

# Appunti,tutte le lezioni - Entomologia Agraria - prof. Belcari - a.a. 2011/2012

Entomologia agraria (Università degli Studi di Firenze)

## ENTOMOLOGIA

Il phylum Artropoda, appartenente al regno Animalia, comprende la gran parte degli animali esistenti al mondo. Le specie che rientrano in questo phylum presentano:

- Esoscheletro indurito formato da chitina
- Corpo metamerizzato
- Appendici articolate
- Celoma modificato in emocoel

Questo phylum si divide in subphyla:

- Chelicerati: sono organismi che non presentano antenne e presentano i cheliceri o pedipalpi. Rientra in questo subphyla la classe degli aracnidi:
  - o Aracnidi: ne fanno parte ragni, scorpioni, acari e zecche; sono caratterizzati dal cefalotorace e dal possedere paia di zampe
- Crostacei: ne fanno parte aragoste, gamberi e porcellini di terra; sono caratterizzati da 2 coppie di antenne (un paio di antenne e uno di antennule) e da almeno 5 paia di zampe
- Tracheati: ne fanno parte vari artropodi terrestri e acquatici. Rientrano in questo subphyla:
  - o Superclasse miriapodi:
    - Diplopodi: ne fanno parte i millepiedi, sono caratterizzati da due paia di zampe per metamero
    - Chilopodi: ne fanno parte i centopiedi e le scolopendre, sono caratterizzati da un paio di zampe per metamero e da forcipule con ghiandole velenifere
  - o Superclasse esapodi:
    - Entognati: contiene collemboli, proturi e dipluri
    - Insetti: sono caratterizzati dal possedere 3 paia di zampe e il corpo diviso in 3 metameri.

Gli insetti sono la classe più sviluppata del phylum artropoda quindi sono la maggior parte degli animali sulla terra; il numero di specie ad oggi classificate supera il milione ma è in continuo aumento. I motivi del successo evolutivo degli insetti risiede nella loro enorme capacità di adattamento ai vari habitat, all'alta voracità, al breve ciclo biologico, all'alto potenziale riproduttivo e alla capacità di instaurare simbiosi di vario genere. Evolutisi da antichi miriapodo-simili hanno acquisito la capacità di volare con la formazione di ali neofornate e non originate da modificazioni di arti; questa caratteristica li ha resi in grado di colonizzare tutti i biotopi. La loro adattabilità si ritrova sia nella nutrizione che nella scelta dell'habitat, che in molte altre caratteristiche tipiche solo degli insetti. Per quanto riguarda la nutrizione si dividono in vari gruppi:

- Humifagi: si nutrono di humus e concorrono alla chiusura del ciclo del carbonio
- Coprofagi: si nutrono di feci di altri animali, arricchiscono il terreno di sostanza organica e concorrono anch'essi al ciclo del carbonio. In Australia un insetto del genere risolse il problema igienico sanitario dovuto alle feci delle pecore; fu importato dall'Africa e interrando le deiezioni risolsero il problema.
- Micofagi: si nutrono di micelio e di altre parti di fungo, se ne conoscono anche specie utili in agricoltura
- Ematofagi o zoomize: si nutrono di sangue, ne sono esempio le varie specie di zanzare.
- Saprofagi: si nutrono di materia morta e concorrono al ciclo del carbonio
- Necrofagi: sono una classe di saprofagi che si nutrono di cadaveri, sono importanti in entomologia forense

Questi non verranno trattati, essendo un corso di entomologia agraria, ma sono basilari per chiudere i cicli biogeochimici

- Fitofagi: si nutrono di parti di pianta e si dividono in rizofagi, fillofagi, antofagi, carpofagi, xilofagi, fitomizi, ecc. Se ne conoscono più di 500'000 specie ma solamente il 5% di queste attacca coltivazioni agrarie (meno dell'0,1% del totale degli insetti).
- Entomofagi: si nutrono di altri insetti e sono utili in ambito agrario come antagonista biologico

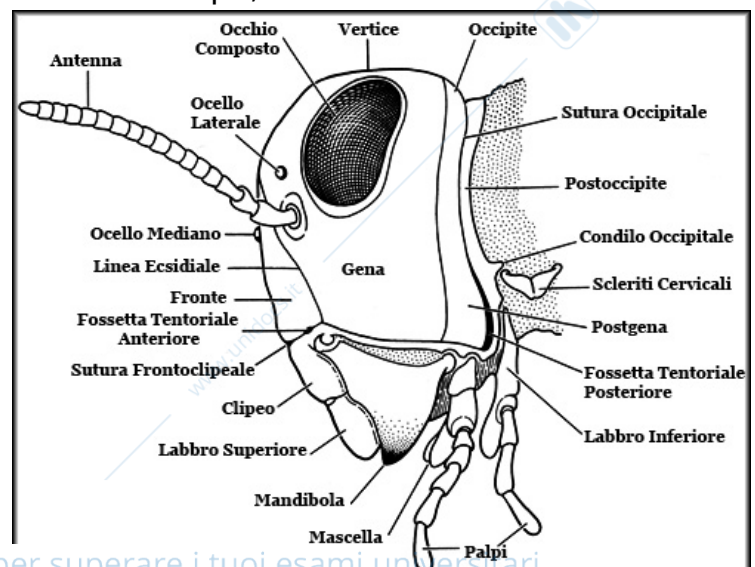
Le specie utili sono largamente superiori a quelle dannose; l'utilità può essere di vario tipo:

- Produzione di materiali utili: miele, cera, seta, coloranti (l'alchermes in antichità era prodotto da una cocciniglia, la Kermes vermilio)
- Entomofagia: utili nel controllo delle popolazioni di altri insetti
- Fecondazione dei fiori a fecondazione entomofila (insetti pronubi)
- Alimentazione umana

## Morfologia

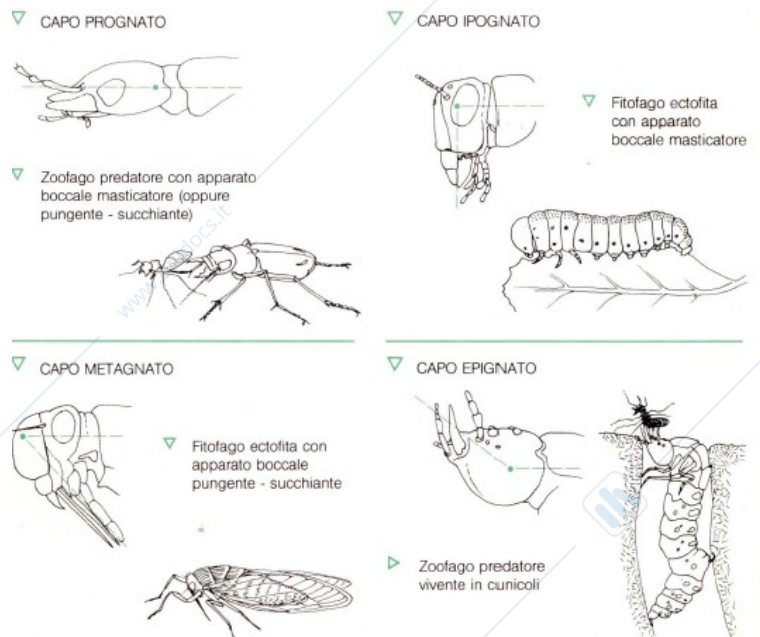
Gli insetti presentano il corpo diviso in 3 metameri capo, torace e addome. Il

capo contiene le strutture sensoriali della vista (divise in occhi composti ed ocelli), la parte iniziale dell'apparato digerente e le antenne. Si presenta formato da 6 segmenti fusi a formare la capsula cranica, divisibile in due parti: procefalo e gantocefalo. Gli occhi composti sono deputati alla vista; sono formati da vari ommatidi a fuoco fisso (essendo sprovvisti di cristallino) e



l'immagine che formano è un mosaico delle singole "riprese". Gli ocelli non hanno funzione visiva ma servono solo a registrare il numero di ore di luce e di buio e l'intensità della luce, parametri fondamentali per la regolazione dei cicli biologici. Il capo può essere libero e dotato di collo che lo collega al torace, oppure immerso in esso. In relazione a come è disposto rispetto al torace si distinguono vari tipi di capo:

- **Prognato:** l'asse passante per la bocca è il prolungamento di quello del corpo (angolo di  $180^\circ$ ), è tipico degli insetti predatori
- **Ipognato:** fra i due assi c'è un angolo di  $90^\circ$  ed è orientato verso il basso è tipico dei fitofagi masticatori ectofiti come le cavallette.
- **Metagnato:** l'angolo fra i due assi è inferiore a  $90^\circ$ , gli apparati boccali sono portati ventralmente al corpo; è tipico dei pungenti succhianti
- **Apignato:** l'angolo fra i 2 assi è maggiore di  $180^\circ$ , è un ipo di capo rarissimo.



Può andare in contro a diverse modificazioni:

- **Curculionidi:** presenta un prolungamento fronto-clipeale che porta in posizione terminale l'apparato boccale.
- **Carabidi:** presentano il capo allungato per entrare dentro al guscio delle chiocchie e nutrirsi anche quando esse vi si ritirano.

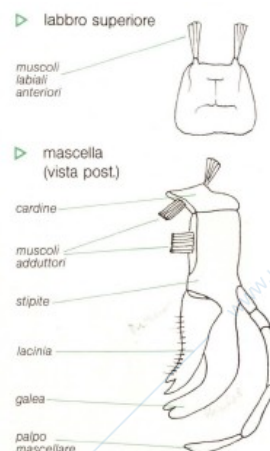
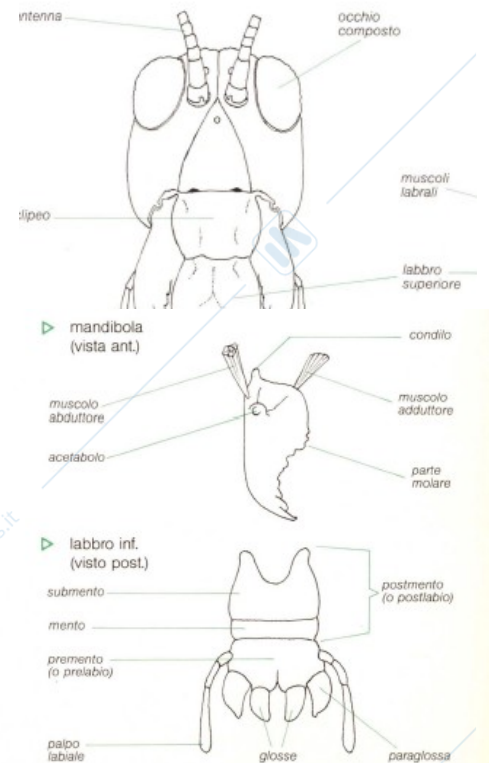
Le antenne, anch'esse inserite nel capo, sono la sede degli organi di ricezione sensoriale, spesso portano vistosi caratteri sessuali secondari e possono essere importanti in molti altri ambiti. L'antenna è inserita in un incavo detto torulo mediante il primo antennero, lo scapo. Successivamente a questo si trovano pedicello e flagello, quest'ultimo formato da un numero vario di antenneri e dalla forma e funzioni molto variabili. La muscolatura può arrivare fino al pedicello oppure fino all'ultimo articolo antennario, modificando la capacità di movimento dell'antenna. Il flagello può essere clavato, cioè con gli ultimi antenneri maggiormente sviluppati, oppure modificato in molti altri modi (filiforme, subatrofiche, moniliforme, lamellata, piumose, ecc). Ogni elemento, specialmente quelli del flagello, presenta dei sensilli, peli modificati ed innervati con funzioni sensoriali. L'apparato masticatore può essere di molti tipi:

- Masticatore entognato: si riscontra negli adulti e nelle larve dei collemboli, proturi e dipluri
- Masticatore ectognato: si riscontra in molte classi di adulti e larve
- Lambente-succhiante: si riscontra negli imenotteri apoidei e nei ditteri
- Succhiante non perforante: si riscontra nei lepidotteri
- Pungente-succhiante-lambente: si riscontra in alcuni ditteri
- Pungente-succhiante: è tipico dei rincoti e di altri insetti che si nutrono di linfa
- Dilaniante o cefalo-faringeo: si riscontra nelle larve di ditteri

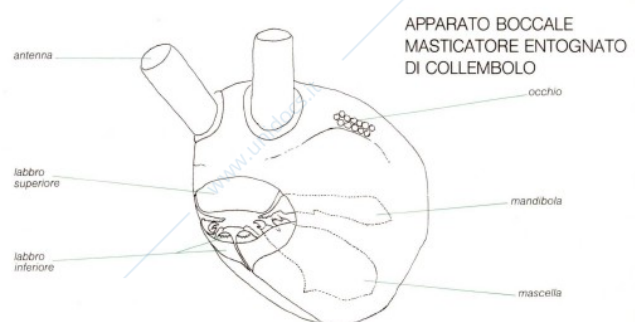
L'apparato boccale tipo, e quello da cui poi si sono avute le varie modificazioni, è quello masticatore che presenta le seguenti strutture:

- Labbro superiore: è una regione morfologica del capo e non appartiene alle appendici boccali; è capace di movimenti verticali
- Mandibole: poste al di sotto del labbro superiore hanno forma sub triangolare e sono molto indurite perché funzionali alla prensione del cibo; hanno movimento laterale
- Mascelle: si articolano con cardine e stipite al peristoma (o rima boccale); su di esse si articolano palpi mascellari (hanno funzione sensitiva), galee (hanno funzione di trattenimento del cibo) e le lacinie (hanno funzione di masticazione)
- Labbro inferiore: deriva dall'evoluzione di un secondo paio di mascelle; si divide in submento, mento e premento, che portano rispettivamente palpi labiali, glosse e paraglosse
- Ipofaringe: è la "lingua" degli insetti, ha la funzione di dividere il cavo orale in due parti: il cibarium superiormente e il salivarium inferiormente.

