

Art. n° A 18 – La COMUNICAZIONE ACUSTICA ed OTTICA fra gli INSETTI

Cominciamo a dire che qualunque tipo di comunicazione nel mondo animale implica la capacità di trasmettere e ricevere informazioni – tramite qualunque tipo di segnale – che altri animali possano interpretare. In altre parole, il segnale deve avere una funzione biologica o psicologica. Esempio banale: la ruota del pavone, il ringhio del lupo.

Il segnale può essere indirizzato ad individui della stessa o di altra specie (comunicazione intraspecifica ed interspecifica).

Escludiamo nel campo degli Insetti la comunicazione di messaggi razionali o simbolici, come il linguaggio umano.

Il segnale, il mezzo che porta l'informazione, si configura come uno **stimolo**, una forma di energia fisica o chimica capace di suscitare una risposta, un mutamento, in un organo a ciò predisposto (**recettore**), facente parte di un organismo.

Lo stimolo può provenire dall'interno dell'organismo stesso; in questo caso il recettore (**proprioettore**) fornisce informazioni sullo stato di tensione dei muscoli (tensocettore), sulla posizione rispetto alla gravità (recettore statico), sul funzionamento di certe ghiandole, su alterazioni traumatiche o patologiche (recettore dolorifico).

Molti sono i recettori aperti al mondo esterno (**esterocettori**), e qui lo stimolo può essere assai vario: chimico, meccanico (contatto, pressione, sfregamento), termico, acustico, ottico.

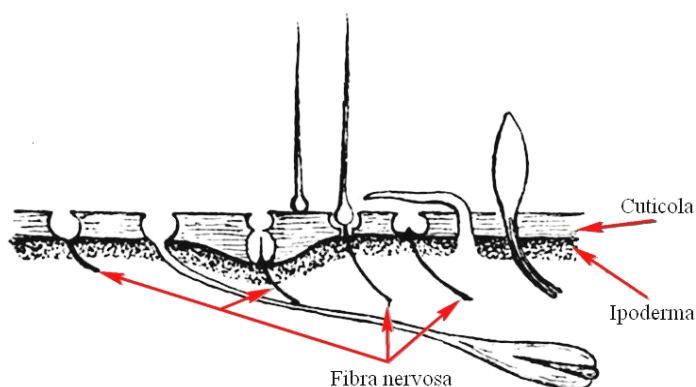
Ci occuperemo solo degli esterocettori acustici ed ottici.

I recettori chimici, olfattivi, tattili, termici, sono in genere di modesta complessità: semplici terminazioni nervose, magari circondate da cellule ausiliarie o “di sostegno”, o inserite alla base di una setola o di un ciglio¹. La loro struttura non permette in genere d'identificare la loro funzione.

Fig. 1 – Esempi di recettori reperibili sulle antenne degli Insetti.

La struttura è semplice, ma la funzione è assai diversificata.

Presumibilmente, la sensibilità è termica, tattile od olfattiva per i peli e le setole che sporgono dal tegumento. Forse è solo termica ed olfattiva per i recettori situati in fondo ad una cavità. (Bibl. 27, pag. 328).



I recettori per il suono e la luce sono invece assai più complessi, veri organi altamente specializzati, strutturalmente ben identificabili. Qualunque tipo di occhio, per es., si riconoscerà per avere verso l'esterno una parete trasparente alla luce.

Gli esterocettori si trovano esposti al meglio alla superficie dell'organismo o delle sue appendici (ad es. i tarsi delle zampe degli Insetti, vedi oltre); negli organismi a simmetria bilaterale, quindi negli Insetti, molti recettori sono concentrati nel capo o nelle sue appendici (antenne, palpi, ecc.) per la buona ragione che, durante il movimento, queste sono le parti che si rivolgono per prime all'ambiente circostante.

Un esterocettore qualunque ha senso solo se l'organismo che lo porta trova nel proprio ambiente i segnali specifici capaci di stimolarlo. Tali stimoli possono provenire da altri individui

¹ Parliamo di ciglia (o cilia) sensitive, non di ciglia vibratili, destinate al movimento.

della propria o di altra specie, o semplicemente da oggetti inanimati, come la luce del cielo. Gli animali, Insetti o non, che vivono in caverne od altri ambienti bui, ad es., sono generalmente ciechi.

Certamente, moltissimi fenomeni viventi sono provocati da uno stimolo esterno, cioè da qualche fattore ambientale o da una sua variazione. Per es., un rumore improvviso provoca la fuga di molti animali. In questi casi, vi è un rapporto stretto fra l'agente stimolante (interruzione del silenzio, ad es.) e la "risposta", cioè la reazione dell'organismo (fuga, nel nostro esempio).

Il **rapporto stimolo – risposta** rientra allora nel fenomeno più generale della "eccitabilità" degli organismi viventi, cioè della capacità di essi di reagire, di modificare in qualche modo il loro stato interno od il loro comportamento esterno, in seguito a qualche modificazione dell'ambiente. L'eccitabilità appare così una delle caratteristiche più essenziali della materia vivente in genere.

È bene notare che i termini Irritabilità, Sensibilità ed Eccitabilità, usati in molti diversi contesti, sono in biologia generalmente sinonimi: indicano la capacità della materia vivente di cambiare il proprio stato in seguito alla ricezione di appropriati stimoli.

In genere, uno stimolo trasmette all'organismo su cui agisce una qualche forma di energia, come nel caso del rumore che stimola la fuga di un animale, per tornare al primo esempio; ma l'energia che è necessaria alla reazione (il movimento dei muscoli) non è fornita dallo stimolo, bensì da meccanismi interni all'organismo. Come paragone: quando si sfiora una trappola per topi o il grilletto di una pistola carica, l'energia trasmessa alla trappola o al grilletto è minima in confronto con l'energia contenuta nella risposta (scatto della trappola, movimento del proiettile). Lo stimolo è dunque solo un agente scatenante, che è in grado di liberare l'energia accumulata in qualche parte del sistema che reagisce; è l'energia contenuta nei muscoli di un animale a provocare la corsa, non direttamente il rumore.

Si potrebbe obiettare che anche molti sistemi inorganici reagiscono all'ambiente (un ferro che arrugginisce all'aria umida, ad es.), ma in questo caso "la reazione" (la quantità di ruggine prodotta) è proporzionale allo "stimolo" (l'umidità dell'aria, a parità di altre condizioni). Invece, nel caso dei viventi, nel rapporto stimolo – risposta, abbiamo visto che la risposta è legata allo stato dell'organismo che fornisce l'energia. Lo stimolo è solo il fattore d'innescio.

Ciò presuppone naturalmente il concetto di "soglia": la risposta di un organismo senziente non si verifica se lo stimolo appropriato ha un valore inferiore ad un livello preciso, la "soglia", appunto. Un rumore troppo debole, per es.

Così, negli animali vale spesso la "**legge del tutto o nulla**", secondo la quale, al disopra del livello minimo "di soglia", qualunque stimolo produce sempre lo stesso effetto: qualunque sia lo stimolo, o l'animale non risponde, oppure risponde a piena intensità ("tutto" o "nulla").

Altra faccenda: nel caso dei vegetali, specialmente con stimoli molto deboli, la risposta può essere proporzionale all'intensità dello stimolo; per es., se si tiene una pianta al buio per un certo tempo, e poi la si illumina per breve tempo, la pianta spesso si orienta verso la sorgente di luce, ed il movimento è proporzionale all'intensità della sorgente. Sembra mancare una "soglia" minima per lo stimolo. In questi casi, anzi, vale la "legge" della "**quantità di stimolo**", secondo la quale l'ampiezza della reazione dipende dal prodotto di due fattori: l'intensità **i** dello stimolo (per es. della sorgente di luce) ed il tempo **t** durante il quale lo stimolo è stato applicato. Quello che conta è dunque questo prodotto, questa "quantità" di stimolo: intensità $\times$ tempo di applicazione ($i \times t$).

In questi casi la risposta è proporzionale alla quantità: $i \times t$. Più che di sensibilità, si può parlare di reazioni biochimiche. Si applica una legge di proporzionalità.

Bisogna poi aggiungere che, soprattutto negli animali, ogni recettore è esclusivamente o preferibilmente sensibile solo ad un dato tipo di stimolo: qualunque forma di occhio non permetterà certo la percezione di suoni, ad es.

Pensiamo anche che, più spesso, il recettore di luce e suoni (un esterolettore) è destinato a ricevere messaggi dall'ambiente, ma, in altri casi, svolge la sua funzione rispetto a segnali acu-

stici od ottici prodotti da altri viventi, della sua o di altra specie.

Un raro caso di emissione di segnali non destinati ad altri esseri viventi, ma all'individuo stesso che li emette, è quello dei segnali di orientamento. Ci riferiamo al caso ben noto del "sonar" dei pipistrelli che utilizzano gli ultrasuoni da loro stessi prodotti e riflessi dagli oggetti circostanti per orientarsi al buio. Ne accenniamo perché sembra che alcune farfalle notturne² usino un sistema simile, come vedremo.

La percezione può anche essere legata ad un singolo parametro dello stimolo, ma non a tutti. Per es., molti animali non percepiscono i colori, come moltissimi vertebrati, ma sono ben sensibili al chiaro-scuro.

Così l'eccitazione di un recettore ha significato se provoca nell'organismo che lo porta una modificazione (strategia di fuga davanti ad un predatore, ricerca del partner nell'epoca degli amori, ecc.) capace di aumentarne la vitalità e la capacità riproduttiva.

Ne consegue che il recettore dovrà inviare segnali ad uno o più **effettori** (ghiandole, muscoli, ecc.) capaci di assicurare quel vantaggio a quell'individuo od alla sua specie.

Deve allora esistere un sistema di comunicazione interno all'organismo, teso fra recettori ed effettori. Quello che chiamiamo un "sistema nervoso", un sistema che svolge questa funzione di "comunicazioni interne" all'organismo. Di questo accenniamo qui poiché si tratta di un fenomeno chimico-fisico.

Il sistema nervoso ha dunque la funzione di trasmissione di segnali fra organi. Una tale trasmissione può essere mediata anche da fattori strettamente chimici o biochimici (ormoni, enzimi, funzioni immunitarie), ma il segnale nervoso ha diverso carattere. Esso viene indirizzato in un punto preciso dell'organismo, mentre l'ormone è diffuso ovunque assieme al sangue, anche nel caso frequente in cui solo alcuni organi rispondono.

Il "conduttore" nervoso è un prolungamento del citoplasma di una cellula (il neurone), breve e ramificato (dendrite, che conduce gli impulsi in direzione centripeta, verso il corpo cellulare o pirenoforo), oppure lungo e ramificato solo all'estremità (cilindrassa o assone, con conduzione centrifuga). Dendriti ed assoni costituiscono le "fibre nervose".

Semplificando, una fibra nervosa è un sottile cilindro delimitato da una membrana³; sui due lati della membrana si trovano concentrazioni diverse di ioni metallici (sodio e potassio, soprattutto), ed il mantenimento di questa differenza è dovuto a meccanismi biochimici attivi, con consumo di energia (a spese di ATP = adenosintrifosfato, un diffuso mediatore chimico).

La differenza di concentrazione ionica viene mantenuta nel tempo nella fibra a riposo, e porta ad una differenza di potenziale fra le due superfici della membrana. Questo "potenziale di membrana a riposo" viene indicato come "polarizzazione" della fibra. Esso contempla una maggior concentrazione di ioni potassio all'interno, e di ioni sodio all'esterno, il che porta ad un potenziale di 70-80 mV, col negativo all'interno.

Quando il neurone cui la fibra è collegata viene stimolato (o trasmette un impulso ricevuto da un altro neurone), lungo la fibra si propaga uno "spike", una rapida inversione della polarizzazione di membrana, che porta ad un potenziale negativo all'esterno di circa 30 mV: la fibra si depolarizza. Lo "spike" dura meno di un millisecondo e, dopo poco, la situazione iniziale viene ripristinata.

La propagazione di questi impulsi avviene con velocità, al massimo, di qualche metro al secondo; molto minore nel sistema nervoso viscerale.

I fenomeni di conduzione nervosa appena sintetizzati si presentano, con poche varianti, in tutto il mondo animale.

Un'ultima considerazione generale si può esprimere pensando alla portata dei vari recettori.

² Le farfalle "notturne" ("Eteroceri") rappresentano, accanto alle "diurne" ("Ropaloceri"), una delle due grandi divisioni dell'ordine dei Lepidotteri. Il linguaggio comune inglese usa per esse il termine generico "moth" il quale, per la solita faciloneria dei traduttori, viene correntemente convertito in "falena". Ma il termine "falena" va riservato ad alcuni generi ben specifici nello sconfinato mondo delle farfalle notturne.

³ Sorvoliamo sulla distinzione fra fibre somatiche mieliniche, più veloci, e fibre viscerali, amieliniche.

Basta riflettere sulla differenza fra l'ambiente marino e quello terrestre.

Nel primo caso, l'acqua consente la trasmissione a lunga distanza di messaggi olfattivi ed acustici; quelli visivi non vanno molto in là per via della torbidità dell'acqua; quelli termici si perdono a causa dell'elevata capacità termica dell'acqua. La visione in ambiente marino non è quindi di grande portata.

