

Relazioni con l'ambiente fisico

Le relazioni tra esseri viventi ed ambiente fisico sono importanti perché condizionano la vita e lo sviluppo dei viventi, agendo quindi anche da fattori di contenimento delle specie. Per gli insetti i fattori fisici che rivestono particolare rilevanza sono la temperatura, l'umidità e la luce.

Il tipo di suolo e le sue caratteristiche chimico-fisiche possono inoltre condizionare l'esistenza degli insetti che vivono nel terreno, per tutto o per parte del loro ciclo vitale. I suoli prevalentemente sabbiosi ed aridi, per esempio, ostacolano la vita di diversi insetti fitofagi come gli Elateridi (Coleotteri) e le Nottue (Lepidotteri) che invece proliferano abbondantemente in quelli ricchi di humus.

Temperatura e umidità

La temperatura è un fattore determinante nella vita degli insetti, infatti essi non posseggono una capacità intrinseca di termoregolazione.

La temperatura è quindi un fattore limitante per gli insetti; tutte le loro attività biologiche si svolgono in funzione del livello termico ambientale che peraltro non deve scostarsi molto dai valori ottimali. In ambienti termici al limite del minimo e massimo vitale gli insetti riducono le proprie attività vitali per superare i momenti di crisi. L'effetto limitante della temperatura è altresì legato all'umidità dell'aria; l'eccessiva aridità dell'atmosfera tende a far disidratare il corpo degli insetti, specialmente se allo stadio larvale.

Luce

Al pari degli altri viventi anche gli insetti sono sensibili alla luce, nei confronti della quale manifestano comportamenti legati sia all'intensità luminosa sia al *fotoperiodo*, cioè alla durata del periodo luminoso (ore di luce al giorno).

Per quanto concerne l'intensità luminosa possiamo distinguere insetti diurni, crepuscolari e notturni; in alcune specie le forme preimmaginali vivono in ambiente privo di luce mentre gli adulti sono diurni. Il fotoperiodo rappresenta un fondamentale regolatore esterno delle attività di sviluppo, riproduzione e adeguamento dei cicli biologici al susseguirsi delle stagioni.

Fenomeno della diapausa

La diapausa è un periodo piuttosto lungo di tempo in cui tutte le attività vitali dell'insetto sono ridotte al minimo. La diapausa rappresenta la

risposta degli insetti alle avverse condizioni ambientali che possono anche essere di natura nutrizionale. Questa sosta è legata alle stagioni: normalmente si tratta di un ibernamento, tuttavia sono possibili anche diapause estive (estivazioni) che consentono all'insetto di superare l'aridità e le alte temperature estive.

La temperatura e soprattutto il fotoperiodo sono i fattori che innescano il processo biochimico ormonale responsabile del fenomeno.

Rapporti con gli altri organismi

I rapporti che si possono instaurare in una biocenosi sono di varia natura e si inseriscono nel contesto generale del *vivere insieme* che comporta interazioni mutualistiche, di commensalismo, di predazione e parassitismo.

Interazioni con i vegetali

Nella classe degli Insetti molte specie intrattengono rapporti con i vegetali; queste relazioni sono fondamentalmente di natura trofica, in questo caso si parla di *fitofagia*. Tuttavia in certi casi si instaura un rapporto ancor più stretto che consente all'insetto di vivere parte o tutta la sua vita all'interno del vegetale ospite (insetti endofiti), trovando in esso rifugio e alimento.

I fitofagi utilizzano i vegetali come fonte di alimento; si distinguono insetti che succhiano la linfa (*fitomizi*) e insetti che asportano i tessuti vegetali. In quest'ultimo caso possono essere ulteriormente distinti insetti che vivono e si nutrono all'interno dei tessuti stessi (*minatori*) e insetti che si nutrono dei tessuti rimanendone all'esterno (es. le larve di defogliatori).

Certe specie con le punture inflitte alle piante per nutrirsi o per deporre le uova provocano alterazioni morfologiche nei tessuti vegetali, dette *galle* o *cecidi*, che consentono all'insetto di trovare contemporaneamente rifugio e nutrimento. Gli insetti che più comunemente producono galle (*insetti galligeni*) appartengono ai Ditteri Cecidomidi (es. galle su lampone, su bosso), agli Imenotteri Cini-pidi (es. galle sulle querce) e a certi Rincoti Afidoidei (es. i Pemfigidi su olmo, pioppo).

Alcune specie di insetti intrattengono rapporti mutualistici con le piante superiori: l'insetto, alla ricerca del nutrimento, visita molti fiori e inconsapevolmente favorisce l'impollinazione incrociata (*insetti pronubi*).

Nella grande varietà di rapporti intercorrenti tra il mondo vegetale e gli insetti, di particolare interesse sono i fenomeni di antibiosi da parte delle piante: essi determinano la morte dell'insetto o

comunque alterazioni del metabolismo che ne compromettono la normale vitalità o la riproduzione. Certe specie vegetali, infatti, possono produrre sostanze tossiche per i fitofagi, oppure sostanze ormonali che interferiscono sul loro sviluppo imitando l'azione dell'ormone della muta (ecdisione) e di quello della giovinezza (neotenia) e chiamate rispettivamente *fitoecdisoni* e *juvenoidi naturali*.

Queste proprietà conferiscono una certa resistenza alla pianta nei confronti dei fitofagi.

Diverse di queste sostanze estratte dalle piante, ma anche da alcuni animali (Celenterati, Anellidi, ecc.), sono state riprodotte per via sintetica e vengono attualmente utilizzate come insetticidi: *ecdisoni* e *juvenoidi sintetici* o IGR (regolatori di crescita, *Insect Growth Regulators*).

Le piante infine possono emettere anche sostanze chimiche (*messaggeri chimici* o *semiochimici*) per difendersi dagli erbivori; queste sostanze possono essere percepite anche da certi insetti fitofagi che in questo modo sono facilitati ad individuare la pianta di cui si nutrono.

Queste sostanze sono identificabili con i *caironi*: esse sono infatti utili alla specie che li riceve (insetto fitofago), ma non alla pianta che li emette.

Le stesse sostanze possono essere utilizzate anche dagli entomofagi, che guidati in questo modo verso la pianta possono più facilmente trovare il fitofago. In questo caso i messaggeri chimici fungono anche da *sinomoni*, cioè da sostanze utili sia alla pianta che li emette, sia alla specie che li riceve (insetto entomofago).

I sinomoni che richiamano gli entomofagi sono costituiti da composti volatili del nettare dei fiori, dei frutti e di altri organi vegetali.

Interazione con altre specie animali

Diversi insetti trovano ospitalità e nutrizione nell'ambito di varie specie animali: in particolare molte sono le specie che si comportano da parassite nei confronti di vertebrati, tra cui diversi animali domestici (es. i vari pidocchi dei suini, dei bovini e degli avicoli).

D'altra parte numerosi vertebrati, soprattutto uccelli e mammiferi insettivori, sono predatori di insetti e contribuiscono così al controllo delle loro popolazioni. I rapporti tra insetti ed altri Artropodi e specialmente le relazioni tra insetti di diversa specie (relazioni interspecifiche) meritano una particolare attenzione perché forniscono le informazioni su cui si basa l'applicazione di alcune forme di lotta biologica per la difesa delle coltivazioni.

Infatti sono numerosi gli insetti entomofagi (parassitoidi e predatori) di grande rilevanza nel controllo degli insetti dannosi in agricoltura; essi costituiscono un patrimonio da salvaguardare e incrementare (vedere Lotta biologica).

Comportamenti

La complessa vita di relazione che scaturisce dall'appartenere ad un ecosistema, in così varia differenziazione, si evidenzia nella classe degli insetti con una notevole varietà di comportamenti e di adattamenti all'ambiente; tra questi meritano particolare attenzione il mimetismo e le varie altre strategie di difesa-offesa che gli insetti hanno evoluto per proteggersi dagli aggressori.

Mimetismo

Molti insetti sono dotati di colori o forme che consentono loro di confondersi con l'ambiente che occupano; altri invece imitano insetti dotati di armi di difesa (sostanze velenose, ecc.) e rifiutati per questo dai predatori.

Le diverse strategie mimetiche sono il risultato della pressione selettiva che l'ambiente ha attuato nel corso dell'evoluzione di una specie.

Un esempio molto recente a riguardo è dato dal famoso caso del **melanismo industriale** del Lepidottero Geometride *Biston betularia* in alcune zone industriali dell'Inghilterra. Esistono due varietà di questa farfalla, una chiara e una scura (forma melanica). Nel giro di poche generazioni nelle aree inquinate le forme chiare sono sparite in favore di quelle scure che ben si mimetizzavano sui tronchi ricoperti di fuliggine prodotta dalle ciminiere. La causa è da ricercare tra i predatori, soprattutto uccelli, che hanno operato un'in-



Fig. 3.42 Esempio di mimetismo batesiano: adulto di Dittero Sirfide.



Fig. 3.43 Esempio di mimetismo crittico di un ragno su un fiore.

tenza predazione sulle farfalle chiare, più facilmente individuabili di quelle scure.

Il mimetismo serve generalmente agli insetti per sfuggire agli aggressori, ma talora è utilizzato anche dal predatore per confondersi nell'ambiente ed ingannare le proprie prede; esistono inoltre anche casi di mimetismo parassitario: la specie parassita imita la specie ospite riuscendo così più facilmente ad avvicinarla.

Le varie forme di mimetismo possono essere ricondotte a due tipi principali: mimetismo crittico e mimetismo fanerico.

1. Il **mimetismo crittico** si verifica quando una specie tende a nascondersi nell'ambiente, assumendo le colorazioni e le forme di foglie, rami, cortecce, fiori, ecc. Tipico è l'esempio dell'Insetto stecco (Fasmidi) che imita per colore e forma i rametti delle piante che frequenta.
2. Il **mimetismo fanerico** si verifica quando una specie ne imita un'altra assumendo la stessa forma, gli stessi colori ed il medesimo comportamento. È il caso, per esempio, degli insetti privi di organi di difesa/offesa, che imitano forma ed atteggiamento di un insetto in grado di offendere, ingannando così i predatori. Ne sono esempio i Ditteri Sirfidi, dalla colorazione simile a quella degli Imenotteri dotati di aculeo, ed i Lepidotteri della famiglia dei Sesidi, anche questi molto più simili a vespe che a farfalle, sia per la colorazione del corpo e per le ali quasi trasparenti che per l'atteggiamento (mimetismo batesiano).

Altre strategie di difesa-offesa

Molti insetti sfuggono al pericolo semplicemente allontanandosi, ma diversi hanno escogitato strategie particolari quali la tanatosi, il foberismo e la produzione di particolari sostanze chimiche.

La **tanatosi** consiste in un'immobilizzazione riflessa che alcuni insetti (es. Coleotteri Curculionidi) mettono in atto se disturbati mediante stimolazioni tattili.

L'insetto in tanatosi simula la morte e tenta quindi di sfuggire ad una eventuale predazione. Il fenomeno, più frequente nelle ore mattutine mentre è quasi nullo in quelle serali, è condizionato da fattori ambientali tra cui il più importante è la temperatura.

La tanatosi consente l'attivazione di una pratica di difesa che consiste nella raccolta degli insetti fitofagi, mediante scuotimento delle chiome.

Il **foberismo** consiste in un comportamento di tipo riflesso che fa assumere all'insetto un atteggiamento terrifico, scoraggiando così il predatore. Certi bruchi di Lepidotteri come gli Sfigidi per esempio, si sostengono solo sulle pseudozampe addominali sollevando e retraendo capo e torace tanto da assumere l'aspetto di sfinge; questo atteggiamento finisce per intimidire i piccoli vertebrati predatori.

Spesso l'atteggiamento terrifico è accompagnato dalla produzione di suoni o dall'esibizione di colorazioni a scopo intimidatorio (colorazioni foberiche) come avviene, per esempio, in certe farfalle notturne: l'adulto della Sfige testa di morto solleva le zampe anteriori e l'addome, esibendo le particolari colorazioni del corpo e producendo un suono stridulo; altre farfalle spalancano le ali mettendo in mostra i disegni a forma di occhio (macchie ocellari).

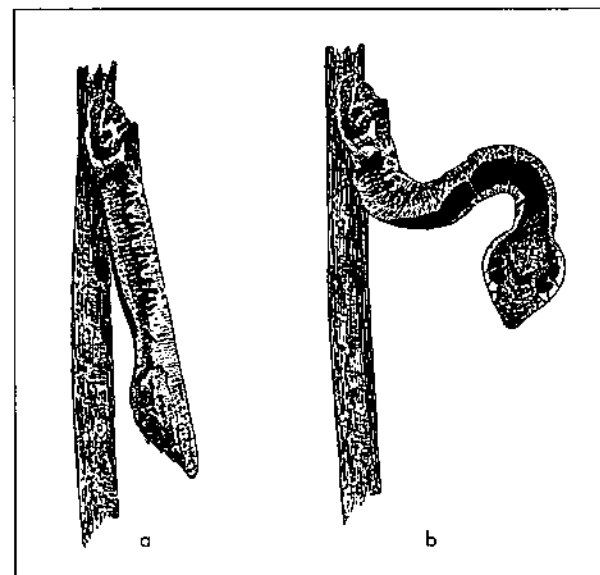


Fig. 3.44 Larva di *Leucorhampha ornatus*: a) in positura criptica; b) in atteggiamento terrifico (da Miles Moss).

Produzione di sostanze chimiche

Nell'ambito di diversi gruppi di insetti possono essere presenti particolari ghiandole che secernono sostanze irritanti o repellenti per l'aggressore.

Come già segnalato, negli Imenotteri aculeati come le api, le vespe, i calabroni, ecc., l'ovopositore è trasformato in un aculeo, o pungiglione, retrattile e connesso con la ghiandola del veleno. In caso di pericolo questi insetti iniettano nell'aggressore il secreto tossico. In certi casi però il secreto è utilizzato anche per immobilizzare le prede.

Alcuni insetti sono dotati di ghiandole urticanti, connesse a particolari peli urticanti come nei bruchi pelosi di certi Lepidotteri quali le Processionarie e le Limantrie.

Altri ancora, tra cui alcuni Coleotteri (es. gen. *Timarcha*, Crisomelide), emettono invece gocce di sangue (emolinfa) dotate di attività caustica (fenomeno dell'autoemorrea).

Altri insetti usano secernere sostanze allo scopo di allontanare i nemici; ad esempio, le cими delle piante (Rincoti) possiedono, nella parte ventrale del torace, particolari ghiandole dette repugnatorie, secernenti sostanze fetide che scoraggiano i predatori; certe formiche, invece, usano spruzzare acido formico. Queste sostanze fungono pertanto da messaggeri interspecifici (*allomoni*).

Interazioni con i microrganismi

I rapporti con i microrganismi possono essere ricondotti a due tipi fondamentali:

- rapporti di tipo mutualistico;
- rapporti di tipo antagonistico.

Nel **rapporto mutualistico** si verifica un vantaggio reciproco tra gli organismi che interagiscono. È il caso, già in precedenza accennato, per esempio, della simbiosi tra diversi microrganismi e certi insetti xilofagi: i microrganismi, ospitati nell'intestino di questi insetti, consentono la digestione della cellulosa. Alcuni insetti invece coltivano microscopici funghi di cui si nutrono, diffondendoli nell'ambiente.

Nei **rapporti di tipo antagonistico** uno dei due organismi che interagiscono finisce per soccombere o comunque ne trae un danno. Di grande interesse per le possibilità di applicazione nella difesa delle piante dai fitofagi (lotta microbiologica) sono le interazioni tra gli insetti e i batteri, i funghi, i protozoi responsabili di malattie che conducono a morte gli insetti stessi.

Analoga azione operano i Nematodi parassiti

obbligati degli insetti, che li uccidono direttamente o indirettamente in seguito alla liberazione di batteri simbiotici responsabili di setticemie.

Esistono, per contro, anche rapporti di predazione da parte degli insetti sui microrganismi come nel caso di certe coccinelle (Coleotteri) che si nutrono del micelio degli oidi.

Interazioni con i virus

Le relazioni tra insetti e virus si riconducono fondamentalmente alle due tipologie seguenti.

INSETTI VETTORI DI VIRUS. Gli insetti sono dei vettori di particelle virali che possono agire come patogeni sia per le piante (**virus fitopatogeni**) sia per gli animali (**virus zoopatogeni**). I virus fitopatogeni vengono trasmessi da pianta infetta a pianta sana, mediante le ferite provocate dagli apparati boccali, oppure mediante trasporto di materiale infetto. Responsabili di questa trasmissione sono principalmente gli insetti appartenenti agli ordini dei Rincoti, degli Ortotteri e dei Tisanotteri.

INSETTI OGGETTO DI INFEZIONI VIRALI. I virus possono essere responsabili di malattia per gli insetti, analogamente ai batteri, funghi, ecc.

Lo studio di questi agenti patogeni per il controllo biologico dei fitofagi dannosi alle colture è di particolare importanza e già si utilizzano preparati virali con effetti soddisfacenti.

Interazioni con l'uomo

L'attività dell'uomo molte volte ha intrecciato rapporti con il mondo degli insetti, alcune volte con grande discapito per l'uomo che ha dovuto sopportare malattie gravissime, trasmesse dagli insetti (es. peste, febbre gialla e malaria) ed ingenti danni all'agricoltura; altre volte con grande vantaggio per l'uomo che ha saputo trarre dall'attività degli insetti prodotti ed alimenti (miele dalle api e seta dal baco da seta, coloranti e lacca).

Secondo una classificazione antropocentrica gli insetti vengono divisi in *utili* e *dannosi*.

Tra i primi ovviamente si annoverano quelli che danno vantaggio tra cui rivestono particolare importanza, oltre a quelli citati, anche tutti gli insetti pronubi e tutti gli entomofagi.

Tra i secondi sono da annoverare i fitofagi che in modo più o meno grave danneggiano le coltivazioni e tutti gli insetti che in qualche modo recano malattie o danno all'uomo ed alle attività zootecniche.

Dinamica delle popolazioni

Potenziale biotico e resistenza ambientale

Le variazioni della densità delle popolazioni nel tempo (dinamica delle popolazioni) sono diverse da ambiente ad ambiente. Esse sono il risultato sia del *potenziale biotico* (numero di generazioni/anno, numero di discendenti, capacità di sopravvivenza, ecc.), particolare per ogni specie, sia dei vari fattori ambientali (temperatura, umidità, disponibilità di cibo, nemici naturali, ecc.) che si oppongono al potenziale biotico (*resistenza ambientale* o *ecoresistenza*). In condizioni ottimali il potenziale biotico è massimo.

Il potenziale biotico di una specie viene stabilito in base ad un parametro *r* (*intrinsic rate of increase*, *innata capacità di accrescimento*) che viene calcolato in laboratorio in base al numero medio di discendenti ed alla sopravvivenza degli stessi in condizioni ottimali di vita.

La resistenza ambientale agisce in particolare modo sugli individui giovani: è stato calcolato che in condizioni normali la mortalità nelle popolazioni degli insetti è elevatissima e può superare il 95% (Tremblay E., 1988).

I fattori ambientali che diminuiscono la mortalità, anche in misura contenuta, possono determinare quindi esplosioni numeriche presso le popolazioni degli insetti: per esempio, la scomparsa dei nemici naturali negli ecosistemi agrari, spesso causata da un impiego indiscriminato degli insetticidi, può essere responsabile dell'aumento delle popolazioni dei fitofagi.

Anche una maggiore disponibilità di cibo, come può verificarsi nel caso della presenza continua di una specie vegetale appetita dal fitofago (es. nelle monocolture), determina la diminuzione della percentuale di mortalità naturale del fitofago e conseguentemente l'aumento della popolazione in quell'ambiente.

È proprio negli agroecosistemi, soprattutto se caratterizzati da un'estrema semplificazione della biocenosi, che si verificano spesso frequenti variazioni della consistenza delle popolazioni degli insetti ed in particolare dei fitofagi che possono aumentare a dismisura causando gravi danni alle colture.

Se si considera, invece, un ambiente di tipo forestale, quasi una comunità climax, caratterizzato da un'elevata complessità della biocenosi e poco soggetto a influenze esterne, le variazioni della densità delle popolazioni nel tempo non sono in genere di grande rilevanza e comunque si mantengono, in tempi più o meno lunghi, intorno ad un punto di equilibrio.

Strategie ecologiche di sviluppo delle popolazioni: specie a strategia *r* e specie a strategia *k*

Le popolazioni animali possono avere differenti strategie di sviluppo. Anche negli insetti si possono individuare specie a strategia di tipo *r* e specie a strategia di tipo *k*.

Le *specie a strategia di sviluppo r* comprendono, in genere, insetti di piccola taglia, come diversi Rincoti (Afidi, Cocciniglie, Mosche bianche o Aleirodidi, Psille, ecc.); sono caratterizzate da un'elevata capacità di accrescimento innata (*r*) dovuta ad un alto ritmo riproduttivo e ad una grande fecondità, anche se il loro ciclo vitale è di breve durata.

Inoltre esse sono capaci di sfruttare rapidamente le risorse dell'ambiente e non possiedono proprie strategie per contenere numericamente le popolazioni.

Tutti questi fattori sono alla base delle ampie variazioni della consistenza numerica delle popolazioni a strategia *r* che, in condizioni ottimali, possono esplodere numericamente.

Per contro, queste specie sono soggette a rapidi crolli della popolazione quando le condizioni ambientali mutano (es. scarsità di cibo in seguito all'esagerata consistenza della popolazione).

L'assenza di particolari adattamenti che consentano loro di sottrarsi ai nemici naturali può essere un'ulteriore causa della diminuzione della popolazione, soprattutto in situazioni già precarie.

Le *specie a strategia di sviluppo k* comprendono, generalmente, insetti di maggiore taglia rispetto alle specie precedenti (Lepidotteri, Coleotteri, Ditteri, ecc.); sono caratterizzate da una minore fecondità, da un più basso tasso riproduttivo e da cicli di vita più lunghi.

Rispetto alle specie a strategia *r*, dimostrano una maggiore capacità di adattamento all'ambiente (comprese diverse tattiche per sfuggire ai nemici naturali) e possiedono meccanismi per regolare la consistenza numerica della popolazione rispetto alle risorse ambientali disponibili (*capacità di carico portante dell'ambiente*, *carrying capacity* o *k*). Ciò viene realizzato con varie strategie: diminuzione della fecondità delle femmine in seguito ad un eccessivo affollamento di individui, migrazione di parte della popolazione, fenomeni di cannibalismo, ecc.

Proprio per evitare quest'ultimo fenomeno, come già si è evidenziato in precedenza, per esempio, certi insetti fitofagi come la Mosca delle ciliegie

impiegano feromoni antiovideposizione per marcare i frutti in cui è già avvenuta la deposizione dell'uovo, impedendo così ad altre femmine di ovideporre. Contrariamente alle specie fitofaghe a strategia *r*, generalmente polifaghe, le specie a strategia *k* si nutrono per lo più di una o poche specie di piante.

Predatori e parassitoidi costituiscono uno dei fattori di regolazione di queste popolazioni, ma a differenza delle specie a strategia *r*, essi non si rendono normalmente responsabili di drastiche riduzioni della densità delle popolazioni.

Le specie fitofaghe a strategia *k*, avendo normalmente popolazioni di entità compatibile con le risorse ambientali (capacità portante dell'ambiente), non sono normalmente soggette ad ampie oscillazioni della consistenza numerica.

Tuttavia esse possono rendersi responsabili di danni anche ingenti per l'aumento delle loro popolazioni. I motivi sono da ricercare in un aumento della capacità portante dell'ambiente che può contribuire ad un aumento del tasso riproduttivo di queste specie.

Per esempio, negli agroecosistemi molto semplici i fenomeni di competizione interspecifica che concorrono a limitare la crescita della popolazione sono più ridotti a causa della semplificazione della biocenosi; le monoculture offrono ai fitofagi grandi disponibilità ininterrotte di cibo. Il rigoglio della vegetazione dovuto alle abbondanti concimazioni, per esempio, è un ulteriore fattore di aumento delle disponibilità alimentari. Tutti questi ed altri fattori ancora possono così determinare un aumento permanente della consistenza numerica delle popolazioni di certi fitofagi negli agroecosistemi, con conseguenze negative per le colture.

Solo importanti variazioni dei fattori climatici oppure interventi di difesa da parte dell'uomo potranno, allora, contenere le popolazioni di questi fitofagi.

I fitofagi che divengono dannosi in modo permanente per le colture sono detti *fitofagi permanenti*; quelli che lo sono solo occasionalmente prendono il nome di *fitofagi occasionali*.

I fitofagi permanenti pericolosi per la coltura tanto da dover essere sempre tenuti sotto controllo con interventi di difesa vengono detti *fitofagi chiave*. Tuttavia anche i fitofagi occasionali possono, in certe situazioni, divenire specie chiave (Tremblay E., 1988).

Sono fitofagi chiave-permanenti, ad esempio per la vite, la Tignoletta della vite (*Lobesia botrana* - Lepidottero), per il melo, il Baco o verme delle mele (*Cydia pomonella* - Lepidottero), per l'olivo, la Mosca dell'olivo (*Dacus oleae* - Dittero).



Acari

Gli acari, come gli insetti, appartengono al phylum degli Artropodi; costituiscono un ordine della classe degli Aracnidi. Essi sono molto numerosi e se ne conoscono alcune migliaia di specie, diverse delle quali di rilevante interesse agrario; l'elevato numero di specie evidenzia la grande adattabilità ai vari ambienti per cui possiamo distinguere, tra quelli di interesse agrario: *acari fitofagi*, *acari delle derrate alimentari*, *acari predatori* e infine *acari parassiti* di animali.

L'attività agricola dell'uomo ha sempre avuto con questi animali un rapporto conflittuale sia pure di non rilevante importanza; ultimamente la presenza degli acari fitofagi ha assunto notevole interesse nell'economia agricola per i gravi danni che essa ha causato e ancora causa.

Il grande proliferare di questi fitofagi è in parte da imputarsi alle tecniche agrarie che hanno introdotto la monocultura, il diserbo, la lotta chimica agli insetti, la scomparsa delle zone rifugio (siepi) negli agroecosistemi; infatti se prima dell'avvento di queste pratiche colturali l'ecosistema conteneva le popolazioni di acari fitofagi a livelli più che sopportabili, attualmente la mancanza di nemici naturali (lotta chimica, scomparsa delle siepi, zone di rifugio dei nemici naturali) e l'estrema abbondanza di cibo (monocultura) hanno favorito il pullulare di questi fitofagi che sono divenuti dannosi per l'attività agricola.

3.5.1 Caratteristiche generali degli acari

Gli acari hanno generalmente una forma globosa, tuttavia alcuni presentano una forma allungata, quasi vermiforme (Eriofidi).

Come tutti gli Artropodi, anche gli acari hanno il corpo protetto dal tegumento che svolge la funzione di esoscheletro. Negli acari il tegumento può essere vivacemente colorato e rivestito da setole.

La dimensione del corpo di solito è molto piccola (da alcuni decimi di millimetro a pochi millimetri) ad eccezione di alcuni acari come le zecche. Il loro corpo non presenta una divisione metamerica evidente, tuttavia esso viene diviso nelle seguenti due parti:

- **prosoma** che è la parte anteriore in cui si distinguono uno gnatosoma, che porta le

appendici boccali, ed un podosoma, che porta le zampe e gli occhi;

- **opistosoma** è la parte posteriore priva di arti.

Lo **gnatosoma** costituisce il sistema boccale ed è formato dalla apertura boccale ai cui lati vi sono due tipi di appendici: i cheliceri e i pedipalpi.

I **cheliceri** hanno diversa forma e funzione a seconda del tipo di nutrizione. Negli acari predatori hanno forma di chela (pinza) e servono alla presa della preda, analogamente agli acari delle derrate che invece li utilizzano per frammentare l'alimento; negli acari fitofagi sono formati da stiletti atti a pungere i tessuti vegetali; i succhi cellulari vengono quindi assunti o aspirati dal cono boccale.

I **pedipalpi** sono appendici sede di organi sensoriali e possono servire nelle forme predatrici a trattenere le prede; in certe specie essi recano ghiandole sericipare, con le quali gli acari producono caratteristiche ragnatele.

Il **podosoma** porta quattro paia di zampe e gli organi della vista posti anteriormente (generalmente occhi semplici); le zampe sono articolate e, rispetto agli insetti, portano un segmento in più tra femore e tibia. In alcuni raggruppamenti il numero caratteristico di otto zampe può anche dimezzarsi. Le zampe oltre che per il movimento possono essere utilizzate per dipanare la seta, per trattenere le prede, ecc.

APPARATO DIGERENTE. L'apparato digerente inizia con la bocca situata sul cono boccale inferiormente ai cheliceri; successivamente vi è la faringe che può funzionare da pompa aspirante per i liquidi nutritivi; di norma l'acaro produce o inietta succhi fluidificanti e predigestivi che consentono un'alimentazione liquida.

Il liquido aspirato viene spinto nell'esofago e

quindi nello stomaco, dove subisce dapprima una digestione enzimatica e quindi il digerito viene assorbito. Segue un intestino che termina, per la maggior parte degli acari, con l'ano.

APPARATO CIRCOLATORIO. Il sangue, negli acari, scorre nella cavità corporea, in parte libero ed in parte dentro ad organi con funzioni vascolari fra cui un cuore ampolliforme.

APPARATO RESPIRATORIO. La respirazione degli acari è simile a quella degli insetti, infatti essi sono, nella maggioranza dei casi, dotati di un semplice sistema tracheale che si apre all'esterno con degli stigmi. In alcuni acari si può avere una diffusione diretta dei gas attraverso l'esoscheletro.

APPARATO ESCRETORE. L'apparato escretore è rappresentato dai tubi malpighiani, due o quattro, che si immettono nell'intestino.

SISTEMA NERVOSO. Il sistema nervoso è costituito da un unico grande ganglio (cervello) posto attorno all'esofago e dalle terminazioni nervose che da esso si dipartono.

APPARATO RIPRODUTTORE. L'apparato riproduttore maschile è costituito da due testicoli cui seguono i canali deferenti che confluiscono nel dotto eiaculatore. L'apparato riproduttore femminile è costituito da due ovari cui seguono gli ovidotti che sboccano nella vagina.

Gli acari hanno sessi quasi sempre distinti e la riproduzione è generalmente anfignonica; tuttavia spesso compare la partenogenesi.

Normalmente svolgono più generazioni all'anno a seconda dell'andamento climatico; il periodo invernale viene trascorso allo stadio di uovo oppure in quello di adulto, in genere come femmine fecondate.