APPARATO BOCCALE  
MASTICATORE ECTOGNATO  
DI ORTOTTERO (I parte)



Quello appena descritto è l'apparato boccale masticatore ectognato; ne esiste anche una versione entognata che si ritrova nei collemboli e in pochi altri insetti.

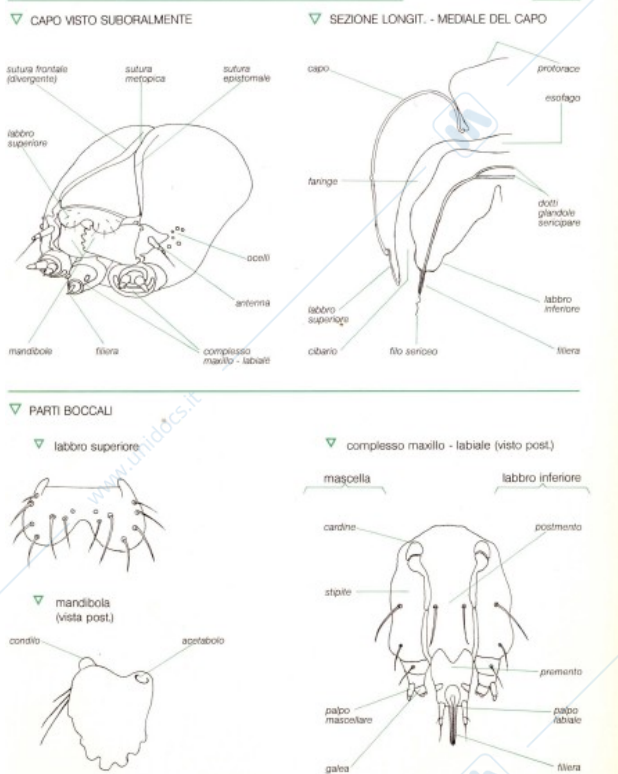


Le larve dei lepidotteri presentano un'altra modificazione del masticatore tipico. Le strutture che si riscontrano sono:

- Labbro superiore bilobato
- Mandibole tozze ma durissime
- Mascelle e labbro inferiori fusi insieme a formare il complesso maxillo labiale

Questo complesso presenta gli elementi tipici di mascelle e labbro inferiore regrediti mentre presenta la filiera, struttura con la funzione di emettere sostanze serico simili (il nome seta può essere utilizzato solamente per il *Bombix mori*) che verranno utilizzate per formare il bozzolo in cui

APPARATO BOCCALE MASTICATORE ECTOGNATO DI INSETTO FITOFAGO (LARVA DI LEPIDOTTERO)



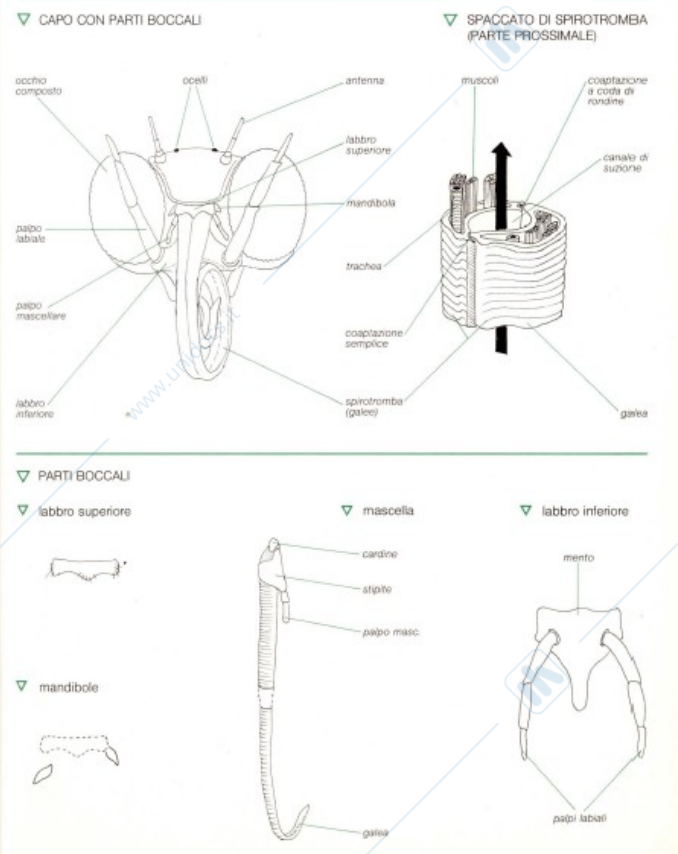
avverrà la metamorfosi.

Dopo la metamorfosi i lepidotteri presentano un apparato boccale estremamente diverso, del tipo succhiante non perforante. Questo apparato presenta le seguenti strutture:

- Labbro superiore: ridottissimo
- Mandibole: generalmente sono atrofizzate o assenti, ma in alcuni casi possono essere presenti e significare che l'insetto è molto antico nella scala evolutiva
- Mascelle: la lacinia è scomparsa mentre le galee sono molto sviluppate e docciate fra loro. Le due galee sono cooptate, cioè incastrate fra di se a formare un canale, la spiritromba. Sono presenti i palpi mascellari.
- Labbro inferiore: è presente e porta un palpo ben sviluppato.

La spiritromba è l'organo atto alla suzione dei nutrienti, essa si svolge grazie all'aumento di pressione emolinfatica causato dalla contrazione di appositi

APPARATO BOCCALE SUCCHIANTE - NON PERFORANTE DI ADULTO DI LEPIDOTTERO (l parte)



muscoli internamente all'emocele, l'arrotolamento invece avviene grazie all'opera di appositi muscoli. La suzione della linfa o di altri liquidi avviene grazie a pompe stomodeali o cibariali o faringee.

I ditteri muscidi presentano l'apparato boccale lambente succhiante che presenta le seguenti strutture:

- Labbro superiore: allungato, diversamente sclerificato e docciato
- Ipofaringe: esterna, allungata e canalicolata. Il canalicolo serve per l'emissione della saliva
- Labbro inferiore: è trasformato in una proboscide scanalata dorsalmente e in questa scanalatura si trovano l'ipofaringe e il labbro superiore. Distalmente il labbro inferiore si differenzia in due labelli attraversati da canalicoli trasversali che convergono in solchi collettori. Questi canalicoli sono pseudotrachee formate da semi anelli sclerificati. Tamponando il substrato con i labelli ed emettendo saliva la mosca fa confluire verso i collettori centrali i nutrienti, che poi vengono aspirati attraverso il canale che si forma fra ipofaringe e i due labelli.

APPARATO BOCCALE LAMBENTE - SUCCHIANTE DI ADULTO DI MUSCA (DITTEO) (I parte)

CAPO VISTO FRONTALMENTE CON PARTI BOCCALI SEPARATE AD ARTE

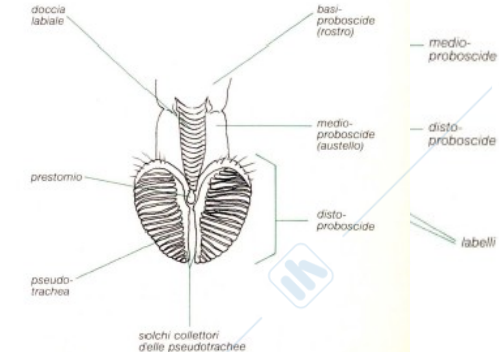


PARTI BOCCALI

labbro superiore

ipofaringe

labbro inferiore (visto frontalmente e subventralmente)



mandibole scompare

mascelle ridotte ai palpi

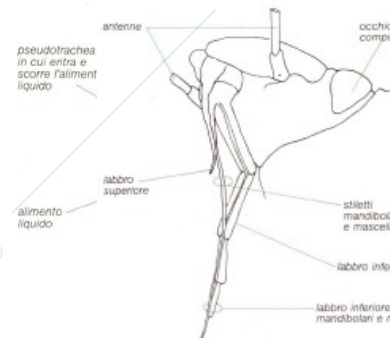
PROBOSCIDE VISTA SUBVENTRALMENTE E DETTAGLIO DI PSEUDOTRACHEA



labbro superiore

ipofaringe

CAPO CON PARTI BOCCALI



imboccatura del canale di suzione

pseudotrachea in cui entra e scorre l'aliment liquido

alimento liquido

labbro superiore

labbro inferiore

labbro inferiore con stili mandibolari e mascellari

mandibola

stili mandibolari e mascellari

labbro inferiore

labbro inferiore con stili mandibolari e mascellari

mandibola

stili mandibolari e mascellari

labbro inferiore

labbro inferiore con stili mandibolari e mascellari

mandibola

stili mandibolari e mascellari

labbro inferiore

labbro inferiore con stili mandibolari e mascellari

mandibola

PROBOSCIDE DI PROFILO



cranio

basi-proboscide

medio-proboscide

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

labelli

disto-proboscide

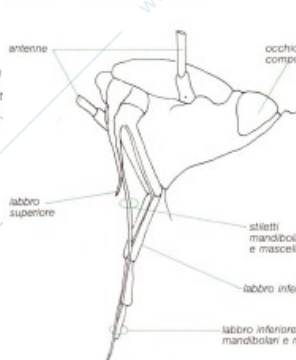
labelli

disto-proboscide

labelli

APPARATO BOCCALE PUNGENTE - SUCCHIANTE DEI RINCOTI (I parte)

CAPO CON PARTI BOCCALI



antenne

occhi composti

labbro superiore

labbro inferiore

labbro inferiore con stili mandibolari e mascellari

mandibola

stili mandibolari e mascellari

labbro inferiore

labbro inferiore con stili mandibolari e mascellari

mandibola

stili mandibolari e mascellari

labbro inferiore

labbro inferiore con stili mandibolari e mascellari

mandibola

stili mandibolari e mascellari

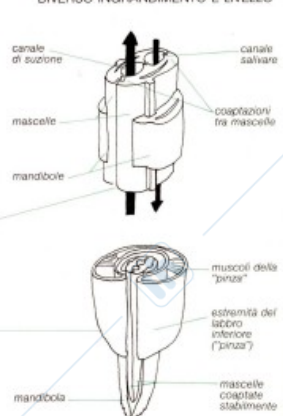
labbro inferiore

labbro inferiore con stili mandibolari e mascellari

mandibola

stili mandibolari e mascellari

SPACCATO DELLE PARTI BOCCALI A DIVERSO INGRANDIMENTO E LIVELLO



canale di suzione

canale salivare

mascelle

mandibole

mascelle

mandibole

mascelle

mandibole

mascelle

mandibole

mascelle

mandibole

mascelle

mandibole

mascelle

mandibole

mascelle

mandibole

mascelle

PARTI BOCCALI

labbro superiore

mandibola

mascella

labbro inferiore



- **Mandibole:** sono allungate a formare degli stilette con la parte terminale seghettata
- **Mascelle:** sono allungate a formare degli stilette con la parte terminale acuminata; dalla loro unione si ottengono due canalicoli, quello inferiore viene utilizzato per l'emissione di saliva mentre quello superiore per l'assunzione dei liquidi
- **Labbro inferiore:** è un astuccio, detto anche rostro, che contiene gli stilette.

La modalità con cui questi insetti si nutrono consiste nel ledere la superficie della pianta muovendo le mandibole, una volta dentro inseriscono le mascelle ed emettono saliva urticante; questa saliva fa sì che la pianta rilasci liquidi che vengono poi assorbiti dall'insetto. Oltre a questi effetti la saliva può determinare altri effetti quali lesioni o moltiplicazioni anomale, visto il contenuto di molecole auxino simili (vedi le galle della fillossera). Con la saliva, pompata all'interno della pianta muscolarmente con modalità simile a quella di una pompa a pistoni, si possono trasmettere virus e micoplasmi.

Le larve di dittero presentano l'apparato boccale dilaniante, formato da due uncini che dilanano il cibo e lo convogliano alla bocca posta posteriormente ad essi.

Il torace è la sede degli organi locomotori e si divide in tre zone, che partendo dal capo sono: protorace, mesotorace e metatorace. In ogni segmento si riscontrano tre zone:

- **Noto:** detta anche scuto o tergo, è la parte dorsale
- **Sterno:** è la parte ventrale
- **Pleure:** sono le parti laterali e qui si inseriscono un paio di zampe per segmento; inoltre si aprono gli stigmi delle trachee respiratorie.

