

## Art. n° A 19 – La fisica del MOVIMENTO fra gli INSETTI

La struttura dell'organismo degli Insetti<sup>1</sup> è così diversa da quella degli altri tipi animali da richiedere anche per i meccanismi del movimento una serie di soluzioni originali.

Cominciamo a dire che “piccolo è bello”: la diffusione e la proliferazione delle specie di Insetti, la loro capacità di invadere ed adattarsi a quasi tutti gli ambienti, il numero sterminato d'individui, sono tutti il frutto, almeno in parte, delle loro piccole dimensioni, raramente superiori a 10 cm (sono escluse nella misura della lunghezza le ali e le antenne).

D'altro canto, si sa che l'aumento graduale delle dimensioni di molti gruppi animali e vegetali, come si è verificato nel corso dei tempi geologici, è un fenomeno molto diffuso. Basti pensare alle felci (le specie arboree del Paleozoico), agli anfibi (sempre nel Paleozoico), ai grandi rettili del Mesozoico, ad alcuni uccelli dell'Australia, Madagascar e Nuova Zelanda, a molti Mammiferi (“tigri dai denti a sciabola”, Mastodonti) del Cenozoico.

Il vantaggio evolutivo del gigantismo è semplice: vincere su competitori o aggressori più piccoli, possibilità di prevalere su prede più grandi, maggiore velocità negli spostamenti, ecc. E la strada del gigantismo ha attirato inevitabilmente tanti gruppi viventi, come quelli appena citati.

Ma si tratta di un vicolo cieco.

Prima o poi, lo svantaggio genetico prevale e porta all'estinzione. Attualmente, le felci, gli Anfibi, i Rettili, molti mammiferi, appaiono come residui, pochi sopravvissuti di gruppi molto più ricchi di specie e di maggiori dimensioni: specie relitte, a volte fossili viventi.

Lo svantaggio genetico sta in questo: maggiori dimensioni significa maggiori esigenze alimentari, quindi minore densità di popolazione, quindi incroci fra consanguinei, minore vigoria (impossibilità di neutralizzare le mutazioni dannose, per es.), minore variabilità intraspecifica, incapacità di adattamento ad ambienti mutevoli ... Un disastro.

I pochi esempi di gigantismo oggi esistenti (pachidermi, cetacei) rappresentano un'eccezione.

Gli Insetti hanno cercato la strada opposta: piccole dimensioni, grandi densità di popolazione, grande variabilità interna alla specie, estrema adattabilità, ecc.

Un altro vantaggio delle piccole dimensioni sta nel rapporto di scala.

E qui occorre accettare qualche precisazione.

Per “rapporto di scala” intendiamo il rapporto fra le dimensioni lineari di un oggetto rispetto ad un altro, per es. fra un oggetto reale ed un suo modellino in scala ridotta.

Facciamo ora un confronto fra due animali saltatori: un cavallo ed una pulce. Il rapporto di scala lineare fra di essi, semplificando molto, è di 2 metri a 2 millimetri: 1'000:1.

Poiché il volume di un oggetto è, sempre semplificando molto, proporzionale alle sue dimensioni lineari elevate al cubo, alla terza potenza, il rapporto dei volumi fra cavallo e pulce sarà allora di  $1'000^3:1 = 10^9:1$  (un miliardo ad uno).

Questo significa che un cavallo porta in proporzione un volume (e, sempre semplificando, un peso) un milione di volte maggiore rispetto alla pulce (un miliardo – nel rapporto di volume – diviso mille – nel rapporto delle dimensioni lineari).

Questo vantaggio del più piccolo si manifesta a prima vista: un cavallo salta, più o meno, un metro, meno della sua propria altezza. Una pulce salta anch'essa un metro, cinquecento volte la sua altezza.

Un altro modo di considerare il rapporto di scala è questo: la forza di un muscolo è proporzionale alla sua sezione, cioè (sempre all'incirca) al quadrato del suo diametro, mentre il suo vo-

---

<sup>1</sup> Il discorso vale in buona parte anche per le altre classi di Artropodi: Crostacei, Aracnidi e Miriapodi.

lume, ed il suo peso, sono di nuovo proporzionali al cubo del diametro. Ancora una volta, il più grande è svantaggiato.

Chi volesse costruire un modellino in scala di un cavallo nelle dimensioni di una pulce (mille volte più piccolo in dimensioni lineari), per poter affermare che il suo modello è “in scala”, dovrebbe utilizzare muscoli più deboli nel rapporto  $1'000^3$  (il rapporto di peso) diviso  $1'000^2$  (il rapporto della sezione dei muscoli) =  $1'000:1$ , quindi mille volte più deboli.

Così dovrebbe fare per tutte le caratteristiche fisiche del campione e del modellino: per es. scheletro e tessuti di sostegno più deboli, viscosità dei liquidi circolanti ridotta in egual misura.

Accanto a questo premio puramente matematico del più piccolo, vi sono altri vantaggi riguardo alla biologia.

Le piccole dimensioni consentono altri vantaggi di scala sul piano della fisiologia: una più veloce trasmissione delle sostanze nutrienti fra l'apparato digerente e gli altri organi, una più rapida diffusione dell'ossigeno verso i muscoli ed il resto dell'organismo, un minor tempo di trasmissione degli impulsi nervosi ...

Vi sono poi altri vantaggi più strettamente biologici, che vedremo meglio ad un esame dettagliato dei sistemi organici che presiedono od influiscono sul movimento, non solo negli Insetti: maggiore efficienza del tessuto muscolare, migliore distribuzione dell'ossigeno, per es.

Meglio procedere ad un esame più dettagliato.