Gli acari fitofagi sono normalmente ovipari. L'accrescimento post-embryonale avviene per mute; alla schiusa dell'uovo esce una larva con sole 3 paia di zampe (*esapoda*), detta anche neanide, e solo successivamente differenzia un altro paio di zampe; a questa seguono due stadi ninfali (*protoninfa* e *deutoninfa*) e quindi l'adulto.

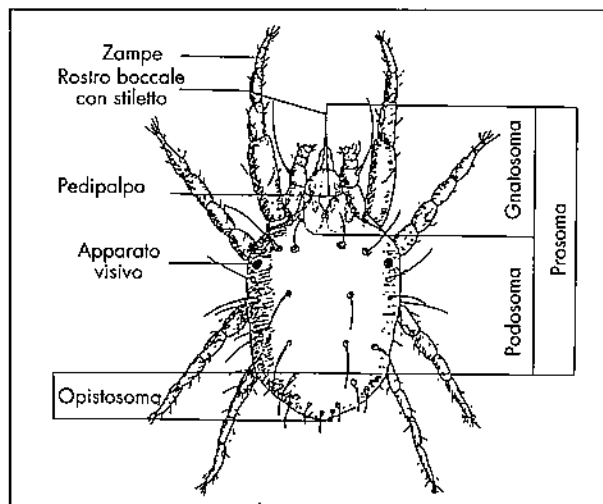


Fig. 3.45 Morfologia di un acaro.

3.5.2 Acari di interesse agrario

Danni ai vegetali

Gli acari fitofagi si nutrono con i succhi cellulari che riescono a trarre da organi erbacei e dai frutti; di norma essi infiggono lo stiletto e iniettano un liquido fluidificante che consente lo svuota-

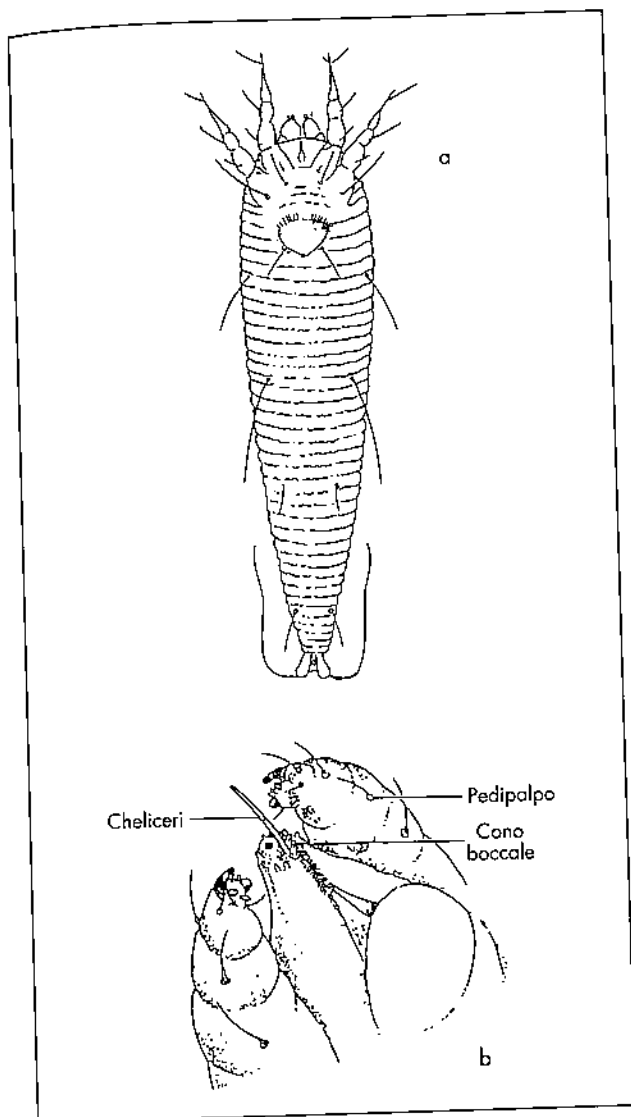


Fig. 3.46 a) Un acaro Eriofide (fortemente ingrandito) veduto dal ventre; b) gnatosoma di Tetranychide.

mento dei contenuti cellulari. La pianta presenta marcati ingiallimenti, gli organi erbacei (foglie) manifestano evidenti sfumature bronzee e caratteristiche argentature; nel caso di punture degli acari Eriofidi che iniettano sostanze provocanti ipertrofie, si può notare la comparsa di galle. Il danno che ne consegue ha pesanti ripercussioni sulla produttività delle coltivazioni. Tra gli acari fitofagi ricordiamo i Tetranychidi, i Tenuipalpidi, i Tarsonemidi e gli Eriofidi.

Fam. Tetranychidi (superfam. Prostigmata, sottord. Thrombidiformes)

I **Tetranychidi** (ragnetti rossi e gialli) costituiscono il raggruppamento maggiore di acari fitofagi; il loro pullulare specialmente nei fruttiferi e nelle colture protette dipende in grande misura, come

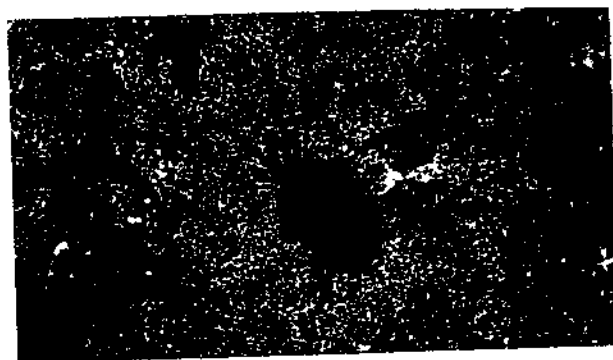


Fig. 3.47 Adulto di *Allothrombium fuliginosum*.

già accennato, dalle tecniche colturali adottate. La forma del corpo è tondeggiante nelle femmine mentre i maschi sono più piccoli e a forma di pera; la dimensione massima è contenuta in un millimetro. Il tegumento è variamente colorato di rosso, giallo o verdastro e presenta setole sul dorso. Le uova non durevoli e le neanidi hanno un caratteristico colore giallo-verdastro ialino. Posseggono ghiandole sericipare e tessono tele specialmente nella pagina inferiore delle foglie entro cui si riparano nei momenti di inattività. Svolgono più generazioni all'anno e svernano o come uovo durevole oppure come femmine fecondate; queste depongono poche decine di uova. Tra le specie dannose ricordiamo: *Panonychus* (*Metatetranychus*) *ulmi*, *Eotetranychus* *carpini* forma *vitis*, *Oligonychus* *ununguis*, *Tetranychus* *urticae*.

Fam. Tenuipalpidi (superfam. Prostigmata, sottord. Thrombidiformes)

I **Tenuipalpidi** sono una famiglia di acari fitofagi che normalmente non reca gravi danni alle coltivazioni; essi attaccano prevalentemente piante erbacee anche se alcune specie sono state segnalate su piante di interesse forestale (pino). Il corpo presenta il dorso di colore rossastro; vivono in prevalenza sulle foglie e sui germogli che pungono provocando filloptosi e deformazione dei germogli stessi.

Fam. Eriofidi (superfam. Tetrapodili, sottord. Thrombidiformes)

Gli **Eriofidi** sono gli acari fitofagi che maggiormente si sono specializzati nel parassitismo delle piante; la struttura del corpo è allungata, quasi vermiforme, con la parte posteriore con fitte pieghe anulari. Le zampe sono ridotte a due paia e consentono un movimento lento e difficoltoso; vivono prevalentemente su piante a lungo ciclo.

I cheliceri sono differenziati in un apparato pungente succhiante stiliforme.

Nell'arco dell'anno possono comparire due tipi di femmine: femmine primaverili-estive (*protogine*) e femmine autunnali (*deutogine*) destinate allo svernamento che di norma avviene tra le perule delle gemme.

I danni provocati dagli Eriofidi possono essere:

- deformazioni ipertrofiche localizzate dei tessuti attaccati (Erinosi della vite o del pero) oppure deformazioni totali dell'organo, il tutto accompagnato da evidenti alterazioni del colore, specie negli organi erbacei;
- deformazioni profonde dell'organo che viene trasformato in una vera galla in cui vivono gli acari pseudoendofiti.

È da ricordare infine la famiglia dei **Tarsonemi** di cui specie infestano molte coltivazioni erbacee, in particolare piante floreali, in coltivazione protetta (crisantemo, ciclamino).

Danni provocati agli animali

Gli acari parassiti di animali domestici e dell'uomo sono generalmente ematofagi; fanno parte di questo raggruppamento gli acari appartenenti alle famiglie dei Dermanissidi, degli Ixodidi, degli Argasidi, dei Demodicidi e dei Sarcoptidi.

Questi acari normalmente provocano forti irritazioni e deperimento degli ospiti, in alcuni casi provocano vere malattie della pelle (scabbia) o anemia da dissanguamento (avicoli).

Fam. Dermanissidi (sottord. *Mesostigmata*)

Sono acari ematofagi, specialmente degli uccelli (polli); hanno un apparato boccale pungente succhiante con il quale bucano la pelle dell'ospite e si nutrono. Se l'infestazione è grave si hanno forti deperimenti degli animali e a volte anche la morte, specialmente per i soggetti giovani; la presenza, anche non massiccia, provoca comunque scarsa ovideposizione e una perdita di peso da parte degli animali infestati.

Fam. Varroidi (sottord. *Mesostigmata*)

Appartiene a questa famiglia la *Varroa jacobsoni* Oud., responsabile della **varroasi** delle api, grave parassitosi che ha colpito, a partire dalla fine degli anni '70 del secolo scorso, gli allevamenti italiani di *Apis mellifera*. Si tratta di un piccolo acaro di origine tropicale, visibile anche ad occhio nudo,



Fig. 3.48 *Varroa* delle api.

di circa 2 mm, di colore rossiccio, con corpo ellittico ed appiattito. Tale descrizione è relativa alla femmina, in quanto essendo molto accentuato il dimorfismo sessuale, il maschio si presenta con caratteristiche molto diverse: più piccolo e più chiaro (generalmente non pericoloso per le api). Le larve della *Varroa* si sviluppano a carico delle forme giovanili, e in misura minore, degli stadi adulti delle api; si stabiliscono a livello delle parti molli (larve) o degli intersegmenti addominali (adulti) infiggendo gli apparati boccali stiliformi nel corpo e succhiando l'emolinfa.

Il ciclo biologico è rapidissimo (anche una settimana), e permette molte reinfestazioni. Il danno consiste in un'elevata mortalità della covata (specie nelle celle chiuse), deformazione di molti individui, perdita dei prodotti dell'alveare, abbandono dello stesso, ecc.

Fam. Ixodidi e Argasidi (sottord. *Ixodides*)

Sono acari ematofagi epizoi di grandi dimensioni (anche 1 cm nelle femmine), attaccano vertebrati terrestri. Sono comunemente conosciuti con il



Fig. 3.49 Adulto di zecca.

nome di *zecche*; essi hanno l'apparato boccale a forma di rostro uncinato che, una volta infisso, consente alla zecca di permanere sull'ospite. Il rostro può rimanere attaccato anche dopo l'asportazione della zecca e creare una ferita che può infettarsi.

Gli Ixodidi parassitizzano prevalentemente mammiferi, sono ectoparassiti della pelle e svolgono il loro ciclo su uno o più ospiti; le uova vengono generalmente deposte sull'erba (di solito il maschio muore dopo l'accoppiamento e la femmina dopo l'ovideposizione) e le larve schiuse si attaccano agli animali, dapprima piccoli roditori, poi via via, trasformandosi in adulti, attaccano mammiferi superiori (ovini, bovini, ecc.).

Il danno da loro provocato è sia diretto, per la produzione di tossine e di sostanze ad azione emorragica, sia indiretto per la trasmissione di infezioni quali la Piroplasmosi nei bovini (da *Ixodes ricinus* L.) e la febbre da zecche negli ovini.

Gli Argasidi vivono prevalentemente sugli uccelli dai quali succhiano il sangue. Il danno provocato può essere diretto causando irrequietezza e cali di produzione, oppure indiretto per la possibilità di trasmissione di agenti patogeni.

Danni provocati alle derrate alimentari

Gli acari che possono provocare danni alle derrate alimentari appartengono quasi esclusivamente alla famiglia dei **Tiroglifidi**: la loro presenza comporta un danno dovuto al deterioramento delle derrate.

Acari entomofagi predatori

Gli acari che appartengono a questo raggruppamento hanno un notevole interesse agrario per la loro attività regolatrice delle popolazioni di acari fitofagi.

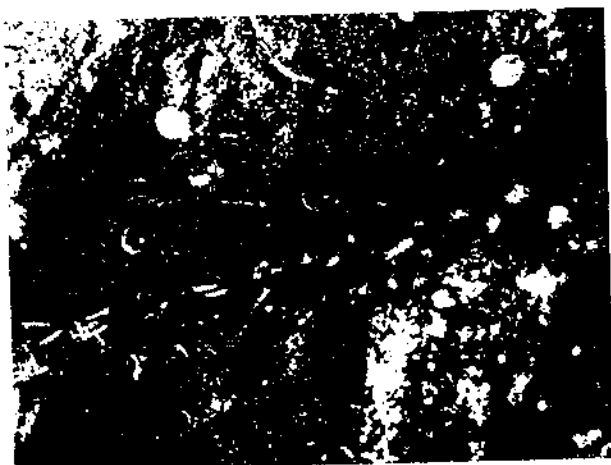


Fig. 3.50 Acaro Fitoseide.

Di norma essi permangono nell'ambiente anche in assenza delle prede perché in grado di nutrirsi con polline, melate e stadi giovanili di piccoli insetti. Spesso il loro ciclo biologico è più veloce di quello delle prede; questo consente al predatore di adattare la propria popolazione in funzione delle prede presenti. La loro diffusione avviene anche ad opera del vento.

Gli acari predatori appartengono alla famiglia dei **Fitoseidi**, sicuramente i più efficaci, alle famiglie degli **Stigmeidi** e dei **Trombididi**; attualmente per esempio viene usato ed allevato per la lotta biologica *Phytoseiulus persimilis* Ath. Henr. contro il fito-fago *Tetranychus urticae* (Ragnetto rosso comune).

3.6 Nematodi

I **nematodi** sono invertebrati che appartengono al phylum dei Nematelminti; alcuni moderni sistemi di classificazione considerano i nematodi un phylum a sé stante.

In generale presentano un corpo allungato e sottile (vermiforme), privo di appendici e senza segmentazioni; si caratterizzano per la totale assenza di ciglia o flagelli.

Il loro movimento è di tipo anguilliforme, tanto da essere chiamati anguillule, e avviene normalmente in ambiente umido.

Tuttavia essi hanno colonizzato ogni ecosistema sia terrestre sia acquatico, marino e di acqua dolce.

I nematodi hanno dimensione molto varia: le forme fitoparassite sono molto piccole (da 0,2 a qualche mm di lunghezza) mentre le forme che parassitizzano gli animali raggiungono dimensioni maggiori; generalmente i maschi sono più piccoli delle femmine.

3.6.1 Caratteristiche generali dei nematodi

TEGUMENTO E PARETE DEL CORPO. Il corpo dei nematodi è costituito da un sacco che all'esterno presenta la cuticola ed all'interno l'epidermide con la muscolatura.

La cuticola può presentarsi più o meno omogenea, con aspetto traslucido, essa può essere più o meno rigida e quindi funzionare anche da esoscheletro. In alcuni nematodi si notano striature longitudinali o ad anello: esse sono ispessimenti cuticolari alternati a zone non ispessite. L'accre-

scimento dei nematodi avviene per mute in occasione delle quali viene cambiata la cuticola che viene formata dall'epidermide sottostante. L'epidermide presenta, verso il lume interno, quattro sporgenze chiamate **corde**; queste contengono:

- il **sistema nervoso** nella corda dorsale e ventrale;
- l'**apparato escretore** nelle corde laterali.

La parete del corpo contiene le muscolature che sono disposte longitudinalmente e divise dalle corde in quattro settori muscolari; le contrazioni della muscolatura provocano il movimento dei nematodi. La cavità generale del corpo è rappresentata da uno pseudoceloma, gli organi sono legati alle pareti della cavità mediante muscoli sospensori.

APPARATO DIGERENTE. L'apparato digerente è costituito da un tubo alimentare che ha inizio con la bocca e termina con l'ano ventrale.

La bocca è generalmente formata da sei labbra più altre strutture annesse. Nella bocca si aprono due organi laterali con funzione sensitiva che vengono chiamati **anfidi**.

Nei nematodi fitoparassiti la bocca è provvista di uno stiletto cavo estroflettibile che serve per forare i tessuti vegetali; dallo stiletto viene iniettata una soluzione enzimatica che consente la predigestione dei succhi cellulari.



Fig. 3.51 Estremità anteriore di *Xiphinema* con parte dello stiletto estroflesso (originale).

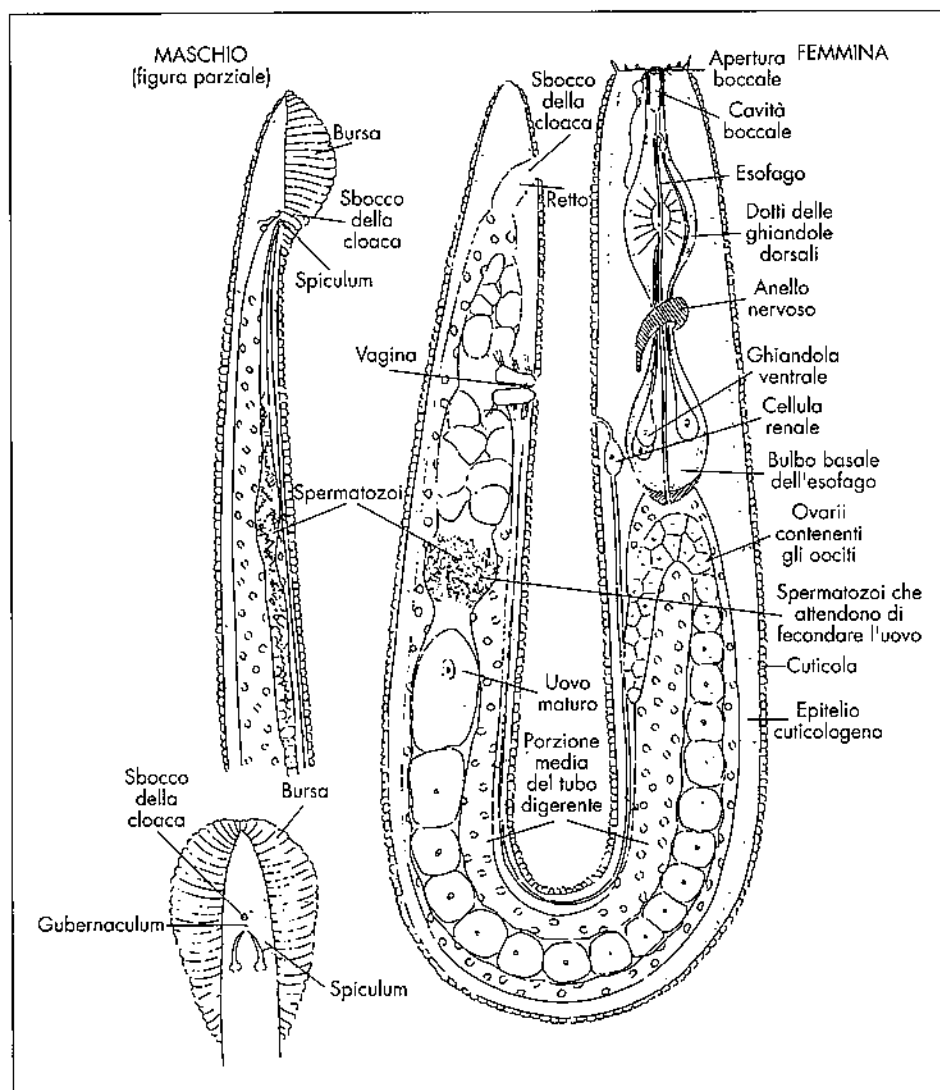


Fig. 3.52 Sezione schematica del corpo di un nematode (ridisegnata e modificata da Jenkins e Taylor, 1967) allo scopo di mostrare la disposizione degli organi.

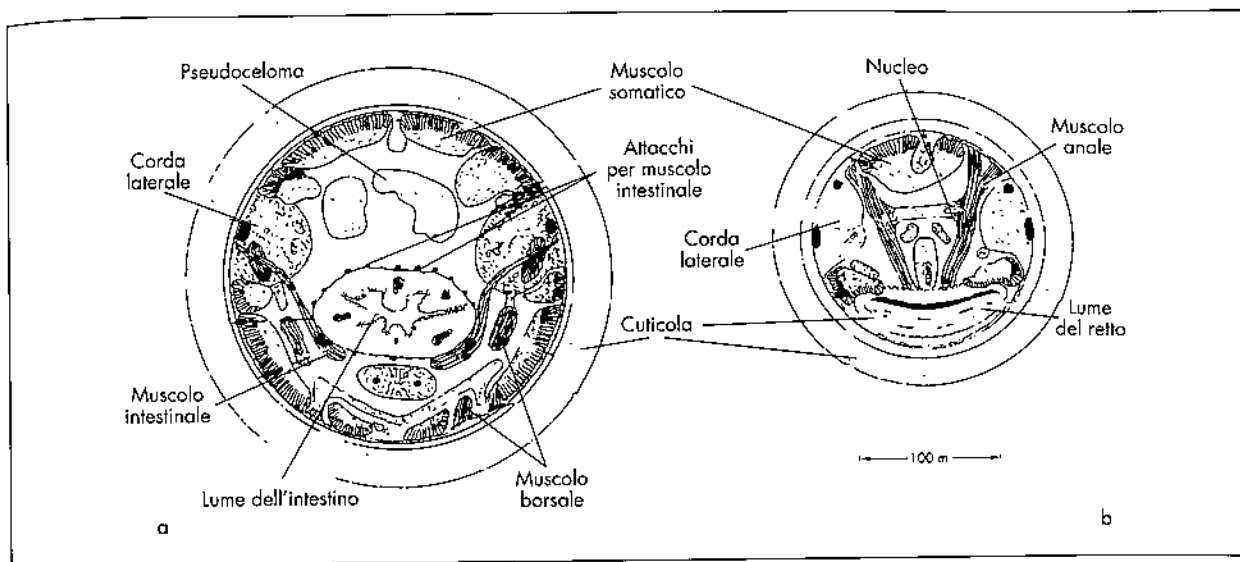


Fig. 3.53 Diagrammi di sezioni trasversali in regioni diverse di *Ancylostoma duodenale* mostranti, in a) le connessioni fra i muscoli somatici del maschio e in b) la tipica forma ad H del muscolo depressore dell'ano nella femmina (da Looss).

Lo stiletto è formato dalla cuticola ed è generalmente sclerificato. La bocca o stoma può essere poi provvista di formazioni denticolari utilizzate nell'atto trofico.

Alla bocca segue l'esofago, tubo di forma molto varia, generalmente suddiviso in tre parti.

Il tubo esofageo parte dallo stiletto e si collega all'intestino che a sua volta termina nell'ano.

APPARATO CIRCOLATORIO E RESPIRATORIO. La circolazione non ha un vero sistema ed è affidata al movimento dei liquidi nella cavità del corpo. La respirazione avviene per diffusione dei gas attraverso il tegumento.

APPARATO ESCRETORE. L'apparato escretore è principalmente costituito da due canali, che attraversano longitudinalmente il corpo, confluenti, grazie ad un canale trasversale, in un *poro ventrale*.

SISTEMA NERVOSO. Il sistema nervoso è costituito da un cingolo periesofageo da cui partono due nervi che si distendono longitudinalmente verso la parte posteriore e nervi che vanno in direzione del capo.

Nella bocca vi sono organi chemiorecettori chiamati **anfidi** che hanno lo scopo di ricercare la presenza delle radici; nella parte posteriore sono collocati i **fasmidi** che sono organi recettori.

APPARATO RIPRODUTTORE. Nel maschio l'apparato riproduttore è formato da uno o due testicoli allungati o curvi a fondo cieco, dove maturano gli spermatozoi, dal gonodotto e dagli organi copulatori che consistono in una o due spicole e organi accessori quali la *borsa* e il *gubernaculum*; questi organi servono per favorire la copula. Nella femmina vi sono uno o due ovari con i rispettivi

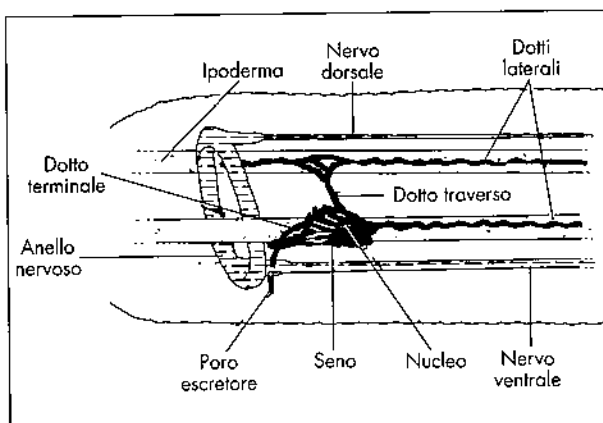


Fig. 3.54 Schema del sistema escretore: *Ascaris lumbricoides* (da Bird).



Fig. 3.55 Estremità posteriore di maschio di *Rotylenchus laurentinus*, con spicole e borsa (originale).

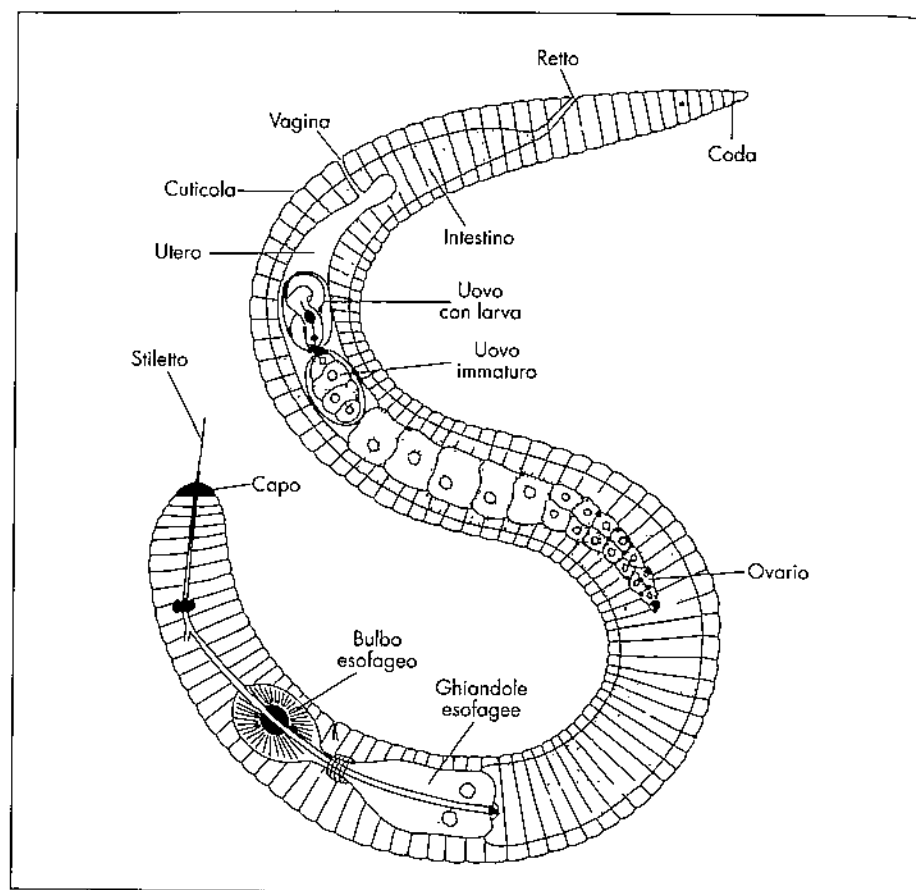


Fig. 3.56 Schema di nematode fitoparassita.

ovidutti, due uteri e la vagina posta ventralmente dove viene accolto l'organo copulatore maschile (spicole) e dove passano le uova già mature. La vagina si apre all'esterno attraverso la vulva.

I sessi sono normalmente separati; si conoscono tuttavia specie ermafrodite. La riproduzione è anfigonica, ma spesso compare la partenogenesi. Le femmine delle specie fitoparassite depongono le uova dentro i tessuti vegetali o nel terreno.

Lo sviluppo post-embryonale, fino al raggiungimento dello stadio adulto procede per mute e normalmente si svolge attraverso 4 stadi larvali.

Nematodi fitoparassiti

COMPORTAMENTO. I nematodi si muovono nell'ambiente purché vi sia sufficiente umidità che consenta la presenza di un velo d'acqua in cui nuotare; in condizioni di avversità (aridità del terreno e basse temperature) la maggioranza dei nematodi entra in quiescenza divenendo **cisti** che rimangono vitali per molto tempo.

I nematodi fitoparassiti vivono nel terreno e cercano le radici mediante gli organi di senso boccali, nuotando nel velo d'acqua che ricopre le particelle di terreno.

In base al comportamento nutrizionale si distinguono nematodi:

- *endoparassiti* che entrano completamente nella radice;
- *semiendoparassiti* che entrano nella radice solo con la parte boccale;
- *ectoparassiti* che rimangono all'esterno della radice.

I nematodi si servono dello stiletto per forare le pareti radicali e con questo sistema possono entrare oppure solamente nutrirsi aspirando la linfa cellulare, preventivamente trattata con enzimi.

DANNI PROVOCATI NEI VEGETALI. I danni provocati dai nematodi sono di grande rilevanza economica anche in conseguenza della difficile diagnosi della loro presenza; normalmente una pianta attaccata da nematodi presenta sintomatologie aspecifiche che non consentono un riconoscimento immediato ma che presentano la pianta come sofferente.

I nematodi fitoparassiti normalmente attaccano la parte ipogea della pianta ma tuttavia vi sono specie che riescono ad attaccare anche la parte epigea.

Il danno provocato dai primi è essenzialmente a carico delle radici che presentano necrosi, con emissione disordinata di radichette o con la formazione di galle. Di solito al danno diretto segue

tutta una serie di infezioni sostenute da virus, batteri e funghi che si introducono nella pianta attraverso le ferite.

Il danno provocato dai nematodi che attaccano la chioma delle piante è essenzialmente a carico di foglie e steli che presentano delle necrosi con conseguente marcescenza o disseccamento; alcuni sono minatori fogliari.