Le ali si inseriscono nel mesotorace e nel metatorace. Lo sviluppo del torace varia molto con il variare dell'utilizzo e la morfologia delle zampe e delle ali. Le zampe sono formate da:

- **Coxa**
- **Trocantere**
- **Femore**
- **Tibia:** può presentare uno sperone
- **Tarso:** è formato da uno o più tarsomeri l'ultimo dei quali assume il nome di pretarso. Sul pretarso si possono trovare: unghie ed empodio per aderire a superfici scabrose e pulvilli ed arolio per aderire a superfici lisce.

La zampa tipica è quella deambulatoria ma ne esistono molte modificazioni:

APPARATO BOCCALE  
DILANIANTE (CEFALO - FARINGEO)  
DELLE LARVE DI  
DITTERI BRACHICERI (partim)

▽ CAPO VISTO SUBVENTRALMENTE



- **Raptatorie:** interessa esclusivamente le zampe anteriori. La conformazione più comune mostra articoli particolarmente allungati, comprese le coxe, e muscolatura e articolazioni atte a far scattare rapidamente in avanti l'arto. Il femore e la tibia sono fra loro opponibili e portano sui lati ventrali processi spinosi, conferendo nel complesso una capacità prensile
- **Fossorie:** interessa la zampa anteriore. Si presenta con articoli robusti, tozzi e appiattiti, recanti in varia posizione processi spinosi atti a migliorare la funzione di scavo. Le più profonde modificazioni riguardano la tibia, fortemente appiattita e slargata, e il tarso ridotto.
- **Saltatorie:** si evidenzia in genere con il marcato ingrossamento di alcuni articoli, per via dello sviluppo delle masse muscolari, che interessa per lo più il femore o la coxa o entrambi. La funzione è localizzata nelle zampe posteriori. L'arto è conformato in modo che l'articolazione femoro-tibiale, o quella coxo-trocanterica o entrambe, possano flettersi notevolmente ed essere distese rapidamente. Affinché questo sia possibile è necessaria una notevole forza muscolare, fornita dalle masse localizzate nelle coxe o nei femori.
- **Natatorie:** si differenzia per lo più nelle zampe posteriori. Si presenta con articoli più o meno allungati, di forma appiattita e, soprattutto, con i margini percorsi da serie di setole fitte e allungate. Questa conformazione fa sì che le zampe possano essere usate come remi, determinando la necessaria spinta nel mezzo liquido
- ecc.

Le ali sono estroflessioni tegumentali innervate, ricche di emolinfa e con una fitta rete tracheale. Allo sfarfallamento le ali sono molto spesse poiché le due pagine sono molto distanziate fra di loro, poi col tempo le due strutture tendono ad appiattirsi. Nelle ali sono presenti delle nervature con la funzione di irrobustire la struttura ma un alto numero di nervature è sintomo di primitività della specie. Il battito delle due coppie di ali avviene in sincronia grazie a varie strutture che ne garantiscono la coaptazione: setole, uncini, frenuli, ecc. Le libellule si discostano da questo standard perché volano con battito alterno. Il movimento delle ali può essere diretto (volo diretto) cioè le ali vengono mosse direttamente dai muscoli, oppure indiretto (volo indiretto) cioè con le ali fissate sul segmento toracico che viene schiacciato dal movimento di appositi muscoli. Sulle ali possono essere presenti:

- **Pterostigmi:** macchie colorate dovute ad elementi di rinforzo dell'ala che aiutano il movimento delle ali e ne riducono le vibrazioni
- **Squame:** presenti nei lepidotteri conferiscono loro i colori sgargianti che li contraddistinguono

Le modificazioni a cui le ali possono andare incontro sono:

- Modificazioni del primo paio di ali:

- o Elitre: le ali si sclerificano totalmente e perdono la funzione di volo mentre assumono quella di protezione dell'addome
- o Semielitre: è una sclerificazione prossimale dell'ala e non completa; l'ala mantiene la possibilità di volare e diventa un po' più protettiva, si riscontra nelle cimici, rincoti eterotteri
- o Tegmine: sono ali indurite che non battano durante il volo ma si limitano a vibrare; il secondo paio di ali è più sviluppato; si trovano nelle cavallette
- Modificazioni del secondo paio di ali:
  - o Bilancieri: sono modificazioni che trasformano le ali in organi di stabilizzazione del volo, si trovano nei ditteri
- Modificazioni a carico delle due paia di ali:
  - o Nei tisanotteri si possono trovare modificazioni delle ali in lunghe ciglia marginali

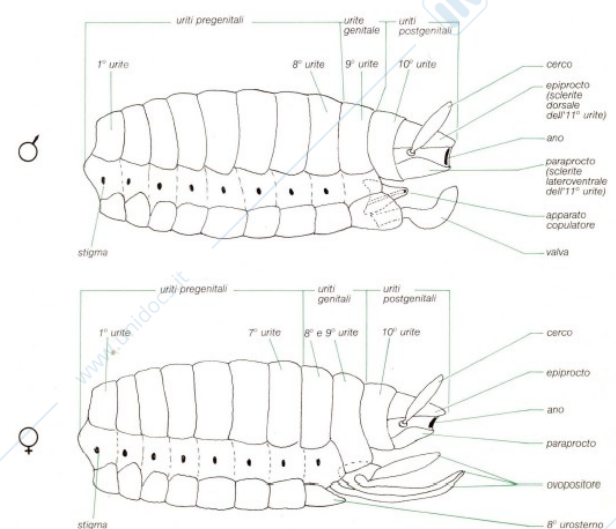
L'addome è la terza regione morfologica degli insetti ed è la sede degli apparati riproduttore e digerente. Come il torace è formato da segmenti, gli uriti addominali, presenti in numero variabile ma con una media di 10. Gli uriti sono anch'essi formati da 3 parti:

- Urotergo: è la parte dorsale
- Urosterno: è la parte ventrale
- Membrane laterali: sono le parti laterali

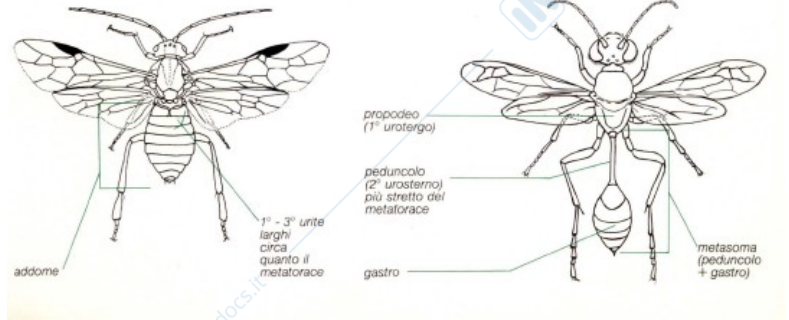
Le tre parti variano nello sviluppo a seconda del genere e ordine di insetti. I vari uriti sono saldati fra di loro mediante membrane intersegmentali e vengono idealmente divisi in base alla loro posizione in:

- Pregenitali:
- Genitali: sono gli uriti che portano gli organi copulatori, l'edeago o fallo per il maschio e l'ovodepositore per le femmine; nel maschio è il 9° urite mentre per la femmina sono l'8° e il 9°. Entrambe le strutture sono modificazioni degli urosterniti
- Postgenitali

▽ REGIONI MORFOLOGICHE, APPENDICI E PROCESSI NEL MASCHIO (SOPRA) E NELLA FEMMINA (SOTTO)



In molti insetti lo sbocco dell'apparato riproduttore e di quello digerente è in comune, quest'apertura assume il nome di cloaca; se invece i due apparati sfociano in uscite diverse l'uscita del digerente assume il nome di ano. Con l'evoluzione il numero degli uriti e gli stigmi che portano sono sensibilmente diminuiti per ridurre il problema della perdita di acqua dal corpo. Sull'addome possono essere presenti anche organi di senso come l'organo timpanico delle cavallette. L'addome può essere:



- Sessile: l'addome è largo come il torace e ne sembra una continuazione
- Pedunculato: l'addome subisce una strozzatura e si possono identificare 3 zone:
  - o Propodeo: è il primo urite, si trova addossato all'addome e presenta dimensioni "normali"
  - o Peziolo: è un urite (o parti di due uriti) con sezione molto stretta
  - o Gastro: è la restante parte dell'addome

Le modificazioni che l'addome può subire sono:

- Vera fisiogastria: è un aumento del volume dell'addome causato dalla distensione delle membrane intersegmentali, contemporaneamente si ha l'aumento del volume delle gonadi. Questa modificazione si ha nelle api e termiti regine
- Falsa o pseudo fisiogastria: è una dilatazione temporanea dell'apparato digerente, ne è un esempio la formica otre australiana o la comune zanzara

L'apparato riproduttore esterno maschile presenta anatomie, spermatozoi e modalità di accoppiamento molto variabili; quello femminile, detto anche valvifero, è formato dall'unione dell'urosterno dell'ottavo urite che si modifica in un paio di valve e dalla modificazione dell'urosternite del nono urite che si trasforma in 2 paia di valve. L'accollamento di queste tre paia di valve permette la formazione dell'ovodepositore morfologico o primario.

L'ovodepositore primario è sclerificato perché serve per deporre le uova all'interno del substrato prescelto, spesso volte lasciando lesioni sintomatiche della specie. Nei casi in cui manchi l'ovodepositore morfologico si ha la formazione dell'ovodepositore secondario, formato dall'allungamento e dalla modificazione di uriti (settimo, ottavo e nono) o l'ultimo (mosca delle olive). Quasi sempre l'ovodepositore secondario (o di sostituzione) non è adatto a scavare per ovideporre, ne è un'eccezione l'ovodepositore della mosca delle olive. Nell'addome si possono trovare anche altre formazioni:

- Negli stadi preimmaginali:
  - o Pseudozampe: sono strutture metameriche addominali, non articolate che aiutano la deambulazione, a seconda della loro posizione sono un importante carattere tassonomico:
    - Lepidotteri: nella maggior parte degli insetti di questa specie si trovano dal 3° al 6° urite e sul 10°.
    - Imenotteri sinfiti: si trovano dal 2° al 7°, a volte nell'8°, e sempre nel 10°
    - Lepidotteri geometridi: si trovano solo sul 6° e 10° urite
- Negli stadi immaginali:
  - o Stili: sono monconi di zampe antiche non del tutto involuti, si trovano negli insetti molto antichi nella scala evuzionistica come i proturi. Quest'ordine è attero per atterismo primario (sono difatti atteri goti) e questi stili sono il passaggio evolutivo fra gli esapodi attuali e i miriapodo simili dai quali si sono evoluti gli insetti
  - o Cerci: sono le "forbicine" degli efemerotteri e dei dermatteri, hanno la funzione di difesa/offesa nelle lotte fra maschi
  - o Pigopodio: è una ventosa con la funzione di aderenza al substrato, si ritrova nella dorifora della patata
  - o Urogonfi

Il tegumento ha la funzione di isolare l'interno del corpo dagli agenti biotici e abiotici che avvengono all'esterno, quindi ha funzione di protezione meccanica, protezione della disidratazione e di impedire l'ingresso a patogeni e/o sostanze tossiche. È composto da una parte viva e da una parte morta detta cuticola. La parte viva è formata da un'epidermide mono stratificata che secerne la cuticola verso l'esterno e la membrana basale verso l'interno, struttura atta all'unione delle cellule epidermiche. Intramezzata alla cuticola si trovano le ghiandole a fiasco che hanno la funzione di secernere lo strato più esterno della cuticola, il cemento. Sempre nella cuticola si trovano i por canali, canali che serviranno durante la muta. Un'altra funzione del tegumento è quella di formare l'endoscheletro, cioè tutte quelle sporgenze interne (apofisi) che servono per far aggrappare i muscoli. È bene ricordare che le appendici possono essere di due tipi:

- Articolazioni: permettono il movimento
- Processi: sono rigidi e non permettono il movimento, vengono utilizzati o per funzioni puramente estetiche oppure per fare da appiglio a muscoli all'interno dell'emocele.

La cuticola è divisa in:

- Epicuticola: presenta uno spessore variabile fra i 4 e gli 0.03 micron; è formata da materiali vari quali cemento (interfaccia esterna di natura lipoproteica stabilizzata), cere, cuticolina ed epicuticolina (entrambe di natura proteica) e può presentarsi anche lacca.

- Procuticola: è a sua volta divisa in:
  - o Esocuticola: è formata da sclerotina e chitina, entrambe proteine tannizzate; serve per conferire rigidità alla struttura
  - o Endocuticola: è formata da micro fibrille di chitina in una matrice proteica non tannizzata e a volte resilina; serve per conferire elasticità e flessibilità alla struttura

La differenza fra esocuticola ed endocuticola fa sì che nelle strutture dove è necessaria l'articolazione l'esocuticola manca o è molto ridotta, mentre nelle zone dove non c'è bisogno di mobilità (tipo le elitre) è molto abbondante.