In ambiente terrestre, invece, i segnali olfattivi ed acustici sono parimenti a lunga portata, e sono trasmissibili anche attraverso la vegetazione; quelli visivi sono potenzialmente efficaci a lunghissima distanza, ma solo in assenza di ostacoli interposti: basta un cespuglio, tutto a favore del carnivoro che tende un agguato ad una preda.

Il sistema visivo degli animali terrestri è, infatti, estremamente evoluto.

Dopo queste considerazioni generali, vogliamo ora occuparci dei segnali acustici od ottici emessi o ricevuti dagli Insetti, degli organi deputati alla loro trasmissione e ricezione, della loro funzione. E ricorderemo alcuni esempi.

La TRASMISSIONE dei SUONI nel mondo degli Insetti

Se volessimo fare un confronto con i Vertebrati, verrebbe subito agli occhi che gli organi produttori e recettori di suoni nei Vertebrati si basano su strutture molto somiglianti, sono "omologhi", sono di simile derivazione embrionale: parte superiore dell'apparato respiratorio per la produzione, organo cranico strettamente collegato all'encefalo per la ricezione.

Negli Insetti, invece, gli uni e gli altri possiedono struttura e posizione assai diversa, sono difficilmente riconducibili ad uno schema comune. C'è da notare che organi produttori e recettori acustici sono spesso associati nella stessa specie. Segno della loro funzione comunicativa.

La struttura fisica degli organi produttori di suoni negli Insetti si basa su vari meccanismi:

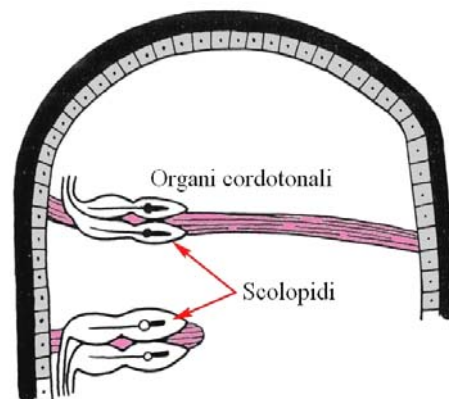
- sfregamento di appendici o parti dell'esoscheletro dotate di dentellature (elitre, zampe, fianchi del torace o dell'addome); in questo caso si parla, a somiglianza col violino, di "archetto" e di "corda", il tutto spesso sovrapposto ad una membrana risonante ("specchio").

- scatto di membrane in tensione, come vedremo nelle cicale. J. H. Fabre faceva un utile raffronto con quel giocattolo in uso tempo fa, chiamato "raganella" o "cri-cri" (bibl. 12, pag. 24). Si trattava di una lamina d'acciaio fissata in modo da poter scattare con un colpo secco se compressa, salvo ritornare di colpo alla posizione precedente con un colpetto altrettanto secco se abbandonata. Il rumore complessivo somigliava al gracidiare di una rana e, forse, al trillare del grillo.

Nelle cicale, una sottile membrana irrobustita da nervature ("cembalo", la chiama Fabre) è mossa da robusti muscoletti, che la portano a scattare come la lamina del cri-cri. Il suono prodotto viene poi rinforzato da varie cavità all'interno del torace e dell'addome che funzionano da casse di risonanza.

Negli organi sensori uditivi si ritrova una qualche affinità con quanto succede nei Mammiferi: la risonanza di quale elemento filiforme o laminare che stimola cellule nervose sensitive in contatto con esse. La parte filiforme o fibrosa è costituita da un cordone di tessuto molle fissato fra punti diversi nella superficie interna dell'esoscheletro ("organo cordotonale").

Fig. 2 – Vediamo qui lo schema di un organo di senso acustico (organo "cordotonale") molto diffuso fra gli Insetti: un fascio di cellule allungate tese all'interno di un organo fra pareti opposte dell'esoscheletro. Alla base dell'organo uno o più scolopidi, la vera parte sensibile, a struttura abbastanza costante.



La parte sensitiva di quest'organo è costituita da gruppi speciali di poche cellule (scolopidi), una delle quali veramente sensoria, in collegamento con una fibra nervosa, circondata da cellule di supporto.

La cosa strana è che gli organi cordotonali sono molto diffusi nella classe Insetti, si presentano in varie parti dell'organismo e svolgono funzioni assai varie: ricezione acustica, organi di equilibrio, propriocezione muscolare ed articolare, sensibilità tattile, anche riguardo a movimenti e vibrazioni dell'aria, e così via. Si potrebbero definire globalmente "sensori meccanici".

Fig. 3 – Alcuni organi cordotonali alla base dell'antenna di *Meconema varium*, una piccola locusta, diffusa anche in Italia, che non produce suoni, ma possiede un sensore acustico (timpano) sulle tibiae, come i grilli.

Un organo simile, quando è teso fra articololi differenti di un arto, acquista anche la funzione di propriolettore, nel senso che avverte l'animale della posizione e dello stato di movimento dei suoi arti.

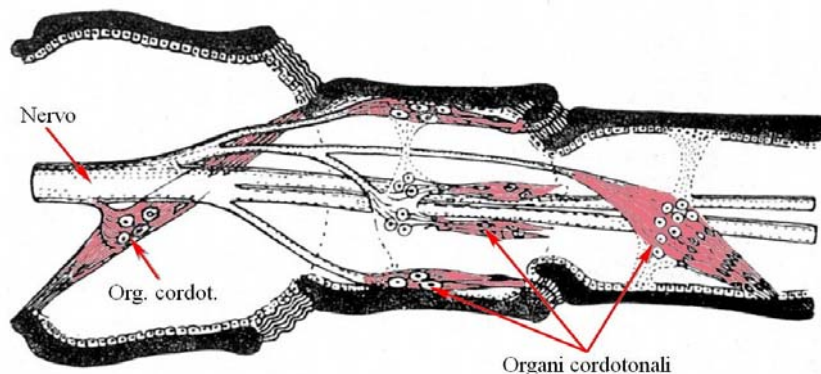


Fig. 4 – Quando il sensore acustico si trova nelle tibiae (il secondo segmento delle zampe), come nella locusta, lo scolopidio è collegato ad una doppia cavità, formata dall'espansione di due trachee⁴.

Questa struttura si trova in un allargamento della tibia del primo paio di zampe ed è circondata da due cavità ("timpaniche") collegate all'esterno.

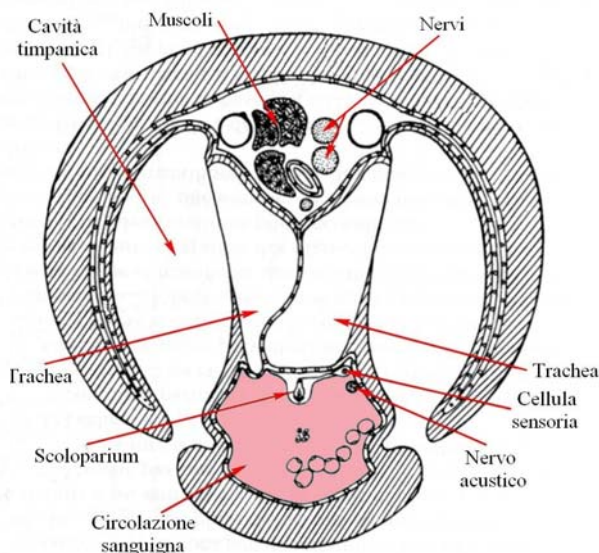
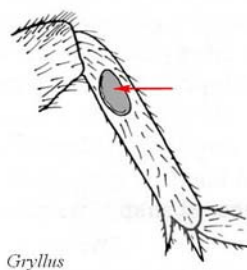


Fig. 5 – Zampa anteriore di grillo con la cavità timpanica in evidenza.



I sensori acustici degli Insetti sono quindi sempre collegati col tegumento e la cuticola, spesso col sistema tracheale, con la cellula sensoriale affiorante dal lato esterno e collegata internamente ad una fibra nervosa.

Per chiarezza, prima di proseguire, conviene dare un'occhiata alla struttura generale degli Insetti, chiamati anche Esapodi per il fatto di possedere sei zampe, almeno nelle forme adulte, ed escludendo rari casi di regressione, come il primo paio in certe farfalle.

Le sei zampe permettono di distinguere a colpo d'occhio la classe degli Insetti da organismi simili compresi nel "tipo" (*phylum*) degli Artropodi, come i ragni, scorpioni e simili (classe Aracnidi, 8 zampe), centopiedi e millepiedi (classe Miriapodi, con molte paia) e granchi, gamberi e simili (classe Crostacei, con numerose appendici toraciche ed addominali).

Il corpo degli Artropodi è spesso diviso in tre parti: capo, torace ed addome, ma in molti casi (Aracnidi e Crostacei soprattutto) il capo si fonde col torace in un blocco unico ("cefalotorace").

L'intero organismo degli Artropodi è costituito da organi molli contenuti in un rivestimento rigido (esoscheletro o dermascheletro). Mentre negli Artropodi lo scheletro è fuori e l'animale è

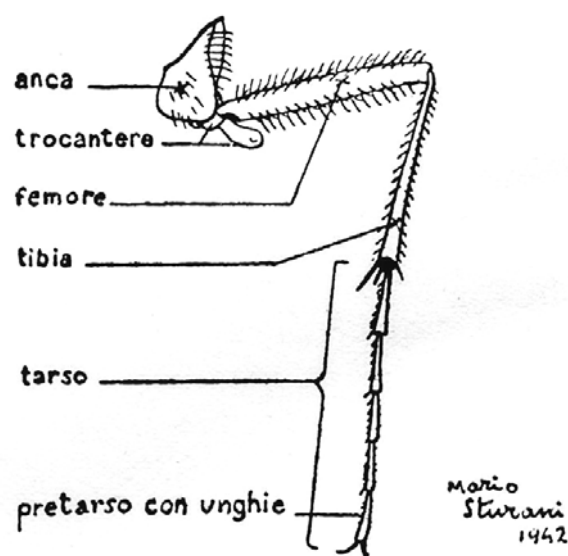
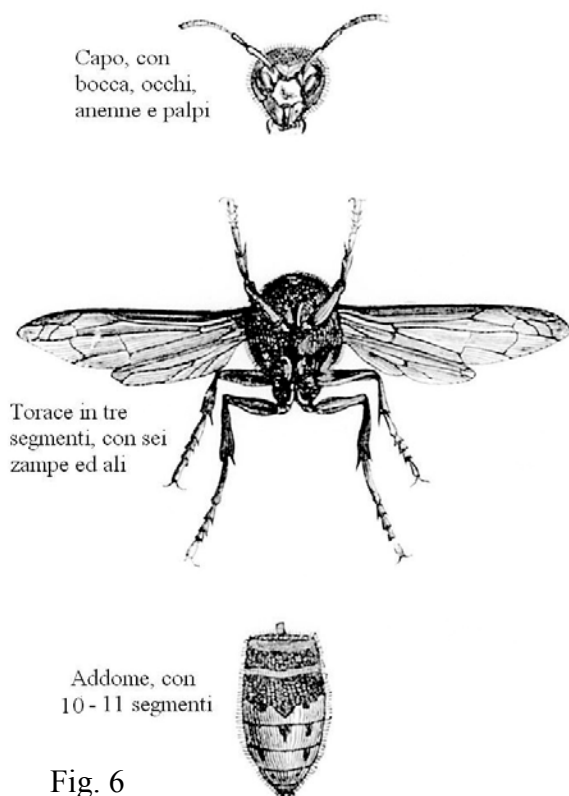
⁴ Come vedremo nell'art. n° A 19, le trachee sono le ramificazioni, direttamente collegate all'esterno, del sistema respiratorio degli Insetti.

dentro, nei Vertebrati, uomo compreso, lo scheletro è dentro e l'animale è fuori.

La composizione chimica dell'esoscheletro prevede polimeri organici quaternari, di tipo proteico, come la **chitina** (dal greco *chitin* = tunica), e va notato come sostanze simili alla chitina si trovino nelle pareti cellulari dei funghi, il che spiega la difficoltà di definire la posizione sistematica dei funghi stessi.

Per consentire la mobilità, l'esoscheletro è diviso in parti (segmenti o articoli) che possono muoversi fra loro per il fatto di essere congiunte da porzioni più sottili e flessibili dell'esoscheletro. I segmenti o articoli sono piuttosto rigidi e genericamente chiamati "scleriti"; nel torace e nell'addome si trova uno sclerite dorsale ("tergite") ed uno ventrale ("sternite"), collegati da pareti laterali più sottili ("pleure").

Le tre paia di zampe degli Insetti sono articolate sempre sui tre segmenti del torace, ed hanno una struttura caratteristica.



Nelle larve di molti Insetti (il termine "bruchi" va riservato alle larve dei Lepidotteri = farfalle) si trovano quattro o più "false zampe" sugli ultimi segmenti dell'addome: non si tratta di zampe articolate toraciche – che pure sono presenti in queste larve – ma di semplici estrusioni sottili dell'esoscheletro dotate di muscoli.

Tornando alla comunicazione acustica, bisogna escludere dal nostro esame i suoni emessi da alcuni insetti, suoni privi di funzione comunicativa, suoni "passivi", legati ad altre funzioni. Pensiamo al rumore prodotto durante il movimento delle ali (uno stormo di cavallette in volo crea una specie di rombo, come di tempesta).

