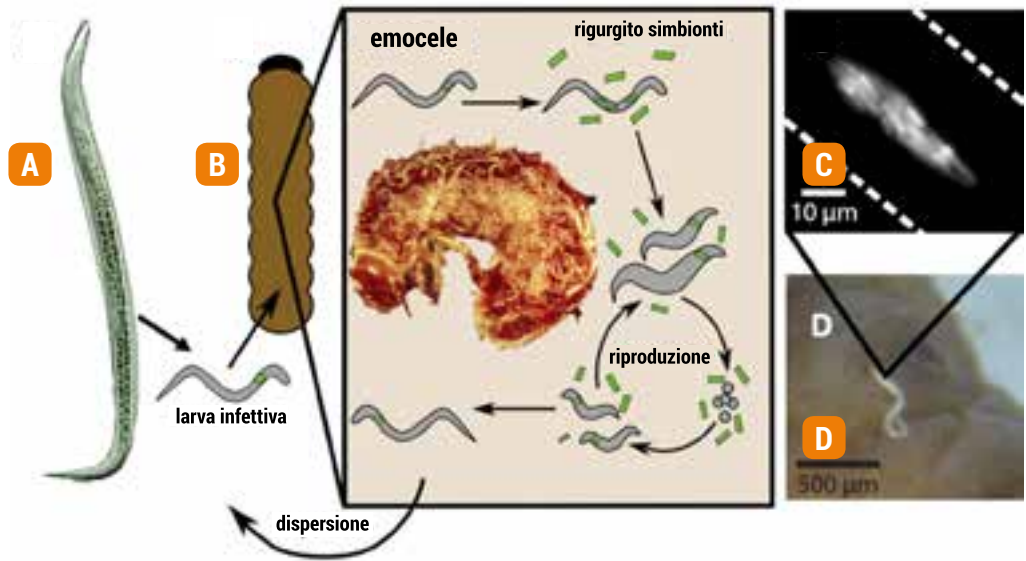


Fig. 5.35 - Ciclo biologico del nematode entomopatogeno *Steinernema* spp. Micrografia di larva infettiva (A). Rappresentazione schematica del ciclo di sviluppo (B): in verde sono rappresentati i batteri simbiotici e nel box sono riportate le fasi che avvengono all'interno del corpo dell'insetto, la foto mostra il corpo di una larva completamente consumato dal nematode. Micrografia dei batteri simbiotici della larva infettiva (C). Micrografia di larva infettiva all'atto di abbandonare l'ospite (D).

questo avviene, la larva si inarca e si distende con una velocità tale da compiere un piccolo balzo ed atterrare sull'ospite. La seconda strategia è detta "di esplorazione" (*cruiser* in lingua anglosassone); la si ritrova in *S. glaseri* e in *H. bacteriophora*. In questo caso la forma infestante si muove nell'ambiente alla ricerca attiva dell'ospite. Una volta raggiunto l'ospite, la larva penetra attraverso le aperture naturali (bocca, ano e spiracoli tracheali) o, in alcuni casi, attraverso delle lesioni da lei prodotte nelle parti della cuticola meno sclerotizzata.

Una volta giunta nell'emocele della vittima, la larva si libera dell'esuvia protettiva della 2^a età e rigurgita i batteri simbiotici (Fig. 5.35). Questi cominciano una rapida colonizzazione dell'insetto portandolo a morte dopo alcuni giorni. L'attività dei batteri è essenziale in quanto essi concorrono a creare le condizioni ottimali per lo sviluppo dei nematodi, i quali si nutrono dei batteri stessi e dei tessuti dell'o-

spite morto. Quindi, la larva completa lo sviluppo sino a giungere allo stadio adulto; negli steinernematidi si formano adulti a sessi separati, negli heterorhabditidi si formano adulti femmine ermafrodite e autofertili. In genere all'interno dell'ospite si susseguono diverse generazioni (solitamente 1-3); nella generazione finale si ha la formazione di centinaia di larve infettive che abbandonano il corpo della vittima per cercarne una nuova (Fig. 5.35).

I vantaggi per i due simbiotici nel rapporto mutualistico nematode-batterio possono così essere riassunti. La relazione mutualistica consente al batterio di: 1) sopravvivere alle condizioni ambientali avverse; 2) giungere all'interno del corpo dell'insetto; 3) non essere attaccato dal sistema immunitario dell'insetto, che è inattivato dall'azione del nematode. Il nematode si avvantaggia della relazione mutualistica in quanto: 1) il batterio uccide velocemente l'ospite e inattiva altri micro-

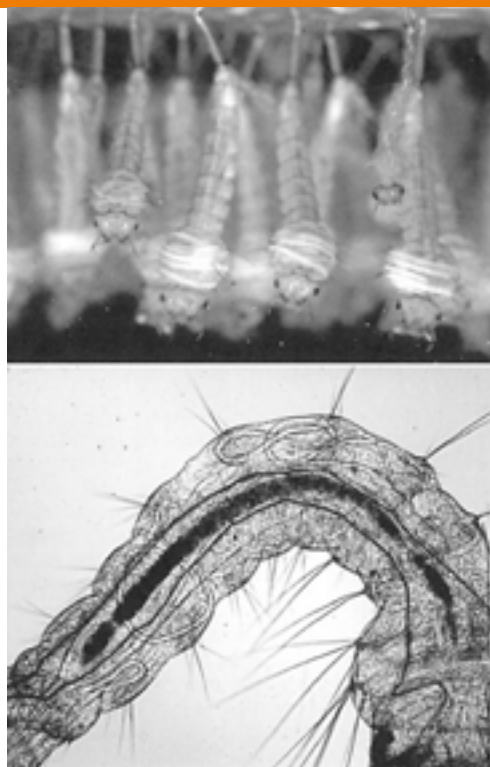


Fig. 5.36 - Micrografia di larve di zanzara infettate da *Romanermis culicivorax* con il dettaglio, in basso, di un singolo individuo

organismi competitori del nematode, 2) il batterio trasforma i tessuti dell'ospite in alimento per il nematode, 3) il batterio stesso diventa fonte di nutrimento per il nematode. In condizioni ottimali le larve infettive degli steinernematodi fuoriescono dalla vittima dopo 6-11 giorni, mentre quelle degli heterorhabditidi dopo 12-14 giorni dall'infestazione.

5.3.4.2 NEMATODI NEOTYLENCHIDI

I nematodi del genere *Deladenus* sono parassiti facoltativi di imenotteri xilofagi della famiglia dei siricidi. Anche se l'impiego di questi nematodi è limitato ad un gruppo ristretto di fitofagi in ambito forestale, vanno ricordati come ottimo esempio di efficace

applicazione di un agente biologico in condizioni in cui i mezzi chimici sono risultati inefficaci. La specie più importante è *Deladenus siricidicola* utilizzata nel controllo biologico di *Sirex noctilio* in boschi di *Pinus radiata*.

5.3.4.3 - NEMATODI MERMITIDI

I mermitidi sono i nematodi entomopatogeni con le maggiori dimensioni corporee (comprese tra 5 e 20 cm di lunghezza). In alcuni insetti parassitizzati che hanno la cuticola translucida è facile osservare la presenza nell'emocele degli stadi avanzati del nematode. I mermitidi sono parassiti obbligati di un notevole numero di ordini di insetti e di altri artropodi quali ragni e crostacei. Attualmente le specie *Romanermis culicivorax* e *R. iyengari* hanno possibilità di impiego nel controllo biologico delle larve di zanzare (Fig. 5.36 ◀).

Il ciclo biologico di *R. culicivorax* può essere così riassunto: le femmine frequentano i fondali di acque in cui si sviluppano le larve di zanzare e dopo l'accoppiamento depongono alcune centinaia di uova. L'embrione si sviluppa in larva di 1^a età e questa in 2^a età rimanendo all'interno dell'uovo. Successivamente la larva di 2^a età (larva pre-parassitaria) fuoriesce dall'uovo e nuota in superficie alla ricerca dell'ospite. Individuato l'ospite, vi penetra attraverso la cuticola per mezzo degli stiletti; giunta nell'emocele dell'ospite, la larva continua il suo sviluppo e muta in larva di 3^a età (Fig. 5.36). A questo punto si completa la fase parassitaria: la larva di 3^a età pratica un foro e abbandona l'ospite, che muore, quindi si porta sul fondo dello stagno dove completa lo sviluppo raggiungendo lo stadio di adulto.

5.3.4.4 - PRODUZIONE FORMULAZIONE E IMPIEGO

Produzione

I nematodi entomopatogeni possono essere prodotti su larga scala in vivo o in vitro. La produzione in vivo si basa su applicazioni tecnologiche semplici che prevedono l'impiego di larve di *Galleria mellonella*, in quanto di facile reperibilità e molto suscettibili ai nematodi. La produzione in vitro fa uso di biotecnologie avanzate e si distingue in produzione su substrato solido (fermentazione superficiale) e produzione su substrato liquido (fermentazione sommersa). La produzione su substrato solido si basa sull'isolamento e la moltiplicazione del batterio simbiote su un substrato costituito da un supporto inerte (spugnette di gommapiuma) imbibito con un omogeneizzato di origine animale o vegetale, sterilizzato e inoculato con una coltura di batteri simbiotici. Successivamente si procede con l'inoculo del nematode e dopo 2-4 settimane si ottengono le larve infestanti pronte per essere commercializzate. La produzione su substrato liquido si distingue per l'impiego di una sospensione ricca di proteine e la moltiplicazione avviene all'interno di fermentatori.

Formulazione

I formulati a base di nematodi entomopatogeni possono essere conservati a freddo in contenitori areati al massimo qualche settimana. Le larve infestanti possono essere formulate su substrati inerti come gommapiuma o argille varie. Recentemente si fa ricorso alla parziale disidratazione per via osmotica, al momento dell'uso le larve vengono messe in acqua e si reidratano.

Modalità di applicazione

I nematodi entomopatogeni sono suscettibili a vari fattori di natura abiotica e biotica che ne possono compromettere la sopravvivenza. In generale, la sopravvivenza nel terreno è condizionata da diversi fattori abiotici quali, ad esempio, tessitura, umidità, temperatura e ossigenazione. Quando i nematodi sono distribuiti sulle foglie i fattori limitanti sono rappresentati dalla luce ultravioletta e dalla temperatura; pertanto la loro distribuzione dovrebbe essere effettuata nelle prime ore della giornata o nel tardo pomeriggio, al fine di minimizzare gli effetti negativi. I nematodi presentano un grado di compatibilità con fitofarmaci di sintesi che varia da caso a caso, e quindi è opportuno consultare le apposite tabelle. I trattamenti con i nematodi entomopatogeni possono essere effettuati con le normali apparecchiature irroratrici presenti in un'azienda agraria, ma con l'accortezza di utilizzare filtri e ugelli con fori di diametro superiori a 0,5 mm e una pressione di esercizio fino a 5-8 atm (con ugelli di 1,2 mm).

5.4 - PRODOTTI CHIMICI INSETTICIDI

Le sostanze chimiche naturali o di sintesi in grado di uccidere gli insetti sono dette insetticide e appartengono alla più ampia categoria dei prodotti fitosanitari che sono commercializzati allo scopo di: 1) proteggere i vegetali o i prodotti vegetali dagli organismi nocivi o prevenirne gli effetti; 2) favorire o regolare i processi vitali dei vegetali, con esclusione dei fertilizzanti; 3) conservare i prodotti vegetali, con esclusione di alcuni conservanti disciplinati da particolari disposizioni; 4) eliminare le piante indesiderate; 5) eliminare parti di vegetali, frenare o evitare un loro indesiderato accrescimento.

Le sostanze insetticide sono commercializzate sotto forma di formulati commerciali in cui è presente la sostanza insetticida vera e propria, detta sostanza attiva o principio attivo, miscelata con altre sostanze ad azione diversificata, i coadiuvanti e i coformulanti. La sostanza attiva è rappresentata da una o più molecole chimiche o da microorganismi antagonisti che possiedono un'azione più o meno specifica a carico degli insetti che si vuole combattere; nel caso delle molecole chimiche, è presente di solito in percentuale molto bassa. I coadiuvanti sono aggiunti per migliorare l'efficacia della sostanza attiva favorendone, per esempio, la distribuzione, la stabilità e la permanenza sul substrato da trattare; infine, i coformulanti sono sostanze veicolanti e/o inerti e/o diluenti aggiunte per ridurre la concentrazione della sostanza attiva. I formulati commerciali per grandi linee possono essere utilizzati per trattamenti a secco, liquidi o gassosi. Tra i formulati commerciali per i trattamenti a secco si ritrovano le polveri secche, distribuite sul terreno con attrezzature agricole specifiche, e i granuli solidi disperdibili, prodotti molto più sicuri delle polveri per il minor rischio di inalazione durante la preparazione prima del trattamento. Fanno parte dei formulati commerciali per i trattamenti liquidi: le polveri bagnabili, che non sono miscibili con acqua, con la quale formano una sospensione, e spesso addizionate con tensioattivi; le polveri solubili, che vengono diluite in acqua; i concentrati emulsionabili, prodotti liquidi solubilizzati in solventi organici e successivamente emulsionati in acqua in presenza di uno o più tensioattivi che permettono la formazione di un'emulsione; le soluzioni concentrate o paste fluide, particelle ultramicronizzate stabili in sospensione, che vengono versate direttamente nel

serbatoio dell'irroratrice, sono molto pratiche e sicure per l'operatore; i microincapsulati, costituiti da capsule di un sottile strato biodegradabile; i sacchetti idrosolubili, sostanze contenute in sacchetti costituiti all'esterno da un sottile strato di plastica che si dissolve a contatto con l'acqua, sono molto sicuri per l'operatore e non hanno particolari accorgimenti per lo smaltimento.

I formulati commerciali possono presentare diverse caratteristiche la cui conoscenza è indispensabile per il loro corretto impiego. Di seguito se ne riportano le principali.

Fitotossicità. La fitotossicità rappresenta l'azione tossica dell'insetticida nei confronti della pianta e si distingue in acuta e cronica. La fitotossicità è detta acuta se subito dopo il trattamento la pianta presenta reazioni quali causticazione o corrosione di tessuti vegetali, rugginosità, filloptosi e cascola di fiori o frutti. La fitotossicità acuta a sua volta è distinta in estrinseca, quando è indotta da cause esterne alla pianta, e intrinseca, quando è determinata dalla sensibilità della pianta stessa. La fitotossicità è detta cronica quando i danni, a volte anche sotto forma di un generale intristimento, si manifestano a distanza di tempo e a seguito di ripetuti trattamenti.

Capacità di penetrazione nella pianta. Gli insetticidi che dopo la distribuzione rimangono sulla superficie degli organi vegetali sono detti di contatto o di copertura; quelli in grado di penetrare nei tessuti vegetali sono detti citotropici, translaminari e sistemici. In particolare, l'insetticida è citotropico se penetra nei primi strati cellulari dei tessuti di foglie, frutti e altri organi vegetali; translaminare se attraversa l'intera lamina fogliare, traslocando all'interno della foglia e raggiungendo la pagina non direttamente esposta al trattamento;

sistemico se raggiunge il sistema vascolare e trasloca in tutta la pianta.

Modalità di penetrazione. La modalità di penetrazione caratterizza la via attraverso la quale l'insetticida raggiunge gli organi interni dell'insetto bersaglio. In generale si identificano 3 principali modalità di penetrazione: per ingestione, per inalazione e per contatto, anche se molto spesso non sono chiaramente separabili.

Meccanismo di azione. Il meccanismo di azione descrive le possibili azioni biotossiche dell'insetticida che in generale possono essere sinteticamente riassunte in: effetto abrasivo, caustico e disidratante; distruzione dell'epitelio mesenteriale; interferenza sulla funzionalità di neuroni e neurotrasmettitori; blocchi enzimatici a livello mitocondriale; disturbi di processi fisiologici di crescita; distruzione dell'epitelio intestinale.

Selettività. La selettività rappresenta la capacità dell'insetticida di agire contro la specie bersaglio con effetti nulli o trascurabili nei confronti degli altri organismi presenti nell'ambiente detti, genericamente, non bersaglio. La selettività può essere primaria o fisiologica se la struttura chimica e il tipo di meccanismo biotossico dell'insetticida da un lato e le caratteristiche biochimiche degli organismi non bersaglio dall'altro limitano o escludono gli effetti su questi ultimi. La selettività può essere secondaria o ecologica quando gli effetti indesiderati nei confronti degli organismi non bersaglio sono ridotti dalle strategie di applicazione.

Tossicità. Gli insetticidi sono classificati in base alla tossicità nei confronti dell'uomo e degli animali superiori. La tossicità acuta è espressa come Dose Letale (DL50) ovvero la dose che determina la mortalità del 50%

della popolazione di animali di laboratorio, in un'unica somministrazione per via orale, cutanea o per inalazione; il valore della DL50 è espresso in milligrammi di sostanza per chilogrammo di peso corporeo dell'animale). La tossicità cronica è causata dal graduale e continuo accumulo dell'agente tossico e può provocare danni gravi e talvolta irreversibili.

5.5 - MEZZI AGRONOMICI

Lo sviluppo delle popolazioni degli insetti fitofagi può essere contenuto da interventi di natura agronomica la cui corretta esecuzione può determinare direttamente l'abbattimento delle popolazioni degli insetti fitofagi o impedire che si instaurino condizioni favorevoli al loro sviluppo. Naturalmente essi non hanno un ruolo univoco, dovendo essere adattati ai cicli fisiologici e produttivi delle colture e a quelli biologici degli insetti fitofagi e dei loro antagonisti.

La scelta varietale è sicuramente la base di partenza della programmazione del ciclo produttivo di ogni azienda e, a maggior ragione, di quelle a ordinamento biologico, in quanto questa deve tendere a raggiungere la maggiore efficienza produttiva con il minor numero di interventi correttivi. Una scelta sbagliata o, come purtroppo spesso capita, casuale o dettata dalla moda, che non tenga conto delle condizioni dell'agroecosistema in cui si opera e che non ha basi di sperimentazione o di esperienza diretta, può compromettere il risultato produttivo. La scelta delle varietà più resistenti ai fitofagi e/o che meglio si adattino alle condizioni dell'azienda permette di contrastare lo sviluppo dei fitofagi; ad esempio, mandarini e naveline sono tra gli agrumi più suscettibili ad attacchi della mosca della frutta, mentre,

tra le drupacee, le cultivar a maturazione precoce sono generalmente meno soggette agli attacchi degli insetti carpofagi.

Analogamente, limitazioni degli attacchi di specie fitofaghe possono essere ottenute modificando il periodo di semina (anticipo o ritardo) o quello di raccolta. Ad esempio la raccolta anticipata delle olive da olio permette, in molti casi, di ridurre al minimo gli attacchi della mosca delle olive, *Bactrocera oleae*, con conseguente riduzione dell'acidità dell'olio. È ovvio che la scelta di procedere ad una raccolta anticipata debba essere frutto di una decisione che tenga in considerazione la qualità della produzione e la previsione del rischio di danno.

La rotazione delle colture prevede la successione di colture diverse coltivate nello stesso appezzamento. Dal punto di vista agronomico, la rotazione contribuisce a mantenere o migliorare la fertilità del terreno con effetti positivi sulla nutrizione delle piante, ma può anche svolgere un ruolo rilevante nel determinare condizioni sfavorevoli all'insorgenza di popolazioni di insetti; per esempio, la rotazione nella coltura del mais è diventata una pratica necessaria a seguito della diffusione della Diabrotica del mais, *Diabrotica virgifera*, un coleottero di origine americana che può arrecare gravi danni al mais nel caso questa coltura venga ripetuta per due o più anni di seguito sullo stesso appezzamento. Per la loro importanza in fase preventiva, gli avvicendamenti colturali di seminativi e orticole in agricoltura biologica sono regolati dal decreto del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali n. 18354 art. 3 del 27/11/2009.

Le lavorazioni del terreno possono avere un impatto significativo sulle popolazioni degli insetti fitofagi; per esempio, le arature super-

ficiali non solo agiscono nei confronti delle piante infestanti, ma portano in superficie le specie rizofaghe esponendole all'azione di vari predatori, come uccelli e piccoli roditori. In generale le lavorazioni del terreno tendono a ridurre le popolazioni di insetti terricoli. Casi di successo ottenuti con le lavorazioni del terreno sono stati quelli contro il proliferare del grillotalpa e delle nottue.

Le concimazioni sono di fondamentale importanza e in agricoltura biologica sono regolate dall'allegato I Reg. CE 834/07. Devono essere sempre equilibrate, soprattutto nel contenuto di azoto; ad esempio, concimazione sbilanciata a favore di questo macroelemento tendono a far sviluppare la vegetazione in modo anormale, contrastando la resistenza delle piante alle fitopatie e favorendo le infestazioni degli insetti fitofagi, soprattutto fitomizi. Le infestazioni della minatrice serpentina degli agrumi, *Phyllocnistis citrella*, sono favorite dallo sviluppo anticipato e vigoroso degli agrumi, dovuto a concimazioni azotate eccessive che determinano la presenza di una grandissima quantità di germogli teneri, quindi suscettibili all'attacco, in coincidenza della massima presenza in campo del fillominatore. Particolare attenzione bisogna prestare anche alle irrigazioni affinché siano bilanciate; in genere eccessi idrici favoriscono il vigore vegetativo e di conseguenza le popolazioni dei fitomizi, mentre stress idrici favoriscono gli attacchi di fitofagi secondari come i coleotteri scolitidi.

La potatura è una pratica molto importante sia in fase preventiva che curativa. Potature razionali che tendono ad alleggerire le chiome, permettendo la circolazione dell'aria, ostacolano lo sviluppo delle popolazioni fitofaghe, in quanto impediscono che si determinino condizioni microclimatiche favorevoli

(umidità, ombra), soprattutto nel caso di afidi, cocciniglie, psille e cicaline, e favoriscono l'esposizione delle popolazioni ai trattamenti di controllo. Da un punto di vista curativo, le potature permettono di eliminare parti della pianta attaccate e irrimediabilmente compromesse. L'uso di rami esca rappresenta un'efficace soluzione di lotta ai coleotteri scoltidi, come *Phloeotribus scarabaeoides* e *Scolytus rugulosus*, soprattutto nelle aziende a conduzione biologica; infatti i rami potati, posizionati alla base o in prossimità delle piante attaccate, permettono di attrarre le femmine deponenti che vengono successivamente distrutte insieme alla loro progenie attraverso la bruciatura dei rami prima dello sfarfallamento degli adulti. Analogamente, la spazzolatura della corteccia di tronchi e branche permette di eliminare stratificazioni di cocciniglie e afidi, mentre lo scortecciamento evita, in taluni casi, che i fitofagi trovino zone rifugio per lo svernamento.

La diversificazione delle specie botaniche, intesa in tutte le forme, quali consociazione, intercropping, siepi e zone rifugio, inerbimento naturale e artificiale, in genere contrasta lo sviluppo delle popolazioni dei fitofagi, in quanto la biodiversità crea discontinuità sia a livello di copertura vegetale che di diffusione dell'apparato radicale, favorisce la presenza degli antagonisti naturali, offrendo sia zone rifugio che risorse alimentari, intese sia come fonte di cibo (nettare, sostanze extraflorali) che di ospiti o prede alternative, e in alcuni casi determina repellenza o attività biocida (cfr 6.1.4). Al contrario, il diserbo generalmente induce le specie fitofaghe polifaghe, sia epigee che ipogee, a convergere sulla coltura, come ad esempio nel caso di tripidi, cicaline e afidi. Naturalmente bisogna prestare particolare attenzione alle specie presenti nell'agroecosistema per evitare che esse possano favorire lo sviluppo delle specie fitofaghe, come ad esempio le piante di ortica che sono ospite primario di *Hyalesthes obsoletus*, la Cicalina del legno nero della vite. ■





6

METODI DI CONTROLLO

Il controllo delle popolazioni degli insetti fitofagi operato da insetti predatori e parassitoidi è un servizio ecosistemico di essenziale importanza a supporto della produzione agricola in regime di agricoltura biologica. Questa strategia rientra nel metodo del controllo biologico, anche detto lotta biologica, che è tradizionalmente definito come “la strategia che sfrutta l’azione svolta dagli antagonisti naturali per contenere la densità di popolazione di un altro organismo potenzialmente dannoso ad un livello inferiore rispetto a quello che si avrebbe in loro assenza”.

6.1 - IL CONTROLLO BIOLOGICO

Le prime notizie sull’uso di insetti entomofagi per il controllo di insetti fitofagi risalgono a circa il 300 a.C. e si riferiscono alla pratica in uso presso gli agricoltori cinesi di impiegare le formiche della specie *Oecophylla smarag-*

dina, un predatore polifago, i cui nidi venivano raccolti, venduti e introdotti negli agrumeti per il controllo biologico di insetti fitofagi. Le operaie di questa formica arboricola costruiscono i nidi con una particolare tecnica: formando delle lunghe catene, accostano tra di loro i lembi delle foglie che poi incollano con speciali secrezioni (Fig. 6.1 ►).

Tutt’oggi queste formiche trovano impiego in varie parti del mondo; in Australia, per esempio, sono utilizzate nelle piantagioni di mango. Sempre dalla Cina giungono le prime conoscenze del rapporto antagonistico ospite-parassitoide con la descrizione di ditteri tachinidi che si sviluppano a spese di larve del baco da seta. In Europa, le prime osservazioni su insetti parassitoidi sono del naturalista italiano Ulisse Aldrovandi (1522-1605) che per primo descrisse la fuoriuscita di larve del parassitoide *Cotesia glomerata* dal corpo della



Fig. 6.1 - Operaie di formica tessitrice, *Oecophylla smaragdina*, (A) che, in modo sincronizzato, sono intente ad accostare margini fogliari che verranno incollati con secrezioni sericee per la costruzione di grandi nidi (B) in cui alloggiano ampie colonie.

larva ospite *Pieris rapae*, anche se interpretò in maniera errata il fenomeno, descrivendo i bozzoli del parassitoide come “uova avvolte da seta gialla”. Osservazioni simili furono portate avanti anche da un altro illustre naturalista italiano, Francesco Redi (1662- 1697), ma anche in questo caso il fenomeno non fu correttamente interpretato. Pochi anni dopo, il biologo e medico Antonio Vallisnieri (1661–1730) descrisse correttamente il fenomeno del parassitismo nel saggio intitolato “Saggio de’ Dialoghi sopra la curiosa origine di molti insetti” pubblicato nel 1696, che è considerato la pietra miliare sugli studi degli insetti entomofagi. Tuttavia, nel suo testo Vallisnieri ipotizzò che gli stadi giovanili degli insetti parassitoidi potessero penetrare precocemente nei loro ospiti perché non osservò mai il comportamento di ovideposizione della femmina del parassitoide. La descrizione completa del ciclo biologico di un insetto parassitoide si deve al naturalista olandese Antoni van Leeuwenhoek (1632-

1723) che in una lettera datata 26 ottobre del 1700 descrisse nei dettagli il comportamento di un insetto parassitoide, includendo anche il disegno di una femmina di parassitoide, probabilmente *Aphidius ribis*, nell’atto della ovideposizione (Fig. 6.2 ▼).

Questa lettera fu poi ripresa e pubblicata nel 1702 con accluso disegno nella prestigio-

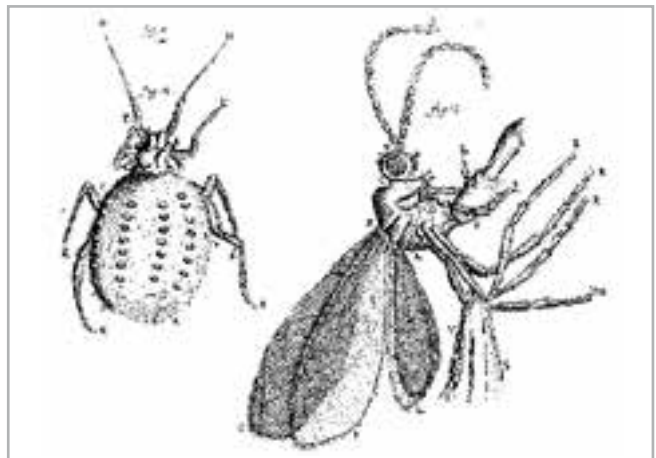


Fig. 6.2 - I disegni di Antoni van Leeuwenhoek pubblicati nella rivista *Royal Society of London Philosophical Transactions* in cui è riprodotto un afide e il parassitoide che ne è sfarfallato.

sa rivista *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, la più antica rivista scientifica del mondo. In pratica, si può notare come ci siano voluti centinaia di anni di studio e osservazioni per comprendere il singolare fenomeno del parassitismo e aprire la strada allo straordinario successo dell'impiego degli antagonisti naturali in centinaia di programmi di controllo biologico degli insetti fitofagi.

Il termine "Controllo Biologico" fu coniato nel 1914 da Karl von Tubeuf, il fondatore della moderna patologia vegetale in Europa; successivamente, nel 1919, fu esteso agli insetti da Harry Scott Smith, professore di entomo-

logia all'University of California di Riverside. Il Controllo Biologico può essere applicato con differenti metodi: Classico, Inoculativo, Inondativo e Conservativo (Fig. 6.3 ▼). In realtà, alcune pratiche di impiego degli insetti entomofagi sono a confine tra una strategia e l'altra o possono essere ricondotte a più strategie. In generale, non ha alcun valore ritenere una strategia più valida delle altre in quanto ciascuna va inquadrata in uno specifico ambito applicativo in relazione alla biologia delle specie interessate, alle peculiarità climatiche e ambientali in cui si opera e alla dimensione del contesto.

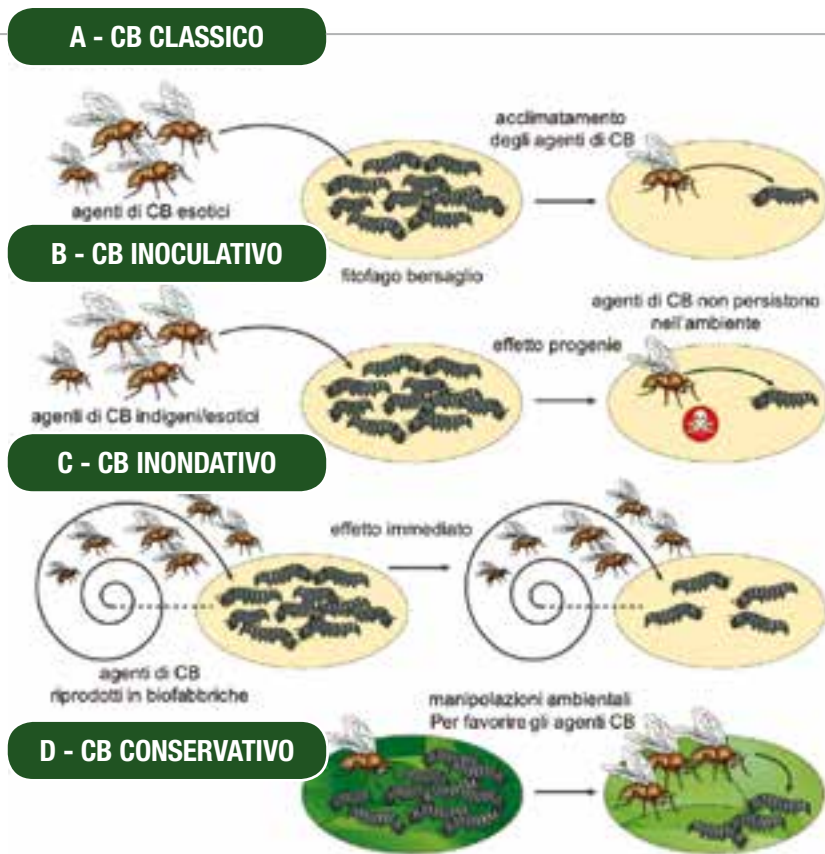


Fig. 6.3 - Rappresentazione schematica delle principali metodologie di Controllo Biologico (CB).

6.1.1 - CONTROLLO BIOLOGICO CLASSICO

Il controllo biologico classico è applicato nei confronti di insetti fitofagi introdotti accidentalmente, i quali, non avendo nemici naturali nelle nuove aree, manifestano incrementi dei livelli di popolazione tali da creare danni economici. Si basa sostanzialmente sull'introduzione di antagonisti esotici associati al fitofago, che provengono dallo stesso areale della specie invasiva, allo scopo di ricostituire l'associazione faunistica presente nel paese di origine, così da ricondurre il fitofago esotico a livelli accettabili di densità di popolazione. Il coronamento del successo di un programma di controllo biologico classico è il raggiungimento dell'equilibrio naturale fitofago-antagonista che, da un punto di vista applicativo, corrisponde, in assenza di altri fenomeni perturbativi, alla risoluzione definitiva del problema causato dal fitofago esotico (Fig. 6.3). Il fenomeno delle invasioni biologiche da parte di organismi esotici non è nuovo, tuttavia, negli ultimi decenni, si sta registrando un'acutizzazione causata principalmente dalla globalizzazione dei mercati e dalla rapidità con cui le merci vengono trasferite. Ovviamente, la problematica delle specie aliene riguarda tutti gli organismi viventi, ma gli insetti, per le loro caratteristiche peculiari (adattabilità, capacità di riproduzione, brevità del ciclo biologico, ecc.), rappresentano i casi più numerosi e spesso anche i più perniciosi. I dati forniti dal sito web del "Delivering Alien Invasive Species in Europe - DAISIE 2008", un progetto finanziato dal 6° programma quadro dell'Unione Europea, evidenziano che in Italia sono presenti oltre 500 specie di insetti alieni, molte delle quali sono state introdotte accidentalmente negli ultimi 30 anni. In pratica,

negli areali di nuova colonizzazione le specie fitofaghe con ampia valenza ecologica, se trovano le condizioni ambientali idonee per acclimatarsi, possono esprimere al massimo il loro potenziale biotico senza alcun contenimento da parte dei fattori di resistenza ambientale. Nella sola Europa, è stato stimato che il costo per tentare di eradicare le specie invasive, compreso del risarcimento dei danni causati, supera i 10 miliardi di euro all'anno. In Italia, per la posizione geografica e le condizioni climatiche, il fenomeno negli ultimi decenni sta assumendo dimensioni particolarmente gravi, infatti in media si registrano circa 8 specie aliene/anno, mentre negli anni '50-60 il loro numero era in media 1-2.

La prima applicazione di rilevanza mondiale di controllo biologico classico come pratica di gestione fitosanitaria delle specie invasive è tradizionalmente ricondotta al successo ottenuto negli anni 1888-89 nella difesa degli agrumeti californiani dagli attacchi del rincote margarodide *Icerya purchasi*, un temibile fitofago di origine australiana, noto come Cocciniglia cotonosa solcata o Grande cocciniglia cotonosa degli agrumi. La Cocciniglia cotonosa solcata fu accidentalmente introdotta in California verso la fine del 1860 e nel breve volgere di 7-8 anni determinò effetti devastanti per l'agrumicoltura. Il mezzo di lotta allora ritenuto più efficace, basato sull'impiego dell'acido cianidrico applicato sotto apposite tende che ricoprivano le piante, le cosiddette fumigazioni cianidriche, spesso letali più per gli operatori che per le specie fitofaghe che si intendevano combattere, non dava i risultati sperati e le infestazioni erano diventate talmente gravi e diffuse da costringere gli agrumicoltori ad estirpare o a bruciare le piante, con il conseguente crollo del valore econo-

mico dei terreni agricoli e la profonda crisi di tutto il comparto. In tale situazione critica, il direttore del Dipartimento di Stato dell'Agricoltura della California, Charles V. Riley, venuto a conoscenza che l'entomologo australiano Frazer Crawford aveva rinvenuto un dittero parassitoide, *Cryptochetum iceryae*, potenziale antagonista della cocciniglia, incaricò Albert Koebele di rappresentare il Dipartimento in seno ad una manifestazione internazionale a Melbourne in Australia e, con l'occasione, di recuperare possibili antagonisti naturali della cocciniglia. Il dr. Koebele, giunto nella zona di Adelaide, rinvenne alcune infestazioni di cocciniglia con numerosi adulti parassitizzati da *C. iceryae* e notò anche la presenza di un insetto predatore, il coleottero coccinellide *Rodolia cardinalis* (Fig. 6.4 ▼); inviò quindi in California tutto il materiale raccolto.

Le prime liberazioni del dittero parassitoide e del coleottero predatore furono avviate da dr. Daniel W. Coquillett tra l'inverno del 1888 e la primavera del 1889 in piante di agrumi isolate in gabbia nella contea di Los Angeles. In tutto furono introdotti in California circa 12.000 esemplari di *C. iceryae* e 500 di *R. cardinalis*.

Nell'Aprile del 1889, il coccinellide fece registrare un incremento sorprendente della

popolazione, con conseguente sensibile riduzione delle popolazioni della cocciniglia; al contrario si ritrovarono pochi esemplari del dittero parassitoide, il che fece scemare l'interesse per l'utilizzo del dittero. Nel mese di Giugno del 1889 più di 10.000 esemplari di *R. cardinalis* furono distribuiti in circa 200 differenti agrumeti e in ciascuno di essi l'azione di contenimento esercitata dal predatore risultò risolutiva. Nel 1890, a soli due anni dall'introduzione di *R. cardinalis*, le popolazioni della cocciniglia risultarono praticamente soppresse. Il costo dell'intero progetto, comprensivo degli emolumenti per Coquillett e Koebele, è stato stimato in circa 5.000\$ a fronte di una positiva ricaduta per il comparto agrumicolo stimabile in milioni di dollari all'anno. Da allora *R. cardinalis* è stata introdotta in più di 50 Paesi nel mondo. In Italia la Cocciniglia cotonosa solcata comparve nel 1900 in un agrumeto di Portici (Napoli) e nell'anno successivo il dr. Antonio Berlese introdusse *R. cardinalis* ottenendo i medesimi risultati osservati in California. In definitiva, l'esperienza acquisita con l'impiego di *R. cardinalis* ha inaugurato un nuovo modo di gestire la difesa dagli attacchi delle specie invasive, coinvolgendo nell'arco di circa un secolo tutti i comparti produttivi e facendo registrare un crescendo di consensi in diversi Paesi del mondo.



Fig. 6.4 - Adulto di *Rodolia cardinalis* visto dall'alto e mentre si nutre della preda *Icerya purchasi*.

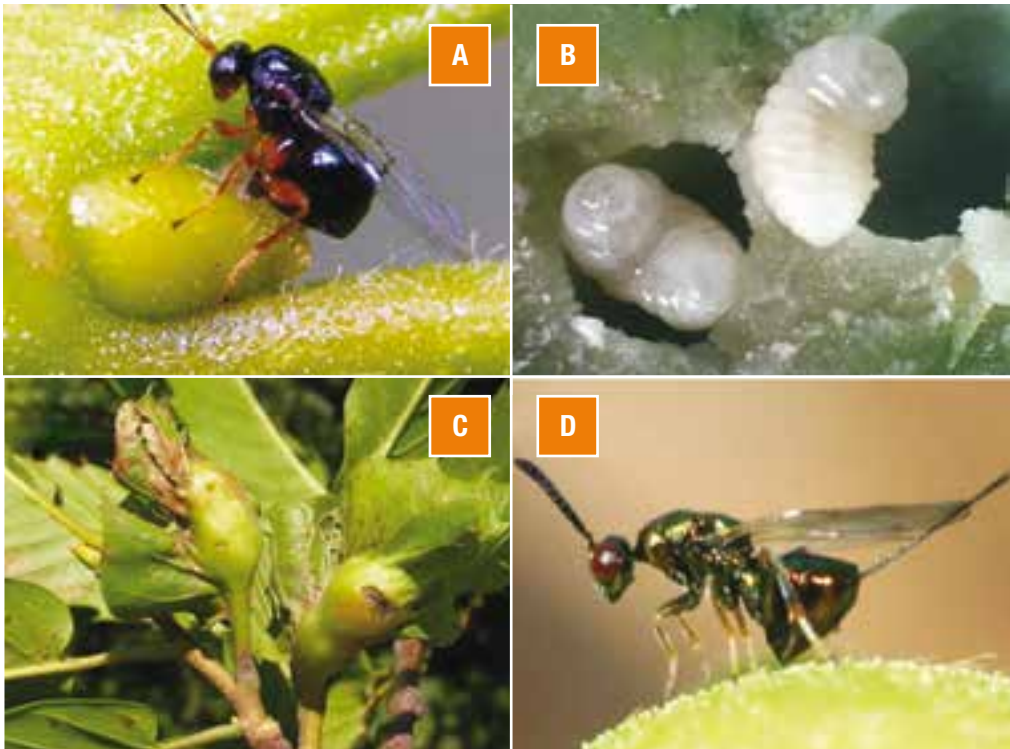


Fig. 6.5 - Controllo biologico classico dell'imenottero cinipide *Dryocosmus kuriphilus*, Cinipide orientale del castagno. Femmina del cinipide nell'atto di ovideporre su una gemma di castagno (A); larve del cinipide all'interno di una galla aperta ad arte (B); galle su germogli di castagno indotte dall'azione trofica delle larve del cinipide (C); femmina dell'imenottero torimide *Torymus sinensis* in fase di ovideporre in galle attaccate dal cinipide (D).

In epoca più recente, un esempio di programma di controllo biologico coronato da successo attuato in Italia è stato quello che ha riguardato il Cinipide orientale del castagno, *Dryocosmus kuriphilus*, un fitofago descritto per la prima volta in Cina e successivamente segnalato in Giappone, Corea del Sud e Stati Uniti (Fig. 6.5A ▲). L'insetto vive a spese principalmente del castagno europeo, selvatico o innestato, a cui provoca gravi danni inducendo la formazione di galle a spese dei germogli e delle foglie, all'interno delle quali si sviluppano le larve (Fig. 6.5B,C ▲). La formazione della galla può coinvolgere una parte delle giovani

foglie e delle infiorescenze, determinando l'arresto dello sviluppo vegetativo dei getti colpiti e la riduzione della fruttificazione per la mancata produzione dei fiori femminili e degli amenti maschili.

Nel tentativo di contenere le popolazioni del Cinipide del castagno con il controllo biologico classico, negli anni 2003-04 è stato introdotto dal Giappone l'imenottero torimide *Torymus sinensis*, un ectoparassitoide larvale (Fig. 6.5D ▲). Il parassitoide ha mostrato sin dall'inizio un'effettiva capacità di contenere le popolazioni del cinipide, tanto che, dopo circa un decennio, l'infestazione è stata ricondotta a livelli accettabili.

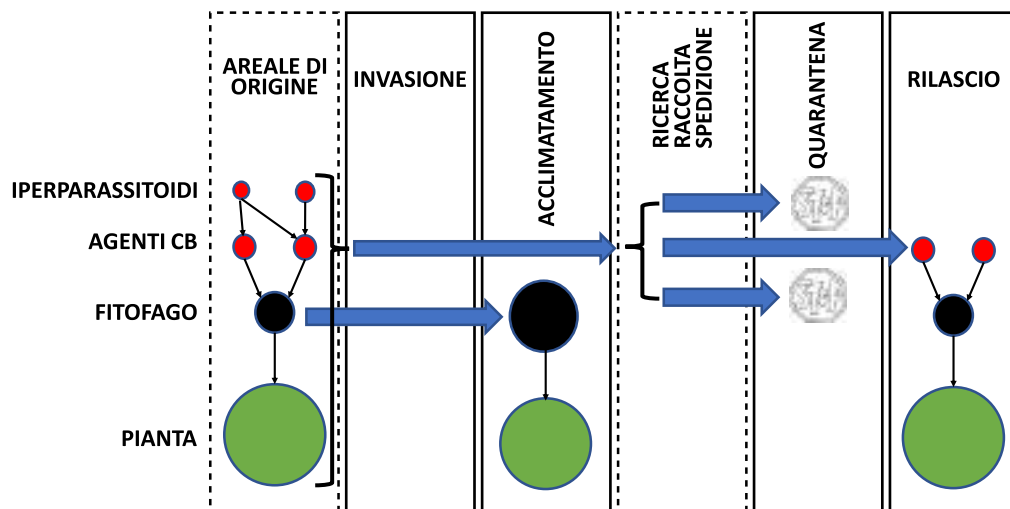


Fig. 6.6 - Rappresentazione schematica delle fasi che compongono un programma di Controllo Biologico Classico.

In estrema sintesi le fasi principali di un programma di controllo biologico classico sono tre: 1) ricerca, raccolta e spedizione; 2) quarantena; 3) rilascio (Fig. 6.6 ▲).

Nella fase di ricerca, raccolta e spedizione dei possibili candidati è importante disporre delle adeguate competenze tassonomiche per la corretta identificazione dell'antagonista naturale che si pensa di introdurre. In letteratura sono riportati diversi casi di fallimento di progetti di controllo biologico classico dovuti ad errori di identificazione, che attualmente sono meno frequenti grazie ai moderni studi tassonomici basati sulla caratterizzazione morfologica e su quella molecolare.

Nei prossimi anni la disponibilità di nuovi antagonisti naturali per il controllo biologico potrebbe subire una sensibile contrazione a causa di iniziative legislative come, per esempio, quella della Convenzione sulla Diversità Biologica, il trattato internazionale adottato nel 1992 al fine di tutelare la diversità biologica, l'utilizzazione durevole dei suoi elementi

e la ripartizione giusta dei vantaggi derivanti dallo sfruttamento delle risorse genetiche, da cui è derivato il Protocollo di Nagoya (2010), la cui attuazione comporta anche la limitazione all'esportazione di antagonisti naturali per il controllo biologico. Questa nuova realtà sta determinando un maggiore impulso verso l'impiego di antagonisti naturali indigeni e una maggiore attenzione al controllo biologico conservativo (cfr. 6.1.4).

6.1.2 - CONTROLLO BIOLOGICO INOCULATIVO

Il controllo biologico inoculativo si prefigge di contenere le popolazioni di un insetto fitofago con il rilascio di un numero contenuto di individui dell'antagonista naturale in grado di moltiplicarsi e di esercitare un effetto prolungato sulla popolazione bersaglio. In pratica, l'azione di contenimento non è svolta dagli individui che vengono rilasciati, ma da quelli che si svilupperanno nelle generazioni successive; per questo motivo si parla anche di "effetto progenie" (Fig. 6.3).