Per inciso, per sottolineare il successo evolutivo degli Insetti, si può affermare che circa la metà delle specie conosciute di animali (un paio di milioni, si dice) è costituita da Insetti, e la metà delle specie di Insetti è costituita da Coleotteri.

### Sistema scheletrico

Si può definire scheletro qualunque struttura di sostegno di un organismo vivente. È evidente che gli organismi marini, avvantaggiati dalla spinta di Archimede, hanno minor bisogno di sostegno in quanto la gravità, il loro peso, può risultare senza effetto. Basta confrontare un cespuglio con un'alga: il primo ha bisogno di tronco o rami di consistenza legnosa per non accasciarsi al suolo; la seconda ha bisogno solo di tessuti molli per fluttuare nell'acqua. Così, anche un organismo terrestre molle come un lombrico deve avere un qualche tipo di scheletro, come vedremo fra poco, mentre una medusa può contentarsi di un organismo del tutto gelatinoso.

Distinguiamo alcuni schemi fondamentali di scheletro.

#### ●● Sacco muscolo – cutaneo

Si tratta di un involucro superficiale composto da uno strato muscolare coperto verso l'esterno da un tegumento flessibile. I muscoli hanno un andamento longitudinale per consentire l'accorciamento e quindi l'ingrossamento della massa viscerale interna, ed inoltre un andamento circolare per lo strozzamento e quindi l'allungamento del corpo.

Il sacco muscolare consente di conservare una certa pressione interna nel corpo, e questo gli conferisce una sufficiente consistenza per via del turgore.

Un sacco muscolo–cutaneo flessibile si trova in molti Invertebrati come Platelminiti, Nematelminiti ed Anellidi (globalmente e superficialmente chiamati “vermi”, abbiamo citato i lombrichi), Oloturoidi (“cetrioli di mare”) e Molluschi.

Mentre un “sacco” del genere non contempla parti rigide, i modelli di scheletro che seguono le presuppongono.

#### ●● Endoscheletro

Le parti rigide sono circondate da un'ampia copertura di parti molli, come muscoli e tegumenti. Sono di origine mesodermica (lo strato cellulare intermedio degli embrioni) e sono costituite da tessuti connettivi, cartilaginei ed ossei con una matrice organica, in buona parte proteica, generalmente impregnata di sali minerali (soprattutto carbonati e fosfati) che le irrigidiscono.

Almeno in corrispondenza degli arti, quelle parti rigide sono mobili fra loro e quindi formano delle articolazioni. Altrimenti sono saldate fra loro (suture craniali, ad es.) o addirittura isolate (scleriti calcarei di madrepora e coralli, “osso di seppia”, ecc.).

Tipici gli (endo)scheletri dei Vertebrati – gli ossi.

#### ●● Dermascheletro

Formazioni rigide all'interno dei tegumenti, in particolare del connettivo cutaneo (derma, dal greco *derma* = pelle), coperte dall'epidermide. Un dermascheletro fa da scatola di contenimento e protezione di tutti gli altri organi.

Il dermascheletro nasce da tessuti molli ma diviene generalmente rigido per essere impregnato di sali minerali, quasi sempre carbonato di calcio.

Il caso tipico è quello degli Echinodermi: scheletro esterno e calcareo, semirigido, degli Echinoidi (ricci di mare), piastre articolate negli Asteroidi (stelle di mare), Ofiuroidi (stelle serpentine) e Crinoidi (gigli di mare); scleriti isolati negli Oloturoidi (cetrioli di mare).

Qualche pignolo ha fatto osservare che anche fra i Vertebrati, accanto all'endoscheletro, esistono strutture con funzione di dermascheletro: la scatola cranica e la gabbia toracica di tutti, lo scudo di armadilli, tartarughe e coccodrilli, le piastre ossee di storioni ed altri pesci. L'osservazione nasce dal fatto che il dermascheletro contiene sempre organi molli, come appunto la scatola cranica e la gabbia toracica. Ma le ossa non sono formazioni cutanee!

#### ●● Esoscheletro

Ecco una scatola composita, un sistema di piastre rigide (“**scleriti**”) che contengono gli organi molli, come un dermascheletro, ma questa volta la formazione non parte dal derma, ma dall'epidermide, in particolare dalla cuticola (scheletro cuticolare). Un tale esoscheletro presenta spesso dei prolungamenti all'interno del corpo (**apodemi**) che servono da punti di attacco per i muscoli che si trovano al suo interno.

Un esoscheletro conferisce all'organismo rigidità e protezione ed inoltre rende il tegumento pochissimo permeabile e concorre perciò a stabilizzare il bilancio idrico dell'animale.

A parte il caso delle conchiglie dei Molluschi e dei Brachiopodi, con componente proteica impregnata di carbonato di calcio, l'esoscheletro è tipico degli Artropodi e degli Insetti in particolare, ed è composto in prevalenza di chitina, a base di proteoglicani (proteine legate a mucopolisaccaridi)<sup>2</sup> e di artropodina (altra proteina che conferisce elasticità). Nei Crostacei la chitina s'impregna di carbonato di calcio.

Un esoscheletro è sempre formato da segmenti (metameri<sup>3</sup>) dai quali si staccano gli arti, e che sono mobili fra loro per il fatto di essere collegati da membrane flessibili (vedi le figg. 1 e 2). Il numero dei metameri è variabile fra i vari gruppi di animali, anche all'interno della classe Insetti. Le forme più primitive mostrano in genere segmenti più numerosi e meno differenziati (Insetti atteri, Apterigoti, come i “pesciolini d'argento” e le “pulci delle nevi”). Nelle forme più evolute, i segmenti si riducono di numero e si differenziano in gruppi distinti con diversa struttura e funzione specifica. Nella maggioranza degli Insetti, infatti, si distingue un capo (forse 6 segmenti strettamente fusi fra loro, con varie appendici), un torace (tre segmenti, che portano le zampe e le ali) ed un addome (spesso 11 – 12 segmenti, senza arti né ali). Nei ragni questo processo di riduzione è spinto al massimo, nel senso che capo e torace sono fusi in un sol blocco (“cefalotorace”) e l'addome non mostra segmentazione.