ACCERTAMENTO DELLA PRESENZA DEI NEMATODI. L'accertamento non è particolarmente difficoltoso tuttavia va effettuato con ricerche eseguite in laboratorio; a seconda se si tratta di nematodi che sono nel terreno o dentro alle piante la diagnostica è diversa.

Nel primo caso si effettua un campionamento di terreno attorno alle radici sospette, successivamente si pone il terreno in un sacchetto di tela e lo si mette in acqua. I nematodi attratti dall'acqua escono dalla tela e diffondono nell'acqua in cui è facile il rilevamento.

Nel secondo caso i campioni di tessuto vegetale vengono sminuzzati fortemente e quindi si procede come nel caso precedente.

Le soluzioni ottenute vanno esaminate al microscopio; il riconoscimento dei nematodi fitoparassiti si basa sulla presenza dello stiletto che è caratteristica discriminante.

3.6.2 Nematodi di interesse agrario

I nematodi che interessano l'ambiente agrario sono fondamentalmente di due tipi: quelli che possiamo definire utili e quelli fitoparassiti dannosi alle coltivazioni.

Per quanto concerne i **nematodi utili o entomoparassitoidi (entomoparassiti)** sono da ricordare le specie che sono parassitoidi obbligati degli insetti e che possono essere utilizzati come agenti patogeni nel controllo biologico degli insetti dannosi. Le specie attualmente oggetto di ricerca e di sperimentazione e già utilizzate appartengono ai generi *Steinernema* (sin. *Neoselectana*) e *Heterorhabditis*.

Questi nematodi sperimentalmente si sono rivelati utili parassitoidi di larve di Lepidotteri (rodilegno e Limantridi) e di Coleotteri (specie di larve terricole) come gli Oziorinchi. Essi penetrano negli insetti allo stadio di larva di terza età, uccidendoli direttamente o indirettamente mediante liberazione di batteri simbionti (gen. *Xenorhabdus*) che provocano setticemia all'insetto. Infine si ricorda la famiglia dei *Mermithidae*, in grado di attaccare larve di Scarabeidi ed Ortoteri.

I **nematodi fitoparassiti** possono invece essere suddivisi in due grandi categorie a seconda di quale parte della pianta attaccano; precisamente:

- nematodi che attaccano la parte aerea;
- nematodi che attaccano le radici.

I nematodi che attaccano la **parte aerea** appartengono ai generi *Ditylenchus* e *Aphelenchoides* dell'ordine *Tylenchida*.

Gen. *Ditylenchus*

I nematodi che appartengono a questo genere hanno lunghezza di circa 1 mm.

La cuticola è irregolare, il dimorfismo sessuale molto attenuato.

Lo sviluppo procede attraverso gli stadi di uovo, larva e adulto; di solito compiono 3-4 mute, la prima muta si svolge nell'uovo.



Fig. 3.57 Forma infestante del nematode *Steinernema feltiae*.



Fig. 3.58 Larve di *Otiorynchus sulcatus* sane (bianche) e parassitizzate da *Heterorhabditis heliothidis* (rosse).



Fig. 3.59 Esemplici di *Ditylenchus dipsaci* in foglia di *Endivia scarola* (originale).

In condizioni di temperatura normali il ciclo biologico si completa in 20/50 giorni.

Normalmente appartengono a questo genere nematodi che arrecano danni a piante erbacee e a piante inferiori; tra questi ricordiamo *Ditylenchus dipsaci*.

Gen. *Aphelenchoides*

I nematodi che appartengono a questo genere hanno lunghezza variabile da 0,5 a 1,2 mm e sono molto sottili.

Il ciclo biologico si completa in 10-15 giorni circa e segue il normale schema: uovo, larve, adulto; il maschio è molto simile alla femmina.

Tra i nematodi che appartengono a questo genere ricordiamo *Aphelenchoides fragariae* e *Aphelenchoides ritzemabosi*.

I nematodi che attaccano le radici possono essere parassiti sedentari o migratori; quasi tutti appartengono agli ordini *Tylenchida* e *Dorylaimida*.

Gen. *Heterodera* (Ord. *Tylenchida*)

I nematodi che appartengono a questo genere si caratterizzano per il grande dimorfismo sessuale e la caratteristica dell'incistamento delle femmine. La femmina si presenta subsferica con diametro maggiore lungo circa 0,5-0,7 mm; il maschio è allungato e ha una lunghezza di circa 1-1,6 mm. Le larve infestanti sono di seconda età; esse penetrano nelle radici e si instaurano nei pressi del sistema conduttore.

Il comportamento riproduttivo è diverso nei due sessi: il maschio esce dalla radice e si porta nel terreno; la femmina, raggiunta la maturità, si porta all'esterno con il corpo mantenendo internamente il capo, in questa posizione viene fecondata. Le uova, fino ad un centinaio, rimangono in parte nel corpo materno; successivamente la femmina muore e il corpo si trasforma in cisti.

La cisti, organo di conservazione, è anche sede dello sviluppo embrionale che si ferma a larva di seconda età; questa esce dalla cisti e diviene larva infestante. Il ciclo completo si compie in 2-4 mesi con possibilità di ripetersi una o due volte in un anno. I tessuti radicali infestati manifestano alterazioni evidenti con ipertrofie e perdita di funzionalità.

Gen. *Meloidogyne* (nematodi galligeni) (Ord. *Tylenchida*)

I nematodi che appartengono a questo genere si caratterizzano per il dimorfismo sessuale; la femmina ha una caratteristica forma a fiaschetto mentre il maschio è allungato.

Le dimensioni variano da 0,6 a 1,9 mm.

I maschi non sempre sono presenti in quanto vi possono essere popolazioni di femmine partenogenetiche.

Le femmine depongono le uova dentro ad un sacco gelatinoso che rimane attaccato al corpo; dentro l'uovo si compie la prima muta e la larva ver-

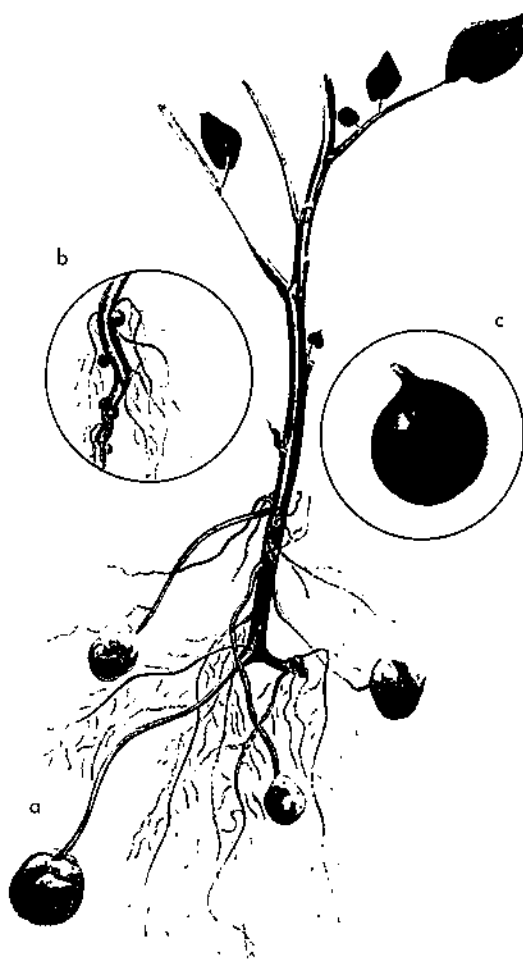


Fig. 3.60 *Heterodera rostochiensis* su patata: a) pianta infestata; b) particolare di una radice con femmine mature; c) cisti (originale).

miforme che esce (larva di seconda età) entra nelle radici della pianta, poi all'interno della radice si sviluppa e diviene adulta.

I nematodi di questo genere sono generalmente polifagi e possono attaccare coltivazioni da orto, da frutta ed erbacee in genere.

Le piante attaccate si presentano sofferenti con evidenti epinastie ed appassimenti delle foglie. Sulle radici si formano caratteristiche galle dovute alla ipertrofia dei tessuti parenchimatici della corteccia.

Nelle galle si trovano, sovente, tutti gli stadi. La specie più rappresentata in Italia è *Meloidogyne incognita* (p. 489).

Gen. *Pratylenchus* (Ord. *Tylenchida*)

I nematodi che appartengono a questo genere si caratterizzano per le piccole dimensioni (0,3-0,9 mm di lunghezza).



Fig. 3.61 *Meloidogyne* su pomodoro: a) apparato radicale con galle; b) particolare di una radice con galle; c) giovane femmina di *Meloidogyne* entro i tessuti radicali; d) femmina matura con matrice gelatinosa e uova (originale).

Il dimorfismo sessuale è molto attenuato e i maschi di alcune specie ancora non si conoscono oppure sono molto rari; spesso compare la partenogenesi.

Le uova vengono deposte sia nel terreno sia dentro i tessuti radicali; dentro all'uovo si compie la prima muta.

Il ciclo di sviluppo si compie in circa 6-8 settimane.

In condizioni di aridità del terreno le larve entrano in latenza. I *Pratylenchus* provocano lesioni radicali con gravi conseguenze sia produttive, sia per l'esistenza stessa della pianta (*P. penetrans*, *P. pratensis*).

Gen. *Xiphinema* (Ord. *Dorylaimida*)

I nematodi che appartengono a questo genere si caratterizzano per le grandi dimensioni (1,5-4,6 mm); lo stiletto viene sostituito ad ogni muta. Il loro ciclo vitale si svolge interamente nel terreno, sono infatti ectoparassiti trasmettitori di virus (es. *Xiphinema index* trasmettitore di gravi virosi nella vite) (p. 490).

Gen. *Longidorus* (Ord. *Dorylaimida*)

Sono anch'essi di notevoli dimensioni (alcuni raggiungono i 10 mm di lunghezza).

Il ciclo biologico si svolge nel terreno, sono ectoparassiti trasmettitori di virus.

Tra le specie da ricordare citiamo *Longidorus elongatus* perché vettore di virus: Raspberry ring-spot (maculatura anulare del lampone) ed altre.

3.7 Animali dannosi alle coltivazioni agrarie

I danni subiti dalle coltivazioni in campo e dalle derrate alimentari stoccate nei magazzini possono essere provocati, oltre che dagli insetti, dagli acari e dai nematodi, anche da animali appartenenti ad altri gruppi sistematici. Questi animali provocano danni sia per il loro comportamento sia per le abitudini alimentari.

Normalmente i danni sono economicamente poco rilevanti, tuttavia in presenza di forti infestazioni si possono avere grandi perdite di prodotto, sia perché è stato mangiato, parzialmente o totalmente, e comunque non è più commerciabile, sia perché inquinato dalla presenza dei residui del metabolismo degli animali che non ne consente la commercializzazione.

Normalmente è difficile prevedere delle infestazioni per l'estrema mobilità delle popolazioni di questi animali e quindi la lotta è difficile, tuttavia alcune strategie di prevenzione o di terapia consentono, nei momenti di forti attacchi, di difendere le produzioni agrarie.

Tra gli animali che possono provocare danni, anche ingenti se presenti con popolazioni numerose, ricordiamo:

- i molluschi;
- i roditori;
- gli uccelli.

Molluschi

Questa categoria di animali comprende alcune specie, appartenenti alle famiglie degli Elicidi, degli Arionidi e dei Limacidi, che sono fitofaghe; essi vivono in luoghi umidi ed hanno abitudini notturne o crepuscolari.

Tra le specie più significative ricordiamo i Limacidi e gli Arionidi *Agriolimax agrestis*, *Agriolimax flavus*, *Deroceras reticulatum* e *Arion hortensis*; tra gli Elicidi ricordiamo *Helix pomatia*, la grande chiocciola, oppure *Helicella conspurcata*, *Cochlicella ventricosa* e *Theba cartusiana*, segnalate come dannose alla bietola ed alla canapa.

I danni maggiori sono dovuti alle larghe abrasioni ed alle erosioni che provocano sulle foglie ed alle bave che lasciano strisciando. I fattori di rischio sono da ricercarsi in modo particolare nelle condizioni climatiche e nelle lavorazioni del terreno. Il clima è tuttavia il fattore predisponente più importante; annate umide e piovose favoriscono l'attività trofica e l'accrescersi delle popolazioni.

La lotta non è sempre necessaria; solo in presenza di forti infestazioni e per proteggere coltivazioni particolarmente pregiate si possono utilizzare esche avvelenate formulate con farine me-

scolate con prodotti molluschiocidi (metaldeide) e additivate di sostanze che attraggono e rendono appetibile l'esca.

Roditori

A questa categoria di animali appartengono molte specie dannose; alcune sono dannose in campo, altre sono particolarmente dannose alle derrate alimentari stoccate.

Sono dannosi alle colture alcuni topi terricoli come il comune topo selvatico (*Apodemus sylvaticus*), le arvicole dei generi *Pitymys* e *Microtus* (*Microtus arvalis*) o il surmolotto o ratto grigio (*Rattus norvegicus*); vanno inoltre annoverate le talpe (*Talpa europaea* e *Talpa coeca*) dannose più che altro per le vistose gallerie scavate nel terreno a livello della rizosfera (le talpe si nutrono infatti di insetti ed altri piccoli animali terricoli).

Il danno dei topi è dovuto sia alle gallerie che scavano nel terreno, sia al fatto che si nutrono di prodotti vegetali o parti di piante. Infatti i roditori si nutrono di granella, di tuberi, di radici, di bulbi, di frutti e, a volte, della scorza delle piante soprattutto al colletto ed alla radice. Inoltre vi sono alcuni roditori dannosi, non terricoli, come la lepre (*Lepus europaeus*) che può danneggiare i fruttiferi scorticandoli, specialmente nel periodo invernale, oppure il ratto nero o ratto dei tetti (*Rattus rattus*) che ha abitudini arboricole e scorteccia i fruttiferi e danneggia i frutti.

La lotta contro questi animali a sangue caldo, vicini agli animali domestici ed all'uomo, deve essere condotta con particolari attenzioni per evitare avvelenamenti a specie utili, allevate o comunque non colpevoli di alcun danno.

La lotta viene fatta con esche avvelenate, posizionate protette e dislocate nell'ambiente tenendo conto delle abitudini del roditore, e della necessità che l'esca non venga raggiunta da altri animali; di solito le esche vengono messe in scatole



Fig. 3.62 Esemplare di limaccia.



Fig. 3.63 Adulti di arvicole (*Pitymys savii*) (da Santini).

chiuse (di legno o di metallo) con aperture adeguate. Il materiale di base è di solito costituito da granella di frumento a cui viene miscelato il prodotto attivo e le eventuali altre sostanze attrattive. I prodotti utilizzati sono degli anticoagulanti tra cui ricordiamo il Chlorophacinone, Bromadiolone, Difenacum.

Per la difesa dei fruttiferi dall'attacco delle lepri è sufficiente porre, in presenza di forti danni e specialmente se il frutteto è in zone di protezione faunistica, delle reti metalliche che abbracciano il fusto nei primi 50-60 cm da terra.

Non sono infine da dimenticare i topolini domestici come il *Mus domesticus* che, tra i topi, è la specie più vicina all'ambiente dell'uomo e può arrecare gravi danni alle derrate alimentari. I topi domestici sono generalmente granivori, ma si adattano ai cibi più disparati, soprattutto quelli ricchi di grasso. Questi topi, con la loro attività producono oltre a danni diretti alle derrate, anche danni indiretti (contaminazione degli alimenti attraverso i loro peli e i loro escrementi); inoltre possono danneggiare imballaggi e strutture (centraline e cavi elettrici, tubazioni, coibentazioni, ecc.).

I granai e i magazzini di derrate alimentari pos-

sono infine subire l'attività dannosa di altri Muri-
di come il ratto nero (*Rattus rattus*) e il ratto grigio (*Rattus norvegicus*).

Uccelli

I danni provocati dagli uccelli sono limitati a particolari situazioni di grande densità come avviene, ad esempio, per gli storni in autunno che predano i filari di uva; nelle altre situazioni i danni non sono economicamente molto rilevanti.

La difesa contro gli uccelli granivori o onnivori deve essere solamente di tipo repulsorio mediante cannoncini a gas, palloni aerei con sagome di predatori disegnate al fine di spaventarli, oppure strisce colorate e reti di protezione. Negli ultimi anni si è sempre più accentuato il problema dei piccioni che dalle città si spostano, di giorno, nei campi seminati provocando spesso disastri e danni molto forti (spesso anche maggiori di quelli provocati dagli storni).

In una visione di agroecosistema ecocompatibile la presenza delle siepi con essenze appetite dagli uccelli riduce sensibilmente il danno sulle coltivazioni.

Capitolo 4

Fitoiatria

Nelle agricolture dei Paesi industrializzati, ma anche in quelle dei Paesi emergenti, caratterizzate da situazioni di monocoltura vocazionale (cotone, caffè, riso, canna da zucchero, ananas, banane, ecc.), la lotta contro le avversità biologiche è stata, specialmente negli ultimi 50 anni, la strategia vincente per salvaguardare le produzioni.

In tutti i Paesi con vocazione agricola specializzata si è attuata la lotta chimica, contro fitofagi o fitopatogeni, uniformando ed incrementando sia i sistemi di lotta sia i prodotti chimici utilizzati. Da sempre, ed in tutte le Nazioni, il sinonimo di lotta alle avversità biologiche o parassitarie delle colture è la lotta chimica. In questo campo la ricerca dell'industria chimica ha fatto progressi enormi, non paragonabili ad altri settori di interesse agricolo, perché sostenuta da forti spinte economiche; infatti, essere in possesso di una molecola attiva, particolarmente efficace ed innovativa (sostanza attiva), contro una fitopatia di una pianta, significa spesso avere il monopolio di quella molecola a livello mondiale, con enormi vantaggi economici e strategici per l'industria che è proprietaria del brevetto. Inoltre, le esigenze di maggior produzione, di conservazione del prodotto e di mercato, che sono le motivazioni fondamentali della lotta contro le fitopatie, spesso non bilanciate dalle esigenze ecologico-ambientali e di salubrità del prodotto ottenuto, hanno creato i presupposti perché si verificasse quello che poi è successo: una situazione di pericolo ambientale ormai riconosciuta da tutti. Infatti l'uso indiscriminato dei prodotti chimici, molti dei quali con un grave e persistente impatto tossicologico ambientale, e l'uso in tut-

to il mondo degli stessi prodotti, che si sono diffusi nel sistema aria-acqua-suolo, hanno creato un inquinamento globale con un ampio impatto sulle catene alimentari e sulle biocenosi, per cui si trova, ad esempio, DDT nei ghiacci dei poli.

Non solo si è verificato un pericolo per l'ambiente ma si è anche assistito, praticamente in tutti gli agroecosistemi, ad una maggiore incidenza delle malattie e dei danni provocati dai parassiti; le cause sono da ricercarsi nell'estrema specializzazione dell'agricoltura, con particolare riferimento:

- all'uso massiccio ed indiscriminato dei prodotti chimici che ha provocato una sterilizzazione degli ambienti, la cui prima conseguenza è la selezione di ceppi di fitofagi/fitopatogeni più resistenti ed aggressivi;
- alla distruzione delle zone di rifugio per i parassiti/predatori delle specie fitofaghe (distruzione di siepi, alberi, boschetti, ecc.); in questo modo è quasi scomparsa la fauna utile, specialmente nell'agroecosistema;
- all'intensificazione dell'agricoltura con il passaggio alle monocolture e conseguente estrema riduzione delle biodiversità; situazione ideale per i fitofagi, ma pessima per la fauna utile. Inoltre la ricerca di una maggior produttività ed una selezione spinta hanno comportato, nelle piante coltivate, una minore resistenza alle fitopatie;
- all'introduzione di piante esotiche con i loro parassiti e le loro malattie; la mancanza dei nemici naturali di questi fitofagi determina l'esplosione di nuove fitopatie in ambienti non preparati a controllarle (mancanza dei nemici naturali);

- alla generale alterazione degli ambienti che ha portato ad un impoverimento della fauna utile, meno resistente alle variazioni ambientali, con conseguente maggiore incidenza delle fitopatie, in particolare dei parassiti animali.

Il mondo scientifico ha percepito questo allarme e si è mobilitato per cercare di porvi rimedio, utilizzando le risorse di cui dispone. In questo senso la ricerca scientifico-tecnologica e la sperimentazione agronomica degli ultimi anni hanno elaborato modelli di lotta diversi da quelli della sola lotta chimica o comunque integrativi ad essa; i biologi hanno studiato gli organismi dannosi con metodi e tecnologie sofisticate, arrivando a conoscere in modo più approfondito i cicli biologici dei parassiti; è stata scoperta l'esistenza di una *comunicazione chimica* (semiochimici) tra organismi e la si è utilizzata a scopi di ricerca e di lotta (feromoni sessuali); si sono scoperti ed allevati predatori e parassitoidi di fitofagi (lotta biologica); sono state prodotte nuove molecole chimiche selettive, con un impatto ambientale e tossicologico ridotto o non significativo (juvenoidi e chitino inibitori) ed infine sono stati messi a punto nuovi prodotti ad azione bioinsetticida come il *Bacillus thuringiensis* e i nematodi entomoparassiti.

In sintesi, si può affermare che la fitoiatria ha avuto un'evoluzione che porta verso tipi di lotta eco-compatibili, con un impatto ambientale ridotto, ottenendo risultati di protezione accettabili anche per una società ed un mercato abituati alla perfezione dei prodotti.

Il problema è tanto importante che anche le grandi aggregazioni sovranazionali, come la CEE, hanno prodotto direttive di difesa delle piante che tengono conto delle esigenze ambientali e di salute del consumatore; sono stati proposti nuovi modelli di agroecosistemi in cui l'uso dei prodotti chimici per la difesa delle piante dai parassiti (agrofarmaci) è controllato e severamente regolamentato (agricoltura integrata), o addirittura quasi completamente proibito (agricoltura biologica). Queste proposte hanno avuto concretizzazione in due linee di intervento: una tecnica agronomica e l'altra fitoiatria. Quella agronomica si individua nei Piani Regionali di Sviluppo Rurale, ex Programmi Zonali pluriannuali agro-ambientali del Regolamento CEE n° 2078/92 relativo a "metodi di produzione agricola eco-compatibile con le esigenze di protezione dell'ambiente e con la cura dello spazio naturale"; questa direttiva propone un agroecosistema integrato, con tecnologie produttive rispettose dell'ambiente. Nella pratica agronomica questa direttiva si realizza con l'applica-

zione dei suddetti programmi zonali e con i Disciplinari di produzione integrata; questi ultimi sono dei regolamenti di produzione delle varie coltivazioni che tengono conto dell'ambiente in cui avviene la coltivazione (zone vocazionali) e dettano norme vincolanti, alcuni consigli sulle tecniche di coltivazione e sull'uso di determinati prodotti chimici (concimi, antiparassitari, ecc.). La linea fitoiatria viene individuata nella lotta integrata che può essere definita come la "razionalizzazione dell'uso dei mezzi di lotta siano essi di natura chimica, fisica, agronomica, biologica e biotecnologica; in altre parole consiste nell'ottimizzazione di queste risorse per salvaguardare la produzione e l'ambiente".

Queste due linee di intervento sono tra loro complementari, perché i Disciplinari di produzione integrata ed i programmi zonali del Reg. CEE 2078/92 (gli attuali Piani Regionali di Sviluppo Rurale) utilizzano i principi di difesa contenuti nella lotta integrata; quest'ultima ha senso solo in un sistema di produzione che tenga conto anche delle altre variabili di tecnica colturale, regolate dai Disciplinari di produzione e dal Reg. 2078/92 (o dagli attuali Piani Regionali di Sviluppo Rurale-Reg. 1257/99).



Mezzi e metodologie di lotta

L'adozione degli interventi fitoiatrici può avvenire in due momenti diversi.

- 1. Profilassi:** l'intervento è programmato preventivamente allo scopo di impedire o di ridurre l'instaurarsi del processo infettivo, oppure di impedire o ridurre l'eventuale infestazione parassitaria sull'ospite vegetale.
- 2. Terapia:** l'intervento viene effettuato successivamente all'insorgere della malattia o dell'infestazione; in questo caso il significato che assume l'intervento è di cura della malattia o di riduzione della presenza parassitaria.

I mezzi utilizzati in fitoiatria per il controllo delle malattie sono molteplici ma tutti riconducibili ai seguenti concetti fondamentali:

- mezzi la cui azione è mirata e diretta nei confronti del patogeno o comunque della causa della malattia; sono i più diffusi (es. lotta chimica, quasi sempre di tipo terapeutico, lotta biologica);

- mezzi che intervengono sull'ambiente per renderlo più idoneo alla coltivazione e sempre meno ai patogeni/parassiti (es. pratiche culturali di tipo preventivo);
- mezzi che tendono ad aumentare le capacità intrinseche di resistenza del vegetale alle malattie o agli attacchi dei parassiti (es.: miglioramento genetico-preventivo).

Tutti i mezzi di lotta possono essere compresi nel concetto di **lotta integrata**, che oggi è la massima espressione della fitoiatria; essa è intesa come l'unione di tutti i mezzi di lotta, compatibili con le esigenze ecologiche, che integrandosi a vicenda ottengono la massima copertura con il minore danno ambientale.

I principali mezzi di intervento utilizzabili in fitoiatria sono i seguenti:

- interventi agronomici;
- interventi con mezzi fisici e meccanici;
- interventi con mezzi legislativi;
- interventi con mezzi biologici;
- interventi con mezzi biotecnologici;
- interventi con mezzi chimici.

4.1.1 Interventi di tipo agronomico

Le cure di tipo agronomico hanno lo scopo fondamentale di creare le migliori condizioni di vita per la coltivazione in atto, cercando contemporaneamente di avversare i patogeni/parassiti.

Sostanzialmente si tratta di normali pratiche culturali che vengono effettuate nei momenti più opportuni seguendo lo sviluppo fenologico delle piante e tenendo presente il ciclo biologico dei patogeni/parassiti.

Il grande balzo tecnologico che ha fatto la tecnica colturale ha certamente messo a disposizione attrezzature che migliorano l'efficienza delle tradizionali pratiche che tuttavia, nei concetti fondamentali, rimangono attuali.

Gli interventi di tipo agronomico sono un'attenta scelta colturale, gli avvicendamenti ben distribuiti, la scelta di seme selezionato, la concimazione con letame maturo, le concimazioni chimiche adeguate, le pratiche di lavorazione quali le sarchiature e le irrigazioni, le sistemazioni idrauliche degli appezzamenti, le potature dei fruttiferi e in genere ogni pratica colturale che possa favorire lo sviluppo della coltivazione.

Gli interventi agronomici non avendo una struttura metodologica organica sono considerati, nella pratica fitopatologica, come interventi coadiuvanti le altre pratiche di difesa.

L'analisi di alcuni interventi, riportata nell'elenco seguente, senza voler essere esaustivi dell'argomento, evidenzia la grande potenzialità difensiva nascosta nella corretta pratica colturale.

- La scelta di seme selezionato riduce la possibilità di seminare semi infestati; ad esempio cariossidi di frumento esenti da agenti delle Carie oppure il seme dell'erba medica esente da Cuscuta.
- L'epoca di semina anticipata o posticipata oppure la scelta di varietà precoci o tardive permette di sfuggire a infestazioni per lo sfasamento delle fasi fenologiche con il ciclo biologico del patogeno/parassita; ad esempio la scelta di varietà precoci di Drupacee permette di ridurre l'attacco delle tignole e della Mosca della frutta.
- Le sistemazioni idraulico-agrarie e le lavorazioni fatte opportunamente riducono l'insorgenza di marciumi radicali, perché favoriscono lo smaltimento delle acque in eccesso.
- Le rotazioni che comportano la mancanza di una specie per un certo periodo di tempo riducono la presenza dei parassiti specifici; ad esempio è buona norma non far succedere a se stessa la bietola per evitare la diffusione della Cercospora, dei nematodi ed altri.
- Le potature, se ben fatte, sono una pratica di difesa diretta, eliminando parti infette o degradate, o indiretta, perché facendo assumere forme adatte permettono adeguate insolazioni e arieggiamenti. Le stesse se eseguite male diventano importanti vie di inoculo di agenti patogeni, ad esempio le Carie.

4.1.2 Interventi con mezzi fisici e meccanici

Questi mezzi agiscono sia direttamente sia indirettamente sul patogeno, creando condizioni che ostacolano la diffusione degli agenti patogeni e di danno.

Fanno parte di questi interventi: la sterilizzazione dei terricci di coltivazione con calore; la distruzione dei focolai di inoculo e/o infezione; la dendrochirurgia su organi legnosi; la protezione dalle avversità meteoriche (reti antigrandine, irrigazioni antibrina, barriere frangivento), la protezione delle ferite con opportuni mastici, le spazzolature ai tronchi infestati da forme svernanti di insetti o da cocciniglie, la raccolta degli adulti di insetti per ridurre la popolazione infestante, la bruciatura dei residui delle potature di vite attaccate da Bostrichidi.

L'analisi dettagliata di questi mezzi mette in evidenza la loro importanza pratica, infatti:

- con temperature sufficientemente alte (maggiore di 50 °C) si possono disinfestare derrate alimentari oppure gli organi di propagazione di alcune bulbose. In questo caso le temperature (circa 40 °C) dovranno essere rigorosamente controllate per evitare danni termici alla pianta;
- il fuoco può essere utilizzato per la distruzione di nidi di defogliatori (processionarie) o delle ramaglie di potatura con eventuali insetti dannosi;
- l'acqua in particolari condizioni permette la disinfestazione della frutta, ad esempio castagne infestate dal Balanino;
- la difesa dalle avversità meteoriche risparmia traumi ostacolando parassiti da ferita quali la *Botrytis*, gli agenti di Carie, i batteri ed altri.

Una menzione a parte merita la pratica della **solarizzazione**. Essa consiste nel riscaldamento del terreno mediante una copertura del suolo con film plastico trasparente; l'aumento di temperatura del substrato (i cui strati superficiali raggiungono valori termici di circa 40-50 °C), dovuto alla concentrazione dei raggi solari ed al conseguente intrappolamento del calore, consente una discreta eliminazione dei principali parassiti e patogeni del terreno.

La solarizzazione è una pratica più frequente negli areali caratterizzati da una più elevata energia radiante, può essere applicata sia in campo, sia in colture protette, soprattutto per coltivazioni ortive o floricole e vivaistiche; praticamente deve essere effettuata nei mesi più caldi per un periodo di almeno 40-50 giorni, il terreno deve essere precedentemente lavorato ed abbondantemente irrigato.