In generale, il controllo biologico inoculativo viene adottato per gli insetti entomofagi che hanno ottime capacità di controllo delle popolazioni degli insetti fitofagi, ma che non sono in grado di adattarsi completamente alle caratteristiche climatiche dell'ambiente in cui sono rilasciati e/o di sincronizzarsi con il ciclo biologico della vittima, per cui hanno bisogno di introduzioni ripetute. In generale, queste condizioni trovano un riscontro maggiore nelle colture protette e minore in pieno campo. In serra i lanci inoculativi sono anche detti stagionali o periodici. Vari sono gli esempi di applicazione del controllo biologico inoculativo in serra, come nel caso di *Aphidius* spp. per il controllo di afidi, *Diglyphus isaea* per il controllo di ditteri fillominatori, *Encarsia formosa* per il controllo di aleurodidi e *Orius* spp. per il controllo di tripidi.

Nel tempo sono stati messi a punto dei particolari metodi di controllo biologico inoculativo in serra noti con i nomi anglosassoni di *banker plant* e *pest in first*.

Il metodo *banker plant* (Fig. 6.7 ▼) consiste nell'introduzione precoce in serra di piante diverse da quelle coltivate, infestate da individui di una specie fitofaga, che non attacca le piante coltivate, i quali sono parassitizzati dall'antagonista naturale che si vuole intro-

durare in serra. Un protocollo tipico fa riferimento a piante di graminacee infestate da afidi, come *Rhopalosiphum padi*, parassitizzati da insetti parassitoidi quali *Aphidius colemani* e *Lysiphlebus testaceipes*. In questo modo si assicura la presenza di un'adeguata popolazione dei parassitoidi all'arrivo dell'afide bersaglio in quanto questi si sono riprodotti a spese della specie ospite della *banker plant*.

Attualmente, il metodo *banker plant* consente di utilizzare 19 antagonisti naturali per controllare 11 specie fitofaghe bersaglio. Tuttavia, il loro impiego è ancora molto limitato e presente quasi esclusivamente in Europa e in Canada. In Europa l'uso è molto irregolare, per esempio in Inghilterra è adottato da poco meno del 5% dei serricoltori, mentre in Danimarca la percentuale sale a circa il 20%; in Olanda l'impiego è stimato in circa 120 ha di serre.

Il metodo *pest in first* consiste nell'inoculare sin dall'inizio della stagione l'insetto fitofago e il suo antagonista naturale a densità molto basse allo scopo di garantire la presenza di quest'ultimo prima che avvenga l'attacco del fitofago. In pieno campo il controllo biologico inoculativo è normalmente applicato per quelle specie di insetti entomofagi che,



Fig. 6.7 - Installazione in serra di *banker plant* in cui è possibile osservare la presenza di afidi di *Rhopalosiphum padi* parassitizzati, di colore scuro, e di un adulto del parassitoide *Aphidius colemani*, cerchiato in rosso.

nel loro areale di origine, sono in grado di controllare efficacemente una o più specie fitofaghe, ma quando sono trasferite in areali con differenti condizioni climatiche possono vedere compromessa la propria efficacia. Per esempio l'afelinide *Aphytis lignanensis* è un efficace antagonista di *Aonidiella aurantii* negli agrumeti della California e di molte altre zone geografiche, ma non lo è altrettanto negli agrumeti con condizioni climatiche estreme; pertanto all'inizio della stagione produttiva è necessario un rilascio inoculativo di circa 1 milione di individui/ha. Nel Bacino del Mediterraneo, le popolazioni di *Cryptolaemus montrouzieri* sono in grado di contenere le infestazioni della Cocciniglia cotonosa degli agrumi, *Planococcus citri*, tuttavia, durante l'inverno il predatore è decimato dalle basse temperature e quindi risulta opportuno operare dei lanci inoculativi all'inizio della primavera.

6.1.3 - CONTROLLO BIOLOGICO INONDATIVO

Il controllo biologico inondativo si prefigge di ottenere l'abbattimento immediato della popolazione del fitofago distribuendo l'antagonista naturale in grandi quantità. A differenza del controllo biologico inoculativo, l'azione di contenimento è esercitata direttamente dagli individui liberati, in modo paragonabile, almeno negli effetti, all'azione esercitata da un prodotto insetticida; pertanto è anche in uso definire l'antagonista un "biopesticida" (Fig. 6.3).

In quest'ottica, a volte risulta necessario programmare più liberazioni inondative dell'antagonista naturale se il fitofago tende repentinamente a ripresentarsi a livelli consistenti di popolazione.



Uno degli esempi più noti e diffusi di applicazione di controllo biologico inondativo in pieno campo è quello del controllo del-

la Piralide del mais, *Ostrinia nubilalis*, per mezzo del micro imenottero oofago *Trichogramma brassicae*.

La Piralide del mais (Fig. 6.8A ►) è uno dei principali fitofagi del mais; la femmina depone le uova in ovature biancastre a placca (Fig. 6.8B ►) da cui nascono le larve che determinano danni fisiologici, erodendo direttamente le cariossidi (Fig. 6.8C ►) oppure riducendo la traslocazione di fotosintetati verso di esse scavando gallerie nello stocco. Inoltre, le gallerie scavate dalla larve indeboliscono lo stocco e favoriscono la stroncatura delle piante. Infine, le gallerie e i fori larvali possono costituire una via di accesso per alcuni funghi fitopatogeni, come *Fusarium* e *Aspergillus*. Il parassitoide *T. brassicae* (Fig. 6.8D ►) è una delle tante specie del genere *Trichogramma*, imenotteri oofagi di pochi decimi di mm di lunghezza, che sono usate frequentemente nel controllo biologico di lepidotteri fitofagi in vari Paesi e che per questo sono comunemente allevate nelle biofabbriche.

L'idea di impiegare *T. brassicae* nel controllo biologico inondativo della Piralide del mais è stata sviluppata a livello industriale attorno agli anni '90 dalla società francese Biotop, un'affiliata del gruppo InVivo, in stretta collaborazione con gli istituti di ricerca dell'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). Oggi questa soluzione è offerta da varie ditte che si occupano di controllo biologico. Nelle biofabbriche *T. brassicae* è allevato su ospiti di sostituzione, i più usati dei quali



Fig. 6.8 - Controllo biologico inondativo della della Piralide del mais. Adulto di Piralide del mais (A); ovatura (B); larva intenta a scavare le cariossidi (C); adulto di *Trichogramma brassicae* (D); capsule di cellulosa biodegradabile usate per la distribuzione del parassitoide (E); particolare di drone modificato per il rilascio delle capsule (F).

sono *Ephestia kuehniella* e *Sitotroga cerealella*, due comuni tignole, le cui uova sono devitalizzate, parassitizzate da *T. brassicae* e confezionate in appositi diffusori per la liberazione in campo. Nel caso della Piralide del mais è prevista la distribuzione di una quantità di femmine di *T. brassicae* di circa 350-400mila individui/ha. Inizialmente la distribuzione era eseguita manualmente con diffusori di cartone collocati all'ascella delle foglie, operazione che per vaste superfici comportava un grande impegno. Successivamente sono stati messi a punto diffusori in capsule di cellulosa biodegradabile di forma sferoidale (Fig. 6.8E ▲) che facilitano la distribuzione del parassitoide, in quanto queste capsule possono essere distribuite anche con l'impiego di mezzi aerei; in Francia, dove sono presenti grandi estensioni di mais, con questa modalità nel 2014 sono stati trattati circa 120.000 ettari, all'incirca un quarto della superficie coltivata a mais. Più recentemente, con l'avvento dei droni è possibile che l'impiego del parassitoide oofago possa avere un

maggiore slancio, in particolare in Italia dove la limitata dimensione degli appezzamenti ha sempre impedito l'impiego del mezzo aereo.

I droni (Fig. 6.8F ▲), appositamente modificati per la distribuzione delle capsule, vengono fatti volare negli appezzamenti circa un metro al di sopra della vegetazione e, tramite un apposito distributore automatizzato, rilasciano uniformemente le capsule con una precisione valutabile nell'ordine di un metro.

6.1.4 - CONTROLLO BIOLOGICO CONSERVATIVO

A partire dagli anni '50-60, la progressiva intensificazione degli agrosistemi ha portato nel tempo ad un'eccessiva specializzazione degli ordinamenti produttivi aziendali e, di riflesso, di interi comprensori. In pratica, l'affermarsi della monocoltura con la concomitante eliminazione delle siepi e delle superfici boscate, l'uso di agrofarmaci con principi attivi ad azione residuale e l'abbandono delle tradizionali sistemazioni idraulico-agrarie sono alcuni dei fattori concomitanti che hanno drasti-

camente ridotto la biodiversità vegetale con la conseguente rarefazione dell'artropodofauna utile. Come già evidenziato nell'approccio agroecologico (cfr. paragrafo 4.1), la gestione delle problematiche entomologiche non può prescindere dalla valorizzazione del controllo biologico conservativo. Il controllo biologico conservativo si è sviluppato negli anni '70 ed è basato sulla protezione e la valorizzazione dell'entomofauna presente spontaneamente nell'ambiente. In estrema sintesi, può essere realizzato adottando pratiche colturali adeguate e una gestione appropriata degli habitat non coltivati e del paesaggio agrario atte a valorizzare e potenziare le popolazioni degli antagonisti naturali già presenti in campo (Fig. 6.3). Infatti, il mantenimento, la conservazione degli habitat naturali e/o l'impianto di elementi semi-naturali nel paesaggio agrario consentono di migliorare la connettività fra habitat frammentati e quindi di agevolare il passaggio di organismi che svolgono funzioni centrali nell'ecologia dell'agroecosistema. Per esempio, le infrastrutture ecologiche, dette anche aree di compensazione ecologica, come zone boscate, siepi, aree marginali, cespugli, zone di antichi confini poderali caratterizzate da muretti a secco e specie della vegetazione autoctona, coltivi abbandonati, aree alberate, capezzagne, etc., sono essenziali per mantenere nicchie ecologiche idonee alla vita degli insetti impollinatori e degli insetti entomofagi con evidenti riflessi positivi sui servizi ecosistemici che questi svolgono.

Tuttavia, si deve tenere presente che la sola presenza delle infrastrutture ecologiche non si traduce automaticamente nel potenziamento delle popolazioni naturali degli insetti entomofagi e nell'incremento

della loro efficacia nel controllo delle popolazioni degli insetti fitofagi, in quanto le diverse essenze vegetali possono svolgere funzioni anche contrastanti e favorire lo sviluppo delle popolazioni degli insetti fitofagi. Di seguito sono trattate le varie tipologie delle cosiddette "piante non coltivate", le quali sono una delle principali componenti delle infrastrutture ecologiche. Con il termine di "piante non coltivate" si fa riferimento alle componenti vegetali spontanee e/o piante seminate "non produttive" che, utilizzate come infrastrutture ecologiche, possono influenzare positivamente le interazioni tra la pianta coltivata, l'insetto fitofago e il suo antagonista naturale per prevenire o limitare gli attacchi dell'insetto fitofago. A tale scopo le piante non coltivate possono essere utilizzate per 1) favorire lo sviluppo della pianta coltivata, 2) interferire con il comportamento degli insetti fitofagi e 3) favorire l'azione degli antagonisti naturali (Fig. 6.9 ►).

Le piante non coltivate che svolgono un'azione favorevole alla pianta coltivata sono dette piante di accompagnamento (Fig. 6.9, linee blu ►). Queste piante, note anche con il termine anglosassone di *companion plant*, sono seminate nelle vicinanze della pianta coltivata in modo che quest'ultima aumenti il suo valore nutritivo e/o produttivo.

In letteratura, il termine piante di accompagnamento trova impiego in un'accezione più ampia che non si limita ai soli effetti diretti nei confronti della pianta coltivata, ma include anche quelli che influenzano i livelli trofici superiori. Tuttavia, in questa trattazione si è preferito dare a questo termine una definizione *sensu stricto* che include solo gli effetti nei confronti delle piante coltivate. Una pianta non coltivata può aumentare il valore

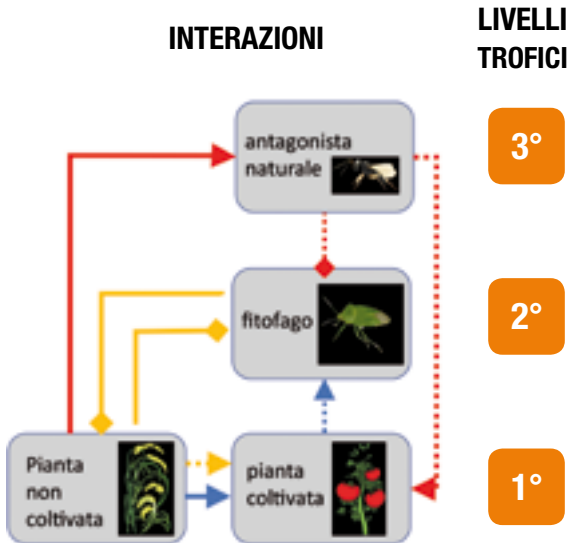


Fig. 6.9 - Rappresentazione schematica delle possibili interazioni nelle relazioni tri-trofiche pianta coltivata, pianta non coltivata, insetto fitofago e antagonista naturale. Le linee continue mostrano le relazioni dirette, quelle tratteggiate le relazioni indirette. Le linee che terminano con la freccia indicano relazioni positive, quelle che terminano con il rombo le relazioni negative. Le linee blu mostrano il ruolo delle piante non coltivate con azione favorevole alla pianta coltivata, quelle arancioni con azione nei confronti dell'insetto fitofago e quelle rosse nei confronti dell'antagonista naturale.

nutritivo e/o produttivo di una pianta coltivata, per esempio, arricchendo il suolo di azoto grazie alle capacità azotofissatrici e renderla più resistente agli attacchi degli insetti fitofagi. Un classico esempio è offerto da molte leguminose che sono spesso utilizzate come piante di accompagnamento in colture consociate, in quanto producono biomassa e riducono la presenza di piante infestanti, senza competere per l'azoto. Nonostante questi esempi, in letteratura non ci sono evidenze unanimi sui vantaggi derivanti dalla presenza di piante di accompagnamento e il loro impiego, se non opportunamente pianificato, potrebbe avere effetti negativi sulla coltura principale determinati dalla competizione per l'acqua e i nutrienti.

Le piante non coltivate in grado di interferire con l'insetto fitofago possono essere utilizzate come piante repellenti o come piante trappola (Fig. 6.9, linee arancioni ▲). Sono usate come repellenti quelle piante in grado di produrre sostanze chimiche repulsive che agiscono direttamente nei confronti degli

insetti fitofagi, i quali in questo modo sono tenuti lontano dalle piante coltivate. È noto che molte essenze vegetali sintetizzano metaboliti secondari, quali alcaloidi, terpenoidi, flavonoidi e chinoni, che hanno proprietà repellenti nei confronti di molte specie di insetti fitofagi, anche se è bene sottolineare che la suscettibilità degli insetti ai composti vegetali è variabile in funzione della specie, del particolare stadio vitale e delle caratteristiche dell'ambiente; pertanto, le specie fitofaghe non reagiscono a questi composti allo stesso modo e quindi l'azione repellente che può essere ottenuta nei confronti di una specie potrebbe non manifestarsi per un'altra. Studi più recenti hanno messo in evidenza che piante coltivate beneficiano della presenza di piante non coltivate le quali rilasciano composti che non agiscono direttamente da repellenti per il fitofago, ma che agiscono indirettamente mascherando gli odori attrattivi della pianta coltivata.

Le piante trappola sono piante che attraggono e trattengono gli insetti fitofagi bersaglio in modo che questi non provochino danni alla

coltura principale. Un pianta trappola è quella che per stadio di sviluppo, cultivar, varietà o specie risulta più attrattiva della pianta coltivata; pertanto, il fitofago tendenzialmente non migra nella coltura principale adiacente e rimane confinato in un'area più ristretta dove può essere più facilmente debellato con interventi mirati e localizzati. Inoltre, gli interventi per il controllo della specie fitofaga confinata nella coltura trappola possono perfino rivelarsi non necessari con l'uso delle cosiddette piante trappola "a vicolo cieco".

Le piante trappola "a vicolo cieco" sono piante preferite dalle femmine del fitofago per l'ovideposizione, ma non adatte allo sviluppo della progenie. Un classico esempio è offerto dall'Erba di Santa Barbara comune, *Barbarea vulgaris*, una pianta erbacea perenne appartenente alla famiglia delle Brassicacee. Molti genotipi naturali di *B. vulgaris* sono resistenti a insetti fitofagi; tra questi il genotipo denominato "G-type" risulta essere particolarmente attrattivo per le femmine ovideponenti di *Plutella xylostella*, la Tignola delle crucifere, ma inadatto allo sviluppo delle larve a causa della presenza di saponine. Una pianta trappola può anche essere utilizzata come mezzo di monitoraggio per rilevare attacchi precoci di insetti fitofagi.

L'impiego delle piante trappola deve essere fatto con estrema attenzione, in quanto queste potrebbero favorire la diffusione degli insetti fitofagi e richiamarli a densità di popolazione ben superiori a quelle in assenza delle piante. L'efficacia dell'impiego di piante trappola è subordinata a diversi parametri, tra i quali svolgono un ruolo primario le dimensioni delle superfici utilizzate, il loro posizionamento e la loro localizzazione. Per esempio, il controllo delle popolazioni della Dorifora della patata, *Leptinotarsa decemlineata*, si ottiene posizionando le piante trap-

pola lungo il perimetro dei campi di patate in modo da intercettare gli adulti svernanti (Fig. 6.10 ►). Anche le modalità con cui l'insetto bersaglio si muove devono essere tenute in giusta considerazione, non a caso i maggiori successi si registrano nei confronti di coleotteri e di ditteri tefritidi che notoriamente colonizzano le piante ospiti con voli diretti.

Di recente è stato messo a punto un metodo che prevede l'impiego contemporaneo di piante repellenti per allontanare l'insetto (*push*) e di piante trappola per attirarlo (*pull*), detto appunto metodo *push and pull*. Il metodo è stato sviluppato in Africa presso il centro di ricerche International Centre of Insect Physiology and Ecology di Nairobi (Kenia), in collaborazione con la stazione sperimentale "Rothamsted Research" (UK), con la stazione sperimentale "Kenyan Agricultural Research Institute" e con altri partner locali, per difendere le piante di mais dall'attacco di lepidotteri endofiti, quali *Chilo partellus*, *Busseola fusca* e *Sesamia calamistis*, le cui larve scavano gallerie nei fusti, e da quello di una pianta parassita *Striga* spp, appartenente alla famiglia delle Orobanchacee. Le piante utilizzate sono una leguminosa nativa dell'Africa, *Desmodium uncinatum*, che è coltivata negli interfilari e funge da repellente per le specie fitofaghe, e una foraggera, *Pennisetum purpureum*, nota come erba elefantina, che viene piantata lungo il perimetro dei campi di mais e funge da attrattivo (Fig. 6.11 ►).

Le femmine delle specie fitofaghe sono allontanate dal mais per la presenza di *D. uncinatum* e si riversano sull'erba elefantina sulla quale depongono; tuttavia le giovani larve non giungono a maturità perché vengono immobilizzate dalle sostanze vischiose che la pianta rilascia una volta che queste cominciano a scavare le gallerie.

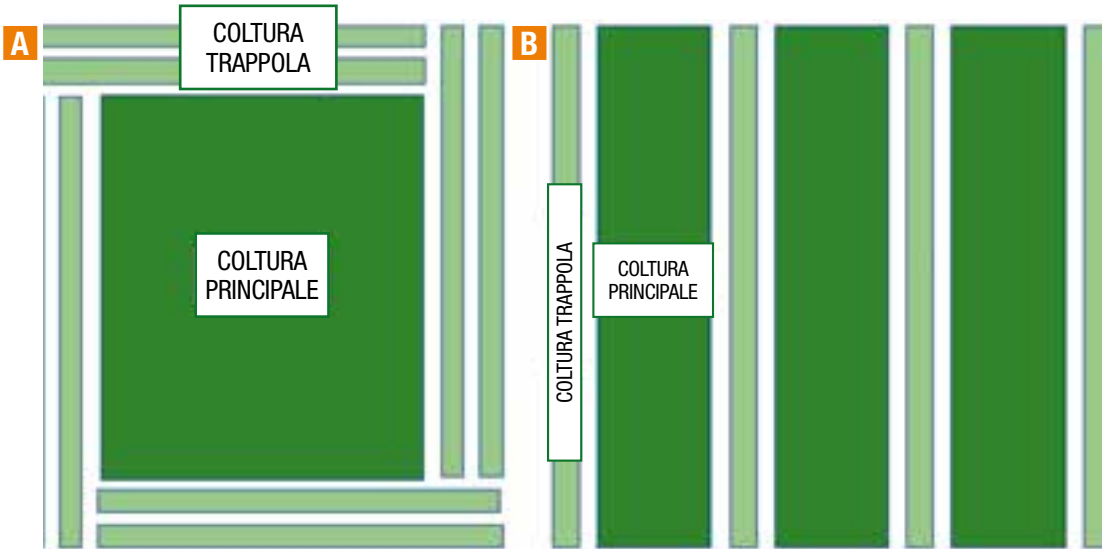


Fig. 6.10 - Illustrazione delle possibili distribuzioni della coltura trappola: lungo il perimetro (A) o negli interfilari (B) della coltura principale.

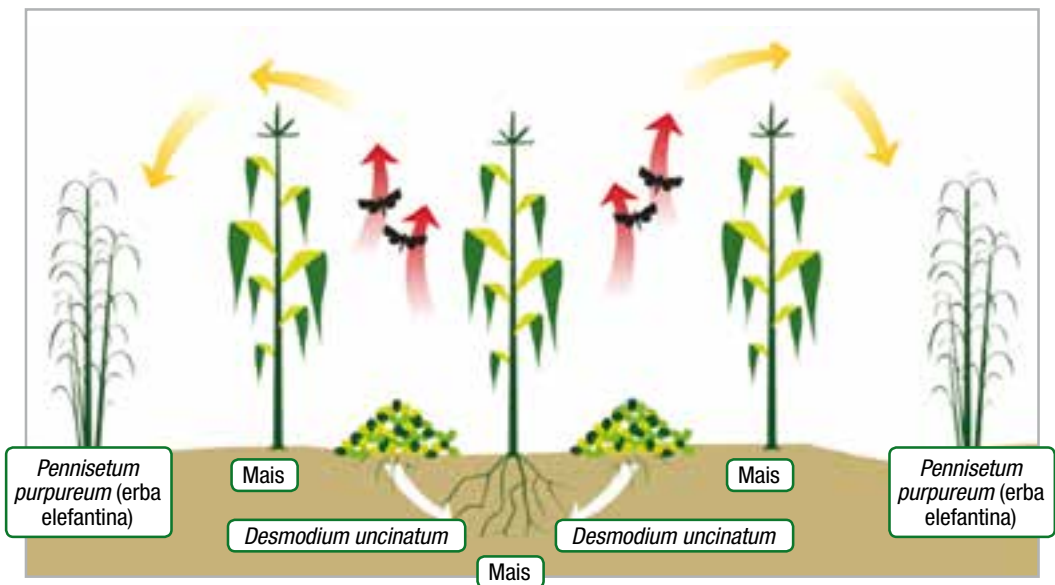


Fig. 6.11 - Rappresentazione schematica del metodo *push and pull*. Con la freccia rossa è indicata l'azione *push* svolta da *Desmodium uncinatum*; con la freccia arancione l'azione *pull* svolta da *Pennisetum purpureum*, ed infine con la freccia bianca l'azione svolta dai composti secreti dalle radici *D. uncinatum* nei confronti della pianta parassita, *Striga* spp. a cui impediscono l'attacco alle radici del mais.

Inoltre, *D. uncinatum* controlla la pianta parassita fungendo da “falso ospite”, infatti i semi di *Striga* spp ricevono lo stimolo di germinare e provano ad attaccarsi all’ospite, ma il legume non ne sostiene la crescita e perciò la pianta infestante muore. Il successo di questo metodo è stato tale che oltre 30mila agricoltori dell’Africa orientale (nella zona del Lago Vittoria) lo utilizzano con positivi risultati.

Le piante in grado di favorire l’azione degli antagonisti naturali possono essere impiegate come *banker plant* e come piante insettario (Fig. 6.9 linee rosse). Come precedentemente riportato, le *banker plant* costituiscono un sistema tri-trofico di piante non produttive artificialmente infestate da un fitofago, il quale funge da ospite alternativo per l’entomofago di cui si voglia agevolare l’insediamento. Il sistema è stato messo a punto e trova impiego per le colture protette ed in quest’ottica è stato discusso nell’ambito del controllo biologico inoculativo a cui si rimanda per ulteriori dettagli (cfr. paragrafo 6.1.2). Di contro, la possibilità di impiego in pieno campo delle *banker plant* è ancora in fase sperimentale e i dati sono ancora insufficienti per validarne l’uso. Le piante insettario, o *insectary plant* in lingua anglosassone, includono piante annuali, biennali o perenni che nella fase di fioritura attraggono ed, eventualmente, trattengono insetti entomofagi offrendo loro alimento sotto forma di nettare e/o polline. Il nettare, ricco di zuccheri, è un importante nutriente per insetti predatori e parassitoidi che nutrendosene incrementano la fecondità e la fertilità. Allo stesso modo, il polline, composto prevalentemente da proteine e amminoacidi, incrementa la fertilità e la longevità degli insetti entomofagi; tuttavia, mentre è accertato che i predatori se ne nutrono attivamente, non è altrettanto evidente se i parassitoidi se ne nutrano attivamente o casualmente mentre assumono il nettare.

In generale, la scelta delle essenze vegetali deve essere fatta con molta attenzione poiché la presenza di piante in fioritura non è sufficiente a garantire l’effetto desiderato e potrebbe avere un effetto negativo. Per esempio l’accessibilità al nettare varia enormemente da pianta a pianta in base alla struttura, al colore del fiore e al periodo della fioritura; non di meno, il nettare e il polline di alcune piante possono avere effetti tossici e/o repellenti nei confronti degli insetti entomofagi.

Tra le diverse piante che possono essere utilizzate come piante insettario, l’alisso marittimo (*Lobularia maritima*) e il grano saraceno (*Fagopyrum sagittatum*) sono quelle che a livello sperimentale hanno fornito i risultati più coerenti. Nell’ambito degli insetti predatori, i ditteri sirfidi ottengono particolare beneficio dalla presenza di piante nettariifere; analogamente gli adulti di alcune specie di coleotteri coccinellidi si alimentano di polline nei periodi di carenza di prede. Nell’ambito degli insetti parassitoidi, sono noti casi di aumento dell’efficacia connesso alla presenza di fiori di piante insettario per alcune specie di imenotteri braconidi, afelinidi e scelionidi, nonché di ditteri tachinidi.

Come abbiamo visto, la gestione delle infrastrutture ecologiche è un elemento chiave per prevenire lo sviluppo delle popolazioni degli insetti fitofagi. Tuttavia si deve tenere presente che le azioni messe in atto per il mantenimento, la conservazione o l’impianto di elementi semi-naturali nell’agroecosistema possono in talune circostanze risultare dannose alla produttività del sistema, promuovendo incrementi delle popolazioni degli insetti fitofagi; in questo caso si parla di disservizi ecosistemici (DSE). Per esempio, le piante non coltivate possono competere con la pianta coltivata sottraendo acqua e composti minerali oppure svolgere

un'azione allelopatica, nota anche come competizione chimica o antagonismo radicale. Inoltre possono favorire l'invasione di piante infestanti nei campi coltivati, la diffusione di agenti fitopatogeni e di insetti fitofagi.

6.2 - IL CONTROLLO INTEGRATO

Il controllo integrato degli insetti fitofagi è una strategia di difesa delle colture e delle produzioni agricole che mira al contenimento delle popolazioni dei fitofagi a livelli di densità inferiori a quelli in grado di arrecare un danno economico, attraverso un uso coordinato di tutti i mezzi disponibili nel rispetto della salute umana e dell'ambiente; si tratta dunque di un'integrazione dei mezzi chimici con mezzi biologici, biotecnici, agronomici, ecc. Secondo una definizione più attuale il controllo integrato è "una strategia con la quale si mantengono le popolazioni di fitofagi al di sotto della soglia di tolleranza sfruttando meccanismi naturali di regolazione e utilizzando metodi di lotta accettabili dal punto di vista ecologico, economico e tossicologico".

L'applicazione del controllo integrato non è comunque una semplice somma di metodologie e strumenti differenti, ma rappresenta una svolta completa nel modo di avvicinarsi alla difesa delle colture. Infatti, se da un punto di vista dell'uso dei mezzi tecnici il controllo integrato rappresenta una limitazione dell'uso dei mezzi chimici di sintesi a vantaggio di quelli più ecosostenibili, quali i mezzi biotecnici, microbiologici e biologici, da un punto di vista ecologico determina il passaggio da un approccio individuale delle singole componenti a una visione globale dell'ecosistema con tutte le sue interazioni. Questi cambiamenti determinano il raggiungimento delle finalità del controllo integrato che, in estrema sintesi, vuole essere una riduzione dei trattamenti chimici con prodotti di sintesi, per una maggiore sostenibilità de-

gli ecosistemi con vantaggi per l'ambiente e per la salute umana (Fig. 6.12 ►).

Nato in origine come metodo per ridurre l'impatto negativo dei trattamenti chimici sull'uomo, sia consumatore che produttore, e sull'ambiente, a seguito della presa di coscienza da parte del mondo scientifico dei pericoli rappresentati dai trattamenti chimici, come il bioaccumulo e la biomagnificazione, il controllo integrato rappresenta una valida strategia applicativa capace di coniugare gli aspetti economici produttivi con quelli ecologici e tossicologici.

Dal punto di vista legislativo, in Italia, esistono due forme di difesa integrata: la difesa integrata obbligatoria e quella volontaria. La difesa integrata obbligatoria è regolamentata dal D.L. n. 150/2012; quella volontaria, è invece realizzata per mezzo di norme tecniche specifiche per ciascuna coltura riportanti le strategie di difesa, che hanno carattere vincolante (disciplinari di produzione), le pratiche agronomiche, i trattamenti fitosanitari e le eventuali limitazioni nella scelta dei prodotti fitosanitari e nel numero dei trattamenti.

In quest'ottica il controllo integrato è parte integrante della normativa europea in materia di protezione delle colture agricole. Infatti la Direttiva 2009/128 dell'Unione Europea sull'utilizzo sostenibile dei pesticidi (prodotti fitosanitari) e il successivo Regolamento 1107/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio dell'Unione Europea del 21 ottobre 2009, relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari, impongono la significativa riduzione dell'uso dei trattamenti chimici in agricoltura, attraverso l'adozione di tecniche di agricoltura integrata, al fine di ridurre i rischi per la salute umana e per l'ambiente.

In Italia, la Direttiva Europea è stata recepita con Decreto del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali del 22/01/2014

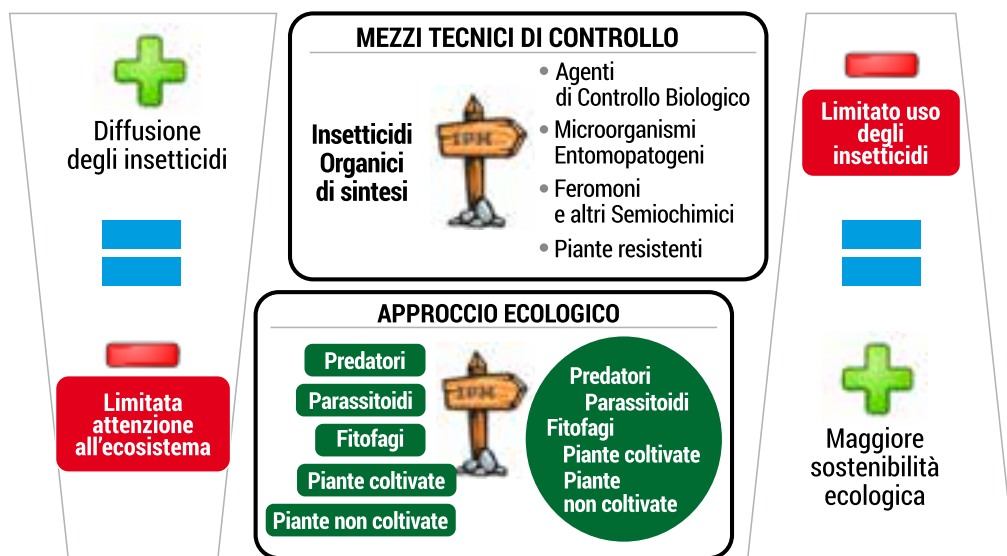


Fig. 6.12 - Illustrazione sintetica degli aspetti basilari del controllo integrato. I rettangoli centrali rappresentano la progressiva riduzione degli insetticidi organici di sintesi a favore di mezzi tecnici di controllo alternativi (in alto); il passaggio da un approccio riduzionistico ad uno olistico delle componenti degli agroecosistemi (in basso). I trapezi laterali rappresentano le condizioni di minore (a sinistra) e maggiore (a destra) sostenibilità dell'agroecosistema.

“Adozione del Piano di Azione Nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari, ai sensi dell'articolo 6 del Decreto Legislativo 14 agosto 2012, n.150 recante: “Attuazione della direttiva 2009/128/CE che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi”. Pertanto, dal 1 gennaio 2014 gli agricoltori sono obbligati ad un uso maggiormente responsabile e sostenibile dei prodotti fitosanitari, sia quantitativo (riduzione dei trattamenti e delle dosi) sia qualitativo (scelta di prodotti selettivi e a minore impatto ambientale), con l'obiettivo di ridurre la lotta chimica a vantaggio dell'adozione di sistemi alternativi di difesa delle colture, come i mezzi agronomici, biotecnici e biologici. Tuttavia, sebbene sia una strategia maggiormente rispettosa dell'ambiente e della salute umana, non si può non evidenziare che il controllo integrato è una soluzione incompleta rispetto al controllo biologico, rappresentando

un compromesso tra le necessità produttive e un'agricoltura ecosostenibile.

6.2.1 - MECCANISMI DI DIFESA DELLE PIANTE

Le piante, in risposta all'attacco degli insetti fitofagi, hanno sviluppato una serie di meccanismi di difesa che sono generalmente inquadrati nella tematica della resistenza delle piante agli insetti e il cui impiego è rilevante per la messa a punto di programmi di controllo integrato. I meccanismi di resistenza delle piante sono controllati geneticamente e sono distinti in tolleranza, antixenosi e antibiotici.

La tolleranza identifica la capacità della pianta di subire l'attacco dell'insetto fitofago mettendo in atto risposte fisiologiche, quali rimarginazione e/o sostituzione degli organi colpiti, tali da limitare gli effetti negativi sulla produzione sia in termini di qualità che di quantità.

L'antixenosi identifica la capacità della pianta di produrre barriere fisiche o biochimiche che inibiscono l'insetto fitofago dal nutrirsi, riprodursi e/o ovideporre. Ad esempio, le barriere fisiche sono rappresentate dalle proprietà strutturali della superficie fogliare (presenza di tricomi, ghiandolari e non, e spine) e della parete cellulare (spessore della cuticola), che impediscono all'insetto di muoversi agilmente, di nutrirsi o di ovideporre. In alcune varietà di *Lycopersicon* spp., la presenza di tricomi ghiandolari è associata con la resistenza a diverse specie di artropodi, tra cui *Myzus persicae* e altri afidi. Generalmente, l'azione antixenotica è ad ampio spettro e aspecifica.

L'antibiosi identifica la capacità della pianta di produrre metaboliti tossici per l'insetto fi-

tofago. Questi metaboliti tossici sono generalmente raggruppati in base al loro meccanismo d'azione in antinutritivi e antidigestivi; possono essere prodotti in seguito all'attacco degli insetti o possono essere normalmente presenti nei tessuti vegetali. In pratica, sono sostanze che arrestano o rallentano il processo di alimentazione dell'insetto con effetti negativi sulla crescita e sullo sviluppo. Per esempio, gli inibitori di proteasi, le polifenolossidasi e alcune deaminasi, interferiscono con il processo digestivo e l'assorbimento dei nutrienti, in quanto degradano alcuni aminoacidi essenziali, arginina e treonina, presenti nel lume intestinale dei fitofagi. I meccanismi di difesa descritti sono classificati in base ai tempi di azione in costitutivi e indotti (Fig. 6.13 ▼).

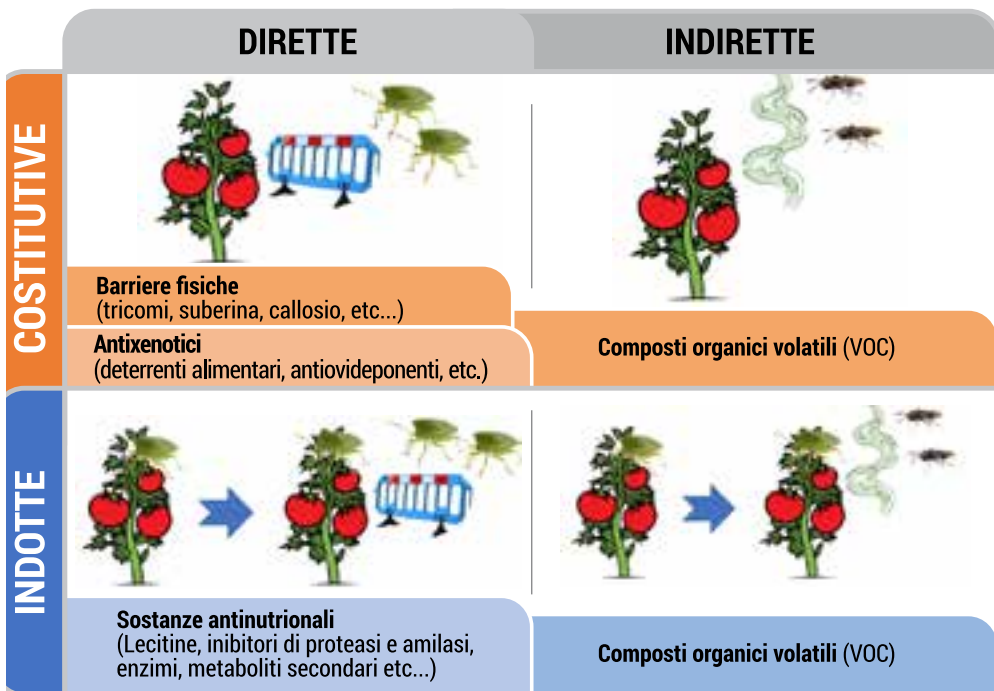


Fig. 6.13 - Rappresentazione schematica dei tipi di meccanismi di difesa della pianta dall'attacco di insetti fitofagi. Difese costitutive: sono presenti indipendentemente dall'attacco dell'insetto fitofago. Difese indotte: si instaurano in risposta all'attacco del fitofago. Difese dirette: agiscono direttamente nei confronti del fitofago. Difese indirette: attraggono gli antagonisti naturali del fitofago.

I meccanismi di difesa costitutivi sono presenti nella pianta indipendentemente dall'essere o no oggetto di attacco dell'insetto fitofago, mentre quelli indotti agiscono in risposta all'attacco del fitofago e, pertanto, rispetto alle difese costitutive, prevedono il verificarsi di un danno che non sempre può essere tollerato da un punto di vista economico. Si deve tuttavia sottolineare che la distinzione tra difese costitutive e indotte non è sempre netta, in quanto in alcuni casi le difese costitutive possono anche essere indotte.

In base all'effetto sull'insetto fitofago, i meccanismi di difesa delle piante sono ulteriormente distinti in diretti e indiretti. I meccanismi di difesa diretta sono caratterizzati da effetti sulla biologia, sulla fisiologia e sul comportamento dell'insetto fitofago, come le già menzionate barriere fisiche o le sostanze che, agendo direttamente contro l'insetto fitofago, ne impediscono l'attacco o ne riducono le prestazioni biologiche attraverso l'alterazione del funzionamento fisiologico. Di contro, i meccanismi di difesa indiretta agiscono nei confronti dei fitofagi attraendo i loro antagonisti naturali (insetti predatori e parassitoidi) e fornendo a questi alimento e protezione di vario genere. Nella maggior parte dei casi, le difese indirette sono di tipo indotto e sono rappresentate dalla produzione di specifici metaboliti volatili in grado di facilitare il processo di localizzazione del fitofago da parte dei suoi antagonisti naturali (cfr. 5.1 e 5.2). Questi meccanismi consentono di sostenere la presenza dell'antagonista naturale e di conseguenza di ridurre la popolazione dell'insetto fitofago. Le prime evidenze di difesa indiretta della pianta hanno riguardato l'azione svolta dagli stadi degli insetti fitofagi mobili e in grado di arrecare danni alla pianta, come larve e adulti. Negli ultimi anni, l'attenzione si è rivolta anche allo

stadio di uovo, immobile e afago, nell'ottica di impedirne lo sviluppo e quindi di prevenire la presenza degli stadi in grado di danneggiare le piante. I composti che la pianta rilascia a seguito dell'attacco dell'insetto fitofago e che vengono utilizzati dagli antagonisti naturali volatili vengono generalmente definiti VOC (*Volatile Organic Compounds*) e per lo più sono sostanze volatili come etilene, acido giasmonico, composti a sei atomi di carbonio e glucosinolati. Come già messo in evidenza, la pianta reagisce all'attacco di insetti fitofagi anche aumentando la produzione di nettare extraflorale ad alto contenuto di zuccheri e amminoacidi, anche in questo caso con il fine di attirare gli insetti antagonisti naturali ed incoraggiare così la loro attività.

Negli ultimi anni, appare sempre più evidente il ruolo che possono svolgere le simbiosi radicali nei meccanismi di difesa delle piante. Per esempio, piante di pomodoro in presenza di simbiosi radicale con il fungo non-micorrizico, *Trichoderma harzianum*, non solo risultano più resistenti alle malattie fungine, ma aumentano le difese dirette e indirette nei confronti di attacchi di afidi.

Nell'ultimo decennio è sempre più impellente la necessità di definire strategie innovative e sostenibili per la gestione delle avversità delle colture agricole, in modo da poter ridurre l'uso di insetticidi chimici. Le possibilità offerte dalle difese indirette delle piante potrebbero utilmente essere inserite all'interno di strategie di controllo biologico per un'agricoltura sostenibile. Attualmente, le strade che si stanno esplorando sono riconducibili alla possibilità offerta dall'applicazione foliare di sostanze chimiche che, simulando l'attacco del fitofago, sono capaci di indurre la pianta a rilasciare VOC attrattivi per gli

antagonisti naturali oppure alla possibilità di incentivare tale produzione grazie agli strumenti dell'ingegneria genetica.

6.2.2 - MODALITÀ DECISIONALI

Per essere efficace il controllo integrato deve inserirsi all'interno di una più ampia produzione integrata, in cui in primo piano sia messo il rispetto dell'ambiente e di tutte le sue componenti. In questo contesto, lo sviluppo di efficaci progetti di controllo integrato non può trascurare la fase di prevenzione, che generalmente si traduce in una maggiore attenzione all'agroecosistema. La conservazione e il miglioramento della fertilità del suolo, la scelta di colture o varietà più resistenti, la salvaguardia della biodiversità, quale fonte di conservazione e potenziamento degli antagonisti naturali degli insetti fitofagi, sono alcuni dei fattori che permettono alle colture di essere meno suscettibili agli attacchi degli organismi dannosi, rendendo meno necessari interventi di controllo e, di conseguenza, limitando le perturbazioni dell'ecosistema.

Infatti, ogni intervento determina in un ecosistema, agroecosistemi compresi, un'alterazione più o meno marcata delle sue componenti e, di conseguenza, delle reti trofiche. In condizioni naturali le popolazioni degli insetti fitofagi si trovano in fase di equilibrio dinamico, con oscillazioni dovute alle componenti

biotiche (biomassa vegetale, antagonisti naturali) e abiotiche (temperatura, umidità, suolo, ecc.), le quali possono agire da fattori di stimolo o di limitazione.

In queste oscillazioni, la popolazione di un insetto fitofago può raggiungere densità tali da arrecare un danno economico alla coltura, commerciale se alla parte vendibile, fisiologico se alla pianta. Si definisce soglia economica di danno la densità di popolazione di un insetto fitofago capace di arrecare un danno economico tale da giustificare il costo degli interventi di controllo (Fig. 6.14 ▼).

Tuttavia, non sempre il raggiungimento della soglia economica di danno può essere il fattore decisionale per l'esecuzione del trattamento perché questo potrebbe essere tardivo, in quanto il danno fisiologico potrebbe avere compromesso la produzione o quello commerciale diminuito il valore della produzione. Sulla base di queste considerazioni, si definisce soglia di intervento la densità di popolazione di un insetto fitofago per cui è necessario attuare misure di controllo al fine di prevenire il raggiungimento della soglia economica di danno (Fig. 6.14).

È necessario che questa soglia sia attentamente valutata, in quanto deve essere correlata alla soglia economica di danno, ma deve permettere di ottimizzare gli interventi per garantirne la massima efficacia; pertanto

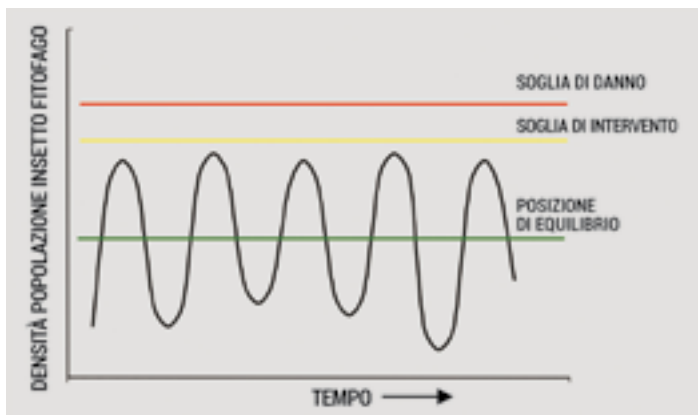


Fig. 6.14 - Relazione tra l'andamento della densità di popolazione di un insetto fitofago e un possibile danno economico alla coltura.

è necessario analizzare lo stadio del fitofago responsabile del danno. Nel caso dei fitofagi che causano un danno diretto, come le larve di insetti carposfagi, la soglia d'intervento si baserà sul numero di uova o degli adulti, in modo da massimizzare l'efficacia degli interventi di controllo. Per esempio, nel caso degli agrumi, il ricorso a trattamenti chimici per il controllo delle popolazioni di mosca mediterranea della frutta, *Ceratitis capitata*, è consigliato al superamento della soglia di intervento di 20 adulti/trappola/settimana e 1-2% di frutti con punture fertili (100 frutti/ha scelti a caso sul 5-10% delle piante). Nel caso di fitofagi che causano un danno indiretto risulta molto più complesso determinare una netta relazione tra la densità di popolazione del fitofago e la perdita economica del prodotto, tanto che la soglia di intervento potrà anche coincidere con quella economica di danno.