In generale, in ogni segmento si distinguono una placca rigida dorsale (**tergite**) ed una ventrale (**sternite**). Fra le due, da ogni lato, uno sclerite più flessibile (**pleura**). Le ali si staccano fra tergite e pleure. Le zampe fra pleure e sternite.

Anche gli arti sono formati da segmenti rigidi (“articoli”) che sono mobili fra loro per mezzo di articolazioni e sono collegati anch'essi da membrane flessibili (figg. 1 – 2).

Un endoscheletro, per allungamento degli ossi e rimodellamento delle parti molli circostanti,

---

<sup>2</sup> Notare che la chitina si ritrova anche nelle pareti cellulari dei funghi in luogo della cellulosa, tipica dei vegetali. Per contro, la cellulosa si trova in piccola percentuale nell'esoscheletro di alcuni Insetti e nella tunica dei Tunicati (Salpe, Ascidie, Pirosoni, Dolioli – tutti marini, spesso pelagici.). – anche tale tunica, formazione cuticolare, rientra nel concetto di esoscheletro.

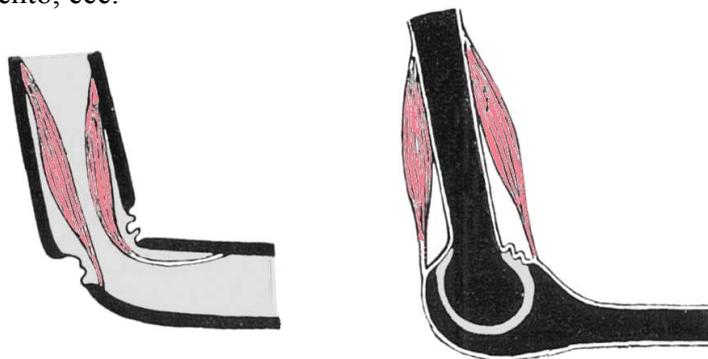
<sup>3</sup> Un metamero è una porzione dell'organismo che si ripete un certo numero di volte simile a se stessa e contiene, in copia nei successivi segmenti, alcuni organi.

può crescere dalla nascita fino all'età adulta senza interruzione. Un esoscheletro, invece, è rigido e non consente un accrescimento continuo (non è formato da tessuti viventi). Ne deriva che un Artropode, se vuol crescere, deve ogni tanto liberarsi dell'esoscheletro divenuto stretto e produrne un altro più grande. Questo fenomeno, detto “**muta**”, rende l'animale, per un certo periodo, più vulnerabile ai predatori, al disseccamento, ecc.

### Le articolazioni

Un chiarimento va fatto sul modo di articolarsi fra loro delle parti rigide dell'endoscheletro e dell'esoscheletro.

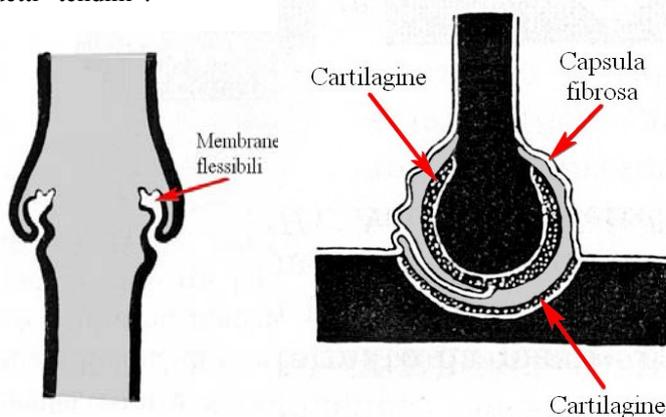
Fig. 1 – Nel caso dell'esoscheletro degli Artropodi (a sinistra), i muscoli sono fissati all'interno degli articoli. Nel caso dell'endoscheletro dei Vertebrati (a destra), i muscoli si fissano direttamente sugli ossi, all'esterno.



In ogni caso tramite fasci di fibre connettivali detti “tendini”.

Fig. 2 – Nel caso degli Artropodi (ancora a sinistra) i due articoli scorrono l'uno rispetto all'altro tramite apposite espansioni delle loro estremità, ma la “tenuta” rispetto all'ambiente esterno è assicurata da membrane flessibili che collegano le due parti. Non sono esse a fare da cardine.

Nel caso dei Vertebrati (a destra), i due ossi sfregano l'uno sull'altro tramite superfici articolari rivestite di cartilagine; lo spazio fra di esse è lubrificato da un liquido denso detto “sinovia” (in grigio nella figura), sigillato da un'apposita capsula fibrosa.



Sull'articolazione delle ali degli Insetti torneremo fra poco, ma intanto possiamo dire che in quel caso si rivela meglio il vantaggio dinamico del sistema articolare di questo gruppo di animali.

### Sistema muscolare

Il tessuto muscolare negli animali è costituito da cellule allungate: le “fibre” contrattili, di cui si distinguono due tipi prevalenti:

— “fibre **lisce**”, a più lenta risposta, di forma affusolata, con un nucleo centrale, a struttura omogenea (da cui il nome). Si trovano in tutti i visceri dei Vertebrati e negli Invertebrati a movimenti lenti. Durante la contrazione, si accorciano di circa il 20% della loro lunghezza a riposo.