La cuticola non è in grado di crescere quindi quando l'insetto si accresce deve eliminarla e rifarla ex novo. La distruzione della cuticola avviene grazie al liquido esuviale emesso dalle cellule epiteliali. Le colorazioni della cuticola sono date dalle varie proteine e dalle modificazioni che esse subiscono. Le colorazioni possono essere dovute a:

- Colori fisici o strutturali: sono effetti ottici della cuticola, sia dei vari strati che delle varie parti
- Colori chimici: sono pigmenti di natura chimica
- Colori fisico-chimici:

Le colorazioni hanno varie funzioni:

- Funzione premonitrice: sono colorazioni che servono per avvisare il predatore sulla non edulità della preda o sulla capacità di difesa della stessa. Sono colorazioni gialle e nere
- Funzione fobica: sono atteggiamenti terrifici che servono per impaurire il predatore
- Mimetismo: può essere criptico (mimetismo tipico) oppure fobico, cioè farsi scambiare per altri insetti o animali pericolosi.

Le colorazioni hanno effetto solamente sui predatori vertebrati perché gli insetti si affidano molto di più ai semiochimici.

L'apparato digerente degli insetti è un canale alimentare completo, cioè che inizia con una bocca e finisce con un ano; questa caratteristica ha permesso l'evoluzione di parti più complesse. È composto da organi atti alla presa e all'ingestione dell'alimento e dal canale alimentare vero e proprio, entrambe queste parti sono modificate in relazione al tipo di trofismo che l'insetto possiede. Il canale alimentare è diviso in tre grosse zone:

- Stomodeo: detto anche intestino anteriore inizia con la bocca e termina con la valvola cardiaca
- Mesenteron: è la parte mediana e più importante dell'intero apparato digerente perché qui avviene la digestione e l'assorbimento; parte dalla valvola cardiaca e arriva alla valvola pilorica

- Proctodeo: è la parte terminale dell'apparato digerente e va dalla valvola pilorica all'ano

Le parti terminali dell'apparato digerente (stomodeo e proctodeo) sono invaginazioni tegumentali, che hanno quindi origine ectodermica. Lo stomodeo presenta la seguente stratigrafia (dall'interno verso l'esterno): intima cuticolare, epidermide, tunica propria, muscoli longitudinali (interni), muscoli circolari (esterni) e tunica peritoneale. I due tipi di muscolatura servono per la peristalsi degli alimenti ingeriti. In questa zona dell'apparato digerente scaricano il proprio secreto le ghiandole salivari e le amilasi contenute nella saliva iniziano a digerire gli amidi. A seconda del tipo di trofismo possono essere presenti ingluvie, struttura con la funzione di stoccaggio degli alimenti e ventriglio (o proventriglio), struttura atta a tritare gli alimenti grazie alle formazioni odontoidi generate dall'intima cuticolare. Il mesenteron non presenta la cuticola, non essendo di origine ectodermica e presenta una stratigrafia muscolare inversa rispetto allo stomodeo (muscoli circolari interni e longitudinali esterni). L'epitelio interno si presenta con cellule colonnate dotate di abbondanti microvilli per aumentare la superficie di contatto. Queste cellule hanno una durata di vita di 2-3 giorni e posseggono un apparato del golgi enormemente sviluppato perché sono cellule fortemente secernenti. Nei primi tratti di questa struttura si riscontrano i ciechi gastrici dove sono localizzate le cellule che producono la membrana peritrofica che serve per isolare il cibo dal canale digerente. Questa membrana è formata da mucopolisaccaridi a matrice chitinosa ed è riccamente cribrata per permettere l'ingresso degli enzimi e la fuoriuscita dei nutrienti che verranno poi assorbiti. L'assorbimento dei nutrienti è di tipo attivo. Oltre a queste funzioni la membrana peritrofica consente anche di proteggere meccanicamente le cellule dell'epitelio, blocca le sostanze tossiche (tannini, tossine vegetali e sembra anche qualche insetticida) e impedisce la diffusione dei patogeni. Sia nello stomodeo che nel mesenteron possono esserci simbiosi con vari tipi di microrganismi, ad esempio la *Bactrocera oleae* digerisce gli alimenti grazie ad una simbiosi con specifici batteri trasmessi con modalità trans ovarica dalla madre; se la madre viene a contatto con del rame (trattamenti antifungini) viene "disinfettata" e non passa alla prole questi batteri. La prole risulterà quindi in difficoltà nel nutrirsi e non sarà più dannosa. Il proctodeo presenta un'istologia simile a quella dello stomodeo ma con epitelio più alto, intima porosa e un doppio strato di muscoli circolari. Un'altra caratteristica che lo differenzia dalle altre porzioni di apparato digerente sono i tubuli malpighiani, piccolissimi tubuli a fondo cieco fluttuanti nell'emolinfa. Il numero varia moltissimo, si conoscono specie oligonefriche con 2 soli tubuli e specie polinefriche con anche 100 tubuli malpighiani. La funzione dei tubuli malpighiani è l'escrezione dei cataboliti azotati tramite la formazione dell'urina. La formazione dell'urina avviene grazie ad un meccanismo di differenziale di potenziale osmotico e di differenza di pH:

- Nella parte distale del tubulo le cellule pompano attivamente ioni potassio e sodio all'interno del tubulo, aumentandone il potenziale osmotico
- In risposta l'acqua diffonde all'interno a riequilibrare il differenziale di osmoticità e si trascina dietro gli ioni ammonio
- Una differenza di pH causa la precipitazione dell'urina primaria, gli urati

Il mantenimento dell'omeostasi si ha grazie all'azione delle papille rettali, cellule colonnate che trasportano attivamente acqua e sali disidratando le feci. I tubuli malpighiani possono avere anche altre funzioni quali la trasformazione in organi secernenti per la formazione del bozzolo (durante la fase di larva/pupa in alcuni imenotteri e coleotteri) oppure di sostanze ceroso proteiche (per la toelettatura delle cicaline). Negli insetti pungenti succhianti l'adattamento al tipo di trofismo ha fatto sì che lo stomodeo si sia addossato al proctodeo; in questa situazione (elevatissimo tenore in zuccheri e bassissimo in proteine) ha fatto sì che i tubuli malpighiani abbiano assunto la funzione di camere filtranti in cui acqua e zuccheri sono allontanati ed inviati al proctodeo mentre le proteine siano digerite attraverso il mesenteron. La soluzione zuccherina scartata dai malpighiani va a formare la melata sulla quale si formeranno le fumaggini, infestazioni di funghi saprofiti che possono causare anche filloptosi. In altre cocciniglie, i diaspididi, l'intestino è interrotto e presenta il mesenteron ampollaceo mentre i tubuli malpighiani (enormemente sviluppati) fungono da deposito delle scorie in quanto questi insetti non emettono feci. In generale si può dire che l'apparato digerente risulta essere più lungo negli insetti con regime alimentare fitofago rispetto a quelli carnivori. Il sistema circolatorio degli insetti è di tipo aperto, cioè si ha lo scorrimento dell'emolifa sia nei vasi adibiti a questa funzione che all'interno dell'emocele dove si mescola con altri fluidi organici (per questo non può essere chiamato sangue). Il cuore, detto anche vaso pulsante, è la prima parte dell'apparato circolatorio ed è posto nella parte posteriore dell'insetto. Dopo il cuore si ha l'aorta che percorre tutta la lunghezza dell'insetto fino a sboccare molte volte nel capo. Oltre al cuore esistono organi pulsatici accessori che pompano il sangue nelle appendici; sono piriformi con movimento autonomo oppure sono lamine mosse da muscoli appositi. L'emocele è diviso da 2 diaframmi fibroso-muscolari (diaframma dorsale e ventrale) in tre parti dette seno pericardico (dorsale), periviscerale (centrale) e perineurale (ventrale). Il cuore si presenta come un vaso con un fondo cieco diviso in sub unità (ventricoliti) ognuna delle quali presenta due ustioli (forellini) aventi funzioni simili alle valvole cardiache degli animali superiori. Durante la diastole l'ustiole si apre e permette l'ingresso del sangue mentre in sistole si chiude e pompa il sangue nell'aorta; la diastole è un rilassamento del cuore dovuto alla contrazione dei muscoli alari mentre la sistole è una compressione del cuore grazie ai propri muscoli. Durante il volo i muscoli alari e le ali si muovono in contemporanea. L'emolifa, al pari del sangue, presenta una parte plasmatica ed una figurata:

- Plasma: è composto per l'85-90% da acqua, ma contiene anche zuccheri, amminoacidi, ormoni e pigmenti
- Parte figurata: sono gli emociti, assimilabili ai globuli bianchi si dividono in pro leucociti, fagociti ed enocitoidi.

Considerando l'emolinfa nel suo complesso (plasma più emociti) le funzioni che svolge sono: trasporto di nutrienti, cataboliti, enzimi ed ormoni, mantenimento del potenziale osmotico e di pH, fagocitosi dei corpi estranei, azione meccanica di dilatazione (nel post muta e nelle appendici), coagulazione, detossificazione, limitato trasporto di gas, difesa ermafrorea ed autoemorrea. Il sistema respiratorio è del tutto svincolato da quello circolatorio ed è organizzato autonomamente con:

- Stigmi o spiracoli: sono le aperture sulla cuticola dalle quali entra l'aria negli organi sottostanti
- Trachee: sono i "condotti primari" che portano l'aria dall'esterno (entrando attraverso gli spiracoli) fino alle tracheole
- Tracheole: sono delle trachee a lume ridotto che servono tutte le parti del corpo.

Il numero di trachee e tracheole può essere aumentato dall'insetto in risposta a determinati stress, inoltre queste strutture non sono fisse ma possono essere spostate in relazione a qual organo necessita di più ossigenazione. Oltre a queste strutture si possono riscontrare sacchi aerei (con la funzione di diminuire la densità dell'insetto) o sifoni per permettere la respirazione agli insetti acquaioli (ad esempio le larve di zanzara). Il numero di spiracoli è andato via via diminuendo con l'evoluzione per permettere un minore spreco di acqua, difatti gli insetti più antichi nella scala evolutiva vivono e si riproducono in ambienti umidi (gli scarafaggi presentano spiracoli in ogni segmento metamerico) mentre gli insetti evoluti hanno perso questo legame con gli ambienti umidi perché perdono meno acqua (la mosca possiede due soli spiracoli). La struttura degli spiracoli varia molto, se ne hanno di semplici e non chiudibili negli apterigoti e di molto più complessi e con vari meccanismi di chiusura negli altri ordini. Il bordo di queste strutture è rinforzato dal peritrema, una zona molto sclerificata. Al di sotto dello spiracolo si trova la camera stigmatica, spesso piena di squame, setole o tessuto spugnoso con la funzione di impedire l'ingresso alle impurità; in fondo a questa camera si trova, eventualmente, la valvola di chiusura dello stigma. L'apparato respiratorio continua con le trachee, strutture ectodermiche, quindi rinnovate ad ogni muta, con la stessa modalità e struttura della cuticola. Nelle trachee più grosse sono presenti delle tenidi di origine epicuticolare che servono per prevenire lo schiacciamento e quindi l'occlusione del lume in profondità o in altitudine. In base al numero di spiracoli gli insetti vengono classificati in:

- Iperpneustici: possiedono 11 paia di spiracoli

- Olopneustici: possiedono 10 paia di spiracoli, 2 paia toracici e 8 addominali, sono comuni
- Peripneustici: possiedono 8-9 paia di spiracoli, 1 paio toracici e 7-8 addominali, sono comuni
- Polipneustici: possiedono 9-5 paia di spiracoli
- Oligopneustici: possiedono 4-1 paio di spiracoli, vengono a sua volta divisi in:
  - o Anfipneustici: possiedono 1 paio di spiracoli anteriori ed 1 posteriore
  - o Propneustici: possiedono 1 paio di spiracoli anteriori
  - o Metapneustici: possiedono 1 paio di spiracoli posteriori
- Emipneustici: possiedono 1-2 paia di spiracoli
- Apneustici non presentano spiracoli; si riscontrano esempi solo nei parassiti idi che assumono l'ossigeno a loro necessario per diffusione dall'emolinfa della preda attraverso la cuticola

Le tracheole sono dei piccolissimi vasi, con lume di 0.2-0.3 micron a fondo cieco e prive di tegumento; sono originate dalle cellule stellate e si interfacciano con gli organi interni. La circolazione dell'ossigeno nelle tracheole è assicurata da un movimento di liquidi in queste: il fondo delle tracheole è cribrato e permette l'uscita del liquido (aiutato anche da una pompa protonica), uscendo il liquido crea una depressione che aspira aria dalle trachee. Vicino a queste tracheole sono presenti altre trachee con la funzione di allontanare la CO<sub>2</sub> di scarto; con questa modalità ne viene allontanata solamente il 30%, il resto viene eliminata come carbonati nell'emolinfa. In insetti buoni volatori o nuotatori possono essere presenti i sacchi aerei, dilatazioni tracheali anche di notevole volume che servono per diminuire il peso specifico o funzionare da vescica natatoria; sono strutture prive di tenidi e possono funzionare anche da cassa di risonanza. L'apparato riproduttore degli insetti è formato dalle seguenti parti:

|                      | Femmina   | Maschio  | Funzione             |
|----------------------|---|--|----------------------|
| Gonadi               | Ovari   | Testicoli  | Formano i gameti     |
| Gonadotti pari       | Ovidutti laterali   | Vasi deferenti   |                      |
| Gonadotti impari     | Ovidutto comune   | Canale eiaculatore   | Sboccano all'esterno |
| Ghiandole accessorie | Ghiandole colleteriche (servono per "appiccicare" le uova al substrato) | Ghiandole ectodenie e mesodenie (servono per diluire lo sperma e confezionare le spermatofore) |                      |
| Organi annessi       | Spermateca  | Vescicole seminali   |                      |
| Gonapofisi           | Ovodepositore   | Organo copulatore  |                      |