In questo caso, però, occorre fare attenzione.

Il sottile ronzio prodotto da certe zanzare, causa di tante insonnie, in certi casi avrebbe la funzione dissuasoria, con lo scopo di allontanare altri individui della stessa specie (... "qui ci sono io – fuori dai piedi").

Anche molti moscerini della frutta usano il ronzio delle ali in volo come richiamo sessuale.

Oppure pensiamo al rumore prodotto durante la masticazione di alimenti solidi. Sembra un rumore "involontario", ma anche qui, può assumere un ruolo vitale. Ecco un esempio.

Alcune vespe (Imenotteri), come la *Rhyssa persuasoria*, possiedono un lungo ovopositore,

fino a 40 mm, capace di perforare il legno per deporre le uova nel corpo delle larve di altre vespe (*Urocerus gigas*) che scavano gallerie all'interno dei tronchi di pino. Le due metà dell'ovopositore, che è sottilissimo, ruotano rapidamente avanti e indietro a mo' di trivella e non sembrano compiere alcuno sforzo in quanto, essendo minima la superficie terminale di quell'organo, la pressione diviene elevatissima. È noto che la pressione è data dal rapporto fra la forza applicata e la superficie di applicazione della forza stessa. Se la superficie è piccola, anche una piccola forza può dare un'elevata pressione.

Abbiamo citato questo esempio per chiarire che il rumore passivo prodotto dalla larva di *Uroceras* mentre rode il legno acquista in realtà una funzione biologica in quanto serve da "bersaglio" per dirigere con precisione l'ovopositore della *Rhyssa*. Utilità a senso unico, forse, ma la natura è fatta così.

Un rumore che sembra privo di funzione è invece quello prodotto dal piccolo coleottero Carabide *Brachinus crepitans* (lungo meno di un cm), colorato di verde nelle elitre e di rossastro nel torace. Quando è disturbato, questo combattivo insetto si difende con un meccanismo chimico, cui è accompagnato un rumore apparentemente privo di funzione.

Fig. 8 – Il *Brachinus crepitans* in azione. Dal retto emette una miscela di due liquidi, tenuti separati fino a quel momento: acqua ossigenata ed una miscela di enzimi e sostanze corrosive (idrochinone ed altri). La miscela produce la decomposizione esplosiva dell'acqua ossigenata ed un rapido crepitio.



Suoni dissuasori

Si tratta di segnali atti a confondere eventuali predatori o a "mimetizzare" la preda.

Sappiamo bene che molti insetti (ad altri animali) presentano livree e colori atti a confonderli con l'ambiente (mimetismo criptico, vedi l'art. n° A 6, "Il mimetismo", pag. 3 e segg.).

Questo meccanismo ha però efficacia solo in un ambiente illuminato e con predatori dotati di vista.

Nel caso di farfalle notturne, spesso preda di pipistrelli, alcune specie (per es. la *Bertholodia trigona*) adottano un mimetismo acustico, nel senso che producono durante il volo un rumore caotico ("bianco"), capace di confondere il "sonar", l'ecolocazione di cui i pipistrelli sono dotati. Diventano così invisibili in ambiente notturno, dove il predatore caccia proprio in funzione dei suoni riflessi dalle prede.

Analoga funzione ha il baccano infernale di cui sono capaci le colonie di cicale nei climi caldi: un rumore diffuso che rende impossibile ai predatori individuare le singole prede.

Suoni a funzione orrificica o di avvertimento

Vengono spesso prodotti dagli Insetti dei suoni mirati ad avvertire gli eventuali predatori che la preda è in grado difendersi o di aggredire. Possiamo parlare di dissuasione o, in termine tecnico, di aposematismo (segnali di ripulsa, di allontanamento).

Nel caso dei segnali visivi, come vedremo, molte specie velenose o comunque poco appetibili mostrano livree colorate ed appariscenti, non per nascondersi (e sarebbe mimetismo criptico), ma per rendersi ben riconoscibili e dissuadere l'eventuale predatore (vedi l'art. n° A 6, pag. 14). Anche la produzione di suoni particolari assume talvolta proprio la funzione di avviso, di "fatti in là", oppure "guarda che è peggio per te".

Abbiamo appena citato il caso delle farfalle notturne che emettono segnali sonori per disorientare i pipistrelli; segnali simili in altre specie possono rientrare nel caso dell'aposematismo: infatti, tali farfalle sono spesso tossiche e disgustose ed il suono emesso serve ad avvisare i pipistrelli che non c'è nulla da guadagnare da quella predazione.

Cominciamo con qualche esempio, qualcuno fra i tanti, di segnali orrificici.

Vi sono alcune specie di vespe (Mutillidi) in cui le femmine sono pelose, colorate e prive di

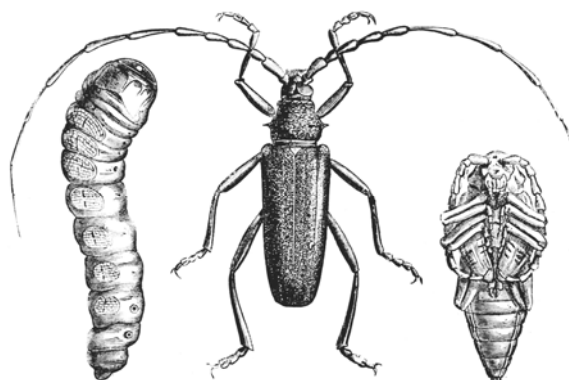
ali, e vengono chiamate “formiche vellutate”. Se le si afferra fra le dita, emettono uno stridio acuto sfregando il secondo col terzo segmento addominale. Anche i maschi possono farlo, e sono alati.

Fig. 9 – *Mutilla europaea*, lunga circa 10 mm, parassita delle larve di bombi, dotata di pungiglione. Alcune specie sono italiane. I colori vistosi di queste vespe pelose possono poi avere un significato aposematico.



Qualcosa di simile fanno nelle stesse circostanze molti coleotteri Cerambicidi (come il “cerambice eroe” e la *Aromia moscata*).

Fig. 10 – *Cerambix heros*. Il maschio è lungo intorno a 50 mm; le antenne fino a 70-80 mm. Le larve (a sinistra) sono lunghe fino a 10 cm e scavano nel legno delle querce per tre anni. A maturità, le larve escono dalla galleria, scendono in terra e si scavano un bozzolo in cui si trasformano in pupe (a destra); ne usciranno, adulte, in estate.



Anche i Cerambicidi generano un forte stridio muovendo il torace rispetto all’addome o i segmenti del torace fra loro.

Fra gli Emitteri (Cicale, cimici delle piante, cimici degli animali, ecc.) la famiglia dei Reduviidi presenta molte specie predatrici ed ematofaghe (succhiatrici di sangue), dotate di un rostro che viene tenuto, a riposo, ripiegato sotto il corpo. In molte specie, sotto al torace esiste una doccia denticolata; sfregando su di essa il rostro, pur esso provvisto di dentelli, viene prodotto uno stridio udibile. Stranamente, tale suono d’avvertimento è emesso anche dalle larve – la metamorfosi in quest’ordine è incompleta, e le larve somigliano molto all’adulto.

Fig. 11 – *Reduvius personatus*. Il nome viene dal fatto che le larve si coprono di polvere e detriti per mimetizzarsi con una specie di maschera (*persona*, in latino, significa appunto “maschera”). Molte specie, con la puntura, trasmettono malattie parassitarie, come la “malattia di Chagas”.



Sempre fra gli Emitteri, parleremo più oltre delle Cicale, di cui è ben noto il canto assordante nelle giornate calde. Spesso si descrive tale canto (che poi si tratti di un canto è tutto da discutere) come un mezzo per facilitare l’incontro dei sessi. Ma, generalmente, le cicale si distribuiscono sui tronchi degli alberi a pochi centimetri l’una dall’altra, in mezzo a milioni di altri individui, in totale promiscuità di sessi. Non si capisce perché sia necessario tutto quel baccano per attirare una femmina che sta aspettando lì accanto.

Anche molti animali (uccelli, come gli storni, pesci, zanzare) tendono a raggrupparsi in grandi gruppi, e questo viene generalmente interpretato come un mezzo per disorientare i predatori. Anche il sovrapporsi del canto di tante cicale può avere questo effetto, come ricordato sopra.

Più difficile è interpretare la funzione dei rumori prodotti da molti Ortotteri (cavallette, grilli ed affini) durante il volo. Quando il numero degli individui è elevato, non si può parlare di ricerca del partner sessuale. Più probabilmente la funzione è di tenere al corrente tutti i membri dello

stormo circa la presenza di altri conspecifici (mantenere la coerenza del gruppo) ed il numero di essi.

Abbiamo appena ricordato la funzione difensiva dello stormo rispetto ai predatori, ma una funzione riconosciuta da molti ricercatori è quella di avvertire ogni membro circa la densità della popolazione, in modo da modulare il ritmo riproduttivo in base alle necessità demografiche della specie.

Comunque, anche la più ottusa delle cicale maschio, quando viene disturbata, emette rumori molto diversi da quelli emessi in stato di libertà. Segno che l'individuo emette suoni adatti a diverse circostanze e con diverse funzioni.

Mimetismo acustico

Abbiamo parlato sopra del caso della farfalla notturna *Bertholodia trigona* che si nasconde producendo un rumore caotico per disorientare il pipistrello predatore.

Un caso di mimetismo imitativo è quello della farfalla *Maculinea arion* (Europa settentrionale ed Asia). I suoi bruchi, dopo la terza muta, strisciano sul terreno emettendo un segnale chimico identico a quello delle larve della formica rossa (*Myrmica sabuleti*). Le formiche seguono subito il segnale e trasportano i bruchi della farfalla nel formicaio, credendoli loro larve. Qui le larve della farfalla completano il loro sviluppo divorando le larve delle formiche (troppo tonte per accorgersi del trucco).

Abbiamo qui un caso di mimetismo chimico. Ma non basta. I bruchi della farfalla emettono anche un segnale acustico debolissimo, identico a quello emesso dalle regine, segnale che spinge le operaie a nutrire la regina ad oltranza. Con quel segnale, le formiche operaie nutrono il bruco predatore come se fosse la loro regina. Il danno e la beffa.

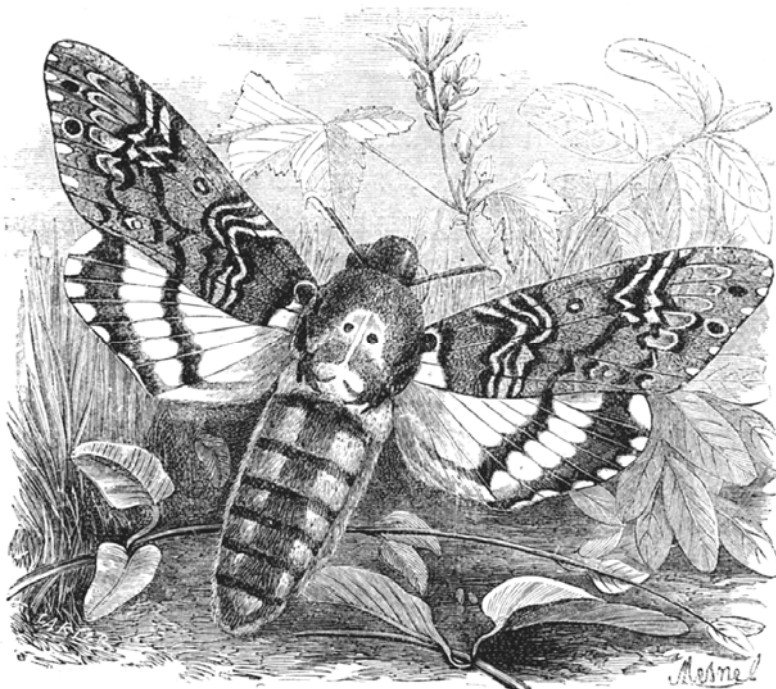
Altro caso di mimetismo acustico è quello della farfalla notturna “sfinge testa di morto” (*Acherontia atropos*) di distribuzione quasi mondiale, di grandi dimensioni (fino a 125 mm di apertura alare).

Fig. 12 – La “testa di morto” deve il suo nome alla macchia chiara che porta sul torace ed al sibilo che emette. Ma quel suono non ha niente a che fare con i morti.

L'animale è fornito di una breve spiritoromba con cui perfora i favi delle api per sfruttarne il miele. Il sibilo viene prodotto soffiando aria nella proboscide.

Analogo suono viene prodotto quando l'insetto è molestato.

Il mimetismo in questo caso sta nel fatto che il sibilo emesso dalla farfalla è identico a quello emesso dalle api operaie all'interno dell'arnia. Tale segnale serve a ridurre la conflittualità fra le operaie e quindi protegge anche la farfalla dagli attacchi di esse.



Segnali acustici mirati all'incontro dei sessi

Molto spesso, come in altri animali, i suoni emessi dagli insetti servono a facilitare l'incontro dei partner nel momento della riproduzione. A parte i casi dubbi sopra citati (il coro delle cicale, lo stridio delle cavallette, ecc.), l'interpretazione di quei suoni in funzione riproduttiva è giustifi-

cata dal fatto che gli organi per la loro produzione sono spesso limitati ai maschi o, per lo meno, sono usati in prevalenza dei maschi.