— “fibre **striate**”, a risposta rapida, di forma cilindrica (conica alle estremità), con molti nuclei, tipiche dei muscoli scheletrici dei Vertebrati e di tutti i muscoli degli Artropodi (eccezionalmente in altri Invertebrati). Le fibrille di cui è costituita ogni fibra muscolare sono in questo caso a struttura irregolare, nel senso che alternano zone più chiare a zone più scure; poiché le zone chiare e scure delle fibrille di ogni fibra si corrispondono, la fibra nel suo complesso appare appunto “striata”.

Oltre ad essere del tipo “striato”, le fibre muscolari degli Insetti mostrano una striatura più complessa di quella dei Vertebrati. La striatura nei Vertebrati è piuttosto costante, mentre negli Artropodi presenta alcune differenze nelle varie specie. Sembra inoltre che, in molti casi, le fibre muscolari negli Insetti siano innervate da più di una fibra nervosa: questa stimolazione multipla può rendere più flessibili le loro prestazioni.

Durante la contrazione, i muscoli striati in genere si accorciano fino al 40% della loro lunghezza a riposo. Negli Insetti, però, questo dato è molto variabile e vedremo che, nei muscoli delle ali, l'accorciamento è minimo, anche meno del 2 %, e ciò in virtù del particolare meccani-

simo del loro volo, di cui ci occuperemo.<sup>4</sup>

A parte il vantaggio del rapporto di scala (pag. 1-2), si è osservato che, in condizioni di traino di oggetti, un insetto può trasportare un peso 10 o 20 volte maggiore del proprio.

Che i muscoli degli Insetti godano di una fisiologia molto efficiente, lo dimostrano i dati sul loro metabolismo.

#### Il metabolismo degli Insetti

Il tasso metabolico di un insetto in attività si aggira fra 100 e 500 calorie per grammo e per ora (Bibl. 25, pag. 594). Al confronto, un mammifero in corsa sfutta al massimo un decimo di quell'energia. Nell'uomo in corsa veloce, quel valore scende ad un ventesimo: dobbiamo vergognarci.

Per contro, negli Uccelli, in alcune specie a volo statico, come i colibri, il tasso metabolico può avvicinarsi a quello degli Insetti: le piccole dimensioni ed il tipo di volo portano a qualche convergenza.

Se si confronta il tasso metabolico di un Vertebrato in piena attività con quello in riposo, se ne ricava un rapporto di circa 10. In un insetto in volo, quel rapporto può arrivare a 100: questi nanetti hanno un carburatore decisamente efficiente.

Naturalmente, gli Insetti sono animali "eterotermi", a sangue freddo, e la loro attività è legata alla loro temperatura corporea: qualunque reazione chimica e biochimica si svolge con una velocità che cresce con la temperatura, per un fattore di circa 2 – 3 per una variazione di 10°C<sup>5</sup>. Per controllarla, gli Insetti usano gli stessi meccanismi di altri animali: "riscaldare" i muscoli accrescendone il tono o con "esercizi di riscaldamento", esporsi al sole, e simili.

Il problema del raffreddamento è ovviamente più grave per le specie di piccole dimensioni. Per attenuarlo, anche qui, valgono i soliti rimedi: peluria, secrezioni cerose, ripari adeguati, infossamento, aggregazione serrata di molti individui.

Un rendimento così elevato della muscolatura degli Insetti presuppone naturalmente una forte ossigenazione. Il materiale "combustibile" primario, come per tutti gli esseri viventi, è il glucosio, col solito mediatore chimico dell'ATP (adenosin-trifosfato).

Ma c'è una differenza. Il muscolo dei Vertebrati in attività moderata opera in regime "**aerobico**": l'ossigeno presente è sufficiente a portare alla degradazione completa del glucosio (in acqua ed anidride carbonica). In attività intensa, il processo si ferma a metà per insufficienza di ossigeno (regime anaerobico) ed il prodotto finale rimane un composto intermedio (acido lattico, ad es.), causa dei crampi. Si parla di "debito d'ossigeno". Il rendimento si dimezza.

Negli Insetti tutto il processo è aerobico, con maggior rendimento e minor produzione di cataboliti. In attività elevata, il loro metabolismo si complica, nel senso che si avvale anche di lipidi, presenti nel sangue in forma di emulsione.

Le fibre dei muscoli del volo negli Insetti contengono mitocondri<sup>6</sup> di enormi dimensioni: anche questo è un indice delle loro elevate prestazioni energetiche.

La forte ossigenazione che tutto questo comporta presuppone un sistema respiratorio altrettanto efficiente.

#### Sistema respiratorio

Raramente lo scambio d'ossigeno nei Vertebrati avviene solo attraverso i tegumenti; troviamo questo in animali a sangue freddo e molto piccoli. Può avvenire anche in molti Insetti, anch'essi molto piccoli.

Il processo respiratorio normale dei Vertebrati si basa su due fasi distinte: l'ossigeno viene a contatto con particolari tessuti, le branchie in quelli acquatici, i polmoni in quelli terrestri. In

<sup>4</sup> È interessante ricordare che tutti gli elementi contrattili in tutto il mondo animale, anche nei Protozoi, si basano sulla labilità dei legami chimici fra due tipi di proteine a molecola filiforme: actina e miosina (vedi in questo sito l'art. A 10, "I movimenti delle piante", pag. 3 e 4).

<sup>5</sup> È il cosiddetto "coefficiente di van't Hoff (Jacobus Hendricus van't Hoff, chimico olandese, 1852-1911).