Da quanto riportato si comprende facilmente che il controllo integrato richiede la presenza di figure professionali preparate che dedichino tempo alla fase di osservazione e di studio delle popolazioni dei fitofagi. La decisione di effettuare i trattamenti è, infatti, il frutto di attività di osservazione e raccolta dati, quali il monitoraggio con trappole e il campionamento sulla vegetazione (percentuale degli organi infestati o numero di uova/larve/adulti per organo o pianta), che, eseguiti a cadenza, hanno l'obiettivo di individuare tempestivamente quando la popolazione del fitofago ha superato la soglia d'intervento. Spesso, tuttavia, la relazione tra campionamenti e danno economico non è facile da stabilire, in quanto dipende anche dalle condizioni climatiche, colturali e ambientali; di conseguenza sono necessari professionisti che, oltre alle conoscenze di biologia ed ecologia del sistema pianta-fitofagi-antagonisti naturali, abbiano anche la

necessaria esperienza per adattare le scelte all'agroecosistema oggetto dell'intervento e, inoltre, la capacità di scegliere l'intervento più ecosostenibile e, solo se indispensabile, di ricorrere a trattamenti chimici, utilizzando i prodotti più selettivi e a minore impatto ambientale.

6.3 - IL CONTROLLO INTEGRATO IN AGRICOLTURA BIOLOGICA

Come precedentemente riportato, il controllo integrato è parte sostanziale della normativa europea e nazionale in materia di protezione delle colture agricole. Storicamente, le basi teoriche del controllo integrato sono state sviluppate tenendo conto dell'approccio ecologico al fine di ristabilire le condizioni che favoriscono la complessità dell'entomofauna utile nell'ottica di una risoluzione a medio/lungo termine del controllo delle popolazioni di insetti fitofagi. Tuttavia, nel tempo l'impiego del controllo integrato è stato largamente condizionato dalle scelte decisionali terapeutiche a sfavore di quelle preventive, a causa della facilità di impiego e del costo relativamente basso dei prodotti fitosanitari di sintesi. Ciò nonostante, il metodo del controllo integrato rimane lo schema guida a cui fare riferimento per la gestione fitosanitaria in regime di agricoltura biologica. Un modello esemplificativo dell'approccio concettuale per lo sviluppo di programmi di controllo di insetti fitofagi in regime di agricoltura biologica è rappresentato nella figura 6.15 ► e prevede l'organizzazione in quattro livelli principali.

La rappresentazione in forma piramidale evidenzia il diverso grado di affinità dei singoli livelli ai principi dell'agricoltura biologica. Più in basso è collocato il livello, maggiore è la sua affinità e viceversa. La linea tratteggiata indica il teorico passaggio tra controllo indi-

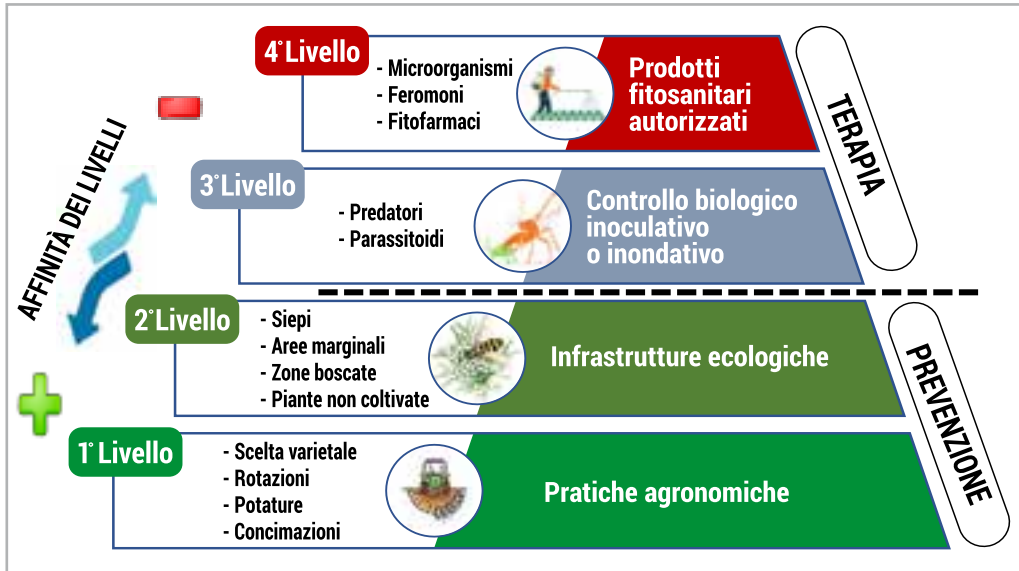


Fig. 6.15 - Rappresentazione schematica a 4 livelli della gestione degli insetti fitofagi in agricoltura biologica.

retto e controllo diretto delle popolazioni degli insetti fitofagi. Lo schema a piramide ricalca le disposizioni di legge in materia; infatti, il Regolamento (CE) 834/2007 all'art. 12 privilegia l'applicazione di tutte quelle tecniche di prevenzione che perseguono il mantenimento delle popolazioni degli insetti fitofagi al di sotto della soglia di tolleranza in modo indiretto, sfruttando cioè i meccanismi naturali di regolazione, come quelli riportati nei livelli 1 e 2; soltanto nei casi in cui questi non dovessero risultare sufficienti, è possibile ricorrere a mezzi terapeutici, quali quelli riportati nei livelli 3 e 4. Di seguito saranno passate in rassegna le diverse strategie previste in ciascun livello.

6.3.1 - PRATICHE AGRONOMICHE

Alla base dello schema a piramide, livello 1, sono incluse le pratiche agronomiche che dovrebbero essere adottate nell'organizzazione dell'azienda e che possono svolgere un ruolo

efficace nel controllo indiretto delle popolazioni di insetti fitofagi. Le pratiche agronomiche rappresentano la forma più antica di controllo delle popolazioni degli insetti fitofagi e sono state la principale fonte di ispirazione per la definizione dei metodi atti a prevenire l'insorgenza delle infestazioni sia in agricoltura convenzionale che in quella biologica. In particolare, in agricoltura biologica, considerato il limitato numero di mezzi disponibili per gli interventi terapeutici, le pratiche agronomiche volte ad aumentare la resilienza del sistema assumono una rilevanza particolare. I mezzi agronomici con cui è possibile evitare/limitare l'insorgenza delle popolazioni di insetti fitofagi sono stati discussi nel paragrafo 5.5. In aziende a regime di agricoltura biologica, alcuni di questi mezzi meritano particolare attenzione, quale per esempio, la scelta del genotipo della pianta coltivata, da intendere non solo come impiego di varietà resistenti o meno suscettibili per risolvere problemi fito-

iatrici in zone che per condizioni pedo-climatiche risultano favorevoli allo sviluppo di determinate specie fitofaghe, ma anche come preferenza per varietà locali come mezzo importante di prevenzione. Il Regolamento comunitario per le produzioni biologiche prescrive l'adozione di tecniche di lavorazione del terreno e di pratiche colturali volte a mantenere o incrementare il contenuto in sostanza organica del suolo. A questo scopo è previsto l'impiego di concimi di origine naturale o biologica, preferibilmente compostati, e gli avvicendamenti colturali. Entrambe le pratiche possono svolgere un ruolo importante nei confronti degli insetti fitofagi. In particolare, gli avvicendamenti colturali hanno una forte azione nel contenere le popolazioni di insetti che hanno bassa tendenza alla dispersione e/o che svernano nel campo coltivato e nelle sue immediate vicinanze, ad esempio la Dori-fora della patata, *Leptinotarsa decemlineata*, mentre sono meno efficaci nei confronti degli insetti fitofagi che si disperdono su ampie superfici, per esempio alcuni ditteri del genere *Delia*. Ovviamente, poiché nessuna tecnica è esente da controindicazioni, anche in questo caso si devono tenere in conto eventuali effetti indesiderati rappresentati ad esempio dallo sviluppo di fitofagi secondari, come gli elateridi, le cui pullulazioni potrebbero essere favorite dall'avvicendamento delle colture.

6.3.2 - INFRASTRUTTURE ECOLOGICHE

Nel livello 2 dello schema a piramide sono incluse le pratiche atte ad aumentare la complessità ecologica delle aree circostanti i campi coltivati, in modo da favorire la presenza di comunità di insetti antagonisti naturali, predatori e parassitoidi, più diversificate

ed abbondanti e, indirettamente, contenere il proliferare delle popolazioni degli insetti fitofagi. Le infrastrutture ecologiche, dette anche aree di compensazione ecologica o habitat semi-naturali, sono rappresentate dalle componenti vegetali non votate alla produzione, come siepi, boschi, corridoi vegetali e capezzagne. Le infrastrutture ecologiche includono anche quelle gestite da regolamenti delle autorità locali, indicate come aree soggette a pratiche agricole di bassa intensità, quali, per esempio, le aree di rifugio della fauna e della flora, le aree di riequilibrio ecologico e le zone umide. Dal punto di vista del controllo delle popolazioni degli insetti fitofagi, è ampiamente riconosciuto il ruolo che gli habitat semi-naturali svolgono nel favorire il controllo biologico conservativo (cfr. 6.1.4), in quanto gli insetti antagonisti naturali, predatori e parassitoidi, ritrovano in questo contesto risorse alimentari, come nettare e polline, prede e/o ospiti alternativi e rifugi per il superamento delle condizioni stagionali avverse. Ad esempio, nelle colture annuali, la persistenza dei predatori o dei parassitoidi dipende fortemente da prede o ospiti che vivono a spese di piante non coltivate, le quali, se vicine alle piante coltivate, potranno favorire la migrazione su queste ultime in modo tempestivo e con popolazioni consistenti. In linea di principio, il livello 2 può essere applicato indipendentemente dal livello 1 specialmente nei casi in cui l'azienda è in regime di conversione e pertanto è tenuta a mettere in atto le corrette tecniche previste per la conduzione secondo il metodo di agricoltura biologica.

6.3.3 - CONTROLLO BIOLOGICO INOCULATIVO E INONDATIVO

Come già anticipato, le metodologie previste nei livelli 3 e 4 dello schema piramidale hanno il fine di controllare direttamente le

popolazioni degli insetti fitofagi nei casi in cui il controllo indiretto operato dai livelli precedenti non abbia fornito i risultati attesi. In particolare, nel livello 3 è previsto l'impiego di agenti per il controllo biologico, insetti predatori e parassitoidi, in grado di contenere nel breve/medio periodo le popolazioni degli insetti fitofagi. In generale, il livello 3 può essere considerato prioritario rispetto al livello 4, che prevede l'impiego dei prodotti fitosanitari, in quanto i mezzi di controllo previsti sono caratterizzati, nella maggior parte dei casi, da un elevato livello di selettività e quindi risultano più rispondenti ai principi dell'agricoltura biologica e, più in generale, dell'agroecologia. Da un punto di vista ecologico, il livello 3 offre maggiori garanzie di successo se utilizzato in ambiti in cui sono stati opportunamente implementati i livelli precedenti.

L'introduzione nell'ambiente di insetti predatori o parassitoidi, i cui aspetti di biologia, etologia ed efficacia sono discussi in dettaglio nei paragrafi 5.1 e 5.2, non è espressamente prevista nei regolamenti comunitari, i quali in linea di massima fanno riferimento alle popolazioni già presenti nell'ambiente, come descritto nel paragrafo precedente; tuttavia, questa pratica è perfettamente rispondente ai criteri delle Norme IFOAM. Ai fini applicativi, è importante ricordare che, per poter essere utilizzati, gli antagonisti naturali non devono essere organismi geneticamente manipolati, i quali sono in generale vietati dai criteri delle Norme IFOAM e da altre disposizioni legislative nazionali,

e che la loro immissione in commercio non necessita delle autorizzazioni del Ministero della Salute.



6.3.4 - PRODOTTI FITOSANITARI AUTORIZZATI

Il livello 4 dello schema a piramide prevede l'impiego di prodotti fitosanitari al fine di abbattere repentinamente le popolazioni degli insetti fitofagi. Il Regolamento (CE) n. 889/2008 prevede che questi prodotti possano essere utilizzati "in caso di determinazione di grave rischio per una coltura"; questa condizione, tuttavia, ancorché avulsa da elementi economico-produttivi ed ecologici, nella sua formulazione abbastanza generica si può prestare ad interpretazioni soggettive con il rischio di determinare una riduzione dell'efficacia della regolamentazione dell'uso dei prodotti fitosanitari.

I prodotti fitosanitari autorizzati in agricoltura biologica devono essere rispondenti ai criteri delle Norme IFOAM che prevedono esclusivamente sostanze di origine naturale. Pertanto, in linea di principio, le sostanze ottenute da fonti non rinnovabili di origine sintetica non sono ammesse se non con qualche eccezione relative ai casi in cui sostanze naturali non siano disponibili in quantità sufficienti. In questi casi le sostanze di sintesi possono essere ammesse purché abbiano composizione simile ai loro analoghi naturali.

Un esempio è rappresentato dalle sostanze ad azione feromonale, che, ottenute sinteticamente riproducendo la composizione dei feromoni naturali, possono essere impiegate in agricoltura biologica purché distribuite tramite erogatori e non applicate a diretto contatto con la pianta coltivata.

L'elenco dei prodotti fitosanitari ammessi in agricoltura biologica presenta sostanziali differenze in funzione dalle specifiche normative vigenti nelle diverse realtà internazionali. Per esempio, negli Stati membri della Comunità



Europea non è ammesso l'uso di prodotti insetticidi derivati dalle piante del genere *Nicotiana* per la presenza di alcaloidi altamente tossici per gli organismi non-bersaglio e per l'uomo.

Attualmente, i prodotti fitosanitari autorizzati dalla Comunità Europea per l'uso nella produzione biologica sono riportati nell'allegato II del Regolamento (CE) n. 889/2008, modificato e rettificato dal Regolamento di esecuzione (UE) n. 354/2014 e più recentemente dal Regolamento di esecuzione (UE) 673/2016, rinominato Allegato I. Tale allegato riporta, genericamente, tutte le sostanze attive dei prodotti fitosanitari ammesse nei diversi Stati membri, subordinando l'utilizzo di ciascun prodotto all'interno di ciascun Paese alla sua autorizzazione e all'immissione in commercio rilasciata in accordo alle normative nazionali.

Per esempio, l'uso del rotenone, insetticida a base di sostanze estratte dalle radici di piante tropicali dei generi *Tephrosia*, *Longocharpus* e *Derris*, non è autorizzato in molti Paesi comunitari per l'estrema tossicità nei confronti dei pesci. In Italia, il Ministero della Salute autorizza l'immissione in commercio dei prodotti fitosanitari attraverso specifici iter procedurali atti a garantire la sicurezza dell'operatore, degli alimenti, degli animali e dell'ambiente.

L'elenco dei prodotti fitosanitari autorizzati in Italia è consultabile nella banca dati elabo-



rata dal Ministero nella specifica sezione "prodotti fitosanitari". Riguardo ai prodotti presenti nell'allegato II del Regolamento

(CE) n. 889/2008, non tutti quelli elencati dispongono delle autorizzazioni richieste dalla legislazione italiana per essere commercializzati come prodotti fitosanitari. Inoltre, le normative nel settore dei mezzi tecnici per l'agricoltura biologica si prestano ad interpretazioni arbitrarie che favoriscono la presenza in commercio di prodotti privi dei requisiti minimi di efficacia e di sicurezza.

Differenze e/o carenze nelle normative nazionali ed internazionali rappresentano un ostacolo per il commercio dei prodotti da agricoltura biologica e possono generare confusione nella corretta interpretazione dei marchi che li contraddistinguono.



Il Sistema Informativo Agricolo Nazionale (SIAN) del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, cura e mette a

disposizione la banca dati "Bio" in cui sono presenti le principali informazioni sui prodotti fitosanitari ammessi in agricoltura biologica e indicazioni sulla disponibilità di formulati autorizzati in Italia.

Di seguito saranno passati in rassegna i prodotti ad azione insetticida presenti nell'allegato I del Regolamento di esecuzione (UE) 673/2016 e classificati in base al criterio di origine della sostanza attiva.

1. Sostanze di origine vegetale o animale

A questo gruppo appartengono alcune sostanze naturali, come i derivati di origine vegetale e gli oli essenziali, entrambi noti e impiegati da tempo in agricoltura per la loro azione insetticida, e altre sostanze come i feromoni e i piretroidi che, pur essendo prodotti di sintesi, sono ammessi in agricoltura biologica in quanto riproducono sostanze naturalmente prodotte e non vengono distribuiti direttamente sulla pianta. I derivati di origine vege-

tale contengono sostanze attive estratte da piante. Nell'allegato I sono riportati i prodotti a base di azadiractina, piretrine e quassia.

L'azadiractina è il principale componente biologicamente attivo di una miscela di composti che si ritrovano nell'olio di neem estratto dai semi di *Azadirachta indica*, noto come l'albero di Neem. Le piretrine sono un gruppo di sostanze biologicamente attive, quali piretrina I e II, cinerina I e II e jasmolina I e II, estratte dai semi e dai capolini di alcune composite, la più comune delle quali è *Chrysanthemum cinerariaefolium*. La quassia è una sostanza ottenuta dal legno di alcuni alberi dei paesi tropicali, in particolare *Quassia amara*, in cui si ritrovano due principali composti biologicamente attivi, la quassina e la neoquassina. In Italia sono autorizzati numerosi formulati commerciali a base di azadiractina e piretrine, ma ancora nessuno a base di quassia.

L'azione insetticida dei derivati di origine vegetale avviene attraverso vari meccanismi. L'azadiractina inibisce la formazione e il rilascio dell'ecdisona, interferendo con il fenomeno della muta e, nelle femmine, la maturazione dell'apparato riproduttore. Le piretrine interferiscono con il sistema nervoso centrale agendo sui gangli e sulle sinapsi, dando origine al fenomeno noto come "effetto abbattente", caratterizzato dall'immediata perdita di coordinazione dei movimenti, tremori, paralisi e morte nell'insetto colpito. Tuttavia, il fenomeno si può rivelare di breve durata a causa della rapida degradazione delle sostanze attive ad opera di fattori abiotici e della rapida detossificazione nel soggetto colpito che, dopo poco tempo, può riprendere l'attività. Gli insetticidi di origine vegetale sono soggetti all'azione dilavante

dell'acqua e si degradano rapidamente sotto l'azione della luce solare e/o delle alte temperature, quindi risultano poco persistenti e pertanto può essere necessario utilizzarli in più riprese.

Gli oli essenziali costituiscono un gruppo molto eterogeneo di sostanze che dal punto di vista chimico presentano una composizione complessa. In genere sono presenti diversi metaboliti secondari, quali monoterpeni e, in minor misura, sesquiterpeni, che sono sintetizzati dalle piante per le difese dirette e indirette da agenti biotici e abiotici. In generale, la composizione degli oli essenziali è molto variabile e dipende da numerosissimi fattori quali, ad esempio, la specie vegetale da cui l'olio viene estratto, le condizioni climatiche della zona in cui la pianta viene coltivata, i metodi di estrazione, etc.; tuttavia, anche nel caso in cui tutti i fattori di variabilità fossero resi omogenei, è ancora possibile osservare difformità nella composizione del prodotto finale. Questa estrema variabilità può rendere problematico il pieno soddisfacimento dei requisiti di legge affinché un olio essenziale riceva l'autorizzazione all'uso come prodotto fitosanitario; pertanto, per essere inclusa come sostanza autorizzata, è richiesto che siano riportate le singole sostanze attive. L'azione insetticida di molti oli essenziali è di tipo neurotossico per inibizione di neurotrasmettitori, come l'acetilcolinesterasi, o di tipo lipolitico in grado di interferire con le cere epicuticulari. In Italia, i prodotti autorizzati sono quelli a base di olio di arancio, di chiodi di garofano e di menta verde, anche se non sono espressamente autorizzati per l'impiego come insetticidi, in quanto la loro efficacia reale non è stata ancora accertata.

I feromoni sono ammessi se rilasciati da erogatori o da bombole per aerosol e sono utilizzati in combinazione con trappole per il monitoraggio o la cattura massale o da soli per la confusione sessuale. L'elenco dei prodotti commerciali a base di feromoni è piuttosto ampio e prevede l'impiego per lo più per lepidotteri fitofagi della vite, delle drupacee, delle pomacee e del pomodoro.

I piretroidi sono degli analoghi sintetici delle piretrine naturali rispetto alle quali risultano meno fotolabili, più persistenti e con maggiore potere abbattente grazie alla sostituzione della parte acida e/o di quella alcolica con gruppi alogeni. I due piretroidi ammessi in agricoltura biologica, la deltametrina e la lambda-cialotrina, possono essere utilizzati per preparare esche proteiche avvelenate nella lotta adulcica contro la mosca mediterranea della frutta, *Ceratitis capitata*, e la mosca dell'olivo, *Bactrocera oleae*.

In analogia ai feromoni, anche per i piretroidi è fatto divieto di applicazione diretta alla pianta.

2. Microorganismi o sostanze prodotte da microorganismi

I prodotti fitosanitari a base di microorganismi possono essere utilizzati senza alcuna restrizione purché non siano ottenuti da organismi geneticamente modificati. Per quelli a base di sostanze prodotte da microorganismi sono invece previsti controlli più stringenti al fine di prevenire effetti indesiderati nei confronti degli antagonisti naturali e l'insorgenza di fenomeni di resistenza.

Per quanto riguarda i prodotti fitosanitari a base di microorganismi, in Italia sono autorizzati diversi formulati a base di *Bacillus thuringiensis* e un unico formulato a base

di *B. firmus* ad azione nematocida. Inoltre, sono disponibili formulati a base del fungo *Beauveria bassiana* e dei virus della Granulosi (GV) e della Poliedrosi Nucleare (NPV). Tra i formulati contenenti virus si ricordano i GV per il controllo dei lepidotteri *Adoxophyes orana* e *Cydia pomonella*, e gli NPV per il controllo di alcune specie di lepidotteri notturni quali *Helicoverpa armigera*, *Spodoptera littoralis* e *S. exigua*.

Tra i prodotti fitosanitari a base di sostanze prodotte da microorganismi è autorizzato un unico prodotto, lo spinosad, un insetticida estratto dai prodotti del metabolismo secondario dell'actinomicete tellurico, *Saccharopolyspora spinosa*. Lo spinosad è stato autorizzato per la prima volta in Europa nel 2008. Il principio attivo è costituito dalla miscela di due spinosine, spinosina A e spinosina D; agisce per contatto e per ingestione ed ha azione neurotossica a carico dei recettori dell'acetilcolina. In Italia, sono commercializzati diversi formulati a base di spinosad, sia per applicazioni sulle piante per il controllo di fitofagi, ad esempio lepidotteri, di drupacee, pomacee, olivo e vite, sia in formulazioni addizionate con esca alimentare per il controllo delle mosche della frutta e dell'olivo. L'attività dei prodotti a base di spinosad non è compromessa da fattori abiotici, quali temperatura e raggi ultravioletti, tuttavia se ne suggerisce una certa cautela nell'utilizzo, in quanto evidenze scientifiche dimostrano incrementi dei fenomeni di resistenza derivanti dall'impiego protratto nel tempo.

3. Sostanze diverse da quelle di cui alle sezioni 1 e 2

Il caolino è un'argilla che si presenta in forma di polvere bianca; applicato sulla vegetazione in soluzione acquosa, dissecca rapida-

mente lasciando uno strato uniforme bianco sui tessuti vegetali. Questo film di particelle minerali svolge attività deterrente la nutrizione e l'ovideposizione. In misura minore è anche possibile osservare un'azione diretta determinata dall'adesione delle particelle di caolino al corpo degli insetti che ne compromette il movimento, azione che potrebbe interessare, tuttavia, anche gli insetti impollinatori e che pertanto suggerisce una certa attenzione nella scelta del periodo di impiego del prodotto.

Gli oli minerali sono ricavati dalla distillazione del petrolio greggio e trovano impiego soprattutto contro insetti poco mobili, come afidi e cocciniglie. Agiscono principalmente per asfissia, in quanto ricoprono il corpo dell'insetto con una sottile pellicola e penetrano nei canali tracheali occludendoli; non inducono fenomeni di resistenza e non lasciano residui tossici. Nei confronti delle cocciniglie sono inoltre disponibili diversi formulati commerciali; ad esempio il sale di potassio degli acidi grassi superiori, noto anche con il nome di sapone molle, è un prodotto che agisce per contatto degradando lo strato delle cere epicutcolari in insetti con il tegumento poco sclerificato. Tuttavia, il prodotto trova impiego più efficace nel prevenire la formazione delle fumaggini, in quanto scioglie la melata prodotta da numerose specie di fitomizi.

L'elenco dei principi attivi è soggetto a modifiche, infatti il Regolamento (CE) 834/2007 prevede la possibilità di emendare l'Allegato I (UE) 673/2016, al pari di tutti gli altri allegati tecnici, consentendo agli Stati membri di richiedere l'inserimento o l'eliminazione di sostanze attive o la modifica delle condizioni d'uso qualora ne venga dimostrata la neces-

sità, anche in considerazione dello sviluppo di nuovi mezzi e tecnologie per la gestione fitosanitaria.

6.3.5 - PRODOTTI BIOSTIMOLANTI E SOSTANZE DI BASE

Le piante durante il loro sviluppo possono trarre vantaggio da particolari sostanze naturali e da microorganismi a cui è dato il nome generico di biostimolanti. I biostimolanti, applicati a basse dosi direttamente alla pianta o alla rizosfera, promuovono l'accrescimento della pianta, la tolleranza a stress abiotici e biotici e l'efficienza nell'uso delle risorse naturali e degli input antropici. I biostimolanti non possono essere equiparati a prodotti fitosanitari perché non agiscono direttamente nei confronti degli organismi nocivi alla pianta, come insetti fitofagi o agenti fitopatogeni, e neppure a prodotti fertilizzanti, in quanto non contengono elementi nutritivi. La definizione più accreditata è stata recentemente elaborata dall'*European Biostimulants Industry Council* (EBIC), associazione che rappresenta circa 40 compagnie che lavorano nel settore, che ha definito i biostimolanti come "Prodotti contenenti sostanze e/o microorganismi che, applicati alla pianta o alla rizosfera, stimolano i processi naturali che migliorano l'efficienza di assorbimento e di assimilazione dei nutrienti, la tolleranza a stress abiotici e/o la qualità del prodotto indipendentemente dal loro contenuto in nutrienti". I biostimolatori, rappresentano un'importante innovazione tecnologica; solo in Europa si stima che siano stati trattati con prodotti biostimolanti nel 2012 circa 6 mln di ettari; la tendenza al consumo è in continua ascesa con un mercato mondiale previsto per il 2018 attorno ai 2 mln di dollari. In generale, i prodotti biostimolanti promuovono la crescita delle piante modifi-

candone l'architettura radicale e predisponendole in questo modo ad un maggior assorbimento dei nutrienti, in particolare dell'azoto. Inoltre, promuovono l'induzione di resistenza sistemica agli stress abiotici, tra cui la siccità, la salinità e la temperatura, ed agli stress biotici.

Sebbene i prodotti biostimolanti non svolgano una diretta azione insetticida, si ritiene opportuno farne oggetto di una breve trattazione in quanto, come anticipato, tra le molteplici funzioni, essi sono in grado di rinforzare/attivare i meccanismi di difesa delle piante, rendendole quindi più resistenti all'attacco degli organismi nocivi, insetti fitofagi inclusi. I prodotti biostimolanti possono essere impiegati in tutte le fasi del ciclo biologico della pianta, con trattamenti in pre o post semina, alla pianta e in pre o post raccolta.

I biostimolanti in Europa soggiacciono a un certo grado di incertezza per la mancanza di una regolamentazione univoca. Per esempio, in Spagna sono riportati con la dizione "altri mezzi per la difesa fitosanitaria", nella Repubblica Ceca come "ausiliari per la protezione delle piante", in Italia e in Germania come "corroboranti". Dal punto di vista legislativo, in alcuni Paesi sono disciplinati in accordo al Regolamento (CE) 1107/2009, relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari, mentre in altri dal Regolamento (CE) 2003/2003, relativo ai concimi e ai fertilizzanti. Infine, anche le autorizzazioni nazionali per l'immissione in commercio presentano ampi gradi di variabilità che spaziano dalla libera commercializzazione (ad esempio nel Regno Unito), alla semplice notifica alle autorità

competenti (ad esempio in Danimarca e in Spagna), alla notifica con obbligo di fornire alcuni dati specificatamente richiesti (ad esempio in Germania, in Italia e in Belgio), fino all'autorizzazione rilasciata solo dopo un rigoroso processo di valutazione da parte delle autorità competenti (ad esempio in Francia, in Ungheria e nella Repubblica Ceca). I biostimolanti rappresentano un gruppo molto eterogeneo di sostanze che per grandi linee possono essere ricondotte alle seguenti tipologie principali.

1. Sostanze umiche: si formano a seguito della biodegradazione microbica di materia organica (vegetale o animale) e, in base al peso molecolare e alla solubilità, si dividono in umine, acidi umici e acidi fulvici. Esercitano molteplici funzioni per lo più nei confronti dell'apparato radicale, stimolando la rizogenesi e aumentando le capacità di assorbimento dell'azoto nitrico. Indirettamente favoriscono la risposta della pianta agli stress abiotici e biotici.

2. Proteine idrolizzate e amminoacidi: sono prodotti che contengono miscele di amminoacidi e peptidi ottenuti generalmente per idrolisi chimica, enzimatica o mista di proteine di origine animale o vegetale. Anche questo gruppo di sostanze è in grado di esercitare molteplici funzioni: oltre a favorire le attività dell'apparato radicale, al pari di quanto descritto per le sostanze umiche, possono svolgere anche una funzione auxino-simile grazie alla presenza di peptidi che attivano i geni della biosintesi delle auxine.

3. Estratti di alga marina: sono sostanze tradizionalmente utilizzate in agricoltura come ammendanti per migliorare la fertilità del suolo. Generalmente sono ottenuti con trat-

tamento a freddo in acqua ad alta pressione per lasciare inalterate le caratteristiche biochimiche dell'estratto. Gli estratti di alga favoriscono lo sviluppo radicale e l'assorbimento dei composti minerali e sono coinvolti nei processi biochimici legati al metabolismo dell'azoto e alla capacità antiossidante. Indirettamente favoriscono la risposta della pianta agli stress abiotici e biotici.

4. Microorganismi: includono i microorganismi benefici del suolo denominati "probiotici per le piante" (PPM, dall'inglese *Plant-Probiotic Microorganisms*), come i batteri promotori della crescita (PGPR, dall'inglese *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*), i funghi micorrizici arbuscolari (AMF, dall'inglese *Arbuscular Mycorrhizal Fungus*) o le microalghe. Applicati nella rizosfera, incrementano nelle piante l'assorbimento di nutrienti e di acqua dal suolo. Inoltre, sono in grado di favorire la produzione di ormoni, come l'auxina e la citochinina, e di aumentare la tolleranza nei confronti di stress abiotici e biotici e l'emissione di composti organici volatili. Inoltre, una maggiore colonizzazione del suolo da parte di alcuni di questi microorganismi influisce positivamente anche sull'aggregazione del terreno facilitando l'assimilazione delle sue componenti organiche.

In Italia i prodotti biostimolanti, anche definiti corroboranti, sono normati dal D.M. 18354/2009 e dal D.P.R. n. 290/2001, quest'ultimo modificato dal D.P.R. n. 55/2012. In pratica si stabilisce che una serie di pro-

dotti commercializzati ed impiegati come corroboranti non sono soggetti ad autorizzazione per l'immissione in commercio se non venduti con denominazione di fantasia o in miscela tra di essi. I prodotti sono presenti in un apposito allegato che è periodicamente aggiornato dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali. I formulati commerciali devono riportare in etichetta le indicazioni concernenti la composizione quali-quantitativa, le modalità e le precauzioni d'uso, l'identificazione del responsabile legale dell'immissione in commercio, lo stabilimento di produzione e confezionamento nonché la destinazione di uso che, comunque, non deve fare riferimento in alcun caso alla definizione di prodotto fitosanitario. I corroboranti attualmente ammessi in agricoltura biologica sono: propoli, polvere di pietra o di roccia, bicarbonato di sodio, gel di silice, preparati biodinamici, oli vegetali alimentari (arachide, cartamo, cotone, girasole, lino, mais, olivo, palma da cocco, senape, sesamo, soia, vinacciolo), lecitina, aceto, sapone molle e/o di Marsiglia, calce viva.

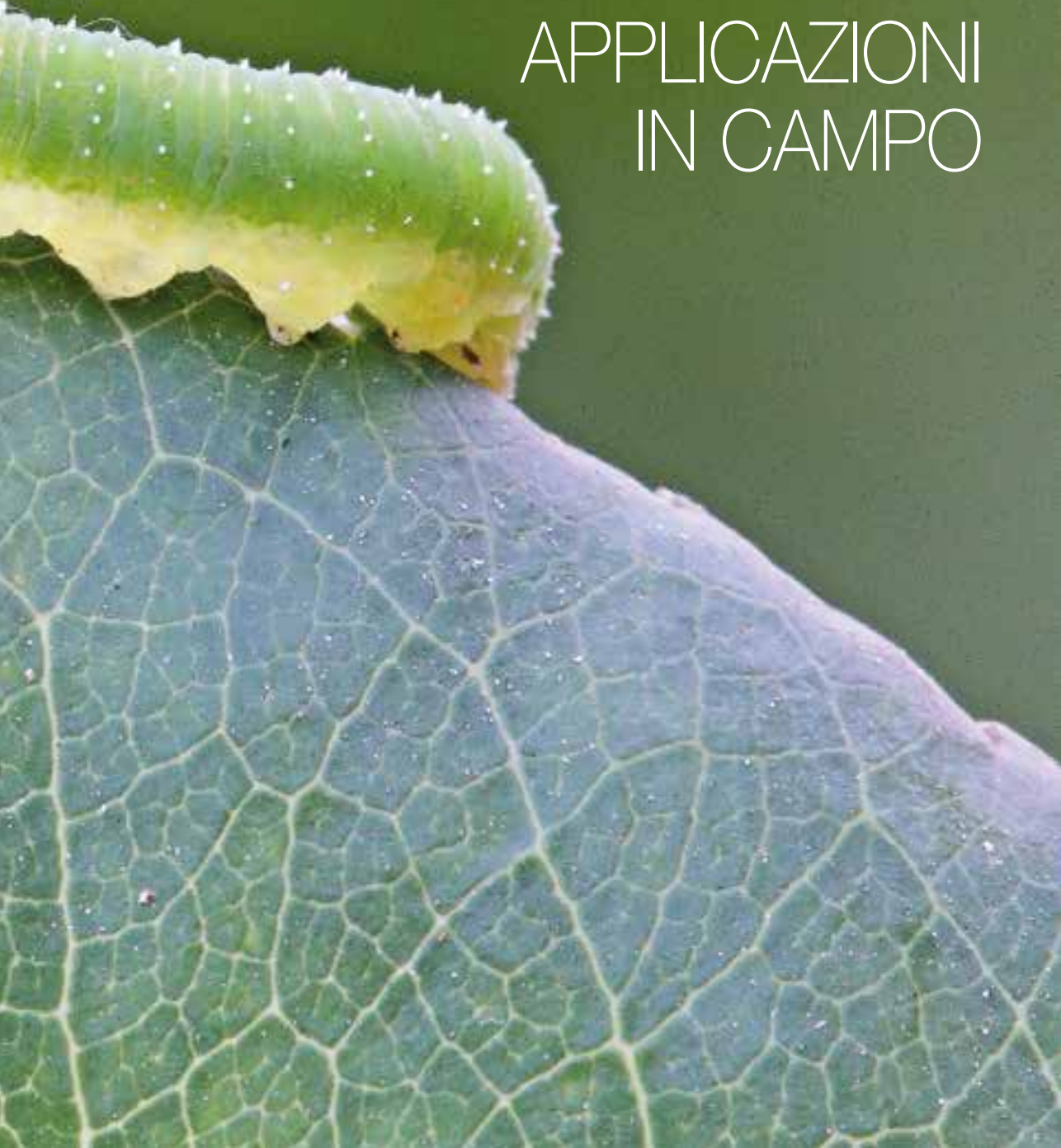
Tra questi, gli unici formulati che possono svolgere una comprovata azione insetticida sono riconducibili alla tipologia "polvere di pietra o di roccia". Questa tipologia comprende una serie di composti, le cui caratteristiche variano a seconda del minerale componente la roccia macinata i quali, tra le altre funzioni, possono svolgere anche un'efficace azione insetticida di tipo indiretto, come nel caso dei formulati a base di caolino. ■





PARTE TERZA

APPLICAZIONI IN CAMPO





7

ENTOMOLOGIA APPLICATA

L'entomologia applicata è la branca dell'entomologia che si occupa delle relazioni che gli insetti possono instaurare con le piante e i loro prodotti e delle strategie di gestione atte a limitare le popolazioni degli insetti fitofagi e a potenziare le attività di controllo degli insetti entomofagi. In questa parte del libro l'approccio applicativo sarà indirizzato su tre importanti agroecosistemi tipici dell'area mediterranea: l'agrumeto, l'oliveto e il vigneto. Dapprima verranno definiti i principali ordini di insetti fitofagi che possono colonizzare i tre agroecosistemi. Per ciascuno di essi verranno fornite informazioni su morfologia, biologia, danni e possibili strategie di controllo, con particolare riferimento ai dettami dell'agricoltura biologica, delle principali specie in termini di frequenza di infestazione e dei danni che sono in grado

di arrecare. La trattazione verrà sviluppata in funzione dei regimi alimentari dei fitofagi, iniziando con le specie che vivono a spese di fiori e frutti (insetti antofagi e carpofagi), quindi, in successione, saranno trattate le specie che si alimentano del tessuto fogliare (insetti fillofagi), quelle che si nutrono di linfa e succhi cellulari sui diversi organi della pianta (insetti fitomizi) e infine quelle che vivono a spese dei tessuti legnosi e delle radici (insetti xilofagi e rizofagi).

7.1 - PRINCIPALI ORDINI DI INSETTI FITOFAGI

Gli insetti fitofagi di maggiore interesse per gli agroecosistemi considerati (agrumeto, oliveto e vigneto) possono essere essenzialmente ascrivibili ai seguenti ordini: tisanotteri, rincoti (con i due sottordini etrotteri e omotteri), le-

pidotteri, ditteri e coleotteri. Di questi, di seguito, saranno fornite le caratteristiche fondamentali, di cui alcune sono sinteticamente riportate nella tabella 7.1 ▼.

7.1.1 - TISANOTTERI

Sono insetti di piccole dimensioni, generalmente intorno al millimetro, caratterizzati da ali molto frangiate, caratteristica da cui deriva il nome dell'ordine (dal greco *thysanos* = fiocco e *pteròn* = ala), e da un apparato boccale pungente succhiante asimmetrico per l'atrofizzazione dello stiletto mandibolare destro. Sono insetti neometaboli; la maggior parte delle specie è fitofaga; i danni possono interessare tutti gli organi delle parti aeree, foglie, germogli, fiori e frutti, e sono provocati dalle punture di alimentazione degli adulti e delle forme giovanili, anche per la presenza di sostanze tossiche nella saliva, e da quelle di ovideposizione.

7.1.2 - ETEROTTERI

Gli eterotteri sono caratterizzati da apparato boccale di tipo pungente-succhiante (rostro) inserito nella parte anteriore del capo. In genere, gli eterotteri hanno ali ben sviluppate che ricoprono interamente l'addome con differenze nella struttura tra il paio anteriore e quello posteriore, caratteristica da cui deriva il nome del sottordine (dal greco *etero* = diverso e *pteròn* = ala). Infatti quelle anteriori, dette emielitre, hanno una parte prossimale sclerificata e una distale membranosa, mentre quelle posteriori sono interamente membranose. Sono insetti eterometaboli e comprendono specie terrestri e acquatiche. Dal punto di vista del regime dietetico, sono presenti specie saprofaghe, zoofaghe, tra cui alcune ematofaghe, come le specie delle famiglie cimicidi e reduvidi, e altre entomofaghe










predatrici, ad esempio alcune specie delle famiglie antocoridi e pentatomidi, e fitofaghe, ad esempio specie delle famiglie coreidi, ligeydi e pentatomidi, conosciute comunemente come cimici. I danni causati dalle specie fitofaghe sono dovuti alla sottrazione della linfa, che determina sviluppi stentati e deformazioni degli organi interessati, e all'immissione di saliva tossica con relativa comparsa di aree decolorate o necrotiche più o meno estese e sviluppo di sapori e odori sgradevoli quando gli attacchi interessano direttamente il prodotto destinato al consumo.

7.1.3 - OMOTTERI

Gli omotteri comprendono esclusivamente specie fitomize. Come gli eterotteri, hanno apparato boccale di tipo pungente-succhiante, ma da questi si distinguono perché il rostro si inserisce nella parte posteriore del capo. Un altro elemento di distinzione dagli eterotteri è la conformazione delle ali che, quando presenti, sono tutte membranose (il nome deriva dal greco *omo* = uguale e *pteròn* = ala); mancano quindi le emielitre tipiche degli eterotteri. Se si esclude la famiglia dei cicadidi, le comuni cicale, gli omotteri sono insetti di piccole dimensioni. In genere, lo sviluppo delle popolazioni è favorito da condizioni microclimatiche caratterizzate da elevata umidità e ridotta luminosità e circolazione di aria, ovvero vegetazione fitta e sestri d'impianto stretti. Dal punto di vista morfologico, presentano una notevole eterogeneità. Di seguito si riportano le caratteristiche dei principali gruppi a cui appartengono molte delle specie che frequentano i tre agroecosistemi considerati.

Cocciniglie

È un gruppo che comprende numerose famiglie che si differenziano notevolmente per morfologia, biologia ed etologia. Il corpo

ORDINE	METAMORFOSI	APPARATO BOCCALE	TIPO DI DANNO SINTOMI	
 TISANOTTERI	Neometabolia	Pungente succhiante asimmetrico	<ul style="list-style-type: none"> • Sottrazione succhi cellulari. • Aree suberificate 	
 ETEROTTERI	Eterometabolia	Pungente succhiante	<ul style="list-style-type: none"> • Sottrazione linfa e/o succhi cellulari • Aree clorotiche 	
OMOTTERI	 Cocciniglie	Eterometabolia Catametabolia Neometabolia	Pungente succhiante	<u>Danni diretti</u> <ul style="list-style-type: none"> • Sottrazione linfa e/o succhi cellulari. • Aree clorotiche/decolorazione. • Disseccamento. <u>Danni indiretti</u> <ul style="list-style-type: none"> • Melata (no Diaspini) e fumaggini. • Vettori di virus.
	 Afidi	Eterometabolia	Pungente succhiante	<u>Danni diretti</u> <ul style="list-style-type: none"> • Sottrazione linfa e/o succhi cellulari. • Accartocciamento foglie (Afididi). • Cascola frutticini (Afididi). • Disseccamento e filloptosi. <u>Danni indiretti</u> <ul style="list-style-type: none"> • Melata e fumaggini. • Vettori di virus
	 Aleirodidi	Neometabolia		
	 Cicaline	Eterometabolia	Pungente succhiante	<u>Danni diretti</u> <ul style="list-style-type: none"> • Sottrazione linfa e/o succhi cellulari. • Variazioni cromatiche, necrosi. <u>Danni indiretti</u> <ul style="list-style-type: none"> • Vettori di agenti fitopatogeni
 LEPIDOTTERI	Olometabolia	<u>Larve:</u> Masticatore	<ul style="list-style-type: none"> • Erosioni, mine fogliari e gallerie 	
 DITTERI	Olometabolia	<u>Larve:</u> dilanante	<u>Adulti</u> <ul style="list-style-type: none"> • Ferite di ovideposizione. <u>Larve</u> <ul style="list-style-type: none"> • Disfacimento tessuti organi attaccati. 	
 COLEOTTERI	Olometabolia	Masticatore	<ul style="list-style-type: none"> • Erosioni e gallerie 	

◀ **Tab. 7.1** - Principali ordini degli insetti fitofagi comunemente presenti negli agroecosistemi agrumeto, oliveto e vigneto con riferimento alle specie trattate nel testo.

è di piccole dimensioni, pochi millimetri, e non sono facilmente distinguibili i tre tagma. Molte specie presentano il corpo ricoperto da secrezioni di natura cerosa (ad esempio la famiglia dei planococcidi detti cocciniglie cotonose o cotonelli) o protetto da un ispessimento della parte dorsale, detto scudetto, come nei lecanidi, o da un rivestimento di cera e seta, il follicolo, come nei diaspididi.

Le cocciniglie hanno apparato boccale di tipo pungente-succhiante e molte specie hanno la camera filtrante. Sono caratterizzate da dimorfismo sessuale che diventa più evidente nella fase adulta. Infatti a maturità la femmina è attera e con corpo generalmente appiattito, in cui capo e torace sono fusi a formare il cefalotorace; la forma è variabile ma simile a quella degli stadi giovanili, generalmente 2 o 3 stadi neanidali. In alcune specie la femmina ha uno sviluppo caratterizzato da regressione morfologica, in quanto organi sensoriali, come antenne e occhi, e appendici di locomozione, le zampe, perdono la loro funzionalità fino a scomparire (catametabolia). Il maschio adulto, quando presente, ha un corpo esile e allungato con un unico paio di ali e manca di apparato boccale. Lo sviluppo dei maschi generalmente prevede 4 stadi preimmaginali di cui 2 di neanide, 1 di pupa e 1 di pupa (neometabolia). Molte specie presentano partenogenesi telitoca, alcune sono ermafrodite. Sono generalmente ovipare, ma sono presenti anche specie vivipare e ovovivipare.

Afidi

È un gruppo che comprende numerose famiglie morfologicamente simili. Gli afidi sono comunemente noti come “pidocchi delle piante” e infestano generalmente le parti tenere delle piante dove formano colonie folte e molto visibili. Hanno piccole dimensioni, tegumento molle e, nel tratto finale dell’addome, tre caratteristiche appendici dette sifoni e codicola. I primi sono due tubercoli che servono all’emissione di liquido ceroso, la seconda è il prolungamento dell’ultimo segmento addominale. Il ciclo degli afidi è abbastanza complesso. Ci sono specie che hanno una successione di generazioni partenogenetiche (partenogenesi telitoca) durante l’anno e, al termine, una generazione anfigonica con deposizione dell’uovo invernale (olociclo). Altre si riproducono prevalentemente per partenogenesi, anche per più anni, e solo sporadicamente compaiono le forme anfigoniche (paraciclo). Infine, altre si riproducono esclusivamente per partenogenesi (anolociclo). Inoltre, alcune specie di afidi svolgono il loro ciclo biologico su un’unica specie di pianta (ciclo monoico), mentre altre su due o più specie, di cui una è l’ospite primario e l’altra o le altre quello secondario (ciclo dioico). Le femmine partenogenetiche sono generalmente vivipare.