E questo è il caso più comune per i segnali acustici trasmessi fra insetti.

In generale, risulta che gli Insetti non possono variare molto la frequenza o il timbro dei suoni emessi; possono variarne in genere l'intensità e la cadenza, nel senso che si tratta spesso di brevi treni d'onda intervallati da periodi altrettanto brevi di silenzio. Quello che varia spesso è la frequenza dei treni d'onda, non la frequenza all'interno del singolo treno.

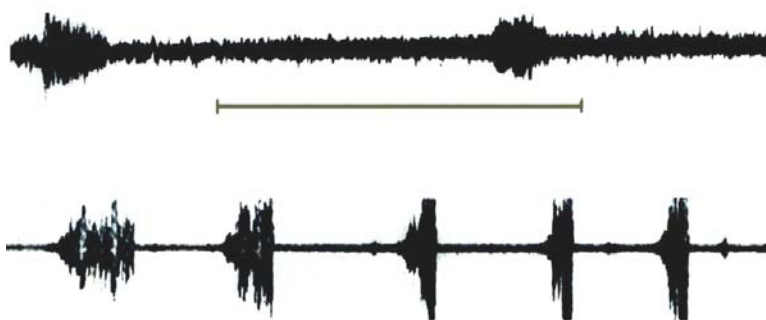
Fig. 13 – Oscillogramma dei suoni emessi da due differenti specie di cavallette.

Questi schemi di emissione si ripetono a ritmo veloce, come si deduce dalla sinusoide della curva intermedia, che corrisponde alla frequenza di 10 Hz. (l'intero tracciato corrisponde a 2,5 secondi).



Fig. 14 – Questi sono gli oscillogrammi di due specie di cimici delle piante (*Rhyncaenus fagi* e *R. rusci*), lunghe pochi millimetri, parassite del faggio e delle betulle.

Il segmento orizzontale corrisponde ad un centesimo di secondo, per cui l'intera curva corrisponde a poco più di 0,02 secondi. L'orecchio umano non riesce a percepire una successione così fitta di trilli e può dare la sensazione di un suono continuo.



La frequenza base è di 80 Hz per il tracciato superiore e 200 – 300 Hz per quello inferiore.

Come si vede da questi esempi, quello che cambia da una specie all'altra è la cadenza dei singoli trilli più che la frequenza del suono.

Allo stesso modo, gli Insetti non sembrano rispondere all'altezza (frequenza) dei suoni, ma piuttosto alla loro distribuzione temporale ed al ritmo, e comunque riconoscono generalmente solo i suoni emessi da altri individui della loro specie, suoni dotati di significato biologico preciso.

Sono famose le osservazioni di J. H. Fabre (bibl. 12, pag. 30): egli aveva notato l'acutezza visiva delle cicale che interrompevano il loro canto appena egli si avvicinava al loro albero, ma non si accorgevano che sotto di loro si sparavano forti colpi con un cannoncino lanciarazzi.

Data la varietà sopra citata nelle strutture uditive degli Insetti, conviene esaminare una piccola serie di esempi.

Chi ha avuto l'esperienza di dormire in una stanza con mobili vecchi avrà sentito, nel silenzio, un ticchettio ritmico. I nostri vecchi lo chiamavano "l'orologio della morte" o "di S. Pasquale". Si tratta del rumore prodotto dai "tarli", non a causa dello scavo della loro galleria nel legno, ma, volutamente, con colpi secchi del capo contro le pareti.

Il nostro dormiente presso mobili tarlati si sarà forse accorto che il ticchettio può provenire da punti diversi; non solo, ma ad un colpetto o due colpetti da un lato risponde dopo pochi secondi un analogo colpetto di rimando da un altro lato. "Si sono capiti". Potrebbe sembrare un modo un po' scomodo di fare coppia, ma mettiamoci nei panni del tarlo: come fare a trovare la compagna stando incastrato in un bucanino di un vecchio mobile?

Fig. 15 – *Anobium punctatum*. Il vero “tarlo”, m poco rumoroso. Molte specie di Coleotteri, della famiglia Anobidi ed altre, hanno costumi simili e vivono nel legno secco. Le dimensioni sono di pochi millimetri e la forma è cilindrica, adatta al loro habitat.

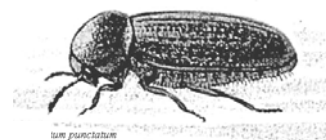


Fig. 16 – *Xestobium rufovillosum*, altro coleottero, sempre di pochi millimetri, è il vero “orologio della morte”.



Fig. 17 – *Liposcelis divinatorius*. Piccolo insetto (circa un millimetro) che ha costumi simili ai precedenti ed è stato associato all’orologio della morte – da cui il nome – ma senza motivo. Col suo minuscolo corpo molle non potrebbe produrre alcun suono.

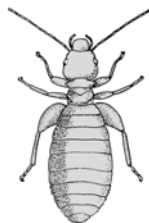
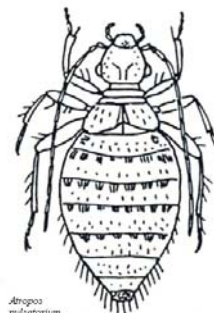


Fig. 18 – Viceversa è stato associato con qualche ragione ai tarli un suo simile, sempre dell’ordine degli Psocotteri, l’*Atropos pulsatorium*. Le femmine di questa specie, stavolta solo le femmine, producono un leggero ticchettio battendo ritmicamente l’addome sulla superficie cui aderiscono. Ignota la funzione.

Le dimensioni sono un po’ maggiori: circa 2 mm.



Fra gli Emitteri Eterotteri vi sono gruppi di specie acquatiche: sembra privo di senso, ma alcune (Corixidi) sono capaci di emettere uno stridio udibile. Esse nuotano a scatti con le zampe posteriori che sono molto più robuste delle altre e sono munite di numerose setole in modo da fungere da remi.

Sono carnivore e dotate di un robusto rostro dentellato.

I Corixidi nuotano a pancia in giù e producono suoni sfregando sia il rostro con le zampe anteriori, sia le zampe con le setole delle altre zampe. Vengono chiamati perciò “cicale d’acqua” (bibl. 4, pag 795).



Fig. 19 – La *Notonecta glauca* è una specie molto diffusa, che nuota invece a pancia in su. Ben visibili le zampe posteriori col loro pettine di lunghe setole.

Va ricordato che, in acqua, i suoni si trasmettono assai meglio che in aria.

Oltre alla *Acherontia atropos*, citata più sopra (pag. 9, fig. 12), molte altre farfalle sono in grado di emettere suoni (Bibl. 33, pag. 110).

La *Arctia pudica* e la *Eudrosa aurita* battono i femori delle zampe posteriori contro le membrane tese che si trovano sui lati del torace. Sotto le membrane si trovano cavità con funzione di risonanza.

La *Vanessa antiopa* sfrega il bordo delle ali posteriori sulle anteriori.

Fig. 20 – L’*Antiope* è la più nobile delle farfalle. Di lontano appare nera, ma è di un bruno scuro con riflessi violacei.

Sui bordi delle ali, una striscia bianca, come l’ermellino di un manto regale.

Non si mostra con colori vivaci, ma con la discrezione di chi sa di poter volare da solo.

Poiché questi suoni sono prodotti più spesso nei maschi, si tratta probabilmente di richiami sessuali.



Nei climi tropicali, si sa, gli insetti appaiono spesso di dimensioni esagerate. Nel Madagascar esiste una blatta, chiamata “scarafaggio fischiante”, che arriva ad 80 mm di lunghezza ed è priva

di ali (*Gromphadorhina portentosa*). Insufflando aria in appositi sfiatatoi può emettere un forte sibilo, con funzione deterrente verso i predatori.

Suoni analoghi sono emessi da grosse cicale, sempre dei paesi caldi.

Tornando alle api, è noto dalle ricerche di Karl von Frisch⁵ come le api “esploratrici” o “bottinatrici”, tornando all'alveare, sappiano comunicare alle compagne la posizione e la distanza della fonte di cibo con una serie di movimenti ritmici chiamati “danza”. Ma è stato fatto osservare (Bibl. 3, pag. 971) che, nel buio dell'alveare, difficilmente la percezione visiva della danza può bastare. Sembra che la bottinatrice emetta suoni o vibrazioni di frequenza tale da indicare la distanza della fonte. Le vibrazioni sarebbero percepite dalle compagne con le antenne e le zampe.

Le più famose cantanti sono certamente le **cicale**. Un canto che ha meritato loro l'appellativo di “stridulanti” e, come già detto, più che da richiamo sessuale, serve da segnale di aggregazione della popolazione.

La struttura del loro organo di fonazione è stata magistralmente descritta a H. Fabre (Bibl. 12, pag. 23 e segg.) al cui lavoro non si può che indirizzare il lettore.

Si tratta di un meccanismo descritto più sopra (pag. 4) che parte da vaste cavità nel primo segmento addominale, con funzioni di risonanza, coperte da un opercolo di consistenza cartilaginea.

Fig. 21 – Cicala maschio, dal ventre. Gli opercoli e le sottostanti cavità addominali non producono il suono, lo rinforzano. Distruggendoli, l'insetto non tace. I movimenti degli opercoli possono solo modulare il suono prodotto dal “cembalo”. Nelle femmine, gli organi stridulanti sono rudimentali.

Le cavità addominali comunicano poi con minori cavità nel metatorace (ultimo segmento del torace), a loro volta comunicanti con l'esterno. Queste ultime contengono la rigida lamina che produce il suono (“cembalo”), la quale viene deformata ritmicamente da speciali muscoli a forma di V.

Abbiamo già detto che gli organi acustici degli Insetti sono spesso accompagnati da cavità risonanti, ma occorre notare che si tratta spesso di dilatazioni delle trachee, i sottili conduttori d'aria che si distribuiscono in tutto l'organismo e costituiscono il sistema respiratorio.

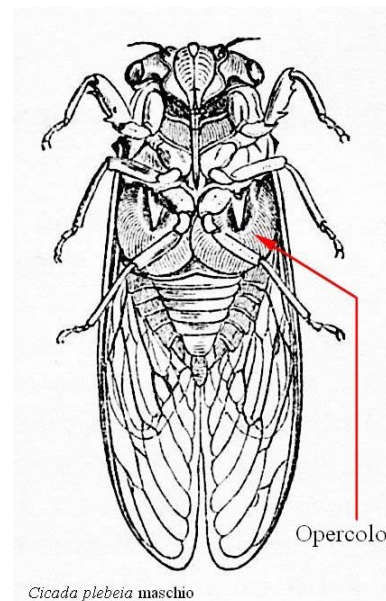
Alla base dell'addome (primo segmento), dietro lo stinca⁶, si trovano i recettori acustici, detti anche “timpani”, uno per lato, ma solo negli adulti, come avviene anche per gli organi stridulanti. I recettori acustici si trovano in entrambi i sessi.

Le cicale, di cui esistono molte specie, fanno parte dell'ordine degli Emitteri, che comprende le “sputacchine”, le “cimici delle piante”, ecc.

Comuni sono gli Insetti stridulanti anche nell'ordine degli Ortotteri. Hanno quattro ali, il secondo paio membranose, ma le anteriori rigide e coriacee, chiamate impropriamente “elitre” a somiglianza di quelle dei Coleotteri o, meglio, “tegmine”.

Va notato che, in molte specie, il canto dei maschi cambia struttura se è vicina una femmina.

Trattandosi di un ordine ricco di specie, conviene distinguere due sottordini: **Ensiferi**, con antenne sottili e filiformi; quando producono suoni, lo fanno sfregando fra loro le tegmine; i recettori timpanici si trovano nelle tibie del primo paio di zampe (vedi la fig. 5, pag. 5), accompagnati in genere da dilatazioni delle trachee.



⁵ Karl von Frisch, etologo austriaco (1886–1982), Nobel per la Medicina e la Fisiologia assieme a K. Lorenz e N. Tinbergen nel 1973.

⁶ Lo stinca è l'apertura verso l'esterno del sistema respiratorio degli Insetti (vedi l'art. n° A19, pag.).

Comprendono grilli, cavallette e grillotalpa.

I **Celiferi**, l'altro sottordine degli Ortoteri, comprendono specie con antenne corte e grosse. L'organo stridulane è costituito dall'orlo dentellato delle zampe posteriori che viene sfregato sulle tegmine. In alcune specie, esso si trova anche nelle femmine, ma più ridotto.

La membrana timpanica si trova nel primo segmento addominale, in alto.

I Celiferi sono ottimi volatori e possono saltare fino a 200 volte la loro lunghezza, servendosi delle zampe posteriori, dotate di grossi e muscolosi femori e di lunghe tibie.

Sono Celiferi gli Acrididi, come le locuste migratrici, impropriamente chiamate "cavallette".

NB: inutile dire che un ordine così ricco di specie viene dagli specialisti di sistematica suddiviso in gruppi sempre più dettagliati, sottordini, superfamiglie, tribù, ecc. Difficile raccapezzarsi poiché ogni autore segue una classificazione personale.