<sup>6</sup> I mitocondri sono organuli presenti in ogni categoria di cellule, deputati proprio alla produzione di energia.

questi organi circola una fitta rete di vasi sanguigni che, per diffusione, assorbono ossigeno (e scaricano anidride carbonica ed altri gas di rifiuto). Il sangue viene allora richiamato dal cuore (tramite le vene polmonari) e, attraverso le arterie, portato ai tessuti da un'altra fitta rete di vasi, da cui l'ossigeno diffonde. Il sangue è allora il vero trasportatore d'ossigeno, intermediario fra l'ambiente esterno e le cellule.

Negli Insetti il passaggio attraverso il sangue viene "saltato": l'aria viene portata a diretto contatto con i tessuti, attraverso una fitta rete di canalicoli sempre più ramificati, detti "**trachee**".

In alcuni Insetti di piccole dimensioni, acquatici o parassiti, il sistema tracheale è chiuso rispetto all'esterno ed assume l'ossigeno solo per diffusione. Ma sono eccezioni.

Le trachee formano un sistema di tubi che partono da fori del tegumento ("**spiracoli**"), disposti sui fianchi: da una a tre paia nel torace, 6 – 8 paia nell'addome (vedi anche la fig. 36). Le trachee rappresentano una derivazione del tegumento; pertanto, la loro parete si rinnova ad ogni muta. Essa è sempre rinforzata – per evitarne il collasso – da sottili ispessimenti ("**tenidi**") in forma di anelli o di elica. Il sistema tracheale non ha mai rapporti con la bocca.

Gli spiracoli raramente hanno l'aspetto di semplici fori. Si tratta in genere di infossamenti del tegumento ("**atrii**") con in fondo la vera apertura della trachea ("**stigma**"). L'atrio presenta spesso dei filtri (setole o lamine cribrose [forate]) con funzione filtrante rispetto a polvere, corpi estranei, parassiti).

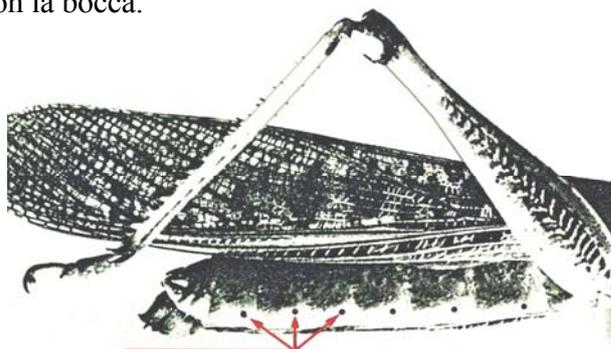


Fig. 3 – Gli stigmi nell'addome di una cavalletta (frecche rosse).

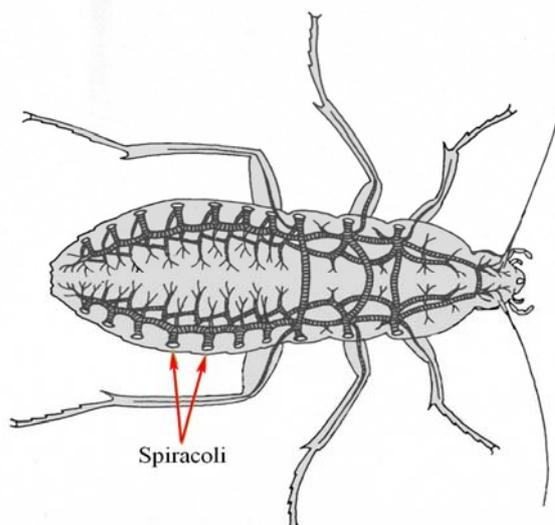
Lo stigma a sua volta non è un semplice foro, ma presenta due labbri che si possono chiudere per stiramento di un apposito muscoletto e divaricare per rilassamento elastico. Il muscolo è innervato e pertanto la chiusura/apertura dello stigma è sotto controllo almeno parzialmente volontario da parte del proprietario.

In pochi casi, da ogni stigma parte una trachea che si ramifica semplicemente all'interno dei visceri. In tutti gli altri casi, le trachee confluiscono in un sistema complesso con due tronchi principali longitudinali, molti tronchi trasversali di collegamento e varie anastomosi (canali di connessione fra vari rami). Ne nasce un sistema assai complesso, leggermente diverso nelle varie specie.

Fig. 4 – Schema generale del sistema respiratorio (tracheale) di un Insetto, visto da sopra.

Le trachee si ramificano all'interno del tegumento fino a raggiungere tutti gli organi, una specie di polmone diffuso. A livello dei tessuti, le trachee si ramificano in diramazioni sempre più sottili (**tracheole**) che alla fine diventano canalicoli interni a singole cellule "tracheolari".

Il fatto essenziale è che le ultime ramificazioni delle tracheole possono rivestire e penetrare all'interno di ogni cellula dell'insetto, specie delle fibre muscolari, sembra fino all'interno dei mitocondri.



Le ramificazioni più fini delle tracheole hanno un diametro dell'ordine del micron (millesimo di millimetro) e sono piene di liquido, il che facilita lo scambio dei gas. Quando l'insetto tende a disidratarsi e la pressione osmotica all'interno delle cellule aumenta, quel liquido viene riassorbito dalle cellule stesse, portando con sé altro ossigeno, oltre a mantenere l'equilibrio osmotico (figure seguenti).