Questa pratica, a differenza della sterilizzazione con calore artificiale o con fumiganti chimici, è più selettiva, evitando il rischioso vuoto biologico; infatti generalmente rispetta i microrganismi termofili utili (come il *Trichoderma*, fungo antagonista di molti miceti patogeni), mentre indebolisce o elimina buona parte di quelli dannosi e patogeni per le piante.

La pratica della solarizzazione, oltre che determinare un discreto contenimento di molti funghi fitopatogeni presenti nel substrato, sembra fornire risultati interessanti anche nel controllo di alcuni nematodi e di alcune infestanti annuali.

Questi mezzi hanno un'importanza rilevante in quanto svolgono un'azione sinergica con altri interventi aumentando l'efficacia di questi e, per la loro natura non inquinante, non hanno controindicazioni ecologiche.

La loro utilizzazione singola non sempre risolve il problema ma se inserita nel contesto di una integrazione degli interventi (lotta integrata) spesso determina il successo della difesa delle coltivazioni.

4.1.3 Interventi con mezzi legislativi

Tra gli interventi dell'amministrazione pubblica, volti all'incremento delle produzioni agricole, non possiamo dimenticare l'azione specifica volta alla difesa delle coltivazioni, e delle piante in genere, dalle cause nemiche. I mezzi legislativi sono in pratica rappresentati da tutte le azioni volte a impedire l'introduzione di un organismo dannoso o a limitarne la sua dannosità e diffusione.

Nel nostro Paese tale funzione non è recente; si pensi ad esempio ai provvedimenti presi già nel lontano 1716 contro le cavallette. Tali interventi furono applicati e ripetuti, in tempi a noi più vicini, come ad esempio nel 1873 e l'anno successivo, segnando l'inizio di una serie di provvedimenti mirati ad eliminare i focolai di Fillossera.

Pertanto, in passato come oggi, sono i provvedimenti di lotta obbligatoria i mezzi legislativi più diretti per la difesa delle piante in genere.

Attualmente sono in vigore molti decreti di lotta obbligatoria, tra i quali vale la pena ricordare: le disposizioni sulla lotta obbligatoria contro il Cancro colorato del platano (*Ceratocystis fimbriata* Ell. et Halsted f. sp. *platani* Walter) (D.M. 17 aprile 1998), la lotta obbligatoria contro il virus della Vaiolatura delle Drupacee, Sharka (Plum Pox Virus, PPV) (D.M. 29 novembre 1996), il regolamento recante misure per la lotta obbligatoria contro il colpo di fuoco batterico (*Erwinia amylovora*) nel territorio della Repubblica (D.M. 10 settembre 1999) e le misure per la lotta obbligatoria contro la Flavescenza dorata della vite (D.M. 31 maggio 2000).

Altro mezzo legislativo intrapreso già da tempo (legge 888 del 1913) fu quello di regolamentare il commercio delle piante, la sorveglianza sulle colture, l'applicazione dei rimedi contro le malattie ed i parassiti e la difesa contro l'importazione di organismi dannosi da altri Stati.

Questi provvedimenti vedono ribadita la loro importanza con l'emanazione, da parte dell'UE, di una normativa riguardante le nuove regole per la circolazione delle piante all'interno della Comunità Europea, recepita dall'Italia con D.M. 22/12/93 "Misure di protezione contro l'introduzione e la diffusione nel territorio della Repubblica italiana di organismi nocivi ai vegetali o ai prodotti vegetali", al fine di prevenire appunto la diffusione dei fitofagi e dei fitopatogeni nocivi ai vegetali.

Il coordinamento di questa materia è stato demandato al Servizio Fitosanitario Nazionale, che ha sede presso il MIPAF (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali).

Servizio Fitosanitario Nazionale

È con la succitata legge 888/1913 che furono istituiti i Regi Osservatori per le malattie delle piante con compiti di controllo, vigilanza e certificazione fitosanitaria su tutto il materiale vegetale oggetto di commercio sul territorio nazionale.

Attualmente gli Osservatori regionali per le malattie delle piante sono Enti regionali funzionanti nel loro territorio di competenza; questi hanno portato ad un'articolazione del Servizio Fitosanitario così suddiviso:

- Ufficio Centrale della Direzione Generale del MIPAF, con il compito di coordinamento e direzione delle attività fitosanitarie; esso inoltre cura i rapporti con l'UE, presso il quale ha sede il Servizio Fitopatologico Nazionale;
- Osservatori regionali per le malattie delle piante (oggi Servizi Fitosanitari regionali); hanno presso di loro gli elenchi degli Ispettori Fitosanitari regionali (ex Delegati Speciali Fitopatologici) che svolgono i compiti sopradescritti.

Oltre alle attività di controllo, certificazione, vigilanza, ecc., svolgono anche un'importante attività di sperimentazione e di ricerca sulle fitopatie e sulle nuove strategie fitoiatriche.

Dove presenti, i Servizi Fitosanitari si avvalgono dei Consorzi Fitosanitari provinciali.

Consorzi Fitosanitari provinciali

Sono previsti dalla lettera b) art. 11 della legge 18 giugno 1931 n° 987, con i seguenti scopi:

- l'organizzazione e la vigilanza sulle operazioni di difesa condotte dai consorziati contro le malattie e i nemici delle piante coltivate; l'esecuzione diretta delle operazioni, sia per conto di tutti i consorziati sia in sostituzione degli inadempienti e dei ritardatari, è a loro spese;
- l'assunzione dell'esecuzione diretta delle operazioni di difesa disposte dal MIPAF.

Tra il 1949 e il 1964 ne furono istituiti sei: Napoli/Caserta, Verona, Parma, Piacenza, Reggio Emilia e Modena. Attualmente sono funzionanti solo i Consorzi emiliani. La Regione Emilia-Romagna ha varato una legge regionale n° 16 del 22 maggio 1996 che ha ampliato le loro competenze istituzionali, con particolare attenzione all'aspetto ambientale, data la loro specializzazione e valenza territoriale. I Consorzi Fitosanitari provinciali rappresentano l'ultimo anello della catena della sperimentazione in campo fitoiatrico, svolgendo le verifiche applicative e partecipando attivamente alla messa a punto di strategie innovative nella

difesa delle piante agrarie e non, a fianco dei Servizi Fitosanitari.

Recentemente hanno anche sperimentato l'organizzazione di un servizio di raccolta dei contenitori vuoti e bonificati di agrofarmaci, a livello provinciale, ottenendo un buon successo di conferimento ad un costo decisamente modesto.

4.1.4 Interventi fitoiatrici a basso impatto

L'evoluzione della pratica agricola verso un'agricoltura sostenibile o ecocompatibile ha determinato profonde modificazioni e cambiamenti delle diverse tecniche colturali, ma la tecnica che più di ogni altra ha subito significative mutazioni è sicuramente quella relativa alla difesa delle colture.

Le prime avvisaglie di questi mutamenti, in Italia, possono essere fatte risalire agli anni Settanta (1970), quando si è iniziato ad analizzare le conseguenze di una ventennale politica fitoiatrica *a tutto campo*, per certi versi disastrosa, che da un lato non aveva risolto adeguatamente determinati problemi delle colture, dall'altro aveva creato gravi problemi di ordine tossicologico ed ambientale. Il primo passo fu sicuramente la *lotta guidata*, che andava a sostituire la pratica della *lotta a calendario* contro la maggioranza dei parassiti, divenuta ormai consuetudine.

La lotta guidata, infatti, introduce per la prima volta il concetto di *soglia di intervento* e di *soglia economica di danno*; in pratica non si interviene più secondo schemi o calendari prefissati e indipendenti dall'infestazione, ma solo quando il danno dovuto alla presenza del parassita diventa economicamente significativo; quindi il trattamento, seguendo la soglia d'intervento, si fa quando il danno provocato dal parassita è ancora inferiore al costo dell'intervento.

La soglia di intervento in pratica è un parametro prudenziale che deriva dalla soglia di danno. Quest'ultima è ricavata dal rapporto tra il valore del danno previsto ed il costo dell'intervento; quando questo rapporto è maggiore di 1 conviene intervenire. Oggi però, per evitare il rischio di un danno economico significativo, si stabilisce una soglia di intervento che è di poco inferiore a quella di danno e quindi si interviene quando il danno è ancora, come valore, inferiore al costo dell'intervento.

Con la lotta guidata, per poter determinare le soglie, sono state messe a punto diverse metodologie di campionamento e monitoraggio (campionamenti diretti, trappole sessuali o cromotropiche, utilizzo di parametri climatici o di model-

li previsionali) che possano così consentire di raggiungere l'obiettivo principale della lotta guidata: cioè l'intervento giusto al momento giusto. Ma la lotta guidata non è stata che il primo passo di un'evoluzione verso le tecniche di lotta a basso impatto, infatti è stata quasi subito assorbita dalla lotta integrata, che è un concetto più generale ed ampio che mantiene saldi i criteri delle soglie di intervento della lotta guidata, in più introduce il concetto di "priorità ai fattori naturali di limitazione" (**lotta biologica**), dando un impulso allo sviluppo delle tecniche fitoiatriche alternative e/o integrative alla lotta chimica; quest'ultima peraltro viene notevolmente rivista soprattutto per ciò che concerne i parametri di selettività, biotossicità, degradazione ed impatto ambientale. Fra le tecniche fitoiatriche a basso impatto, a parte la corretta applicazione dei criteri di lotta integrata, dobbiamo sicuramente annoverare la lotta biologica e le tecniche biotecnologiche, che verranno di seguito approfondite data la loro peculiarità e importanza pratica.

4.1.5 Interventi con mezzi biologici: lotta biologica

Per analizzare correttamente il fenomeno, soprattutto nel settore entomologico, dove la lotta biologica ha maggiori risvolti pratici e diverse possibilità applicative, occorre premettere che fra tutti i potenziali parassiti dei vegetali, in particolare gli Artropodi, solo il 2-3% sono in grado di determinare seri danni economici alle coltivazioni o comunque ai vegetali ospiti.

Ciò è dovuto sia a caratteri intrinseci dei fitofagi che spesso sono presenti a basse densità, quindi sotto la soglia di danno economico, sia agli innumerevoli rapporti di antagonismo naturale che si vengono ad instaurare, nei diversi ambienti, fra gli organismi stessi.

Lo studio di questi antagonismi ne ha evidenziato buone prospettive pratiche di utilizzo quali mezzi di controllo dei parassiti ecologicamente più sicuri, ed in alcuni casi, valida alternativa, sia tecnica sia economica, al mezzo chimico. La lotta biologica tende quindi a utilizzare questi rapporti antagonistici; pertanto gli **interventi con mezzi biologici** consistono nello sfruttamento dei nemici naturali (macro e microrganismi), allo scopo di controllare le popolazioni dei parassiti delle piante agendo in modo da tenerli sotto le soglie di danno. Alcuni autori comprendono nella pratica di lotta biologica anche i mezzi biotecnici che traggono origine dagli organismi stessi e che vengono utilizzati per il loro controllo (es. i feromoni, gli

ormoni regolatori di crescita degli insetti, ecc.), riconoscendo così quale metodologia biologica anche mezzi non biotici.

Nel presente libro, però, le metodologie di lotta che sfruttano mezzi biotici e mezzi biotecnici vengono considerate separatamente in due distinte tipologie di lotta, indicate rispettivamente come lotta biologica e lotta biotecnologica.

Attualmente i mezzi biologici che presentano maggiore capacità applicativa riguardano il controllo degli insetti e acari fitofagi, tuttavia è in continua evoluzione anche lo studio di applicazioni nei confronti delle malattie (funghi e batteri) e delle erbe infestanti; i risultati sperimentali consentono di ben sperare in prossime applicazioni in campo. Lotta biologica, però, non è solo l'utilizzo applicativo di organismi utili (cioè produrre o allevare i nemici naturali dei fitofagi e lanciarli negli ambienti), ma anche e soprattutto la salvaguardia, la conservazione ed il potenziamento di tutti quegli antagonismi naturali che già sono presenti nell'ambiente e che l'uso scorretto del mezzo chimico ed alcune dissennate pratiche agricole hanno notevolmente ridotto soprattutto negli agroecosistemi. Le pratiche che ripristinano una certa biodiversità negli ecosistemi sviluppando molti degli *antagonismi perduti* e quelle che ne favoriscono il potenziamento, agevolandone il ripopolamento, sono pratiche di lotta biologica. La **lotta biologica** consiste quindi nella conservazione e nell'uso degli antagonisti esistenti nell'ambiente naturale, con la finalità di controllare la densità delle popolazioni fitofaghe e fitoparassite e mantenerle entro limiti considerati al di sotto delle soglie economiche di danno. È però importante, a onor del vero, sottolineare che non tutti gli organismi dannosi hanno dei validi antagonisti naturali in grado di determinarne un controllo significativo e tecnicamente adeguato; inoltre molti degli antagonisti dei fitofagi esercitano la loro azione di controllo in modo estremamente specifico e selettivo; da un lato questo aspetto è favorevole, per il minor impatto ambientale esercitato dall'antagonista, ma dall'altro costringe ad avere in un dato ambiente una tal varietà di nemici naturali che diventa molto difficile mantenere attivi contemporaneamente (ad esempio la maggior parte dei parassitoidi degli Afidi e delle Cocciniglie ha un rapporto antagonistico molto specifico, come l'*Encarsia berlesei* per la *Diaspis pentagona*, l'*Aphelinus mali* per l'Afide lanigero del melo, ecc.).

Questa estrema specificità e selettività di azione può determinare anche problemi di natura applicativa, soprattutto da parte di quegli operatori medi che, non sufficientemente supportati da un'adeguata assistenza tecnica qualificata, non sono in

grado di operare autonomamente ed applicare una metodologia di lotta che richiede una buona e specifica preparazione tecnica; sicuramente questo aspetto rappresenta ancora uno dei limiti applicativi più importanti per un'estensione capillare della lotta biologica in Italia. Infatti la lotta chimica risulta ancor oggi di più facile attuazione in quanto meno soggetta a variabili esterne, non necessita di conoscenze biologiche ed epidemiologiche estremamente approfondite e, pur considerando anche gli agrofarmaci più mirati e selettivi, essi agiscono quantomeno su un discreto numero di specie appartenenti allo stesso gruppo sistematico e mai su una sola specie (gli aficidi specifici esplicano il loro effetto su quasi tutti gli afidi, e non solo su *Aphis pomi*). L'evoluzione delle scienze ha permesso comunque anche il progredire della lotta biologica che si è avvalsa di una migliore conoscenza dei cicli biologici e delle caratteristiche biosistematiche degli insetti e degli agenti di malattia scoprendo, anche attraverso gli insuccessi, i limiti applicativi insiti nel metodo stesso.

Limiti della lotta biologica

I limiti della lotta biologica possono essere così riassunti:

- la lotta biologica non è un mezzo in grado di controllare ogni organismo dannoso; infatti molte piante hanno dei parassiti non controllabili biologicamente e per i quali devono essere attivati interventi di tipo chimico; questo è sicuramente un limite anche per l'estensione dell'agricoltura biologica a diverse colture di pieno campo, infatti questa pratica limita molto l'utilizzo di sostanze attive di tipo chimico anche integrate al mezzo biologico, come avviene per altri modelli di agricoltura (es. l'agricoltura integrata);
- la lotta biologica non garantisce che il parassita rimanga sempre al di sotto delle soglie economiche di danno; essa è comunque soggetta agli equilibri dinamici delle popolazioni ed alle variabili ambientali;
- il controllo delle popolazioni di fitofagi o di fitopatogeni non è mai immediato, al contrario dei mezzi chimici, ma se l'intervento è ben strutturato, è più duraturo nel tempo;
- la lotta biologica esplica la sua azione con successo soprattutto se l'intervento ha dimensioni almeno comprensoriali, più che aziendali; ciò è vero soprattutto se si opera in pieno campo (e non in coltura protetta) e se l'intervento biologico prevede l'utilizzo di determinati organismi utili (insetti e acari) allevati nelle biofabbriche e lanciati in campo; questo principio resta peraltro valido anche per alcuni interventi di

lotta biotecnologica, come l'utilizzo delle trappole sessuali di cattura di massa e la tecnica dell'autocidio; altre tecniche fitoiatriche di tipo biologico, come l'utilizzo di agenti patogeni (lotta microbiologica), e gli interventi in coltura protetta possono benissimo essere eseguiti con successo anche su areali limitati.

Le pratiche biologiche, valutate in termini economici in rapporto con la lotta chimica, non sono sempre competitive; tuttavia occorre ricordare che la lotta biologica va valutata globalmente, e non solo da un punto di vista economico, soprattutto nei suoi positivi aspetti ecologici e tossicologici; nell'analisi costi-benefici non va dimenticata, inoltre, la possibilità di ottenere un prodotto di qualità che può spuntare prezzi di mercato maggiori.

Le ragioni dei maggiori costi di alcuni interventi di tipo biologico sono comunque da ricercarsi anche nella produzione limitata e quasi artigianale di molti organismi utili e dalle ovvie difficoltà oggettive nella promozione e commercializzazione di prodotti poco conservabili nel tempo e da utilizzare con tempestività. Se da un lato questi fattori possono essere considerati limitanti l'applicazione pratica della lotta biologica, in un'agricoltura solo produttivistica, sono tuttavia di netto valore positivo per l'ecosistema che trova in questa tecnica fitoiatrica un elemento equilibrante. Questi limiti hanno costretto la lotta biologica, negli anni del dopoguerra fino agli anni Settanta (1970), ad un ruolo di secondo piano perché non in grado di assecondare le esigenze di un'agricoltura in forte espansione tecnologica e produttiva; in quel periodo presero il sopravvento i prodotti chimici e la difesa fitosanitaria si è servita solo saltuariamente delle tecniche biologiche.

Gli avvenimenti degli ultimi anni che hanno messo in evidenza i danni causati da un massiccio uso di prodotti chimici hanno riacceso l'interesse dei ricercatori e degli operatori che sperano di individuare nuove tecnologie e nuovi comportamenti che consentano la salvaguardia dell'ambiente e dell'attività agricola.

È con questo obiettivo che la lotta biologica si ripropone, integrando le altre risorse fitoiatriche e individuando un nuovo modo di affrontare il problema della difesa delle coltivazioni, non più la distruzione dei fitofagi o degli organismi dannosi (lotta chimica), ma il controllo delle loro popolazioni che devono essere mantenute sotto le soglie di danno economico. Essa tuttavia non deve essere considerata come la panacea per tutti i mali, ma solamente un mezzo di grande potenzialità ancora inespressa e che al momento attuale non sostituisce i mezzi chimici ma si integra con essi.

4.1.6 Metodologie di lotta biologica

La lotta biologica, i cui principi sono semplici e facilmente intuibili, diviene complessa nella pratica applicativa per le molteplici interazioni che si attivano ad ogni intervento. Innanzitutto occorre evidenziare le due linee di azione fondamentali, sinergiche tra loro e spesso applicate contemporaneamente, che essa propone:

1. protezione e potenziamento degli antagonismi presenti in natura;
2. uso degli antagonismi presenti in natura.

La prima linea di azione consiste nel **controllo ambientale**. I fitofagi ed i fitopatogeni fanno parte dell'ecosistema, sono con esso in equilibrio dinamico e solo quando la densità della popolazione supera certi limiti essi divengono dannosi. Questo primo aspetto della lotta biologica agisce conservando ed incrementando le presenze dei nemici naturali del parassita attraverso due metodologie:

1. il **metodo inoculativo** consiste nella messa in atto di accorgimenti tesi a migliorare un meccanismo di controllo ecologico esistente, in pratica determinando il ripopolamento su microambienti con immissione periodica di organismi già introdotti ma presenti a basse soglie o fortemente danneggiati da interventi fitoiatrici non selettivi. Un esempio applicativo potrebbe essere l'immissione di tralci o apposite fascette, contenenti un alto livello di colonizzazione di femmine svernanti di acari Fitoseidi utili (predatori) in vigneti dove la loro presenza è molto bassa (le fascette vengono applicate sui fusti o sui cordoni permanenti di viti con buona presenza di Fitoseidi anche allo scopo di creare artificiali rifugi invernali di protezione delle femmine svernanti). Rientra nelle metodologie di tipo inoculativo la consuetudine di togliere dalle piante organi vegetali con fitofagi parassitizzati prima di un intervento fitoiatrico necessario, ma non selettivo, per poi reimmetterli in campo dopo l'intervento (es. i rametti di melo con colonie di Afide lanigero parassitato da *Aphelinus mali*, che vengono tolti dal campo prima di un trattamento insetticida e reimmessi successivamente);
2. il **metodo protettivo** consiste nel mantenere e potenziare zone di rifugio per ospiti dell'insetto utile alternativi al fitofago o per gli stessi entomofagi negli agroecosistemi (ad esempio la presenza delle siepi o di zone con vegetazione spontanea vicino ai campi coltivati), modi-

ficando e sostituendo le tecniche agronomiche dannose per gli organismi utili e utilizzando in modo mirato gli agrofarmaci scegliendo quelli più selettivi per l'entomoacarofauna utile ed a minore impatto sulle biocenosi e sull'ambiente in genere.

La seconda linea di azione agisce mediante l'utilizzazione di **agenti biotici** che vengono immessi nell'ambiente per controllare la popolazione del parassita. Gli agenti biotici (virus, batteri, funghi, nematodi, acari e insetti) non determinano un'immediata riduzione della popolazione del fitofago o del fitopatogeno ma, inserendosi in un ecosistema, ne divengono forza omeostatica di controllo, spesso durevole nel tempo. Questo secondo aspetto della lotta biologica si prefigge due obiettivi: il controllo permanente e il controllo temporaneo delle popolazioni fitofaghe o fitoparassite, utilizzando gli agenti biotici con due metodologie applicative:

1. il **metodo propagativo** relativo all'introduzione ed al mantenimento nell'ambiente di organismi utili esotici o comunque non indigeni per controllare parassiti esotici che, in determinate situazioni ambientali, non trovano controllori naturali; in pratica si introducono, nel nuovo ambiente, gli antagonisti naturali degli ambienti d'origine dei fitofagi, come ad esempio l'introduzione in Italia degli Imenotteri Afelinidi *Encarsia berlesesi* e *E. perniciosi* per controllare i Diaspini dei fruttiferi Cocciniglia bianca del pesco e Cocciniglia di San Josè, oppure l'introduzione del Coccinellide *Rodolia cardinalis* per controllare l'*Icerya purchasi*. La finalità di questo metodo è il controllo permanente;
2. il **metodo inondativo** che prevede l'allevamento in massa degli organismi utili, sia agenti patogeni sia Artropodi entomofagi, ed il loro utilizzo mediante lancio negli ambienti, con l'obiettivo di ridurre rapidamente, ma temporaneamente, l'infestazione del parassita come in un trattamento antiparassitario. Questo metodo presuppone la possibilità di allevare grandi quantità di organismi utili ed immetterli nell'ambiente in massa, secondo opportuni parametri, allo scopo di contenere, in tempi brevi, la popolazione dei fitofagi. Per questo possono essere considerati come dei *bioinsetticidi* e un esempio potrebbe essere rappresentato dall'utilizzo del *Bacillus thuringiensis* contro le larve dei Lepidotteri defogliatori, oppure dall'utilizzo del *Phytoseiulus persimilis* e della *Chrysoperla carnea*, allevati nelle biofabbriche, ed utilizzati rispettivamente contro il ragnetto rosso e gli afidi di molte coltivazioni in ambiente protetto. La finalità di questo metodo è il controllo temporaneo.

Considerata nel suo complesso la lotta biologica può essere attuata contro i bersagli elencati nella tabella seguente:

Tab. 4.1

Bersagli della lotta biologica	Antagonisti naturali utilizzabili	
	con uccelli	insettivori onnivori
Insetti e acari	con artropodi entomofagi	predatori parassitoidi
	con agenti patogeni	virus batteri funghi protozoi nematodi
Crittogame e batteri	con insetti con funghi con batteri	
Erbe infestanti	con insetti con funghi con batteri	

Lotta biologica contro insetti e acari

In questo contesto vengono considerati tutti quegli organismi che predano o parassitano degli insetti e/o degli acari fitofagi. Gli agenti biologici di controllo possono essere:

- **entomofagi** (uccelli, Artropodi predatori e/o parassitoidi);
- **agenti patogeni** (virus, batteri, funghi, protozoi e nematodi).

4.1.7 Entomofagi

Uccelli

In questa sede si accenna solamente agli **uccelli insettivori** che nel loro insieme costituiscono un'importante forza di contenimento delle popolazioni fitofaghe. Logicamente la loro importanza nella lotta biologica, unitamente ad alcuni altri animali insettivori come il riccio, il toporagno, il rospo ed altri anfibi, alcuni rettili, ecc., è relativa alla prima linea d'azione descritta, cioè al mantenimento ed al potenziamento degli antagonismi naturali con il metodo protettivo. Infatti, questi animali, insieme ad altri antagonisti specifici, rappresentano una forza omeostatica di autoregolazione di molte biocenosi, comprese quelle degli agroecosistemi.

Se si considera che un uccello insettivoro può

mangiare, nell'arco di un anno, una quantità di insetti circa 100 volte il proprio peso ci si rende conto della loro azione di contenimento.

L'azione insettivora degli uccelli deve essere tutelata e la lotta biologica, quando si prefigge la tutela dell'ambiente (metodo protettivo), svolge in questo senso un importante ruolo; infatti si può pensare a creare, nell'ambiente agrario, zone di rifugio e ripristinare le alberate e le siepi per consentire la sosta, la nidificazione ed il riparo di questi animali, anche e soprattutto quando le coltivazioni sono sottoposte ad interventi con azione di disturbo nei confronti degli animali stessi, che tendono così ad abbandonare questi ambienti riducendo la pressione predatoria sulle popolazioni dei fitofagi o di altri organismi dannosi.

Tra gli uccelli insettivori più comuni nelle nostre campagne ricordiamo: il cuculo (*Cuculus canorus*), il rondone (*Apus apus*), il picchio rosso maggiore (*Dendrocopos major*) insieme agli altri Piciformi, il rampichino (*Certhia brachydactyla*), la rondine (*Hirundo rustica*), la capinera (*Sylvia atricapilla*) ed infine le cince (*Parus major* e *Parus*



Fig. 4.1 Cinciallegre (*Parus major*).



Fig. 4.2 Cuculo (*Cuculus canorus*).

caeruleus). Da non dimenticare, comunque, il ruolo positivo svolto da altri animali insettivori come il riccio, il rospo, i pipistrelli, il toporagno, ecc.

Artropodi entomofagi

La lotta biologica contro gli insetti fitofagi, specialmente quella applicativa che prevede l'utilizzo degli antagonisti naturali, si avvale soprattutto di Artropodi entomofagi; fra questi il gruppo più attivo ed importante è rappresentato da insetti predatori e da insetti parassitoidi; inoltre possono essere utilizzati anche acari predatori che si nutrono indifferentemente di insetti ed altri acari fitofagi.

Sono considerati predatori quegli Artropodi che, in uno o più stadi della metamorfosi, si nutrono direttamente della preda che viene, da essi, attivamente ricercata spostandosi nell'ambiente. Gli insetti predatori appartengono prevalentemente agli ordini dei Rincoti, Neurotteri, Coleotteri e Ditteri.

Tra i predatori, inoltre, sono da annoverare anche alcuni acari, in particolare le famiglie dei Fitoseidi, degli Stigmeidi e dei Trombididi.

Sono considerati **insetti parassitoidi** quelli che, prevalentemente allo stadio larvale, si sviluppano nutrendosi di un individuo di un'altra specie, detta **specie ospite**. Il termine parassitoide, che in questo caso ha sostituito quello di parassita, sta ad indicare che alla fine del rapporto la vittima è sempre portata a morte. I parassitoidi sono esclusivamente insetti ometabolici e appartengono prevalentemente agli ordini dei Ditteri e degli Imenotteri. Possono essere classificati in **endoparassitoidi**

ed **ectoparassitoidi** a seconda del tipo di rapporto trofico instaurato con l'ospite (all'interno o all'esterno del corpo della vittima o dell'ospite).

La lotta biologica con entomofagi si iscrive anche nella seconda ipotesi metodologica che propone l'uso di agenti biotici immettendoli nell'ambiente. L'applicazione prevede metodologie piuttosto complesse che comprendono:

– **l'allevamento degli entomofagi** necessario ogni volta che si intende propagare insetti esotici o aumentare la popolazione di entomofagi indigeni. Questa attività presuppone un'ottima conoscenza dei cicli biologici, delle abitudini alimentari dell'entomofago e dell'ospite; inoltre presenta notevoli difficoltà operative per la complessità dei problemi da affrontare.

Occorre distinguere innanzitutto se l'allevamento è fatto sul fitofago raccolto in natura oppure sul fitofago allevato in laboratorio. Nel primo caso l'allevamento è limitato e di tipo sperimentale e di studio, nel secondo caso ci si riferisce ad allevamenti già collaudati e di tipo industriale.

In questo caso occorre distinguere due strutture:

- *l'allevamento dei riproduttori del fitofago* che produce insetti o acari da far predare/parassitizzare; il problema più rilevante in queste strutture è quello nutrizionale per gli insetti a diete specifiche per i quali è difficile trovare un alimento sostitutivo.

Spesso si ricorre a substrati alimentari sostitutivi (germogli di patate, banane) o artificiali (lievito di birra, caseina);

- *l'allevamento dei riproduttori del parassitoide e/o predatore* che produce insetti o acari che vengono utilizzati, mediante lanci programmati, nei territori sottoposti a controllo. In questo caso occorre distinguere: allevamenti direttamente sull'ospite naturale, su un ospite di sostituzione, oppure su substrati artificiali di carne cruda e gelatine.

– **l'adattamento ambientale e il lancio degli entomofagi** comprende l'acclimatazione, che non è da intendersi solamente come adattamento dell'insetto introdotto al nuovo ambiente ma, e soprattutto, anche come l'insieme delle modificazioni che ha subito l'ambiente con l'introduzione del nuovo organismo.

Il lancio degli entomofagi deve essere effettuato in momenti opportuni, legati al ciclo biologico della preda/ospite, allo stadio dello sviluppo più attivo, e a modalità che considerano la densità della popolazione lanciata in funzione dell'infestazione in atto.



Fig. 4.3 *L'Encarsia formosa, che qui sta parassitizzando una neanide di Aleurodide, è impiegata nelle colture protette.*

Il successo dell'acclimatazione viene sancito dalla diminuzione della popolazione del fitofago e dal mantenimento dello stesso entro i limiti di danno.