Anche i termini "cavalletta" e "locusta" sono equivoci e spesso usati con diversa attribuzione.

I **grilli** volano poco poiché il secondo paio di ali, membranose, è ridotto. Molte sono le specie, diffuse in tutto il mondo.

I maschi producono suoni sollevando le tegmine e sfregando quella destra sulle nervature o sull'orlo posteriore della sinistra. Le due tegmine sono simili ed ognuna porta un orlo dentellato ed una parte centrale più sottile che è la vera membrana vibrante che emette il suono, ed è chiamata "specchio".

L'orlo dentellato appena citato si trova verso la parte anteriore delle tegmine e l'animale può variare la posizione reciproca di esse e la loro posizione rispetto all'addome. Ovviamente, abbassando le tegmine il suono si smorza. Ma non basta.

Le tegmine del grillo non sono piane ma ripiegate a tetto: la parte superiore, con lo specchio, è disposta orizzontalmente; l'altra parte, verso l'esterno, è verticale e sfiora i lati dell'addome. Variando il contatto con l'addome, la vibrazione della tegmina può essere più o meno smorzata.

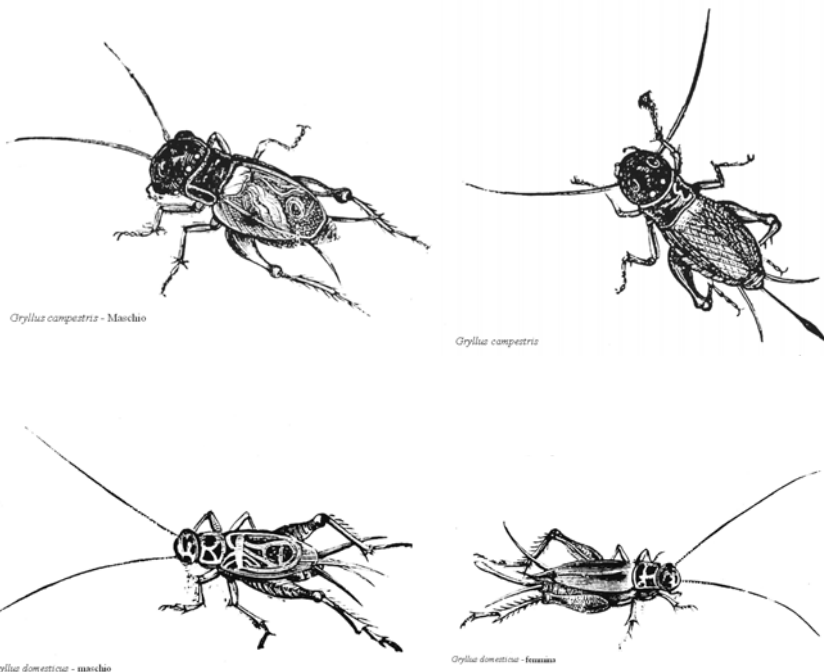
Anche le nervature delle tegmine sono di varia conformazione e lo sfregamento con la nervatura dentellata può verificarsi sull'una o sull'altra.

Da tutto ciò si comprende come il canto del grillo possa variare molto a seconda dello stato di allerta dell'insetto, della temperatura, ecc. (Bibl. 12, pag. 85 e segg.).

Fig. 22 – Il grillo campestre (maschio e femmina) (*Gryllus* o *Liogryllus campestris*) si riconosce subito per il capo tondo e lucido, ma non è quello che canta di più. È poco dannoso, poiché vive nei campi. Scava gallerie, ma non per allevare la prole: solo per rifugio. Notevole l'ovopositore della femmina (a destra).

Il suo canto è frequente all'inizio dell'Estate, poi è soppiantato da quello del grilluccio (vedi qui sotto).

Fig. 23 – Più dannoso è il grillo domestico (maschio e femmina) (*Gryllus domesticus*) che attacca le derrate, specialmente quelle a base di farinacei).



Ma il più canterino è il "grilluccio" (*Oecanthus pellucens*) (figura seguente).

Anche per questo non si può consigliare più piacevole ed esauriente descrizione che quella offerta da H. Fabre (bibl. 12, pagg. 92 e segg.).

Fig. 24 – Il grilluccio è piccolo (11 – 13 mm) ed esile ma le sue tegmine sono ben sviluppate. È quello che inonda i campi d'estate con il suo stridore monotono, sostituendosi al grillo campestre dopo la Primavera.

La femmina scava gallerie per deporre le uova in molte piante coltivate, come carote, vite e canapa, danneggiandole. Lo sviluppo dura oltre un anno.

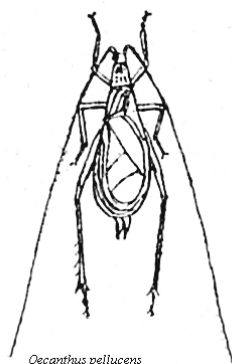


Fig. 25 (a destra) – *Gryllotalpa gryllotalpa*, adulto in volo, larve sul terreno, galleria e cella per le uova. Lunghezza da 40 a 50 mm.

La **grillotalpa**, sempre del sottordine degli Ensiferi⁷ è un animale tozzo e robusto, anche se capace di volare. La sua specialità è scavare gallerie e, come adattamento a questa “nicchia”⁸, le sue zampe anteriori sono fornite di grossi denti rivolti all'esterno, adatti allo scavo.



La forma delle zampe ed il modo di vita giustificano il nome di “talpa”, associato a quello di “grillo”, visto la sua appartenenza sistematica. Le dimensioni sono di 40 – 60 mm.

L'animale mena vita notturna ed il suo canto, probabilmente con funzione di richiamo sessuale, è abbastanza cupo, simile a quello dei grilli, ed è prodotto dai maschi sfregando i margini delle tegmine fra loro. Le tegmine sono brevi e fornite di nervature salienti.

L'organo timpanico è ancora situato sulla tibia delle zampe anteriori.

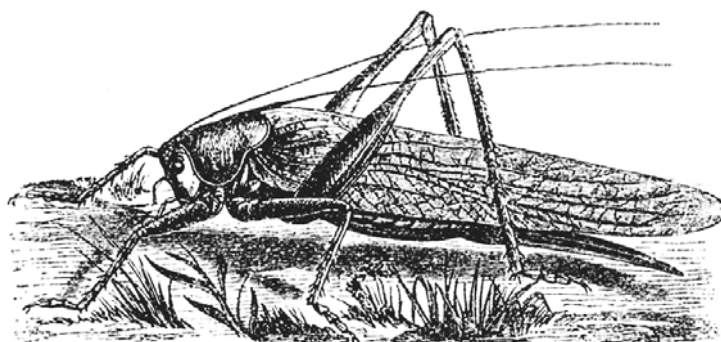
Fra gli Ensiferi è importante anche la famiglia dei Tettigonidi, cattivi volatori.

Fig. 26 – *Tettigonia viridissima*, più nota come “cavalletta verde”. Lo sviluppo delle zampe posteriori dimostra che questa specie è buona saltatrice.

Lunghezza fino a 5 cm.

L'ovopositore è lungo (30 mm) e ricurvo, più che negli altri Ensiferi.

Il suono viene ancora prodotto sfregando fra loro le tegmine, ma questa volta, a differenza dei Grillidi, la sinistra copre la destra. L'attività è in buona parte notturna.



⁷ Il termine “Ensiferi” viene dal fatto che l'ovopositore delle femmine è spesso lungo e ripiegato a sciabola. In latino, *ensis* significa, appunto, spada.

⁸ Il termine ecologico “nicchia” non ha valore topografico, non indica un luogo, un ambiente, ma piuttosto un modo di vivere in un certo ambiente. Nello stesso luogo od ambiente possono coesistere numerose specie, purché occupino diverse nicchie, in modo da non entrare in competizione. Per es., nello stesso prato possono coesistere insetti erbivori, talpe, uccelli granivori, carnivori (serpenti), insettivori (riccio), ecc., ognuno occupando una diversa nicchia.

Il *Decticus albifrons*, altra specie di grandi dimensioni e di costumi più diurni, verde e maculata di bruno, ha un canto più simile a quello di un uccello che di un grillo.

Passiamo ora agli Ortotteri del sottordine **Celiferi**, facilmente riconoscibili per le antenne corte e grosse e l'ovopositore breve.

Mentre negli Ensiferi la stridulazione è quasi sempre maschile, fra i Celiferi vi sono casi di femmine cantanti, sia pure con voce più flebile.

La "cresta", la corda del violino, tanto per intenderci, è ancora costituito da una nervatura di una tegmina ma, mentre negli Ensiferi l'"archetto" del violino è sull'ala opposta, nei Celiferi l'archetto è sulle zampe e l'ala fa da corda, almeno nel suo orlo esterno, con forti nervature.

Il canto dei Celiferi è più cupo, molto variabile nel ritmo, più simile ad un ronzio, ma comunque è costituito da periodi brevi ripetuti nel tempo, mentre negli Ensiferi, a temperature elevate, il canto può diventare continuo. Tutti cessano il canto se la temperatura si abbassa.

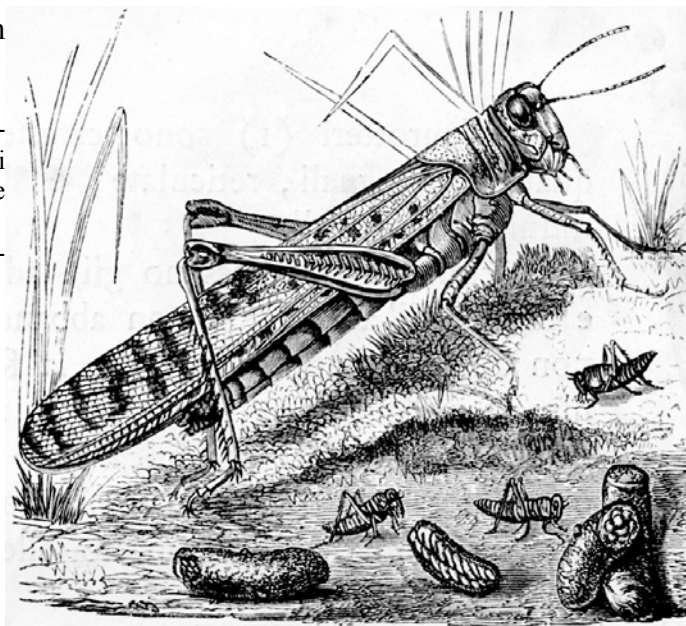
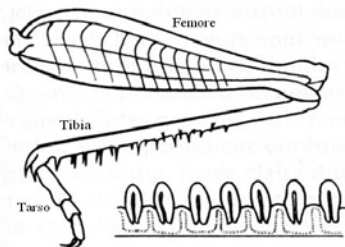
L'organo timpanico si trova sulle zampe anteriori negli Ensiferi, alla base dell'addome nei Celiferi.

L'unica famiglia di Celiferi presente in Italia è quella degli Acrididi.

Fig. 27 – *Locusta migratoria*, una delle partecipanti alle "piaghe d'Egitto", capace di sviluppi demografici improvvisi e devastazioni. È presente anche in Italia. Lunghezza: 35 – 55 mm.

I tarsi hanno solo tre articoli. Le uova sono deposte a gruppi, in piccoli bozzoli.

Fig. 28 – L'orlo dentellato delle zampe posteriori (vedi il dettaglio in basso) sfrega sull'orlo delle tegmine.



Va precisato che le "locuste" di biblica memoria, causa di tante devastazioni in Africa, appartengono a parecchie specie diverse, che si aggregano per ragioni sconosciute nelle migrazioni.

Una delle più pericolose è l'*Acridium peregrinum*, un po' più grande della precedente (fino a 70 mm), con le tegmine più lunghe del corpo.

Una specie nostrana, più piccola e non pericolosa, è la *Oedipoda germanica*, con la sua varietà (o specie) affine *Oe. coerulescens*, lunga la metà (15 – 21 mm, nei maschi, 22 – 28 mm, nelle femmine), amante dei luoghi aridi.

Oltre al gran baccano prodotto dagli stormi in volo, questo insetto mostra un tipico esempio di mimetismo criptico e, insieme, disruptivo, di disorientamento⁹.

Con le tegmine chiuse e le ali membranose ripiegate a ventaglio sotto di esse, l'insetto appare brizzolato di grigio, perfettamente criptico rispetto alle pietraie ed al terriccio. Se disturbato, spicca bruscamente il volo allargando le tegmine e spiegando le ali posteriori di un color rosso vivace. Questo spettacolo improvviso non può che disorientare un predatore. Bastano pochi secondi e la *Oedipoda* ricade al suolo, chiude le ali e diviene invisibile.

Nella varietà (o specie) *coerulescens*, le ali posteriori sono azzurre.

⁹ Vedi in questo sito l'art. n° A6, sul Mimetismo.

La TRASMISSIONE di SEGNALI VISIVI nel mondo degli Insetti

La mancanza di organi fotosensibili, anche fuori dal mondo entomologico, è appannaggio di specie molto primitive oppure di specie marine abissali o di specie troglobie, viventi negli interstizi del terreno o in cavità naturali prive di luce.