Fig. 5 (a destra) – Schema di trachea. Lo spiracolo è qui ridotto ad un semplice foro. L'estremità delle tracheole è disegnata in nero per indicare in esse la presenza di liquido. (Da: Bibl. 3, pag. 958)

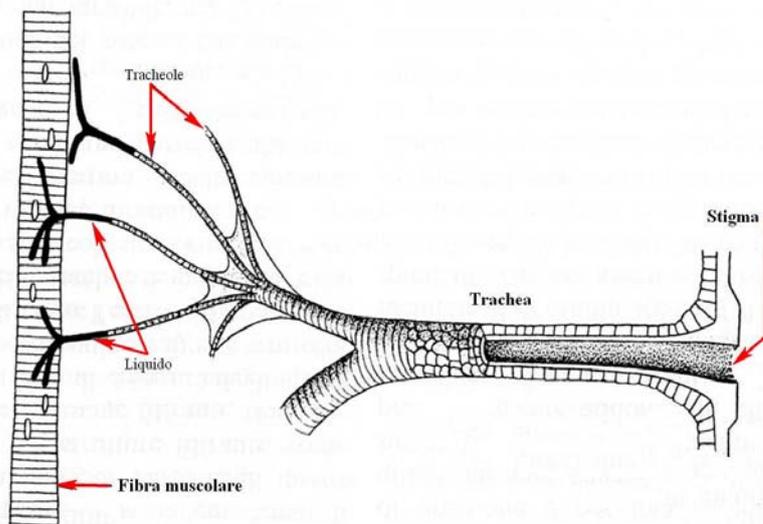
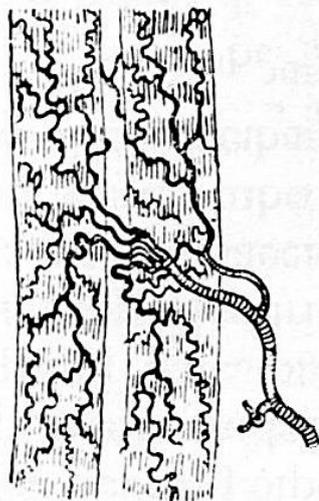
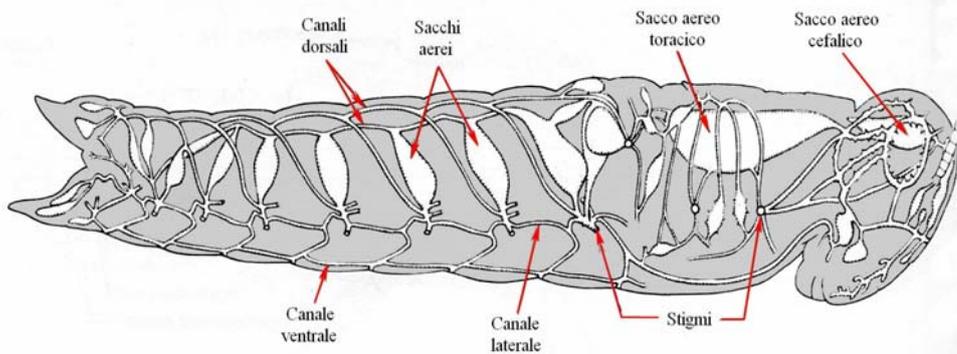


Fig. 6 (a sinistra) – Indicazione di maggior dettaglio del rapporto fra tracheole e fibre muscolari; rapporto che si fa più stretto nel caso dei muscoli del volo. (Da: Bibl. 33, pag. 633, modif.)

In questo modo, l'ossigeno viene portato direttamente fino all'interno di ogni cellula, fatto unico nel mondo animale, il che spiega l'elevatissimo metabolismo dei muscoli del volo ed il loro funzionamento sempre aerobico.

In molti insetti poi, specie in quelli volatori, il sistema tracheale presenta delle dilatazioni, spesso una coppia per ogni segmento corporeo, dette "sacchi aeriferi" (figura seguente).

Fig. 7 – Schema del sistema dei sacchi aeriferi di un insetto. Si noti che il volume complessivo dei sacchi aeriferi degli Insetti può rappresentare fino al 30% dell'intero volume dell'insetto. Non è trascurabile.



La loro funzione, come negli Uccelli, è quella di fornire una riserva d'aria sempre disponibile, ma non si tratta di una riserva passiva: un meccanismo legato alle contrazioni dei muscoli addominali dorso-ventrali ed all'apertura/chiusura degli stigmi, consente una vera e propria respirazione attiva, una circolazione d'aria nel sistema tracheale. Ecco come.

Almeno nei buoni volatori, supponendo un esoscheletro semirigido, i movimenti dei muscoli addominali possono variare la pressione interna dell'organismo, qualcosa di simile a quanto avviene nella gabbia toracica dei Vertebrati terrestri. Il meccanismo funziona perché, all'interno di queste strutture semirigide a volume variabile, esiste una cavità elastica capace di sgonfiarsi se la cavità si restringe e si riempie (per effetto della pressione atmosferica) quando la cavità si allarga. La cavità elastica per i Vertebrati è il polmone, per gli Insetti il sistema dei sacchi aerei.

Ma c'è una differenza; negli Insetti l'aria non passa per l'inizio (unico) del tubo digerente (bocca e faringe), ma attraverso un sistema di fori e canali con funzione specifica: gli stigmi e le trachee. Il ciclo respiratorio si svolge quindi con qualche differenza.

Inoltre, gli spiracoli dei segmenti anteriori si aprono durante l'allargamento della cavità dell'esoscheletro (inspirazione), quelli posteriori durante la compressione (espirazione). Un vero circuito di circolazione dell'aria a senso unico, dall'avanti all'indietro.

Negli Insetti l'espiazione è dunque un fenomeno attivo: è dovuta alla contrazione di muscoli addominali dorso ventrali e di muscoli longitudinali che variano la distanza fra i vari segmenti. L'inspirazione è invece un fenomeno passivo in quanto la dilatazione della cavità corporea è dovuta all'elasticità dell'esoscheletro. Nei Vertebrati, all'inverso, l'inspirazione è attiva per sollevamento muscolare della gabbia toracica, ed abbassamento del diaframma, e l'espiazione è parzialmente passiva per l'elasticità ed il collasso gravitativo di essa.