Il lancio deve essere ripetuto, se non si riesce a mantenere stabile la popolazione entomofaga; può riguardare l'introduzione di specie esotiche utili ed infine può essere fatto per incrementare le specie presenti nell'ambiente per ripristinare un equilibrio perduto.

Gli Artropodi entomofagi che attualmente presentano un'utilizzazione nella lotta biologica sono divisibili nelle categorie seguenti.

INSETTI PREDATORI

- **Rincoti Pentatomidi:**
 - *Perillus bioculatus* preda larve di Dorifora.
- **Rincoti Miridi:**
 - *Malacoris chlorizans* preda ragnetti.
 - *Macrolophus caliginosus* preda Aleurodidi.
- **Rincoti Nabidi:**
 - *Nabis punctatus* preda uova di Pentatomidi.
- **Rincoti Antocoridi:**
 - *Orius* spp. preda Tripidi, Psille, Afidi e Lepidotteri;
 - *Anthocoris nemorum* preda Acari, Afidi e Psillidi.
- **Neurotteri Crisopidi:**
 - *Chrysoperla carnea* preda Afidi, altri Rincoti, Tisanotteri ed altri;
 - *Chrysopa carnea* vedi *Chrysoperla*.
- **Coleotteri Meloidi:**
 - *Zonabris variabilis* preda uova di Ortotteri Celiferi.
- **Coleotteri Carabidi:**
 - *Calosoma sycophanta* preda Lepidotteri defogliatori.
- **Coleotteri Coccinellidi:**
 - *Stethorus punctillum* preda Acari;
 - *Adalia bipunctata* preda Afidi;

- *Coccinella septempunctata* preda Afidi;
- *Rodolia cardinalis* preda *Icerya purchasi*;
- *Cryptolaemus montrouzieri* preda Cocciniglie;
- *Scymnus subvillosus* preda Afidi;
- *Harmonia conglobata* preda Afidi;
- *Exochomus quadripustulatus* preda Cocciniglie e Afidi;
- *Chilocorus bipustulatus* preda Cocciniglie.

- Ditteri Sirfidi:

- *Syrphus ribesii* preda Afidi;
- *Episyrphus balteatus* preda Afidi;
- *Scaeva pyrastris* preda Afidi.

- Ditteri Cecidomidi:

- *Aphidoletes aphidimyza* preda Afidi

- Imenotteri Formicidi:

- *Formica rufa* preda Lepidotteri defogliatori.

ACARI PREDATORI

- Acari Stigmeidi:

- *Zetzellia mali* preda Acari Tetranychidi.

- Acari Fitoseidi:

- *Phytoseiulus persimilis* preda Acari Tetranychidi;
- *Amblyseius andersoni* preda Acari Tetranychidi ed Eriofidi;
- *Amblyseius cucumeris* preda Tripidi e acari;
- *Typhlodromus pyri* preda Acari Tetranychidi ed Eriofidi.

- Acari Trombididi

- *Allothrombium fuliginosum* preda Afidi, Cocciniglie ed altri insetti.

INSETTI PARASSITOIDI

- Imenotteri Afididi

- *Aphidius matricariae* parassitoide di Afidi;
- *Aphidius rosae* parassitoide di Afidi;
- *Praon flavinodis* parassitoide di Afidi.

- Imenotteri Afelinidi

- *Erethocerus mundus* parassitoide di *Bemisia tabaci*;

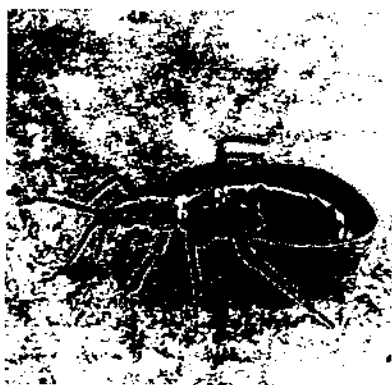


Fig. 4.4 Ninfa di *Anthocoris nemorum*.

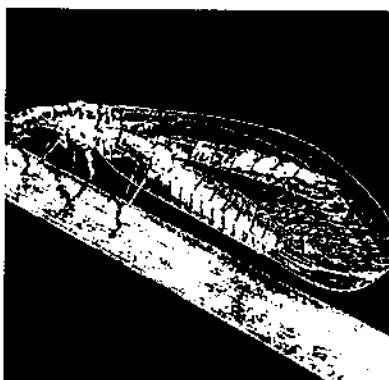


Fig. 4.5 Adulto di Crisopide.



Fig. 4.6 Larva di Crisopide mentre preda uova di *Ifantria*.



Fig. 4.7 Adulti e larva di *Adalia bipunctata*.



Fig. 4.8 Larva e adulto di *Scymnus*.



Fig. 4.9 Adulto e particolare di larva matura di Dittero *Sirtide*.

- *Aphelinus mali* parassitoide di *Eriosoma lanigerum*;
 - *Prospaltella* (*Encarsia*) *berlesei* parassitoide di *Diaspis pentagona*;
 - *Prospaltella* (*Encarsia*) *perniciosa* parassitoide di *Quadraspidotus perniciosus*;
 - *Encarsia formosa* parassitoide di *Trialeurodes vaporariorum*;
 - *Archenomus orientalis* parassitoide di *Diaspini*;
 - *Aphytis proclia* parassitoide di Cocciniglie.
- **Imenotteri Encirtidi:**
- *Leptomastix dactylopii* parassitoide di *Planococcus citri*;
 - *Ageniaspis fuscicollis* parassitoide di Lepidotteri Iponomeutidi;

- *Paralitomastix variicornis* parassitoide di Anarsia.
- **Imenotteri Braconidi:**
- *Apanteles glomeratus* parassitoide di Lepidotteri Pieridi;
 - *Aphidius colemani* parassitoide di Afidi (*Aphis gossypii*);
 - *Chelonus annulipes* parassitoide di Piralide;
 - *Opius concolor* parassitoide di Ditteri Tripetidi.
- **Imenotteri Tricogrammatidi:**
- *Trichogramma maidis* parassitoide di Piralide.
- **Imenotteri Eulofidi:**
- *Edovum puttleri* parassitoide di *Leptinotarsa decemlineata*;
 - *Diglyphus isaea* parassitoide di *Liriomyza trifolii*;

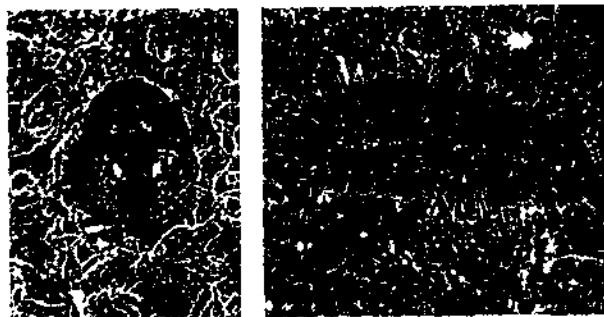


Fig. 4.10 A sinistra: adulto di *Stethorus punctillum*; a destra: larva di *Stethorus punctillum* predatore di acari fitofagi.

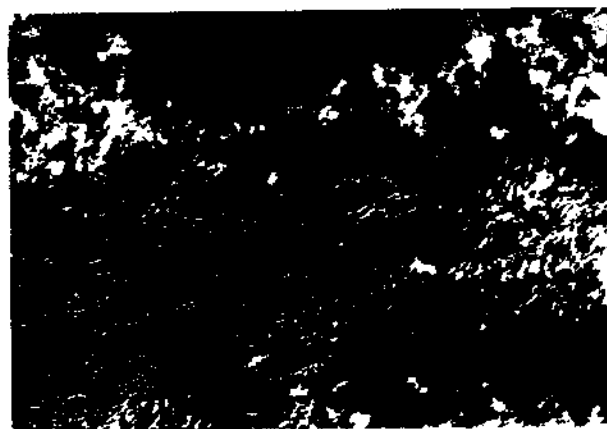


Fig. 4.12 Imenotteri parassitoidi all'atto di parassitizzare afidi.



Fig. 4.11 Adulto dell'acaro predatore *Phytoseiulus persimilis* (a destra) e adulto del fitofago *Tetranychus urticae* (a sinistra).



Fig. 4.13 Adulto di *Aphelinus mali* parassitoide di Afide lanigero.

- *Tetrastichus goidanichi* parassitoide di Lepidotteri.

– **Imenotteri Icneumonidi:**

- *Pimpla instigator* parassitoide di Lepidotteri e Coleotteri;
- *Rhyssa persuasoria* parassitoide di Imenotteri xilofagi;
- *Anilastus ebeninus* parassitoide di Pieridi.

– **Imenotteri Drinidi**

- *Neodryinus typhlocybae* parassitoide di Metcalfa.

– **Ditteri Larvevoridi o Tachinidi:**

- *Leskia aurea* parassitoide di Lepidotteri Egeridi (Sesia);
- *Compsilura concinnata* parassitoide di vari Lepidotteri;
- *Nemorella pellucida* parassitoide di Lepidotteri.

Attualmente la lotta biologica con entomofagi viene attuata, con discreto successo, nelle coltivazioni protette (serre e tunnel freddi); in questi particolari agroecosistemi le condizioni ambientali sono facilmente controllabili e si prestano bene all'applicazione di questa lotta.

Tab. 4.2 Entomofagi maggiormente impiegati in coltura protetta.

Insetti entomofagi	Preda/ospite
<i>Encarsia formosa</i>	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> (Mosca bianca)
<i>Diglyphus isaea</i>	<i>Liriomyza trifolii</i> , minatore delle foglie
<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Afidi spp.
<i>Chrysoperla carnea</i>	Afidi spp.
<i>Orius</i> spp.	Tripidi
Acarì entomofagi	Preda
<i>Phytoseiulus persimilis</i>	<i>Tetranychus urticae</i> (Ragnetto rosso)
<i>Amblyseius</i> spp.	Tripidi spp.

In questi ambienti il fitofago trova condizioni favorevoli e diviene particolarmente dannoso in considerazione della relativa costanza di temperatura, dell'isolamento da nemici naturali e della necessità di contenere i trattamenti chimici su prodotti a ciclo biologico breve. Tuttavia le stesse condizioni che favoriscono il fitofago rendono l'ambiente favorevole al predatore/parassitoide che diviene un importante elemento di controllo all'interno di questi ambienti. I motivi che hanno sviluppato questo tipo di lotta nelle coltivazioni protette sono essenzialmente i seguenti:

- riduzione dei trattamenti chimici con conseguente riduzione del rischio di contaminazione degli operatori, in un ambiente chiuso come

- quello delle colture protette, dove i rischi di intossicazione sono maggiori;
- migliori condizioni ecologiche generali e minor pericolo di tossicità ambientale;
- maggiore economicità del trattamento biologico rispetto a quello chimico, nel lungo periodo;
- produzione di un prodotto certificato *biologico* che ha migliori possibilità di collocazione sul mercato spuntando prezzi più alti;
- possibilità di effettuare interventi inondativi anche con entomofagi poco resistenti, avendo la possibilità di controllare i parametri ambientali;
- la limitata cubatura degli ambienti protetti rende economicamente possibile il lancio di determinati entomofagi allevati nelle biofabbriche, pratica che in pieno campo non sempre è possibile per l'elevata quantità di organismi che dovrebbero essere lanciati (per l'effetto diluizione nell'ambiente) rendendo economicamente insostenibile l'intervento.

4.1.8 Lotta microbiologica: utilizzo di agenti patogeni

La lotta microbiologica contro gli insetti sfrutta il fatto che questa classe di Artropodi, come del resto tutti gli altri organismi viventi, è soggetta a infezioni parassitarie provocate da microrganismi; gli stati morbosi, conseguenti a queste infezioni, possono essere acuti o cronici, in ogni caso lo stato di equilibrio dell'organismo viene alterato determinando una vera e propria malattia. Questa pratica tende a sfruttare quegli agenti patogeni che inducono stati morbosi letali o subletali agli insetti fitofagi. Le finalità di questa lotta si riconoscono pienamente in quelle più generali della lotta biologica ma, pur perseguendo gli stessi obiettivi, percorre strade diverse per le sue caratteristiche specifiche, infatti:

- la sua azione è molto selettiva;
- non reca danno alle popolazioni di insetti utili;
- generalmente è innocua per l'uomo e per gli animali;
- la sua particolare tipologia ne consente l'uso in ambienti naturali di grandi dimensioni (foreste), dove la tradizionale difesa fitoiatrica con interventi chimici è difficilmente applicabile, senza che vi siano conseguenze negative per l'ambiente;
- la produzione di agenti patogeni è economicamente più vantaggiosa con costi a curva discendente, e in certi casi tecnicamente più semplice;
- è una pratica tecnicamente ed economicamente estendibile anche per applicazioni di pieno

campo, a differenza di altre tecniche di lotta biologica che presentano, in questo ambito, dei limiti applicativi.

Gli agenti patogeni utilizzati sono: virus, batteri, funghi, protozoi e nematodi. L'utilizzazione di questi agenti patogeni presenta diversi stadi di applicazione; per alcuni (batteri, nematodi e virus) si sono ottenuti successi di grande rilievo sia pratico sia sperimentale, per gli altri l'applicazione è, per il momento, solo sperimentale.

Virus

L'azione del virus, entro la cellula dell'ospite, distingue due categorie:

- virus con corpi di inclusione proteica detti anche di occlusione (**virus occlusi**);
- virus senza corpi di inclusione proteica (**virus nudi**).

Nella lotta biologica sono utilizzati generalmente virus con corpi di inclusione proteica i quali, formando una capsula protettiva che include le particelle virali, permangono più a lungo nell'ambiente. Tra questi distinguiamo:

- virus della Granulosi;
- virus della Poliedrosi.

I primi formano dei corpi d'inclusione proteici a forma di granulo abbastanza regolare generalmente a livello del citoplasma delle cellule ospiti e contengono una sola particella virale, mentre i secondi formano dei corpi d'inclusione poliedrici molto irregolari, sia nel citoplasma sia nel nucleo delle cellule ospiti (definiti rispettivamente CPV e NPV) e contengono un numero elevato di particelle virali.



Fig. 4.14 Particolare di cellule di *Bacillus thuringiensis* con relativi cristalli tossici.

Tab. 4.3

virus nudi: NOV		
Virus	virus con corpo d'inclusione	Nucleare: NPV
		Citoplasmatica: CPV
		virus della Granulosi: GV

Normalmente i preparati a base di virus si ottengono manipolando larve morte per infezione, allo scopo di ottenere una sospensione miscibile con acqua da distribuire con i normali diffusori. I virus vengono identificati aggiungendo al nome della specie ospite la sigla GV (virus della Granulosi), NPV (virus della Poliedrosi nucleare), CPV (virus della Poliedrosi citoplasmatica): ad esempio il virus della Poliedrosi nucleare che colpisce la *Lymantria* viene chiamato *Lymantria dispar* NPV. Esistono alcuni virus non inclusi (o non occlusi) siglati NOV che colpiscono alcuni insetti, soprattutto Coleotteri Scarabeidi, con una sintomatologia simile a quella degli altri Baculovirus. I virus patogeni diffusi nelle inclusioni proteiche si conservano vitali per molto tempo e possono divenire agenti di regolazione permanente del fitofago. I virus vengono poi classificati in base al loro tipo di acido nucleico:

- virus a DNA (es. *Baculoviridae*): NPV; GV; NOV;
- virus a RNA (es. *Reoviridae*): CPV.

Nella maggior parte dei casi i virus infettano gli insetti allo stadio larvale e per ingestione; nel loro canale digerente vengono sciolte le strutture proteiche dei corpi di inclusione, quindi si liberano le particelle virali che si diffondono ed infettano le cellule epiteliali del canale alimentare. L'esito finale dello stato morbosità è in genere la morte dell'insetto (da 3 fino a 8-10 giorni dall'infezione), con conseguente disfacimento acquoso dei tessuti addominali con successiva lesione dell'esoscheletro e liberazione di un liquido lattiginoso biancastro, contenente milioni di particelle virali che possono diffondere l'epizoozia. Le larve morte da infezione virale spesso assumono una tipica posizione a candela o a V rovesciata.

È attualmente in commercio un prodotto a base virale che viene utilizzato per il controllo di *Cydia pomonella* (*Cydia pomonella* granulovirus).

In Europa, pur essendo estremamente limitato il numero di preparati virali registrati, esistono alcuni Paesi dove la pratica è già applicativa: in Inghilterra è registrato il *Neodiprion sertifer* NPV, mentre in Francia ed in Svizzera sono in fase di registrazione formulati a base di *Mamestra brassicae* NPV, *Spodoptera littoralis* NPV e *Adoxophyes orana* GV.

Batteri

Nella lotta biologica i batteri entomopatogeni che presentano un maggiore interesse sono i **batteri sporigeni**; questi batteri manifestano oltre ad una buona capacità di conservazione anche la possibilità di diffondersi nell'ambiente e di conservare a lungo la patogenicità. I batteri immessi nell'ambiente si comportano fondamentalmente in due modi:

- una volta immessi sono in grado di diffondersi autonomamente in modo efficace e duraturo;
- dopo l'immissione non sono in grado di colonizzare in modo sufficientemente duraturo l'ambiente; in questo caso si parla di insetticidi biologici o bioinsetticidi.

Questi *insetticidi biologici* presentano un'elevata specificità di azione (selettività ristretta a gruppi di fitofagi, senza ripercussioni sulla biocenosi) e una bassissima tossicità nei confronti dell'uomo e degli animali. Al genere *Bacillus* appartengono i batteri sporigeni che vengono attualmente utilizzati nella lotta biologica e specificamente il *Bacillus popilliae* ed il *Bacillus thuringiensis*; questi due sono i capostipiti a cui fare riferimento per dividere le azioni patogenetiche: il primo provoca, nell'ospite, una setticemia; il secondo produce una tossina, principale responsabile della morte dell'ospite. Discreto successo ha avuto l'impiego del *Bacillus thuringiensis* nella lotta contro i Lepidotteri defogliatori; la caratteristica fondamentale di questo *Bacillus* è quella di produrre oltre alla spora un cristallo proteico, di forma bipiramidale, formato da una tossina (**delta-endotossina**) che risulta essere mortale per gli insetti con ambiente intestinale alcalino (pH 9,5-12) caratteristico dei Lepidotteri. Tale tossina paralizza i muscoli dell'apparato digerente dei suddetti insetti bloccandone la nutrizione e provocando una degenerazione necrotica delle cellule dell'epitelio intestinale. La conseguente lesione dei tessuti intestinali provoca il passaggio dei batteri, anche della normale flora intestinale, nella cavità emocelica con conseguenti setticemie a livello della cavità corporea. Anche in alcuni insetti con pH intestinale compreso fra 8 e 9,5 il *Bacillus thuringiensis* dimostra una certa attività, la morte degli insetti però avviene in tempi più lunghi ed è dovuta soprattutto alla setticemia indotta dalla germinazione delle spore. L'azione della parte più attiva del batterio, cioè la delta-endotossina, è legata alla presenza di specifici recettori posti sulle membrane cellulari delle cellule epiteliali dell'intestino. Il *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* è la sottospecie sicuramente



Fig. 4.15 Effetto di un trattamento con *Bacillus thuringiensis* su larve di Iftantria.



Fig. 4.16 Larva di Rodilegno giallo attaccata da *Steinernema feltiae*.

più conosciuta ed utilizzata nel mondo, viene utilizzato come insetticida biologico. Il prodotto commerciale contiene sia cristalli sia spore ed esplica la sua azione nei confronti delle larve dei Lepidotteri defogliatori (*Lymantria dispar*, *Hyphantria cunea*) e di altri insetti che si possono comunque nutrire dei tessuti vegetali contaminati dal prodotto come la *Lobesia botrana*, i Ricamatori dei fruttiferi, alcune Nottue, la Cavolaia, il Rodilegno giallo, ecc. Il *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* ha diversi ceppi attivi su insetti. In particolare si ricordano:

- il ceppo HD-1 attivo su larve di Lepidotteri;
- i ceppi EG 2348 e EG 2371 attivi su larve di Lepidotteri;
- il ceppo EG 2424 attivo su larve di Coleotteri.

Sono stati inoltre registrati prodotti a base di *Bacillus thuringiensis* ssp. *israelensis* che hanno evidenziato una spiccata attività nei confronti delle larve di zanzare ed alcuni Ditteri Muscidi e

Chironomidi; alcuni ceppi della sottospecie *israelensis* trovano impiego nel settore agricolo contro i Ditteri Sciaridi (nei terricci ed in serra) e contro i Ditteri Tipulidi delle coltivazioni orticole ed ornamentali. Nel 1993 è stato registrato inoltre anche il *Bacillus thuringiensis* ssp. *tenebrionis*; si tratta di una sottospecie attiva su Coleotteri Crisomelidi, in particolare sulla Dorifora della patata; in America questa sottospecie, unitamente alla ssp. San Diego, viene indicata anche per il controllo di alcuni Coleotteri Tenebrionidi, Curculionidi (Oziorrinco) ed Anobidi. Da ricordare infine il *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai*, sperimentato su *Galleria mellonella*, ed il *Bacillus thuringiensis* ssp. *thuringiensis* attivo contro i Ditteri Muscidi, alcuni Lepidotteri e Coleotteri; tale sottospecie però presenta alcuni inconvenienti, quali la produzione di una beta-esotossina pericolosa per gli animali e per l'uomo, che rappresenta un fattore limitante per l'impiego (in Italia non è registrato). Il *Bacillus thuringiensis*, in particolare la ssp. *kurstaki*, si è dimostrato un ottimo controllore delle popolazioni fitofaghe purché si rispettino le seguenti precauzioni nella distribuzione:

- fare i trattamenti all'imbrunire (è fotolabile ai raggi UV);
- distribuirlo quando vi sono larve giovani che sono le più sensibili alla tossina;
- lasciarlo agire per ingestione poiché deve essere mangiato dal fitofago con il tessuto vegetale.

I **batteri entomopatogeni** vengono prodotti da molte industrie (anche alcune aziende produttrici di antiparassitari) con la tecnica della fermentazione sommersa, in ogni caso su substrati artificiali liquidi e non *in vivo* con un processo produttivo a costi non molto elevati; vengono formulati, sotto forma sporulata, in polvere bagnabile o altri stati fisici con coformulanti tipici di molti altri antiparassitari e commercializzati come bioinsetticidi. I preparati a base di batteri, come alcuni formulati a base di virus o di funghi (per i paesi in cui sono registrati), si possono conservare abbastanza a lungo, anche alcuni anni, se si adottano le precauzioni necessarie evitando di esporli alla luce diretta, di tenerli in ambienti troppo umidi e/o troppo caldi (andrebbero conservati in frigorifero a 4-5 °C).

In considerazione del fatto che i ceppi e le varietà di *Bacillus* sono molti e che la loro attività dipende spesso dalla produzione di tossine specifiche, determinate geneticamente, la ricerca potrebbe indirizzare la sua attività nella costruzione di un ceppo a largo spettro di azione,

utilizzando le tecniche di ingegneria genetica, manipolando i vari genotipi disponibili. Con queste tecniche è possibile infatti trasferire geni produttori delle tossine unendoli in un unico genotipo, creando così un futuribile "super-ceppo" a largo spettro. Da non trascurare, poi, la possibilità di inserire geni, codificanti le tossine batteriche, direttamente nei vegetali ottenendo piante dette **transgeniche** resistenti a determinati fitofagi (negli ultimi anni sono state ottenute piante di mais transgeniche, con il genotipo ricombinato con geni del *B. thuringiensis*, resistenti alla Piralide).

Nematodi entomoparassiti

La lotta biologica utilizza normalmente i nematodi che si comportano da parassitoidi obbligati, in quanto selettivi e sicuramente in grado di controllare le popolazioni fitofaghe; tra le specie più importanti ricordiamo quelle appartenenti ai generi *Steinernema* (sin. *Neoaplectana*) e *Heterorhabditis* Kahn. Il meccanismo di penetrazione della larva infestante del nematode negli insetti può essere attivo, perforando la cuticola dell'ospite, o passivo, penetrando attraverso le aperture naturali (bocca, stigmi, ano) o per ferite. Questi nematodi agiscono in simbiosi con batteri del genere *Xenorhabdus*; l'azione infettante inizia dapprima con la liberazione, all'interno del corpo dell'ospite, dei batteri che provocano setticemia e morte dell'insetto: questo consente al nematode di nutrirsi, completare il suo sviluppo e riprodursi.

Lo stadio del nematode utilizzato per applicazioni di lotta biologica è quello di larva di terza età, in quanto i nemi, in questo stadio, presentano una tipica doppia cuticola (è il residuo della cuticola di seconda età che permane) che permette al nematode di persistere liberamente nell'ambiente rendendolo più resistente alle avversità biotiche ed abiotiche ed in grado di aggredire direttamente ed attivamente gli ospiti, per questo motivo questo stadio viene definito **forma infestante**. Le sperimentazioni, fatte in Italia ed all'estero, hanno messo a punto alcune strategie di applicazione che evidenziano sia i vantaggi sia gli svantaggi dell'uso di questi entomoparassiti; in modo particolare i vantaggi sono:

- la completa selettività nei confronti dell'uomo, degli insetti pronubi e degli animali;
- la spiccata azione nei confronti dell'ospite, attivamente ricercato;
- la buona adattabilità agli ambienti purché umidi;
- la possibilità della diffusione con i normali diffusori fitoiatrici e la possibilità di un allevamento economicamente accettabile.

Presentano tuttavia svantaggi, quali la scarsa resistenza agli ambienti aperti e secchi e vengono pertanto considerati dei bioinsetticidi.

In Italia sono oggi registrati e commercializzati nematodi del genere *Heterorhabditis* e *Steinernema*; i primi sono efficaci contro alcuni Coleotteri Curculionidi (in particolare gli Oziorinchi ed il Cleono) e Scarabeidi (larve di maggiolino, di cetonie, ecc.); mentre i nematodi del gen. *Steinernema* sono efficaci soprattutto nei confronti dei Lepidotteri. In particolare *Steinernema carpocapsae* è applicato nei confronti dei Tortricidi del garofano, di *Opogona sacchari*, dei Sesidi, del Rodilegno giallo, ecc. Un'attività simile viene svolta anche da *Steinernema feltiae*: esso è stato per molti anni ritenuto sinonimo del congenere *S. carpocapsae*, mentre oggi si tende a differenziare le due specie; in ogni caso la specie *S. carpocapsae* è di più semplice produzione ed ha, per il momento, uno spettro di impiego maggiore. Sperimentalmente, per il controllo di *Lymantria dispar* in ambiente forestale, ha dato buoni risultati l'uso di preparati a base di *Neoaplectana* (*Steinernema*) *carpocapsae*, nematode facilmente allevabile su ospite di sostituzione (*Galleria mellonella*) o su substrati artificiali. Attualmente in Italia esistono delle biofabbriche che producono le specie di nematodi impiegabili nella lotta biologica: essi vengono commercializzati formulati su substrati inerti come spugnette di gommapiuma, argille o particolari gel (in alcuni Paesi vengono osmoticamente disidratati e miscelati ad attapulgit), o come granuli dispersibili in acqua, contenenti i nematodi in uno stato di dormienza coformulati con inerti, oppure su terricci da utilizzare per i fitofagi terricoli mescolandoli al substrato. I nematodi vengono distribuiti, generalmente in sospensione acquosa, su substrati molto umidi, in ragione di 40.000-50.000 unità per pianta. La possibilità di conservare nel tempo i preparati a base di nematodi non è elevata, di solito alcuni mesi, dopo di che perdono la loro capacità infettiva. Ricordiamo anche *Steinernema kraussei* per il controllo di Oziorinco e *Phasmarhabditis hermaphrodita* per il controllo delle lumache.

Funghi

L'attività patogena dei funghi è conosciuta da molto tempo, si ricordano ad esempio l'opera del fungo *Entomophthora grylli* contro le cavallette oppure l'*Entomophthora fresenii* che controlla naturalmente le popolazioni di *Aphis fabae*.

L'azione patogenetica dei funghi entomopato-



Fig. 4.17 Cavalletta parassitizzata da agente fungino.

geni (quasi tutti Deuteromiceti) si caratterizza per alcune peculiarità:

- agiscono per contatto con perforazione diretta del tegumento dell'ospite, per cui possono agire anche su fitofagi con apparato boccale pungente-succhiante;
- i funghi sono facilmente coltivabili in vitro ed i preparati ottenuti sono di facile distribuzione;
- la loro attività non è sempre standardizzabile, specie in ambienti poco umidi e con fitofagi a bassa densità;
- inoltre alcuni funghi possono produrre tossine nocive (micotossine) per l'uomo e per gli animali.

La morte dell'insetto può essere provocata sia dal micelio che invade i tessuti, sia dalle tossine che il fungo entomopatogeno produce. I sintomi indotti da un'infezione fungina non sono sempre standardizzabili: in genere gli insetti colpiti presentano il corpo rigido e mummificato, spesso rivestito da una tipica efflorescenza fungina rappresentata dal micelio e dalla fase di evasione conidica e quindi riproduttiva dell'entomopatogeno. Si ricordano alcune esperienze:

- è stato utilizzato il fungo *Metarhizium anisopliae* (Bals.) Vuill. contro *Hyphantria cunea* con buoni risultati (Consorzio Fitosanitario di Reggio Emilia 1986); lo stesso fungo è utilizzato in Brasile per la lotta biologica ad alcuni Rincoti della canna da zucchero e lo si sta sperimentando contro alcuni Coleotteri Scarabeidi e Curculionidi;
- è stata utilizzata *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. contro la Dorifora della patata (Russia); sempre lo stesso fungo sembra abbia una buona azione nei confronti di *Cossus cossus* e *Zeuzera pyrina*; da ricordare inoltre che la *Beauveria* viene formulata e commercializzata in diversi paesi asiatici (Cina), dell'America Latina (Brasile) e dell'Europa orientale dove viene

impiegata, oltre che sulla Dorifora, su alcuni insetti delle derrate e su *Carpocapsa*;

- in Inghilterra è impiegato *Verticillium lecanii* (Zimm.) contro Afidi ed Aleurodidi; in Italia meridionale, sempre con il *Verticillium*, sono state fatte esperienze contro *Saissetia oleae*. Infine si è notata una certa sensibilità al *Verticillium* anche per la Processionaria del pino;
- in Svizzera (dove è registrata) ed in alcuni altri paesi europei è stata utilizzata la specie *Beauveria brongniartii* contro il maggiolino; questa specie viene anche impiegata in Italia (Alto Adige) con permessi temporanei o a scopo sperimentale. Altri funghi utilizzati o sperimentati per la lotta microbiologica sono l'*Aschersonia aleyrodis* (USA) contro alcuni Rincoti Aleurodidi e contro alcune Cocciniglie, e l'*Arthrobotrys regularis* (registrato in Francia e Svizzera) contro alcuni nematodi fitofagi del genere *Meloidogyne*;
- attualmente in Italia sono registrati prodotti di base di *Beauveria bassiana* per la lotta ad Aleurodidi, Afidi, Tripidi e Raghetto rosso su orticole, frutticole e ornamentali.