Nella stessa specie sono presenti adulti atteri e alati; i primi sono le forme più frequenti, gli altri compaiono solo se si rende necessaria una migrazione per disperdere la colonia su piante della stessa specie o per colonizzare piante di altre specie.

Aleurodidi

È una famiglia caratterizzata da adulti di piccole dimensioni (1-2 mm), comunemente noti come mosche bianche, in quanto hanno

il corpo ricoperto da polvere cerosa bianca. Le neanidi hanno il corpo ovale, appiattito, talvolta ricoperto di secrezioni cerosi; quelle di prima età sono mobili, successivamente si fissano sul substrato. Gli aleurodidi vivono in colonie più o meno dense sulle pagine inferiori delle foglie, da cui gli adulti si alzano in volo a gruppi quando disturbati.

Cicaline

Nella terminologia comune questo gruppo di insetti fitomizi include alcune famiglie di omotteri auchenorrhinchi. Dal punto di vista sistematico, le vere cicaline sono le specie appartenenti alla famiglia dei cicadellidi, ma comunemente al gruppo sono ascritte anche altre famiglie come i cixidi, ad esempio *Hyalestes obsoletus* Signoret, e i flatidi, ad esempio *Metcalfa pruinosa* (Say). In generale, questi fitofagi sono caratterizzati da un apparato boccale pungente-succhiante, detto rostro, da un pronoto molto sviluppato tanto da ricoprire capo, torace e parte dell'addome, dall'emissione di microsuoni (cicadellidi) e produzione di sostanze, quali spuma (cercopidi), melata (membracidi e flatidi), cera (flatidi fulgoromorfi) e brocosomi (cicadellidi). Molti ospitano microrganismi simbiotici in corpuscoli di varia forma, detti micetomi. Generalmente, le cicaline preferiscono ambienti umidi e freschi. Alcune specie sono caratterizzate da paurometabolismo, altre da emimetabolismo, in quanto gli stadi giovanili vivono nel terreno, mentre gli adulti sulle parti aeree. In funzione delle modalità di nutrizione si possono avere specie mesofillomize, quando la nutrizione avviene a spese delle cellule parenchimatice, floemomize, quando si nutrono della linfa che scorre nei vasi cribrosi, e xilemomize se effettuano punture trofiche nei vasi xilematici. I danni sono dovuti alle punture trofiche,

sia degli adulti che degli stadi giovanili le quali interessano, in funzione delle modalità di nutrizione, le lamine fogliari, le nervature principali e secondarie, i piccioli, i germogli o i tralci e che determinano variazioni cromatiche, interruzione del flusso linfatico, necrosi, disseccamenti e accrescimenti stentati. Alcune specie sono particolarmente pericolose in quanto vettori di agenti fitopatogeni.

7.1.3.1 - MODALITÀ TRASMISSIONE AGENTI FITOPATOGENI

Numerose specie di insetti fitofagi possono agire da vettori di agenti fitopatogeni. Infatti, nutrendosi su piante infette, l'insetto vettore acquisisce il fitopatogeno e, giunto su una pianta sana, è in grado di trasmetterlo, infettando il nuovo ospite. Tra gli insetti fitofagi sono soprattutto i fitomizi ad essere responsabili della trasmissione di fitopatogeni e, in particolare, gli omotteri. Sono vettori di fitopatogeni molte specie di afidi, aleurodidi, cicaline, psille e pseudococcidi. Specie capaci di trasmissione di fitopatogeni possono inoltre essere presenti tra i tisanotteri.

Il processo di trasmissione dei fitopatogeni prevede tempi e modalità che dipendono in primo luogo dalle relazioni che si instaurano tra l'insetto vettore e l'agente fitopatogeno. In funzione di queste, la capacità di trasmissione del vettore può essere di breve durata (non persistente) o può durare per un lungo periodo di tempo (persistente). Nella trasmissione non persistente (Fig. 7.1A ►), detta anche stilettare, l'insetto vettore assume l'agente fitopatogeno con la puntura di alimentazione (fase di acquisizione); le unità dell'agente fitopatogeno aderiscono alla porzione distale degli stilette, dove sboccano i canali alimentare e salivare (ad esempio per mezzo di una

proteina collosa prodotta dalla pianta su induzione dell'RNA virale). Una volta che le unità fitopatogene hanno contaminato il vettore, questo, sempre attraverso una puntura di alimentazione (fase di inoculazione), è immediatamente in grado di infettare una pianta ospite sana. Il tempo in cui il vettore conserva la capacità di trasmissione (fase di ritenzione) è di breve durata, in quanto viene perduta per disattivazione o a seguito della muta. Questo tipo di trasmissione è comune negli afidi. Una variante della trasmissione non persistente è quella semi-persistente o stomodeale; in questo caso le unità fitopatogene si legano anche all'intima dello stomodeo. Il periodo infettivo è superiore rispetto alla trasmissione non persistente, ma, anche in questo caso, le unità fitopatogene sono perse alla cuticola dello stomodeo durante la muta. Nella trasmissione persistente le relazioni che si instaurano tra insetto vettore e agente fitopatogeno sono molto più intime. Infatti, una volta ingerite con la linfa, le particelle del fitopatogeno raggiungono il mesentero e da questo l'emolinfa, da cui vengono trasportate alle ghiandole salivari (fase di latenza o di incubazione). Quando il fitopatogeno ha raggiunto le ghiandole salivari il vettore è in grado di infettare, sempre attraverso una puntura di alimentazione, la pianta sana. Questa trasmissione è detta persistente circolativa (Fig. 7.1B ►). L'interazione è ancora più stretta nella trasmissione persistente propagativa (Fig. 7.1C ►), in cui il fitopatogeno, dopo aver colonizzato i tessuti dell'insetto vettore, si replica (nel caso dei virus) o si moltiplica (nel caso di fitoplasmi, batteri e spiroplasma) prima di raggiungere le ghiandole salivari, da cui sarà trasmesso con la saliva in un nuovo ospite. Questo tipo di trasmissione si ritrova ad esempio nelle cicaline responsabili della trasmissione dei fitoplasmi della vite, quali

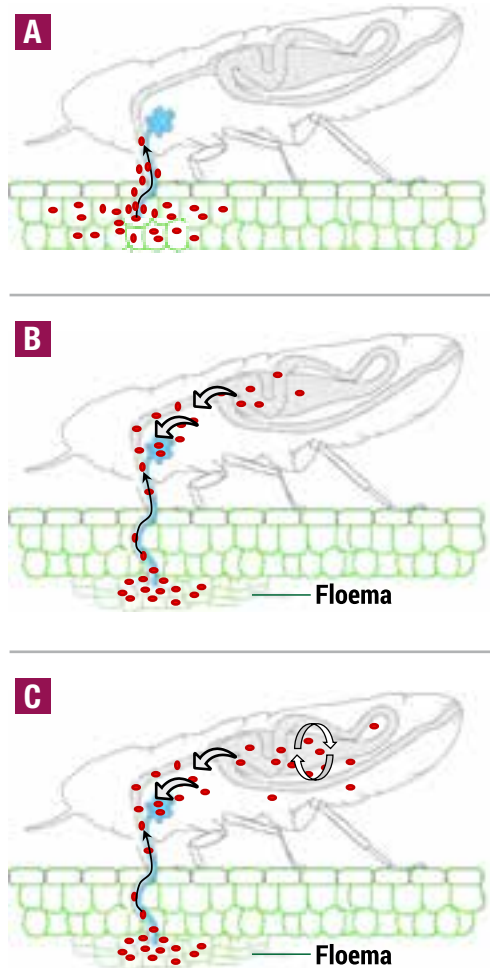


Fig. 7.1 - Rappresentazione schematica dei principali meccanismi con cui gli insetti vettori possono trasmettere fitopatogeni. Trasmissione non persistente e semi-persistente (A); trasmissione persistente circolativa (B); trasmissione persistente propagativa (C). Il cibario e il canale alimentare sono colorati in grigio, il salivario e la ghiandola salivare in celeste, i fitopatogeni in rosso. In B e in C, le frecce indicano il passaggio dei fitopatogeni dal canale alimentare nell'emocele e da questo nella ghiandola salivare. In C, le frecce ricurve indicano la replicazione dell'agente fitopatogeno nel corpo del vettore.

Flavescenza Dorata e Legno Nero. Infine, in alcuni casi il fitopatogeno, oltre a replicarsi o moltiplicarsi, raggiunge le gonadi del vettore che così può trasmetterlo alla propria prole, la quale risulta infettiva già alla nascita; in questo caso la trasmissione persistente è detta propagativa transovarica.

7.1.4 - LEPIDOTTERI

I lepidotteri sono un vasto ordine di insetti olometaboli, comunemente noti come farfalle (lepidotteri diurni) e falene (lepidotteri notturni). Gli adulti hanno ali membranose ricoperte da piccole squame, caratteristica da cui deriva il nome dell'ordine (dal greco *lepis* = squama e *pteròn* = ala), la struttura e disposizione delle quali conferiscono alle ali le colorazioni, spesso particolarmente evidenti. Gli adulti hanno apparato boccale di tipo succhiante non pungente, la spirotromba, e si nutrono generalmente di liquidi zuccherini, principalmente nettare; in alcune specie, soprattutto nei maschi, l'apparato boccale può essere atrofizzato, di conseguenza gli adulti non si nutrono e hanno vita effimera. Le larve sono dotate di zampe toraciche e pseudozampe addominali (

larve polipode) e hanno apparato boccale masticatore con cui provocano erosioni dei tessuti vegetali (quasi tutte le specie sono fitofaghe), di foglie, germogli, legno, fiori, frutti, semi, ecc.; le larve sono l'unico stadio capace di arrecare danno alle piante. La larva matura dà origine a una pupa obteata detta crisalide, spesso protetta da un bozzolo formato da tessuto sericeo, secreto dalla larva, o da fibre di tessuto vegetale. Le larve fitofaghe si nutrono generalmente delle foglie, provocando erosioni più o meno complete del lembo fogliare (es. le specie appartenenti ai pieridi e limantridi) o formando mine (es. i gracillaridi), ma possono attaccare anche le radici di pian-

te erbacee (es. i nottuidi), i tessuti legnosi (es. i cossidi), gemme, fiori e frutti (es. i tortricidi) o semi (es. i piraustidi) anche immagazzinati (es. i tineidi). Poche specie sono entomofaghe (es. i licenidi) e comunque di scarso interesse nel controllo biologico.

7.1.5 - DITTERI

I ditteri sono un vasto ordine di insetti olometaboli, a cui appartengono insetti abbastanza comuni come le mosche (ditteri brachiceri, caratterizzati da antenne corte con 3 articoli e un'appendice, detta arista) e le zanzare (ditteri nematoceri, caratterizzati da antenne lunghe filiformi o piumose con 7-15 articoli). Gli adulti hanno un unico paio di ali membranose, in quanto le ali posteriori si sono trasformate in bilancieri, caratteristica da cui deriva il nome dell'ordine (dal greco *dis* = due e *pteròn* = ala). L'apparato boccale degli adulti è adattato a regimi alimentari basati sull'assunzione di sostanze liquide, ma è piuttosto diversificato nelle famiglie, variando da lambente-succhiante nei ditteri che si nutrono di soluzioni zuccherine o proteiche (ad esempio la famiglia dei muscidi) o di nettare (es. i sirfidi) a pungente-succhiante nei ditteri ematofagi (es. i culicidi). Le larve sono generalmente apode e hanno apparato boccale masticatore o dilaniante, con cui provocano lesioni dei tessuti vegetali o animali. La larva matura dà origine a un pupario, costituito dall'esuvia dell'ultima età larvale, all'interno del quale avviene la metamorfosi. In campo agrario, i danni sono quasi esclusivamente dovuti all'attività trofica delle larve, sebbene in alcune colture possono verificarsi danni ai frutti dovuti alle punture di ovideposizione delle femmine. Le larve fitofaghe possono attaccare le radici di piante erbacee (es. le specie appartenenti ai tipulidi), le foglie e i germogli, inducendo la formazione di bolle o galle (es. i cecidomidi) o formando mine (es. gli agromizidi), oppure svilupparsi

all'interno dei frutti determinando il disfacimento della polpa (es. i tefritidi). Fra i ditteri di interesse agrario, sono tuttavia presenti anche specie utili per il controllo biologico degli insetti fitofagi, come i sirfidi, le cui larve predano soprattutto afidi, e i tachinidi, endoparassitoidi di cimici e di larve di lepidotteri.

7.1.6 - COLEOTTERI

Con 350.000 specie conosciute, i coleotteri sono non solo il più vasto ordine di insetti, ma anche il più grande raggruppamento tra gli organismi viventi sul pianeta. Sono insetti diffusi in tutti gli ambienti, sia terrestri che acquatici, con dimensioni estremamente variabili; a quest'ordine infatti appartengono i più grandi insetti conosciuti. I coleotteri sono insetti olometaboli, caratterizzati da avere il primo paio di ali rigide, dette elitre, che, in posizione di riposo, ricoprono e proteggono le ali membranose del secondo paio e in generale il corpo dell'insetto; da questa caratteristica deriva il nome dell'ordine (dal greco *coleos* = astuccio e *pteròn* = ala). In alcune specie le elitre sono saldate e gli adulti hanno perso la capacità di volare.

Gli adulti hanno apparato boccale di tipo masticatore, dotato di forti mandibole che in alcune specie acquistano dimensioni notevoli. Le larve hanno un robusto apparato boccale masticatore e forma del corpo variabile (larva campodeiforme, melolontoide, elateriforme, ecc.); generalmente sono oligopode, ma in alcune famiglie sono apode (ad esempio le specie appartenenti ai curculionidi). La pupa è generalmente exarata, libera o protetta da un bozzolo. Il regime alimentare è variabile: molte specie sono fitofaghe e si nutrono di foglie, fiori, frutti, semi, radici e parti legnose delle piante; molte altre sono zoofaghe, tra queste vi sono numerose specie predatrici di insetti fitofagi e, di conseguenza, molto importanti per il controllo biologico (ad esempio numerose specie di coccinellidi e carabidi); infine, vi sono specie saprofaghe e necrofaghe, importanti per il ciclo della sostanza organica. Le specie fitofaghe possono arrecare danni alle piante sia nello stadio giovanile che da adulto, ma generalmente i maggiori danni sono dovuti all'azione trofica delle larve. ■



8

AGRUMETO

8.1 - INTRODUZIONE

Gli agrumi costituiscono una parte preponderante del paesaggio degli ambienti mediterranei, non soltanto delle aree produttive ma anche di giardini pubblici e privati, ai quali forniscono un trionfo di colori e odori. Di questa supremazia vuole rendere testimonianza la foto di apertura del capitolo, la quale rappresenta uno degli agrumeti più suggestivi: l'agrumeto presente nel Giardino della Kolymbethra, all'interno del Parco archeologico della Valle dei Templi di Agrigento.

L'agrumeto ospita un ricco ed eterogeneo complesso di insetti fitofagi, seppure meno differenziato di quello conosciuto per le aree zoo-geografiche di origine del genere *Citrus*. Alle specie fitofaghe si associa un'entomocenosi altrettanto ricca di entomofagi, predatori e parassitoidi, che favorisce il contenimento demografico di molti insetti fitofagi e che rende l'agrumeto un agroecosistema potenzialmente in grado di mantenere un equilibrio dinamico tra le componenti dei diversi livelli trofici, in termini di fluttuazioni delle popula-

zioni e di composizione stagionale, il quale, in assenza di gravi perturbazioni antropiche e/o abiotiche, potrebbe permettere una gestione fitosanitaria ecosostenibile. Infatti, escludendo l'azione di alcuni insetti chiave (es. *Ceratitis capitata*) o situazioni particolari (es. i nuovi impianti) la maggior parte delle infestazioni è favorita da interventi fitosanitari inadeguati e/o da operazioni colturali non idonee o dovuta a insetti esotici introdotti accidentalmente a seguito di scambi commerciali internazionali, sempre più intensi e difficilmente controllabili dalle autorità preposte, come le invasioni di *Aleurothrixus floccosus* dal continente americano all'inizio degli anni '80, e di *Parabermisia myricae* e di *Phyllocnistis citrella* dal continente asiatico negli anni '90.

8.2 - LE SPECIE DI INSETTI FITOFAGI PRINCIPALI

Fiori e frutti degli agrumi possono essere fonte di alimentazione di molte specie di insetti fitofagi, ma di queste solo un paio risultano dannose: il lepidottero *Prays citri* Millière, comunemente noto come Tignola degli agrumi o Verme della zagara, appartenente alla famiglia degli iponomeutidi e, soprattutto, il dittero *Ceratitis capitata* (Wiedemann), Mosca mediterranea della frutta, appartenente alla famiglia dei tefritidi. Le infestazioni della tignola sono occasionali, ma potenzialmente dannose negli impianti giovani, in quelli dedicati a produzioni particolari, come ad esempio il limone verdello, o nelle piante in vivaio. Molto più pericolose sono le infestazioni della Mosca mediterranea della frutta, che rappresenta un insetto chiave per gli agrumi e, in generale, uno dei fitofagi più temibili per la frutticoltura mediterranea. Tra i principali fitofagi che possono indurre danni consistenti

alle foglie vi sono due specie di lepidotteri: il fillocnistide *Phyllocnistis citrella* Stainton, Minatrice serpentina degli agrumi, e il tortricide *Archips rosanus* L., Tortrice dei germogli. La loro azione nociva è, tuttavia, registrabile particolarmente sulle giovani piante, in condizioni di vivaio o nei nuovi impianti, e in particolari produzioni, ad esempio il limone verdello.

La maggior parte delle specie fitofaghe che generalmente popolano l'agrumento è ascrivibile al gruppo dei fitomizi. Di questi, la porzione più consistente è annoverata tra i rincoti omotteri e include afidi, aleurodidi, cicaline e cocciniglie. Altre specie appartengono ai tisanotteri, mentre sporadica è la presenza di specie appartenenti ai rincoti eterotteri, come ad esempio *Nezara viridula* L., la comune Cimice verde puzzolente, e altre specie polifaghe di pentatomidi. La maggior parte dei fitomizi, oltre ai danni diretti dovuti alla sottrazione della linfa, con conseguente deperimento degli organi attaccati, provoca danni indiretti causati dall'emissione di melata, che imbratta la vegetazione e diviene substrato per lo sviluppo delle fumaggini, nonché fonte di richiamo per vari insetti glicifagi.

I tessuti legnosi possono essere oggetto di attacchi sporadici e di limitata dannosità da parte dei lepidotteri *Zeuzera pyrina* L. e, ancor più raramente, di *Cossus cossus* L., entrambi appartenenti alla famiglia dei cossidi.

Infine, sulle radici sono segnalati il coleottero scarabeide *Oxythyrea funesta* (Poda), comunemente detto Cetoniella glabra, e il coleottero curculionide *Otiorrhynchus cribricollis* Gyllenhal, comunemente detto Oziorrinco. Per entrambe le specie i danni sono dovuti all'attività trofica delle larve che creano erosioni al colletto e alle radichette. Gli adulti invece si nutrono preferibilmente dei fiori, nel caso

TAB. 8.1

REGIME ALIMENTARE	SPECIE FITOFAGHE PRINCIPALI	DANNI	CONTROLLO
Antofagi e Carpofagi	Tignola degli agrumi	- Erosioni degli organi fiorali (Larva)	<i>Bacillus thuringiensis</i> , estratto di piretro, olio minerale, Azadiractina-A
	Mosca mediterranea della frutta	- Ferite di ovideposizione (Adulto) - Disfacimento dei frutti (Larva)	Trappole con proteine idrolizzate, <i>Beauveria bassiana</i> , estratto di piretro, Spinosad
Fillofagi	Minatrice serpentina degli agrumi	- Mine fogliari (Larva)	Ottimizzazione irrigazione e concimazione azotata, Azidaractina- A, estratto di piretro, olio minerale
	Tortrice dei germogli	- Erosioni fogliari (Larva)	<i>Bacillus thuringiensis</i>
Fitomizi	Tripide degli agrumi	- Suberificazione superficiale sui frutti	Sfoltimento chioma, trappole cromoattrattive, olio minerale, Azadiractina-A
	Afide verde degli agrumi	- Accartocciamenti delle foglie - Colatura dei fiori e cascola dei frutticini - Melata e fumaggini	Ottimizzazione irrigazione e concimazione azotata, sfoltimento chioma, Azadiractina-A, estratto di piretro, olio minerale
	Cocciniglia cotonosa solcata	- Disseccamenti e filloptosi - Melata e fumaggini	Sfoltimento chioma, olio minerale
	Cocciniglia rossa forte degli agrumi	- Disseccamenti e filloptosi - Aree decolorate	Sfoltimento chioma, lanci di <i>Aphytis melinus</i> , olio minerale, estratto di piretro
	Cocciniglia elmetto degli agrumi	- Disseccamenti - Melata e fumaggini	Sfoltimento chioma, olio minerale, estratto di piretro
	Cotonello degli agrumi	- Aree decolorate - Filloptosi, cascola dei frutti - Melata e fumaggini	Cotonello degli agrumi
	Mosca bianca fioccosa degli agrumi	- Aree decolorate - Filloptosi, cascola dei frutti - Melata e fumaggini	Olio minerale, estratto di piretro
	Cicalina verde degli agrumi	- Aree decolorate	Trappole cromoattrattive
Xilofagi e Rizofagi	Rodilegno giallo	- Disseccamento di germogli e rametti; rotture meccaniche (Larva).	Nematodi entomopatogeni, cattura massale

▲ **Tab. 8.1** - Prospetto dei principali insetti fitofagi degli agrumi, distinti in funzione del regime alimentare, con una sintesi della sintomatologia del danno e dei prodotti ammessi per il controllo in regime di agricoltura biologica.

della *Cetoniella glabra*, o delle foglie e dei giovani germogli, nel caso dell'Oziorrinco. Di seguito, in funzione del regime alimentare, verranno illustrate le specie principali, mentre le eventuali altre verranno trattate in maniera comparativa, riportando solo le caratteristiche morfologiche e le principali differenze nella biologia e nel controllo rispetto alla specie modello (Tab. 8.1 ◀).

8.2.1 - ANTOFAGI E CARPOFAGI

Tignola degli agrumi, verme della zagara *Prays citri* Millière

Caratteri morfologici: gli adulti della Tignola degli agrumi sono farfalle di piccole dimensioni (circa 10-12 mm di apertura alare) e di colore grigio (Fig. 8.1 ▶); le ali anteriori sono di colore grigio con macchie scure, quelle posteriori sono grigie e frangiate. La larva è di colore verde-bruno, a maturità è lunga circa 6-8 mm. La crisalide è di colore bruno e lunga circa 2,5 mm.

Piante ospiti: agrumi, soprattutto limone e cedro.

Ciclo biologico: sverna principalmente allo stadio di crisalide. Gli adulti sfarfallano in primavera, in corrispondenza della fioritura; dopo l'accoppiamento le femmine depongono le uova, ovali (circa 0,15 x 0,20 mm), opalescenti e con il corion reticolato, sui boccioli fiorali. Le larve penetrano all'interno dei boccioli ed erodono gli organi fiorali. Durante lo sviluppo, passano da un fiore all'altro tessendo fili sericei e determinando la formazione di lasse strutturate che avvolgono i boccioli fiorali. All'interno di queste strutture composte da fili sericei e residui fiorali le larve mature si incrisalidano. La Tignola degli agrumi svolge più generazioni, in funzione delle condizioni ambientali: su specie rifiorenti, come il limone,



Fig. 8.1 - Gruppo di fiori di limone danneggiati da larve di *Prays citri* il cui adulto è raffigurato nel cerchio.

e/o in zone climatiche favorevoli può svolgere fino a 12 generazioni all'anno, con larve in attività di nutrizione anche nei mesi invernali. Le erosioni prodotte dalle larve compromettono lo sviluppo dei fiori e ne determinano la precoce caduta (Fig. 8.1 ▲); tuttavia, in considerazione delle abbondanti fioriture che caratterizzano gli agrumi, generalmente non provocano danni degni di considerazione. In caso di forte infestazione, le larve possono attaccare anche giovani germogli e frutticini fino a 2-3 cm di diametro determinandone la cascola. Le infestazioni, in genere occasionali, sono potenzialmente dannose negli impianti giovani o sulle piante in vivaio. I danni maggiori si hanno sui limoni destinati alla produzione dei "verdelli".

Controllo: Le popolazioni del fitofago sono limitate da alcuni parassitoidi non specifici, tra cui l'imenottero encirtide *Ageniaspis fuscicollis* Dalm. e l'imenottero braconide *Chelonus elaeaphilus* (Silvestri). L'andamento delle popolazioni può essere monitorato con il posizionamento di trappole a feromone, a cui va affiancato un campionamento visivo su fiori

e/o germogli. Effettuate le prime catture di adulti nelle trappole e registrate percentuali di oltre il 50% dei boccioli fiorali infestati, si può ricorrere a trattamenti con *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* e *tenebrionis*, preferibilmente sulle larve neonate, da ripetere a distanza di una settimana, in considerazione della scalarità della schiusura delle uova. Nel caso di produzione del “verdello” è necessario anticipare la fioritura dei limoni alla metà di agosto, effettuando quindi “la rottura della secca” alla metà di luglio, in modo da evitare che la nuova fioritura coincida con il picco di infestazione autunnale.

Mosca mediterranea della frutta

Ceratitis capitata (Wiedemann)

Caratteri morfologici: l'adulto della Mosca mediterranea della frutta è lungo 4-5 mm e ha il corpo grigio con sfumature giallastre (Fig. 8.2 ▼); nel capo sono evidenti gli occhi rossi, il torace è grigio con strisce nere, l'addome è di colore giallo-arancio e presenta

fasce trasversali argentee e la parte finale appuntita. Le ali sono membranose con evidenti macchie bruno-aranciate. La larva è microcefala, apoda, allungata, di colore bianco in cui spiccano gli uncini boccali di colore nero (Fig. 8.2); a maturità è lunga 7-9 mm. Il pupario è un barilotto rossastro.

Piante ospiti: agrumi e molte specie di fruttiferi tra cui drupacee, pomacee, kaki, fico, fico d'india, actinidia.

Ciclo biologico: la Mosca mediterranea della frutta sverna come pupa nel terreno ad una profondità di pochi centimetri. In primavera gli adulti iniziano a sfarfallare; dopo l'accoppiamento la femmina depone uova di colore bianco lucente, allungate (circa 1,0x0,2 mm) e leggermente ricurve, in gruppi di 4-10 elementi all'interno di fori prodotti con l'ovopositore nell'epicarpo dei frutti. In media, ciascuna femmina depone circa 500 uova, ma può arrivare ad un migliaio in condizioni ambientali favorevoli. Per la deposizione ven-



Fig. 8.2 - Frutto di arancio infestato da alcune femmine adulte di *Ceratitis capitata* con evidenti macchie circolari causate dall'attività di ovideposizione. Nei cerchi sono raffigurate la femmina adulta e la larva.

gono generalmente preferiti i frutti con polpa tenera, ricchi in zuccheri e con basso grado di acidità. Le larve si sviluppano quindi all'interno del frutto provocando il disfacimento della polpa; a maturità fuoriescono, si lasciano cadere nel terreno e si impupano. Il numero di generazioni varia in funzione delle condizioni ambientali e delle piante ospiti. Nelle regioni più fredde il fitofago può svolgere 2-4 generazioni all'anno, mentre nelle zone con inverni miti le generazioni possono essere ininterrotte, in quanto esso può svernare come adulto e/o larva nei frutti. Nelle zone meridionali italiane la Mosca mediterranea della frutta compie 6 -7 generazioni, grazie alla continua presenza di piante ospiti che si susseguono durante le stagioni: si inizia in primavera con infestazioni a carico di albicocco e nespolo per poi interessare tutti i fruttiferi presenti, come drupacee, fico, fico d'india, pomacee, kaki, talvolta anche vite e infine agrumi, su cui gli attacchi proseguono durante inverno e primavera, spostandosi dalle varietà precoci a quelle tardive.

Danni: la Mosca mediterranea della frutta provoca danni ai frutti sia allo stadio di larva che a quello di adulto. Le larve con la loro attività trofica provocano il disfacimento dei frutti, mentre le femmine con le punture di ovideposizione determinano la comparsa di macchie circolari sui frutti (Fig. 8.1). Negli agrumi le larve riescono a svilupparsi soltanto nei frutti con epicarpo sottile, come mandarini, clementine e varietà precoci di arancio (Navelina e Tarocco nucellare); in questi frutti il primo sintomo dell'avvenuto puntura è la comparsa di una zona marcescente che progressivamente si espande, a seguito dell'attività delle larve e della successiva azione di agenti patogeni, fino a provocare il disfacimento dei frutti

con eventuale cascola. Nei frutti ad epicarpo spesso le uova e le larve vengono invece devitalizzate dagli oli essenziali contenuti nelle ghiandole oleifere delle cellule della buccia, per cui non si ha disfacimento; tuttavia, le punture di ovideposizione possono provocare una perdita economica sia quantitativa che qualitativa, in quanto determinano la comparsa di un alone (di colore giallo nei frutti ancora verdi, verdastro in quelli prossimi alla maturazione) sufficiente a causare un deprezzamento commerciale della produzione e possono indurre una precoce cascola dei frutti.

Controllo: i danni arrecati dalla Mosca mediterranea della frutta alle diverse produzioni sono talmente elevati che molti Stati impongono barriere commerciali all'importazione di frutta per evitare l'introduzione del fitofago e, in presenza di focolai d'infestazione, ricorrono a campagne di eradicazione su larga scala (che riguardano anche più Stati confinanti), utilizzando la tecnica del maschio sterile. Sui singoli appezzamenti, la lotta si presenta piuttosto complicata, soprattutto per l'estrema polifagia del fitofago e di conseguenza per le numerose piante coltivate e spontanee che possono fungere da serbatoio di infestazione. L'azione degli antagonisti naturali, tra cui parassitoidi imenotteri braconidi del genere *Opius*, non è sufficiente né a limitare le popolazioni del fitofago né a ridurre il danno economico, in quanto, come detto, la semplice puntura di ovideposizione comporta la perdita di valore della produzione. Soprattutto in agricoltura biologica è necessaria un'attenta azione preventiva di controllo delle popolazioni attraverso limitazioni delle possibili fonti di infestazione, come la raccolta e la distruzione dei frutti attaccati e il controllo di altri fruttiferi suscettibili. Particolarmente importante è

l'attività di monitoraggio attraverso l'impiego di trappole cromotropiche gialle, innescate con Trimedlure, o bottiglie-trappole (Mc Phail) con attrattivi proteici specifici, utilizzabili anche per la cattura massale. Il ricorso a trattamenti con prodotti autorizzati in agricoltura biologica è consigliato al superamento della soglia di 20 adulti/trappola/settimana e 1-2% di frutti con punture fertili (100 frutti/ha scelti a caso sul 5-10% delle piante). I metodi più razionali di controllo prevedono l'uso di esche proteiche avvelenate, ovvero proteine idrolizzate addizionate con opportuni principi attivi, applicati su una parte della chioma o su piante alterne o su filari alterni o su 1 ogni 3. Insetticidi ampiamente utilizzati per il controllo della Mosca mediterranea della frutta in agricoltura biologica sono quelli a base di spinosad, i quali hanno un forte potere abbattente sulla popolazione adulta, con, tuttavia, possibili ricadute sull'entomofauna utile.

Specie di minore interesse

I coleotteri scarabeidi *Tropinota hirta* (Poda) e *Tropinota squallida* Scopoli, detti comunemente Cetonielle pelose, e *Oxythyrea funesta* (Poda), Cetoniella glabra, possono occasionalmente arrecare danni ai fiori, in quanto gli adulti, nutrendosi di polline e nettare (le larve vivono, invece, a carico delle radici), possono danneggiare gli organi fiorali. Normalmente si tratta di infestazioni trascurabili, nei casi di improvvise pullulazioni si può ricorrere a catture massali con trappole collose cromo-attrattive, azzurre o bianche, o collocando piccoli contenitori di acqua in cui gli adulti attratti restano imprigionati.

I frutti degli agrumi sono interessati da attacchi di altre specie di fitofagi, tra cui vanno segnalati quelli del lepidottero piralide *Cryptoblabes gnidiella* Millière, Tignola rigata de-

gli agrumi. Si tratta di una specie polifaga in grado di attaccare numerose piante da frutto come agrumi, vite, fico, kaki, melograno e piante spontanee. L'adulto è una farfalla di piccole dimensioni (apertura alare di 14-16 mm), ha ali anteriori di colore grigio con fasce scure e ali posteriori grigio biancastre. La larva è di colore verde-bruno e a maturità è lunga circa 10 mm. La Tignola rigata degli agrumi svolge 3 generazioni all'anno con larve che possono rimanere attive anche in inverno. Le femmine depongono uova isolate su foglie e frutti; le larve attaccano i frutti e a maturità si incrisalidano nel tessuto danneggiato. Sugli agrumi la tignola può essere considerata un fitofago secondario in quanto le femmine depongono le uova preferibilmente su frutti e foglie infestati dal Cotonello degli agrumi. Gli adulti sono infatti attratti dalla melata emessa da adulti e neanidi dello pseudococcide e le larve, successivamente, trovano protezione nella massa cerosa delle colonie del Cotonello degli agrumi e fonte di nutrimento nella melata. Le larve, tuttavia, possono nutrirsi dei frutti praticando delle erosioni nell'esocarpo o nella zona di attacco del peduncolo. In conseguenza di queste erosioni i frutti piccoli possono essere indotti alla cascola, mentre quelli più sviluppati subiscono un deprezzamento per la presenza delle gallerie e di essudati gommosi emessi come reazione dai tessuti attaccati. I danni della Tignola rigata degli agrumi sono notevolmente limitati da un'adeguata azione di controllo del Cotonello degli agrumi.

8.2.2 - FILLOFAGI

Minatrice serpentina degli agrumi

Phyllocnistis citrella Stainton

Caratteri morfologici: gli adulti della Minatrice serpentina degli agrumi sono farfalle



Fig. 8.3 - Germoglio di agrume che presenta foglie accartocciate a causa di mine prodotte dalle larve di *Phyllocnistis citrella* (A). Dettaglio della mina con la larva evidenziata dal cerchio di colore nero (B). Nel cerchio in alto è raffigurato l'adulto.

di piccolissime dimensioni (sono definiti microlepidotteri: circa 2 mm di lunghezza e 4 mm di apertura alare) e di colore grigio (Fig. 8.3 ▲); le ali anteriori sono di colore argenteo con sottili bande nere, alcune trasversali, altre curve, una macchia nera all'apice dell'ala e bordi frangiati; quelle posteriori sono frangiate e argentee. La larva è apoda, con il corpo affusolato e appiattito di colore inizialmente bianco traslucido poi giallo-verde traslucido (Fig. 8.3B ▲); a maturità è lunga circa 3 mm. La crisalide è di colore marrone e lunga circa 2,5 mm.

Piante ospiti: agrumi, altre rutaceae coltivate o spontanee e specie botaniche appartenenti alle famiglie fabacee, lauracee, oleacee, salicacee, tiliacee, ecc.

Ciclo biologico: l'insetto sverna come larva o crisalide all'interno delle mine larvali; in primavera compaiono gli adulti (i primi attacchi si manifestano con temperatura notturna non inferiore a 12 °C), i quali hanno abitudini crepuscolari: durante le ore diurne restano sotto le foglie o in altri ripari offerti dalle piante di

agrumi o spontanee e, all'imbrunire, iniziano le attività. Le femmine depongono le uova, trasparenti e di forma lenticolare (circa 0,2 mm di diametro), in modo isolato in prossimità della nervatura mediana di entrambe le pagine fogliari; su ciascuna foglia possono essere deposte più uova. Le larve nascono dopo un breve periodo di incubazione e penetrano nell'epidermide della foglia scavando mine con andamento a serpentina (da cui deriva il nome comune del fitofago) di diametro inferiore a 1 mm (Fig. 8.3B). Nelle prime tre età la larva si nutre del contenuto delle cellule (larva di 1° tipo, plasmofaga); successivamente smette di nutrirsi (larva di 2° tipo, afaga), avvicina la mina al bordo, ripiega una piccola porzione del lembo fogliare con fili sericei e forma un ricovero, all'interno del quale si incrisalida. L'adulto sfarfalla dopo 5-8 giorni. In funzione delle condizioni ambientali, la Minatrice serpentina svolge fino a 10-13 generazioni all'anno.

Danni: la Minatrice serpentina arreca danni soprattutto alle foglie tenere; l'attacco è molto evidente per la presenza delle mine di colo-

re argenteo e con linee sinuose scure dovute agli escrementi delle larve. Con lo sviluppo delle mine, le foglie tendono ad accartocciarsi, disseccare e cadere, lasciando i rami giovani spogli. Gli attacchi possono verificarsi anche su rametti erbacei, su peduncoli e calici fiorali e su frutti di dimensioni inferiori ai 5 cm di diametro. Generalmente, sulle piante vigorose gli attacchi della minatrice serpentina non provocano gravi danni, in quanto la principale fogliazione, quella primaverile, sfugge all'attacco del fitofago. Di contro, particolarmente dannose possono essere le infestazioni sulle piante in vivaio, soprattutto nel caso di piante ornamentali, sui giovani impianti e sui reinnesti. Infine, è da ricordare che in alcune aree limonicole della Sicilia, in cui è ancora praticata la "forzatura" per la produzione del limone verdello, il fitofago può destare particolare apprensione in quanto la pratica della "rottura della secca" determina un'intensa ripresa vegetativa delle piante di limone nel periodo estivo, in corrispondenza di possibili pullulazioni di adulti, esponendo, di conseguenza, i nuovi germogli ad attacchi della minatrice serpentina.

Controllo: le infestazioni di *Ph. citrella* possono essere limitati da una corretta applicazione delle pratiche agronomiche, quali potature, concimazioni azotate e irrigazioni, al fine di evitare lo sviluppo vegetativo in corrispondenza dei periodi di maggiore presenza del fitofago. Una numerosa coorte di imenotteri parassitoidi, sia indigeni (*Cirrospilus diallus* Walker, *Cirrospilus pictus* Nees, *Pnigalio* spp., *Ratzeburgiola incompleta* Boucek, *Apotetrastichus* spp., *Chrysocharis* spp.), che esotici (*Semiolacher petiolatus* (Girault) e *Ageniaspis citricola* Logvinovskaya), importati a seguito dell'invasione del fitofago e ormai acclimatati, è fattore di limitazione

delle popolazioni della minatrice serpentina; tuttavia, non sempre quest'azione di controllo biologico è sufficiente. Nei giovani impianti o successivamente ad operazioni di innesto, si può proteggere la chioma con tessuto non tessuto da inizio giugno a fine ottobre. La lotta chimica va limitata ai casi di effettiva necessità, quando cioè le infestazioni interessano giovani piante in fase di accrescimento o in caso di produzioni particolari. In agrumicoltura a conduzione biologica sono utilizzabili prodotti a base di Azadiractina.

Tortrice dei germogli - *Archips rosanus* L.

Caratteri morfologici: l'adulto è una farfalla con circa 2 cm di apertura alare, presenta testa e torace di colore bruno, addome bruno-grigiastro, ali anteriori brune, con tre bande oblique, accennate nelle femmine e scure nei maschi, e ali posteriori grigio-bruno con frange arancioni. Le larve sono di colore verde oliva con capo e pronoto scuro; a maturità raggiungono 2 cm circa di lunghezza.

Piante ospiti: agrumi, fruttiferi (cotogno, melo, pero, albicocco, ciliegio, susino, olivo, nespolo, nocciolo, ribes, ecc.) latifoglie forestali (acero, betulla, pioppo, platano, quercia, ecc.) piante arbustive (alloro, biancospino, lillà, mirto, viburno, ecc.) ed erbacee (erba medica, ortica, ecc.).

Ciclo biologico: sverna allo stadio di uovo; all'inizio della primavera le larve si dirigono verso gli apici dei germogli e qui si alimentano erodendo l'intero lembo fogliare, ad eccezione della nervatura centrale. Gli adulti compaiono tra maggio e giugno; dopo l'accoppiamento, le femmine depongono sulla corteccia dei rami o del tronco le uova in ovature (da 20 a più di 100 uova/ovature) di forma circolare, colore grigio-verdastro e ricoperte da una sostanza traslucida. Il fitofago svolge 1 generazione per anno.

Danni: i danni sono dovuti alle erosioni sulle foglie, talvolta anche a carico degli organi fiorali, prodotte dall'attività trofica delle larve; in genere sono di modesta entità e non pregiudicano lo sviluppo o la produzione delle piante.

Controllo: tra gli antagonisti naturali si ricordano parassitoidi oofagi come l'imenottero tricogrammatide *Trichogramma cacoecia* March., parassitoidi larvali come il dittero tachinide *Pseudoperichaeta insidiosa* (Robineau-Desvoidy) e imenotteri braconidi del genere *Apanteles*. In caso di infestazioni particolarmente severe, ovvero in presenza del 10-20% di germogli attaccati, si può intervenire con prodotti a base di *Bacillus thuringiensis* prima della fioritura.

Specie di minore interesse

Sulle foglie degli agrumi sono riportati occasionali attacchi del coleottero curculionide *Otiorrhynchus cribricollis* Gyllenhal, noto come Oziorrinco (vedi 9.2.2)..

8.2.3 - FITOMIZI

TISANOTTERI

Tripide degli agrumi o Tripide delle serre

Heliothrips haemorrhoidalis Bouché

Caratteri morfologici: l'adulto ha il corpo di colore bruno-nero, con gli ultimi due segmenti addominali giallo-rossastri, zampe gialle e ali strette e frangiate, tenute parallele al corpo in posizione di riposo; la lunghezza è circa 1,5 mm. Gli stadi giovanili sono di colore giallo con occhi rossi molto evidenti.

Piante ospiti: agrumi, piante fruttifere, ornamentali, soprattutto floreali, e ortive.

Ciclo biologico: è una specie partenogenetica. Sverna da adulto nelle anfrattuosità della corteccia, ma nelle regioni meridionali può rimanere attivo e continuare lo sviluppo anche in

inverno, pur con ridotta attività. Le femmine depongono le uova sulla pagina inferiore della foglia, all'interno delle nervature, ricoprendole con gocce di escrementi neri che contribuiscono ad imbrattare la vegetazione. Stadi giovanili e adulti vivono generalmente sulla pagina inferiore delle foglie nutrendosi della linfa. Il Tripide degli agrumi svolge 3-4 generazioni all'anno; tuttavia, in ambienti protetti, può svolgerne 6-7, in quanto le condizioni ambientali sono più simili a quelle ottimali di sviluppo (25-28° C e 85% U. R.).

Danni: i danni sono generalmente arrecati alle foglie, su cui le punture di alimentazione determinano decolorazioni, argentature del lembo, necrosi e filloptosi. Sugli agrumi i danni maggiori si verificano sui frutti; questi, a seguito delle punture, presentano una suberificazione superficiale argentea se maturi (Fig. 8.4 ▼), bruna se verdi.



Fig. 8.4 - Frutto di limone con evidenti aree suberificate in conseguenza delle punture di nutrizione di *Heliothrips haemorrhoidalis*, il cui adulto è raffigurato nel cerchio.

La suberificazione argentea, detta comunemente ruggine bianca degli agrumi, spesso viene confusa con i danni prodotti dagli acari. La stessa sintomatologia può essere indotta da attacchi di altri tripidi come *Thrips tabaci* Lindeman, Tripide degli orti, e *Pezothrips kellyanus* Bagnall.

Controllo: il Tripide degli agrumi può essere contrastato con interventi di potatura che vadano a sfoltire la chioma in modo da favorire la circolazione dell'aria e impedire il ristagno di umidità. Il monitoraggio può essere effettuato con trappole cromotropiche blu. In casi di gravi infestazioni, in presenza del 2-3% di frutti attaccati e/o del 5-10% di foglie infestate, si può ricorrere a trattamenti chimici.

RINCOTI OMOTTERI

AFIDIDI

Afide verde degli agrumi

Aphis spiraecola Pagenstecher
(=*Aphis citricola* V. d. G)

Caratteri morfologici: gli adulti dell'afide verde degli agrumi sono di piccole dimensioni (1,5-2 mm di lunghezza) e hanno il corpo di colore verdognolo con sifoni e codicola di colore bruno (Fig. 8.5 ►).

Piante ospiti: polifago, soprattutto agrumi (mandarino, clementine e arancio) e rosacee arbustive (*Spiraea*, *Crataegus*).

Ciclo biologico: compie un olociclo dioico utilizzando rosacee arbustive come ospiti primari (*Crataegus* sp., *Spiraea* sp.), su cui sverna come uovo durevole, e agrumi o altre piante arboree o erbacee come ospiti secondari. Tuttavia, nelle aree meridionali compie generalmente un anolociclo sugli agrumi o su rosacee arbustive, con il susseguirsi di numerose generazioni partenogenetiche



Fig. 8.5 - Germoglio di agrume con le foglie accartocciate in conseguenza di attacco di *Aphis spiraecola*. Nel cerchio è raffigurata una colonia di afidi in cui è presente una femmina adulta.

(anche 40) e svernamento come femmina adulta. Le colonie si sviluppano su foglie, principalmente sulla pagina inferiore, e germogli teneri, talvolta anche su peduncoli di fiori e frutticini appena allegati.

Danni: le punture di nutrizione provocano accartocciamenti delle foglie, sviluppo stentato dei germogli, colatura dei fiori e cascola dei frutticini, con conseguenti ripercussioni sull'accrescimento e sul vigore della pianta (Fig. 8.5). A questi danni si sommano quelli indiretti, dovuti all'abbondante melata prodotta dall'afide, la quale imbratta la vegetazione e diviene sia substrato di sviluppo delle fumaggini, con riduzione della superficie fotosintetizzante, sia fonte di richiamo per vari insetti glicifagi. Tra questi, particolarmente importanti risultano le formiche per le

loro azioni di difesa degli afidi nei confronti degli antagonisti naturali e di diffusione delle colonie, in quanto capaci di trasportare gli afidi. Inoltre, l'Afide verde può essere responsabile della diffusione di alcune virosi.