L'apparato riproduttore è localizzato nell'ottavo e nono urite per le femmine e nel nono per i maschi. Nelle femmine il sistema parte con i vari ovariole che vanno a formare l'ovario, prosegue con i vari ovidotti e sbocca nel poro genitale dove è presente l'ovodepositore, se è insieme all'ano si parla di cloaca. I testicoli sono formati da vari elementi detti testicoliti dove si ha la spermatogenesi, processo che porta da cellule indifferenziate del germario fino a spermatozoi completi. Gli ovari sono formati da vari elementi tubulari detti ovariole, essi sono agganciati tramite appositi legamenti al corpo dell'insetto. Al di sotto dei legamenti si trovano il germario e il vitellario (struttura che forma il vitello o albume dell'uovo). Il vitellario è molto importante nei casi di criptometabolia dove l'insetto compie tutto il suo ciclo nell'uovo da cui esce direttamente come immagine, questo processo, tipico di insetti cavernicoli molto antichi, richiede una grande quantità di energia, contenuta appunto nell'albume dell'uovo. Gli ovariole possono essere:

- Panoistici: sono del tipo più antico, i singoli ovariole sono nutriti dall'emolinfa
- Meroistici: è più evoluto, sono presenti delle apposite cellule (cellule nutritive o trofociti) che nutrono le uova
- Meroistici acrotrofici: sono meroistici ma le cellule nutritive sono presenti solamente nella parte alta ed accompagnano l'uovo con ponti citoplasmatici
- Politrofici: sono presenti delle cellule sopra le uova che provvedono al loro nutrimento

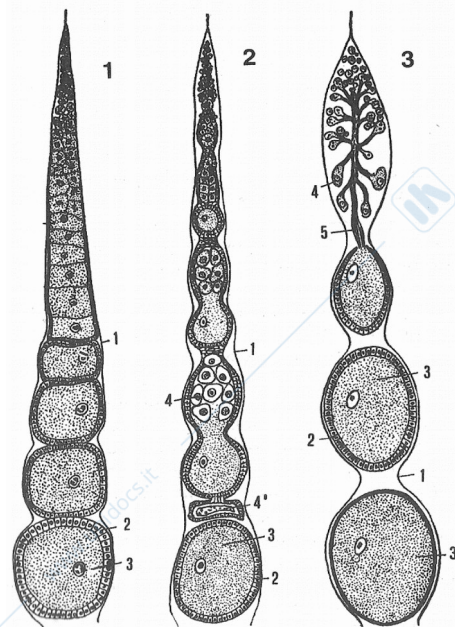


Fig. 34. Tipi di ovariole. 1, panoistica. 2, meroistica politrofica. 3, meroistica acrotrofica (da Chou, sec. Imms). 1, parete dell'ovariole. 2, cellule follicolari. 3, uovo con tuorlo e nucleo. 4, cellule nutritive. 4', cellula nutritiva esaurita. 5, cordone di nutrizione.

Nell'ultimo tratto degli ovariole sono presenti le cellule follicolari che emettono l'involucro esterno dell'uovo, carattere utilizzabile anche in tassonomia. Una volta completo l'uovo viene emesso nella spermateca dove verrà fecondato dagli spermatozoi che entreranno nell'ovulo attraverso il micropilo. La presenza degli spermatozoi non è sempre necessaria:

- Partenogenesi: gli insetti dotati di partenogenesi non necessitano degli spermatozoi per far sviluppare l'uovo e l'embrione
- Imenotteri: in quest'ordine si ha la determinazione del sesso a seconda della fecondazione, da un ovulo fecondato nascerà una femmina mentre da un ovulo non fecondato un maschio.

Una volta ottenuto e fecondato l'uovo la femmina incollerà (se etologicamente è il suo comportamento) le uova, o costruirà ooteche, attraverso i secreti delle ghiandole colleteriche. Il sistema nervoso degli insetti è basato sulle unità funzionali minime, i neuroni, cellule particolari perché dotate di assone e dendriti (prolungamenti citoplasmatici). I dendriti si originano dal pirenoforo, o corpo del neurone, dal quale parte anche l'assone, lungo prolungamento citoplasmatico terminante con una massa di branched telodendritici che formano il collegamento fra sistema nervoso e muscolare. L'assone è rivestito dalla guaina mielinica prodotta dalle cellule di Schwann. La guaina mielinica serve per velocizzare il passaggio dello stimolo elettrico operato da una depolarizzazione delle membrane. I dendriti sono i responsabili degli stimoli afferenti mentre l'assone porta stimoli efferenti. Le cellule nervose sono cellule "strane", difatti non si riproducono e non si nutrono in autonomia in quanto non ha gli organi necessari, ma vengono nutrite dalle cellule della nevraglia che immettono direttamente nella cellula i nutrienti. Negli insetti più evoluti i neuroni si sono riuniti a formare masse nervose più importanti, i gangli, che possono ulteriormente fondersi fino a formare un'unica sola massa negli insetti più evoluti. Il sistema nervoso centrale è composto da: cervello, gnatocerebro e sistema ganglionare centrale. I gangli che compongono il sistema nervoso centrale sono collegati fra loro da 2 cingoli, cioè dei grossi nervi che fanno da ponte fra i gangli del sistema nervoso centrale e fra quelli del sistema nervoso periferico. Il cervello è diviso in 3 zone:

- Protocerebro: è posto dorsalmente e possiede due chiasmi che si collegano direttamente agli occhi composti e agli ocelli. Racchiuso fra i lobi di questa struttura si trovano le cellule neurosecretrici che costituiscono la pars intercerebralis, che producono l'ormone cerebrale che arriverà tramite due nervi ai corpi cardiaci e ai corpi allati.
- Deutocerebro: è posto in posizione mediana e innerva le antenne
- Tritocerebro: è posto in posizione ventrale e innerva molte strutture fra le quali:
  - o Clipeo e labbro superiore
  - o Primo tratto del sistema nervoso simpatico, grazie a due nervi
  - o Gnatocerebro, mediante il cingolo sottoesofageo

I corpi allati e quelli cardiaci sono fondamentali per la muta, processo nel quale intervengono anche le ghiandole toraciche. Lo gnatocerebro ha tre coppie di nervi e va ad innervare le appendici boccali (tranne il labbro superiore), le ghiandole salivari e i muscoli del collo. La differenziazione fra parti boccali e labbro superiore sta a significare che quest'ultimo non fa parte della bocca ma è una regione della testa. I nervi dello gnatocerebro, oltre che ad innervare i vari muscoli precedentemente descritti ricevono anche stimoli gustativi. La catena gangliare centrale ha fra le proprie funzioni: l'elaborazione degli stimoli del sistema nervoso periferico, il trasporto di questi stimoli al sistema nervoso centrale e la risposta agli stimoli ricevuti ed elaborati. Il sistema nervoso

viscerale o simpatico è costituito da un insieme di gangli addossati al tubo digerente e si divide in:

- Simpatico dorsale: detto anche stomatogastrico regola e dirige le peristalsi esofagee
- Simpatico ventrale: innerva le trachee e gli stigmi, è fondamentale quindi per mantenere l'omeostasi.
- Simpatico caudale: innerva il proctodeo e gli organi genitali esterni

Il sistema simpatico non è indipendente dal centrale al quale è sempre collegato.

La cellula nervosa lavora costantemente per mantenere un determinato livello di potenziale elettrico mantenendo fuori gli ioni sodio e all'interno gli ioni cloro; quando arriva un segnale questo potenziale osmotica varia facendo entrare ioni sodio e facendo uscire ioni cloro. La depolarizzazione delle membrane, una volta arrivata al bottone presinaptico (parte terminale del dendrite) causa la rottura delle vescicole contenenti acetilcolina. Questa sostanza funziona da neurotrasmettitore e va a reagire legandosi con appositi recettori nel bottone postsinaptico. In questi siti l'acetilcolina apre dei canali ionici che fanno ripartire la depolarizzazione delle membrane fino alla sinapsi successiva. Una volta che la depolarizzazione è ripartita l'acetilcolina viene scissa in acido acetico e colina dall'acetilcolinesterasi, enzima che blocca la trasmissione del segnale. L'acetilcolinesterasi è un sito di azione degli insetticidi fosforici ed esteri carbammici che causano la morte dell'insetto per disidratazione. Il sistema secretore è formato da ghiandole, cellule specializzate nell'emissione di secrezioni all'esterno (secrezione esocrina) o di ormoni (o increti) all'interno (secrezione endocrina). Le ghiandole a secrezione esocrina sono quelle responsabili della secrezione di: sostanze repugnatorie, cera, seta e sostanze serico simili, feromoni, lacca e veleno. Fra le varie componenti del sistema endocrino si trovano le cellule secernenti dei territori neuricrini del cervello; esse secernono l'ormone cerebrale che arriva ai corpi cardiaci (e in parte nei corpi allati) dove viene modificato ed immagazzinato. Quando è necessario esso viene inviato per via emolinfatica alle ghiandole protoraciche che producono ecdisone che causerà la muta. Queste serie di trasformazioni degli ormoni viene detta cascata ormonale. I corpi allati sono i responsabili della produzione della neotenina o ormone della gioventù, che rimane sempre alto nelle fasi larvali, si abbassa all'impupamento e si azzerà allo sfarfallamento.

La fase adulta dell'insetto inizia con lo sfarfallamento, fase che può durare da pochi secondi a molte ore ed è molto influenzata dalla temperatura esterna, essendo gli insetti organismi poecilotermi. Allo sfarfallamento molte volte l'adulto si presenta tenero e biancastro con le ali rattrappite. Il contatto con l'ossigeno dell'aria favorirà la tannizzazione della cuticola e il conseguente indurimento. I segnali che gli insetti possono emettere per comunicare fra loro possono avere natura chimica (feromoni ed altri composti chimici) o fisici. Fra i

segnali fisici se ne ritrovano di luminosi e di sonori, entrambi i tipi molto utilizzati per l'avvicinamento del partner nella fase precopula. L'emissione di luce può essere dovuta a fosforescenza (emissione di luce diffusa e leggera causata da batteri patogeni o scarti metabolici) oppure alla presenza di organi fotogeni veri e propri. Dopo l'avvicinamento del partner si possono avere riti di corteggiamento (ad esempio gli empididi maschi portano del cibo alla femmina) e poi avviene l'accoppiamento vero e proprio, almeno che il maschio non produca spermatozoi e allora manca l'amplesso vero e proprio.

Gli insetti sono quasi sempre gonocorici, cioè con i due sessi separati e posti su individui diversi e in molti casi con dimorfismo sessuale più o meno evidente. Oltre alla riproduzione anfigonica (questa appena descritta) esistono anche altri tipi di riproduzione:

- Partenogenica: la femmina produce uova senza essere fecondata, si riscontra nelle api, negli afidi delle piante, ecc
- Eterogonia: si ha un'alternanza fra generazioni anfigoniche e partenocarpiche
- Ermafroditismo: presente in un numero minore di casi gli individui che lo possiedono sono in grado di generare gameti maschili e femminili. È sempre del tipo insufficiente, cioè ci vogliono comunque due individui per poter generare prole; gli unici casi di ermafroditismo sufficiente sono la cocciniglia cotonosa *Icerya purchasi* e le tenie .

Le modalità con cui gli insetti generano prole sono:

- Femmine ovipare: le femmine depongono uova e lo sviluppo embrionale avviene all'esterno del corpo della femmina. È la modalità più comune fra gli insetti ma è anche la più antica. Lo sviluppo embrionale può partire subito oppure anche dopo qualche mese
- Femmine ovovivipare: lo sviluppo embrionale avviene all'interno del corpo della femmina e l'uovo schiude nelle vie genitali (ovidutto comune; forma rara) oppure appena l'uovo viene depresso. Si riscontra nelle cocciniglie pseudo coccidi
- Femmine vivipare: sia lo sviluppo embrionale che la schiusura dell'uovo avviene all'interno della femmina che partorisce direttamente la larva o la neanide. In alcuni casi la larva compie tutto il suo ciclo all'interno della femmina (mosca tse tse, ditteri ippoboscidi, ecc).