In talune specie di formiche, le operaie, destinate a rimanere all'interno del nido comune, possono mostrare occhi molto ridotti. Anche molte specie endoparassite, ovvio, non saprebbero che farsi degli occhi, vivendo all'interno del corpo di qualcun altro.

Tolte queste poche eccezioni, il senso della vista è assai diffuso nel mondo animale e consente ovviamente di avvertire nell'ambiente le sorgenti di cibo, le potenziali prede, i potenziali predatori, i potenziali partner, ecc.

Molti animali, e specialmente Insetti, sono sensibili a tutto lo spettro ottico (quell'insieme di radiazioni cui è sensibile l'occhio umano – detto volgarmente “luce”) ma, a volte, anche a bande spettrali contigue, infrarosso (IR) ed ultravioletto (UV).

Nella grande maggioranza dei casi, gli organi visivi si avvalgono della luce ambiente, naturale, e pertanto parleremo in larga misura di recettori, ma in alcuni casi (specie marine abissali, insetti notturni), è l'animale stesso a farsi sorgente di luce. Ne ripareremo.

Nelle forme viventi meno evolute – molti Invertebrati – i recettori ottici sono in grado di percepire semplicemente la presenza di luce o, al massimo, la direzione di provenienza di essa (singole cellule, macule oculari, occhi a fossetta, ecc.).

Noi ci occupiamo però degli Insetti, ed in essi gli organi fotorecettori sono sempre in grado di formare, a livello dei tessuti fotosensibili (“retina”) o di ricostruzione cerebrale, un'immagine dell'ambiente circostante e quindi di riconoscere la forma di un oggetto.

Il chimismo dell'occhio degli Insetti si basa come altrove su sostanze fotosensibili come la rodopsina (formata dalla proteina opsina e dal retinene, un'aldeide della vitamina A) che subisce una decomposizione reversibile sotto l'azione della luce. Sembra che vi siano diverse sostanze con diversa sensibilità spettrale, il che spiega la sensibilità degli Insetti ad una gamma di radiazioni anche fuori dallo spettro ottico, ma ciò non comporta necessariamente la loro capacità di percepire i colori (vedrebbero tutto in toni di grigio), anche se per alcune specie qualche capacità in questo senso pare accertata.

Gli occhi degli Insetti sono di due tipi fondamentali, con struttura molto diversa: occhi semplici (“ocelli”) oppure “occhi composti”. La coesistenza di due sistemi visivi molto diversi è rara in altri gruppi animali.

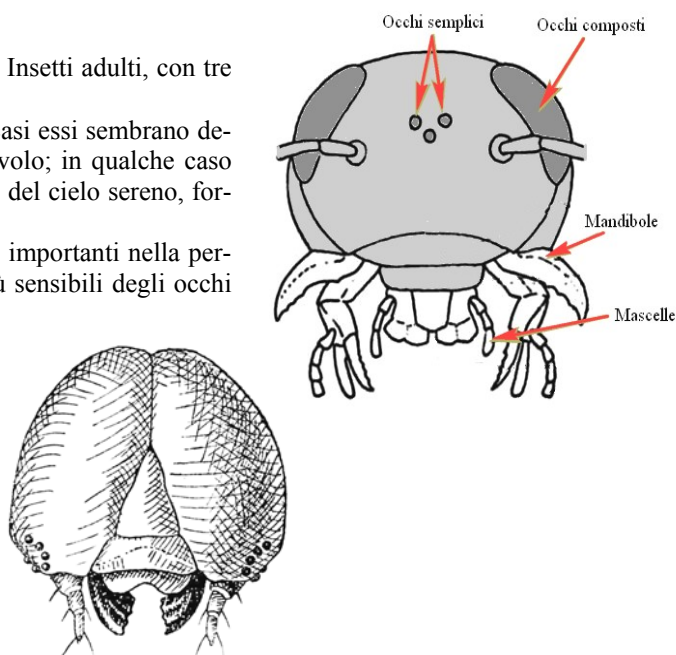
Fig. 29 a/b – Schema generico del capo degli Insetti adulti, con tre ocelli, in mezzo ai due grandi occhi composti.

La funzione degli ocelli non è chiara. In molti casi essi sembrano destinati a percepire l'orizzonte e quindi a guidare il volo; in qualche caso essi sembrano sensibili alla polarizzazione della luce del cielo sereno, forse nelle api ed in certe formiche.

Nelle api, è stato dimostrato che gli ocelli sono importanti nella percezione dei diversi livelli d'illuminazione e sono più sensibili degli occhi composti a bassi livelli.

In ogni caso, sembra che la visione degli Insetti adulti risulti da qualche forma d'interazione fra occhi semplici e composti.

Nei bruchi, si trovano solo occhi semplici, in numero variabile, come qui accanto.



In ogni caso vi si trovano cellule fotosensibili in strato unico in modo da formare una specie di retina, ma si tratta di retina “eversa”, con l’estremo sensibile della cellula rivolto verso l’esterno e la terminazione nervosa verso l’interno, al contrario di quanto accade nei Vertebrati, in cui la retina è “inversa” e presenta la parte sensibile all’interno, in modo che la luce deve attraversare le terminazioni nervose prima di stimolare la parte sensibile della cellula.

Le singole cellule sensoriali o l’occhio nel suo complesso sono sempre accompagnati da cellule ripiene di granuli di pigmento scuro che schermano le cellule o l’intero organo dalla luce obliqua. Nei Vertebrati, la schermatura è affidata ad uno strato di cellule pigmentate, la coroide.

Cominciamo dagli ocelli, che appaiono a loro volta di due tipi, con uno sviluppo embrionale diverso:

- Ocelli dorsali, cranici, in numero di tre, disposti a triangolo (raramente due, per soppressione di quello mediano, come in certe farfalle). La struttura ottica è quella di “occhio con lente”, nel senso che il tessuto fotosensibile si trova all’incirca nel piano focale di un sistema trasparente convergente capace di formare un’immagine reale e capovolta del mondo esterno, come avviene nell’occhio dei Cefalopodi e dei Vertebrati. La “lente” o “cornea” è costituita da una porzione ispessita e trasparente della cuticola, lo strato più esterno dell’esoscheletro.

Fig. 30 – Occhio semplice di *Aphrophora spumaria* (“sputacchina”, Emitteri). Lo scarso numero di cellule fotosensibili fa capire che la risoluzione di quest’organo deve essere piuttosto scarsa.

La singola cellula mostra una struttura che la rende simile a quelle che si trovano negli occhi composti.

Questi “ocelli” sono presenti in quasi tutti gli Insetti, da soli nelle larve ed assieme a quelli composti negli adulti. Possono essere ridottissimi in qualche caso, come nelle blatte ed alcune farfalle.

Sono innervati dai lobi ocellari del cervello ed il nervo ottico è costituito dal prolungamento delle cellule sensoriali.

- Ocelli laterali, più semplici, presenti solo nelle larve di insetti a metamorfosi completa (Coleotteri, Lepidotteri, Ditteri, Imenotteri, ecc., fig. 29b). Si trovano lateralmente al capo in numero variabile; se sono numerosi, possono simulare un occhio composto.

Possiedono un minor numero di cellule sensoriali, ma una struttura più complessa, con un corpo trasparente rigonfio sotto la cornea, una specie di cristallino, una seconda lente.

- Accanto agli ocelli, sembra che molte specie siano sensibili alla luce anche attraverso semplicissimi sensori, cellule epiteliali dell’esoscheletro, collegate ovviamente col sistema nervoso.

Gli **occhi composti** sono assai complessi e rappresentano l’organo visivo più raffinato fra gli Invertebrati (tranne l’occhio a lente dei Molluschi Cefalopodi). Non sono mai presenti nelle larve degli Olometaboli (Insetti a metamorfosi completa).

Si tratta di un gran numero di strutture elementari (**ommatidi**), a forma di sottile cono, strettamente accostate in modo da formare un occhio globalmente convesso o addirittura semisferico. L’unità strutturale e funzionale dell’occhio composto è quindi l’ommatidio.

A differenza dell’occhio a lente, ogni ommatidio ha un campo visuale molto stretto e fornisce solo un “pixel” di un’immagine complessa, a mosaico. Ne risulta che la fusione fra questi campi elementari deve essere operata a livello dei centri nervosi.

L’occhio composto ha probabilmente una minore acuità degli occhi a lente più evoluti (Vertebrati), ma in compenso può offrire un campo angolare (per entrambi gli occhi) vicino a 360°. Occhi composti si trovano anche in altri Artropodi, specialmente Crostacei ed alcuni Miriapodi. I ragni possiedono in genere otto ocelli perfezionati.

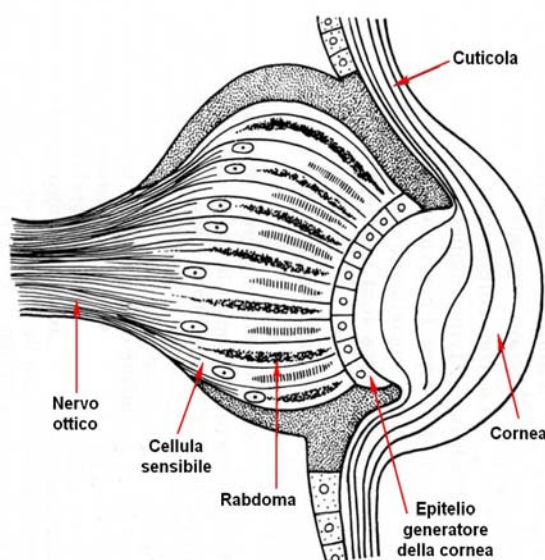


Fig. 31 – Schema di occhio composto con singoli ommatidi in varie fasi funzionali.

La superficie esterna dell'occhio è coperta da una porzione trasparente della cuticola ("cornea"). La parte "lente" di ogni ommatidio è costituita da una piccola regione biconvessa della cuticola ("cornèola") e, subito sotto, da un complesso conico di quattro cellule trasparenti ("cristallino" o "cono").

Ogni ommatidio è circondato da cellule ripiene di granuli di pigmento scuro.

Le cellule sensitive, spesso in numero di 8 per ogni ommatidio, convogliano dei sottili prolungamenti in una struttura centrale (**rabdoma**) che contiene le sostanze fotosensibili.

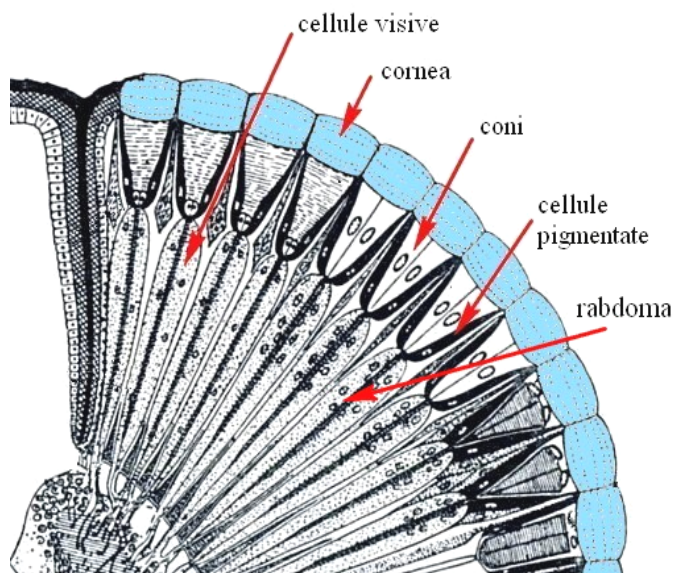
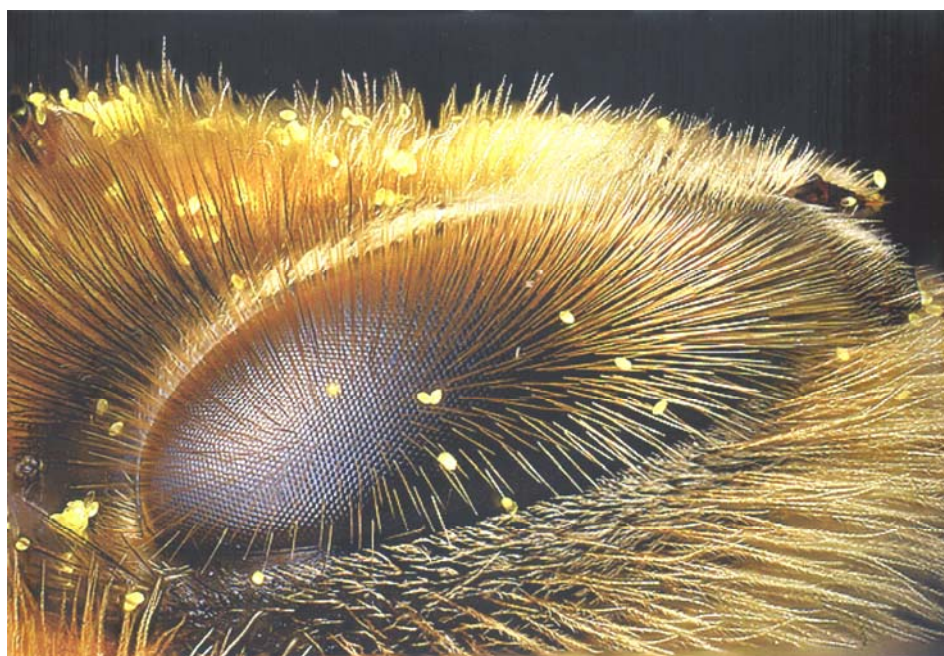


Fig. 32 – Occhio composto di ape.