Controllo: le infestazioni dell'Afide verde possono essere contrastate da corrette tecniche agronomiche che limitino lo sviluppo eccessivo delle parti verdi, tenere e appetibili, in corrispondenza dei periodi di maggiore presenza del fitofago (maggio-giugno); in particolare, vanno ottimizzati gli interventi irrigui e le concimazioni azotate. Inoltre, bisogna razionalizzare le potature, le quali se da un lato servono a sfoltire la chioma contrastando la presenza di microclimi umidi ed ombrosi che favoriscono il fitofago, dall'altro possono favorire l'emissione di getti teneri suscettibili di nuovi attacchi. L'Afide verde degli agrumi è contrastato da predatori generici, quali neurotteri crisopidi, coleotteri coccinellidi e ditteri sirfidi, che tuttavia non sono in grado di limitare adeguatamente le popolazioni. In caso di superamento della soglia di intervento, variabile a seconda della specie di agrumi (tra il 5% di getti infestati su mandarino e il 10 % sulle altre specie), si ricorre a trattamenti chimici che in agricoltura biologica sono a base di piretro.

- Altre specie di afididi

Gli agrumi possono essere ospiti occasionali di molte specie di afidi, come *Aphis craccivora* Koch, *Aphis fabae* Scopoli, *Aulacorthum solani* (Kalt.), *Hyadaphis coriandri* Das., *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), *Myzus persicae* (Sulzer) e *Rhopalosiphum maidis* (Fitch). Due specie, tuttavia, sono abbastanza comuni: *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe, Afide bruno degli agrumi, e *Aphis gossypii* Glover, Afide delle cucurbitacee.

Il primo è di colore bruno-nero, con testa più scura e addome più chiaro; gli adulti sono di piccole dimensioni (1-2 mm di lunghezza). Specie polifaga: oltre che sugli agrumi è segnalata anche su numerose piante di interesse commerciale, tra cui *Camellia sinensis*, *Coffea* sp., *Mangifera indica* e *Theobroma cacao*; svolge un anolociclo con numerose generazioni all'anno accavallate. Può agire come vettore di virus fitopatogeni negli agrumi e in altre piante.

L'Afide delle cucurbitacee è di colore variabile, dal verdognolo al grigiastro-scuro; le neanidi sono gialline. Gli adulti sono di piccole dimensioni (2 mm di lunghezza). Può svolgere un olociclo con deposizione dell'uovo invernale su ospiti primari, come l'ibisco, o, nei climi più caldi, un anolociclo o paraciclo, svernando come femmina adulta. Specie polifaga: oltre che sugli agrumi è segnalata anche su numerose piante arbustive (cotone, ibisco) ed erbacee (cucurbitacee, pomodoro, peperone, patata, ecc.). Sulle piante ortive è vettore dei virus del Mosaico del cetriolo e del Mosaico del comero.

Entrambe le specie sono generalmente controllate da numerose specie di predatori, quali adulti e larve di coleotteri coccinellidi e di neurotteri crisopidi, e larve di ditteri sirfidi e cecidomidi e di parassitoidi, soprattutto imenotteri braconidi endofagi del genere *Lysiphlebus* (*L. testaceipes*, *L. fabarum* e *L. confusus*). L'azione esercitata dagli entomofagi è molto valida, si possono trovare colonie fino al 100% parassitizzate, ma può risultare tardiva. Le soglie di intervento sono più alte rispetto a quella di *A. citricola*: circa il 25% di getti infestati indipendentemente dalla specie di *Citrus*.

COCCINIGLIE

Le principali cocciniglie che si ritrovano sugli agrumi appartengono a 4 famiglie: monoflebidi, diaspididi, lecanidi e pseudococcidi.

- Monoflebidi

Cocciniglia cotonosa solcata o Grande cocciniglia cotonosa degli agrumi - *Icerya purchasi* Maskell

Caratteri morfologici: è una specie ermafrodita; dalle uova fecondate si originano individui in grado di autofecondarsi, comunemente chiamati femmine, mentre da quelle non fecondate maschi aploidi. La femmina adulta ha il corpo di colore rossastro ricoperto di cera bianca (Fig. 8.6 ►). La parte più evidente è rappresentata dall'ovisacco di natura cerosa, bianco, con 16 solchi longitudinali, secreto dalla femmina prossima all'ovideposizione, al cui interno vengono deposte alcune centinaia di uova (600–800) di colore rossiccio. Il maschio, abbastanza raro, ha il corpo molto esile, lungo circa 1 mm e dotato di un paio di ali. Le neanidi di colore arancio con lo sviluppo si ricoprono di cera bianca.

Piante ospiti: agrumi e numerose piante ornamentali tra cui rosa e pittosporo.

Ciclo biologico: la Cocciniglia cotonosa solcata sverna generalmente come femmina giovane o adulta; a inizio primavera comincia la deposizione delle uova; le neanidi di 1^a età fuoriescono dall'ovisacco e iniziano a colonizzare nuove parti della pianta, preferibilmente i rametti e le pagine inferiori delle foglie lungo le nervature. La specie compie 2-4 generazioni all'anno. I danni diretti sono dovuti alla sottrazione di linfa, che può determinare sviluppo stentato, disseccamenti e filloptosi. Quelli indiretti sono legati all'abbondante produzione di melata che imbratta la



Fig. 8.6 - Adulto e neanidi di *Icerya purchasi*. Nel cerchio è raffigurato il predatore *Rodolia cardinalis*.

vegetazione e i frutti e determina la comparsa di fumaggine.

Controllo: le popolazioni della cocciniglia sono limitate dall'attività di predazione del coleottero coccinellide *Rodolia cardinalis* (Mulsant), un predatore specifico introdotto dall'Australia in tutte le zone del mondo colonizzate dal fitofago a seguito di programmi di controllo biologico. In caso di forti infestazioni o in assenza del predatore si possono effettuare trattamenti con oli bianchi in presenza delle neanidi di 1^a o di 2^a età.

- Diaspididi

Cocciniglia rossa forte degli agrumi *Aonidiella aurantii* (Maskell)

Caratteri morfologici: il corpo della cocciniglia è appiattito, tondeggiante e di colore giallo-rossastro, non presenta appendici ed è quasi privo di metameria; è isolato dall'ambiente da un involucro protettivo formato da uno strato dorsale appiattito, detto follicolo, costituito da secrezioni di seta e cera, e da uno ventrale più sottile, detto velo o suola.



Fig. 8.7 - Frutti di arancio infestati da *Aonidiella aurantii*. Nei cerchi, dall'alto verso il basso, sono evidenziati i follicoli, il corpo di una femmina sollevato ad arte e una femmina di parassitoide di *Aphytis melinus* nell'atto di parassitizzare una femmina della cocciniglia.

nidi. Le neanidi di 1^a età sono le uniche dotate di zampe e a loro è affidata la colonizzazione dei diversi organi delle piante ospiti. Una volta scelto il sito (in genere entro 24-48 ore), la neanide introduce gli stilette boccali nel tessuto vegetale, comincia a formare il follicolo e rimane immobile e protetta per tutto il resto del ciclo vitale, nel caso delle femmine, o fino allo sfarfallamento, nel caso dei maschi. Negli ambienti meridionali italiani svolge fino a 4 generazioni all'anno, quasi sempre accavallate.

Danni: la Cocciniglia rosa forte infesta rami, foglie e frutti degli agrumi (Fig. 8.7 ◀).

I danni sono dovuti alla sottrazione di linfa che, anche per l'effetto fitotossico della saliva immessa durante le punture di nutrizione, provoca un deperimento generale dei tessuti vegetali. A seguito di infestazioni continue e/o consistenti, si manifestano nei rami screpolature e disseccamenti, nelle foglie ingiallimento, disseccamento e filloptosi, nei frutti maturazione irregolare e pezzature ridotte; di conseguenza si può verificare sviluppo stentato delle piante, nei casi più gravi anche morte, calo delle produzioni e perdita del valore commerciale del prodotto.

Controllo: metodi agronomici e biologici possono contenere abbastanza bene le infestazioni della cocciniglia. Per quanto riguarda i primi, adeguate operazioni di potatura permettono la circolazione dell'aria, contrastando eccessiva umidità e ombreggiamento, condizioni favorevoli per lo sviluppo delle cocciniglie; le concimazioni bilanciate evitano

Questo doppio strato è una caratteristica della famiglia dei diaspidi da cui deriva il nome (dal greco *di* = 2 e *aspidos* = scudo). Il follicolo femminile è circolare (circa 2 mm di diametro), di colore nocciola e al centro ingloba le esuvie degli stadi neanidali di colore rossastro. Quello maschile è più piccolo (circa 1 mm di lunghezza), più chiaro e ovale. Il maschio adulto è di piccole dimensioni (circa 1mm), giallo e alato.

Piante ospiti: agrumi, fruttiferi (pomacee, kaki, fico, susino, nespolo del Giappone, carubo, ecc.), ornamentali (pittosporo, gelsomino, rosa, alloro, ecc.) e latifoglie.

Ciclo biologico: sverna in tutti gli stadi; in primavera le femmine iniziano a riprodursi, dando origine ciascuna a 60-150 neanidi.

alti tenori di azoto nelle piante e quindi che le piante siano più appetibili; infine, nei casi di gravi infestazioni, è efficace la spazzolatura di tronchi e rami.

In condizioni naturali, diversi antagonisti, come il predatore coccinellide *Chilocorus bipustulatus* (L.) e i parassitoidi afelinidi *Aphytis melinus* DeBach, *Aphytis chrysomphali* Mercet, *Aphytis coheni* DeBach, riescono a tenere a freno le popolazioni della cocciniglia. Per un controllo biologico si può ricorrere a lanci di *A. melinus*, prodotto da diverse biofabbriche, a partire dalla tarda primavera e in presenza di temperature medie non inferiori a 18-20°C. I lanci sono effettuati a cadenza settimanale o quindicinale, con un numero di individui per ettaro di 50000-200000. Trattamenti chimici possono essere effettuati con oli bianchi (1,5-2%), che hanno anche un basso impatto sull'entomofauna utile, distribuiti in inverno o in estate. Molto importante per una maggiore efficacia degli interventi è l'attività di monitoraggio effettuabile con trappole a feromoni per la cattura dei maschi (3/ha) o con nastri adesivi posizionati sui rami per il controllo delle neanidi di 1ª età, che, oltre ad essere l'unico stadio mobile, è anche quello più suscettibile ai trattamenti. Per una maggiore precisione, i dati ottenuti dal monitoraggio possono essere integrati con i modelli previsionali per la stima del periodo di presenza di un determinato stadio di sviluppo della cocciniglia. Si tratta della costruzione di un modello basato sulla sommatoria dei gradi giorno (GG), calcolato come somma delle temperature medie non inferiori a 11,5 °C e non superiori a 30 °C a partire dal 1° volo dei maschi, detto Biofix (Biological Fix Point). Ad esempio, in Sicilia orientale i gradi giorno necessari per lo sviluppo delle neanidi di 1ª

generazione sono 250, mentre 886,4 GG sono necessari per la 2ª generazione (dati forniti dall'Osservatorio Regionale).

- Altre specie di diaspididi

Numerose specie appartenenti alla famiglia dei diaspididi possono attaccare i diversi organi delle piante di agrumi, con notevole variabilità di frequenza e dannosità, in funzione delle aree geografiche e della specie ospite. Tra queste si segnalano:

Cocciniglia gialla degli agrumi

Aonidiella citrina (Coquillett)

Follicolo della femmina rotondeggiante di colore nocciola scuro-giallastro; quello del maschio ovale e nocciola chiaro. Sverna in tutti gli stadi, prevalentemente come neanide di 2ª età; svolge 2-3 generazioni. Colonizza soprattutto foglie e frutti.

Cocciniglia bianca del limone

Aspidiotus nerii Bouchè - (Fig. 8.8 ►)

Follicolo della femmina rotondeggiante di colore nocciola con esuvie centrali giallastre; quello del maschio ovale bianco. Sverna in tutti gli stadi, soprattutto come femmina matura e pupa maschile; svolge 3-5 generazioni, spesso accavallate. Colonizza rami, foglie, soprattutto la pagina inferiore, e frutti, talvolta anche le radici superficiali. Specie polifaga: attacca, oltre agli agrumi, anche oleandro, edera, olivo, carrubo, pittosporo, palme, acacia, ecc.

Cocciniglia bianca-rossa degli agrumi

Chrysomphalus dictyospermi (Morgan)

Follicolo della femmina rotondeggiante di colore rosso mattone con esuvie centrali giallastre; quello del maschio ovale e rosso mattone. Sverna in tutti gli stadi, soprattutto come neanide di 2ª età e femmina giovane; svolge 3-4 generazioni, spesso accavallate.



Fig. 8.8 - Frutti di limoni infestati da diaspididi; nei cerchi sono raffigurati dall'alto verso il basso colonie di *Aspidiotus nerii*, *Parlatoria zizyphus* e *Lepidosaphes beckii*. In tutte le immagini sono evidenti le alterazioni cromatiche dovute alle punture di alimentazione delle cocciniglie.

Colonizza foglie, soprattutto la pagina superiore, e frutti. Specie polifaga: attacca anche palme, oleandro, edera, *Cycas*, alloro, acacia, camelia, ecc.

Cocciniglia virgola degli agrumi

Lepidosaphes beckii (Newman) - (Fig. 8.8 ▲)

Follicolo della femmina allungato, curvo, appuntito anteriormente, di colore grigio-castano con esuvie giallo-rossastre; quello del maschio più piccolo e più stretto. Sverna soprattutto come femmina giovane o matura e svolge 4 generazioni, spesso accavallate. Colonizza rami, foglie e frutti.

Cocciniglia serpetta degli agrumi

Lepidosaphes gloverii (Packard)

Follicolo della femmina allungato, stretto, appuntito anteriormente, di colore castano-rossastro; quello del maschio più piccolo e più chiaro. Sverna soprattutto come femmina matura e svolge 4-5 generazioni, spesso accavallate. Colonizza rami, foglie e frutti.

Cocciniglia grigia degli agrumi

Parlatoria pergandei (Comstock)

Follicolo della femmina ovale e di colore grigio con esuvie marginali castano-rossastre; quello del maschio allungato, biancastro con esuvia marginale fulva.

Sverna soprattutto come femmina matura e svolge 3-4 generazioni, spesso accavallate. Colonizza rami, foglie, concentrandosi soprattutto lungo le nervature della pagina superiore, e frutti. È segnalata anche su albicocco e su alcune piante ornamentali.

Cocciniglia nera puntiforme degli agrumi

Parlatoria zizyphus (Lucas) - (Fig. 8.8 ▲)

Follicolo della femmina ovale e di colore nero con un rilievo a forma di π sul dorso; quello del maschio più allungato e piccolo. Sverna soprattutto come femmina matura e svolge 3-5 generazioni, spesso accavallate. Colonizza rami, foglie, concentrandosi soprattutto lungo le nervature della pagina superiore, e frutti. È segnalata anche su giuggiolo.

Tutte queste specie sono contenute da numerosi antagonisti naturali, tra i quali si riportano i predatori coccinellidi *C. bipustulatus*, *Exochomus quadripustulatus* (L.), *Lindorus*

lophantae Blais. e *Scymnus* spp. e i parassitoidi afelinidi *Aphytis hispanus* (Mercet), *Aphytis maculicornis* (Masi), *A. chilensis*, *A. chrysomphali*, *A. lepidosaphes*, *A. melinus*, *Encarsia citrina* Craw. ed *Encarsia inquirenda* (Silvestri).

- Lecanidi

Cocciniglia elmetto degli agrumi, Ceroplaste - *Ceroplastes sinensis* Del Guercio

Caratteri morfologici: la femmina adulta (Fig. 8.9 ►) è ovale (6-7 mm di lunghezza) e ha il corpo protetto da uno scudo ceroso grigiastro con sfumature rosa formato da 7 piastre: 6 marginali e 1 dorsale. In ogni piastra è presente 1 depressione (2 in quella posteriore) con una macchia rossa e un grumo di cera bianca. Il maschio è di piccole dimensioni (circa 1,5 mm di lunghezza), di colore rossiccio ed è dotato di 1 paio di ali. Le neanidi di 1ª età misurano circa 0,5-1 mm e sono di colore rossastro; quelle di 2ª e 3ª età hanno uno scudo dorsale con 13 raggi cerosi marginali (3 anteriori, 6 laterali e 4 posteriori). Quelle maschili sono di colore bianco e hanno i raggi cerosi conici e bianchi (13 laterali e 2 dorsali).

Piante ospiti: agrumi, fruttiferi, piante ornamentali arboree ed erbacee (albicocco, alloro, biancospino, bignonia, evonimo, melograno, platano, ecc.)

Ciclo biologico: la Cocciniglia elmetto sverna generalmente come neanide femminile di 3ª età, femmina immatura oppure come femmina già fecondata nelle zone meridionali a clima mite. In primavera la cocciniglia riprende lo sviluppo e le femmine cominciano a deporre le uova, inizialmente giallognole, poi rosse e ricoperte di polvere cerosa, tra fine primavera e inizio estate; ciascuna femmina ne depone circa 2000. Le neanidi di 1ª età

nascono scalarmente tra luglio e agosto e colonizzano la pagina superiore delle foglie, preferibilmente lungo la nervatura mediana; successivamente (3ª età) si spostano sui rametti dove completano lo sviluppo. A fine autunno - inizio inverno sfarfalla la maggior parte dei maschi (regioni meridionali a clima mite), gli altri svernano come neanidi e sfarfallano alla fine dell'inverno. La Cocciniglia elmetto svolge 1 generazione all'anno.

Danni: i danni diretti sono dovuti alle punture trofiche che, a causa della sottrazione di linfa, provocano disseccamento degli organi attaccati e deperimento della pianta. I danni indiretti sono dovuti all'abbondante produzione di melata che imbratta le piante e diventa substrato per lo sviluppo di fumaggini, con conseguenti danni fisiologici (riduzione fotosintesi e respirazione) ed estetici (deprezzamento della produzione).

Controllo: i numerosi antagonisti naturali [tra i predatori, i coleotteri coccinellidi *C. bipustulatus*, *E. quadripustulatus*, il lepidottero notturno *Eublemma scitula* Rambier e gli imenotteri pteromalidi *Scutellista cyanea* Mot. e *Moranila californica* Howard; tra i parassitoidi, gli afelinidi *Coccophagus lycimnia* (Walker), *Metaphycus bartletti* Ann. e Myn., *Metaphycus helvolus* (Compère), *Metaphycus lounsburyi* (Howard) e l'eulofide *Tetrastichus ceroplastae* (Girault)] e un'attenta gestione agronomica della coltura (vedi indicazioni fornite per *A. aurantii*) contribuiscono a limitare le popolazioni del fitofago. Nei casi di forti infestazioni si può ricorrere a trattamenti con oli minerali bianchi sia in inverno, sulle forme svernanti, che in estate (olio estivo) sulle neanidi giovani (soprattutto quelle di 1ª età) che sono più suscettibili ai trattamenti.



Fig. 8.9 - Principali specie di lecanidi fitofagi degli agrumi; nei cerchi sono raffigurati dall'alto verso il basso: femmina di *Ceroplastes sinensis*, femmina di *Ceroplastes rusci* e femmine e neanide di *Coccus pseudomagnoliarum*.

- Altre specie di lecanidi

Tra le altre specie di cocciniglie appartenenti alla famiglia dei lecanidi in grado di attaccare le diverse specie di agrumi si segnalano:

Cocciniglia del fico

Ceroplastes rusci (L.) - (Fig. 8.9 ▲)

Femmina adulta ovale (circa 5 mm di lunghezza) con scudo ceroso grigiastro e suddiviso in 9 piastre, 8 marginali e 1 dorsale, ciascuna delle quali presenta al centro una depressione con un grumo di cera bianca. Femmina deponente con scudo di colore rosso mattone e piastre marginali che tendono a fondersi. Ma-

schio adulto di piccole dimensioni (circa 1,5 mm di lunghezza), di colore bruno-rossiccio e dotato di 1 paio di ali. Neanidi di 1^a età di colore giallo-rossiccio; neanidi femminili di 2^a e 3^a età con scudo ceroso dorsale rosso mattone con 3 raggi cerosi per lato, 3 anteriori, 4 posteriori e 1 grumo ceroso ellittico sul dorso; neanidi maschili ellittiche con 15 raggi cerosi laterali e 2 dorsali. Sverna come neanide di 3^a età e femmina giovane; svolge 1 generazione all'anno, talvolta 2 nelle regioni a clima mite. Specie polifaga: è segnalata su fico, corbezzolo, alloro, lentisco, mirto, vite e numerose piante ornamentali (falso pepe, oleandro, pittosporo, pioppo, platano, ecc.).

Cocciniglia bassa degli agrumi - *Coccus hesperidum* L.

Femmina con corpo di forma ovale (3-4 mm di lunghezza), di consistenza morbida e di colore giallo-verdastro. È una specie partenogenetica; sverna soprattutto come neanide di 2^a e 3^a età o femmina giovane; svolge 2-3 generazioni accavallate, può arrivare a compierne fino a 7 in climi caldi e in serra. Le neanidi di 1^a età colonizzano entrambe le pagine delle foglie, successivamente si spostano anche sui rametti. Specie polifaga: è segnalata anche su piante ornamentali (alloro, cycas, edera, falso pepe, ficus, oleandro, ecc.).

Cocciniglia bassa marezata degli agrumi *Coccus pseudomagnoliarum* (Kuwana) - (Fig. 8.9 ▲).

Femmina con corpo di forma ovale (circa 4,5 mm di lunghezza), di consistenza morbida e di colore giallastro con punteggiature nere;

neanidi di colore crema. È una specie partenogenetica. Sverna soprattutto come neanidi di 2^a età; svolge 1 generazione all'anno. Le neanidi di 1^a età si insediano lungo la nervatura mediana della pagina inferiore delle foglie, una piccola parte si sposta sui rametti.

Infine, i rami e le foglie possono essere infestati da *Saissetia oleae* (Olivier), Cocciniglia mezzo grano di pepe, la cui trattazione è riportata nel capitolo dedicato ai fitofagi dell'olivo.

- Pseudococcidi

Cotonello degli agrumi

Planococcus citri (Risso) - (Fig. 8.10 ►)

Caratteri morfologici: la femmina adulta ha il corpo di forma ovale, di consistenza molle, di colore giallo-rosato, ricoperto di polvere cerosa (da cui anche il nome di cocciniglia farinosa) e circondato da 18 paia di raggi cerosi di cui 17 corti e 1 più lungo nella zona anale. È lunga circa 3 mm, esclusi i raggi cerosi. Il maschio, lungo circa 1,5 mm, è di colore bruno-rossiccio ed è dotato di 1 paio di ali e di una coppia di lunghi filamenti nella zona genitale. Le neanidi sono di forma ovale, colore roseo-giallastro e ricoperte di polvere cerosa.

Piante ospiti: agrumi, fico, kaki, piante ornamentali arboree ed erbacee in campo e in serra (camelia, cycas, ficus, orchidee, oleandro, piante grasse, pittosporo, rododendro, viburno, ecc.), vite.

Ciclo biologico: all'aperto il Cotonello degli agrumi sverna in diversi stadi, prevalentemente come neanidi di 2^a età, riparate nelle anfrattuosità della corteccia, alla base del tronco, o anche interrate nella zona del colletto. In primavera le femmine fecondate (la riproduzione per partenogenesi è occasionale) formano un ovisacco bianco di cera fioccosa (da cui il nome comune di cotonello), all'in-

terno del quale depongono fino a 600 uova di forma ovale e colore giallo-roseo. Le neanidi si sviluppano dopo pochi giorni e si localizzano di solito nelle parti più riparate della pianta, tendendo ad aggregarsi in corrispondenza della rosetta del peduncolo dei frutti o dei punti di contatto fra frutti o fra frutti e foglie, costituendo colonie abbastanza vistose per la massa cerosa bianca, l'imbrattamento dovuto alla melata emessa, la presenza di formiche e la formazione di fumaggini (Fig. 8.10). Nelle regioni meridionali il cotonello compie da 4 a 6 generazioni all'anno, mentre nelle serre riscaldate lo sviluppo può essere continuo.

Danni: i danni diretti sono dovuti alla sottrazione della linfa che determina ingiallimenti, caduta di foglie, generale deperimento e, quando le colonie si addensano in prossimità del peduncolo dei frutti, cascola dei frutti. I danni indiretti sono dovuti all'abbondante emissione di melata che imbratta la pianta e su cui si sviluppano le fumaggini, le quali riducono l'attività fotosintetica e deturpano i frutti. La melata risulta attrattiva per specie di insetti glicifagi, alcuni dei quali in grado di arrecare ulteriori danni alle piante. Fra questi si segnalano le formiche e il lepidottero *Cryptoblabes gnidiella* Millièrè; le formiche, la cui presenza massiccia è una spia evidente di infestazioni del cotonello, per difendere la fonte di nutrimento contrastano attivamente gli antagonisti naturali di *P. citri*, mentre le femmine di *C. gnidiella* ovidepongono in prossimità delle colonie del cotonello e le larve, successivamente, determinano erosioni nell'epicarpo dei frutti.

Controllo: la lotta al cotonello inizia con la corretta esecuzione di pratiche agronomiche che evitino la creazione di microclimi umidi e ombrosi, favorendo la penetrazione della luce



Fig. 8.10 - Frutti di limone imbrattati da cera e melata e con evidente sviluppo di fumaggini a seguito di attacco del *Planococcus citri*. Nei cerchi dall'alto verso il basso sono raffigurati: colonia di cotonello degli agrumi; adulto di *Cryptolaemus montrouzieri*; adulto di *Leptomastix dactylopii*.

e la circolazione dell'aria nelle parti interne della chioma come idonei sestri d'impianto, adeguati interventi di potatura e irrigazioni e concimazioni azotate equilibrate. Può risultare utile il contrasto alle popolazioni delle formiche apponendo fasce collanti sui tronchi o distruggendo i formicai. Numerosi sono gli antagonisti naturali del cotonello, tra cui i predatori coccinellidi *C. bipustulatus*, *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (Fig. 8.10), *E. quadripustulatus*, *Scymnus includens* Kir. e i parassitoidi calcidoidei *Anagyrus pseu-*

dococci (Girault), *Leptomastix dactylopii* (Howard) (Fig. 8.10) e *Leptomastoidea abnormis* (Girault). Di questi, *A. pseudococci*, *L. dactylopii* e *C. montrouzieri* sono disponibili in commercio, per cui possono essere effettuati lanci periodici dal momento della comparsa delle prime forme del cotonello sui frutti. Per quanto riguarda la lotta chimica si possono effettuare trattamenti a base di oli minerali leggeri, soprattutto in estate in presenza del cotonello sui frutti e a fine inverno con olio minerale al 2-3%. Le attività di controllo devono essere accompagnate dall'attività di monitoraggio con specifiche trappole a feromoni e di campionamento dei

frutti; si considera soglia di intervento una percentuale di infestazione del 10-15% dei frutti in base ad un campionamento di almeno 10 frutti di diametro superiore ai 2 cm per pianta su almeno 10 piante/ha.

- Altre specie di pseudococcidi

Danni simili a quelli del cotonello degli agrumi possono essere provocati da altre due specie di pseudococcidi: *Pseudococcus calceolariae* Maskell, Cotonello citrofilo e *Pseudococcus longispinus* Targioni, Cotonello longiraggiato delle serre.

Cotonello citrofilo

Pseudococcus calceolariae Maskell

Femmina adulta con corpo di forma ovale, di consistenza molle, di colore giallo-rosato, ricoperto di polvere cerosa e circondato da 17 paia di raggi cerosi, di cui 15 corti, 1 leggermente più lungo e 1 lungo fino a metà della lunghezza del corpo (circa 3 mm, esclusi i

raggi cerosi). Maschio adulto, lungo circa 1,5 mm, di colore rossastro e dotato di 1 paio di ali. Neanidi di forma ovale, colore roseo-giallastro e ricoperte di polvere cerosa non distribuita uniformemente (sono visibili 4 strisce con poca cera). Svolge 3 generazioni all'anno, spesso accavallate. Specie polifaga: è segnalata anche su numerose piante ornamentali, arboree ed erbacee.

Cotonello longiraggiato delle serre

Pseudococcus longispinus Targioni

Femmina adulta con corpo di forma ovale, di consistenza molle, di colore aranciato, ricoperto di polvere cerosa e circondato da 17 paia di raggi cerosi, di cui 15 corti, 1 lungo metà del corpo e 1 lungo anche più del corpo (circa 3 mm, esclusi i raggi cerosi). Maschio lungo circa 1,5 mm, di colore aranciato e dotato di 1 paio di ali e di una coppia di lunghi filamenti nella zona genitale. Neanidi di forma ovale, colore roseo-giallastro e ricoperte di polvere. Svolge 4-5 generazioni all'anno, spesso accavallate. Specie polifaga: è segnalata anche su fico, kaki e numerose piante ornamentali (azalea, camelia, cycas, ficus, oleandro, orchidee, piante grasse, pittosporo, ecc.).

Entrambe le specie sono contenute da numerosi antagonisti naturali, tra i quali si riportano i predatori coccinellidi *C. bipustulatus*, *C. montrouzieri*, *E. quadripustulatus* e *S. includens* e i parassitoidi calcidoidei *A. pseudococci*, *Anagyrus fusciventris* (Girault), *Coccophagus* spp. *L. dactylopii*, *L. abnormis*.

ALEURODIDI

Mosca bianca fioccosa degli agrumi o Aleirode fioccoso degli agrumi

Aleurothrixus floccosus Maskell (Fig. 8.11 ►)

Caratteri morfologici: gli adulti sono di piccole dimensioni (circa 1,5 mm di lunghezza) e hanno il corpo di colore giallo ricoperto di bianca polvere cerosa. Le neanidi hanno il corpo subcircolare, appiattito e ricoperto da secrezioni ceroso bianche in fiocchi, da cui deriva il nome comune; formano colonie che ricoprono la pagina inferiore delle foglie e che sono rese molto visibili dal feltro bianco ceroso e dall'abbondante melata prodotta.

Piante ospiti: principalmente agrumi, piante tropicali (annona, caffè, guava, mango ecc.)

Ciclo biologico: la Mosca bianca fioccosa degli agrumi sverna generalmente come neanide di 3^a o 4^a età, talvolta anche come uovo. In primavera iniziano a sfarfallare gli adulti; le femmine depongono le uova in gruppi di circa 50-60 unità, a forma di cerchio o semicerchio, nella pagina inferiore delle foglie. Svolge 4-6 generazioni all'anno.

Danni: i danni sono dovuti alle punture di alimentazione con cui gli adulti e soprattutto le neanidi sottraggono linfa, causando ingiallimenti, disseccamenti e, nei casi più gravi, precoce caduta delle foglie con conseguente deperimento della pianta. Inoltre, la melata e la cera prodotte dalle neanidi imbrattano la vegetazione e i frutti, causando sviluppo di fumaggini, con conseguente riduzione della fotosintesi e degli scambi gassosi e perdita di valore della produzione.

Controllo: come per afidi e cocciniglie, lo sviluppo delle infestazioni può essere contrastato con pratiche agronomiche razionali che evitino l'eccessiva rigogliosità delle parti verdi e la creazione di microclimi umidi ed ombrosi all'interno della chioma. Generalmente la popolazione della Mosca bianca fioccosa degli agrumi è tenuta a freno da



Fig. 8.11 - Foglie di mandarino imbrattate da cera e melata prodotte da colonia di *Aleurothrixus floccosus*. Nei cerchi dall'alto verso il basso sono raffigurati: adulti e uova dell'aleurodide; neanidi ricoperte da fiocchi di cera; neanidi parassitizzate con fori di sfarfallamento del parassitoide *Cales noacki*.

numerosi antagonisti naturali, quali i predatori coccinellidi *C. montrouzieri*, *Clitosthetus arcuatus* Rossi, *C. bipustulatus*, il parassitoide afelinide *Cales noacki* Howard (Fig. 8.11) e il platigastride *Amitus spiniferus* (Breth.). Eventuali trattamenti chimici possono essere effettuati con livelli di infestazione superiori a 10-15% delle foglie in assenza di forme parassitizzate, su un campione di 100 foglie (5-10 foglie su 20-10 piante/ha); sono impiegabili oli minerali bianchi in presenza delle forme giovanili di 1^a e 2^a età.

- Altre specie di aleurodidi

Gli agrumi possono essere ospiti di altre due specie di aleurodidi: *Dialeurodes citri* (Ashm.), Aleurodide degli agrumi, e *Parabemisia myricae* Kuwana Aleurodide giapponese degli agrumi, che generalmente non provocano danni gravi.

Aleurodide degli agrumi - *Dialeurodes citri* (Ashm.)

Adulti di piccole dimensioni (1,5 mm di lunghezza) con corpo di colore giallo ricoperto di bianca polvere cerosa. Neanidi con corpo ovale e appiattito, lungo circa 1,5 mm, di colore verde-giallognolo e privo di secrezioni cerosi. Svolge generalmente 2-3 generazioni all'anno. Specie polifaga: oltre che sugli agrumi è segnalata anche su

kaki, melograno, frassino e alcune piante ornamentali (ligustro, gardenia, ecc.).

Aleurodide giapponese degli agrumi

Parabemisia myricae Kuwana

Adulti di piccole dimensioni (1,5 mm di lunghezza) con corpo di colore giallognolo ricoperto di bianca polvere cerosa. Neanidi con corpo quasi circolare e appiattito, lungo circa 1,5 mm, di colore verde-giallognolo e privo di secrezioni cerosi. Specie partenogenetica: svolge generalmente 6-7 generazioni all'anno, spesso accavallate. Sverna come neanide di IV età. Specie polifaga: circa 20 generi appartenenti a 14 famiglie botaniche.

Le popolazioni di entrambe le specie sono generalmente controllate efficacemente dal predatore coccinellide *Clitosthetus arcuatus* e da imenotteri afelinidi, quali *Eretmocerus debachi* Rose & Rosen, *Encarsia lahorensis* Howard ed *Encarsia* spp.

CICALINE

Cicalina verde degli agrumi (Fig. 8.12 ►)

Asymmetrasca (=Empoasca) decedens (Paoli)

Caratteri morfologici: l'adulto ha il corpo di colore verde chiaro, con ali verdi; la lunghezza è di circa 3-4 mm. Le forme giovanili sono leggermente più chiare.

Piante ospiti: agrumi, fruttiferi e piante erbacee.

Ciclo biologico: sverna come adulto e svolge 4-5 generazioni all'anno. Sia gli stadi giovanili che gli adulti colonizzano generalmente la pagina inferiore delle foglie, nutrendosi della linfa.

Danni: le punture di alimentazione sulle nervature determinano ingiallimenti, disseccamenti, accartocciamenti delle foglie e ridotto sviluppo dei germogli. Sugli agrumi il danno più importante è dato dalle punture di alimentazione a carico dei frutti, le quali determinano la comparsa di macchie giallastre di 4-5 mm di diametro, spesso confluenti. Questo sintomo è comunemente noto come "fetola".

Controllo: le popolazioni della Cicalina verde possono essere monitorate posizionando nell'agrumeto trappole cromoattrattive gialle, con successivo campionamento sui frutti. In presenza del 2-3% di frutti attaccati si può intervenire con trattamenti chimici.

Metcalfa

Metcalfa pruinosa (Say) - (Fig. 8.12 ►)

Caratteri morfologici: gli adulti sono lunghi 7-8 mm e hanno le ali anteriori trapezoidali di colore grigio-bruno scuro che, in posizione di riposo, sono tenute a tetto sull'addome. Il corpo è ricoperto non uniformemente da cera bianca, da cui il nome pruinosa. Le neanidi e le ninfe sono bianche, ricoperte da una secrezione filamentosa di cera biancastra, in

quantità sempre maggiore con il procedere dello sviluppo.

Piante ospiti: più di 200 piante ospiti tra specie arboree, arbustive ed erbacee, tra cui agrumi, vite, olivo, pomacee, drupacee e ornamentali.

Ciclo biologico: la specie sverna come uovo, allungato e di color bianco perlaceo, deposto singolarmente nelle anfrattuosità e nelle screpolature della corteccia. In primavera fuoriescono le neanidi, che tendono a rimanere in colonie nelle parti più umide e riparate delle piante. Gli adulti compaiono intorno all'inizio dell'estate e sono presenti sulle piante ospiti durante tutta l'estate. Generalmente ninfe e adulti si localizzano sui germogli e sui rametti, le neanidi anche sulle foglie. Metcalfa compie una generazione all'anno.

Danni: i danni diretti sono dovuti alla sottrazione di linfa; più importanti sono quelli indiretti, dovuti alle abbondanti produzioni di cera (Fig. 8.12) e di melata che ricoprono la vegetazione e al successivo sviluppo di fumaggini che determinano danni fisiologici (riduzione della superficie fotosintetizzante) ed economici (minore commerciabilità a causa dell'imbrattamento dei frutti e, per le piante ornamentali, della vegetazione).

Controllo: numerosi programmi di controllo biologico hanno messo in evidenza l'efficace azione esercitata dall'imenottero driinide *Nesodryinus typhlocybae* (Ashmead), introdotto a fine anni '90 dagli USA, attraverso attività combinata di parassitizzazione e predazione. Il ricorso a trattamenti insetticidi è giustificabile solo nel caso di forti infestazioni e dove non sia ancora attivo il parassitoide, ma è reso difficoltoso da alcune caratteristiche della specie, quali la notevole polifagia, la scarsità della schiusura delle uova e l'abbondante strato ceroso che ricopre le colonie.

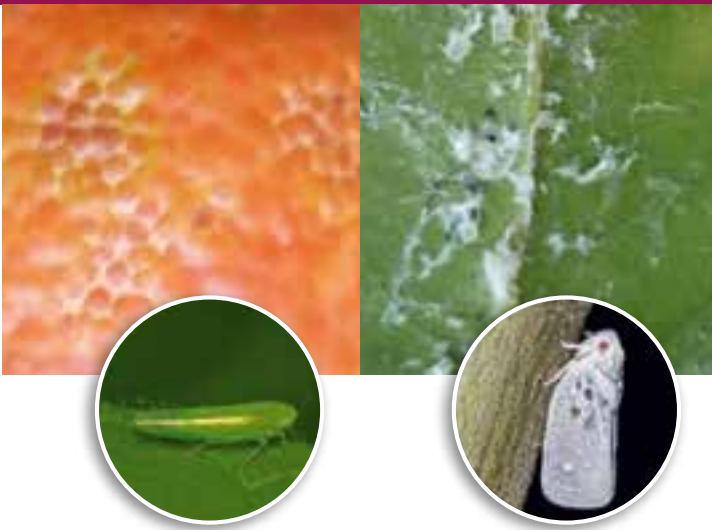


Fig. 8.12 - Danni diretti e indiretti da attacchi di cicaline sugli agrumi. A sinistra, alterazioni cromatiche su frutto dovute alle punture di *Asymmetrasca decedens* e (nel cerchio) adulto della cicalina. A destra foglia imbrattata da cera prodotta dalle neanidi di *Metcalfa pruinosa* e (nel cerchio) adulto di metcalfa.

8.2.4 - XILOFAGI E RIZOFAGI

Nell'agrumeto i fitofagi che vivono a spese di tessuti legnosi sono generalmente occasionali e raramente arrecano danni consistenti.

Tra i lepidotteri si segnalano due specie appartenenti alla famiglia dei cossidi: *Cossus cossus* L., Rodilegno rosso, e *Zeuzera pyrina*, Rodilegno giallo. Sono due specie altamente polifaghe, le cui larve scavano gallerie nei germogli e nei rami, determinando disseccamento delle parti attaccate e predisponendo i rami alle rotture. Il Rodilegno rosso ha dimensioni maggiori del Rodilegno giallo (apertura alare di 7-10 cm); l'adulto ha corpo grigio-nocciola e ali grigie con striature trasversali scure; la larva è di colore rosso scuro sul dorso, più chiaro con riflessi gialli sul ven-

tre; a sviluppo completo è lunga 7-9 cm. Il ciclo di sviluppo dura 2-3 anni. Per gli aspetti di biologia e controllo del Rodilegno rosso valgono le stesse indicazioni fornite per *Z. pyrina* (vedi 9.2.4).

Tra i coleotteri xilofagi si ricordano *Apate monachus* F. (famiglia dei bostrichidi), *Trichoderus griseus* F. e *Penichroa fasciata* (Stephens) (cerambicidi) e *Rhizotrogus rugifrons* Burmaister (scarabeidi). I danni sono causati dalle gallerie scavate nei rami, le quali determinano disseccamenti della parte attaccata e un generale deperimento della pianta. Gli attacchi avvengono generalmente a carico di piante già indebolite e deperienti a causa di altri fattori biotici. ■



9

OLIVETO

9.1 - INTRODUZIONE

L'olivo è forse la pianta più rappresentativa della civiltà contadina del Mediterraneo e del suo sviluppo socio-economico. Senza voler celebrare la sua grandezza, testimoniata da tutta la simbologia di miti, storia e religioni che circondano la pianta dell'olivo, non si può non constatare l'importanza dal punto di vista agricolo ed economico di questa coltura. La foto di apertura del capitolo ritrae piante di olivo sull'isola di Pantelleria e vuole celebrare la capacità adattiva delle pratiche agricole, nonché della pianta, le quali, in un ambiente caratterizzato da una costante presenza del vento, riescono a modellare olivi secolari ottenendo piante con portamento dei rami che sfiorano il suolo e che coprono un'ampia superficie di terreno.

L'oliveto è contraddistinto da una entomocenosi complessa ma piuttosto stabile. La

maggior parte delle specie, sia monofaghe sia polifaghe, che frequentano l'oliveto possono essere definite indifferenti, in quanto non raggiungono quasi mai livelli di densità di popolazioni e tali da destare preoccupazione, sia per l'azione limitante esercitata dalla coorte di antagonisti naturali, sia per le misure preventive adottabili con corrette pratiche agronomiche. Di conseguenza, è molto esiguo il numero di insetti fitofagi che possono assurgere a livello di dannosità. Tra queste, la principale specie è sicuramente la Mosca dell'olivo, insetto chiave dell'oliveto, sulla quale viene incentrata la strategia di difesa della coltura, sia per la produzione da olio sia per quella da mensa. Tuttavia, l'incidenza del problema è notevolmente legata alle condizioni geografiche e climatiche, per cui frequenza ed entità degli attacchi possono essere differenti in funzione delle zone geografiche e dei periodi stagionali e possono variare da un anno all'altro.

9.2 - LE SPECIE DI INSETTI FITOFAGI PRINCIPALI

I frutti dell'olivo sono attaccati da due specie particolarmente dannose alla coltura: il lepidottero *Prays oleae* (Bern.), comunemente nota come Tignola dell'olivo, appartenente alla famiglia degli iponomeutidi, che attacca anche i fiori e le foglie, e soprattutto il dittero *Bactrocera oleae* (Gmelin), Mosca dell'olivo, appartenente alla famiglia dei tefritidi. Quest'ultima specie risulta essere il fitofago chiave in quasi tutte le aree olivicole italiane, soprattutto in quelle che, per condizioni climatiche, presenza di piante selvatiche di olivo e condizioni colturali, garantiscono situazioni favorevoli per lo sviluppo del fitofago durante tutto l'anno. Tra gli insetti fillofagi, diverse specie appartenenti ai lepidotteri e ai coleotteri possono indurre danni all'olivo. Generalmente, negli impianti consolidati con piante sviluppate, questi attacchi non danno luogo a danni consistenti; diversa è la problematica negli impianti giovani e in via di sviluppo, in quanto le infestazioni possono condizionare lo sviluppo delle piante o le forme di allevamento. Tra i lepidotteri, la specie principale è il piraustide *Palpita unionalis* Hubner, Tignola verde dell'olivo; inoltre sono riportati *Metricochroa latifoliella* (= *Oecophyllembius latifoliellus*) (Millere), Minatrice delle foglie dell'olivo o Ecofillembio dell'olivo (famiglia dei gracillaridi), *Euzophera pinguis* Haw., Piralide dell'olivo, (famiglia dei piralidi) e *Zelleria oleastrella* Mill., Tignola media dell'olivo (famiglia degli iponomeutidi). Per quanto riguarda i coleotteri, le specie che occasionalmente possono arrecare danni sono *Lytta vesicatoria* L., Cantaride, appartenente alla famiglia dei meloidi e il curculionide *Otiorrhynchus cribricollis* Gyllenhal, Oziorrinco. Numerose specie

che generalmente colonizzano l'oliveto sono fitomizi; di questi, la maggior parte appartiene ai Rincoti omotteri e soprattutto al gruppo delle cocciniglie. Generalmente, queste specie non raggiungono mai livelli di popolazione così elevati da costituire un danno economico, soprattutto in impianti in cui le pratiche agronomiche favoriscono il buon vigore delle piante e la presenza degli antagonisti naturali. Tra le cocciniglie, le specie principali sono *Saissetia oleae* Olivier, *Parlatoria oleae* Colv. e *Pollinia pollinii* (Costa); tra gli omotteri è anche presente *Euphyllura olivina* (Costa), appartenente alla famiglia degli psillidi, mentre tra i tisanotteri è da ricordare *Liothrips oleae* (Costa). Le parti legnose dell'olivo possono essere oggetto di attacchi di alcune specie di lepidotteri e coleotteri che, in particolari situazioni, possono risultare particolarmente dannose. Tra queste sono da ricordare il lepidottero *Zeuzera pyrina* L., appartenente alla famiglia dei cossidi, e il coleottero *Phloeotribus scarabaeoides* Bernard, appartenente alla famiglia degli scolitidi (Tab. 9.1).

9.2.1 - ANTOFAGI E CARPOFAGI

Tignola dell'olivo - *Prays oleae* (Bernard)

Caratteri morfologici: gli adulti sono farfalle di piccole dimensioni (circa 13-15 mm di apertura alare) di colore grigio-giallognolo; le ali sono frangiate di colore grigio argenteo, con macchie scure quelle anteriori (Fig. 9.1). La larva è di colore nocciola chiaro, talvolta giallo-paglierino, con due bande olivastre sul dorso e due bande laterali, una verdastra, l'altra giallastra; a maturità è lunga circa 7-8 mm (Fig. 9.1). La crisalide è di colore bruno e lunga circa 6 mm.

Piante ospiti: olivo, ligustro, gelsomino.