In alcuni Insetti acquatici, specialmente larve, sono presenti organi paragonabili a branchie, ricchi di trachee, che prelevano l'ossigeno dall'acqua ambiente. Nelle larve di Odonati (libellule) le branchie possono essere alloggiate nella porzione terminale, dilatata, del tubo digerente.

In Insetti acquatici adulti, è più frequente il caso di strutture alla superficie dell'addome (peluria idrofuga, spazi limitati sotto le elitre) capaci di trattenere una bolla d'aria (il "piastrone") che l'animale rifornisce periodicamente emergendo con l'addome all'insù.

Gli Insetti endoparassiti, vivendo nei tessuti dell'ospite, ottengono l'ossigeno con meccanismi analoghi a quelli degli Insetti acquatici. Se sono piccoli, caso frequente, lo scambio di gas avviene per diffusione attraverso il tegumento.

Può sembrare eccessivo, ma il sistema respiratorio degli Insetti somiglia per certi aspetti a quello delle piante verdi aeree: gli stomi presenti sulle foglie si aprono e si chiudono in relazione (fra l'altro) al contenuto di ossigeno ed anidride carbonica nei tessuti sottostanti. Inoltre essi regolano la perdita di vapor d'acqua da parte dell'organismo. Nelle piante, con bassa illuminazione ed aria asciutta, gli stomi dovrebbero aprirsi per facilitare la fotosintesi ma chiudersi per evitare la disidratazione. Un vero confitto d'interessi.

Negli Insetti può verificarsi qualcosa di simile: in caso di forte attività in aria asciutta gli stomi devono aprirsi per soddisfare il fabbisogno d'ossigeno, ma accelerano la disidratazione.

Gli stomi, poi, si possono chiudere quando l'insetto percepisce nell'aria la presenza di gas tossici; prove sperimentali dimostrano che esso può sopravvivere per un intero giorno in un'atmosfera che sarebbe letale per un altro animale di pari dimensioni.

Da quanto detto si può concludere che il volo presenta esigenze energetiche e respiratorie molto stringenti e che tali esigenze sono state risolte brillantemente dagli Insetti. Fra i Vertebrati, qualcosa di parzialmente simile si trova solo fra gli Uccelli.

### Sistema circolatorio

Nel determinare l'efficienza del sistema muscolare e metabolico degli Insetti, il sistema circolatorio ha certamente un'importanza assai minore di quello respiratorio.

La ragione è semplice: il trasporto dell'ossigeno dall'ambiente agli organi interni non è affidato al sangue, come si è detto, ma ad un sistema diretto di canalizzazione dell'aria fino ad ogni singola cellula, il sistema tracheale appena descritto.

Infatti, il sangue degli Insetti non contiene pigmenti respiratori come l'emoglobina<sup>7</sup>, salvo il raro caso delle larve acquatiche di alcuni Ditteri (*Chironomus*, un moscerino), che appaiono rosse proprio per via dell'emoglobina. Ciò non impedisce che l'ossigeno e l'anidride carbonica possano venire trasportati in piccola parte anche dal sangue, per semplice soluzione e diffusione, come se fosse acqua.

Per inciso, l'anidride carbonica diffonde bene attraverso il tegumento degli Insetti (date le loro piccole dimensioni, il loro rapporto superficie/volume è molto elevato), mentre per l'ossigeno esso è impermeabile.

Il sangue degli Insetti serve da distributore dei prodotti della digestione e dei prodotti di rifiuto. Esso presenta un colore giallastro e contiene ormoni, zuccheri<sup>8</sup>, aminoacidi in grande

<sup>7</sup> In altri Artropodi si trova un pigmento bluastro con simile funzione (emocianina).

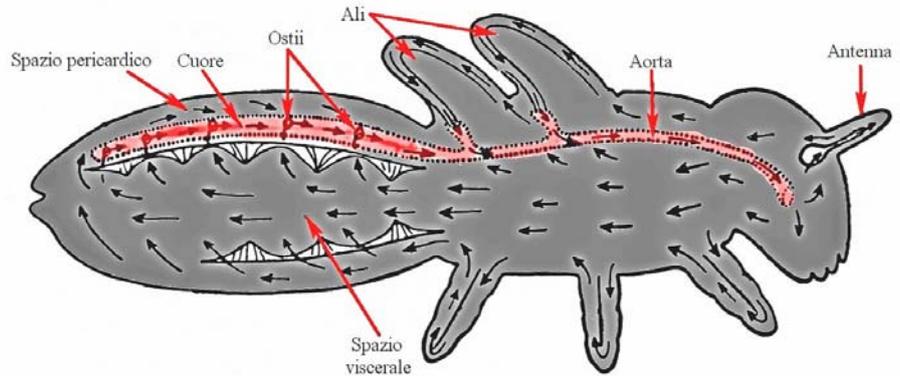
<sup>8</sup> Si tratta di trialosio, che sembra caratteristico di questa classe.

quantità, acido urico, fosfati, grassi in emulsione e cellule nucleate fagocitarie – amebociti.

Viene chiamato **emolinfa** per chiarire che esso svolge le funzioni tipiche del sangue (ema-) nei sistemi circolatori chiusi, oltre quelle della linfa interstiziale dei Vertebrati.

Fig. 8 – Schema semplificato del sistema circolatorio degli Insetti.

Il sistema circolatorio dei nostri amici è “aperto” nel senso che il sangue circola negli spazi esistenti fra i vari organi, una cavità generale molto frammentata, chiamata **emocele**.



Non circola dunque in un sistema arterioso-venoso “chiuso”, come nei Vertebrati.