La ricerca, specie nel campo delle biotecnologie, sta studiando, per il futuro, la possibilità di utilizzare le tossine ad effetto "insetticida", prodotte dai funghi entomopatogeni, per verificare la loro possibile produzione in laboratorio ed applicazione pratica in campo; inoltre, come si sta facendo per i batteri, si stanno studiando possibilità applicative di tecniche biotecnologiche che permettano di ottenere dei superceppi di entomopatogeni con spettro multiplo (per unione su un unico individuo dei geni responsabili delle diverse azioni patogene attraverso un DNA ricombinato) e/o più resistenti all'ambiente.

Protozoi

I protozoi intrattengono frequenti relazioni interspecifiche con gli insetti, tanto da poter identificare due diversi tipi di azioni parassitarie:

- azione diretta contro il fitofago che si conclude con la morte dello stesso;
- azione indiretta contro il fitofago che viene indebolito nelle sue difese aumentandone la predisposizione ad altri attacchi, oppure riducendo la sua capacità riproduttiva.

In genere l'effetto patogenetico dei protozoi sugli insetti è più cronico che acuto, con esiti finali non sempre infausti per l'ospite, la cui mortalità è generalmente molto bassa.

I protozoi agiscono per ingestione e colpiscono prevalentemente il tessuto adiposo e l'intestino dell'ospite. Le principali classi di protozoi che provocano patologie negli insetti sono: *Sarcodina*, *Mastigophora* e *Sporozoa*. Lo studio applicativo di questi organismi è molto limitato, in considerazione della difficoltà che presenta il loro allevamento al di fuori della materia vivente e la loro bassa virulenza.

Sono state tuttavia sperimentate azioni contro *Hyphantria cunea*, *Euproctis chrysorrhoea* e *Malacosoma neustria* utilizzando il protozoo *The-lohania hyphantriae* Weiser; inoltre in Germania si stanno facendo esperienze utilizzando *Nosema pyraustae* Paillot che attacca la Piralide del mais. In America è registrato un formulato a base di *Nosema locustae* per il controllo (anche su ampie superfici con mezzi aerei) di cavallette.

Fra gli altri protozoi entomopatogeni di un certo interesse ricordiamo: *Vairimorpha necatrix*, per il controllo di alcuni Lepidotteri fra cui la Piralide e l'*Heliothis*, ed infine l'*Ascogregarina culicis* e *Nosema algerae*, parassiti di zanzare.



Fig. 4.18 Adulto e larva di coccinella micofaga.

Tab. 4.4 Strategie di lotta biologica, sperimentali e applicative, attivabili per alcuni importanti fitofagi.

Fitofago	Intervento di tipo biologico attivabile	Note
Tripidi (<i>Thrips tabaci</i> , <i>Frankliniella occidentalis</i> , ecc.)	<i>Orius laevigatus</i> , <i>Orius majusculus</i> , <i>Orius horwathi</i> <i>Ceraninus menes</i>	Lotta sperimentata in coltura protetta; sono predatori di tutti gli stadi mobili del fitofago. Imenottero Eulofide parassitoide delle neanidi dei Tripidi.
Afidi (specie diverse in coltura protetta)	<i>Chrysoperla carnea</i> <i>Aphidoletes aphidimyza</i> <i>Aphidius matricariae</i> e <i>Aphidius ervi</i>	Lancio da eseguire quando i fitofagi superano una certa soglia, ad esempio per la fragola la soglia è 10-15% di foglioline semiaperte infestate (pre-fioritura) 20-25% di foglioline semiaperte infestate (fioritura), e si lanciano 19-20 larve di <i>Chrysoperla</i> per m ² ; preda gli afidi allo stadio larvale. È un Dittero predatore, allo stadio larvale, dei vari stadi degli afidi. Imenotteri Afididi parassitoidi.
Cotonello degli agrumi (<i>Planococcus citri</i> , <i>Planococcus</i> spp.)	<i>Cryptolaemus montrouzieri</i> <i>Leptomastix dactylopii</i> <i>Scymnus reunioni</i>	È un predatore, da larva e da adulto, dei diversi stadi del Cotonello. È un Encirtide parassitoide introdotto in Italia nel 1955. Coccinellide predatore del Cotonello da larva e da adulto.
Diaspini degli agrumi (<i>Aonidiella</i> , <i>Mytilococcus</i> , <i>Chrysomphalus</i> , <i>Aspidiotus</i> , <i>Parlatoria</i>)	<i>Chilocorus nigritus</i> <i>Aphitis diaspididis</i> , <i>Aphitis melinus</i> , <i>Aphitis proclia</i>	Coccinellide predatore introdotto dal Sud Africa e sperimentalmente allevato in Sicilia (Università di Catania). Imenotteri Afelinidi parassitoidi di <i>Aonidiella</i> , <i>Parlatoria</i> , <i>Aspidiotus</i> , ecc.
Ragnetto rosso comune (<i>Tetranychus urticae</i>)	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Acaro Fitoseide predatore di tutti gli stadi del fitofago; viene attivamente utilizzato in coltura protetta al superamento di una data soglia del fitofago; per la fragola, ad esempio, si lanciano da 4 a 8 Fitoseidi per m ² a seconda del tipo di infestazione, ma in ogni caso solo se il rapporto fitofago e Fitoseide è superiore a 20-30:1.
Cocciniglia bianca del pesco (<i>Pseudaulacaspis pentagona</i>)	<i>Prospaltella (Encarsia) berlesei</i> <i>Archonomus orientalis</i>	Imenottero Afelinide parassitoide del Diaspino, introdotto nel 1906 dal Nord America; giunto dal Giappone. Imenottero Afelinide parassitoide.
Afide lanigero del melo (<i>Eriosoma lanigerum</i>)	<i>Aphelinus mali</i>	Imenottero Afelinide parassitoide introdotto in Italia nel 1921, proveniente dagli Stati Uniti.
Cocciniglia di San José (<i>Comstockaspis perniciosus</i>)	<i>Prospaltella (Encarsia) perniciosi</i> <i>Aphitis proclia</i>	Imenottero Afelinide parassitoide introdotto in Italia nel 1932. Imenottero Afelinide parassitoide.
Mosca bianca delle serre (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>)	<i>Encarsia formosa</i>	Imenottero Afelinide parassitoide delle neanidi del fitofago. Eseguire lanci di 4-6 pupari m ² a cadenza settimanale (primavera-estate) o quindicinale.

Fito-fago	Intervento di tipo biologico antivegetale	Note
	<i>Macrolophus caliginosus</i>	Eterottero Miride Eseguire 2-3 lanci di 1-2 individui.
Mosca bianca delle serre (<i>T. vaporariorum</i>)	<i>Encarsia pergandiella</i>	Imenottero Afelinide sperimentato al Sud Italia per applicazioni in campo in quanto meno sensibile al freddo di <i>E. formosa</i> .
Aleirode o Mosca bianca degli agrumi (<i>Dialeurodes citri</i>)	<i>Encarsia lahorensis</i>	Imenottero Afelinide parassitoide introdotta dall'Università di Portici nel 1970.
	<i>Clitosthetus arcuatus</i>	Coleottero Coccinellide predatore.
Aleirode fioccoso degli agrumi (<i>Aleurothrixus floccosus</i>)	<i>Cales noacki</i>	Imenottero Afelinide parassitoide di origine sudamericana comparso negli agrumeti liguri nel 1981.
Cocciniglia mezzo grano di pepe (<i>Saissetia oleae</i>)	<i>Metaphycus helvolus</i>	Imenottero Encirtide parassitoide del fitofago.
	<i>Scutellista cyanea</i>	Imenottero Encirtide che si nutre delle uova del fitofago.
Mosca della frutta (<i>Ceratitis capitata</i>) e Mosca delle olive (<i>Dacus oleae</i>)	<i>Opius concolor</i>	Imenottero Braconide parassitoide delle larve del fitofago.
Carpocapsa (<i>Cydia pomonella</i>) e altri Tortricidi	<i>Ascogaster quadridentatus</i>	Imenottero Braconide parassitoide delle larve del fitofago, sperimentalmente allevato presso l'Università di Piacenza.
Piralide del mais (<i>Ostrinia nubilalis</i>)	<i>Trichogramma maidis</i>	Imenottero Tricogrammatide parassitoide oofago, allevato e lanciato in campo su appositi cartoncini.
	<i>Bacillus thuringiensis</i> ssp. <i>kurstaki</i>	Batteri entomopatogeni.
Dorifora della patata (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	<i>Edovum puttleri</i>	Imenottero Eulofide parassitoide delle uova del fitofago. L'entomofago di origine messicana è stato introdotta in Italia nel 1980.
	<i>Bacillus thuringiensis</i> ssp. <i>tenebrionis</i>	Batteri entomopatogeni.
Liriomiza (<i>Liriomyza trifolii</i>)	<i>Diglyphus isaea</i>	Imenottero Eulofide parassitoide ectofago delle larve del fitofago. Ha elevata capacità di ricerca e intensa attività di predazione.
Grande cocciniglia cotonosa degli agrumi (<i>Icerya purchasi</i>)	<i>Rodolia cardinalis</i>	Coleottero Coccinellide predatore di origine australiana, introdotto in Italia nel 1901.
Lepidotteri defogliatori e ricamatori (<i>Lymantria</i> , <i>Hyphantria</i> , <i>Euproctis</i> , Processionarie, <i>Cheimatobia</i> , <i>Archips</i> , <i>Pandemis</i> , ecc.)	<i>Bacillus thuringiensis</i> ssp. <i>kurstaki</i>	Batteri entomopatogeni.
Oziorrinco e Scarabeidi (<i>Otiorrhynchus</i> spp., <i>Melolontha</i> spp., <i>Cetonia</i> spp.)	<i>Heterorhabditis</i> spp.	Nematodi entomoparassiti da applicare al terreno contro le larve dei fitofagi.
Oziorrinco, Cleono, Maggiolino, Nottue, Sesidi, Opogona, ecc.	<i>Steinernema carpocapsae</i>	Nematodi entomoparassiti.

4.1.9 Lotta biologica contro le crittogame e i batteri (agenti di malattia)

La lotta biologica alle crittogame può essere individuata, allo stato attuale delle conoscenze, nei seguenti meccanismi:

- **predazione da parte di macroorganismi** come ad esempio il Coccinellide *Thea vigintiquatuor-punctata* si nutre di micelio del Mal bianco delle essenze da giardino, oppure *Vibidia duodecimguttata* Poda, anch'essa predatrice di Oidio; da un punto di vista pratico, però, questo tipo di antagonismo riveste scarsa importanza, infatti il rapporto trofico instaurato da questi insetti con i suddetti funghi patogeni è in genere limitato ed occasionale, per cui tali organismi non sono in grado di limitarne significativamente l'infestazione, pur rivestendo un interesse ecologico specifico;
- **competizione nutritiva** che si attua soprattutto nella rizosfera ed in particolare nei momenti di insediamento del patogeno, quando le sue esigenze alimentari sono maggiori;
- **preimmunità** che è da intendersi come quel particolare stato in cui un microrganismo, non o poco virulento, occupa, nell'ambito dell'ospite vegetale, la nicchia ecologica di un patogeno molto pericoloso, impedendone l'ancoramento; questo concetto è stato applicato, sembra con successo, nella cura del Cancro del castagno (*Endothia parasitica*) utilizzando ceppi naturali ipovirulenti di *Endothia* che, peraltro, sono in grado di trasmettere questa loro ipovirulenza ai ceppi patogeni instaurando, nella biocenosi, una sorta di autocontrollo di tipo autocida; la preimmunità è stata ipotizzata anche per alcuni ceppi virali della patata;
- **produzione di sostanze antibiotiche** o comunque tossiche per il patogeno antagonista; ad esempio il *Trichoderma* esplica la sua azione antagonista anche per produzione di sostanze antibiotiche, oltre che per altri meccanismi specifici, fra i quali la competizione nutritiva;
- **induzione di modificazioni fisiologiche** e metaboliche nell'ospite vegetale, tali da determinare una maggiore resistenza al vero patogeno.

L'analisi degli antagonismi descritti pone in evidenza due condizioni:

- la produzione di antibiotici non rappresenta un aspetto determinante nel successo del controllo delle specie patogene; infatti il *Trichoderma*,

un micete molto importante nella lotta biologica, svolge la sua azione più determinante come antagonista nutritivo o per antagonismo biologico diretto;

- la biocenosi di microrganismi antagonisti costituisce un'inerzia biologica chiamata **repressività** che rappresenta la capacità di resistenza di un terreno all'insediamento di organismi fitopatogeni.

Negli ultimi anni è stata messa in evidenza la repressività di alcuni terreni contro alcune tracheomicosi (*Fusarium oxysporum*) mediante l'utilizzo di substrati repressivi contenenti ceppi di *Fusarium* non patogeni.

Una strategia di lotta biologica che sfrutta questo principio è l'uso dei **terreni repressivi** nei quali è presente una biocenosi di microrganismi antagonisti di determinati organismi fitopatogeni. Questa repressività può essere generica quando questi terreni esplicano la loro *protezione* nei confronti di un discreto numero di fitopatogeni, oppure può essere specifica nei confronti di uno o pochi fitopatogeni.

Lo studio di questi terreni e delle caratteristiche biologiche della loro repressività potrà permettere una futura estensione di questa tecnica, aumentando il potenziale repressivo dei terreni, anche mediante l'inoculo artificiale di antagonisti coltivati in vitro, ed utilizzando direttamente gli antagonisti attivi dei terreni repressivi stessi. Inoltre si stanno studiando anche alcune pratiche agricole ed alcuni mezzi di lotta alternativi al controllo chimico, che potrebbero favorire o potenziare la repressività potenziale di alcuni terreni (come ad esempio la tecnica della solarizzazione, che sostituendo la pratica della disinfestazione chimica con fumiganti, o quella non selettiva della sterilizzazione con calore artificiale dei substrati, permette un ancoramento selettivo e specifico di molti antagonisti naturali dei fitopatogeni).

Un importante esempio di lotta biologica contro patogeni fungini è rappresentato dall'utilizzo di ceppi ipovirulenti di *Endothia parasitica* contro il Cancro del castagno, sostenuto da ceppi virulenti di *Endothia parasitica*; sembra che vi sia la possibilità di trasferire il fattore ipovirulento al ceppo virulento attraverso i meccanismi di coniugazione fungina, quale l'anastomosi delle ife. Attualmente in Italia sono registrati i seguenti funghi antagonisti di agenti di malattia delle piante: *Ampelomyces quisqualis* contro l'Oidio della vite e *Trichoderma harzianum* per il controllo della Muffa grigia. La lotta biologica alle crittogame ed ai batteri agenti di malattia è tuttavia ancora in

fase di sperimentazione ma già si intravedono buone possibilità future specialmente utilizzando sia funghi antagonisti (gen. *Trichoderma*) sia batteri (*Agrobacterium radiobacter*); in quest'ultimo caso viene sfruttato il normale antagonismo esistente in natura, a livello dei terreni, fra i ceppi di *Agrobacterium tumefaciens*, responsabili del tumore batterico di molte piante, e alcuni ceppi saprofiti di un altro agrobatterio: l'*Agrobacterium radiobacter*, che produce delle sostanze antibiotiche (batteriocine) in grado di inibire la crescita e l'attività degli agrobatteri patogeni. Fra i vari ceppi di *A. radiobacter* ne è stato selezionato uno detto ceppo di Kerr (ceppo K 84) particolarmente attivo ed efficace tanto da essere prodotto ed utilizzato in tecniche applicative di controllo del tumore batterico. Da ricordare infine *Streptomyces griseoviridis* ceppo K 61 e *Bacillus subtilis* batteri antagonisti di funghi patogeni degli apparati radicali.

■ ■ 4.1.10 Lotta biologica contro le erbe infestanti

In questo settore la lotta biologica è ancora alle prime fasi della ricerca anche se si sono ottenuti discreti risultati nel controllo di alcune erbe infestanti. In America, ad esempio, mediante l'uso di insetti (*Tyria jacobaeae* L. e *Longitarsus jacobaeae* Waterhouse) si è ottenuto un certo successo nel controllo dell'infestante *Senecio jacobaeae*; si ricorda inoltre il primo impiego, in Australia, (1925) di queste tecniche nel controllo del cactus *Opuntia vulgaris* mediante la cocciniglia *Dactylopius ceylonicus*, ed il lepidottero *Cactoblastis cactorum*. Attualmente la sperimentazione studia la possibilità di utilizzare *bioerbicidi* da distribuire come normali erbicidi chimici; questi dovrebbero essere a base fungina e creare malattie nelle piante infestanti. Questi bioerbicidi (alcuni dei quali sono già utilizzati in Canada ed in Australia, come il fungo *Colletotrichum gloeosporioides* per il controllo di *Malva pusilla* ed il fungo *Puccinia chondrillina* per il controllo dell'infestante *Chondrilla juncea*) dovrebbero essere di facile produzione e distribuzione, molto selettivi ed avere una notevole stabilità genotipica, per evitare l'insorgenza di ceppi virulenti per i coltivi. Per evitare questi rischi, negli ultimi anni la ricerca si è indirizzata verso lo studio delle tossine responsabili dell'azione erbicida di questi microrganismi (in maggior parte funghi).

Le nuove strategie, infatti, si basano sull'individuazione di queste tossine (fitotossine) e la loro eventuale sintesi in laboratorio al fine di un uti-

lizzo applicativo, delle stesse fitotossine, in campo. Alcune di queste fitotossine sono già state sintetizzate e sperimentate in campo con risultati soddisfacenti, come la Bipolaroxina ed il Gigantenone contro *Cynodon dactylon*, la Curvulina contro la *Portulaca oleracea* e l'Osiobolina contro il *Sorghum halepense* (nel mais). I tempi di applicazione della lotta biologica contro le erbe infestanti sono tuttavia ancora lunghi, anche se, comunque, non rappresentano neppure un'utopia irraggiungibile.

■ ■ 4.1.11 Interventi fitoiatrici con mezzi biotecnici o biotecnologici

Il termine **biotecnologia** è stato codificato nel 1982 dalla Federazione Europea di Biotecnologia come «l'utilizzazione integrata di biochimica, microbiologia e ingegneria per realizzare applicazioni tecnologiche partendo dalla proprietà di microrganismi, di colture cellulari e di altri agenti biologici». Le applicazioni biotecnologiche spaziano in tutti i campi dell'attività biologica dell'uomo, dalla diagnostica clinica all'industria farmaceutica, dall'energia all'industria chimica, dall'agricoltura alla difesa ambientale.

In agricoltura l'uso delle biotecnologie ha trovato molteplici applicazioni che possono essere raggruppate in tre grandi settori.

- 1. Produzione:** aumento della capacità produttiva con l'incremento dell'attività simbiotica tra microrganismi e piante, es.: i batteri simbiotici, azotofissatori, delle Leguminose.
- 2. Creazione di nuovi genotipi:** la tecnologia genetica, attraverso il trasferimento di geni da un individuo all'altro, ha prodotto nuove varietà di piante in grado di avere caratteristiche di adattamento, resistenza alle avversità e produttività diverse da quelle precedenti.
- 3. Difesa contro le avversità:** si attua sia con la sintesi artificiale di sostanze naturali specifiche di alcuni parassiti utilizzandole per interferire negativamente sul loro metabolismo o sul loro comportamento riproduttivo (fondamentale è stata la scoperta e l'utilizzazione dei feromoni, che oggi vengono proficuamente utilizzati nella lotta guidata contro i fitofagi, e di alcuni regolatori di crescita che interferiscono sui processi di muta e metamorfosi di alcuni insetti), sia selezionando geneticamente e potenziando tutti quei fattori di resistenza e tolleranza degli ospiti vegetali nei confronti delle avversità biotiche o abiotiche.

Da un punto di vista applicativo, nel settore specifico della difesa diretta delle piante agrarie e forestali le biotecnologie utilizzate o applicabili sono:

- utilizzo di strategie di tipo genetico (miglioramento genetico con selezione e tecniche di ingegneria genetica);
- uso dei feromoni (trappole sessuali, disorientamento);
- uso della tecnica del *maschio sterile* (autocidio);
- uso dei regolatori dello sviluppo.

Occorre precisare comunque che certi autori considerano alcuni dei suddetti mezzi biotecnici (come l'uso dei feromoni, la tecnica autocida, ecc.), dei mezzi di lotta di tipo biologico; nel presente testo noi preferiamo tenere distinti i mezzi biotecnici dai mezzi biologici propriamente detti (uso di organismi viventi).

Strategie di tipo genetico

Queste strategie comprendono sia le tecniche di miglioramento genetico, che con la selezione perseguono l'obiettivo di ottenere ospiti vegetali resistenti o tolleranti a determinate avversità, sia le tecniche di ingegneria genetica, in particolare quelle del DNA ricombinante, che tramite la manipolazione dei genotipi e trasferimento di geni permettono di ottenere artificialmente ospiti vegetali ricombinati, con geni resistenti a determinate avversità (si potrebbe pensare anche a piante transgeniche manipolate e ricombinate con geni di altri organismi per ottenere effetti particolari, come ad esempio la possibilità di trasferire il gene che codifica la tossina del *Bacillus thuringiensis* in alcuni vegetali per proteggerli da determinati insetti defogliatori).

La resistenza che a volte i vegetali oppongono all'insediamento e all'aggressione da parte del fitofago è spesso intrinseca e quindi di origine genetica; lo studio di questi meccanismi di resistenza offre interessanti prospettive anche nel settore della difesa fitosanitaria ed in particolare in quello biotecnologico del miglioramento genetico degli ospiti vegetali, con l'obiettivo di selezionare varietà sempre più resistenti all'attacco dei parassiti. Nei confronti dei fitofagi la resistenza si può esprimere in diversi modi, ad esempio per la presenza nella pianta di sostanze che determinano inappetibilità o di strutture barriera (peli, tessuti esterni coriacei, ecc.). In molti casi di **resistenza genetica** vengono attivati dei fenomeni di antibiosi, cioè con danneggiamenti del fitofago con inibizione più o meno accentuata del suo metabolismo o delle sue potenzialità riproduttive.

L'antibiosi può essere dovuta:

- alla presenza di sostanze tossiche, o con azione negativa e inibitrice sulla crescita e sullo sviluppo dei fitofagi (fitoecdisoni e altre), prodotte dall'ospite vegetale resistente;
- alla presenza di sostanze ad azione antimetabolita;
- alla carenza o mancanza di determinati nutrienti essenziali per il fitofago.

Accanto ai suddetti fenomeni di resistenza intrinseca si possono attivare, nei vegetali, fenomeni di tolleranza all'azione di danno compiuta dal fitofago, con scarsa reattività della pianta a determinate sostanze tossiche introdotte dal fitofago (come la tolleranza delle viti americane alle punture della Fillossera sulle radici), oppure con la loro capacità di reagire riparando o compartimentando le strutture danneggiate dal fitofago. Interessanti sono pure gli studi sulla resistenza genetica di alcune piante ai nematodi, in particolare del pesco nei confronti del *Meloidogyne*, per il quale si sono trovate alcune varietà praticamente immuni che non reagiscono al nematode e non formano le galle (Hansen 536 e H.2168). Nelle Pomacee sono state ritrovate alcune varietà resistenti all'Afide lanigero, in particolare la cultivar di melo Northern spy, utilizzata per ottenere portainnesti clonali resistenti agli attacchi dell'Afide a livello del colletto e delle radici.

Un fenomeno particolare di tolleranza è quello ottenuto attraverso una pratica di ingegneria genetica, sfruttando la tecnica del DNA ricombinante, praticata sul mais per ottenere piante "tolleranti" alla Piralide; in pratica si sono ottenute delle piante transgeniche inserendo, nel DNA di alcuni ibridi di mais, un gene del *Bacillus thuringiensis* che codifica la tossina attiva nei confronti del suddetto fitofago.

Anche nei confronti delle malattie il miglioramento genetico offre interessanti prospettive, basta ricordare gli studi che hanno portato all'ottenimento di varietà di frumento resistenti alle Ruggini, alla messa a punto di varietà di pomodoro e patata geneticamente resistenti alle tracheomicosi (pomodoro) ed alla Peronospora (patata), ed ai recenti progressi ottenuti nel settore delle piante arboree relativamente alla resistenza nei confronti della Ticchiolatura (Pomacee), della Fitofora (Pomacee), della Nectria (Pomacee), della Bolla del pesco, dello *Stereum purpureum* su Pomacee e Drupacee, e di molte virosi, soprattutto di piante erbacee, per le quali la resistenza genetica rappresenta spesso uno dei pochi mezzi profilattici tecnicamente adottabili.

Accanto a questi fenomeni di resistenza o tolleranza, sia naturali sia indotti, nei confronti delle avversità di tipo biotico, esistono anche fonti di resistenza genetica nei confronti di avversità o stress abiotici, peraltro non meno importanti dei primi. In modo particolare gli studi di miglioramento genetico, specialmente per i fruttiferi, sono mirati all'ottenimento di piante con fattori di tolleranza genetica nei confronti delle seguenti avversità:

- **resistenza al ristagno idrico** (specialmente i portainnesti) selezionando piante con un apparato radicale superficiale e ricco di radici avventizie, oltre che attivare meccanismi fisiologici che prevedono un maggiore afflusso ed utilizzo di ossigeno a livello delle radici;
- **resistenza alla siccità** selezionando piante con colloidali cellulari resistenti alla disidratazione e con cellule dotate di grande capacità osmotica, con apparati radicali estesi e profondi, con chioma meno espansa dell'apparato radicale e con foglie più cerosi, a cuticola più spessa e stomi più infossati e di numero ridotto per limitare la traspirazione, ecc.;
- **resistenza o tolleranza al calcare e all'alcalinità** selezionando piante, in particolare portainnesti, meno sensibili agli effetti negativi dei suddetti parametri;
- **resistenza o tolleranza al freddo** aumentando la già nota capacità omeostatica intrinseca di regolare gli effetti delle variazioni di temperatura sul protoplasma cellulare, o sviluppando meccanismi in grado di tollerare il parziale congelamento e scongelamento dei tessuti sia a livello intracellulare che extracellulare.

Altri meccanismi di resistenza studiati riguardano la tolleranza alla salinità, all'acidità dei terreni, ecc.

Lo studio dei suddetti fenomeni di resistenza e tolleranza è di notevole importanza pratica per indirizzare il miglioramento genetico verso una selezione mirata non più solo all'ottenimento di varietà sempre più produttive, ma anche meno sensibili ai parassiti o alle avversità abiotiche, con il relativo maggiore successo della pratica agricola anche in situazioni pedo-climatiche non ottimali, ed il minore utilizzo di sostanze attive chimiche di sintesi per il controllo degli agenti di malattia o di danno.

Tecniche di uso dei feromoni

I feromoni sono sostanze prodotte da specifiche ghiandole esocrine degli insetti dette **ghiandole a feromoni**. Il secreto di queste ghiandole consente,

all'insetto che lo produce, di segnalare la sua presenza a insetti della stessa specie: i feromoni sono pertanto da considerarsi come *messaggeri chimici* tra insetti conspecifici nell'ambiente.

In alcuni casi i feromoni possono diventare involontari messaggeri interspecifici, come ad esempio succede per alcuni entomofagi che possono captare il feromone (anche sessuale) della loro vittima e servirsene per localizzarla (in questa casistica il feromone diventa utile solo per l'entomofago). L'impiego di queste sostanze è ormai consolidato nella lotta guidata contro i fitofagi; vengono utilizzati feromoni di tipo sessuale e quelli di tipo aggregante/disperdente. La possibilità di ottenere, per sintesi, i feromoni ha certamente determinato lo sviluppo di questa tecnologia che è praticata, con discreto successo, nella difesa dei magazzini, nel controllo e nel monitoraggio delle popolazioni fitofaghe dei frutteti, delle colture ortive ed industriali, dei vivai e degli ambienti forestali.

I feromoni utilizzati nella pratica fitoiatrica sono in genere quelli di tipo sessuale, cioè quelli emessi dalle femmine vergini di una determinata specie (prevalentemente Lepidotteri) per attirare i maschi conspecifici e favorire l'accoppiamento, riducendo i tempi di incontro fra i sessi e velocizzando il ciclo riproduttivo. Nell'utilizzo dei suddetti feromoni sono stati individuati due obiettivi opposti:

- **attrazione e cattura**, per effettuare catture massali o di monitoraggio dei fitofagi (maschi) in apposite trappole sessuali;
- **disorientamento o confusione sessuale**, per annullare o ridurre la possibilità di avvicinamento riproduttivo fra maschi e femmine.

Attrazione e cattura

TECNICA DEL MONITORAGGIO. Consiste nella possibilità di poter censire le popolazioni dannose allo scopo di verificare la presenza del fitofago e di programmare i trattamenti di difesa delle coltivazioni. Vengono usati feromoni sessuali, diffusi da appositi erogatori (capsule) posti sul fondo adesivo o collato della trappola, che attraggono i maschi all'interno delle trappole stesse (costituite in genere da un tettuccio e da un fondo adesivo, es. Traptest): gli insetti, attirati dal feromone, rimangono incollati, per cui possono essere censiti. Sulla base delle catture e delle conoscenze del ciclo biologico dell'insetto è possibile stabilire le *curve di volo* che indicheranno il momento adatto per l'intervento di difesa. Nella determinazione dell'intervento occorrerà tener conto di alcune variabili quali: epoca di sfarfallamento delle fem-

mine rispetto ai maschi; periodo dell'accoppiamento; ovideposizione e periodo di incubazione. La determinazione delle curve di volo è il punto debole di questa pratica, in quanto un'errata interpretazione delle stesse può essere causa dell'insuccesso della lotta; occorre pertanto attenersi agli standard individuati per ogni specie e attuare una pianificazione generale a livello territoriale. In ogni caso, queste trappole forniscono indicazioni sulla presenza del fitofago, sulla consistenza delle sue popolazioni, e sull'inizio dei voli e quindi delle eventuali ovideposizioni. L'applicazione delle trappole sessuali in campo (frutteti, vigneti, colture ortive ed industriali, ecc.) prevede una serie di accorgimenti che consentono di ottenere risultati corretti, e precisamente: la trappola va applicata per tempo, rispetto agli sfarfallamenti; occorrono da due a quattro trappole per ettaro (generalmente per il primo ettaro); mentre in alcuni casi è sufficiente posizionare da 1 a 3 trappole per appezzamento o per azienda. Le trappole vengono disposte randomizzate e ad altezza di volo, si devono eseguire 2/3 controlli a settimana; quando si raggiungono gli standard di volo si imposta l'intervento. Da ricordare infine che per gli insetti che presentano più generazioni all'anno o voli prolungati (ampi periodi di sfarfallamento) occorre sostituire l'erogatore del feromone ogni 2-4 settimane o ogni volta che le istruzioni d'uso ne consigliano la sostituzione.