Ciclo biologico: sverna come larva, che si incrisalida la primavera successiva, all'interno

TAB. 9.1

REGIME ALIMENTARE	SPECIE FITOFAGHE PRINCIPALI	DANNI	CONTROLLO
Antofagi e Carpofagi	Tignola dell'olivo	- Erosioni degli organi fiorali (I generazione) - Erosioni dei frutti (II generazione) - Erosioni delle foglie (III generazione) - Cascola dei frutti	Azadiractina-A, <i>Bacillus thuringiensis</i> , estratto di piretro, olio minerale
	Mosca dell'olivo	- Ferite di ovideposizione (Adulto) - Disfacimento dei frutti (Larva)	Trappole cromoattrattive, trappole con proteine idrolizzate, <i>Beauveria bassiana</i> , estratto di piretro, Spinosad
Fillofagi	Tignola verde o Margaronia dell'olivo	- Erosioni delle foglie (Larva)	Non sono registrati prodotti fitosanitari in agricoltura biologica
	Cantaride	- Erosioni delle foglie (Adulto)	Non sono registrati prodotti fitosanitari in agricoltura biologica
	Oziorrinco	- Erosioni delle foglie (Adulto)	Fasce collanti o manicotti di materiale sintetico, olio minerale
Fitomizi	Tripide dell'olivo	- Deformazioni fogliari - Aborto e colatura dei fiori - Alterazioni cromatiche - Cascola dei frutti	Estratto di piretro, olio minerale, Azadiractina-A
	Cocciniglia mezzo grano di pepe	- Deformazioni fogliari - Accecamenti delle gemme - Macchie, deformazioni e cascola dei frutti - Disseccamenti dei rami - Melata e fumaggini	Estratto di piretro, olio minerale
	Cocciniglia ovale grigia dei fruttiferi	- Screpolature e disseccamento dei rami - Ingiallimenti e disseccamenti fogliari - Filloptosi	Estratto di piretro, olio minerale
	Cocciniglia tuberculiforme dell'olivo	- Disseccamento dei germogli - Aborto e colatura dei fiori - Cascola dei frutti - Melata e fumaggini	Olio minerale
	Cotonello dell'olivo	- Disseccamento dei germogli - Aborto e colatura dei fiori - Cascola dei frutti - Melata e fumaggini	Olio minerale
Xilofagi e Rizofagi	Rodilegno giallo	- Gallerie nei tessuti legnosi - Disseccamento e rottura dei rami - Ingresso patogeni	Nematodi entomopatogeni, cattura massale
	Fleotribo	- Gallerie nei tessuti legnosi - Disseccamento dei rami - Inoculo rognia dell'ulivo	Fascine trappola, olio minerale

◀ **Tab. 9.1** - Prospetto dei principali insetti fitofagi dell'olivo distinti in funzione del regime alimentare e con una sintesi della sintomatologia del danno e dei prodotti ammessi per il controllo in regime di agricoltura biologica.

di un piccolo bozzolo sericeo tra le foglie o nelle anfrattuosità della corteccia. Gli adulti sfarfallano in primavera, in corrispondenza della fioritura; dopo l'accoppiamento le femmine depongono le uova, lenticolari, ovali (circa 0,5 x 0,4 mm) e leggermente convesse, sui calici dei boccioli fiorali, dando avvio alla prima generazione, detta antofaga. Le larve penetrano all'interno dei boccioli, nutrendosi all'inizio del polline e successivamente degli organi fiorali. Durante lo sviluppo distruggono 10-20 fiori, tenendoli legati assieme con fili sericei e formando glomeruli facilmente visibili. Raggiunta la maturità, le larve formano un bozzolo sericeo all'interno del glomerulo



▲ **Fig. 9.1** - Ramo di olivo con le foglie danneggiate da *Prays oleae*. Nel cerchio in alto è raffigurato l'adulto e in quello in basso la larva della generazione fillofaga.

e si incrisalidano. Dopo circa 10-15 giorni sfarfallano gli adulti della seconda generazione, detta carpfaga. Le femmine, infatti, depongono le uova sui calici dei frutticini, in vicinanza del peduncolo. Le larve scavano una galleria lungo il peduncolo e penetrano nelle drupe, raggiungendo l'endocarpo, alle cui spese si sviluppano, e provocando la cascola anticipata delle drupe. A maturità si incrisalidano all'interno del frutto o nel terreno. Alla fine dell'estate compaiono gli adulti della terza generazione, detta fillofaga. Le femmine depongono le uova sulla pagina superiore delle foglie, in corrispondenza della nervatura centrale. Le larve penetrano nella foglia causando nel tessuto fogliare erosioni di differente tipo a seconda dell'età della larva (Fig. 9.1). Queste larve andranno quindi a svernare.

Danni: le erosioni prodotte dalle larve di prima generazione danneggiano le infiorescenze, ma non in modo tale da compromettere la produzione. Le larve della generazione carpfaga danneggiano le drupe e soprattutto ne possono provocare la cascola o nel momento in cui penetrano (inizio estate) o quando fuoriescono (fine estate-inizio autunno). La prima cascola è in genere compensata dall'incremento in peso e/o in olio delle drupe non attaccate; la seconda è più grave in quanto interessa i frutti prossimi alla maturazione. Infine, le erosioni fogliari causate dalle larve della generazione fillofaga, pur determinando una riduzione dell'attività fotosintetica, non raggiungono mai livelli di danno considerevoli (Fig. 9.1).

Controllo: normalmente le infestazioni non raggiungono livelli tali da creare danni alle piante o economici. In molti casi le popolazioni vengono limitate da fattori abiotici e biotici. Infatti, nei mesi estivi le temperature superiori ai 30°C e l'umidità relativa superiore al 70-75% determinano la morte di uova

e larve. Inoltre, la cascola dei frutti spesso provoca la morte delle giovani larve presenti nelle drupe. Per quanto riguarda i fattori limitanti biotici, numerosi antagonisti naturali sono in grado di limitare lo sviluppo delle popolazioni della tignola, anche se talvolta non in maniera soddisfacente; tra questi sono da ricordare gli imenotteri parassitoidi *Chelonus eleaphilus* Silv., *Ageniaspis fuscicollis* Silv., *Apantheles xanthostigma* (Hol.), *Elasmus steffani* Vigg. *Itoplectis alternans* (Grav.) e alcune specie della famiglia dei tricogrammatidi, e i predatori *Chrysoperla carnea* (Stephens) e *Anthocoris nemoralis* F. L'andamento delle popolazioni può essere monitorato con il posizionamento di trappole a feromone per la cattura dei maschi, a cui va affiancato un campionamento visivo sui frutticini per stimare la consistenza numerica delle popolazioni. Al superamento del 15% di frutti infestati possono essere eseguiti trattamenti con *Bacillus thuringiensis*. Nelle altre generazioni di norma non è giustificabile l'esecuzione di trattamenti.

Mosca dell'olivo

Bactrocera oleae (Gmelin)

Caratteri morfologici: l'adulto è lungo circa 5 mm e ha il capo giallastro, con evidenti oc-



Fig. 9.2 - Olive con evidenti danni dovuti a *Bactrocera oleae*: Nei cerchi, dall'alto verso il basso sono raffigurati l'adulto e la larva della Mosca dell'olivo.

chi verdi con riflessi metallici, il torace è nero con peluria grigia e con tre linee longitudinali nere, l'addome è castano con macchie nere trasversali. Le ali sono membranose con riflessi iridescenti (Fig. 9.2). La larva è microcefala, apoda, allungata, di colore bianco con evidenti uncini boccali di colore nero; a maturità è lunga 6-8 mm (Fig. 9.2). Il pupario è un barilotto bruno-nerastro.

Piante ospiti: olivo e olivastro.

Ciclo biologico: la Mosca dell'olivo sverna come pupa nel terreno ad una profondità di 5-6 cm. Nelle regioni a clima mite può svernare anche come larva nelle olive rimaste sulle piante o come adulto. In tarda primavera gli adulti iniziano a sfarfallare; questi si nutrono di sostanze zuccherine (essudati dei fiori e melata prodotta da fitomizi come *Saissetia oleae* ed *Euphillura olivina*) e dei liquidi cellulari che fuoriescono dalle drupe in conseguenza delle punture di ovideposizione. Dopo l'accoppiamento la femmina depone uova di colore bianco opaco, allungate

(circa 0,8x0,2 mm) e leggermente ricurve, all'interno della drupa, dopo aver praticato con l'ovopositore una ferita profonda circa mezzo millimetro. Ciascuna femmina depone da 200 a 300 uova, nel rapporto di 1 uovo per drupa; questa viene poi marcata con un feromone per prevenire ulteriori deposizioni da parte di femmine conspecifiche; tuttavia, nelle annate con forti infestazioni si possono trovare più larve per drupa. Per la deposizione vengono generalmente preferite le drupe integre e con dimensioni superiori a quelle di un cece. Le larve si sviluppano scavando gallerie nella polpa attorno al nocciolo; a maturità fuoriescono dalla drupa, si lasciano cadere nel terreno e si impupano; sono frequenti, tuttavia, i casi in cui l'impupamento avviene all'interno delle drupe, soprattutto quando l'attacco riguarda le drupe non mature. Dopo una settimana circa sfarfallano gli adulti della nuova generazione. Nei mesi estivi il ciclo può compiersi in 3 settimane circa. Il numero delle generazioni dipende dalle condizioni climatiche: nelle regioni più fredde la mosca compie 2-3 generazioni, in quelle più calde ne può compiere 6-7, con un rallentamento delle ovideposizioni nei mesi più caldi; in situazioni particolarmente favorevoli le generazioni possono essere ininterrotte, in quanto la mosca continua a svilupparsi sulle olive rimaste sulle piante.

Danni: la Mosca dell'olivo provoca danni sia allo stadio di adulto che di larva. Il danno determinato dagli adulti è associato all'azione di ovideposizione delle femmine ed è particolarmente grave per le olive da mensa; infatti, le punture di ovideposizione, anche quelle sterili, causano la comparsa di piccole depressioni a V sulle drupe, determinando una riduzione del valore commerciale. Le larve, con la loro

attività trofica, provocano un deterioramento della polpa, che può essere successivamente colonizzata da microorganismi responsabili di marciumi, soprattutto in condizioni di umidità elevata, con conseguente cascola delle drupe (Fig. 9.2). Il danno prodotto è sia quantitativo, per una minore produzione, dovuta non tanto alla perdita di polpa, quanto alla cascola indotta, sia qualitativo, per la maggiore acidità dell'olio e per l'odore di muffa, soprattutto quando l'attacco è associato allo sviluppo dei marciumi. I danni sono comunque molto variabili in funzione del periodo stagionale dell'attacco e dell'andamento climatico. Essi sono particolarmente gravi in conseguenza di attacchi a fine estate - inizio autunno e in annate con estati umide e temperature non elevate. In queste condizioni la produzione può essere completamente compromessa.

Controllo: la Mosca dell'olivo rappresenta il fitofago chiave dell'oliveto, in quanto la gestione fitosanitaria è incentrata sulla difesa da questo pericoloso fitofago; tuttavia, con particolari accorgimenti e con un approccio più a largo respiro, il danno prodotto può essere efficacemente ridotto anche in regime biologico. Per quanto riguarda il controllo biologico, i numerosi antagonisti naturali, quali i parassitoidi imenotteri calcidoidei [*Pnigalio mediterraneus* Ferrière and Delucchi, *Pnigalio agraulis* Walk., *Eurytoma martellii* Dom., *Eupelmus urozonus* Dalm. e *Psytalia* (= *Opius*) *concolor* (Szepl.)], pur svolgendo un'azione limitante soprattutto nei confronti della 1ª generazione, non sembrano sufficienti a evitare l'accrescersi delle popolazioni nel prosieguo della stagione e di conseguenza a limitare il danno economico. Lanci inoculativi o inondativi di *E. urozonus* e *P. concolor*, eseguiti in diverse aree olivicole italiane, non hanno fat-

to registrare risultati particolarmente efficaci nel contenere adeguatamente le popolazioni del fitofago, mentre risultati più promettenti sono stati osservati in California a seguito dell'introduzione di parassitoidi esotici, quali *P. concolor* e *Psytalia humilis* (Silvestri). L'azione dei parassitoidi può essere favorita da una gestione dell'oliveto che incrementi la presenza di flora spontanea quale fonte di rifugio e nutrimento per gli entomofagi. Particolarmente importante risulta la valutazione del rischio di infestazione. A questo scopo si può procedere con il monitoraggio degli adulti attraverso l'uso di trappole a feromone per la cattura dei maschi (2-3 per ettaro), di trappole adesive cromotropiche gialle e di trappole chemioattrattive di diverso tipo (ad esempio le trappole Mc Phail a base di attrattivi alimentari proteici) per la cattura di entrambi i sessi. Le catture, tuttavia, a causa di diversi fattori, legati alla biologia dell'insetto, agli andamenti climatici e alla fisiologia della pianta, non sono strettamente correlate con i livelli di infestazione reali, per cui dovrebbero essere accompagnate da un controllo diretto, quale il campionamento delle olive, che evidenzia la presenza dei diversi stadi di sviluppo della mosca, permettendo di stimare efficacemente il potenziale danno alla produzione e di definire eventuali interventi di controllo, compresa l'opportunità della raccolta anticipata delle olive. I protocolli di campionamento più seguiti prevedono di prelevare 10 drupe sul 10% delle piante o 1 per pianta da 100-200 piante per ettaro rappresentativo dell'azienda. Nelle olive da olio la soglia di intervento, in funzione delle zone e delle *cultivar*, varia dal 6 al 10% delle olive infestate; in quelle da mensa essa è molto più bassa, circa il 2%, e regolata dagli standard qualitativi previsti da diversi organismi nazionali e internazionali.

Ad esempio, per il *Codex Alimentarius* è tollerato dal 2 al 10% di olive con fori di uscita della mosca, percentuali variabili in funzione del tipo di prodotto; tuttavia, tali valori sono notevolmente superiori agli standard applicati dalle aziende di trasformazione (ad esempio 1% in Italia, 0-1% in California). In olivicoltura convenzionale, la strategia di controllo più utilizzata prevede trattamenti chimici contro le larve (lotta larvicida) o contro gli adulti (lotta aduicida). La lotta larvicida viene condotta con prodotti citotropici e/o sistemici capaci di penetrare nei tessuti della drupa. Questo metodo di controllo ha il vantaggio di permettere interventi con infestazione in atto, ma comporta il rischio di residui di principio attivo nel prodotto finale. I disciplinari di difesa integrata delle regioni italiane regolano questa metodologia, consentendo, in genere, due interventi al massimo per la produzione da olio e massimo tre per quella da tavola. La lotta aduicida ha lo scopo di prevenire la deposizione delle uova e di conseguenza i danni alle drupe. Viene condotta con l'uso di esche alimentari di natura proteica, avvelenate con prodotti insetticidi. Le esche proteiche (sostanze ammoniacali, proteine idrolizzate, farina di pesce, pesce in putrefazione, lieviti, ecc.) possono essere irrorate su una parte della chioma delle piante o solo su alcuni filari di piante, possono essere inserite all'interno di trappole o all'interno di dispositivi che vengono appesi alle piante (metodologia *Attract and Kill*). Nel caso di esche applicate per irrorazione, i disciplinari di difesa integrata prevedono 3-5 applicazioni annue. La lotta aduicida presenta il vantaggio di non determinare residui nelle olive, di contro ha il limite di risultare efficace solo se effettuata precocemente, in concomitanza di percentuali di infestazione basse (infestazione massima del

2%) e su superfici ampie (superiori a 2 ha) o isolate da altri oliveti. In agricoltura biologica, non è prevista la lotta larvicida, mentre la lotta adulticida può essere condotta con esche avvelenate con prodotti ammessi o con il metodo *Attract and Kill*. In base al regolamento CE 889/08 le esche non vanno distribuite sulle piante di olivo, ma poste all'interno di trappole in cui è possibile inserire i piretroidi deltametrina e lambda-cialotrina. Recentemente in Italia è stato registrato contro la mosca anche il fungo entomopatogeno *Beauveria bassiana*, da impiegare con normali trattamenti sulla chioma. Altre strategie applicabili in oliveti a conduzione biologica consistono nella distribuzione sulle piante di prodotti a base di rame o di argille, come caolino e bentonite, che ostacolano la deposizione delle uova da parte della mosca. I prodotti a base di rame, oltre all'attività deterrente l'ovideposizione, esercitano un'azione battericida nei confronti dei batteri simbiotici della mosca presenti sulla superficie di foglie e drupe, che provoca mortalità nelle larve giovani. Inoltre, il rame induce anche un indurimento dell'epidermide delle drupe di olive che risultano più resistenti alla penetrazione da parte dell'ovopositore della mosca. Se effettuate adeguatamente, 2-3 applicazioni con rame o caolino sembrano efficaci nel limitare i danni da mosca anche in presenza di elevate infestazioni. Insetticidi che hanno mostrato forte potere abbattente sulla popolazione della mosca delle olive sono quelli a base di spinosad che, tuttavia, possono avere un impatto negativo sulla popolazione degli insetti utili. Molto efficace è sicuramente la raccolta anticipata delle olive, la quale, oltre a garantire le migliori qualità organolettiche dell'olio, permette di evitare le infestazioni tardive del fitofago, che sono le più pericolose, nonché, quando accompa-

gnata da una molitura entro poche ore dalla raccolta, limita il peggioramento qualitativo dovuto allo sviluppo dei marciumi nelle drupe infestate. Infine, l'applicazione di adeguati processi di trasformazione riesce a limitare i danni estetici sulle olive da mensa, in quanto rende poco evidenti le macchie dovute alle punture di ovideposizione.

9.2.2 - FILLOFAGI

Tignola verde dell'olivo o Margaronia dell'olivo - *Palpita unionalis* Hubner

Caratteri morfologici: gli adulti sono farfalle di piccole dimensioni (circa 25-30 mm di apertura alare), con ali di colore bianco con riflessi madreperlacei e margine anteriore nocciola chiaro. Il maschio presenta un ciuffo di squame nella parte terminale dell'addome. La larva, inizialmente gialla, con lo sviluppo diviene verde con sfumature vinose, il capo è giallo-bruno (Fig. 9.3A). A maturità è lunga circa 20-25 mm. La crisalide è di colore marrone e lunga circa 12-16 mm.

Piante ospiti: olivo e olivastro.

Ciclo biologico: sverna come larva (ad eccezione della 1^a età) e come crisalide. In primavera compaiono i primi adulti; questi hanno abitudini crepuscolari, mentre durante le ore diurne restano sotto le foglie. Dopo l'accoppiamento, le femmine depongono le uova, che sono appiattite, di forma ellittica (circa 1 x 0,5 mm) e di colore inizialmente bianco-giallastro quindi arancio, in gruppi di 3-5 unità sulla pagina inferiore della foglia, in prossimità della nervatura mediana. Le larve neonate si spostano sulla pagina inferiore delle foglie più tenere, dove costruiscono un riparo sericeo e iniziano a compiere erosioni, rispettando l'epidermide della pagina superiore. Dopo ogni muta si spostano su una nuova



Fig. 9.3 - Foto di rami di olivo con foglie danneggiate da: *Palpita unionalis* la cui larva è raffigurata nel cerchio (A); *Lytta vesicatoria* il cui adulto è raffigurato nel cerchio (B); *Otorhynchus cribricollis* il cui adulto è raffigurato nel cerchio (C).

foglia continuando a svilupparsi con le stesse modalità. A partire dalla 4^a età formano un riparo più consistente, legando 2-3 foglie con i fili sericei, ed erodono tutto il lembo fogliare compresa la nervatura. Raggiunta la 6^a età, le larve formano un bozzolo sericeo all'interno del riparo, costituito dalle foglie legate, e si incrisalidano. La *Margaronia* compie 4-5 generazioni all'anno spesso accavallate.

Danni: i danni sono dovuti all'attività trofica delle larve che determinano erosioni delle foglie con distruzione di parte della chioma e, in caso di forti infestazioni, difficoltà o arresto dello sviluppo della pianta (Fig. 9.3A). I danni sono molto più evidenti nel caso dei nuovi impianti, in quanto le infestazioni del fitofago, interessando i nuovi germogli, compromettono l'accrescimento delle piante o il mantenimento delle forme di allevamento. Infine, nel caso di attacchi particolarmente massicci, le erosioni possono interessare anche le drupe.

Controllo: le popolazioni del fitofago sono contrastate da numerosi antagonisti naturali; tra questi, particolarmente attivi sono l'imenottero braconide *Apanteles xanthostigmus* Hal., che può raggiungere livelli di parassitizzazione del 40-50% delle larve, e il dittero tachinide *Nemorilla maculosa* Meig. Le infestazioni di *Margaronia* possono essere limitate da una corretta applicazione delle pratiche agronomiche, quali la spollonatura e le concimazioni azotate, che razionalizzano lo sviluppo vegetativo e la presenza dei germogli, gli organi maggiormente appetiti dalle

larve del fitofago. Per il controllo delle popolazioni si può ricorrere al monitoraggio degli adulti con trappole a feromoni che, tuttavia, possono non definire perfettamente le curve di volo a causa dell'accavallarsi delle generazioni. L'osservazione diretta delle presenze delle larve è resa più agevole dalla presenza dei ricoveri costituiti dalle foglie intrecciate con i fili sericei. Generalmente, negli impianti consolidati, gli attacchi di *Margaronia* non causano danni tali da giustificare interventi chimici; diversa è la situazione dei giovani impianti e delle giovani piante in vivaio. In questi casi si può ricorrere a interventi con prodotti a base di *Bacillus thuringiensis*, la cui efficacia è maggiore se utilizzati in presenza delle larve di 1^a e 2^a età che sono le forme più suscettibili.

Cantaride - *Lytta vesicatoria* L.

Caratteri morfologici: gli adulti hanno il corpo allungato (1,5-2,5 cm), di colore verde metallico brillante, talvolta verde azzurro, con antenne e tarsi delle zampe neri (Fig. 9.3B).

Piante ospiti: olivo e olivastro.

Ciclo biologico: sverna come larva nel terreno. In primavera le larve si impupano; successivamente tra maggio e giugno compaiono gli adulti che nelle ore fresche si spostano in gran numero sulla parte alta della chioma, dove si nutrono voracemente a spese dei rametti più teneri e delle foglie. Le femmine fecondate scavano nel terreno una piccola fossetta, profonda un paio di centimetri, all'interno della quale depongono circa una cinquantina di uova. Le larve campodeiformi, dette triangolini, dopo alcuni giorni di inattività si muovono alla ricerca di nidi pedotrofici di imenotteri apidi, all'interno dei quali penetrano, nutrendosi delle provviste accumulate e predando le forme preimmaginali dell'ospite.

A maturità la larva scava una fossetta nel terreno, all'interno della quale sverna. Svolge una generazione all'anno.

Danni: i danni sono dovuti all'attività trofica degli adulti che compiono erosioni su tutta la lamina fogliare, risparmiando la nervatura centrale (Fig. 9.3B). Attacchi massicci possono defogliare visibilmente la parte alta della chioma, compromettendo lo sviluppo delle piante quando questi si verificano su piante giovani. La presenza degli adulti può rendersi ben evidente per il loro particolare odore sgradevole, percepibile anche a distanza.

Controllo: a causa della notevole voracità del fitofago, gli interventi devono essere tempestivi, con trattamenti insetticidi da effettuare solo sulle piante attaccate dagli adulti e nelle ore più fresche della giornata, quando l'insetto non è in piena attività. In caso di piccole popolazioni si può ricorrere allo scuotimento delle piante e alla raccolta a terra degli adulti caduti, i quali si fingono morti per il fenomeno della tanatosi.

Oziorrinco

Otiorrhynchus cribricollis Gyllenhal

Caratteri morfologici: gli adulti sono lunghi 6-8 mm e hanno il corpo di colore nero lucido con elitre saldate (Fig. 9.3C). Le larve sono apode, con corpo ricurvo di colore bianco-giallastro; a maturità sono lunghe circa 8-9 mm.

Piante ospiti: diverse specie botaniche tra cui principalmente olivo, agrumi, fragola.

Ciclo biologico: sverna come larva nel terreno. In tarda primavera compaiono gli adulti che di notte si nutrono, compiendo erosioni semicircolari sul margine delle foglie, mentre nelle ore diurne si rifugiano nel terreno, dove trovano riparo anche nei periodi più caldi, sospendendo l'attività di alimentazione. A fine

estate – inizio autunno le femmine depongono, generalmente per partenogenesi, le uova nel terreno; le larve si sviluppano a spese di radichette della stessa pianta o di piante erbacee; a maturità si impupano nel terreno. Svolge una generazione all'anno.

Danni: i danni sono principalmente dovuti all'attività trofica degli adulti a carico delle foglie (Fig. 9.3B); sono sporadici e limitati.

Controllo: normalmente, i danni non sono tali da giustificare il ricorso a trattamenti chimici. Un'efficace strategia di controllo è l'applicazione ai tronchi e a eventuali pali tutori di fasce collose o in lana sintetica, preferibili perché più selettive, che intrappolano gli adulti limitandone la risalita dal terreno. Contro le larve si possono applicare al terreno prodotti a base di Nematodi entomopatogeni del genere *Heterorhabditis*.

9.2.3 - FITOMIZI

TISANOTTERI

Tripide dell'Olivo

Liothrips oleae (Costa) - (Fig. 9.4 ►)

Caratteri morfologici: l'adulto ha il corpo di colore nero brillante, lungo circa 2,5-3 mm e con ali strette e frangiate; le neanidi sono di colore giallognolo.

Piante ospiti: olivo.

Ciclo biologico: sverna da adulto nelle anfrattuosità della corteccia e nelle gallerie di xilofagi, come quelle scavate dal Fleotribo. All'inizio della primavera le femmine depongono le uova (fino a 200 per femmina) nelle screpolature della corteccia. Le neanidi si portano quindi sulla vegetazione dove si alimentano. Il Tripide dell'olivo compie 3 generazioni all'anno.



Fig. 9.4 - Pianta di olivo con sviluppo stentato a causa dell'attacco di *Liothrips oleae*, il cui adulto è raffigurato nel cerchio in alto; nel cerchio in basso è raffigurata una foglia deformata.

Danni: i danni sono determinati dalle punture di alimentazione delle forme giovanili e degli adulti. Si manifestano su germogli, foglie, fiori, frutti. Sui germogli le punture possono provocare uno sviluppo stentato, mentre sulle foglie caratteristiche deformazioni; sui fiori si può verificare aborto fiorale e colatura; infine le drupe presentano caratteristiche macchie scure in corrispondenza delle punture e possono andare incontro a cascola.

Controllo: generalmente gli antagonisti naturali, quali il rincote predatore *Anthocoris nemoralis* F. e il parassitoide imenottero *Tetrastichus gentilei* Del Guercio, e le temperature elevate limitano notevolmente le popolazioni. Le infestazioni possono essere inoltre contenute con adeguate potature per sfozzare la chioma e attuando il controllo del Fleotribo, le cui gallerie sono per il tripide siti di svernamento e di ovideposizione.



RINCOTI OMOTTERI

COCCINIGLIE

- Lecanidi

Cocciniglia mezzo grano di pepe

Saissetia oleae Olivier (Fig. 9.5 ▲)

Caratteri morfologici: la femmina adulta è ovale (circa 5 mm di lunghezza), di forma globosa (simile ad un mezzo grano di pepe, da cui il nome comune) e di colore inizialmente marrone poi nero nella femmina deponente; sul dorso sono presenti degli ispessimenti a forma di "H". Le neanidi di 1ª età misurano circa 0,5-1 mm e sono di colore giallo, divengono poi scure con lo sviluppo.

Piante ospiti: olivo, agrumi e numerose piante ornamentali (evonimo, oleandro, palme, pittosporo, ecc.).

Ciclo biologico: la Cocciniglia mezzo grano di pepe sverna generalmente come neanide di 2ª e 3ª età, talvolta come femmina immatura oppure come femmina già adulta. In primavera le neanidi completano lo sviluppo e tra fine primavera e inizio estate le femmine adulte depongono per partenogenesi le uova,

Fig. 9.5 - Foto di rami e drupe di olivo danneggiate da *Saissetia oleae*, il cui adulto è raffigurato nel cerchio (A); *Pollinia pollini*, il cui adulto è raffigurato nel cerchio (B).

inizialmente rosa, poi gialle in prossimità della schiusura, al di sotto del proprio corpo. Il numero di uova deposte da ciascuna femmina è abbastanza variabile, oscillando da 150 a 2500. Le neanidi di 1ª età nascono scalarmente tra luglio ed agosto e colonizzano la pagina inferiore delle foglie, preferibilmente lungo la nervatura mediana; successivamente (3ª età) si spostano sui rametti dove completano lo sviluppo. La maggior parte delle neanidi va quindi incontro allo svernamento; quelle nate all'inizio della primavera dalle femmine mature svernanti (climi caldi o in caso di inverni miti) possono diventare adulte nella tarda estate e svernare come femmine adulte o, meno frequentemente, dare origine a una seconda generazione. Il fitofago compie 1 o 2 generazioni all'anno.

Danni: i danni diretti sono dovuti alle punture trofiche su rami e foglie che, sottraendo linfa, provocano disseccamenti degli organi

attaccati, sviluppo stentato dei germogli e un generale deperimento della pianta, con conseguente ripercussione sulla produzione, anche degli anni successivi, in casi di forti infestazioni. I danni indiretti sono dovuti all'abbondante produzione di melata che imbratta le piante e diventa substrato per lo sviluppo di fumaggini, con conseguenti danni fisiologici (riduzione fotosintesi e respirazione) ed estetici (deprezzamento della produzione). La melata, inoltre, attrae insetti glicifagi come gli adulti della Mosca dell'olivo e le formiche, le quali contrastano gli antagonisti naturali della cocciniglia e la stimolano a produrre più melata.

Controllo: numerosi antagonisti naturali limitano le popolazioni del fitofago, tra cui i predatori coccinellidi *Chilocorus bipustulatus* (L.), *Exochomus quadripustulatus* (L.) e gli imenotteri *Scutellista cyanea* Mot. e *Metaphycus* sp.; il primo imenottero si comporta da predatore in quanto le larve si nutrono delle uova della cocciniglia, il secondo è un parassitoide endofago. Anche un'oculata gestione agronomica può contribuire a limitare le infestazioni; in particolare, sono da attuare razionali operazioni di potatura che sfofiscano la chioma in modo da evitare eccessi di umidità e ombreggiamento, condizioni che sono favorevoli per lo sviluppo della cocciniglia, ed eliminino i rami infestati e concimazioni bilanciate che evitino l'eccesso di azoto e dunque tessuti più appetiti dal fitofago. Eventuali trattamenti chimici dovrebbero essere accompagnati da operazioni di campionamento diretto su foglie e rametti. Al superamento di 2-5 neanidi per foglia o 1 femmina ogni 10 cm di rametto si può ricorrere ai trattamenti chimici con oli minerali bianchi

sia in inverno, sulle forme svernanti, che in estate sulle neanidi di 1^a età più suscettibili ai trattamenti.

- Diaspididi

Cocciniglia ovale grigia dei fruttiferi

Parlatoria oleae Colv.

Caratteri morfologici: il corpo della cocciniglia è appiattito, pentagonale e di colore violaceo; come tutti i diaspididi è protetto da un doppio strato. Il follicolo femminile è circolare (circa 1,5 - 2 mm di diametro), di colore bianco grigiastro e al centro ingloba le esuvie degli stadi neanidali di colore nero. Quello maschile è più piccolo, allungato (circa 1 mm di lunghezza), di colore bianco grigiastro, con l'esuvia neanidale di colore nocciola. Il maschio adulto è di piccole dimensioni (circa 1 mm) giallo e alato.

Piante ospiti: olivo e numerose specie fruttifere.

Ciclo biologico: sverna generalmente come femmina adulta; in tarda primavera le femmine iniziano a riprodursi, dando origine ciascuna a 60-150 neanidi. Le neanidi di 1^a età, gli unici individui dotati di zampe, colonizzano foglie, rami e frutti. Negli ambienti meridionali italiani svolge 2-3 generazioni all'anno, quasi sempre accavallate.

Danni: i danni sono dovuti alla sottrazione di linfa e alla tossicità della saliva immessa con le punture di nutrizione. Queste determinano screpolature, malformazioni, crescita stentata e disseccamento dei rami, mentre nelle foglie provocano ingiallimenti, disseccamenti e filloptosi. I danni più gravi sono però a carico dei frutti, sui quali la cocciniglia determina la comparsa di macchie brune, maturazione irregolare, pezzature ridotte e cascola.

Controllo: temperature elevate e bassi tenori

di umidità relativa sono fattori limitanti della cocciniglia. In condizioni naturali, le popolazioni di *P. oleae* sono controllate da diversi antagonisti naturali, i predatori coccinellidi *C. bipustulatus* *Pharoscymnus pharoides* Marseul, *Cybocephalus* sp. e *Lestodiplosis* sp. e i parassitoidi *Prospaltella inquirenda* Silv., *Aphitys maculicornis* Masi e *Aphitys paramaculicornis* De Bach e Rosen. Le pratiche agronomiche e i trattamenti riportati per *Saissetia oleae* sono efficaci anche per questa cocciniglia.

- Asterolecanidi

Cocciniglia tubercoliforme dell'olivo

Pollinia pollinii (Costa)

Caratteri morfologici: il corpo della cocciniglia è piriforme, di colore giallo e coperto da un follicolo semigloboso di colore grigio (circa 1,2 x 0,6 mm) nelle femmine, allungato e di colore bianco giallastro nei maschi. Il maschio adulto è alato.

Piante ospiti: olivo.

Ciclo biologico: sverna generalmente come femmina adulta pronta per l'ovideposizione; in primavera le femmine iniziano a riprodursi; la deposizione delle uova, circa 80 per femmina, dura circa 2 mesi con un picco in aprile-maggio. Le neanidi di 1^a età nascono dopo poche ore; quelle femminili colonizzano soprattutto la corteccia dei rami, quelle maschili le foglie e i frutti. Normalmente la specie è univoltina ma, in funzione delle condizioni ambientali, può compiere anche una seconda generazione a fine estate - inizio autunno.

Danni: i danni sono dovuti alle punture di nutrizione che provocano, in funzione della gravità dell'infestazione, deformazioni, come

il lembo fogliare ad uncino, sviluppo stentato delle foglie, accecamenti delle gemme, macchie, deformazioni, sviluppo ridotto dei frutti, nonché cascola, disseccamento dei rami. Ai danni diretti vanno sommati i danni indiretti dovuti alla produzione di melata.

Controllo: le infestazioni sono più consistenti sulle piante indebolite da attacchi di Fleotribo e/o lesionate dall'azione di agenti atmosferici o da operazioni di bacchiatura; pertanto corrette pratiche agronomiche e la prevenzione e cura delle ferite sui rami permettono di contrastare lo sviluppo del fitofago. In condizioni naturali, le popolazioni di *P. pollinii* sono controllate dai predatori coccinellidi *C. bipustulatus* ed *E. quadripustulatus*. In caso di forti infestazioni è possibile ricorrere a trattamenti con olio minerale in corrispondenza della maggiore presenza delle neanidi di 1^a età, lo stadio più vulnerabile.

- Psillidi

Cotonello dell'olivo

Euphyllura olivina (Costa)

Caratteri morfologici: l'adulto è lungo 2,5-3 mm e ha il corpo di colore marroncino-verde. Le forme giovanili sono di colore verdino e sono ricoperte da un'abbondante secrezione cerosa di colore bianco, che rende particolarmente visibili le infestazioni in quanto le neanidi formano dei bianchi ciuffetti cotonosi sugli organi infestati.

Piante ospiti: olivo e olivastro.

Ciclo biologico: sverna come adulto, sui rametti, alla base dei piccioli fogliari o delle gemme. In primavera le femmine depongono le uova (circa 100-200 per femmina) all'interno delle gemme o delle infiorescenze. Le neanidi, protette dalla bambagia cerosa, con-

ducono vita gregaria. Il fitofago compie 4-5 generazioni all'anno. L'attacco principale è quello che si verifica in corrispondenza delle fasi di fioritura e dell'allegagione.

Danni: le punture trofiche degli adulti e delle forme giovanili provocano danni a carico di germogli, infiorescenze e frutticini. Sui germogli si possono manifestare sviluppo stentato e, talvolta, disseccamento; sui fiori aborto e colatura; sui frutti cascola. A questi danni diretti vanno poi sommati quelli indiretti dovuti all'abbondante melata prodotta, che provoca la formazione delle fumaggini.

Controllo: per il controllo del Cotonello dell'olivo non è generalmente necessario effettuare trattamenti. Infatti gli antagonisti naturali e le temperature elevate limitano notevolmente le popolazioni. Tra i predatori si ricordano alcuni neurotteri crisopidi, ditteri sirfidi e rincoti antocoridi, tra cui *Anthocoris nemoralis* F.; tra i parassitoidi alcune specie di imenotteri, tra cui l'encirtide *Encyrtus euphyllurae* Silvestri. Anche le pratiche agronomiche possono contribuire al contenimento del fitomizo, in particolare, lo sfoltimento della chioma evita condizioni di umidità elevata che favoriscono l'insediamento del fitofago.

Specie di minore interesse

Altre specie di rincoti omotteri possono occasionalmente attaccare l'olivo ma la loro incidenza è normalmente trascurabile. Tra queste si segnalano: i coccidi *Lichtensia viburni* Signoret e *Filippia follicularis* (Targioni e Tozzetti) che, come la Cocciniglia mezzo grano di pepe, colonizzano foglie e rametti con gli stessi danni diretti e indiretti di quest'ultima; i diaspididi *Aspidiotus nerii* Bouché, *Lepidosaphes ulmi* (L.) e *Leucaspis riccae* Targioni,

che, come *P. oleae*, infestano foglie, rami e drupe; il flatide *Metcalfa pruinosa* Say, i cui attacchi sono particolarmente vistosi, per la cera prodotta, ma ben tollerati dalle piante; l'aleurodide *Aleurolobus olivinus* (Silvestri) che attacca le foglie e che è ben controllato dai suoi antagonisti naturali, tra cui gli imenotteri parassitoidi *Encarsia olivina* (Masi) e *Amitus minervae* Silvestri.

9.2.4 - XILOFAGI E RIZOFAGI

Rodilegno giallo

Zeuzera pyrina L. (Fig. 9.6 ►)

Caratteri morfologici: l'adulto ha un'apertura alare di 4-7 cm, il torace è bianco con sei grandi macchie blu disposte in due file, le ali sono bianche punteggiate da numerose macchie bluastre. La larva ha il corpo di colore giallo con numerosi puntini neri sul dorso, posti in file longitudinali. A maturità raggiunge i 5-6 cm di lunghezza. La crisalide è di colore bruno-giallastro ed è lunga circa 5 cm. Il ciclo si svolge in 1-2 anni.

Piante ospiti: fruttiferi (pomacee, drupacee, castagno, melograno, nespolo, noce, nocciolo, olivo, ecc.), latifoglie forestali e ornamentali (acero, betulla, faggio, olmo, pioppo, querce, tiglio, ecc.).

Ciclo biologico: gli adulti sfarfallano da maggio a settembre con il picco nel mese di luglio; hanno abitudini crepuscolari. Le femmine depongono le uova, di colore inizialmente giallo poi rosato, in ovature di un centinaio di elementi nelle screpolature della corteccia del tronco o dei rami più grossi, in vecchie gallerie larvali o in altre lesioni. Le giovani larve penetrano nei rametti più giovani, cominciano a scavare gallerie nella zona centrale, da cui escono ed entrano più volte; con



Fig. 9.6 - Ramo di olivo con galleria aperta ad arte scavata da larva di *Zeuzera pyrina*, rappresentata nel cerchio in alto; in basso larva di Rodilegno rosso.

lo sviluppo delle larve, le gallerie diventano più grandi e interessano rami sempre più grossi. La presenza delle larve è resa evidente dai fori di uscita e dalla rosura di colore ocre che fuoriesce in prossimità dei fori. Le larve svernano all'interno delle gallerie. Nella primavera successiva le larve si possono incrisalidare e successivamente sfarfallano gli adulti (generazione in 1 anno), oppure continuano lo sviluppo durante tutto il secondo anno, svernano, si incrisalidano nella primavera del terzo anno e gli adulti sfarfallano in

estate (generazione in 2 anni).

Danni: le gallerie scavate dalle larve determinano disseccamento dei germogli e dei rametti; inoltre i rami attaccati possono essere soggetti a rotture, mentre i fori possono essere vie di accesso per patogeni. Sull'olivo gli attacchi sono sporadici, ma talvolta particolarmente gravi, soprattutto nel caso di gallerie scavate nella zona del colletto o in piante giovani.

Controllo: per il controllo del Rodilegno giallo si può ricorrere al monitoraggio con trappole a feromoni, accompagnato da ispezioni visive per rilevare fori e rosime sulle parti legnose. In caso di infestazioni accertate si può ricorrere a trattamenti con prodotti microbiologici, utilizzando nematodi entomopatogeni, applicati direttamente all'interno delle gallerie. L'eliminazione delle larve può essere effettuata anche meccanicamente, introducendo fili di ferro nella galleria. Infine si può ricorrere alla tecnica della cattura massale, utilizzando trappole innescate con feromoni sessuali (circa 8-10 per ettaro), al fine di catturare il maggior numero possibile di maschi e, di conseguenza, limitare gli accoppiamenti e ridurre la progenie.

Fleotribo o Punteruolo dell'olivo - *Phloeotribus scarabaeoides* Bernard (Fig. 9.7 ▼)

Caratteri morfologici: gli adulti hanno il corpo di colore nero con elitre brune nella parte distale e coperte da peluria nerastra. Il corpo è tozzo e lungo 2-2,5 mm. Le uova sono allungate (circa 2 x 0,3 mm) e bianche. Le larve sono apode, arcuate, di colore bianco gialla-



Fig. 9.7 - Tronco di olivo con rosura che fuoriesce dai fori prodotti da larve di *Phloeotribus scarabaeoides*; nel cerchio è raffigurato un adulto di Fleotribo.

stro e a maturità sono lunghe circa 3,5 mm.

Piante ospiti: olivo e altre oleacee del genere *Fraxinus*, *Phillirea* e *Syringa*.

Ciclo biologico: il Fleotribo sverna come adulto all'interno di piccoli cunicoli (detti covacci) scavati all'ascella dei rametti della pianta; talvolta può svernare come larva. Tra fine inverno e inizio primavera gli adulti si portano sui rami deperiti e/o sui residui delle potature ancora presenti in campo; qui la femmina scava sotto la corteccia una galleria di accoppiamento, all'interno della quale si accoppia; quindi aiutata dal maschio scava una galleria

di deposizione a due bracci simmetrici, perpendicolare alla direzione del ramo, all'interno della quale, in piccoli solchi laterali, depone le uova di colore bianco giallastro (in media 50-80 uova). Le

larve neonate scavano gallerie perpendicolari a quella di ovideposizione, dunque parallele all'asse del ramo; dopo circa 1 mese e mezzo le larve, raggiunta la maturità, si impupano in cellette individuali alla fine della galleria. Gli adulti sfarfallano circa 8-10 giorni dopo, forando la corteccia, e iniziano a scavare i covacci di alimentazione all'ascella delle foglie, in prossimità delle biforcazioni dei germogli o dei rametti di 1-3 anni, o nel punto di attacco di infiorescenze o drupe. Ha così inizio la seconda generazione, generalmente nel mese di giugno, con le stesse modalità della precedente, a cui ne segue una terza a fine estate-inizio autunno.

Danni: i danni sono dovuti principalmente alle gallerie scavate dagli adulti sui diversi organi di piante anche in buono stato vegetativo, le quali determinano disseccamenti dei rametti, con riduzione della produzione. Le gallerie sottocorticali scavate dalle larve contribuiscono a indebolire ulteriormente la pianta. Le ferite prodotte possono inoltre fungere da ricovero per il Tripide dell'olivo e da punti di inoculo per le infezioni della rogna dell'olivo.

Controllo: le strategie di difesa si basano soprattutto su metodi agronomici, sia in fase preventiva che di controllo diretto. In fase preventiva, dal momento che il Fleotribo preferisce le piante deperite, è di fondamentale importanza mantenere gli olivi in buone condizioni di sviluppo. Sulle piante attaccate le strategie di controllo si basano sulla potatura

delle branche deboli e la distruzione dei rami con i covacci. Inoltre, un'efficace strategia è l'uso di fascine esca, costituite da residui di potature, al fine di attrarre gli adulti in cerca di substrati idonei alla deposizione delle uova. Le fascine vanno posizionate in campo all'inizio della primavera e asportate e distrutte prima dello sfarfallamento dei nuovi adulti.

- Specie di minore interesse

Le parti legnose delle piante di olivo possono essere soggette ad attacchi di *Hylesinus oleiperda* F., Ilesino dell'olivo o Punteruolo nero dell'olivo, e di *Sinoxylon sexdentatum* Olivier, Bostrico dai 6 denti.

Il primo è un coleottero scoltide presente nelle regioni olivicole mediterranee; l'adulto ha il corpo di forma ovale, di colore scuro, ricoperto da peluria nerastra ed è lungo 2,5-3,5 mm. Le larve sono apode, di forma arcuata e di colore bianco. Il comportamento della specie e i danni prodotti sono molto simili a

quelli del Fleotribo. A differenza di questo, il Punteruolo nero dell'olivo si sviluppa solo su legno vivo e svolge una sola generazione all'anno con svernamento allo stadio larvale; le larve, inoltre, scavano gallerie senza una direzione precisa. L'attività trofica di adulti e larve, danneggiando i vasi linfatici, determina screpolature e un progressivo deperimento degli organi attaccati, fino al disseccamento. Per la lotta si può ricorrere alla potatura e alla distruzione delle branche attaccate, mentre gli interventi chimici sono giustificabili solo su giovani impianti.

Per quanto riguarda *S. sexdentatum* si rimanda alla descrizione effettuata nella sezione vite.

Infine sulle radici e nella zona del colletto delle giovani piante si possono occasionalmente rinvenire danni dovuti all'attività trofica delle larve del curculionide *Otiorrhynchus cribricollis* Gyllenhal, Oziorrinco. ■



10

VIGNETO

10.1 - INTRODUZIONE

La vite è una coltura molto diffusa su tutto il territorio italiano e occupa aree profondamente differenti, sia come latitudine che come altitudine, offrendo anche suggestivi paesaggi, come quello rappresentato dalla foto di apertura del capitolo relativa a un vigneto a conduzione biologica che si estende ai piedi di uno dei crateri spenti dell'Etna, la cui cima innevata è visibile sullo sfondo.