Notare il gran numero di setole che sono disposte radialmente e servono quasi da paraocchi per i singoli ommatidi.

(Foto U. Bocca)

Lo stretto impaccettamento degli ommatidi fa sì che le singole corneole, come tutta la struttura sottostante, assumano forma esagonale. Rarissimamente la struttura è a rete quadrangolare.



Il numero degli ommatidi in ogni occhio è assai variabile, certamente maggiore nelle specie che cacciano volando, come le libellule, e varia da poche centinaia (alcune formiche operaie) ad oltre 30.000. Il numero si riduce nelle specie ipogee, a vita sotterranea.

In certi casi, come appunto le libellule, ed in Coleotteri acquatici (Girinidi), l'occhio composto presenta due metà sovrapposte con strutture diverse di ommatidi, in relazione all'ambiente in cui vivono (guardare a terra oppure in alto per un insetto volatore – guardare il fondale oppure nell'aria sovrastante per un nuotatore).

Negli Insetti crepuscolari e notturni gli ommatidi sono in minor numero, ma più grandi: come nei pesci abissali, un occhio più grande aumenta la sensibilità a bassa illuminazione per la maggiore apertura della lente: così avviene in un obiettivo fotografico.

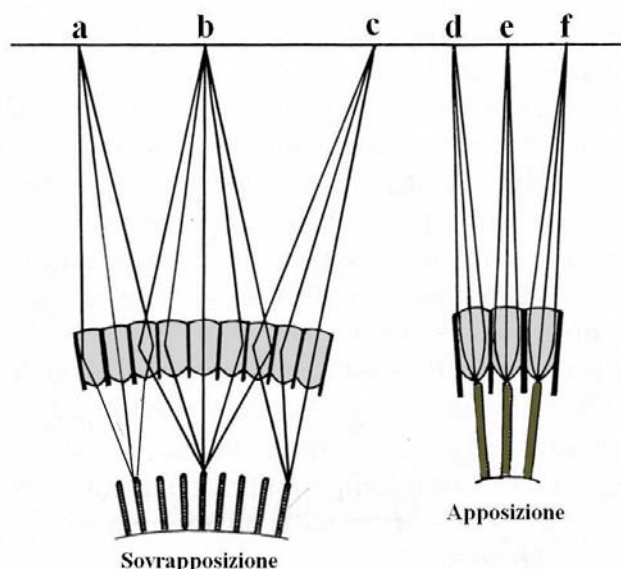
Fig. 33 – Negli ommatidi il rabdoma, la parte sensibile (bastoncini scuri in basso), può essere più o meno distante dal sistema convergente (occhi “a zona libera”, a sinistra, occhi “giustapposti” a destra).

La mobilità di alcune parti e la possibilità di migrare dei pigmenti scuri nelle cellule periferiche rendono ogni ommatidio capace di due modi diversi di funzionare: ogni rabdoma riceve luce da vari ommatidi contigui e quindi è più sensibile ma con minor risoluzione (ogni rabdoma riceve luce da diverse direzioni e si parla di “occhio per sovrapposizione” a sinistra), oppure ogni ommatidio è schermato da tutti gli altri ed il rabdoma è illuminato solo da oggetti che si trovino sul suo asse ottico (occhi “per apposizione”, a destra).

Quest’ultima situazione è più efficiente (maggior risoluzione), ma solo con elevata illuminazione.

A seconda dell’illuminazione ambiente, sembra che l’occhio composto possa passare da un modo di funzionamento all’altro in modo da raggiungere il miglior compromesso fra acuità visiva e sensibilità.

È interessante notare anche una raffinatezza dell’ommatidio dal punto di vista ottico: il rabdoma, la parte centrale e fotosensibile di esso, presenta un indice di rifrazione maggiore delle cellule “retinulari” circostanti. Così esso funge da guida di luce e concentra in se stesso la luce che gli viene dal cono cristallino sovrastante.



La “cornea” (fig. 31) è costituita da uno strato sottile di materiale trasparente e quindi può dare luogo a fenomeni interferenziali per riflessione sulle due superfici dello strato, come avviene nelle bolle di sapone. Certi Insetti quindi mostrano occhi con riflessi a colori vivaci (colori “di sottrazione”), che però tendono a sparire dopo la morte poiché il tessuto perde acqua, diminuisce di spessore ed altera le condizioni d’interferenza. Vedi l’art. A 9 – “I colori in natura”.

Una funzione particolare degli organi visivi più evoluti (occhi a lente, propri dei Molluschi Cefalopodi e dei Vertebrati) è quella di “mettere a fuoco”, cioè consentire la visione più distinta possibile per oggetti a distanza variabile dall’animale.

Questa funzione viene svolta nei Mammiferi ed Uccelli modificando la curvatura della lente cristallina, in seguito a movimenti di un “muscolo ciliare”. In Pesci, Anfibi e Rettili, la messa a fuoco è ottenuta variando la distanza fra cristallino e retina, come avviene nelle macchine fotografiche.

Negli Artropodi, invece, la messa a fuoco semplicemente non esiste in quanto la risoluzione nell’immagine non dipende da una variazione dei parametri delle lenti, ma dalla distanza angolare fra gli ommatidi, che è fissa. Semmai, è accertato che in molti Insetti Odonati (libellule), la densità degli ommatidi, e quindi l’acuità visiva, possono variare da una regione all’altra dell’occhio composto.

Il maggior numero totale di ommatidi sembra proprio trovarsi in insetti che cacciano in volo come le libellule, fino a 30.000 per occhio, come già detto, ma questo è ancora poco rispetto ai sei milioni di coni¹⁰ della retina umana.

Il problema della messa a fuoco si potrebbe risollevare a proposito degli ocelli dotati di lente, ma in questi casi la lunghezza focale della lente è così piccola che il mondo esterno risulta tutto a fuoco entro un ambito di distanze assai elevato. È quello che succede in fotografia con gli obiettivi grandangolari che hanno, appunto, una piccola focale.

Non in tutti gli Insetti gli organi visivi sono così complessi.

Fra gli ordini filogeneticamente più primitivi, primariamente privi di ali¹¹, con numero ridotto di segmenti corporei [Collemboli, Dipluri, Proturi (“pulci d’acqua”, minuscoli, capaci di salta-

¹⁰ I coni rappresentano una delle due categorie di cellule fotosensibili dell’occhio dei Mammiferi.

¹¹ Molti altri gruppi di Insetti sono privi di ali, ma si tratta di riduzione “secondaria” in quanto i loro antenati erano alati. I gruppi primitivi cui si fa qui riferimento derivano da antenati sempre privi di ali.

re sul pelo dell'acqua) e Tisanuri ("pesciolini d'argento", abitanti dei libri)], quasi tutti sono ciechi. I Collemboli, abitanti degli interstizi del terreno, possiedono ocelli, fino ad otto paia, ma le forme più ipogee possono essere cieche. Alcuni Tisanuri, invece, sono a volte dotati anche di occhi composti.

In alcuni casi – come quello delle api già citato ed anche dei Crostacei – gli Insetti sembrano sensibili al piano di vibrazione della luce polarizzata: almeno con tempo sereno, si sa che la luce del cielo è parzialmente polarizzata, ma il meccanismo alla base di questa capacità è ignoto. La stessa sensibilità è stata notata in alcune formiche dei paesi tropicali.

Una domanda si pone spontanea: che valore adattativo ha l'occhio composto rispetto a quello "a lente" dei Vertebrati? Forse, la risposta sta nel fatto che un oggetto anche lontano che si sposti rispetto all'insetto, provoca un passaggio della sua immagine da un ommatidio a quello contiguo: la sensibilità agli spostamenti diviene massima.

Si potrebbe obiettare che questo vantaggio è comune anche all'occhio "a lente" dei Vertebrati: passaggio di un'immagine puntiforme da un cono all'altro per piccoli spostamenti dell'oggetto. Ma in quest'ultimo caso la lentezza della rigenerazione dei pigmenti fotosensibili rende necessari i continui movimenti oscillanti del globo oculare ("nistagmo fisiologico", di cui non siamo consapevoli) e quindi riduce la sensibilità angolare dell'occhio.

Così si spiega perché l'occhio degli Artropodi sia più sensibile ai movimenti che al dettaglio dell'immagine.

È interessante anche valutare la durata della "persistenza" delle immagini (periodo di tempo durante il quale l'immagine impressa sulla retina rimane congelata). Nell'uomo si tratta di poco meno di $1/30^\circ$ di secondo; negli insetti volatori si tratta di $1/300^\circ$, dieci volte meno. Questo spiega perché sia così difficile afferrare una mosca: essa percepisce il movimento della nostra mano molto prima che noi riusciamo a completare il movimento. Ci batte sul tempo.

Molti Insetti ed altri animali sono in grado di percepire l'infrarosso (IR).

Un caso interessante è il coleottero *Melanophila* (dal greco: "amante del nero") il quale si dirige attivamente, da chilometri di distanza, verso gli alberi incendiati per deporvi le uova: le sue larve si sviluppano sul legno carbonizzato.

L'insetto tiene in volo le zampe estese: sul secondo paio vi sono due fossette particolarmente sensibili alle lunghezze d'onda di massima emissione delle fiamme, che sono poi le medesime cui è particolarmente trasparente l'atmosfera. Un tipico esempio di adattamento all'ambiente.

La produzione di luce fra gli Insetti

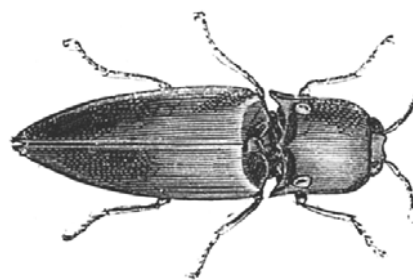
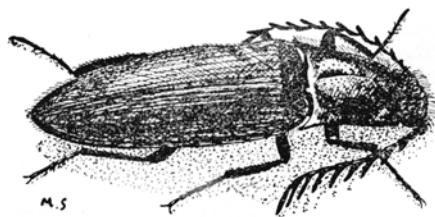
La luminescenza, anzi, bioluminescenza, si trova in molti animali marini abissali ed in alcuni Insetti notturni.

La funzione sembra quella di segnalare la propria presenza per facilitare l'incontro dei sessi, oppure di attirare le prede. Tutti possono constatare come molti volatori notturni si addensino attorno ad una delle innumerevoli sorgenti artificiali prodotte dall'uomo. Basta osservare i lampioni stradali nelle sere estive.

La presenza di organi luminosi fra gli Insetti appare in Coleotteri delle famiglie Elateridi e Lampiridi, in Collemboli, oltre ad alcuni Miriapodi, ma questi non sono Insetti.

L'emissione in genere è intermittente, non continua, e può essere stimolata da fenomeni interni o da stimoli esterni. Poiché gli organi luminosi sono ricchi di terminazioni nervose e di ramificazioni delle trachee (vedi la nota a pag. 5), si è forzati a pensare che la luminescenza dipenda dallo stato fisiologico dell'insetto e da fenomeni ossidativi. Risulta, infatti, che avviene una reazione catalitica fra la luciferina ed un enzima (luciferasi), reazione consentita dalla presenza di acqua ed ossigeno.

Fig. 34 – Gli Elateridi rappresentano una famiglia di Coleotteri ben riconoscibili per l'aspetto generale del corpo, quasi a forma di proiettile da fucile. Le larve vivono spesso sotto la corteccia degli alberi.



Nell'America centro-meridionale vivono alcune specie di Elateridi dette "pirofori", localmente *cucuyos* (generi *Pyrophorus* e *Photophorus*) che portano alla base del protorace due organi luminosi che venivano sfruttati dagli indigeni come sorgente di luce serale (più di un insetto dentro una gabbietta).



Fig. 35/36 – Una volta, le donne creole usavano i pirofori da mettere nei capelli, come diadema luminoso. Paese che vai, moda che trovi ...

Una specie asiatica di *Pyrophorus* emette luce di due diversi colori da macchie luminose sul protorace e sull'addome.

La luce prodotta dagli Insetti è generalmente compresa nello spettro ottico, cui è sensibile il nostro occhio, con una prevalenza delle lunghezze d'onda minori (verde – blu, "luce fredda") e la quasi assenza di infrarosso, con evidente risparmio energetico: il rendimento può arrivare al 90 %, e nessuna delle sorgenti artificiali si avvicina lontanamente a questo valore.

Oltre ad alcuni Elateridi, altri Coleotteri (Lampiridi) sono ben noti come insetti luminosi: le lucciole, anche se oggi sono sempre più rare a causa dei fitofarmaci, dell'agricoltura intensiva, ecc.

La femmina è attera e si nasconde nell'erba, meritando il nome di "verme luminoso". Il maschio vola benissimo.

Stranamente, sono debolmente luminose anche le uova e le larve e, di conseguenza, anche gli ovai maturi. La stessa cosa va detta dei pirofori citati sopra.