TECNICA DELLA CATTURA MASSALE (O MASSIVA). Consiste nella possibilità di catturare i maschi di una specie dannosa, in apposite trappole, per ridurre al minimo l'attività riproduttiva. Il metodo, che presenta ancora dei limiti di applicazione, può essere utilizzato solo nelle specie non partenogenetiche ed in particolari situazioni ambientali ed applicative. Questa tecnica, infatti, è attuabile in ambienti con caratteristiche particolari quali magazzini, grandi comprensori boschivi o grandi appezzamenti. Nel primo caso (magazzini) il suc-

cesso della lotta è determinato dall'isolamento che non consente l'immigrazione di femmine fecondate o di maschi che feconderanno; pertanto la riproduzione sarà contenuta e la popolazione rimarrà entro i limiti di danno. Negli altri casi è la grande estensione a determinare il successo, in quanto rende insignificante l'eventuale ingresso di insetti da altri comprensori. La finalità è quella di distrarre i maschi dall'attività riproduttiva, utilizzando come attrattivi i feromoni sessuali; i maschi vengono attratti nelle trappole di cattura massale prima che fecondino le femmine.

Il metodo, nel lungo periodo, tende a mantenere la popolazione sotto le soglie di danno, controllandone autonomamente la densità senza peraltro distruggerla totalmente, in quanto le catture non sono mai totali. Le trappole utilizzate in questa tecnica sono costituite da un imbuto con finestre, chiuso in alto da un coperchio e cosparso internamente da una sostanza molto scivolosa, l'erogatore del feromone viene appeso all'interno ed è posto a livello della parte più stretta dell'imbuto, per cui quando i maschi volano dentro l'imbuto, a livello dell'erogatore perdono l'equilibrio e finiscono per cadere nel fondo (bucato) dove vengono raccolti da un sacchetto o un contenitore di plastica precedentemente collocato ed eliminati man mano che si accumulano. Per alcuni Lepidotteri di grandi dimensioni (Rodile-



Fig. 4.19 Traptest Agrimont per cattura di *Carpocapsa* su melo.

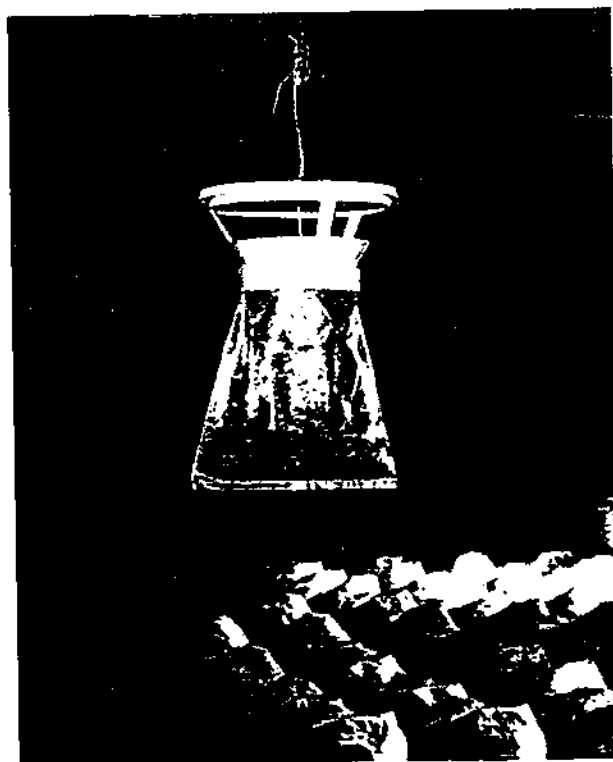


Fig. 4.20 Masirap Agrimont utilizzata in mulini (o magazzini) per le Tignole delle granaglie.

gno rosso ed alcune nottue) queste trappole di cattura massale possono essere utilizzate anche con l'obiettivo di monitorare la popolazione.

Disorientamento e confusione sessuale

Questi metodi applicano lo stesso concetto della cattura di massa: distrazione dei maschi dalla riproduzione. Entrambi i metodi agiscono sul comportamento riproduttivo dei maschi impedendo o limitando gli accoppiamenti. Il **disorientamento** agisce orientando il maschio verso falsi richiami, creando competizione tra il naturale richiamo delle femmine e le false tracce lasciate dai molteplici erogatori disseminati negli appezzamenti (ad esempio circa 2000 ad ettaro per le tignole del pesco). La **confusione**, invece, basa la sua efficacia sulla saturazione dei recettori maschili a causa delle elevate concentrazioni di feromoni erogate, aumentando così il tempo di risposta allo stimolo, a svantaggio dell'insetto da controllare. Questi metodi sono applicabili solo per alcuni fitofagi ed in determinate condizioni operative; in pratica i maschi conspecifici, disorientati, non trovano le femmine (se non per incontri casuali) e pertanto non avviene l'accoppiamento o comunque viene notevolmente ridotto.

Le popolazioni dei fitofagi tendono così a diminuire nel tempo riducendo il potenziale infestante. La diffusione del feromone avviene in due modi:

- **diffusione a concentrazione normale del feromone** in cui occorrono molti diffusori che costituiscono altrettanti luoghi riproduttivi, vanificando la ricerca delle femmine (disorientamento);
- **diffusione ad elevata concentrazione** in cui la grande quantità di feromoni artificiali "copre" l'emissione naturale delle femmine che non vengono individuate se non casualmente (confusione).

I diffusori possono essere di due tipi: *a diffusione o evaporazione del feromone* (costituiti da supporti di gomma o plastica con forme varie come tubicini, ampole, piastrine, film vinilici, da cui evapora il feromone), oppure *a microcapsule*; questi ultimi servono per la distribuzione di alte concentrazioni di feromoni su grandi superfici e possono essere distribuiti dai normali mezzi per i trattamenti antiparassitari. Negli ultimi anni questa tecnica ha fornito risultati molto interessanti in applicazioni in serra contro i Tortricidi del garofano, ed in pieno campo su pesco nei confronti di *Cidia* ed *Anarsia*; incoraggianti sono pure i risultati, ottenuti in alcuni areali (Svizzera e Trentino Alto Adige), nei confronti della *Carpocapsa* delle Pomacee.

Utilizzo dei feromoni di aggregazione

Sono sostanze emesse dall'insetto volte ad aumentare la densità della popolazione in un determinato punto. Possono essere utilizzati in apposite trappole o in tronchetti esca per la cattura massale di Scolitidi o insetti xilofagi. Possono essere utilizzati anche all'interno di trappole per il monitoraggio.

Tecnica dell'autocidio

La lotta autocida fonda i suoi presupposti sulla possibilità di ridurre la popolazione di insetti dannosi utilizzando la sterilizzazione di individui (maschi) da immettere nell'ambiente; questi maschi, conservando la loro potenzialità sessuale entrano in competizione con quelli fertili e accoppiandosi con le femmine fanno deporre uova non feconde. Il metodo fu sperimentato, per la prima volta nell'isola di Curacao nel 1955, contro la *Cochliomyia hominivorax*; in quella occasione si ottennero buoni risultati irradiando le pupe del Dittero con raggi gamma; i maschi sterili immessi nell'ambiente si accoppiarono con le femmine, facendo deporre uova che non schiudevano, con la conseguente drastica riduzione della popolazione del parassita.

Il successo di questo metodo è assicurato solo se si verificano le seguenti condizioni:

- possibilità di allevare gli insetti in quantità numerosa;
- gli insetti devono essere molto mobili ed invadere l'ambiente;
- le femmine devono essere monogame (come accade nel caso della *Cochliomyia*), in caso contrario gli spermatozoi dei maschi sterili devono essere molto competitivi, una volta raggiunta la spermateca, rispetto a quelli dei maschi fertili;
- la superficie interessata dall'intervento deve essere tanto grande da rendere insignificante l'immigrazione di maschi fertili;
- gli insetti immessi nell'ambiente non devono creare danno alcuno;
- la densità dei lanci (importante per ottenere un adeguato rapporto di competizione al fine di abbassare in modo soddisfacente il potenziale riproduttivo) deve essere programmata dopo aver fatto un censimento della popolazione da controllare; tale censimento viene eseguito soprattutto sulla popolazione di adulti attraverso l'uso di esche o attrattivi, sia di tipo alimentare (Ditteri Tripetidi), sia utilizzando feromoni sessuali o sostanze sintetiche ad azione simile, sia, infine, utilizzando un'attrazione di tipo cromotropico; la tecnica autocida, nel settore della difesa fitosanitaria, risulta inte-

ressante per il controllo della Mosca dell'olivo e della Mosca della frutta.

La sterilizzazione degli insetti viene fatta in laboratorio mediante radiazioni ionizzanti (X e gamma) oppure con sostanze chemiosterilizzanti. Queste ultime sono di varia natura, ed agiscono per ingestione o per contatto, provocando sterilità agli insetti trattati (in uno o entrambi i sessi); per semplicità ricordiamo solamente la loro azione sterilizzante:

- **composti antimitotici** che impediscono la mitosi (es. colchicina);
- **composti antimetaboliti** che inibiscono la sintesi del DNA e RNA (interferendo sulla sintesi dei loro nucleotidi) o dell'acido folico (es. il 5-Fluorouracile, l'aminopterina, l'arnetopterina, ecc.);
- **composti alchilanti** che cambiano la struttura chimica di alcune proteine (gruppo acido) e del gruppo fosfato degli acidi nucleici, sostituendo un atomo di idrogeno con un gruppo alchilico o con radicali alchilanti. Sono i più conosciuti e ricordiamo: tepa, metepa, tiotepa e afolato.

I chemiosterilizzanti possono essere utilizzati sia in laboratorio, per sterilizzare gli insetti da immettere nell'ambiente, sia direttamente nell'ambiente attuando particolari tecniche di attrazione degli insetti con attrattivi (feromoni o paraferomoni) in esche alimentari, superando il grande limite di questa tecnica che consiste nella difficoltà di allevare grandi masse di insetti da immettere negli ambienti. Il metodo è stato sperimentato con successo contro il *Dacus oleae*, la *Ceratitis capitata*, le mosche, le zanzare e la Carpocapsa.

In ogni caso i costi relativamente elevati del lancio di Maschiosterili, e la tossicità dei chemiosterilizzanti, rappresentano ancor oggi dei fattori limitanti all'applicazione a vasto raggio della tecnica autocida.

Tecniche di uso dei regolatori dello sviluppo

Questo metodo di lotta biotecnologica si basa sulla possibilità di interferire sui processi dello sviluppo embrionale e postembrionale degli insetti, modificando l'equilibrio tra gli ormoni che regolano la muta e le varie fasi della metamorfosi.

Questi nuovi insetticidi "regolatori dello sviluppo" (Grow Regulator - G.R.) sono molto selettivi e svolgono la loro azione su due particolari metabolismi, caratteristici dello sviluppo degli insetti: la muta e la metamorfosi.

Questi due metabolismi sono regolati da due ormoni: l'ecdisone e la neotenina.

Il primo presiede alla muta permettendo il distacco della vecchia cuticola e di conseguenza l'accrescimento lineare dell'insetto, modificandone la struttura.

Il secondo, chiamato ormone della giovinezza, mantiene l'insetto allo stadio giovanile, facendolo accrescere in volume e mantenendone inalterate le strutture. Allo stato attuale della ricerca e della sperimentazione i composti a base di ecdisone (soprattutto i fitoecdisoni isolati da alcuni vegetali, e che hanno evidenziato interessanti azioni sterilizzanti ed inibenti sul metabolismo di alcuni insetti) sono di difficile applicazione perché non agiscono per contatto (non superano la barriera cuticolare) e pochi sono attivi per ingestione. I composti a base di ormoni giovanili (neotenina e/o suoi derivati) hanno maggior successo perché si sono rivelati attivi nei confronti delle larve, delle crisalidi, delle uova, degli embrioni ed infine sterilizzano le femmine che depongono uova poco fertili o completamente sterili, interferendo anche nella diapausa. Attualmente i regolatori dello sviluppo utilizzati in agricoltura si possono raggruppare in due categorie:

1. regolatori dello sviluppo chitino-inibitori

(siglati C.S.I.) che agiscono sul rinnovamento della cuticola interagendo nella sintesi della chitina, negli stadi giovanili di alcuni insetti, interferendo sul metabolismo dell'ecdisone e quindi bloccando le mute; tra queste sostanze ricordiamo il Diflubenzuron, il Teflubenzuron, il Lufenuron, il Flufenoxuron (agisce anche su acari), il Triflumuron, il Buprofezin (attivo su Rincoti ed alcuni Acari) ed il Cyromazine (attivo su Ditteri minatori di organi vegetali). In questo gruppo di prodotti potrebbero essere annoverati anche alcune sostanze attive ad azione acaricida che agiscono come chitino inibitori e inibitori della crescita, come l'Esitiazox ed il Clofentezine. Queste sostanze, inibendo la biosintesi della chitina, o interferendo nel deposito della stessa, impediscono il rinnovamento della vecchia cuticola; inoltre dimostrano anche azione ovicida ed, in alcuni casi, azione sterilizzante nei confronti delle femmine (Lepidotteri ed Acari). Questi prodotti si dimostrano molto efficaci se distribuiti sulle ovature o sui primi stadi larvali di insetti olometaboli (Lepidotteri), delle Psille e di alcuni altri Rincoti (eterometaboli);

2. **regolatori di sviluppo o di crescita** che simulano l'azione di sostanze secrete dagli insetti, quali la neotenina; questi prodotti, che simula-

no l'azione dell'ormone della giovinezza vengono chiamati juvenoidi (J.H.A.). Fra questi ricordiamo il Fenoxycarb (sostanza attualmente non ammessa in Italia per il suo impatto ambientale e la dubbia selettività) che agisce simulando l'azione della neotenina; quando lo stadio di un insetto è prossimo alla maturità (larva di ultima età), la concentrazione di ormone giovanile decresce per consentire la metamorfosi; il Fenoxycarb agisce in questo momento mantenendo artificialmente elevato il tasso di neotenina bloccando la metamorfosi e provocando la morte dell'insetto; la stessa azione viene esplicata nei confronti delle uova impedendo l'embriogenesi. Il Fenoxycarb agisce anche a livello degli adulti alterandone la fertilità e la regolarità dello sviluppo. Altri Juvenoidi, non registrati in Italia, ma sperimentati ed utilizzati in altri paesi contro alcuni insetti, sono: il Methoprene (su Ditteri e Coleotteri), il Kinoprene (contro Rincoti Omotteri) e l'Hydroprene (contro Blattodei, Coleotteri ed Omotteri).

- 3. Composti acceleratori della muta (MAC)**, da alcuni anni è registrata in Italia una sostanza attiva chiamata **Tebufenozide**, è una sostanza inclusa tra i **composti acceleratori della muta (MAC)**. È il capostipite dei MAC, sostanze che inducono mute premature simulando l'azione dell'ecdisona con risultati mortali per le larve.

Il Tebufenozide ha evidenziato una buona attività sperimentale contro le larve di alcuni Lepidotteri. L'azione biologica di Tebufenozide si esplica simulando le profonde modificazioni morfo-fisiologiche indotte dall'ecdisona, quindi scatenando una muta anticipata in un momento in cui l'insetto non è "pronto". Il prodotto agisce per ingestione e solo sugli stadi larvali ed è selettivo nei confronti di insetti utili ed acari predatori. È in fase di registrazione un altro prodotto MAC, si tratta del Metossifenozide, sostanza con caratteristiche analoghe al Tebufenozide.

Semiochimici

I semiochimici sono in pratica tutte quelle sostanze, per lo più volatili, che agiscono come messaggeri chimici fra gli insetti. Tra i semiochimici troviamo sostanze che agiscono a livello della stessa specie, come ad esempio i feromoni, ed altre che sono alla base di molti rapporti interspecifici, addirittura, in alcuni casi, di interregno (ad esempio rapporti instaurati fra organismi animali e vegetali). La specificità di un impollinatore, di un fitofago monofago, di un determinato

parassitoide sono rapporti spesso regolati anche da semiochimici, la cui grande potenzialità è stata evidenziata da recenti studi, da parte di ricercatori che ne hanno intravisto un mezzo potenziale nella difesa delle coltivazioni. A parte i già descritti feromoni, che regolano prevalentemente i rapporti intraspecifici (alcuni autori classificano i Semiochimici in **Feromoni**, se tali sostanze vengono impiegate per comunicazioni tra individui della stessa specie, e **Allelochimici** se vengono utilizzati per comunicazioni tra organismi appartenenti a specie diverse) esistono attualmente tre importanti categorie di semiochimici (o allelochimici).

ALLOMONI. Sono sostanze utilizzate come messaggeri chimici vantaggiose per l'individuo che le emette (ad esempio le sostanze ad azione caustica o repellente emesse da taluni insetti per difendersi, oppure i falsi feromoni allarme che alcune specie di formiche schiaviste producono per saccheggiare altri nidi e rapirne le larve e le pupe).

SINOMONI. Sono sostanze utilizzate come messaggeri interspecifici, con vantaggio sia per la specie che li emette, sia per la ricevente. Un esempio può essere rappresentato da quelle sostanze prodotte dalle piante che richiamano l'entomofago in grado di difenderle (ad esempio alcuni composti volatili dei fiori o dei frutti); in questo caso il vantaggio del rapporto è reciproco, sia della pianta che richiama il nemico naturale del suo parassita, sia dell'entomofago che viene così aiutato nella ricerca del cibo.

CAIROMONI (o KAIROMONI). Sono sostanze utilizzate, come messaggeri chimici interspecifici, con vantaggio solo per la specie ricevente. Ad esempio alcune sostanze prodotte dal fitofago, ma che sono vantaggiose solo per la specie ricevente, cioè il loro nemico naturale o entomofago, il quale viene così aiutato nella ricerca dell'ospite/preda. Un esempio di queste sostanze può essere rappresentato dal secreto che incolla le uova, dalla melata o da altre particolari sostanze prodotte dal fitofago fra cui anche i feromoni sessuali che diventano, in questo caso, un involontario "mezzo di comunicazione fra insetti di specie diversa" svantaggioso per chi li produce. L'interesse pratico di queste sostanze si potrebbe concretizzare, ad esempio, nell'allevamento di insetti utili nelle biofabbriche, rendendo più economico il ciclo di produzione degli stessi utilizzando ospiti di sostituzione marcati con il semiochimico (cairomoni) di identificazione dell'ospite naturale, il cui allevamento artificiale è

spesso più problematico e costoso. Altro possibile campo applicativo dei semiochimici potrebbe essere rappresentato dall'uso dei caïromoni per mantenere in campo (es. nei frutteti) una soglia costante di entomofagi. Queste sostanze, infatti, immesse artificialmente nell'ambiente, simulano una maggiore densità del fitofago richiamando l'entomofago, la cui colonizzazione anticipata (rispetto al fitofago) è spesso importante per un soddisfacente controllo naturale degli insetti dannosi. Infine anche l'applicazione pratica dei sinomoni può offrire interessanti prospettive, come ad esempio la possibilità di trattare piante poco attrattive verso alcuni entomofagi, con i sinomoni estratti da piante attrattive; in questo modo otteniamo l'attrazione e la ritenzione artificiosa di un dato entomofago nell'ambiente.



4.1.12 Interventi con mezzi chimici

La lotta con mezzi chimici consiste nell'utilizzo di **sostanze attive** (un tempo definite principi attivi) inorganiche, organiche, naturali oppure di sintesi in grado di:

- proteggere i vegetali o i prodotti vegetali da tutti gli organismi nocivi (insetticidi, acaricidi, fungicidi, ecc.);
- favorire o regolare i processi vitali (fitoregolatori);
- conservare i prodotti vegetali (fisiofarmaci);
- eliminare le piante indesiderate (erbicidi).

Tali preparati prendono il nome di **prodotti fitosanitari** o, come più recentemente definiti, **agrofarmaci** (in passato denominati fitofarmaci, antiparassitari o pesticidi).

La legislazione in merito ai prodotti fitosanitari ha subito, nel tempo, una continua ed articolata evoluzione. Le principali normative progressivamente succedutesi sono:

- la legge n° 283 del 30 aprile 1962 nella quale i prodotti fitosanitari (allora definiti antiparassitari) utilizzati nel settore agrario erano assoggettati alla disciplina dei **presidi sanitari** che comprendevano, oltre ai fitofarmaci, anche i preparati destinati a piante o prodotti non eduli, o impiegati su terreni non agricoli per usi civili ed industriali;
- il D.P.R. n° 1255 del 3 agosto 1968 nel quale viene precisato il concetto di antiparassitario definendolo come "...prodotto destinato a combattere i parassiti animali, vegetali, microrga-

nismi e virus dannosi alle colture ed alle derrate alimentari...";

- il D.P.R. n° 128 del 13 marzo 1986 all'art. 1 comma 2 che definisce **presidi medico-chirurgici** i prodotti destinati al trattamento di piante ornamentali e fiori da balcone, da appartamento e giardino domestico, oltre ai preparati per la protezione del legno e tutti i prodotti utilizzati in ambienti domestici;
- il D.P.R. n° 223 del 24 maggio 1988 che sostituisce la definizione di antiparassitario con **prodotto fitosanitario** ampliando quest'ultima, e regola inoltre la nuova classificazione dei fitofarmaci tenendo conto non solo della *tossicità acuta*, ma anche di altri parametri (le diverse vie di intossicazione, la tossicità cronica, la concentrazione della sostanza attiva, l'impatto del prodotto sull'ambiente, ecc.) che hanno provocato lo spostamento di molti prodotti nelle classi di rischio più elevate, rispetto alla precedente classificazione;
- il D.M. n° 217 del 25 gennaio 1991 in cui compare, per la prima volta nella legislazione italiana, il permesso di utilizzare i presidi sanitari di 3ª e 4ª classe (o quelli irritanti e fuori classificazione secondo la più recente normativa) anche per usi extra agricoli, previa autocertificazione vidimata dall'ASL di zona. Questa autocertificazione, che attestava che i prodotti venivano impiegati in orti e giardini domestici e il cui eventuale raccolto era destinato al proprio consumo, è poi stata abrogata dal D.P.R. 290/01. Inoltre il suddetto D.M. adotta importanti variazioni sulla vendita e sull'utilizzo dei presidi sanitari sia in campo agricolo sia extra agricolo indicando l'obbligo, dal 1/1/1992, di registrare ed annotare il movimento dei prodotti acquistati ed utilizzati, di qualsiasi classe di tossicità (questo termine è però poi slittato nel tempo con proroghe successive fino all'entrata in vigore con il DPR 290/01);
- il D.Lgs. n° 194 del 17 marzo 1995 aggiorna, in termini di definizioni, autorizzazioni, controlli e sanzioni la normativa inerente i prodotti fitosanitari. Questo decreto recepisce in via definitiva sia la denominazione sia la classificazione europea dei prodotti fitosanitari discriminando i prodotti in Molto tossici, Tossici, Nocivi, Irritanti e Non classificati (come peraltro si era già iniziato a fare con il D.P.R. n° 223 del 24 maggio 1988). In quest'ultimo documento viene anche considerato il settore dei prodotti per uso *domestico* senza entrare nel merito delle normative riguardanti la relativa produzione e il commercio che rimangono invece disciplinate dalla preesistente legislazione;

- il D.P.R. 6 ottobre 1998, n° 392 riporta le norme per la semplificazione dei procedimenti di autorizzazione alla produzione ed all'immissione in commercio dei presidi medico-chirurgici;
- la circ. 15 aprile 1999, n° 7 contiene la regolamentazione per l'immissione in commercio di prodotti fitosanitari per piante ornamentali, dei fiori da balcone, da appartamento e da giardino domestico, già disciplinati come presidi medico-chirurgici;
- il D.P.R. 23 aprile 2001, n° 290 è il documento più aggiornato che legifera in materia di autorizzazione a produrre e commercializzare prodotti fitosanitari e relativi coadiuvanti, norme di vigilanza (**Registro dei trattamenti o Quaderno di campagna**) e modalità di prelievo campioni e fornisce le indicazioni inerenti alla commercializzazione di prodotti per l'agricoltura biologica. Inoltre in questo documento ufficiale non si riporta più la denominazione presidi medico-chirurgici sostituita da **prodotti fitosanitari per piante ornamentali (PPO)**. Questi ultimi sono prodotti fitosanitari da impiegare esclusivamente su piante ornamentali e solo per uso hobbistico; i prodotti PPO dovranno avere caratteristiche di bassa pericolosità e pertanto potranno appartenere solamente ai gruppi non classificati o al gruppo dei prodotti irritanti siglati Xi (vedi classificazione dei prodotti fitosanitari).
- Il D.P.R. 23 aprile 2001, n° 290 inoltre introduce sostanziali novità per quanto concerne:
 - i prodotti coadiuvanti dei prodotti fitosanitari (prodotti destinati a favorire l'azione dei prodotti fitosanitari come i bagnanti, gli emulsionanti e gli adesivanti);
 - le norme di autorizzazione all'acquisto e di abilitazione alla vendita dei prodotti fitosanitari;
 - la sperimentazione dei Servizi Fitosanitari e degli enti pubblici di ricerca e sperimentazione.

È in corso un'importante valutazione della pericolosità dei prodotti fitosanitari, basata sia sulla tossicità acuta sia su quella di tipo cronico. Per quest'ultima sono state identificate alcune **frasi di rischio** siglate in questo modo:

- **R 40**: possibili effetti irreversibili;
- **R48**: pericolo di gravi danni per la salute in caso di esposizioni prolungate;
- **R62**: possibile rischio di ridotta fertilità;
- **R63**: possibile rischio ai bambini non ancora nati.

La **Direttiva Europea 1999/45** ha inoltre predisposto nuove modalità di classificazione ed etichettatura dei prodotti fitosanitari, considerando non solo la pericolosità della sostanza attiva, ma anche quella di tutti i componenti del formulato (coadiuvanti, coformulanti, impurezze ecc.).

Questa direttiva ha inoltre considerato anche la tossicità dei preparati in ambiente acquatico, modificando due frasi di rischio:

- **R 40** diventerà *possibilità di effetti cancerogeni-prove insufficienti*;
- **R 68** assumerà la frase di rischio appartenente a R 40, ossia *possibili effetti irreversibili*.

Questa Direttiva ha inoltre introdotto delle frasi di rischio di tipo **ambientale**:

- **R 50**: altamente tossico per gli organismi acquatici;
- **R 53**: può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico;
- **R 57**: tossico per le api;
- **R 58**: può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente.

In seguito alla suddetta Direttiva e alla conseguente revisione del Prontuario dei prodotti fitosanitari si ipotizza che alcuni preparati passeranno dalla classe **T** (Tossici) alla classe **T+** (Molto Tossici), altri da **Xn** (Nocivi) a **T** ma, soprattutto, numerosi prodotti passeranno da **Xi** (Irritanti) a **Xn**.

Tutti i prodotti fitosanitari che saranno commercializzati dal 1° agosto 2004 dovranno avere una classificazione UE uniforme con iscrizione delle sostanze attive alla **lista positiva comunitaria: Annex I**.

Le condizioni per l'inclusione di una sostanza attiva in ANNEX I, devono essere:

- nessun rischio per il consumatore;
- nessun rischio per l'operatore;
- nessun rischio per l'ambiente.

Il risultato di questa revisione delle sostanze attive in ambito comunitario, che presumibilmente terminerà dopo il 2008, farà sì che dalle circa 850 sostanze attive autorizzate nell'UE prima del processo di revisione, si passi ad averne autorizzate all'incirca 300, che saranno le sostanze attive che supereranno il processo di revisione.

La **revisione** di una **sostanza attiva** inizia con l'acquisizione, da parte di uno degli stati membri della UE definito *Rapporteur*, del dossier relativo alla sostanza suddiviso in sette sezioni: specifiche chimico-fisiche, metodi analitici, tos-

pre-
ed
ide-
nza
del
vez-

e la
co,

ni-
nte

asi

la-
tti

ti

e-
o-
e-
l-
t-
i-

-
a
e
:

a

sicologia, residui, ambiente, ecotossicologia ed efficacia.

Il dossier verrà poi valutato anche dagli altri stati membri e in seguito il *Rapporteur* preparerà una monografia della sostanza relativa alle proprietà della molecola e al rischio associato. La monografia sarà controllata da un pool di esperti europei che discuterà l'accettabilità della molecola. La decisione finale spetterà infine al Comitato Fitoiatico Permanente per l'Europa (SCPH).

Come già indicato, le condizioni affinché una sostanza attiva possa essere preservata e quindi iscritta nell'apposito documento denominato ANNEX I, sono legate alla valutazione del rischio per il consumatore (basato sulla valutazione della dose di non effetto), del rischio per l'operatore (valutato considerando l'esposizione giornaliera dell'operatore e il livello ammissibile di esposizione) e del rischio per l'ambiente (valutato analizzando la concentrazione ambientale della sostanza e la dose tollerata dalla flora e dalla fauna non bersaglio).

Attualmente nel settore dei trattamenti in aree urbane si è in una fase transitoria. Esistono infatti in commercio etichette con la dicitura "impiegabili su piante ornamentali, floreali e forestali", etichette più recenti con indicazioni più specifiche (come richieste) relative alla specie vegetale e all'avversità su cui il prodotto è utilizzabile (es.: ippocastano, *Cameraria ohridella*) e pochi recenti preparati che riportano la corretta dicitura relativamente alle aree di impiego (es.: autorizzato per l'impiego in parchi e giardini pubblici, alberature stradali, ecc.).

In futuro le indicazioni specifiche richieste per i prodotti utilizzabili in aree urbane dovranno comprendere:

- specie vegetale;
- avversità;
- sito di utilizzo (parchi, viali, ecc.);
- tipologia di applicazione consentita (fogliare, iniezioni al tronco, pennellature, ecc.).