Il vigneto è caratterizzato da un complesso di insetti fitofagi relativamente uniforme in tutte le aree viticole italiane. Tuttavia, in considerazione della vastità delle superfici viticole e delle differenti condizioni climatiche

l'incidenza che le specie fitofaghe possono esercitare è variabile da zona a zona. Inoltre, la diversa destinazione delle produzioni determina diversi livelli di dannosità. Nella viticoltura da tavola, infatti, particolare importanza è data ai danni estetici che, al contrario, sono ampiamente tollerati nelle produzioni destinate alla trasformazione in vino, con conseguenti adeguamenti delle strategie di difesa. Nella viticoltura da vino la gestione della difesa dagli insetti fitofagi diviene quindi meno dipendente dagli apporti di prodotti di sintesi e più in linea con strategie ecosostenibili, attraverso un potenziamento della ricca entomocenosi di insetti entomofagi e lascian-

do all'agroecosistema la capacità di autoregolarsi. Per la frequenza delle infestazioni e i danni diretti arrecati, gli insetti chiave, su cui viene generalmente impostata la gestione fitosanitaria, sono la tignola e la tignoletta. Tuttavia, per il potenziale ruolo di vettori di agenti fitopatogeni, grande preoccupazione desta la presenza di alcuni fitomizi, come alcune specie di cocciniglie, potenziali vettori di virus, e soprattutto di alcune cicaline, vettori di fitoplasmi, responsabili di gravi danni alle piante di vite.

10.2 - LE SPECIE DI INSETTI FITOFAGI PRINCIPALI

Le specie ampelofaghe che vivono a spese di fiori e frutti appartengono soprattutto all'ordine dei lepidotteri. Sui fiori generalmente non si registrano danni consistenti ai fini della produzione, per via della considerevole produzione di fiori da parte delle piante di vite, di cui fisiologicamente solo una limitata percentuale raggiunge l'allegagione. Sui frutti invece i danni possono essere molto consistenti, così da compromettere la produzione. Per questo motivo due specie carpofaghe sono considerate fitofagi chiave del vigneto: *Lobesia botrana* (Denis et Schiffermüller), Tignoletta della vite, ed *Eupoecilia ambiguella* (Hübner), Tignola della vite, entrambe appartenenti alla famiglia dei tortricidi. Numerose specie, sia specializzate che polifaghe, possono svilupparsi a spese delle foglie della vite. Benché la loro presenza possa essere frequente, raramente le specie fillofaghe determinano gravi danni alle piante. Le specie principali sono il lepidottero *Theresimima ampelophaga* Bayle-Barelle, Zigena della vite, appartenente alla famiglia degli zigenidi e il coleottero *Byctiscus betulae* L., Sigaraio della vite, appartenente alla famiglia degli attelabidi. Tra i fitomizi le

principali specie sono annoverate tra i tripidi e soprattutto tra i rincoti omotteri (afidi, cocciniglie e cicaline). La pericolosità di queste specie è notevole tanto da aver trasformato radicalmente i sistemi culturali. Infatti, *Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch), un afide di origine americana conosciuto comunemente come Fillossera della vite, quando giunse in Europa a metà del XIX secolo (la prima segnalazione in un vigneto francese è del 1863, mentre in Italia è del 1879) determinò danni talmente gravi da mettere in ginocchio la viticoltura europea per molti anni. Bisognerà, infatti, arrivare ai primi del 1900 per una ripresa della viticoltura grazie all'innesto delle viti europee su piante di vite americana. Altre specie di fitomizi sono dannose non tanto per i danni diretti che arrecano, ma soprattutto perché potenziali vettori di pericolose patologie, come ad esempio alcune cicaline. Per quanto riguarda le parti legnose, le piante di vite sono soggette ad attacchi soprattutto da parte di alcune specie di coleotteri; le infestazioni, tuttavia, sono sporadiche e di limitata dannosità (Tab. 10.1 ▼).

10.2.1 - ANTOFAGI E CARPOFAGI

Tignoletta della vite (Fig. 10.1 ▼)

Lobesia botrana (Denis et Schiffermüller)

Caratteri morfologici: l'adulto è una farfalla di 11-13 mm di apertura alare; le ali anteriori presentano una livrea marmorizzata con un colore di fondo ocre e caratteristiche macchie scure e grigio-bluastré; quelle posteriori sono grigie, con il bordo più scuro e frangiato. Le uova sono di forma lenticolare (diametro circa 0,6-0,7 mm) e di colore inizialmente giallo chiaro, poi grigio. Le larve sono di colore ocre-nocciola con il capo scuro nelle prime età, per poi divenire verdi-brunastre con il

REGIME ALIMENTARE	SPECIE FITOFAGHE PRINCIPALI	DANNI	CONTROLLO
Antofagi e Carpofagi	Tignoletta della vite	- Erosioni degli organi fiorali (1ª generazione) - Erosioni dei frutti (generazioni successive) - Sviluppo <i>Botrytis cinerea</i>	Confusione sessuale, <i>Bacillus thuringiensis</i> , Azadiractina-A, estratto di piretro, olio minerale, Spinosad
	Tignola della vite		
Fillofagi	Zigena della vite	- Erosioni su gemme e foglie (larva)	Non sono registrati prodotti fitosanitari in agricoltura biologica
	Sigaraio della vite	- Erosioni su gemme e disseccamenti fogliari (Adulto)	Non sono registrati prodotti fitosanitari in agricoltura biologica
Fitomizi	Tripide della vite	- Aree necrotiche e clorotiche - Accartocciamento delle foglie - Ferite di ovideposizione	Azadiractina-A, estratto di piretro, olio minerale, Spinosad
	Tripide americano	- Suberificazioni, necrosi e sviluppo irregolare degli acini	Lanci di <i>Orius laevigatus</i> , Azadiractina-A, estratto di piretro, olio minerale, Spinosad
	Cocciniglia nera della vite	- Riduzione sviluppo tralci - Filloptosi	Potatura, scortecciamento e spazzolatura tronchi, olio minerale
	Cocciniglia farinosa della vite	- Ingiallimenti, disseccamenti di foglie, tralci e grappoli - Melata e fumaggini - Trasmissione di virus	Confusione sessuale, olio minerale, lanci di <i>Leptomastix dactylopii</i> , <i>Cryptolaemus montrouzieri</i> , <i>Anagyrus pseudococci</i> , estratto di piretro, olio minerale
	Fillossera della vite	- Galle, necrosi, degenerazione tessuti radicali (su vite europea)	Innesto su vite americana e ibridi, olio minerale
	Cicalina verde della vite	- Alterazioni cromatiche, accartocciamento, necrosi e disseccamento fogliare - Filloptosi	Azadiractina-A, estratto di piretro, olio minerale, sali di potassio di acidi grassi
	Cicalina gialla della vite	- Alterazioni cromatiche, disseccamento fogliare - Filloptosi	Azadiractina-A, estratto di piretro, olio minerale, sali di potassio di acidi grassi
	Cicalina africana della vite	- Alterazioni cromatiche, accartocciamento, necrosi e disseccamento fogliare - Filloptosi	Estratto di piretro, olio minerale, sali di potassio di acidi grassi
	Cicalina della Flavescenza dorata	- Alterazioni cromatiche, accartocciamento, necrosi e disseccamento fogliare - Filloptosi - Trasmissione Flavescenza Dorata	Azadiractina-A, estratto di piretro, olio minerale, sali di potassio di acidi grassi
	Cicalina del Legno nero	- Trasmissione Legno nero	Estratto di piretro, olio minerale, sali di potassio di acidi grassi
Xilofagi e Rizofagi	Bostrico della vite	- Gallerie nei tessuti legnosi, - Disseccamento e rottura dei tralci	Non sono registrati prodotti fitosanitari in agricoltura biologica

◀ **Tab. 10.1** - Prospetto dei principali insetti fitofagi della vite distinti in funzione del regime alimentare e con una sintesi della sintomatologia del danno e dei prodotti ammessi per il controllo in regime di agricoltura biologica.



▲ **Fig. 10.1** - Danni su un grappolo di uva a seguito di attacchi di *Lobesia botrana*; nei cerchi dall'alto verso il basso sono raffigurati: adulto della tignoletta, larva della generazione antofaga, larva della generazione carpofaga, acino con foro e macchia scura dovuti all'azione trofica della larva di tignoletta.

capo più chiaro; a maturità possono raggiungere la lunghezza di 9-10 mm. La crisalide è lunga 4-6 mm e di colore bruno.

Piante ospiti: vite e circa altre 40 specie tra cui olivo, ribes, clematide, viburno, rosmari-

no, biancospino. *Daphne gnidium*, un arbusto della macchia mediterranea è ritenuto l'ospite di elezione.

Ciclo biologico: la tignoletta sverna come crisalide in un piccolo bozzolo sericeo bianco tra le screpolature del ritidoma della vite o in altri ripari, come i tutori delle piante o talvolta nel terreno. I primi adulti compaiono tra metà aprile e inizio maggio e lo sfarfallamento continua per circa un mese. Gli adulti hanno abitudini crepuscolari. Entro 24-48 ore dallo sfarfallamento si ha l'accoppiamento: i maschi si accoppiano più volte mentre le femmine una sola volta. Dopo 3-4 giorni le femmine depongono le uova sui boccioli fiorali (da 50 a 100 uova per femmina) dando inizio alla generazione antofaga. Le larve, infatti, cominciano la loro attività trofica a carico dei boccioli, che vengono avvolti con fili sericei, dando origine a una sorta di glomerulo o "nido". Ogni larva si nutre di 7-8 elementi. Raggiunta la maturità,

le larve tessono un bozzolo all'interno dei nidi o in altri ripari e si incrisalidano. All'inizio dell'estate, tra metà giugno e l'inizio di luglio, sfarfallano i nuovi adulti (anche questo sfarfallamento prosegue per circa 3-4 settimane) che danno origine alla seconda generazione, detta carpofaga. Le femmine depongono le uova sugli acini verdi in accrescimento (circa 6-7 uova per grappolo). Le larve penetrano negli acini, preferibilmente nei punti di contatto, ed erodono i tessuti interni. Ogni larva attacca 2-3 acini. Raggiunta

la maturità, le larve si incrisalidano nei bozzoli sericei all'interno dei grappoli. Nelle regioni più settentrionali, molte di queste crisalidi entrano in diapausa (crisalidi svernanti). Nelle regioni più calde, ha invece inizio una terza generazione, anch'essa carpofaga. In questo caso i nuovi adulti sfarfallano da inizio agosto a metà settembre. La deposizione delle uova avviene sugli acini prossimi all'invaiaitura. Essendo gli acini ricchi di succhi, l'attività trofica delle larve si manifesta con erosioni a carico dei tessuti esterni, mentre la penetrazione avviene solo negli acini meno sviluppati. Le larve a maturità si incrisalidano dà origine alle crisalidi svernanti. Nelle regioni meridionali, in condizioni molto favorevoli, può verificarsi un quarto volo verso la fine di settembre - l'inizio di ottobre che, tuttavia, da origine ad una generazione che raramente completa il ciclo.

Danni: il danno diretto della tignoletta è determinato dall'attività trofica delle larve. Le larve della prima generazione (antofaga) non risultano molto dannose sia perché l'attacco generalmente è di portata limitata, sia perché il danno ai boccioli fiorali è sopportabile dalla pianta; per alcune varietà, soprattutto quelle a grappolo serrato, il diradamento dei boccioli operato dalle larve può avere effetti positivi sulla produzione. Molto pericolose risultano, invece, le larve della seconda e soprattutto della terza generazione (carpofaghe): quelle della seconda, penetrando negli acini, ne determinano lo svuotamento e il successivo avvizzimento e imbrunimento, con perdite quantitative e qualitative della produzione; quelle della terza, attaccando gli acini in fase di maturazione, aggravano ulteriormente gli effetti negativi, in quanto sulle erosioni prodotte dalle larve si possono instaurare organismi fungini, quali Botrite e Marciume acido,

in grado di compromettere l'intero grappolo, arrecando ingenti danni sia alle uve da tavola che a quelle da vino. Recenti studi hanno messo in evidenza l'esistenza di rapporti simbiotici tra la Tignoletta della vite e *Botritis cinerea*; infatti le lesioni degli acini prodotte dalle larve possono costituire vie di accesso per il patogeno e le stesse larve sono in grado di diffonderne i conidi; nel contempo la presenza del fungo favorisce l'ovideposizione, determina un'attrazione delle larve verso gli acini attaccati, in cui queste trovano maggiore probabilità di sopravvivenza, e di conseguenza permette un incremento della popolazione del fitofago. Il danno economico causato dalla tignoletta dipende molto dalla cultivar e dalle condizioni ambientali e agronomiche.

Controllo: per il controllo della Tignoletta della vite possono essere impiegate diverse strategie che, tuttavia, devono essere basate sul monitoraggio, eseguito con trappole a feromoni sessuali, integrato da tecniche di campionamento. Va inoltre ricordato che molte regioni forniscono indicazioni sulle strategie di intervento attraverso l'emanezione di appositi bollettini di lotta integrata. Le trappole a feromoni del tipo a capannina vanno posizionate in campo nel mese di aprile (1-2/ha) e controllate a cadenza settimanale. La sostituzione dell'erogatore del feromone e del fondo coloso dipende dalle caratteristiche del prodotto scelto e dalle condizioni ambientali. Il campionamento diretto si esegue controllando circa 100 grappoli/ha scelti casualmente su un certo numero di piante randomizzate in campo. Viene eseguito in tre epoche prestabilite: alla fioritura (per la 1ª generazione), dalla mignolatura alla pre-chiusura del grappolo (2ª generazione) e dalla invaiatura alla prima metà di settembre (3ª generazione). Le soglie

di intervento indicative sono: 35-70% di grappoli infestati per la 1^a generazione, 5-10% di grappoli infestati da larve, con uova o con fori di penetrazione, per la 2^a e 3^a generazione. Al superamento delle soglie si può intervenire con prodotti chimici autorizzati in agricoltura biologica e microbiologici; nelle zone storicamente a rischio si può intervenire ai primi attacchi sugli acini. In particolare possono essere utilizzati formulati microbiologici a base di *Bacillus thuringiensis* sp. *kurstaki*, che vanno applicati circa 7-10 giorni dopo l'inizio della fase crescente delle catture, contro le larve della seconda generazione, cioè prima che le larve siano entrate negli acini, circa 15 giorni dopo contro le larve della terza generazione. In molte zone i voli stagionali possono essere analizzati con modelli previsionali basati sulla sommatoria dei gradi giorno (somma delle temperature medie che dall'inizio dell'anno superano i 10°C, temperatura che rappresenta il limite termico inferiore per la specie) necessari per il completamento di ciascuno stadio. Tali modelli tuttavia hanno il limite di essere molto vincolati all'ambiente per il quale sono stati validati. Particolarmente efficace è l'applicazione delle tecniche di confusione o disorientamento sessuale, molto utilizzate nei vigneti del nord e centro Italia. In commercio esistono numerosi prodotti che prevedono la collocazione in campo degli erogatori di feromone all'inizio della stagione, in corrispondenza del primo volo. Sono anche disponibili erogatori che rilasciano contemporaneamente anche il feromone della Tignola della vite, per una lotta combinata nelle zone a rischio di infestazione di entrambi i fitofagi. Infine, è da ricordare il controllo esercitato dagli antagonisti naturali, quali parassitoidi imenotteri calcidoidei, tra cui alcuni oofagi del genere *Trichogramma* allevati in biofabbrica

allo scopo, e icneumonidi, come *Campoplex capitator* Aubert, alcuni ditteri tachinidi e i crisopidi predatori di uova.

Tignola della vite

Eupoecilia ambiguella (Hübner)

L'adulto è una farfalla leggermente più grande della tignoletta (12-15 mm di apertura alare); le ali anteriori sono di colore giallo-bruno con una fascia trasversale mediana bruno-nerastra; quelle posteriori sono grigie e ornate da una frangiatura più chiara. Le uova sono di forma lenticolare subellittica (circa 0,8 x 0,6 mm) e colore che inizialmente è giallo chiaro per poi presentare macchie giallo-arancio durante lo sviluppo embrionale. Le larve sono di colore inizialmente chiaro (1^a età) quindi scure, dal verdastro al rosso-violaceo; a maturità sono lunghe 10-12 mm. La crisalide è lunga 5-8 mm e di colore bruno-rossastro. Il ciclo e il comportamento biologico della tignola sono molto simili a quelli della tignoletta. Le principali differenze consistono nel numero di generazioni, che sono generalmente due (tre in condizioni favorevoli), di cui una antofaga e una carpofaga, e nel numero inferiore di uova deposte da ciascuna femmina (circa 40-60). Danni e modalità di controllo sono simili a quanto riportato per la Tignoletta della vite.

- Specie di minore interesse

Sulla vite sono riportati attacchi di altre due specie di lepidotteri: *Argyrotaenia ljugiana* (Thunberg) (Fig. 10.2), Eulia dei fruttiferi, e della vite, e *Cryptoblabes gnidiella* Millière (Fig. 10.2), Tignola rigata degli agrumi. L'Eulia dei fruttiferi e della vite è un fitofago polifago, con ali anteriori grigio-marroni con banda trasversale rossastra e ali posteriori grigie. Compie 3 generazioni annue. Sulla vite le larve compiono erosioni a carico di foglie, bottoni fiorali e acini; su questi ultimi le erosioni sono



Fig. 10.2 - Marciumi su un grappolo di uva a seguito di attacchi di insetti carpofagi; nei cerchi, dall'alto verso il basso, sono raffigurati individui adulti di *Cryptoblabes gnidiella*, *Argyrotaenia ljungiana* e *Drosophila suzukii*.

superficiali. Normalmente l'impatto è trascurabile, sebbene in Trentino siano stati osservati attacchi che hanno determinato riduzione delle produzioni a causa del disseccamento dei grappoli. Generalmente il controllo operato per la tignoletta è sufficiente a limitare le popolazioni di *Eulia*. In Trentino si sta sperimentando, con buoni risultati, la tecnica della confusione sessuale.

La Tignola rigata degli agrumi è un fitofago polifago secondario, le cui infestazioni sulla vite sono associate a quelle della Tignola e/o della Tignoletta della vite o della Cocciniglia cotonosa, in quanto le larve si nutrono dei liquidi zuccherini fuoriusciti dagli acini o della melata prodotta dalla cocciniglia. Le larve possono compiere erosioni a carico degli

acini, incrementando le infezioni di *Botrytis cinerea*. Per contenere i danni della Tignola rigata degli agrumi è sufficiente controllare le popolazioni dei fitofagi primari.

Infine, nelle regioni settentrionali italiane da pochi anni sono segnalati danni agli acini dovuti a *Drosophila suzukii* (Matsumura), Drosophila dalle ali maculate (Fig. 10.2). Si tratta di un piccolo dittero originario della Cina, giunto in Europa e USA nel 2008; le femmine depongono le uova sotto l'epidermide dei frutti in fase di maturazione di numerose specie, come ciliegio, ribes, fragola; le larve

si nutrono della polpa dei frutti causando il disfacimento. L'uva non sembra essere un substrato di elezione del dittero, i cui attacchi non determinano il disfacimento degli acini; tuttavia l'azione delle larve può favorire la penetrazione di fitopatogeni come botrite e marciume acido.

10.2.2 - FILLOFAGI

Zigena della vite (Fig. 10.3 ▼)

Theresimima ampelophaga Bayle-Barelle

Caratteri morfologici: l'adulto è una farfalla di 15-20 mm di apertura alare; le ali anteriori sono di colore bruno con riflessi metallici bluastrì e bronzì, quelle posteriori sono più scure. Il corpo è di colore bluastrì. Le uova sono di forma subellittica (circa 0,7 x 0,5 mm) e colore giallo paglierino. Le larve sono di colore grigio verdastro con 5 fasce nere longitudinali; a maturità possono raggiungere la lunghezza di 15 mm. La crisalide è lunga circa 10 mm e di colore giallo ocra con macchie nere sulla parte dorso-laterale.

Piante ospiti: vite.

Ciclo biologico: la Zigena della vite sverna come larva di 2^a o 3^a età nelle parti legnose della pianta. All'inizio della primavera, in corrispondenza della ripresa vegetativa delle piante, le larve abbandonano i ricoveri e cominciano a nutrirsi a spese prima delle gemme, poi dei nuovi germogli e delle foglie. A maturità, generalmente intorno a fine maggio, si incrisalidano tra le screpolature del ritidoma, più raramente tra le foglie. Dopo circa 15-20 giorni sfarfallano gli adulti. Lo sfarfallamento continua fino al mese di luglio. Gli adulti di giorno restano tra la vegetazione mentre nelle ore serali compiono voli di spostamento. Dopo l'accoppiamento, le femmine depongono le uova (200-400) in ovature di una cinquantina di elementi, generalmente sulla pagina inferiore delle foglie, talvolta sulla pagina superiore o sui giovani germogli. Dopo circa 2 settimane le larve fuoriescono e, all'inizio in maniera gregaria, compiono erosioni del lembo fogliare rispettando le nervature e l'epidermide della pagina superiore. Tra agosto e settembre le larve si portano sul tronco e sui rami principali, dove scavano una galleria sotto il ritidoma (1-2 cm di profondità), all'interno della quale formano un lasso e bianco bozzolo sericeo ed entrano in diapausa per svernare.

Danni: il danno della Zigena della vite è determinato dall'attività trofica delle larve a carico delle foglie e soprattutto delle gemme. Infatti, l'attacco primaverile a carico delle gemme impedisce lo sviluppo dei germogli e, di conseguenza, compromette la produzione, la cui perdita in alcune aree può giungere al 30%. L'emissione di nuovi germogli da gemme secondarie non compensa la produzione, anzi può compromettere la vitalità della pianta ne-

gli anni successivi.

Controllo: nei vigneti in cui in estate si sono osservate le larve del fitofago si devono impostare le operazioni di potatura prima della fuoriuscita delle larve dai ricoveri invernali, in modo da contenere la popolazione. Successivamente, nel caso di presenza di 6-7 larve o del 2% di gemme svuotate per pianta si possono effettuare trattamenti, a base di *Bacillus thuringiensis*, eventualmente da ripetere in caso di forti infestazioni. Da ricordare che i trattamenti contro la tignoletta sono spesso sufficienti a contenere le popolazioni della Zigena della vite.

Sigaraio della vite (Fig. 10.3 ▼)

Byctiscus betulae L.

Caratteri morfologici: l'adulto è lungo 4,5-7 mm, di colore blu-verdastro. Le uova sono di forma ovale (0,6 mm circa) con corion liscio di colore giallastro. Le larve hanno la tipica forma dei curculionidi: bianca con capo bruno, apoda e arcuata; a maturità possono raggiungere la lunghezza di 5-6 mm.

Piante ospiti: vite, diversi fruttiferi (drupacee e pomacee) e latifoglie forestali.

Ciclo biologico: il Sigaraio della vite sverna come adulto. In primavera, intorno ad aprile-maggio, gli adulti iniziano l'attività trofica a carico dei giovani germogli e delle foglie. Una volta accoppiata, la femmina incide in profondità il picciolo fogliare senza provocare il distacco e arrotola la foglia tenendo insieme i lembi con suoi secreti. Forma così diversi sigari pendenti, all'interno di ciascuno dei quali depone le uova, in numero da 1 a 10. Le larve si sviluppano all'interno dei sigari, che progressivamente disseccano, a maturità li abbandonano e, dopo aver formato le celle pupali nel terreno, si impupano. Gli adulti si



Fig. 10.3 - Foglia di vite arrotolata a seguito dell'attacco di *Byctiscus betulae*; nei cerchi dall'alto verso il basso sono raffigurati: foglie secche e arrotolate a mo' di sigaro, larva di *Theresimima ampelophaga*.

danni fisiologici e/o economici tali da giustificare interventi di controllo.

Tra i lepidotteri si ricordano:

Sparganothis pilleriana (Denis et Schiffermüller), Tortrice della vite (Fig. 10.4), è un lepidottero tortricide polifago monovoltino, le cui larve compiono erosioni dapprima sulle gemme rigonfie, quindi sulle foglie che vengono scheletrizzate e avvolte con fili sericei. In casi di gravi infestazioni gli attacchi possono riguardare i nuovi germogli e gli acini verdi.

Antispila oinophylla van Nieukerken & Wagner (Antispila), *Holocacista rivillei* Stainton (Olocacista) e *Phyllocnistis vitegenella* Clemens (Minatrice serpentina della vite) (Fig. 10.4), sono tre specie di microlepidotteri fillominatori. Gli adulti sono, infatti, farfalle di pochi mm con ali frangiate. Le femmine depongono le uova nel mesofillo fogliare; le larve scavano delle mine nel mesofillo con forma caratteristica a seconda della specie: circolare per *Antispila*, filiforme terminante in una piazzola irregolare per *Olocacista*, a serpentina per la Minatrice serpentina. Il danno consiste in una riduzione della superficie fotosintetizzante, ma non risulta mai rilevante.

Infine in alcune regioni italiane sono stati segnalati attacchi, occasionali ma talvolta di grande impatto, di *Hyphantria cunea* (Drury), Ifantria americana, e di alcune specie di nottuidi, come *Spodoptera littoralis* (Boisduval); le larve di queste specie compiono erosioni sulle foglie e su altri organi epigei della vite, che talvolta si evolvono in complete defogliazioni.

sviluppano in autunno ma, generalmente, rimangono nelle celle pupali per svernare.

Danni: il danno è dovuto all'attività degli adulti che si nutrono a spese delle gemme e provocano appassimento delle foglie per dare origine al tipico arrotolamento.

Controllo: normalmente i livelli di popolazione del fitofago non determinano danni economici tali da giustificare interventi di controllo.

- Specie di minore interesse

Le parti verdi della vite possono essere attaccate da altre specie di lepidotteri e coleotteri che solo occasionalmente possono arrecare

Tra i coleotteri si segnalano:

Altica ampelophaga Guérin, Altica della vite (Fig. 10.4), è un crisomelide, i cui adulti (di colore blu-verde metallico) compiono erosioni irregolari sulle foglie rispettando le nervature principali e il margine, mentre le larve (di colore inizialmente giallo e poi bruno e con lunghi peli) compiono erosioni sulla pagina inferiore rispettando quella superiore e le nervature.

Melolontha melolontha L., Maggiolino, è uno scarabeide polifago, i cui adulti (di colore nero con elitre bruno-rossastre) compiono erosioni sulle foglie, mentre le larve (dalla tipica forma melolontoide) si nutrono delle radici riducendo lo sviluppo e provocando appassimenti soprattutto nelle piante più giovani e in vivaio.

Anomala vitis F., Carruga della vite, è uno scarabeide polifago, i cui adulti (di colore verde metallico con riflessi tendenti al rameico-bronzato) compiono erosioni sulle foglie rispettando di norma le nervature principali, mentre le larve (di forma melolontoide) compiono erosioni a carico delle radici.

Otiorrhynchus sulcatus F., Oziorrinco, è un curculionide polifago, i cui adulti (di colore nero con elitre saldate) compiono erosioni semicircolari sul margine del lembo delle foglie, mentre le larve (dalla tipica forma dei curculionidi) si nutrono delle radici e dell'anello corticale sotto il colletto, riducendo lo sviluppo e provocando deperimento soprattutto nelle piante più giovani e in vivaio.



Fig. 10.4 - Foglia di vite con evidenti erosioni provocate da larve di *Altica ampelophaga*, di cui una evidenziata dal cerchio nero. Nei cerchi, dall'alto verso il basso, sono raffigurati: larva di *Sparganothis pilleriana*; dettaglio di una mina con all'interno la larva di *Phyllocnistis vitegenella*; adulto di *Tropinota squalida*.

Tropinota squalida (Scopoli) è uno scarabeide (Fig. 10.4), i cui adulti in primavera possono attaccare le piante di vite nutrendosi a spese delle gemme, dei germogli e dei grappoli in formazione, mentre le larve si nutrono di sostanza organica in decomposizione. Sebbene *T. squalida* sia un fitofago occasionale, sono stati osservati danni anche gravi; ad esempio in Sardegna, sulla varietà Vernaccia, attacchi del fitofago hanno compromesso lo sviluppo

di oltre il 30% delle gemme principali, con una riduzione di produzione media per pianta di oltre il 50%.

Infine, in alcune regioni italiane sono riportati attacchi di *Janetiella oenophila* Haimhoff, Cecidomia fogliare della vite. Si tratta di un dittero cecidomide di piccole dimensioni, (1-2 mm di lunghezza) di colore rossastro. Le femmine depongono le uova singolarmente sotto la cuticola della pagina inferiore delle foglie, talvolta sotto la cuticola di altre parti verdi quali tralci erbacei, viticci e rachide. Le larve (di colore giallo-arancio e lunghe circa 2 mm) formano delle galle lenticolari che sono visibili su entrambe le pagine fogliari. Le galle inizialmente verdi diventano rossastre allorché le larve, raggiunta la maturità, si lasciano cadere al suolo per formare un bianco e lasso bozzoletto dove poi svernano. I danni provocati, ovvero le galle e le deformazioni delle foglie che ne conseguono, in genere non sono rilevanti, per cui non è necessario alcun intervento di controllo.

10.2.3 - FITOMIZI

TISANOTTERI

Tripide della vite (Fig. 10.5 ►)

Drepanothrips reuteri Uzel

Caratteri morfologici: gli adulti sono lunghi meno di 1 mm, di colore giallo chiaro.

Piante ospiti: polifago, preferibilmente vite europea e americana.

Ciclo biologico: la specie sverna come femmine fecondate riparate nel ritidoma delle piante di vite. Queste, in primavera, ovidepongono nell'epidermide delle foglie, in media un centinaio di uova per femmina. Dopo circa un mese, in cui si susseguono 2 stadi neanidali, 1 di prepupa e 1 di pupa, si ottengono i nuovi

adulti. La specie compie 2 generazioni all'anno; si riproduce anche per partenogenesi.

Danni: il Tripide della vite attacca gli organi verdi della pianta arrecando danni per via delle punture di alimentazione, che provocano punteggiature necrotiche circondate da un alone clorotico, e delle lesioni dell'ovopositore, che provocano tacche necrotiche superficiali e suberificate. A seguito di queste lesioni, la pianta manifesta deformazioni e accartocciamento delle foglie e rallentamento dello sviluppo dei germogli. Il danno maggiore si ha con il primo attacco, in corrispondenza dell'apertura delle gemme. Talvolta le punture possono interessare anche gli acini; anche in questo caso si possono manifestare reazioni di suberificazione dell'epidermide, ma in generale il danno è trascurabile.

Controllo: il controllo è di tipo chimico, da effettuare se l'attacco avviene in coincidenza della fase di accrescimento dei germogli per evitare che venga compromesso lo sviluppo delle piante, soprattutto nei giovani impianti e nei vivai.

Tripide americano (Fig. 10.5 ►)

Frankliniella occidentalis Pergande

Caratteri morfologici: gli adulti sono lunghi circa 1-1,5 mm, di colore giallo-ocra con striature o punteggiature scure sul dorso; quelli svernanti sono di colore bruno. Gli stadi giovanili sono giallini.

Piante ospiti: colture ortive e floricole in serra e in pieno campo (solanacee, liliacee, leguminose, cucurbitacee, compositae), fruttiferi (pomacee e drupacee), vite.

Ciclo biologico: la specie sverna allo stadio adulto sui residui della vegetazione nel terreno o in vari anfratti; nei climi più caldi può rimanere attiva sfruttando la vegetazione

spontanea. In primavera il tripide si sposta su varie essenze man mano che queste fioriscono, compresa la vite. Le uova, reniformi e lunghe circa 0,2-0,5 mm, vengono deposte nei tessuti vegetali più teneri, in media circa 40 uova per femmina. Le neanidi di 1^a età colonizzano le parti aeree a disposizione, foglie, fiori o frutti, a spese delle quali si nutrono; quelle di 2^a età, dopo essersi accresciute, si spostano nel terreno dove si trasformano in prepupa e poi in pupa; dopo pochi giorni compaiono i nuovi adulti. In funzione delle condizioni ambientali, la durata del ciclo è di 15-30 gg. e l'insetto può compiere numerose generazioni, a volte sovrapposte: 5-7 in campo, fino a 18 in serre riscaldate.

Danni: sulla vite sono trascurabili le punture di alimentazione e ovideposizione che interessano foglie e fiori, anche se su questi ultimi possono indurre aborti fiorali, mentre più gravi possono risultare gli attacchi agli acini, soprattutto per le varietà di uva da tavola. In questo caso gli attacchi possono determinare mancata allegagione, formazione di aloni biancastri, suberificazioni, necrosi e sviluppo irregolare degli acini, nonché soluzioni di continuità che possono diventare vie di accesso di fitopatogeni. Da segnalare che su molte piante ortive e spontanee il tripide può essere vettore di malattie virotiche come il *Tomato Spotted Wilt Virus* (TSWV).

Controllo: il controllo in vigneto è spesso difficoltoso in quanto i tripidi sono difficilmente visibili e raggiungibili e i sintomi, all'inizio poco evidenti, si manifestano nella loro gravità quando gran parte dei grappoli è già stata attaccata. In caso di necessità, soprattutto su uva da tavola, si può ricorrere a trattamenti



Fig. 10.5 - Acini con aree suberificate dovute alle punture trofiche di tripidi. Nei cerchi dall'alto in basso sono raffigurati adulti di: *Drepanothrips reuteri* e *Frankliniella occidentalis*.

con prodotti ammessi a partire dalla fioritura. Per ridurre il numero degli interventi si deve ricorrere al monitoraggio delle popolazioni, mediante trappole cromotropiche, preferibilmente di colore azzurro o bianco, eventualmente attivate con erogatori di attrattivi alimentari, e campionamenti delle forme giovanili e adulte sulla vegetazione. In coltura protetta si può ricorrere a lanci di predatori, come il rincote antocoride *Orius laevigatus* (Fieber), commercializzato dalle biofabbriche.

RINCOTI OMOTTERI

- Afidi

Fillossera della vite

Daktulosphaira vitifoliae (Fitch)

La fillossera della vite (Fig. 10.6) è un afide della famiglia dei fillosseridi, la cui classificazione scientifica non è tuttora definita, in quanto nella letteratura scientifica la specie è riportata con diversi sinonimi tra i quali, oltre a *D. vitifoliae*, oggi adottato nella documentazione ufficiale dell'Unione Europea, *Phylloxera vastatrix* Planchon, *Viteus vitifoliae* Shimer e *Viteus vitifolii* Fitch.

Caratteri morfologici: la maggior parte degli individui è attera con il corpo allungato (circa 1 mm); le gallecole sono attere di colore giallo-verdastro con tubercoli puntiformi su tutto il dorso del corpo; le radicolole sono simili ma con rostro più lungo; le sessupare sono forme alate, lunghe circa 1,5 mm con corpo di colore giallo-ocra con mesotorace nero; infine gli anfigonici sono atteri, di colore giallo e più piccoli delle altre forme (circa 0,5 millimetri).

Piante ospiti: molte specie del genere *Vitis*.

Ciclo biologico: è una specie monoica ed eterotopa (colonizza organi diversi della pianta attaccata) che può presentare olociclo (vite americana) o anolociclo (vite europea). Nel caso dell'olociclo lo svernamento avviene come uovo durevole sulle parti legnose della pianta; dalle uova verso aprile-maggio si sviluppano le fondatrici, femmine attere che si riproducono per partenogenesi, le quali si spostano sulle foglie giovani dove, con le punture di alimentazio-

ne, determinano, per reazione della pianta, la formazione di galle. All'interno di queste galle ciascuna femmina depone alcune centinaia di uova (circa 500 uova) da cui si svilupperanno nuove femmine partenogenetiche attere con il rostro corto (gallecole), che si comportano come le fondatrici, continuando il loro ciclo sulle nuove foglie con formazioni di nuove galle. In media si hanno da 6 a 8 generazioni di gallecole, con intervalli di circa un mese e con fecondità delle femmine che si riduce progressivamente. All'inizio dell'estate (a partire dalla seconda generazione) dalle



Fig. 10.6 - Foglia di vite con galle di *Daktulosphaira vitifoliae*. Nei cerchi, dall'alto in basso, sono raffigurati: femmina gallecola; femmina con uova all'interno della galle; colonia radicolola.

galle fuoriescono alcune femmine partenogenetiche attere con il rostro più lungo, (neogallecole-radicolle), che migrano sull'apparato radicale, determinando la formazioni di galle sulle radici; nelle galle le femmine depongono un numero inferiore di uova rispetto alle gallegole (tra 40 a 100). Hanno origine quindi le generazioni di radicolle (5-6) che si svolgono contemporaneamente alle gallegole. A partire da metà estate, alcune ninfe di radicolle danno origine a femmine alate (sessupare), che tornano sulle foglie della stessa pianta o di altre piante di vite, dove depongono le uova da cui si originano maschi e femmine privi di rostro (anfigonici); le femmine anfigoniche dopo l'accoppiamento depongono le uova durezza (in genere 1 per femmina) che sono peduncolate, bianche e lunghe circa 0,3 mm. La comparsa delle sessupare e degli anfigonici e la deposizione delle uova durezza sono legate agli andamenti climatici, in particolare delle temperature. Nelle regioni settentrionali le sessupare compaiono in piena estate; poiché gli abbassamenti delle temperature determinano mortalità delle sessupare e una progressiva riduzione della loro capacità di riproduzione già a partire dal mese di agosto, gli anfigonici compaiono precocemente e le uova svernanti vengono deposte già nel mese di luglio; in quelle meridionali, invece, la comparsa di queste forme è più tardiva e le uova svernanti sono deposte in autunno, talvolta nel mese di dicembre. Sulle viti europee, le cui foglie non reagiscono alle punture con formazioni di galle in modo tale da permettere alle fondatrici di completare il loro sviluppo, e su alcuni vitigni di vite americana, come *Vitis labrusca*, soprattutto in climi freddi, la Fillossera sviluppa un anolociclo che prevede un susseguirsi di generazioni partenogenetiche quasi esclusivamente a livello radicale, con

svernamento delle neanidi nelle galle. Negli ultimi anni, tuttavia, è stata osservata anche su vite europea innestata su vite americana la comparsa di galle sulle foglie, anche copiosa su alcuni vitigni più sensibili, che fa ritenere possibile il completamento dell'olociclo anche su questi vitigni europei.

Danni: il danno sulla pianta è provocato dalle punture di alimentazione del fitofago che determinano la formazioni di galle nodose sulle radici, tondeggianti, irregolari e sporgenti verso la pagina inferiore sulle foglie. Sulle piante di vite americana il danno sulle foglie è molto evidente in quanto la pianta è molto sensibile alle punture e produce una grande quantità di galle, mentre quello radicale è trascurabile in quanto le radici sono poco reattive alle punture e di conseguenza le eventuali deformazioni non ne compromettono la vitalità. Al contrario, sulle piante di vite europea la formazione di galle sulle foglie è irrilevante o completamente assente, mentre l'attacco sulle radici è gravissimo in quanto determina abbondanti formazioni di galle con successive necrosi e degenerazioni dei tessuti che compromettono la funzione assorbente. L'attacco si evolve quindi in un generale deperimento della pianta che può condurla a morte in qualche anno.

Controllo: sfruttando la diversa suscettibilità delle viti europee e americane, il controllo della Fillossera è stato raggiunto mediante l'innesto dei vitigni europei su portainnesti di vite americana. Tuttavia le infestazioni da Fillossera sono da tenere sempre sotto osservazione in quanto negli ultimi anni si sta assistendo in alcune zone viticole ad una recrudescenza degli attacchi. Il controllo operato dagli antagonisti naturali è occasionale e trascurabile. Invece, le condizioni abiotiche possono modificare notevolmente lo sviluppo

delle popolazioni. Come visto in precedenza, le basse temperature limitano soprattutto le sessupare, inoltre il vento ne condiziona il volo ed è causa di mortalità. I suoli sabbiosi ostacolano il progredire delle infestazioni a livello radicale in quanto limitano la mobilità delle neanidi; i suoli argillosi soggetti a ristagni idrici determinano un ambiente asfittico che causa mortalità delle neanidi.

COCCINIGLIE

- Diaspididi

Cocciniglia nera della vite (Fig. 10.7 ►)

Targionia vitis (Signoret)

Caratteri morfologici: gli adulti sono coperti da un follicolo ovale di colore grigio-marro-ne con esuvie eccentriche di colore nero e lungo circa 2 mm nelle femmine, più stretto e piccolo nei maschi. Il corpo della cocciniglia è di colore violaceo nella femmina adulta, più chiaro negli stadi giovanili. Il maschio adulto è alato e di colore giallo bruno.

Piane ospiti: vite e numerose specie arboree e arbustive, come querce, faggio, platano, corbezzolo.

Ciclo biologico: la specie sverna come femmina adulta; questa a fine inverno – inizio primavera depone le uova sotto il proprio follicolo da cui fuoriescono le neanidi che colonizzano i nuovi germogli, fissandosi sul substrato e continuando lo sviluppo fino allo stadio adulto. La specie compie una sola generazione.

Danni: i danni sono dovuti alla sottrazione di linfa che, in caso di forte infestazione ripetuta negli anni, può determinare riduzione dello sviluppo dei tralci, anticipata filloptosi, maturazione ritardata dei grappoli e progressivo indebolimento della pianta.

Controllo: normalmente i livelli di infestazione non sono tali da giustificare interventi di controllo chimico, in quanto l'attività degli antagonisti naturali, quali i parassitoidi imenotteri calcidoidei *Coccophagus moeris* Walk., *Coccophagus similis* Masi e *Azothus matritensis* Mercet, e i predatori coleotteri coccinellidi *Chilocorus bipustulatus* (L.) *Exochomus quadripustulatus* (L.) e le pratiche agronomiche, quali la potatura, lo scortecciamento e la spazzolatura dei tronchi prima della ripresa vegetativa, riducono le popolazioni. In caso di forte infestazione si può ricorrere a trattamenti chimici con olio bianco in inverno o, più efficacemente, in primavera contro le neanidi di 1^a età, le uniche forme mobili e non protette da follicolo.

- Planococcidi

Cocciniglia farinosa della vite - Planococco della vite (Fig. 10.7 ▲)

Planococcus ficus (Signoret)

Caratteri morfologici: la specie è molto simile a *Planococcus citri*, il Cotonello degli agrumi, da cui si differenzia per alcuni caratteri morfologici apprezzabili al microscopio. Le femmine adulte hanno il corpo di forma ovale, consistenza molle, di colore roseo-giallastro ricoperto di polvere cerosa (da cui il nome di cocciniglia farinosa), che dà un colore bianco all'individuo, e circondato da 18 paia di raggi cerosi di cui 17 corti e 1 più lungo nella zona anale. La lunghezza, esclusi i raggi caudali, è di circa 3 mm. Il maschio adulto è di colore arancione scuro ed è dotato di 1 paio di ali trasparenti; è lungo circa 1,5 mm escludendo la coppia di lunghi filamenti presente nella zona genitale. Le neanidi sono simili alle femmine ma più piccole.

Piante ospiti: polifago, preferibilmente fico e vite.



Fig. 10.7 - Grappolo di uva imbrattato da cera e melata a seguito di attacco di *Planococcus ficus* di cui un individuo è evidenziato dal cerchio nero. Nei cerchi, dall'alto in basso, sono raffigurati: parte di una colonia di *Targionia vitis* e una femmina ovideponente con ovisacco ceroso di *Pulvinaria vitis*.

Ciclo biologico: la cocciniglia farinosa sverna come femmina fecondata in zone riparate del ritidoma del ceppo o delle branche più vecchie; in primavera le femmine formano un ovisacco bianco di cera fioccosa all'interno del quale depongono alcune centinaia di uova. Le neanidi colonizzano la pianta portandosi preferibilmente sulla pagina inferiore delle foglie. Verso luglio si ha una seconda generazione, in questo caso gli stadi giovanili colonizzano i germogli e soprattutto i grappoli. Verso la fine di agosto si ha una terza

generazione, anche questa a spese dei grappoli. Infine, in autunno si sviluppa la quarta generazione, le cui femmine adulte fecondate si spostano su tronco e tralci per svernare sotto il ritidoma. Oltre alla parte aerea, una parte della colonia può anche vivere a spese dell'apparato radicale, non andando oltre i 30 cm di profondità. La cocciniglia farinosa ha la tendenza ad aggregarsi,

formando colonie abbastanza visibili per il colore bianco, concentrate soprattutto nelle parti più interne delle piante, in quanto il fitofago preferisce microclimi caratterizzati da elevata umidità, ombra e ridotta circolazione dell'aria.

Danni: i danni diretti sono dovuti alla sottrazione della linfa; possono produrre ingiallimenti, disseccamenti e caduta di foglie, disseccamenti dei tralci e dei grappoli e un generale deperimento della pianta. Le conseguenze sulla produzione sono più severe allorquando le colonie si addensano nei grappoli. Più gravi sono i danni indiretti dovuti all'abbondante emissione di melata che imbratta la pianta e, soprattutto, gli acini su cui si possono sviluppare le fumaggini che riducono l'attività fotosintetica e deturpano i grappoli. Per questi motivi la cocciniglia farinosa risulta particolarmente dannosa alla produzione di uva da tavola. Inoltre, la melata è fonte di attrazione per insetti glicifagi, come la tignola tigrata, che potrebbero ulteriormente danneggiare i grappoli. Infine, tra i danni indiretti, bisogna segnalare la capacità del fitofago di trasmettere alcuni virus, quali il GLRaV-3, agente della malattia dell'accartocciamento fogliare, il GVA,

agente della malattia delle scanalature di Kober e il GVB, agente della malattia della suberosi corticale.

Controllo: in natura le popolazioni del fitofago sono in genere controllate efficacemente da predatori coccinellidi, come *C. bipustulatus*, *Lindorus lophantae* (Blaisdell) e alcune specie del genere *Scymnus*, e da parassitoidi imenotteri. In commercio sono disponibili il coleottero coccinellide *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) e gli imenotteri encirtidi *Anagyrus pseudococci* (Gyrault) e *Leptomastix dactylopii* (Howard).