Su questo punto, non si può che rimandare ancora una volta a J. H. Fabre (bibl. 15, pag. 195 – 201). Dalla sua dettagliata descrizione, si apprende che le larve ed il maschio possiedono due macchie luminose sull'ultimo segmento addominale. La femmina, invece, più brillante, possiede le stesse due macchie, con in più due fasce anche sugli articoli penultimo e terzultimo dell'addome. Tali organi luminosi sono costituiti da tessuto adiposo opportunamente differenziato.

L'emissione di luce, nelle femmine, è maggiore nel periodo dell'accoppiamento, mentre è costante nel maschio.

L'organo luminoso appare biancastro alla luce del giorno poiché, sotto di esso, si trova uno strato di tessuto diffondente bianco, ricco di granuli cristallini di urati (sali dell'acido urico, un prodotto di rifiuto del metabolismo, come in tutti gli animali), con funzione di riflettore. Attorno a quell'organo, si vedono fitte ramificazioni di trachee. Le contrazioni delle trachee consentono all'animale di regolare l'afflusso di ossigeno e quindi l'emissione di luce; emissione che viene interrotta quando l'insetto è disturbato, almeno nei maschi. Le femmine, in relazione alle due fasce sui due penultimi segmenti, sono quasi insensibili ad un disturbo esterno.

Se si stacca con le pinzette l'organo luminoso della femmina, l'emissione continua se quello rimane esposto all'aria o immerso nell'acqua. Se però l'acqua è stata privata dell'ossigeno con la bollitura, la luminosità si spegne.

Fig. 37 – Maschio (a sinistra) e femmina di lucciola (*Lampyris noctiluca*).

L'aspetto vermiforme della femmina richiama il fenomeno della neotenia (sviluppo interrotto – raggiungimento dell'età feconda con permanenza della condizione larvale o comunque immatura).

È da ricordare che le larve dei lampiridi sono carnivore e si cibano di lumachine cui la larva inietta un liquido pieno di enzimi digestivi per poi succhiarla pre-digerita.

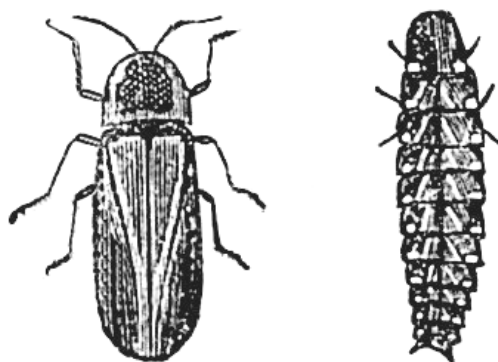


Fig. 38 – Un altro Lampiride, il *Photinus*. Il lampeggiamento del maschio in volo è intermittente. La femmina risponde con analogo lampeggiamento solo se il maschio è vicino.

Nella *Luciola italica*, oggi rara, la femmina somiglia molto al maschio, ma comunque vola poco.

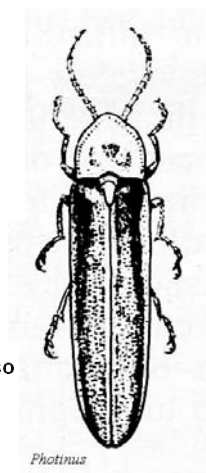
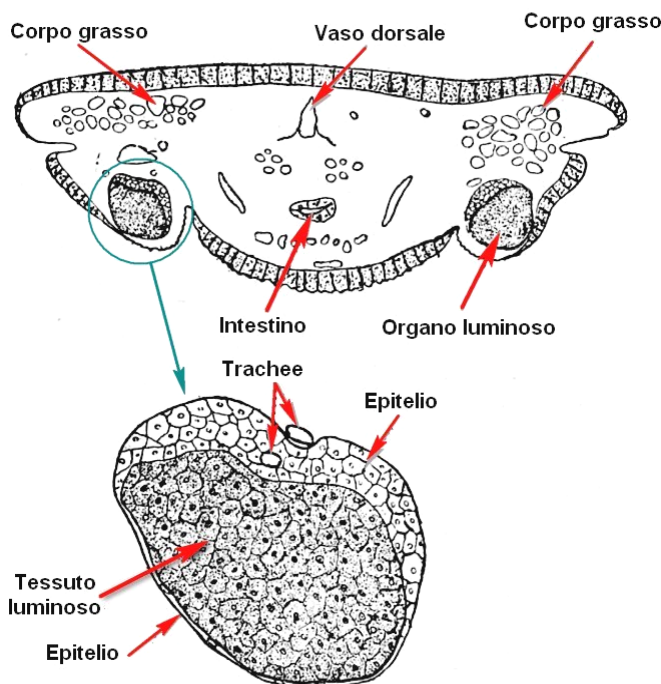


Fig. 39 – L'ultimo segmento addominale delle larve e degli adulti della lucciola *Lampyris*, in sezione trasversale.

Si tratta di corpi globosi, simili a ghiandole, circondati da uno strato trasparente di epitelio. La parte più sottile di questo epitelio è naturalmente quella rivolta all'esterno, verso il basso.

Si noti la presenza di trachee, visibili in sezione nel dettaglio in basso, e l'assottigliamento dell'esoscheletro sotto gli organi luminosi.



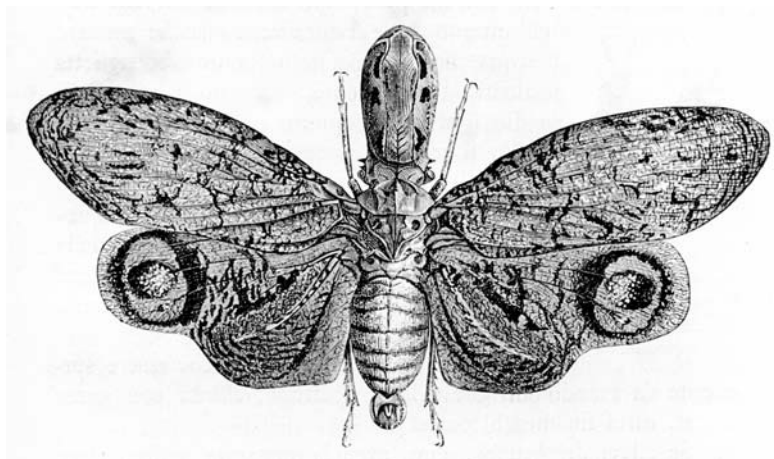
Una dimostrazione della scarsa propensione degli esseri umani al senso critico, si può avere ricordando come, un secolo fa, erano considerati luminosi anche alcuni Emitteri, famiglia Fulgoridi (parenti delle cicale, viventi nei paesi tropicali).

Sul capo della *Fulgora lanternaria* si vede un'escrescenza bulbosa, di ignota funzione, che aveva fatto pensare ad una lanterna ed aveva dettato, anche ai naturalisti (sono uomini anche loro) la credenza che l'animale emettesse luce, e li aveva anche spinti a definire il nome generico e specifico all'ignaro animale con preciso riferimento alla sua funzione di lanterna.

Fig. 40 – La *Fulgora lanternaria* è lunga circa 90 mm.

In realtà, solo raramente è stata vista una debole luminescenza in questo insetto, che però è stato comunque soprannominato “porta-lanterna” o “porta-candela”.

Ad ali chiuse, questi Insetti sono fortemente mimetici (mimetismo criptico) ma, quando aprono le ali anteriori, appaiono sulle posteriori due grandi macchie oculari con funzione deterrente, come in tanti altri Insetti (le farfalle Pavo- nie) ed alcuni pesci.



Più meritato è il nome di “verme della ferrovia” dato alla grossa larva carnivora di un coleottero della giungla brasiliana. Quest’insetto porta ai lati una doppia serie di punti luminosi gialli, una coppia per ogni segmento, ed una diffusa luminosità rossastra nel capo. Sembra proprio un trenino.

Poiché si tratta di una larva, questi segnali luminosi non possono avere la funzione di richiamo sessuale. Sembra trattarsi di segnali aposematici, di avvertimento.

BIBLIOGRAFIA

- 1) AMANN G. Kerfe des Waldes (*Insetti del bosco*) – Neumann Verlag, Melsungen, 1971 – p = 248 – f = 600 + 100
- 2) BARNES R. D. Zoologia: gli Invertebrati – 4^a ediz. – Piccin, Padova, 1985 – p = 1198 – f = nq
- 3) BEAUMONT A. e CASSIER P. – Biologie animale, 3 voll. (6^a ediz.) – Dunod, Paris, 1987/1981 – p = 629 + 918 f = nq
- 4) CALDERON G. La vita segreta degli Insetti – Istituto Geografico De Agostini, Novara, 1975 – p = 383 – f = nq
- 5) CHINERY M. Guida degli Insetti d’Europa – Muzzio, Padova, 1987 – p = 345 – f = 800 + 350
Testo fondamentale
- 6) CHINERY M. Insetti (*ed altri artropodi*) – Vallardi, 1990 – p = 233 – f = circa 230
- 7) CONCI C. Coleotteri – A. Martello, Milano, 1959 – p = 113 – f = > 100
- 8) CRAVERI C. Insetti nocivi all’agricoltura ed alla silvicoltura – IIa ediz. – Hoepli, Milano, 1926 – p = 450 – f = 229
- 9) D’ANCONA U. Trattato di zoologia – 3^a ediz. – UTET, Torino, 1967 – p = 1107 – f = 1275
- 10) DIERL W. Farfalle – Gremese Ed., Roma, 1990 – p = 125 – f = circa 150
- 11) FABRE J. H. Gli ausiliari – Sonzogno, Milano, 1975 – p = 207 – f = nq
- 12) FABRE J. H. I costumi degli Insetti – Sonzogno, Milano, 1974 – p = 229 – f = nq
- 13) FABRE J. H. I devastatori – Sonzogno, Milano, 1975 – p = 197 – f = 16 (figure multiple)
- 14) FABRE J. H. I servitori – Sonzogno, Milano, 1975 – p = 282 – f = nq
- 15) FABRE J. H. Le meraviglie dell’istinto negli Insetti – Sonzogno, Milano, 1974 – p = 221 – f = nq
- 16) FABRE J. H. Moeurs des insectes – Delagrave, Paris, 1910 (?) – p = 266 – tavv. 16
- 17) FRANCESCHINI F. Le farfalle – Treves, Milano, 1879 – p. 375; incisioni 320.
- 18) GRIFFINI A. Imenotteri, Neurotteri, Ortotteri e Rincoti italiani – Hoepli, Milano,

1897 – p = 667 – f = 243

- 19) HARGREAVES B. e CHINERY M. – Farfalle e falene – Vallardi, 1992 – p = 235 – f = circa 240
- 20) ISTITUTO ENCICLOPEDIA ITALIANA – TRECCANI – Roma, 1968/1981 – LESSICO UNIVERSALE ITALIANO – **24 voll.** + 2 (supplemento) + 1 (Atlante)
- 21) LEO P. e CRNJAR R. – Insetti piccoli e perfetti – Tam Tam, Cagliari, 1998 – p = 119 – f = nq
- 22) McGAVIN G. C. – Insetti, ragni e altri Artropodi terrestri – Dorling Kinderslay, London, 2000 – p = 245 – f = nq
- 23) MOUCA J. – Le Farfalle (*diurne*) – Testi, Milano, 1974 – p = 235 – tavv. = 175
- 24) PADOA E. – Biologia generale – Brighieri, Torino, 1962 – p = 716 – f = nq
Testo di chiarezza e rigore eccezionali.
- 25) PEARSE V. e J. e BUCHSBAUM M. e R. – Invertebrati viventi – Zanichelli, Bologna, 1993 – p = 820 – f = nq
- 26) PESSON P. et al. – La vie dans les sols – Gauthiers Villars, Paris, 1971 – p = 472 – f = 111
- 27) PIERANTONI U. – Trattato di biologia e zoologia generale – Humus, Napoli, 1948 – p = 465 – f = 176
- 28) POZZI G. – Insetti – Giunti, Firenze, 1998 – p = 167 – f = 104
- 29) POZZI G. – Guida agli Insetti – Fabbri Editori, Milano, 1977 – p = 197 – f = nq
- 30) STANĚK V. J. – Enciclopedia illustrata degli insetti – Ed. Illustrate Accademia, 1978 – p = 535 – f = 960
- 31) STERRY P. e MACKAY A. – Farfalle e falene – Fabbri ed., Milano, 2005 – p = 216 – f = circa 1000
- 32) STORER T. I. et al. – Zoologia – Zanichelli, Bologna, 1982 – p = 1006 – f = nq
- 33) STURANI M. – Caccia grossa fra le erbe – Einaudi, Torino, 1942 – p = 110 – f = 49 – tavv. = XIII
(splendido esempio di divulgazione essenziale, corretta e lucida)
- 34) STURANI M. – Vita delle farfalle – De Silva, Torino, 1947 – p = 135 – f = 101 – tavv. = X (c.s.)
- 35) VESCO J.P. – Papillons – Éditions du Chêne, Hachette, Tours, 2000 – p = 179 – f = nq
(splendide foto a colori)
- 36) VILLA R. et al. – Farfalle d'Italia (*tutte le specie diurne italiane*) – Editrice Compositori, Bologna, 2009 – p = 368 – f = migliaia

p = numero delle pagine

f = numero delle figure – NB: nq = non quantificate