I prodotti fitosanitari, come si è già accennato, hanno avuto un ruolo determinante nell'evoluzione dell'agricoltura; la loro evoluzione ha seguito (a volte preceduto) il progredire delle tecniche agricole, e negli ultimi anni la ricerca e la sperimentazione hanno individuato nuove strategie di intervento e nuovi prodotti più consoni ad un'agricoltura che vuole essere garante anche dell'ambiente in senso lato.

Una breve ricerca storica ci consente di individuare le tappe dell'evoluzione degli agrofarmaci: dapprima si era sentita solo l'esigenza di

distruggere ogni forma di malattia/danno attraverso l'impiego di sostanze ad azione totale; il periodo storico è molto lontano (1700-1800) ed i prodotti erano molto semplici e quasi sempre di natura inorganica.

La loro azione a largo spettro dimostrò dei limiti di impiego per l'elevata e generalizzata tossicità di alcuni prodotti. Appartengono a questa categoria, definita di **prima generazione**, i sali di rame e zolfo, gli arseniati, i sali mercurici, gli antracenici ed altri.

Successivamente, negli anni tra le due grandi guerre e dopo, gli enormi progressi compiuti dalla industria chimica hanno portato all'individuazione dei primi prodotti organici di sintesi con sviluppo del *principio della selettività* che ancora oggi rimane valido nella sua enunciazione, anche se sono cambiate le modalità di applicazione. È di quel periodo la scoperta dell'azione erbicida del 2,4 D; negli anni Cinquanta furono individuate altre molecole di rilevante importanza quali i carbammati, i fosfororganici, i derivati dell'urea, gli ftalimmidici, le triazine ed i clororganici.

Tutti questi prodotti, pur con uno spettro relativamente ampio, hanno sviluppato il concetto della selettività e per questo furono chiamati di **seconda generazione**.

Negli anni Sessanta sono emerse prepotentemente le prime avvisaglie dei danni provocati dall'inquinamento e si è ulteriormente affinato il concetto di selettività e introdotto il *principio del controllo* in sostituzione della distruzione degli agenti di malattia/danno; sono stati prodotti alcuni agrofarmaci, chiamati di **terza o ultima generazione**, che seppure molto diversi tra loro hanno in comune la caratteristica di essere molto selettivi, ad azione mirata e con un impatto ambientale poco rilevante. Tra questi ricordiamo i nuovi insetticidi a base di batteri, i nuovi prodotti biotecnologici a base di feromoni ed i regolatori di crescita o di sviluppo, i nuovi antiperonosporici sistemici, ecc. La tendenza di oggi è tutta proiettata al futuro, ricercando prodotti sempre più sofisticati e selettivi, più specifici e a bassa tossicità ambientale.

Principali tipi di prodotti fitosanitari

I prodotti fitosanitari vengono classificati in base al tipo di attività esplicata o in base al tipo di parassita o di agente patogeno contro il quale vengono applicati; la loro azione, a volte, si presenta multipla e si esplica nei confronti di più agenti patogeni o di danno.

I principali raggruppamenti sono elencati nella tabella seguente.

Tab. 4.5

Prodotto fitosanitario	Bersaglio
anticrittogamici o fungicidi	crittogame (funghi)
battericidi	batteri
insetticidi	insetti
acaricidi	acari
nematocidi	nematodi
diserbanti	erbe infestanti
molluschicidi	lumache e limacce
modificatori del comportamento	insetti
rodenticidi	roditori
fitoregolatori	regolano la fisiologia della pianta
concimi fogliari	riducono le carenze nutrizionali
repellenti	uccelli o insetti
cicatrizzanti	favoriscono la cicatrizzazione delle ferite

Oltre alle categorie citate sono compresi, nella categoria di prodotti fitosanitari, anche alcuni prodotti che coadiuvano l'azione delle sostanze attive svolgendo azioni adesivanti o bagnanti.

Composizione di un prodotto fitosanitario

Normalmente il prodotto fitosanitario che viene utilizzato in campagna è formato da un coacervo di sostanze che ne caratterizzano l'azione; la sostanza attiva è di norma unita ad altre sostanze

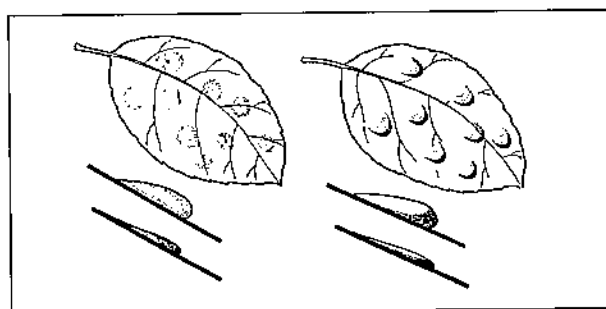


Fig. 4.21 Negli agrofarmaci in cui la sospensione dei materiali solidi si mantiene più a lungo, ed in cui quindi più lenta è la velocità di sedimentazione, risulterà più uniforme la distribuzione del deposito. In questa illustrazione si vede appunto, a sinistra, una foglia con un deposito regolare su tutta la superficie prima occupata dalle gocce dell'agrofarmaco i cui componenti solidi avevano mantenuto il carattere della sospensività per lungo tempo; a differenza della foglia di destra dove la situazione è opposta: deposito irregolare per breve sospensione.

che ne migliorano l'azione e che spesso divengono determinanti per l'efficacia del prodotto stesso. La quasi totalità dei prodotti fitosanitari viene commercializzata sotto forma di **preparati** (o **formulati**) costituiti da tre tipi di sostanze:

- sostanza attiva;
- coadiuvanti;
- coformulanti.

La **sostanza attiva** è la sostanza che esplica l'azione diretta nei confronti del patogeno/parassita; è pertanto la sostanza dotata di **tossicità intrinseca**.

I **coadiuvanti** sono sostanze che vengono aggiunte alla sostanza attiva al fine di migliorare la sua azione e la sua persistenza (solventi, sospensivanti, emulsionanti, bagnanti, adesivanti, antideriva, antievaporanti e antischiuma).

I **coformulanti** non svolgono alcuna funzione specifica ma servono solamente a diluire il principio attivo, favorendo la buona riuscita della formulazione (inerti e diluenti).

La quantità, espressa in %, di sostanza attiva presente in un prodotto fitosanitario costituisce il **titolo**; per legge esso deve essere riportato sulla confezione, questo obbligo non sussiste per i coadiuvanti e per gli inerti (coformulanti).

I coadiuvanti che possono essere aggiunti al principio attivo sono diversi; la loro utilizzazione è valutata dai tecnici addetti alla formulazione e dipende dal:

- tipo di sostanza attiva;
- tipo di formulazione;
- tipo di impiego del formulato.

I coadiuvanti possono essere raggruppati in diverse categorie.

TENSIOATTIVI O BAGNANTI. La tensione superficiale tende a far assumere alle goccioline del liquido una forma sferica ed aggregante, determinando la formazione di gocce grossolane che non distribuiscono uniformemente il prodotto fitosanitario sulla vegetazione trattata. I bagnanti agiscono riducendo la tensione superficiale, provocando la distensione delle goccioline in modo da formare, sulla superficie del vegetale, uno strato sottile ma uniforme (strato di copertura).

EMULSIONANTI. Sono sostanze che mantengono in emulsione e in dispersione acquosa i composti oleosi insolubili del preparato con il veicolo che di solito è acqua; evitano pertanto la separazione delle sostanze favorendo la dispersione in acqua del formulato, consentendo un trattamento sempre uniforme.

DISPERDENTI. Sono sostanze che vengono usate quando la sostanza attiva è sotto forma di micro-particelle; la massa di queste tende a farle precipitare per aggregazione (decantazione), separando il liquido vettore (acqua) dalla sostanza attiva. Queste sostanze hanno il compito di impedire che avvenga la decantazione mantenendo le micro-particelle uniformemente distribuite nella sospensione.

ADESIVANTI. Sono sostanze che vengono utilizzate in quei preparati in cui necessita una certa resistenza agli agenti atmosferici dilavanti; la loro funzione è di "incollare" le sostanze attive e i coadiuvanti, alle pareti dei vegetali trattati, consentendo una maggiore permanenza del trattamento sul vegetale.

ANTIDERIVA. Sono sostanze che vengono aggiunte, nella formulazione degli agrofarmaci, per appesantirli e renderli adatti alla distribuzione con mezzi aerei; in questi casi è indispensabile che la sostanza attiva non permanga in atmosfera e raggiunga, nel più breve tempo possibile, le superfici dei vegetali.

La grande variabilità dei preparati commerciali che contengono la stessa sostanza attiva è giustificata solo dalle diverse formulazioni che vengono specializzate, adattandole alle esigenze dei vegetali (fitotossicità), al loro ciclo fenologico e ai cicli biologici degli agenti di danno e di malattia. Spesso è la formulazione che garantisce il sicuro effetto della sostanza attiva che, distribuita in purezza, non raggiunge gli effetti desiderati.

Principali preparati

Le formulazioni commerciali di un prodotto fitosanitario si presentano sotto forme diverse che ne caratterizzano l'uso; tra queste ricordiamo:

- **polveri secche**, un tipo di formulazione in cui la sostanza attiva può essere miscelata con inerti polverulenti o assorbita da inerti polverulenti; si presenta come una polvere che deve essere distribuita, tal quale, con macchine apposite chiamate impolveratrici; attualmente questo sistema di formulazione non è molto usato in campo, sia per la complessità della distribuzione, sia per gli inconvenienti che essa spesso determina: fitotossicità, deriva operata dal vento, efficacia solo con determinate condizioni climatiche; inoltre sono state trovate formulazioni molto più efficaci che ne hanno sostituito l'uso; in passato veniva distribuito con questa formulazione lo zolfo (zolfo ventilato); le polveri rimangono ottime formu-

lazioni per la concia del seme, settore nel quale sono leader;

- **polveri bagnabili** (PB, WP), tipo di preparazione costituita da una polvere in cui sono compresi sostanza attiva non solubile in acqua, coadiuvanti e inerti; la polvere, prima dell'uso, deve essere diluita o dispersa in acqua per essere distribuita *per aspersione* sulla vegetazione; in questo caso i coadiuvanti dovranno assicurare la disperdibilità, l'adesività e la bagnabilità della sospensione acquosa ottenuta; questa formulazione è molto diffusa perché presenta gli indubbi vantaggi della facile conservazione e commercializzazione;
- **polveri solubili** (PS, WS), tipo di formulazione costituita da polveri, contenenti sostanza attiva, coadiuvanti e inerti, che sono solubili in acqua; la polvere, prima dell'uso, deve essere sciolta in acqua per essere distribuita sulla vegetazione; questo tipo di formulazione è poco diffuso in quanto le sostanze attive sono difficilmente solubili in acqua;
- **emulsioni olio/acqua** (EW): in questo tipo di formulazione fluida la sostanza attiva è contenuta in goccioline oleose disperse in una fase acquosa; il fluido, prima dell'uso, viene diluito in acqua e irrorato con i normali diffusori;
- **emulsione acqua/olio** (EO): è una formulazione fluida in cui la sostanza attiva è contenuta in finissimi globuli di soluzione acquosa a loro volta dispersi in una fase organica fluida e oleosa;
- **concentrati emulsionabili** (EC), in questo tipo di formulazione, che si presenta oleosa, la sostanza attiva non è solubile in acqua; la sostanza attiva viene perciò dapprima solubilizzata con solventi e quindi miscelata con i coadiuvanti emulsionanti; il tutto viene emulsionato con acqua per preparare il prodotto da distribuire con i normali diffusori;
- **flowable** (FL) o **in pasta a sospensione concentrata** (SC), in questo tipo di formulati la sostanza attiva, di solito in polvere, viene mantenuta in una sospensione acquosa concentrata (una sorta di pasta fluida più o meno densa); al momento dell'uso viene diluito con acqua e quindi distribuito con i normali diffusori;
- **microincapsulati** o **microcapsulati** (CS), in questo caso il preparato viene suddiviso in microcapsule; la sostanza attiva viene ceduta nell'ambiente molto lentamente attraverso le pareti della capsula, quando la fase acquosa che le circonda evapora, aumentando così il tempo della sua permanenza attiva; sono prodotti di recente introduzione e si prefiggono, oltre al controllo degli agenti patogeni o di danno, di ridurre l'impatto ambientale perché la lenta cessione riduce la concentrazione attiva massima nell'ambiente;

- **granulari**, formulati in cui la sostanza attiva viene fatta aderire ad inerti di origine vegetale o minerale (argille); l'aspetto fisico è granulare, con una dimensione dei granuli superiore a 250 micron; essi vengono distribuiti "tal quale"; non necessitano della diluizione in acqua e vengono utilizzati nelle disinfestazioni preventive dei terreni e dei terricci; rispetto ad altri formulati, eccezion fatta per i microincapsulati, essi cedono lentamente la sostanza attiva garantendo una maggiore persistenza in un ambiente, il terreno, dove la degradazione delle sostanze attive è rapida;
- **fumiganti**: questi generalmente non sono dei formulati ma delle sostanze attive quasi in purezza, che non vengono miscelate con altre sostanze (coadiuvanti ed inerti); essi agiscono "tal quale" allo stato gassoso;
- **granuli dispersibili** (WG, WDG, DF) o **idro-dispersibili** (SG): vanno sempre diluiti in acqua per essere utilizzati e hanno perso la caratteristica volatilità delle polveri determinando una maggiore praticità e sicurezza d'uso. Nell'ambito dei prodotti da utilizzare per trattamenti liquidi sono particolarmente interessanti le formulazioni confezionate in **sacchetti idrosolubili** in grado di sciogliersi a contatto con l'acqua, tutelando maggiormente l'operatore durante la preparazione della sospensione.

4.1.13 Caratteristiche dei prodotti fitosanitari

I prodotti fitosanitari presentano alcune peculiarità che nel loro insieme stabiliscono l'effettiva efficacia del prodotto; questi aspetti, per semplicità didattica, vengono trattati singolarmente tenendo tuttavia presente che è la loro interazione a caratterizzare un agrofarmaco. Questi aspetti sono di tipo:

- qualitativo;
- quantitativo;
- collaterale.

Aspetti qualitativi di un agrofarmaco

La qualità di un agrofarmaco dipende direttamente da due fattori: la tossicità intrinseca e la disponibilità.

La **tossicità intrinseca** è rappresentata dal danno che una sostanza attiva esplica nei confronti dell'*organismo bersaglio*.

La sostanza attiva esercita la propria tossicità solo se riesce a colpire l'organismo contro cui è diretta e solo se riesce a raggiungere gli organi vitali che

subiranno il suo danno e nei quali la sua azione viene esaltata.

La tossicità intrinseca è, di conseguenza, la risultante di due momenti che sono sinergici ed indispensabili l'uno all'altro:

- il **meccanismo di azione**, che consiste nella capacità di raggiungere i punti vitali; l'azione può avvenire in due modi: nel primo è sufficiente la lisi della parete cellulare per intaccarne il contenuto; nel secondo è necessaria la penetrazione, anche senza lisi;
- l'**azione della sostanza attiva a livello cellulare** che consiste nella sostituzione, nella competizione o nell'aggressione dei sistemi biologici (respirazione, regolazione nervosa, ecc.) del patogeno.

La **disponibilità** di un agrofarmaco è la capacità di liberare la sostanza attiva, in presenza di vari stimoli, e di farla arrivare a contatto con il bersaglio; questa disponibilità dipende da fattori collaterali quali la prontezza di azione (disponibilità immediata), la persistenza e la presenza di coadiuvanti che ne migliorano l'azione; ad esempio nella poltiglia bordolese l'aggiunta di calce consente al rame (sostanza attiva) un'azione prolungata nel tempo (disponibilità residua).

Aspetti quantitativi di un agrofarmaco

La **disponibilità**, aspetto fondamentale delle caratteristiche qualitative di un prodotto fitosanitario, basa i suoi requisiti su alcuni aspetti che determinano la quantità di agrofarmaco presente sul vegetale in un momento qualsiasi. Questi aspetti quantitativi sono: la copertura, il deposito e il residuo. La **copertura** rappresenta il grado di distensione della sostanza attiva sul vegetale; se la sostanza attiva non "tutela" tutta la superficie trattata, il parassita riesce a penetrare nei tessuti vegetali approfittando delle zone scoperte.

Gli elementi che condizionano la copertura sono:

- la dimensione delle gocce;
- il mezzo meccanico usato per la distribuzione, che diviene determinante nella micronizzazione delle gocce;
- la presenza di un coadiuvante tensioattivo che determina la distensione delle goccioline sulla superficie del vegetale.

Il **deposito** rappresenta la quantità di prodotto che rimane sulla superficie del vegetale dopo il trattamento. Gli elementi che condizionano il deposito sono:

- la **copertura** che tanto più grande sarà, maggiore sarà il deposito;

- la *natura del preparato* e i mezzi di diffusione, ad esempio la diffusione polverulenta favorisce, rispetto ai liquidi nebulizzati, un maggior deposito per la sua capacità di penetrare anche in posti non accessibili;
- la *natura delle superfici* degli organi trattati (superfici lisce, scabrose, cerose, ecc.) ha una notevole influenza sull'entità del deposito;
- la *carica elettrica* poiché di norma i vegetali hanno carica elettrica negativa e di conseguenza un prodotto con carica elettrica positiva ha maggiori possibilità di depositarsi rispetto ad una sostanza attiva a carica negativa;
- la *presenza di un coadiuvante* con funzione adesiva aumenta la possibilità di deposito di una sostanza attiva.

Il **residuo** viene definito come la quantità di sostanza attiva che rimane, sull'organo vegetale, dopo un determinato periodo di tempo dal trattamento fitoiatrico. Il concetto di residuo differisce da quello di deposito in quanto quest'ultimo si riferisce alla quantità di prodotto che si ferma sul vegetale subito dopo l'intervento e che ha azione sui parassiti presenti nel momento contingente; mentre il residuo è responsabile dell'azione prolungata e preventiva che quanto della sostanza attiva arrivata sul vegetale ha nei confronti dei successivi attacchi o delle generazioni future del parassita stesso. Gli elementi che condizionano il residuo sono:

- *mezzi meccanici e micronizzazione delle particelle* le quali più sono piccole e minore sarà il dilavamento e maggiore l'effetto residuale;
- *elementi climatici* (pioggia, temperatura e luce) che svolgono attiva azione dilavante, dissolvante, denaturante e volatilizzante delle sostanze attive;
- *accrescimento della pianta* poiché nei momenti di grande espansione sia delle lamine fogliari sia dei germogli (primavera) si ha una riduzione dell'attività residuale; infatti si formano parti nuove che sono scoperte, cioè prive di residuo, anche solamente dopo pochi giorni dal trattamento.

L'azione residuale svolta dalla sostanza attiva è comunque da valutarsi correttamente: infatti, se dal punto di vista strettamente fitoiatrico questa azione è da ritenersi indispensabile per la buona riuscita dei trattamenti, è altrettanto importante che il residuo non provochi, per la troppa persistenza, accumuli che divengono dannosi per l'uomo (residui nelle derrate) e per l'ambiente. Pertanto è necessario usare prodotti persistenti perché siano validi dal punto di vista fitoiatrico, ma occorre che la persistenza sia strettamente limitata alla riuscita dei trattamenti.

Aspetti collaterali di un agrofarmaco

Sono aspetti determinanti nell'azione di un agrofarmaco, possono essere di natura esterna oppure essere intrinseci al preparato stesso; fra questi aspetti ricordiamo:

- la **prontezza di azione** che definisce la capacità di una sostanza attiva di svolgere immediatamente le sue funzioni. Il concetto di prontezza di azione non si deve confondere con quello di disponibilità. Infatti quest'ultimo definisce la capacità di liberare la sostanza attiva e non la sua attività; ad esempio: l'azione del rame (Cu) come fungicida si esplica non tanto perché esso è disponibile sulla foglia quanto perché vi è presenza di acqua, ammoniaca e anidride carbonica escreti dalla pianta stessa; in assenza di queste sostanze il rame cristallizzerebbe senza svolgere alcuna azione fungicida. A volte è la presenza di sostanze coadiuvanti a determinare la prontezza di azione;
- la **persistenza di azione** che si intende come la capacità di un agrofarmaco di prolungare la sua azione nel tempo; dipende dai fattori qualitativi già descritti ed in modo particolare dall'azione residuale;
- la **miscibilità** che si intende come la proprietà intrinseca di un prodotto fitosanitario di essere compatibile e quindi miscibile con uno o più preparati di tipo diverso. Le ragioni che stanno alla base della miscibilità sono da imputarsi ad aspetti sia di natura economica sia tecnica:
 - i primi perché unendo i preparati diminuiscono i costi dei trattamenti che vengono ridotti di numero;
 - i secondi perché si possono effettuare trattamenti complessi rivolti a più parassiti (mescolanze di insetticidi e fungicidi), oppure perché contro lo stesso parassita si attuano diverse strategie di azione contemporaneamente (ad esempio contro la *Peronospora* della vite si possono mescolare prodotti di copertura con prodotti endoterapici).

Un prodotto fitosanitario, nei confronti della sua miscibilità con altri, presenta tre fenomeni:

- **indifferenza** in cui la miscela non presenta particolari aspetti né positivi, né negativi;
- **antagonismo** in cui la miscela presenta una riduzione degli effetti delle singole sostanze attive;
- **sinergismo** in cui la miscela presenta effetti con caratteristiche migliori delle singole sostanze

attive; il fenomeno è da imputarsi a migliore penetrabilità, oppure alla formazione di metaboliti intermedi con effetto esaltante le singole sostanze attive.

La miscela, inoltre, presenta altri effetti che non considerano le sostanze attive, ma l'azione globale che l'insieme esplica; infatti si possono presentare fenomeni di:

- minore solubilità o sospensività in acqua;
- fitotossicità intesa come la capacità del prodotto ottenuto di provocare un danno alla pianta sulla quale è stato distribuito.

Allo scopo di evitare l'insorgere di questi fenomeni sono state approntate delle **tabelle di compatibilità**, peraltro mai complete per la continua e veloce evoluzione della fitoiatria, in cui i prodotti più comuni vengono messi a confronto valutandone la miscibilità. Queste tabelle, tuttavia, devono essere considerate con molta attenzione in quanto la miscibilità non è sempre un fattore costante ma varia in funzione delle condizioni ambientali, del tipo di prodotto, delle dosi e della coltivazione da trattare;

- la **ridistribuzione** definisce la capacità di un agrofarmaco di *spostarsi* e ridistribuirsi per volatilizzazione o per risolubilizzazione oppure per semplice trasporto passivo operato da agenti atmosferici (pioggia); questa capacità intrinseca diviene importante quando la sostanza attiva si estende a coprire anche le zone di vegetazione scoperte, determinando la riduzione dei trattamenti;
- il **citotropismo** e la **sistemicità** esprimono la capacità di un agrofarmaco di superare le barriere cellulari ed entrare nella pianta comportandosi cioè da **endoterapico**; questa caratteristica, tipica di alcuni prodotti fitosanitari, è molto importante in considerazione della presenza di molti parassiti endofiti o endofagi; appartengono a questa categoria di parassiti la maggioranza dei microrganismi e degli stadi preimmaginali degli insetti fitofagi che allo stadio adulto conducono vita esterna. In queste condizioni diviene assolutamente indispensabile l'azione di questi prodotti fitosanitari che agiscono nel luogo in cui vive il parassita, comportandosi da endoterapici.

Questi prodotti vengono raggruppati in tre grandi categorie:

1. **citotropici**, sono composti che pur venendo assorbiti dai tessuti vegetali, non sono mobili

e si localizzano nei punti in cui sono entrati ed al limite nelle zone limitrofe;

2. **translaminari**, sono composti dotati di buona mobilità cellulare; essi vengono assorbiti e traslocati da cellula a cellula, sia in senso laterale sia trasversale (passano indifferentemente dalla pagina fogliare inferiore a quella superiore e viceversa e per questo definiti anche locosistemi);

3. **sistemici**, sono prodotti estremamente mobili; essi vengono assorbiti ed entrano nel flusso linfatico raggiungendo anche le parti della pianta che non sono state oggetto del trattamento. Tuttavia non è possibile parlare di una sistemicità totale; infatti è ben difficile che un prodotto raggiunga effettivamente tutte le parti della pianta (da un ramo all'altro) e che si sposti dall'alto al basso (sistemicità discendente). Normalmente la sistemicità è di tipo xilematico (acropeta, verso l'alto); solo raramente gli agrofarmaci entrano nel flusso floematico. L'uso di prodotti sistemici pone tuttavia una serie di problemi che impongono un'attenta valutazione nei trattamenti:

- la sistemicità varia in funzione dell'organo interessato (è migliore nelle radici che negli organi erbacei aerei);
- la sistemicità è migliore nelle piante metabolicamente efficienti, mentre è bassa in quelle sottoposte a stress, idrici o calorici, in quanto si riduce l'attività metabolica di assorbimento e traslocazione;
- gli organi aerei non sempre riescono a richiamare e a concentrare una sufficiente quantità di agrofarmaco; ad esempio i frutti, nelle ultime fasi dello sviluppo, per la diminuita attività traspiratoria, non riescono a concentrare ottimali quantità di sostanza attiva;
- l'uso dei prodotti sistemici, per la loro specificità di azione e per il sito di azione estremamente specifico, può determinare una selezione di ceppi resistenti; questo si verifica specialmente negli ultimi fungicidi sistemici per i quali si dovranno adottare specifiche precauzioni.

Nonostante le caratteristiche elencate possano essere intese come aspetti negativi, la scoperta dei prodotti sistemici ha notevolmente influito nell'evoluzione della fitoiatria; infatti essi sono sostanzialmente selettivi, presentano alte caratteristiche curative, sfuggono alle azioni dilavanti degli agenti atmosferici, presentano una buona ridistribuzione interna anche su organi non direttamente trattati (apici) ed infine si prestano molto bene alle distribuzioni con bassi volumi.

Tossicità degli agrofarmaci

Le sostanze attive presenti nei prodotti fitosanitari sono sostanze potenzialmente tossiche per l'uomo; le intossicazioni possono essere provocate essenzialmente in due modi:

1. **contaminazione accidentale** che si verifica quando durante la preparazione e la distribuzione degli agrofarmaci non si adottano le precauzioni necessarie;
2. **contaminazione alimentare** che si verifica per l'ingestione di derrate alimentari che contengono residui tossici.

In considerazione di quanto sopra possiamo distinguere tre vie di intossicazione:

- **per inalazione** che si verifica quando l'assorbimento avviene per inspirazione mentre si preparano e si distribuiscono le miscele o le poltiglie, senza l'uso delle apposite maschere di protezione o quando queste sono in cattivo stato di manutenzione (filtro sporco e/o inattivo); il prodotto inalato può essere sotto forma polverulenta o gassosa;
- **per contatto o dermale** che si verifica quando l'assorbimento avviene per contatto tra l'epidermide e il prodotto; anche in questo caso è importante adottare le previste protezioni sia per evitare l'insorgenza di fenomeni cutanei localizzati, sia intossicazioni sistemiche;
- **per ingestione** che si verifica quando si ingeriscono alimenti contenenti residui di agrofarmaci; in questo caso le precauzioni riguardano non solamente il momento del trattamento ma anche quelli precedenti e successivi la raccolta, per evitare che un prodotto venga messo in commercio senza che sia trascorso il previsto periodo di tutela o di carenza.

Tossicità acuta e tossicità cronica

La tossicità di un agrofarmaco può essere riferita agli effetti di una sola somministrazione oppure a più somministrazioni; nel primo caso si parla di tossicità acuta, nel secondo di tossicità cronica.

La **tossicità acuta** di un prodotto fitosanitario esprime la velenosità di una determinata sostanza che si manifesta entro breve tempo dal momento in cui essa è stata ingerita, inalata o assorbita attraverso la pelle. La tossicità acuta si valuta conoscendo la DL_{50} della sostanza tossica (sia orale sia dermale) o la CL_{50} (se si tratta di un prodotto tossico per inalazione). La DL_{50} indica la dose letale al 50%, cioè la quantità di sostanza attiva che somministrata solitamente in una volta sola, generalmente per via orale (ma anche

per via dermale o inalatoria) a delle cavie di laboratorio ne determina immediatamente la morte al 50%. La DL_{50} esprime pertanto la tossicità acuta di un prodotto e si misura in mg per kg di peso vivo. Ad esempio se un agrofarmaco ha una $DL_{50} = 10$, significa che 10 mg (0,01 g) di quel dato prodotto sono in grado di uccidere il 50% di una popolazione di cavie del peso di 1 kg; lo stesso prodotto, riferito ad un uomo di 60 kg, risulta mortale con una dose pari a $10 \text{ mg} \times 60 \text{ kg} = 600 \text{ mg} = 0,6 \text{ g}$. Questo calcolo si riferisce ad un agrofarmaco considerato in purezza. Nell'esecuzione pratica dei trattamenti la tossicità reale risulta molto inferiore in considerazione delle diluizioni cui viene sottoposto il prodotto e precisamente:

- **diluizione in acqua** per la distribuzione: la distribuzione di un prodotto fitosanitario si avvale di un veicolo, che normalmente è l'acqua, pertanto il prodotto viene ulteriormente diluito;
- **diluizione in atmosfera** che provoca un'ulteriore diluizione per l'enorme volume di atmosfera irrorato.

La **tossicità cronica** di un prodotto fitosanitario esprime la tossicità di un determinato prodotto somministrato in dosi relativamente basse ma continue, determinando accumulo nell'organismo che manifesta l'intossicazione cronica dopo un certo periodo di tempo dall'esposizione alla sostanza.

La quantità tossica di questo accumulo viene definita dalla **soglia** di tossicità cronica che è la quantità massima di prodotto, espressa in **ppm** (parti per milione), che può essere somministrata, per un lungo periodo di tempo (anche per tutta la durata della vita), senza determinare alcuna variazione biologica negli organismi cavia. Questo tipo di tossicità è subdola, in quanto difficilmente misurabile e con effetti di accumulo che si manifestano nel tempo con danneggiamenti, a livello fisiologico e cito-istologico, spesso irreversibili.

Il controllo della tossicità cronica viene fatto, accuratamente, in laboratorio sia verificandola in vitro (su colture cellulari) sia in vivo (su cavie); a queste ultime vengono somministrate, per un certo periodo di tempo (a volte per tutta la vita) dosi note di un determinato agrofarmaco.

Successivamente, questi individui vengono sottoposti a prove di laboratorio al fine di evidenziare eventuali effetti mutageni, teratogeni o cancerogeni dovuti alla somministrazione del prodotto in esame. Le cavie vengono controllate ogni giorno e, quando muoiono, viene eseguita un'autopsia,