Lo sviluppo del fitofago è contrastato da pratiche colturali razionali che favoriscono l'arrieggiamento della chioma, al fine di evitare i microclimi favorevoli al fitofago. Inoltre è buona norma effettuare concimazioni equilibrate, per evitare lo sviluppo di vegetazione eccessiva e fitta, contenere i trattamenti chimici per non abbattere le popolazioni degli antagonisti naturali e controllare lo sviluppo delle popolazioni di formiche distruggendo i formicai o apponendo fasce collanti sui tronchi. Questi insetti sono infatti fortemente attratti dalle colonie della cocciniglia per la melata che producono e pertanto le proteggono dai nemici naturali. Le popolazioni svernanti possono essere limitate ricorrendo allo scortecciamento di ceppo e branche in inverno; la pratica, costosa come mano d'opera, si può applicare allorquando in estate sono stati osservati elevati livelli di popolazione del fitofago. L'andamento delle popolazioni può essere monitorato attraverso la disposizione nel vigneto di trappole a feromone; il monitoraggio, tuttavia, deve essere accompagnato da un'osservazione diretta degli individui sulla vegetazione. Questi campionamenti non sono sempre

facili per il comportamento della cocciniglia che tende a ripararsi nella parte interna della vegetazione. In quest'ottica un aiuto può darlo l'osservazione dei movimenti delle formiche sulle piante. In caso di forti infestazioni, si può ricorrere a trattamenti a base di oli bianchi. I trattamenti vanno effettuati preferibilmente in corrispondenza del risveglio vegetativo, quando si ha la fuoriuscita delle neanidi dai siti di svernamento; successivamente, per la tendenza delle colonie ad aggregarsi all'interno della vegetazione e per la protezione offerta dalla cera che ne ricopre il corpo, i trattamenti possono risultare inefficaci. Trattamenti invernali possono essere fatti a seguito dello scortecciamento per aumentare l'azione abbattente sulla popolazione svernante. Infine, recentemente, sta trovando sempre maggiore applicazione la tecnica della confusione sessuale.

- Altre cocciniglie

Sui tralci, sui rami e talvolta anche sui rachidi sono segnalate infestazioni dovute a *Parthenolecanium corni* (Bouché), nota come Cocciniglia globo-striata di vite, corniolo e susino (Lecanio del corniolo) e a *Pulvinaria vitis* (L.), nota come Pulvinaria della vite (Fig. 10.7). Entrambe le specie sono polifaghe, oltre alla vite attaccano piante da frutto e molte latifoglie forestali e ornamentali; la prima è di colore inizialmente giallastro poi rosso mattone nella femmina ovideponente, la seconda è ovoidale, di colore brunastro con, nelle femmine adulte, bianchi ovisacchi cerosi e fioccosi che rendono molto evidenti le colonie. I danni diretti sono determinati dalla sottrazione di linfa dovuta alle punture trofiche e sono accompagnati da quelli indiretti, quali l'emissione di melata e lo sviluppo di fumaggini; generalmente, si tratta

di danni limitati. Recenti studi di laboratorio hanno, tuttavia, evidenziato la capacità delle neanidi di *P. corni* di trasmettere il virus GVA.

CICALINE

- Cicadellidi

Cicalina verde della vite (Fig. 10.8 ▼)

Empoasca vitis (Goethe)

Caratteri morfologici: gli adulti sono lunghi circa 3 mm, di colore verde chiaro con sfumature dorate; gli stadi giovanili sono più chiari e si spostano velocemente correndo lateralmente.

Piante ospiti: vite, pomacee, drupacee, piante forestali e ornamentali.

Ciclo biologico: la specie sverna come adulti su piante sempreverdi, come conifere, rovo, caprifoglio, ligustro; in primavera questi si spostano sulla pagina inferiore delle giovani foglie delle piante ospiti, tra le quali la vite. Sulla vite le femmine depongono le uova allungate (circa 0,7 mm) e di colore giallo chiaro singolarmente all'interno delle nervature delle foglie; in media ciascuna femmina depone 15-20 uova. Dalle uova nascono le neanidi della 1ª generazione che si completa verso giugno; seguono altre 2 generazioni: una a fine luglio-inizio agosto, l'altra a settembre. Molto spesso si ha sovrapposizione delle generazioni con presenza contemporanea di tutti gli stadi. La cicalina verde predilige microclimi umidi e ombrosi nonché piante vigorose.

Danni: è una specie floemomiza, pertanto le punture di alimentazione possono causare interruzione dei vasi linfatici (le punture sono rese evidenti da macchie rossastre circondate da un alone giallastro), con ripercussioni sulle foglie che manifestano progressivamente variazioni cromatiche (ingiallimento dei tessuti

nei vitigni bianchi e arrossamento nei vitigni rossi), accartocciamento verso il basso del lembo fogliare, necrosi e disseccamento del margine e, nei casi più gravi, filloptosi anticipata. Questi danni hanno conseguenze sullo sviluppo della pianta, anche per una ridotta lignificazione dei tralci, e sulla produzione sia a livello quantitativo (diminuzione del peso medio degli acini) sia qualitativo (insufficiente maturazione dell'uva con conseguente riduzione del grado zuccherino e aumento dell'acidità totale dei mosti). L'esito dell'attacco della Cicalina verde sulle piante di vite dipende da molti fattori, quali epoca, durata e livello dell'infestazione, vitigno, portainnesto, vigore vegetativo delle piante, contemporanea presenza di stress idrici. In generale i maggiori danni sono causati dalla 2ª generazione, in concomitanza di andamenti climatici caldo-asciutti.

Controllo: il controllo della Cicalina verde è generalmente di tipo chimico ed è mirato contro la 2ª generazione. Deve prevedere una fase di monitoraggio con trappole cromotropiche e campionamento su 100 foglie, mediane e basali, soprattutto nel mese di luglio. La soglia di intervento è di circa 2 individui per foglia. I trattamenti possono essere abbinati agli interventi contro tignola e/o tignoletta della vite, utilizzando principi attivi registrati per questi fitofagi. Nei vigneti a conduzione biologica un'azione di controllo della Cicalina verde è esercitata da alcune specie di imenotteri parassitoidi e di rincoti antocoridi predatori.

Cicalina gialla della vite (Fig. 10.8 ▲)

Zygina rhamni Ferrari

Caratteri morfologici: gli adulti sono lunghi circa 3 mm, di colore giallino con bande longitudinali arancio sul torace e sulle ali anteriori. Gli stadi giovanili sono di colore crema.



Fig. 10.8 - Foglie di vite con differenti alterazioni cromatiche dovute ad attacchi di cicaline. Nei cerchi, da sinistra verso destra, sono raffigurati adulti di: *Empoasca vitis*, *Zyginia rhamnii*, *Scaphoideus titanus* e *Hyalestes obsoletus*.

Piante ospiti: vite.

Ciclo biologico: l'insetto sverna come adulto su piante arboree ed erbacee (soprattutto rose e rovi); in primavera, alla ripresa della vegetazione, gli adulti si portano sulle piante di vite e le femmine depongono le uova, allungate (0,5 mm circa) e di colore biancastro, all'interno delle nervature delle foglie; in media ciascuna femmina depone 30-40 uova. L'insetto compie tre generazioni all'anno, la 1^a in giugno, la 2^a in luglio e la 3^a a fine agosto - metà settembre.

Danni: la Cicalina gialla è una specie mesofillomiza, pertanto il danno è determinato dalle punture trofiche, soprattutto delle forme giovanili che sono più stanziali, le quali sottraggono i succhi cellulari dal parenchima

fogliare. Sulle foglie attaccate sono visibili macchie chiare che progressivamente diventano giallo-arancio. In caso di elevati livelli di popolazione, in genere poco frequenti, l'evoluzione dell'attacco può comportare una filloptosi anticipata con danno alla produzione.

Controllo: generalmente il controllo della specie non richiede trattamenti chimici, sia per il danno trascurabile, sia per la presenza di numerosi nemici naturali, soprattutto imenotteri parassitoidi, che ne limitano le popolazioni. Qualora fosse necessario, si può ricorrere ad un controllo simile a quanto riportato per *E. vitis*.

Cicalina africana della vite

Jacobiasca lybica (Berg. & Zan.)

Caratteri morfologici: gli adulti sono lunghi

2,5-3 mm, di colore verde chiaro con punteggiature bianche sul capo e sul torace. Gli stadi giovanili sono verde chiaro virante al giallo.

Piante ospiti: polifago; la specie è particolarmente dannosa per il cotone (in Egitto e Sudan), per le solanacee (in Israele) e per la vite (Nord Africa ed Europa mediterranea).

Ciclo biologico: la cicalina africana sverna come adulto su numerose piante erbacee e arbustive; in primavera si sposta nuovamente sulle piante ospiti, tra cui la vite, dove le femmine dopo l'accoppiamento depongono le uova, subcilindriche e di colore verdognolo, in modo isolato all'interno delle nervature della pagina inferiore delle foglie. Compie numerose generazioni all'anno, fino a 11 in Egitto, in funzione delle condizioni climatiche e delle piante ospiti; le generazioni spesso si sovrappongono. In Sicilia e Sardegna compie 4-5 generazioni.

Danni: il danno è determinato dalle punture trofiche, soprattutto delle forme giovanili, sulle nervature delle foglie (la cicalina africana è una specie floemomiza), che impediscono il regolare flusso della linfa elaborata. Le foglie attaccate manifestano progressivamente: ingiallimento dei tessuti nei vitigni bianchi e arrossamento nei vitigni rossi, accartocciamento verso il basso del lembo fogliare, necrosi del margine, disseccamento e filloptosi. La manifestazione di questi sintomi compare dopo 2-3 settimane dall'inizio degli attacchi e procede dal margine verso il centro della foglia. L'attacco determina danni qualitativi e quantitativi alla produzione come riportato per la Cicalina verde. In Sicilia, tra le varietà più sensibili all'attacco della Cicalina africana sono riportate alcuni vitigni a bacca rossa (Nero d'Avola, Syrah, Merlot), soprattutto i

giovani impianti. Per quanto riguarda i vitigni a bacca bianca gravi danni sono stati osservati in alcuni impianti giovani e irrigui di Chardonnay a maturazione precoce.

Controllo: gli antagonisti naturali, soprattutto parassitoidi imenotteri mimaridi del genere *Anagrus* sp., non riescono a limitare adeguatamente le popolazioni della Cicalina africana, per cui spesso si deve ricorrere a trattamenti con prodotti registrati ed utilizzabili in agricoltura biologica, come riportato per *E. vitis*.

Cicalina della Flavescenza dorata - Scafoideo (Fig. 10.8 ◀)

Scaphoideus titanus (Ball.)

Caratteri morfologici: gli adulti sono molto più grandi degli altri cicadellidi ampelofagi, sono lunghi infatti circa 6 mm; sono di colore bruno con striature bruno-rossicce trasversali e macchie bianche su ali, torace e parte terminale dell'addome. Gli stadi giovanili sono bianco-giallino e più piccoli.

Piante ospiti: polifago nella zona di origine; vite in Europa.

Ciclo biologico: la cicalina sverna come uovo (reniforme, di colore chiaro e lungo circa 1 mm) sotto il ritidoma del legno di due anni, più raramente di quello più vecchio. In primavera, (circa terza decade di maggio in Italia settentrionale e centrale) le uova schiudono scalaramente e le neanidi si spostano sulla nuova vegetazione. Gli adulti compaiono a luglio e sono presenti fino a settembre. Generalmente, le femmine compaiono circa dieci giorni dopo i maschi e dopo l'accoppiamento depongono le uova. La specie compie una generazione all'anno. Le forme giovanili vivono preferibilmente sulla pagina inferiore delle foglie, nelle parti più in ombra della vegeta-

zione, nutrendosi sulle nervature secondarie delle foglie (specie floemomiza), mentre le ninfe e gli adulti si alimentano su quelle principali, nonché su tralci verdi e piccoli fogliari. Gli adulti tendono ad aggregarsi all'interno del vigneto e possono disperdersi attivamente in un raggio non superiore a 40 m. Tuttavia, in particolari condizioni di vento e in assenza di barriere fisiche quali siepi o boschi, possono coprire maggiori distanze.

Danni: il danno è determinato dalle punture trofiche con cui adulti e stadi preimmaginali succhiano la linfa dalle nervature fogliari e dai giovani germogli. I sintomi che si manifestano sulla pianta attaccata sono alterazioni cromatiche e necrosi sul margine delle foglie simili a quanto descritto per le altre cicaline floemomize. Tuttavia, la specie risulta notevolmente pericolosa in quanto è capace di trasmettere il fitoplasma responsabile della Flavescenza Dorata. La trasmissione è di tipo persistente propagativa. Ad acquisire il fitoplasma da piante infette sono le ninfe (3^a e 4^a età) che dopo un periodo di latenza di 28-35 giorni sono in grado di inoculare, tramite saliva, il fitoplasma su piante sane.

Controllo: per la sua capacità di trasmettere il fitoplasma, il controllo dello Scafoideo è soggetto a protocolli di lotta obbligatoria per il contenimento della Flavescenza Dorata, regionali o provinciali, a cui bisogna attenersi rigorosamente. Questi prevedono inizialmente controlli di tipo agronomico che consistono nell'estirpazione delle piante con sintomi della malattia, eliminazione dei tralci con le uova svernanti, dei polloni che possono essere colonizzati dagli individui giovani, di eventuali piante abbandonate o selvatiche che possono essere serbatoio del fitoplasma.

È importante effettuare continui controlli nel vigneto per verificare la presenza del fitofago, tramite monitoraggio con trappole cromotropiche, circa 3 ad ettaro, e controlli visivi delle forme giovanili sulle foglie, 100 foglie per ettaro. I trattamenti biologici previsti dai protocolli prevedono interventi contro individui giovani prima che diventino infettivi o contro individui adulti provenienti da zone limitrofe. I trattamenti con i prodotti ammessi per le produzioni in regime di agricoltura biologica sono generalmente collocati tra la metà di giugno e l'inizio di luglio, spesso in coincidenza con gli interventi contro la seconda generazione delle tignole. È in fase di sperimentazione una strategia di confusione sessuale basata non su emissione di feromoni ma sull'emissione di suoni, sfruttando il comportamento delle cicaline.

- Cixidi

Cicalina del legno nero - laleste

(Fig. 10.8 ▲) - *Hyalestes obsoletus* Signoret

Caratteri morfologici: gli adulti sono lunghi 4-5 mm, hanno il corpo grigio-nero, occhi rossi evidenti, ali membranose, zampe chiare con macchie scure. Gli stadi giovanili sono di colore bianco con raggi cerosi nella parte terminale dell'addome.

Piante ospiti: diverse specie erbacee, tra cui convulvolo (*Convolvulus arvensis*) e ortica (*Urtica dioica*), che è la pianta ospite principale in Italia; la vite è un ospite occasionale.

Ciclo biologico: la cicalina sverna come stadi giovanili nel terreno, sulle radici delle piante ospiti, a una profondità di circa 10-15 cm. La presenza nel terreno di micro cavità e sostanza organica favorisce lo sviluppo degli stadi giovanili in quanto garantisce arieggia-

mento e umidità; al contrario condizioni di ristagno idrico e di elevata densità di vegetazione ne contrastano lo sviluppo. All'inizio della primavera gli stadi giovanili si spostano in superficie, sulla vegetazione delle piante erbacee ospiti. Gli adulti sfarfallano da fine giugno a fine agosto e si spostano su altre piante ospiti, tra queste occasionalmente anche la vite, dove continuano ad alimentarsi. I maschi sono più attivi delle femmine e sono quindi capaci di una maggiore dispersione nell'agroecosistema. A fine autunno gli adulti tornano sulle piante erbacee ospiti primari e le femmine depongono le uova in piccoli gruppi in prossimità del colletto. Sulla vite pertanto la presenza della cicalina è occasionale e limitata agli adulti migranti, in quanto la specie per completare il ciclo biologico necessita di altre piante erbacee.

Danni: i danni diretti sulla vite sono limitati a punture trofiche degli adulti, abbastanza tollerati dalle piante. La cicalina tuttavia risulta molto pericolosa in quanto vettore del fitoplasma del sottogruppo Stolbur (16SrXII-A), responsabile della malattia del Legno Nero. Generalmente il fitoplasma è acquisito dalle forme giovanili da piante infette erbacee spontanee, fra cui ortica e convolvolo, e può essere trasmesso accidentalmente alla vite dagli adulti infetti. La trasmissione è di tipo persistente propagativo.

Controllo: Per verificare la presenza della cicalina nel vigneto si può ricorrere al monitoraggio con trappole cromotropiche o al campionamento con la tecnica del frapping (tecnica che consiste nell'energico scuotimento della vegetazione, ad esempio con un retino entomologico, e nella raccolta e osservazioni degli individui catturati). Il controllo

della cicalina risulta difficile per via della sua polifagia e per via del fatto che le principali piante ospiti sono comunemente presenti nei vigneti o nelle zone limitrofe. Pertanto i principali interventi dovrebbero prevedere l'eliminazione delle piante ospiti erbacee attraverso sfalci frequenti, lavorazioni del terreno, inerbimenti selettivi e/o diserbo prima della comparsa degli adulti. Interventi chimici con prodotti autorizzati possono essere efficaci solo se eseguiti nei confronti delle forme giovanili dell'insetto su piante erbacee. In campo sono presenti potenziali nemici naturali, quali alcuni parassitoidi imenotteri drinidi, mimaridi e tricogrammatidi, ma il loro ruolo nel contenimento delle popolazioni della cicalina non è ancora valutabile.

- Altre cicaline

Nel vigneto possono essere presenti altre specie di cicaline che possono arrecare danni alle piante. Tra queste vanno ricordate: *Philaenus spumarius* (L.), comunemente nota come Sputacchina, per via della schiuma (sostanze liquide secrete dall'insetto inglobanti aria) che ricopre e protegge il corpo dell'insetto, possibile vettore di *Xylella fastidiosa*, agente della malattia di Pierce; *Dictyophara europaea* (L.), Dictiofora, riportata come possibile vettore della Flavescenza Dorata; *Metcalfa pruinosa*, già descritta nella sezione agrumi, dannosa alla vite per le punture trofiche e per i danni indiretti dovuti alla produzione di cera e all'emissione di grandi quantità di melata che vanno ad imbrattare le foglie e soprattutto i grappoli e che determinano il successivo sviluppo di fumaggini con conseguente annerimento delle superfici e riduzione dell'attività fotosintetica; *M. pruinosa* è in grado di acquisire alcuni virus (GLRaV-3 e GFLV) e fitoplasm

(Flavescenza dorata e Stolbur) associati alla vite ma non sembra in grado di trasmetterli alle piante sane.

10.2.4 - XILOFAGI E RIZOFAGI

Bostrico della vite (Fig. 10.9 ▼)

Sinoxylon perforans Schrank

Caratteri morfologici: gli adulti hanno un corpo tozzo, di forma subellittica, con capo incassato nel torace; sono di colore nero con elitre bruno-rossicce coperte da peluria grigia. Le femmine sono lunghe 5-7 mm, i maschi sono un po' più piccoli. Le uova sono allungate (circa 2 x 0,3 mm), bianche con corion liscio. Le larve sono bianche con capo bruno e ricurve; a maturità sono lunghe circa 6-8 mm. La pupa è inizialmente bianca poi con lo sviluppo diventa scura.

Piante ospiti: vite e numerose specie arboree fruttifere e forestali.

Ciclo biologico: il Bostrico della vite sverna come adulto all'interno di piccole gallerie, dette covacci, scavate in tralci lignificati. In primavera, generalmente nel mese di aprile, gli adulti fuoriescono dai covacci e scavano le gallerie di riproduzione nei tralci secchi o nei residui della potatura, preferendo quelli di diametro di 2-3 cm. Normalmente la galleria ha un primo tratto parallelo all'asse del tralco e poi corre ad anello intorno ad un nodo; la femmina si occupa dello scavo mentre il maschio mantiene pulita la galleria. Dopo l'accoppiamento, che avviene all'esterno della galleria o nel primo tratto, la femmina depone le uova, partendo dal fondo della galleria. In media ciascuna femmina scava 5-6 gallerie su uno o più tralci, in ciascuna delle quali depone alcune decine di uova. Le larve scavano gallerie parallele alle fibre del legno che possono raggiungere la lunghezza di 10-15 cm.



Fig. 10.9 - Rametto di vite spezzato a seguito di attacco di *Sinoxylon perforans* il cui adulto è raffigurato nel cerchio.



A maturità si impupano in piccole cellette alla fine delle gallerie. I nuovi adulti sfarfallano a fine estate in maniera scalare, essendo lungo il periodo della deposizione delle uova; questi si spostano sui tralci già lignificati, in genere dell'anno in corso, e scavano al loro interno gallerie di alimentazione, circa 5-6 ad adulto, nella zona midollare, lunghe alcuni centimetri in senso longitudinale e che hanno il foro di

ingresso in corrispondenza di una gemma o del punto di biforcazione dei tralci. Quindi, all'inizio dell'autunno, scavano i covacci per lo svernamento.

Danni: i danni sono dovuti alle gallerie scavate dagli adulti che, oltre a problemi fisiologici (riduzione o blocco della circolazione della linfa), possono creare problemi meccanici, rottura dei tralci, soprattutto nelle forme di allevamento che prevedono piegatura dei tralci (allevamento a Guyot). Gli attacchi sono maggiormente dannosi in corrispondenza di condizioni climatiche che portano ad un indebolimento delle piante e nelle condizioni di allevamento che prevedono il mantenimento dei residui di potatura, in quanto questi diventano substrato idoneo al completamento del ciclo biologico del bostrico (in alcune forme di allevamento i sarmenti sono lasciati legati ai fili di sostegno delle piante per permettere un migliore ancoraggio alla nuova vegetazione).

Controllo: la lotta contro il Bostrico della vite è soprattutto di tipo agronomico e prevede

il mantenimento dei residui di potatura sotto forma di fascine da posizionare in prossimità delle piante, a terra o legate ai tutori, per attrarre gli adulti in cerca di substrati per le deposizioni delle uova. Prima dello sviluppo dei nuovi adulti le fascine vengono rimosse e bruciate. Per evitare di fornire siti favorevoli alla deposizione delle uova da parte del bostrico è sconsigliabile l'accatastamento di legno di potatura o il mantenimento di piante morte o abbandonate nelle vicinanze del vigneto.

- Altre specie

Danni pressoché identici a quelli del Bostrico della vite possono essere compiuti da *Sinoxylon sexdentatum* Olivier, Bostrico dai 6 denti, la cui morfologia e biologia, nonché la difesa da attuare, sono molto simili a quelli dell'altro bostrico. Sulle radici, infine, si possono verificare occasionali attacchi da parte di alcuni coleotteri cerambicidi appartenenti al genere *Vesperus*. Gli attacchi possono risultare di una certa dannosità solo in vivaio e nei nuovi impianti. ■

INDICE ANALITICO

A

Addome - 18.
Adulto - 69, 77, 79, 80, 81.
Afide bruno degli agrumi - 201.
 delle cucurbitacee - 201.
 verde degli agrumi - 200.
Ageniaspis citricola - 198.
 fuscicollis - 193, 218.
Agenti di controllo biologico - 92, 98.
Agricoltura biologica - 93, 170.
Agroecosistemi - 91.
Agromizidi - 188.
Aleurodide degli agrumi - 211.
 fiocoso degli agrumi - 210.
 giapponese degli agrumi - 211.
Aleurolobus olivinus - 228.
Aleurothrixus floccosus - 210.
Ali - 44.
Allelochimici - 123.
Allomoni - 123.
Altica ampelophaga - 240.
Altica della vite - 240.
Amitus minervae - 228.
 spiniferus - 211.
Anagyrus fusciventris - 210.
 pseudococci - 248.
Anomala vitis - 241.
Antenna aristata - 25.
 bipettinata - 24.
 clavata - 24, 25.
 moniliforme - 24.
 verticillata - 25.
Anthocoris nemoralis - 218, 224, 228.
Antispila oinophylla - 240.
Aonidiella aurantii - 202.
 citrina - 204.
Apantheles xantostigma - 218, 224, 228.
Apate monachus - 218, 224, 228.
Aphis citricola - 218, 224, 228.
 craccivora - 201.

fabae - 201.
 gossypii - 201.
 spiraecola - 200.
Aphytis chilensis - 206.
 chrysomphali - 204.
 coheni - 204.
 hispanus - 206.
 maculicornis - 206.
 melinus - 206.
 paramaculicornis - 227.
Apotetrastichus spp - 198.
Apparato boccale - 25.
 dilaniante - 36.
 fitofago - 28.
 lambente - 29.
 lambente succhiante - 31.
 masticatore - 26.
 pungente succhiante - 33, 34, 35.
 succhiante non perforante - 32.
Archips rosanus - 198.
Argyrotaenia ljugiana - 237.
Aspidiotus nerii - 204.
Asymmetrasca (=Empoasca) decedens - 212.
Aulacorthum solani - 201.
Azothus matritensis - 246.

B

Bacillus thuringiensis - 131.
Bactrocera oleae - 218.
Baculoviridae - 136.
Batteri - 131.
Beauveria bassiana - 140, 176.
Biodiversità - 13.
Biostimolanti - 177.
Bostrico dai 6 denti - 231, 255.
 della vite - 254.
Botrytis cinerea - 238.
Byctiscus betulae - 239.

C

- Cairomoni** - 123.
Cales noacki - 211.
Cantaride - 223.
Capacità di penetrazione nella pianta - 145.
Capo - 23.
Carruga della vite - 241.
Cecidomia fogliare della vite - 242.
Ceratitis capitata - 194.
Ceroplaste - 206.
Ceroplastes rusci - 207.
 sinensis - 206.
Cetoniella glabra - 196.
Chelonus elaeaphilus - 193.
Chemiorcettori - 65, 107.
Chilocorus bipustulatus - 204, 226, 246.
***Chrysocharis* spp.** - 198.
Chrysomphalus dictyospermi - 204.
Chrysoperla carnea - 104, 218.
Cicalina africana della vite - 250.
 della **flavescenza dorata** - 251.
 del **legno nero** - 252.
 gialla della vite - 249.
 verde degli agrumi - 212.
 verde della vite - 249.
Cimice verde puzzolente - 191.
Cimicidi - 183.
Cirrospilus diallus - 198.
 pictus - 198.
Clava - 25.
Cleonus elaphilus - 218.
Clithrothetus arcuatus - 211.
Cocciniglia bassa degli agrumi - 207.
 bassa marezzata degli agrumi - 207.
 bianca del limone - 204.
 bianca-rossa degli agrumi - 204.
 cotonosa solcata - 202.
 del fico - 207.
 elmetto degli agrumi - 206.
 farinosa della vite - 246.
 gialla degli agrumi - 204.
 globo-striata di vite - 248.
 grigia degli agrumi - 205.
 mezzo grano di pepe - 225.
 nera della vite - 246.
 nera puntiforme degli agrumi - 205.
 ovale grigia dei fruttiferi - 226.
 rossa forte degli agrumi - 202.
 serpetta - 205.
 tuberculiforme dell'olivo - 227.
 virgola degli agrumi - 205.
Coccophagus lycimnia - 206.
 moeris - 246.
 similis - 246.
Coccus hesperidum - 207.
 pseudomagnolarium - 207.
Controllo biologico - 150.
 classico - 153.
 conservativo - 159.
 inoculativo - 156.
 inondativo - 158.
Controllo Integrato - 165.
Coreidi - 183.
Cossus cossus - 191, 213.
Cotonello citrofilo - 209.
 longiraggiato delle serre - 209, 210.
 degli agrumi - 208.
 dell'olivo - 227.
Cryptoblabes gnidiella - 196.
Cryptolaemus montrouzieri - 114, 158, 209, 248.
Cuticola - 19.
Cuticolina - 21.

D

- Daktulosphaira vitifoliae*** - 244.
Deuteromycotina - 140.

Dialeurodes citri - 211.
Dictyophara europaea - 253.
 Dinamica di popolazione - 96.

E

Elasmus steffani - 218.
 Elitre - 44.
 Emielitre - 44, 183.
 Emolinfa - 52.
Encarsia citrina - 206.
 inquirenda - 206.
 lahorensis - 211.
 olivina - 228.
Encyrtus euphyllurae - 228.
 Endocuticola - 21, 78.
 Epidermide - 22.
Eretmocerus debachi - 211.
 Esocuticola - 21.
 Esoscheletro - 18.
 Eterotteri - 44, 182, 183.
Eublemma scitula - 206.
Eupelmus urozonus - 219.
Euphyllura olivina - 227.
Eupoecilia ambiguella - 233.
Eurytoma martellii - 219.
Euzophera pinguis - 215.
Exochomus quadripustulatus - 205, 226, 246.

F

Feromoni - 116.
Filippia follicularis - 228.
 Fillossera della vite - 244.
 Fitotossicità - 145.
 Flagello - 24.
 Flagellomeri - 24.
 Fleotribo - 229.

Fotorecettori - 65.
 Funghi - 21, 38, 138, 139, 140, 158, 179.
 Funicolo - 25.

G

Ghiandole a feromoni - 69.
 ceripare - 69.
 laccipare - 69.
 protoraciche - 68.
 salivari - 70.
 sericipare - 70.
 Grande cocciniglia cotonosa degli agrumi - 202.

H

Heliothrips haemorrhoidalis - 199.
Holocacista rivillei - 240.
Hyadaphis coriandri - 201.
Hyalestes obsoletus - 252.
Hylesinus oleiperda - 231.
Hyphantria cunea - 240.

I

Icerya purchasi - 202.
Ifantria americana - 240.
 Igrorecettori - 65.
 Infrastrutture ecologiche - 172.
 Insetticidi - 144.
Itoplectis alternans - 218.

J

Jacobiasca lybica - 250.
Janetiella oenophila - 242.

L

Larva apode - 81, 82.
 oligopode - 82.

polipode - 82.
Lepidosaphes beckii - 205.
 gloverii - 205.
 ulmi - 228.
Leptomastix dactylopii - 115, 209, 234, 248.
Leptomastoidea abnormis - 209.
Leucaspis riccae - 228.
Lichtensia viburni - 228.
Lindorus lophantae - 205, 248.
Liothrips oleae - 224.
Lobesia botrana - 233.
Localizzazione della preda - 100.
Localizzazione dell'ospite - 106.
Lysiphlebus confusus - 201.
 fabarum - 201.
 testaceipes - 157, 201.
Lyta vesicatoria - 223.

M

Macrosiphum euphorbiae - 201.
Maggiolino - 241.
Margaronia dell'olivo - 221.
Meccanismi di difesa delle piante - 166.
Meccanorecettori - 64.
Melolontha melolontha - 241.
Membrana basale - 22.
Mesentero - 58.
Metamorfosi - 79.
Metaphycus bartletti - 206.
 helvolus - 206.
 lounsburyi - 206.
Metcalfa - 212.
Metcalfa pruinosa - 212.
***Metricochroa latifoliella* (= *Oecophyllem-
bius latifoliellius*)** - 215.
Mezzi agronomici - 146.
Microorganismi entomopatogeni - 130.

Minatrice delle foglie dell'olivo - 215.
 serpentina degli agrumi - 196.
Modalità di azione - 133.
Modalità di penetrazione - 146.
Modalità di predazione - 102.
Moranila californica - 206.
**Mosca bianca fioccosa
degli agrumi** - 210.
 dell'olivo - 218.
 mediterranea della frutta - 194.
Muta - 78.
Myzus persicae - 201.

N

Nefrociti - 61.
Nematodi Entomopatogeni - 140.
 Mermitidi - 143.
 Neotylenchidi - 143.
 Rhabditidi - 141.
Nemorilla maculosa - 222.
Neodryinus typhlocybae - 212.
Neuroni - 62.
Nezara viridula - 108, 119, 191.

O

Opius concolor - 195, 219.
Organi di senso - 64.
Organo di Johnston - 24.
Orius laevigatus - 243.
Ormoni - 68.
Otiorrhynchus cribricollis - 199, 215, 231.
 sulcatus - 241.
Ovideposizione - 74.
Ovopositore di sostituzione - 48.
 morfologico - 46.
Oxythyrea funesta - 191, 196.
Oziorrinco - 191, 199, 215, 223, 231, 241.

P

- Palpita unionalis* - 221.
Parabemisia myricae - 211.
 Parassitoidei - 91, 99, 104, 150.
Parlatoria oleae - 226.
 pergandei - 205.
 zizyphus - 205.
Parthenolecanium corni - 248.
 Pedicello - 24.
Penichroa fasciata - 213.
Pezothrips kellyanus - 200.
Pharoscyrnus pharoides - 227.
Philaenus spumarius - 253.
Phloeotribus scarabaeoides - 229.
Phyllocnistis citrella - 196.
 vitegenella - 240.
Phylloxera vastatrix - 244.
 Piralide dell'olivo - 215.
 Planococco della vite - 246.
Planococcus citri - 208.
 ficus - 246.
Pnigalio agraulis - 219.
 mediterraneus - 219.
Pollinia pollinii - 227.
Prays citri - 193.
 oleae - 217.
 Predatori - 91, 99, 100, 150.
 Proctodeo - 58.
 Procuticola - 21.
 Prodotti chimici - 144.
 Prodotti fitosanitari - 173.
Prospaltella inquirenda - 227.
Pseudococcus calceolariae - 209.
 longispinus - 209.
 Pseudozampe - 48.
Psytalia (= Opius) concolor - 219.

humilis - 220.

Pulvinaria della vite - 248.

Pulvinaria vitis - 248.

Punteruolo dell'olivo - 229.

 nero dell'olivo - 231.

Pupe - 83.

exarata - 83.

obtecta - 83.

R

Ratzeburgiola incompleta - 198.

Respirazione - 55.

Rhizotrogus rugifrons - 213.

Rhopalosiphum maidis - 201.

Riconoscimento dell'ospite - 104, 108.

Riproduzione - 72, 112.

Rodilegno giallo - 228.

 rosso - 213.

Rodolia cardinalis - 102, 154, 202.

S

Sacchi aerei - 54.

Saissetia oleae - 225.

Scapo - 24.

Scutellista cyanea - 206, 226.

Scymnus includens - 209.

Selettività - 146.

Semiolachar petiolatus - 110, 198.

Semiochimici - 116, 125.

Sigaraio della vite - 239.

Sinomoni - 124.

Sinoxylon sexdentatum - 231, 255.

Sistema cardio-aortico - 68.

 circolatorio - 51.

 digerente - 56.

 endocrino - 67.

escretore - 59.
esocrino - 69.
muscolare - 51.
nervoso - 61.
nervoso centrale - 62.
nervoso periferico - 63.
neuroendocrino cerebrale - 67.
respiratorio - 53.
riproduttore - 70.
riproduttore femminile - 71.
riproduttore maschile - 71.
viscerale o simpatico - 63.
Sparganothis pilleriana - 240.
Spiracoli - 53.
Spodoptera littoralis - 240.
Stomodeo - 56, 57, 63, 68, 77, 187.
Sviluppo embrionale - 68.
 post-embrionale - 77.

T

Termorecettori - 65.
Tetrastichus ceroplastae - 206.
 gentilei - 224.
Theresimima ampelophaga - 238.
Thrips tabaci - 200.
Tignola degli agrumi - 193.
 della vite - 237.
 dell'olivo - 215, 216.
 media dell'olivo - 215.
 verde dell'olivo - 221.
Tignoletta della vite - 233.
Torace - 38.
Tortrice dei germogli - 198.
 della vite - 240.
Torulo - 24.
Tossicità - 146.
Toxoptera aurantii - 201.

Trachee - 54.
Tracheole - 54.
Trasmissione impulso nervoso - 63.
Trasmissione non persistente - 186.
 persistente circolativa - 187.
 persistente propagativa - 187.
 propagativa transovarica - 188.
Tricoferus griseus - 213.
Tripide americano - 242.
 degli agrumi - 199.
 della vite - 242.
 delle serre - 199.
 dell'olivo - 224.
Tropinota hirta - 196.
 squallida - 196.
Tubi Malpighiani - 70.

V

Vaso dorsale - 52.
Verme della zagara - 191.
Virus - 136.
 della Granulosi - 137.
 della Poliedrosi - 136.
Viteus vitifoliae - 244.
Viteus vitifolii - 244.

X

Xylella fastidiosa - 253.

Z

Zampe - 39, 40.
Zelleria oleastrella - 215.
Zeuzera pyrina - 213.
Zigena della vite - 238.
Zygina rhamnii - 249.
Zygomycota - 139. ■

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- Benuzzi M & Ladurner E (2017) 2 Plant Protection Tools in Organic Farming. Handbook of Pest Management in Organic Farming 2016: 24.
- Bono G, Ammavuta G, Federico R & Spatafora F (2005) Le cicaline verdi della vite in Sicilia occidentale. *Informatore agrario* (30): 63-66.
- Caleca V & Tsolakis H (2016) Insetti fitofagi, il controllo nell'olivicoltura biologica. *Olivo & olio*: 20-23.
- Chapman RF (1998) *The insects: structure and function*. Cambridge University press.
- Colazza S, Shields MW, Peri E & Cusumano A (2017) Ecosystem Services Provided by Unmanaged Habitats in Agricultural Landscapes. *Environmental Pest Management: Challenges for Agronomists, Ecologists, Economists and Policymakers*: 153.
- Duke SO (2017) Summing up the past year for Pest Management Science. *Pest management science* 73: 7-8.
- Guarino S, Peri E & Colazza S (2017) Plant and Stink Bug Interactions at Different Trophic Levels. *Stinkbugs: Biorational Control Based on Communication Processes*.
- Gurr GM, Wratten SD, Landis DA & You M (2017) Habitat management to suppress pest populations: progress and prospects. *Annual review of entomology* 62: 91-109.
- Haynes K & Birch M (1985) The role of other pheromones, allomones and kairomones in the behavioral responses of insects. *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology* 9: 225-255.
- Hilker M & Fatouros NE (2015) Plant responses to insect egg deposition. *Annual review of entomology* 60: 493-515.
- Holland JM, Bianchi FJ, Entling MH, Moonen AC, Smith BM & Jeanneret P (2016) Structure, function and management of semi-natural habitats for conservation biological control: a review of European studies. *Pest management science* 72: 1638-1651.
- Jervis MA (2007) *Insects as natural enemies: a practical perspective*. Springer Science & Business Media.
- Kaiser L, Ode P, van Nouhuys S, Calatayud P-A, Colazza S, Cortesero A-M, Thiel A & van Baaren J (2017) The plant as a habitat for entomophagous insects, Vol. 81: *Advances in Botanical Research* (ed. Elsevier, pp. 179-223).
- La Torre A, Battaglia V & Caradonia F (2016) An overview of the current plant biostimulant legislations in different European Member States. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96: 727-734.
- Lo Pinto M & Agrò A (2013) Le infrastrutture ecologiche come elemento funzionale nella gestione della biodiversità degli agrosistemi, con particolare riferimento al vigneto. *Protezione delle Colture* 4: 15-25.
- Lockeretz W (2007) *Organic farming: an international history*. CABI.

- Lorito M, Woo SL, Harman GE & Monte E (2010) Translational research on Trichoderma: from 'omics to the field. *Annual review of phytopathology* 48: 395-417.
- Lucchi A (2014) *Note di entomologia viticola*. Pisa University Press.
- Mathews CR, Blaauw B, Dively G, Kotcon J, Moore J, Ogburn E, Pfeiffer DG, Trope T, Walgenbach JF & Welty C (2017) Evaluating a polyculture trap crop for organic management of *Halyomorpha halys* and native stink bugs in peppers. *Journal of Pest Science* 90: 1245-1255.
- Matyjaszczyk E (2018) Plant protection means used in organic farming throughout the European Union. *Pest management science* 74: 505-510.
- Movements IfoOA (1977) *International Federation of Organic Agriculture Movements: IFOAM*. Müller.
- Parolin P, Bresch C, Desneux N, Brun R, Bout A, Boll R & Poncet C (2012) Secondary plants used in biological control: a review. *International Journal of Pest Management* 58: 91-100.
- Pollini A (1998) *Manuale di entomologia applicata*. Edagricole-Edizioni Agricole.
- Price PW & Price PW (1975) *Insect ecology*. Wiley New York.
- Rahmann G, Ardakani MR, Bàrberi P, Boehm H, Canali S, Chander M, David W, Dengel L, Erisman JW & Galvis-Martinez AC (2017) Organic Agriculture 3.0 is innovation with research. *Organic Agriculture* 7: 169-197.
- Riolo P, Minuz R, Nardi S & Isidoro N (2015) Innovazioni nella difesa integrata per il controllo degli insetti dannosi. In: *La Nuova Viticoltura Edagricole*, Bologna
- Roderick GK & Navajas M (2003) Genes in new environments: genetics and evolution in biological control. *Nature Reviews Genetics* 4: 889.
- Scala F & Lorito M (2015) Applicazione di microorganismi antagonisti per il controllo delle malattie delle piante e prospettive di sviluppo. *i georgofili*: 43.
- Stenberg JA (2017) A conceptual framework for integrated pest management. *Trends in plant science* 22: 759-769.
- Tremblay E (2003) *Entomologia applicata*. Liguori.
- Vacante V & Benuzzi M (2007) *Difesa delle colture in serra*. Edagricole.
- Vacante V & Kreiter S (2017) *Handbook of Pest Management in Organic Farming*. CABI.
- Viggiani G (1997) *Lotta biologica e integrata nella difesa fitosanitaria*. Liguori.
- Wajnberg E & Colazza S (2013) *Chemical ecology of insect parasitoids*. John Wiley & Sons.
- Witzgall P, Kirsch P & Cork A (2010) Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of chemical ecology* 36: 80-100.
- Yakhin OI, Lubyantsev AA, Yakhin IA & Brown PH (2017) Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science* 7: 2049.
- Zehnder G, Gurr GM, Kühne S, Wade MR, Wratten SD & Wyss E (2007) Arthropod pest management in organic crops. *Annu. Rev. Entomol.* 52: 57-80. ■

FONTI DELLE ILLUSTRAZIONI

- Beard J (1989) Viral protein knocks the guts out of caterpillars: New Scientist Publ Expediting INC 200 Meacham Ave, Elmont, NY 11003.
- Blaxter M (2003) Molecular systematics: counting angels with DNA. *Nature* 421: 122.
- Chapman RF (1998) *The insects: structure and function*. Cambridge university press.
- Davies, R.G., (1995), *Lineamenti di Entomologia*, Bologna, Zanichelli.
- Fiori G, Bin F & Sensidoni A (1983) *Atlante entomologico: morfologia esterna*. Galeno Editrice.
- Gullan PJ & Cranston PS (2014) *The insects: an outline of entomology*. John Wiley & Sons.
- Haase S, Sciocco-Cap A & Romanowski V (2015) Baculovirus insecticides in Latin America: historical overview, current status and future perspectives. *Viruses* 7: 2230-2267.
- Haynes K & Birch M (1985) The role of other pheromones, allomones and kairomones in the behavioral responses of insects. *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology* 9: 225-255.
- Helm BR & Davidowitz G (2013) Mass and volume growth of an insect tracheal system within a single instar. *Journal of Experimental Biology* 216: 4703-4711.
- <https://thebugchicks.com>
- Lucchi A & Mazzoni E (2004) Wax production in adults of planthoppers (Homoptera: Fulgoroidea) with particular reference to *Metcalfa pruinosa* (Flatidae). *Annals of the Entomological Society of America* 97: 1294-1298.
- Peri E, Rochat D, Belušić G, Ilic M, Soroker V, Barkan S, Guarino S, Bue PL & Colazza S (2017) *Rhynchophorus ferrugineus*: Behavior, Ecology, and Communication. *Handbook of Major Palm Pests: Biology and Management*: 105-130.
- Poelman EH, van Loon JJ & Dicke M (2008) Consequences of variation in plant defense for biodiversity at higher trophic levels. *Trends in plant science* 13: 534-541.
- Quicke DL (1997) *Parasitic wasps*. Chapman & Hall Ltd.
- Roderick GK & Navajas M (2003) Genes in new environments: genetics and evolution in biological control. *Nature Reviews Genetics* 4: 889. ■

Le immagini delle pagine 10-11, 12, 17, 18, 49, 50, 86, 87-88, 89, 98, 149, 150, 181, 182 sono di **Fabio Pisciotta** - www.fabiopisciotta.eu - © Fabio Pisciotta.

Il disegno della pagina 12 (particolare) è stato realizzato da **Alessia Moschini** e tratto da "Massa Biodiversità: manuale per l'uso" (2010). Darwin ed., Roma.

Le foto di apertura dei capitoli 8,9 e 10 sono state fornite rispettivamente da **Margherita Bianca**, **Ezio Peri** e **Alessandro Lo Genco**.

Nel retro di copertina: adulti di *Parnassius apollo siciliae* Oberthur in accoppiamento. Foto fornita da **Amedeo Falci**. ■

QR Codes

Pag. **14**: Convenzione sulla Biodiversità (sito Web). Pag. **14**: Mantide religiosa (video). Pag. **44**: Elitre (video). Pag. **95**: Regolamento (CE) 834/2007 (PDF®). Pag. **95**: Regolamento (CE) 889/2008 (PDF®). Pag. **95**: Regolamento (CE) 271/2010 (PDF). Pag. **103**: *Crisopa* (video). Pag. **111**: Parassitoidi (video). Pag. **114**: Biofabbrica Koppert (sito Web). Pag. **114**: Biofabbrica Bioplanet (sito Web). Pag. **115**: Biofabbrica Esa (URL). Pag. **118**: Pherobase (sito Web). Pag. **122**: Elettroantennografia (video). Pag. **125**: Trappole a feromoni (video). Pag. **158**: *Trichogramma brassicae* (video). Pag. **173**: Norme IFOAM (PDF®). Pag. **174**: Regolamento (CE) 673/2016(PDF®). Pag. **174**: Sistema Informativo Agricolo Nazionale (sito Web). Pag. **174**: Ministero della Salute (sito Web).





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Dipartimento Scienze
Agrarie, Alimentari e Forestali
SAAF

Stefano Colazza

Ezio Peri

Paolo Lo Bue

Dipartimento Scienze
Agrarie, Alimentari e Forestali
SAAF

Università degli Studi di Palermo

LINEAMENTI DI ENTOMOLOGIA IN AGRICOLTURA BIOLOGICA



PALERMO
UNIVERSITY
PRESS

Edizione, elaborazione grafica
e assistenza alla stampa
Palermo University Press

Finito di stampare presso
Officine Grafiche Soc. Coop. Palermo
nel mese di marzo 2018

© 2018-2020 - Tutti i diritti riservati
Palermo University Press.

Versione digitale gratuita disponibile su
www.unipapress.it

LINEAMENTI
DI ENTOMOLOGIA
IN AGRICOLTURA
BIOLOGICA

PRIMA EDIZIONE

COLLANA DEMETRA

Direttore

Prof. Ettore Barone

Comitato Scientifico

Proff. Luciano Gristina,
Ezio Peri e Luca Settanni

STEFANO COLAZZA
EZIO PERI
PAOLO LO BUE



Il testo, pensato e realizzato per fini prevalentemente didattici, si propone di stimolare e appassionare gli studenti all'entomologia agraria per permettere loro di acquisire le conoscenze basilari per una gestione sostenibile delle produzioni in regime di Agricoltura Biologica.

LINEAMENTI DI ENTOMOLOGIA IN AGRICOLTURA BIOLOGICA



€ 25,00

ISBN 978-88-31919-10-4



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Dipartimento Scienze
Agrarie, Alimentari e Forestali
SAAF