Lo sviluppo embrionale prende il via dallo zigote, esso inizia a moltiplicarsi e le cellule originate successivamente inizieranno a migrare in apposite zone per formare tre strati. Queste fasi possono richiedere dalle 4 ore della mosca del formaggio, a molti giorni o settimane, ed è influenzato anche dalla temperatura. I tre strati, detti anche foglietti embrionali, catalogano gli insetti nella categoria tassonomica dei triblastici; ogni foglietto originerà diverse strutture:

- Ectoderma: originerà: tegumento, stomodeo, proctodeo, tubuli malpighiani, sistema nervoso, trachee e tratti distali dell'apparato riproduttore
- Endoderma: origineranno: mesenteron e tubuli malpighiani
- Mesoderma: originerà: sistema muscolare, sistema circolatorio, sistema escretore, adipe e gonadi

Nell'embriogenesi si originano dei raggruppamenti di cellule dette dischi immaginali che rimarranno quiescenti fino alla metamorfosi in adulto o in altre fasi bene definite e riconosciute da queste cellule grazie all'abbassamento del livello dell'ormone giovanile. Lo sguscio mento dall'uovo avviene grazie ad apposite strutture come denti o ruptur ovi, una specie di cuscinetti riempiti di emolinfa. Una volta fuoriusciti dall'uovo gli insetti possono mangiare l'uovo per attivare simbiosi intestinali con i microrganismi lasciati sull'uovo dalla madre; questo comportamento si riscontra in alcuni lepidotteri. Subito dopo i primi pasti iniziano le mute che possono spaziare molto in numero, dalle 50 di alcuni apterigoti alle 3 degli insetti più evoluti; la muta prevede il fenomeno dell'ecdisi, cioè l'abbandono della vecchia cuticola e la formazione di un'altra. Le varie metaboliche sono raggruppate in 3 grandi categorie, i cui schemi ontogenetici generali sono:

- Ametaboli: uovo neanide adulto; dall'uovo sguscia una forma giovanile che non subirà differenziazioni morfologiche per raggiungere la fase adulta. Rientrano in questa categoria i dipluri ed i tisanuri.
- Eterometabolia: uovo neanide ninfa adulto; le fasi preimmaginali sono simili all'adulto, dal quale differiscono per mancanza di ali, immaturità sessuale e dimensioni ridotte. La differenza fra neanidi e ninfe sta nel fatto che le seconde hanno abbozzi alari mentre le prime non le hanno. Questo tipo di metabolia è detta metamorfosi incompleta, inoltre gli insetti con questa caratteristica sono esopterigoti, cioè che formano le ali all'esterno. Nella maggior parte dei casi i cicli sono formati da 2 stadi neanidali e da 3 stadi ninfali, o viceversa
- Olometabolia: uovo larva pupa adulto; viene detta anche metamorfosi completa e gli insetti che hanno questa caratteristica sono detti endopterigoti perché formano le ali all'interno del corpo. Le fasi larvali possono essere anche molto numerosi; la pupa è quello stato afago ed immobile durante il quale l'insetto subisce tutte le trasformazioni della metamorfosi completa.

All'interno dei grossi raggruppamenti di metaboliche si trovano altre differenze:

- Ametabolia:
  - o Ametabolia vera

|      |         |        |
|------|---------|--------|
| Uovo | Neanidi | Adulto |
|------|---------|--------|

- o Anametabolia: ad ogni muta l'insetto aggiunge un segmento addominale al proprio corpo ma non fa modificazioni morfologiche importanti

|      |         |        |
|------|---------|--------|
| Uovo | Neanidi | Adulto |
|------|---------|--------|

- Eterometabolia:

- o Pseudoametaboli: lo schema ontogenetico è uovo, neanidi adulto perché questi insetti sono atteri per atterismo secondario; la mancanza di ali fa sì che non serva la fase di ninfa.

|      |         |        |
|------|---------|--------|
| Uovo | Neanidi | Adulto |
|------|---------|--------|

- o Emimetabolia: lo schema ontogenetico è quello tipico dell'eterometabolia; le fasi giovanili cambiano ambiente in cui vivono, possiede dono questa caratteristica le libellule

|      |         |       |        |
|------|---------|-------|--------|
| Uovo | Neanidi | Ninfe | Adulto |
|------|---------|-------|--------|

- o Paurometabolia: : lo schema ontogenetico è quello tipico dell'eterometabolia ma differiscono dagli emimetaboli perché le forme giovanile e quelle adulte vivono nello stesso ambiente

|      |         |       |        |
|------|---------|-------|--------|
| Uovo | Neanidi | Ninfe | Adulto |
|------|---------|-------|--------|

- o Prometabolia: differiscono dallo schema generale dell'eterometabolia per la presenza della sub immagine, cioè l'adulto si ha solo dopo una'altra muta

|      |         |       |            |        |
|------|---------|-------|------------|--------|
| Uovo | Neanidi | Ninfa | Sub adulto | Adulto |
|------|---------|-------|------------|--------|

- o Neometabolia: differiscono dallo schema tipico degli etero metaboliti perché le forme ninfali (dette subpupe) diventano inattivi, similmente alle pupae degli olometaboli e per questo motivo è considerata una via di mezzo fra l'etero e la olo metabolia

|      |          |           |        |
|------|----------|-----------|--------|
| Uovo | Nenanidi | Sub pupae | Adulto |
|------|----------|-----------|--------|

- Olometabolia

- o Olometabolia vera e propria o euolometabolia: è lo schema tipico dell'olometabolia, la larva si trasforma in eupupa, poi in prepupa e successivamente in pupa vera e propria.

|      |       |        |           |      |        |
|------|-------|--------|-----------|------|--------|
| Uovo | Larve | Eupupa | (prepupa) | Pupa | Adulto |
|------|-------|--------|-----------|------|--------|

- o Ipermetabolia: presenta stadi larvali molto diversi fra loro e le ipnoteche, cioè dei periodi di quiescenza fra i vari stadi larvali.

|      |         |          |         |      |        |
|------|---------|----------|---------|------|--------|
| Uovo | Larva 1 | ipnoteca | Larva 2 | Pupa | Adulto |
|------|---------|----------|---------|------|--------|

- o Criptometabolia: si ritrova solamente in alcuni coleotteri cavernicoli che vivono in ambienti molto poveri di cibo, lo sviluppo larvale viene fatto interamente all'interno dell'uovo (di notevoli dimensioni) e dall'uovo sguscia direttamente l'adulto.

|      |         |        |        |
|------|---------|--------|--------|
| Uovo | (larva) | (pupa) | Adulto |
|------|---------|--------|--------|

- Catametabolia: è un particolare tipo di metabolia nel quale le forma larvali sono più evolute dell'immagine in cui spesso sono assenti o ridotte appendici ed organi.

Il passaggio fra i vari stadi preimmaginali è causato dalle mute; queste sono determinate da precisi bilanciamenti ormonali e causano:

- Attivazione cellule epidermiche: crescano in numero tramite mitosi e poi diventano secernenti
- Produzione di liquido esuviale: prodotto dalle cellule epidermiche contiene proteasi e chinasi
- Apolisi o digestione della vecchia cuticola: ad opera del liquido esuviale e riassorbimento dell'endocuticola, l'epicuticola e l'esocuticola non vengono riassorbiti e formano l'esuvia
- Ecdisi o esuviamento
- Sintesi e deposito della nuova cuticola

La fase fra l'apolisi della cuticola e l'ecdisi prende il nome di fase farata. Con il termine età o stadio di sviluppo si intende il periodo che intercorre fra due mute. Le larve possono essere di diverso tipo:

- Protopode: dette anche ciclopiche sono deformi, presentano una testa molto grande, un torace piccolo e a volte non presentano addome; sono tipiche solamente degli endoparassiti
- Polipode: dette anche eruciformi possiedono zampe e pseudo zampe, a seconda della posizione delle pseudozampe si riconoscono:
  - o Lepidotteri: nella maggior parte degli insetti di questa specie si trovano dal 3° al 6° urite e sul 10°.
  - o Imenotteri sinfiti: si trovano dal 2° al 7°, a volte nell'8°, e sempre nel 10°
  - o Lepidotteri geometridi: si trovano solo sul 6° e 10° urite
- Oligopode: possiedono solo le zampe vere, rientrano in questa categoria le larve:

- o Melolontoidi: dette anche cirtostomatiche sono tipiche dei coleotteri scarabeidi e sono naturalmente piegate a C; hanno il foro anale chiuso e accumulano le feci nelle ultime sezioni del corpo, che verranno poi allontanate con la muta.
- o Campodeiformi: presentano pigopodi ed urogonfi sono molto mobili e veloci con antenne ben sviluppate; sono tipiche delle larve predatrici come i coleotteri carabidi e prendano il nome dai dipluri del genere Campodea per la somiglianza.
- o Elateriformi: non presentano pigopodi ed urogonfi ma si presentano rigide, lunghe e lucide.
- o Onisciformi: dette anche platiformi sono simili morfologicamente ai maialini di terra (che però sono crostacei); le lucciole ne sono un esempio.
- Apode: non possiedono zampe, rientrano in questa categoria le larve:
  - o Eucefale: sono provviste di un capo ben sviluppato
  - o Microcefale: posseggono il capo di ridottissime dimensioni, si riscontra in alcuni ditteri musciforni
  - o Criptocefale: presentano il capo infossato nel protorace.

Le pupe si possono classificare secondo diversi parametri:

- Caratteri morfologici:
  - o Obtecte: hanno tutte le appendici incollate al corpo ed avvolte in un'unica cuticola; si riscontrano nei lepidotteri dove vengono dette crisalide
  - o Exarate: posseggono appendici libere e staccabili dal corpo, a sua volta vengono divise in:
    - Dectiche: presentano le mandibole capaci di movimento
    - Adeptiche: non presentano capacità di movimento
- Protezioni:
  - o Anoiche: non posseggono protezioni
  - o Evoiche: sono protette da bozzoli o dal pupario

Per descrivere i cicli biologici si devono chiarire i concetti di bioritmo (manifestazioni vitali di carattere ciclico) e ciclo (ritorno, attraverso vari stadi, ad uno stadio di partenza). Utilizzando queste due definizioni le specie si dividono in:

- Poliennali: il ciclo biologico richiede più anni per il proprio completamento, ne sono esempi i rodilegno rossi *Cossus cossus*
- Monovoltine: effettuano una generazione anno, ne è esempio la *Metcalfa pruinosa*
- Polivoltine: effettuano più generazioni all'anno, in numero variabile condizionato dalla temperatura, con optimum fra i 18°C e i 40°C (per le specie tropicali).

All'interno dei cicli un insetto può andare incontro a due tipi di sospensioni della propria attività:

- Quiescenza: è dovuta al clima sfavorevole e non sempre si verifica
- Diapausa: sono automatismi fisiologici, indotti da temperatura e fotoperiodo. Il fotoperiodo influenza sia l'orologio fotoperiodico (rapporto fra le ore di luce e quelle di buio) e il contatore biologico (somma delle ore notturne).

Potenziale biotico e ambiente

In un ambiente le specie si dividono per :

- Distribuzione: comuni, rare, comunissime
- Interferenza con l'uomo: dannose, indifferenti, utili

Le popolazioni hanno dinamiche proprie e in un ambiente primario l'andamento è ciclico e sinusoidale con picchi di massimo e di minimo regolarmente distribuiti nel tempo. La ripetizione nel tempo di picchi di minimo e di massimo è spiegata dalla presenza di fattori di regolazione estrinseci ed intrinseci alla specie. L'andamento tipico delle popolazioni prevede tre fasi:

- Aumento o progradazione
- Esplosione o outbreak
- Diminuzione o retrogradazione

I fattori che influenzano i cicli sono il potenziale biotico e l'ecoresistenza, fattori in equilibrio. Il potenziale biotico comprende:

- Capacità di sopravvivenza e adattamento
- Numero medio progenie/femmina
- Numero medio generazioni annue
- Sex ratio ad ogni generazione
- Percentuale schiusura uova, detta anche fertilità
- Numero di uova per femmina, detta anche fecondità

Questi elementi nel totale portano ad un'innata capacità di accrescimento che viene espressa con la  $r$ , cioè la intrinsic rate of increase.

L'ecoresistenza comprende:

- Elevata mortalità, anche se non determina la scomparsa della specie
- Fattori di contenimento intrinseci alla specie: all'interno delle popolazioni di insetti esistono agenti di contenimento intrinseci che fanno sì che la specie si autoregoli. Esempi di questi agenti si riscontrano in molte specie:
  - o Dorifora della patata: le femmine, in caso di eccessiva presenza della specie, diminuiscono il numero delle uova

- o Afidi: compaiono i migranti alati che si spostano alla ricerca di un altro ambiente più adatto allo sviluppo
- o Molte specie sono cannibale
- Fattori di contenimento estrinseci alla specie:
  - o Fattori biotici: quali altre specie che interferiscono con quella in esame; oltre ad eventuali fitofagi rientrano in questi fattori anche la comparsa di vari tipi di resistenza da parte delle piante.
  - o Fattori abiotici: quali temperatura, umidità relativa, pioggia, vento, fotoperiodo, ecc. L'importanza di questi fattori dipende molto dalla fase in cui l'insetto si trova, molto spesso le fasi giovanili ne sono molto sensibili mentre le uova no.

Tanto più un ecosistema è naturale e maturo, tanto più l'equilibrio è costante e minori sono le differenze fra i picchi di minimo e di massimo. In un ecosistema secondario, come può essere un pascolo o una foresta, si ha un minor numero di entomofagi, di fitofagi e di specie vegetali; queste caratteristiche fanno sì che l'equilibrio sia buono ma possono essere presenti dei problemi quali le invasioni di cavallette nei pascoli e degli insetti defogliatori nei boschi. In un ecosistema terziario (come quelli agrari) si trovano pochi entomofagi sia come numero di specie che come numero di esemplari, a fronte di molti fitofagi in numero di esemplari anche se appartenenti a poche specie. Dal punto di vista delle piante si riscontrano poche specie coltivate rappresentate da molti individui, affiancate da poche specie secondarie o competitive. All'interno degli ecosistemi terziari sono più stabili le colture poliennali rispetto a quelle annuali.

| Ecosistema | Esempi                     | Entomofagi |        | Fitofagi |        | Vegetali |        | Note   |
|------------|----------------------------|------------|--------|----------|--------|----------|--------|--|
|            |                            | Specie     | Numero | Specie   | Numero | Specie   | Numero |  |
| Primario   | Foresta vergine            | Alto       |        | Alto     |        | Alto     |        | L'ecosistema è stabilmente in equilibrio                                       |
| Secondario | Pascolo o bosco utilizzato | minore     | minore | minore   | minore | minore   | minore | E' un buon sistema ma possono nascere problemi come le invasioni di cavallette |
| Terziario  | Ecosistemi agrari          | basso      | basso  | basso    | alto   | basso    | alto   | Sono migliori gli ecosistemi a basso apporto di input e quelli poliennali      |

Per insetto dannoso, pest in inglese, si intende un insetto che causa danno all'uomo, agli animali allevati, alle colture coltivate o ai possedimenti. Per insetto dannoso in agricoltura si intende un insetto che causa perdite qualitative o quantitative che causano perdite di profitto all'agricoltore. Un insetto diventa dannoso economicamente quando arreca danni pari al 5-10% della resa media, tutta via non sempre un danno del genere giustifica un intervento fitosanitario. Questo si rende utile quando il valore del danno supera il costo dell'intervento fitosanitario. Questo concetto ha fatto evolvere la filosofia della lotta, passando dalla lotta chimica indiscriminata e a calendario alla lotta integrata e/o alla produzione integrata.

Il controllo integrato si basa su diversi aspetti:

- Individuare per ogni coltura:
  - o Specie coltivata e fitofagi chiave: sono i fitofagi presenti ad una densità tale da richiedere tecniche di controllo per non avere perdite di profitto
  - o Specie coltivata e fitofagi principali
  - o Specie coltivata e fitofagi secondari
  - o Antagonisti naturali
- Valutare localmente le soglie economiche di danno mediante:
- Monitoraggio delle specie dannose:  $n^{\circ}$  indivisui/trappola \*tempo, cioè la densità della popolazione nel tempo
- Campionamento: % di organi infestati, serve per valutare il danno arrecato alla coltura dalla specie in analisi

Questi dati spesso hanno un'interpretazione empirica legata all'esperienza sul posto, difatti un alto numero di campionamenti non è sempre sintomo di futuri attacchi massicci.

- Misurazione parametri meteorologici: in caso di piogge non si deve trattare perché il fitosanitario applicato verrebbe dilavato; per quanto riguarda le temperature devono essere registrate perché importanti per lo sviluppo di modelli previsionali sulla velocità di sviluppo degli insetti.
- Impiego di mezzi di controllo opportunamente scelti fra metodi biologici, agronomici, biotecnici, fisici, meccanici e chimici.

Innanzitutto si deve identificare il patogeno direttamente oppure dai danni lasciati oppure dai segni della sua presenza. Dopo aver riconosciuto la specie patogena si deve fare il monitoraggio, effettuabile con trappole di vario genere:

- Luminose: sono adatte per le specie con fototropismo positivo
- Cromotropiche: ne esistono di vari colori (giallo, blu, bianco, ecc) ma non sono selettive verso le specie chiave
- Chemiotropiche
- A feromoni sessuali: sono molto selettive per specie e catturano solamente i maschi

L'utilizzo delle trappole deve essere accompagnato dalla ricerca delle uova all'interno delle femmine in quanto femmine senza uova mature sono meno pericolose. La disposizione delle trappole è basilare per avere dati veritieri. In appezzamenti omogenei le trappole devono essere messe nei terreni più centrali disponendole a triangolo con distanze fra loro di 50 metri (per evitare interferenze fra loro). Ogni settimana si dovrà rilevare il numero di adulti e registrarli al fine di poter realizzare un grafico. Il monitoraggio non esclude il campionamento, che deve sempre essere effettuato. In ambienti molto omogenei, analizzandoli per più anni, si nota un'uniformità fra campionamento e monitoraggio maggiore rispetto ad altri ambienti ed è in queste condizioni che si può effettuare una lotta preventiva basandosi sui monitoraggi. La soglia

di danno o di tolleranza, cioè il livello della popolazione di fitofago al quale il costo del trattamento equivale al valore della perdita di prodotto non deve mai essere superata. Per far sì che questa soglia non sia superata si deve trattare al raggiungimento della soglia economica di intervento cioè il più alto livello di popolazione alla quale le misure di controllo artificiali devono essere applicate per impedire il superamento della soglia di danno. La scelta fra i mezzi di controllo non deve fare esclusioni perché l'integrazione fra i vari sistemi di lotta permette di risparmiare denaro e impattare il meno possibile sull'ambiente; utilizzando questa tecnica a volte la lotta chimica può essere eliminata. Lo scopo dei trattamenti non deve essere quello di eradicare la specie patogena ma mantenerla entro le soglie fissate. Le metodologie di lotta sono:

- Lotta agronomica: le buone pratiche agricole riducono le infestazioni, ad esempio:
  - o Le arature espongono all'aria e alla luce le larve sotterranee
  - o Concimazioni azotate ad un giusto livello promuovano la produzione senza causare indebolimenti della pianta
  - o L'irrigazione può aiutare (lotta alla psilla del pero) oppure no
  - o L'innesto è basilare per la lotta alla fillossera e all'afide lanigero delle pomacee
  - o Le consociazioni, più utilizzate nei paesi poveri e in via di sviluppo, aiutano la fauna antagonista
  - o Le rotazioni, se ben effettuate, diminuiscono il numero di insetti patogeni perché essi non trovano nutrienti. Può essere utile inserire il maggese nudo nelle rotazioni per far sì che le larve degli elateridi non attacchino altre colture (specialmente dopo erba medica). Coltivare nei terreni a riposo tagete, la senape ed altre colture aiuta a combattere i nematodi, anche se incistati
  - o Utilizzare il diserbo a ragion veduta e non diserbare i fossi per non creare danni ecologici (inquinamento delle acque superficiali e distruzione degli ecosistemi dove trovano rifugio gli antagonisti naturali)
  - o La scelta di alcune cultivar, oltre che per la resistenza agli attacchi di alcuni insetti, può contribuire a sfuggire ai danni per precocità del ciclo biologico.
- Mezzi fisici: comprendono:
  - o Calore: in post raccolta si possono applicare fonti di calore oppure abbattere la temperatura per lottare i patogeni
  - o Calore: si può applicare anche al terreno come geodisinfettante, sia mediante vapore artificialmente immesso che come solarizzazione
  - o Radiazioni: possono essere utilizzate sia come disinfestante che come agente per sterilizzare i maschi e quindi impedire la riproduzione alla specie in analisi.

- **Tecnica del maschio sterile:** allevando in laboratorio maschi e sottoponendoli a radiazioni essi diventano sterili e una volta rilasciati si accoppiano con le femmine, ma non danno prole. Tecnicamente sarebbe possibile sterilizzare anche le femmine ma applicare questa tecnica ai maschi è più utile perché ogni maschio è in grado di fecondare più femmine; si ottiene un effetto maggiore. per sterilizzare solo maschi si allevano mutanti con gene WP (maschi con pupa bianca) e TSL (temperatura letale per le femmine, sottoponendo le uova a temperature di 32°C per 24 ore si ha la mortalità del 100% delle femmine); una volta ottenuti i maschi vengono sottoposti a radiazioni e sterilizzati. Questa tecnica è stata utilizzata molto contro la Ceratitis capitata, mosca della frutta mediterranea, ed ha avuto effetti straordinari, fino ad arrivare all'eradicazione della specie.
  - o **Luce e colori:** diverse specie di patogeni sono sensibili a determinate tonalità di colori
  - o **Anossia:** ponendo un prodotto in un ambiente anossico per un tempo sufficientemente lungo si causa la morte del patogeno per anossia.
- **Mezzi meccanici:** sono più utilizzati nei vivai; in campo si trova la sanitation, cioè la raccolta anche dei frutti malati che poi andranno distrutti
- **Mezzi chimici:** si basa sull'utilizzo di sostanze organiche o inorganiche, naturali o di sintesi, formulate per espletare la massima azione tossica nei confronti del parassita.

Gli insetticidi contengono il P.A. (sostanza dotata di tossicità intrinseca) gli inerti e i coadiuvanti (disperdenti, bagnanti, adesivanti, ecc). I formulati in commercio possono essere in varie forme:

- **Trattamenti a secco:** trovano impiego limitato comprendono:
  - o Polveri secche
  - o Granuli: vengono utilizzati per la lotta agli insetti terricoli come le nottue del mais, agiscono per contatto tegumentale.
  - o Pellet: hanno come vettore una sostanza appetita alla quale viene mescolato il P.A., ne sono esempio le esche lumachicide
  - o Microcapsule: si trovano anche disperse in un mezzo liquido
  - o Compresse idrodispersibili
- **Trattamenti liquidi:** sono molto più utilizzati, comprendono:
  - o Polveri bagnabili: tendono ad essere gradualmente abbandonate perché causano problemi di tossicità per l'operatore; si utilizzano in sospensione acquosa.
  - o Sospensioni concentrate

- o Emulsioni: il P.A. è si trova in un solvente organico che funge da vettore, inoltre si trovano anche emulsionanti e coadiuvanti
- Formulati spray: vengono usati in hobbystica
- Formulati per dendroiniezioni

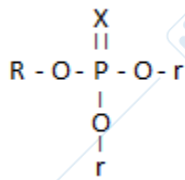
I prodotti fitosanitari vengono divisi in:

- Inorganici: si riscontrano varie categorie di prodotti:
  - o Derivati dell'arsenico: ad oggi sono stati tutti eliminati dal commercio
  - o Derivati dello zolfo: sono P.A. abbastanza selettivi perché agiscono per contatto corrodendo il cemento e le cere dell'epicuticola causando la morte dell'insetto per disidratazione (corrosione epicuticolare). Se distribuiti in ambiente umido originano anche ioni idrogenosolfato che uccidono gli insetti per inalazione. Vengono usati contro insetti immobili (cocciniglie, aleurodidi, psille e rincoti in genere) e aiutano anche a rimuovere le incrostazioni delle fumaggini. Si trovano in commercio:
    - Polisolfuri di calcio e di bario: i derivati del calcio sono molto fitotossici e quindi utilizzati solamente per i trattamenti al bruno, ormai non più utilizzati con l'introduzione della soglia di danno; i derivati del bario sono meno fitotossici
    - Di derivazione organica: sono prodotti buoni ma molto costosi
  - o Derivati del fluoro
  - o Derivati dello zinco, del boro, e cc
- Organici vegetali:
  - o Piretrinici: questi P.A. derivano dal piretro (*Chrysanthemum cinerariifolium*), composita sub tropicale dai quali capolini, dopo macerazione, viene estratto il P.A. come estere. Chimicamente il P.A. è un estere di acidi crisantemico e piretrico addizionato di alcoli vari quali il piretrolo. È un prodotto termolabile e fotolabile e già dopo 48h è completamente decomposto. Agisce per contatto andando ad influire sulle membrane dei neuroni. Da solo potrebbe non essere utile in quanto alcuni insetti posseggono apposite ossidasi detossificanti che consentono loro di metabolizzare il P.A., per questo viene addizionato di olio di sesamo o piperonil butossido, che bloccano questi enzimi. È molto utilizzato sugli afidi (per via del loro corpo mole che offre poca resistenza all'ingresso del P.A.) ma può essere poco efficace nei casi in cui gli insetti si annidano dentro foglie accartocciate
  - o Nicotinici: derivano dal tabacco *Nicotiana tabacum*
  - o Rotenoidi: derivano dalla macerazione di rami e radici di varie piante appartenenti ai generi *Derris*, *Tephrosia* e *Lacnocaropus*. Presenta gravi problemi di tossicità per l'ambiente acquatico ed è un sospetto cancerogeno

- o Quassine: derivano dalla macerazione del legno di *Quassia amara* e *Picrasma quassioides*
- o Neem: dalla pianta *Azadirachta indica*, è un forte fagodeterrente ed agisce sulla crescita degli insetti a livello ormonale e di ovogenesi.
- Organici microbici:
  - o Avermectine: si ottiene dallo *Streptomyces avermitilis*, agisce bloccando le sinapsi neuromuscolari. È molto tossica verso gli artropodi e i nematodi, inoltre è moderatamente tossica verso i mammiferi
  - o Spinosine: si ottiene dal *Saccharomyces spinosa* ed è fortemente tossica per invertebrati a sangue freddo. Presenta un meccanismo di azione simile alla nicotina simulando l'acetilcolina
  - o Lambda endotossina: è una tossina prodotta dal *Bacillus thuringiensis*, assolutamente innocua per gli animali a sangue caldo (richiede un pH dello stomaco fortemente alcalino per essere attivata) ed è anche abbastanza selettiva in quanto esistono vari ceppi di Bt che agiscono su diversi ordini di insetti
- Organici animali
- Organici minerali: questi prodotti utilizzati da moltissimo tempo, erano stati quasi abbandonati a partire dagli anni 60 ma si sono riaffermati negli ultimi decenni. Agiscono ricoprendo l'insetto e occludendogli gli spiracoli, agisce quindi su specie o stadi immobili. Non sono noti casi di resistenza perché le resistenze sono di natura chimica e non morfologica. Ne esistono di diversi tipi:
  - o Antracenicici: derivano dalla distillazione del catrame di carbon fossile, erano gli oli pesanti molto fitotossici e non più utilizzati da tempo
  - o Oli di petrolio o bianchi: derivano dalla raffinazione del petrolio e sono detti leggeri. Presentano minore fitotossicità naturalmente ed è ancor di più abbassata mediante trattamenti con acido solforico. I migliori sono quelli con indice di insolfonabilità alto cioè con un alto numero di legami saturi. Negli ultimi periodi se ne è stanno ritirando le autorizzazioni alla vendita a favore di oli vegetali quali soia e colza.
- Organici di sintesi:
  - o Azotorganici: rientra in questo gruppo il dinitrocresolo (DNOC) che è utilizzato insieme all'olio bianco (ottenendo l'olio giallo) per trattamenti invernali.
  - o Cloro derivati: il primo P.A. appartenente a questa categoria è stato il D.D.T., dicloro difenile tricloroetano, prodotto estremamente stabile bandito nei paesi occidentali ma ancora utilizzato negli ambienti subtropicali e tropicali. È una molecola molto lipofila e si accumula nel grasso passando i vari anelli della catena alimentare,

concentrandosi sempre di più. Molti P.A. di questa categoria sono stati banditi, ad oggi rimangono solamente il lindano e l'esaclo ciclo esano.

- o Esteri fosforici o fosfororganici: derivano dall'acido orto fosforico ed hanno formula generale come da schema dove X



sono molecole di zolfo, r sono radicali alchilici mentre R sono radicali complessi. Tutta la classe deriva dal parathion, primo estere fosforico ad essere sintetizzato dall'industria bellica tedesca.

All'interno di questa classe rientrano varie categorie

di P.A.: fosfonati, tiofosfonati, ditiofosfonati, tiosolfonati e ditiosolfonati. Tutti i P.a. di questa classe hanno persistenze medio lunghe con intervalli di sicurezza fino a 60 giorni; alcuni sono citotropici ed altri ancora sistemici. La lunga persistenza li rende ottimi per la lotta ad insetti con nascite scalari. Hanno costi medio alti e sono utilizzati anche al di fuori dell'utilizzo professionale, ad esempio il malathion è utilizzato nelle esche moschicidie

- o Carmammati o esteri carbammici: derivano dall'acido carbammico e possono essere monometil oppure di metil carbammati. Il primo P.a. di questa classe ad essere sintetizzato è stato il carbaryl, molecola a basso costo e con tempi di persistenza bassi. Si riscontrano prodotti sistemici, citotropici e transaminari. Nella lotta gli afidi viene utilizzato il piridimicarb.
- o Piretroidi: sono nati imitando i piretrinici, l'industria ha esaltato la tossicità e la stabilità delle molecole naturali. Questa classe di P.A. ha dei problemi in quanto influenza le catene trofiche degli acari, uccidendo gli acari utili per la lotta biologica. Questi problemi si riscontrano per lo più nei vigneti perché questi P.a. sono presenti anche in alcuni fungicidi.
- o Nicotinoidi: derivano da miglioramento industriale delle molecole naturali (derivati dal N. tabacum). Rientra in questa categoria l'imidacloprid
- o Insetticidi di terza generazione: vengono detti RCI (regolatori di crescita degli insetti) o I.G.R.; non hanno azione neurotossica ma creano alterazioni letali nello sviluppo o nella riproduzione o in altre funzioni vitali. Rientrano in questo gruppo:
  - Inibitori della cuticola: sono benzoil uree e funzionano bloccando la formazione della chitina e in alcuni casi hanno anche azione ovicida. L'azione larvicida è svolta durante la muta in quanto l'insetto inizia la muta ma non riesce nell'ecdisi, spesso la cuticola si rompe lungo le membrane intersegmentali esponendo l'insetto alla disidratazione. L'azione ovicida è riconducibile sia alla mancata formazione

della cuticola, sia alla ridotta fertilità che le femmine adulte hanno se trattate con questi P.A. .

- Alteratori della crescita: sono ormoni di origine naturale (estratti da piante) oppure sintetizzati chimicamente che simulano gli ormoni degli insetti. Gli ormoni utilizzati sono:
  - Fitoecdisteroidi: di origine naturale, simili all'ecdisione
  - Juvenoidi naturali: di origine naturale, hanno attività neotenino-mimetica
  - Ecidoidi: sintetici, sono analoghi e antagonisti dell'ecdisione
  - Juvenoidi: sintetici, sono analoghi e antagonisti alla neotenina
- o Insetticidi di quarta generazione: sono sostanze naturali che svolgono azione inibitrice su alcuni ormoni o enzimi collegati al processo di crescita. Possono essere naturali (estratti da *Ageratum houstonianum*) di sintesi (diflubenzuron e simili). Hanno azione antagonista alla neotenina e inducono metamorfosi precoce con formazione di adulti nani e sterile. Sugli adulti induce la sterilità bloccando la vitellogenesi.

Le modalità di penetrazione dei vari P.A. può essere:

- Ingestione: l'insetto si nutre di un substrato irrorato del P.A.; penetrano in questo modo l'olio di neem e il *Bacillus thuringiensis*
- Contatto: il prodotto penetra l'insetto attraverso la cuticola dissolvendola oppure dalla base dei peli e degli stigmi; penetrano in questo modo piretrine, piretroidi polisolfuri e gli oli. Questi ultimi 2 inoltre agiscono anche per asfissia
- Inalazione: il P.A. entra nell'insetto attraverso il sistema respiratorio; penetrano in questo modo ifosfororganici, i carbammati, i polisolfuri (una volta trasformati in idrogeno solforato)

I meccanismi biotossici possono essere vari:

- Polveri minerali: si usano in trattamenti a secco, causano abrasioni e disidratazione
- Polisolfuri: hanno azione caustica, occlusiva, asfissiante, antifissativa verso le cocciniglie e anti fumaggine
- Oli minerali e vegetali: asfissianti
- Neem e azadiractine: hanno azione fagodeterrente, inibiscono la sintesi della chitina, antidigestive, juvenalizzanti e sterilizzanti
- Cloroderivati, piretroidi e piretrinici: hanno azione neurotossica direttamente sui gangli
- Fosfororganici, carbammati, nicotina e nicotinoidi, gassine, avermectina: hanno azione neurotossica indiretta influenzando su enzimi quali l'acetilcolinesterasi oppure hanno azione acetilcolina simile

Una volta immessi nell'ambiente i vari P.A. vengono degradati, in maniera più o meno veloce secondo vari meccanismi: fotolisi, carboincazione (aggiunta di anidride carbonica alla molecola), ossidazioni enzimatiche da parte degli insetti target del trattamento, dei microrganismi del terreno e da enzimi quali clorurasi, fosfoesterasi, esterasi, ecc. I residui del P.A. apportato sono normati, come limiti, dall'O.M.S. e successivamente da altri enti quali l'I.S.S.; non rientrano in queste normative i residui metabolici secondari che possono in alcuni casi continuare ad essere tossici.

Per lotta biologica si intendeva l'impiego di organismi viventi, e dei loro prodotti, per proteggere le piante dagli agenti biotici dannosi, in altre parole si controlla o si limita la popolazione di un fitofago mediante i suoi nemici naturali. I nemici naturali possono influenzare il patogeno attraverso parassitismo, predazione, patogenicità e competizione. I vantaggi della lotta biologica sono:

- Estrema selettività: alcuni insetti si nutrono di una ristretta corte di prede, non arrecando danni all'ecosistema attorno
- Nessun rischio di sviluppo di forme di resistenza
- Lunga durata del tempo: gli antagonisti naturali si stabiliscono nell'ambiente e aiutano a mantenere sotto controllo le popolazioni di patogeni per molto tempo
- Nessun rischio di inquinamento e danneggiamento degli animali selvatici
- Efficacia contro piante infestanti perenni, terrestri ed acquatiche

Gli svantaggi sono:

- Alto costo
- Difficile utilizzo in campo aperto in diversi casi

La definizione attuale invece è: tutte le pratiche volte a migliorare e potenziare l'attività degli antagonisti naturali mediante pratiche agronomiche, miglioramento varietale e anche lotta biotecnologica. Contempla quindi anche l'utilizzo di:

- Semiochimici
- Controllo microbiologico
- Regolatori di sviluppo
- Mezzi genetici

La lotta biologica si avvale di due classi di organismi:

- Entomofagi: sono artropodi di vario genere (acari, miriapodi e insetti) o cordati di vario genere (uccelli, pesci, mammiferi)
- Entomopatogeni: sono virus, rickettsie, protozoi, batteri, funghi e nematodi

I metodi di controllo biologico sono:

- Conservazione: consiste nel mantenimento e potenziamento degli entomofagi utilizzando pratiche agronomiche mirate, diminuendo il numero e la tossicità dei trattamenti e migliorando l'ambiente (ad esempio realizzando siepi o alberature con funzione di protezione per gli antagonisti naturali)
- Metodo inoculativo o propagativo: consiste nel liberare pochi esemplari di una specie adatta a lottare un patogeno; ha un effetto lungo nel tempo
- Metodo inoculativo stagionale: consiste nel lanciare un alto numero di antagonisti prodotti stagionalmente; ha una durata nel tempo breve
- Metodo inondativo: consiste nel lanciare un elevatissimo numero di antagonisti prodotti nelle biofabbriche; concettualmente è assimilabile ad un trattamento.

Un esempio di lotta biologica con metodo inoculativo molto ben riuscito è stata l'introduzione della *Rodolia cardinalis* in California per lottare l'*Icerya purchasi*. Gli entomofagi possono essere:

- Predatori: sono animali zoofagi a livello larvale e/o adulto che consumano più di un individuo per svilupparsi; sono dotati di ricerca attiva verso le prede e il loro rapporto trofico con la vittima è solo temporaneo
- Parassiti
- Parassito idi: i parassito idi portano la vittima a morte; sono zoofagi che a livello larvale si sviluppano a carico di un solo ospite/vittima. Instaurano con l'ospite un rapporto fisiologico complesso che va oltre la trofia. Sono in rapporto 1 o più parassito idi verso 1 ospite. Possono essere sia endo che ectoparassiti

Fra i predatori rientrano:

- Rincoti antocoridi e miridi
- Neurotteri crisopidi
- Ditteri sirfidi e cecidomici
- Coleotteri coccinellidi

Fra i parassitoidi rientrano:

- Ditteri tachinidi
- Imenotteri icneumonidi, proctotrupeoidei, braconidi e calcidoidei

Fra i mezzi biotecnologici si trovano i semiochimici, cioè sostanze chimiche che mediano le interazioni e lo scambio di informazioni fra organismi viventi.

Vengono divisi in:

- Feromoni: hanno valenza esclusivamente all'interno delle specie, sono cioè sostanze emesse da un individuo di una specie per comunicare con un altro individuo della medesima specie. I feromoni si dividono in:
  - o Primer: causano una risposta ritardata e mutamenti fisiologici

- o Releaser: comportano una risposta comportamentale immediata. Possono avere varie funzioni:
  - o Aggreganti: servono sia per far aggregare le colonie (es nei coleotteri scolitidi) sia come traccianti e marcanti, tipicamente negli insetti sociali
  - o Di dispersione: possono essere :
    - Di allarme: sono tipici degli afidi
    - Deterrenti all'ovodeposizione: vengono lasciati sulle drupe dove è già stato deposto un uovo da una femmina, per fare in modo che altre femmine non vi depongano altre uova con conseguente sviluppo di più larve per frutto
    - Antiafrodisiaci
    - Territoriale
    - Anti aggreganti
  - o Sessuali: servono sia per attirare il partner che come agente afrodisiaco
- Allelochimici: sono molecole che servono per la comunicazione fra specie diverse; sono divisi in:
  - o Allomoni: sono sostanze favorevoli solamente per chi li emette e sfavorevoli per chi li riceve. Rientrano in questo gruppo odori che allontanano specie competitive, sostanze repellenti verso i predatori, ecc
  - o Kairomoni: sono sostanze favorevoli solamente ai riceventi e sfavorevoli per chi li emette. Sono sostanze emesse dalle vittime che indirizzano l'antagonista naturale verso la vittima
  - o Sinomoni: sono sostanze favorevoli sia a chi li emette che e a chi li riceve. Ne sono esempi le sostanze emesse dagli afidi per aggregarsi e attirare le formiche.

Anche le piante possono emettere sostanze che attraggono il'antagonista del patogeno che sta attaccando la pianta.

L'utilizzo dei feromoni nella lotta è di vario tipo:

- Catture spia: servono per effettuare il monitoraggio
- Catture massali: serve per eliminare i riproduttori di una specie; su alcune specie funziona molto bene, su altre meno. È molto più efficace in ambienti confinati.
- Confusione e disorientamento sessuale: saturando l'aria di feromone sessuale di una specie si impedisce al maschio di trovare la femmina e quindi di accoppiarsi.