Il sangue circola, sia pure lentamente, in seguito alle contrazioni di un tubo dorsale, il **cuore**, appeso alle pareti dell’esoscheletro da vari legamenti. Oltre alle contrazioni proprie, il cuore è sollecitato anche dalle tensioni dei suoi legamenti sospensori.

Il sangue entra nel cuore da una doppia serie di fori laterali (“**osti**”) che si aprono ritmicamente essendo dotati di valvole in sola entrata, mentre esce dall’avanti attraverso un corto tubo (“**aorta**”) che termina nel capo.

Per via dell’elasticità generale dell’esoscheletro, il sangue degli Insetti è in leggera pressione e può quindi contribuire alla distensione delle ali (in cui penetra come vedremo) al momento della schiusa, ai meccanismi della muta ed all’uscita delle larve dall’uovo.

## La DEAMBULAZIONE

Nei Vertebrati tetrapodi, in specie nei Mammiferi, i quattro arti possono poggiare sul terreno con varie successioni, potendosi spesso definire il *passo*, il *trotto*, il *galoppo*, l’*ambio*, e simili.

Negli Insetti sembra esistere una sola successione: zampa anteriore e posteriore destra assieme alla zampa media sinistra, oppure il contrario. Tre zampe alla volta toccano sempre il terreno e l’animale è generalmente in posizione stabile.

Per passare dalla marcia alla corsa semplicemente varia la frequenza nello scambio fra le due configurazioni di base.

Il coordinamento nel movimento delle sei zampe deve essere perfetto, senza di che l’insetto inciamperebbe di continuo. Tale coordinamento è sottoposto a meccanismi nervosi, in buona parte riflessi, comandati da stimoli che provengono da propriocettori, in particolare tensocettori, localizzati nelle zampe (vedi, nell’articolo precedente, A 18, la pag. 1 e la fig. 3); tali recettori consentono sempre al sistema nervoso di percepire la posizione degli arti e lo stato di tensione dei singoli muscoli.

Certi Insetti corrono o saltano facilmente alla superficie dell’acqua. Questa modalità di movimento avviene poiché il corpo, o almeno l’estremità delle zampe, sono fortemente idrofughi. Poiché la superficie dell’acqua si comporta come una pellicola elastica in virtù della tensione superficiale, l’insetto non si bagna le zampe e non sprofonda. Naturalmente, questo trucco funziona solo con Insetti piccoli e con lunghe zampe.

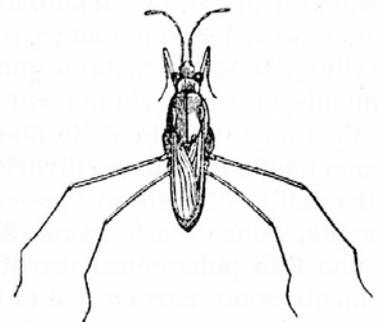


Fig. 9 – Un insetto che cammina sull’acqua, il *Gerris lacustris* (Emitteri), di 8 – 10 mm. È talmente sicuro di sé che adopera solo quattro zampe per stare a galla. Sul terreno può anche saltare: le zampe medie e posteriori sono robuste poiché servono a correre velocemente sull’acqua.

Fig. 10 – Una notonetta (*Notonecta glauca* – Emitteri), capace di nuotare col ventre all'insù. È carnivora e punge maledettamente. Le zampe posteriori sembrano piume d'uccello e naturalmente servono da remi. Le altre servono a trattenere le prede.

Sfregando parte del rostro sulle zampe anteriori, l'insetto produce suoni con funzione di richiamo sessuale.



Negli Insetti nuotatori, le zampe posteriori portano espansioni laminari, a mo' di remi (certi Coleotteri Girinidi) o file di setole, a mo' di penne (Coleotteri Ditiscidi, Emitteri, come la notonetta della figura a lato, ecc.).

La struttura della zampa "tipo" prevede, alla base, due piccoli pezzi: un'anca (o coxa), fissa alle pleure toraciche (pag. 3) ed un trocantere, fisso al femore.

Fig. 11 (a destra) – Schema generico di zampa d'insetto. L'articolazione basale, fra anca e trocantere, porta l'articolo più grande, il femore; segue la tibia e poi il tarso.

Il tarso è formato da uno a cinque articoli ed è terminato da un pretarso. Questo termina con due unghie ricurve ed un pulvino molle e rigonfio, detto arolio, destinato a migliorare l'aderenza alle superfici lisce.

Questo schema subisce innumerevoli varianti in relazione all'adattamento di ogni singola specie alla relativa nicchia ecologica. Basti pensare ad Insetti scavatori come i grillotalpa, con femori e tibie allargate a pala, tibie con grossi denti, come le ruspe.

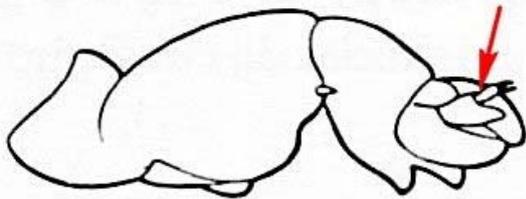
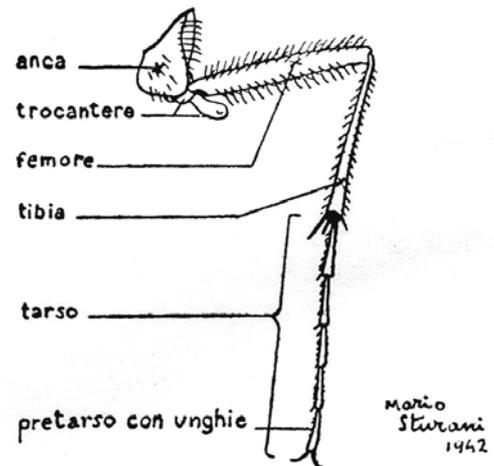


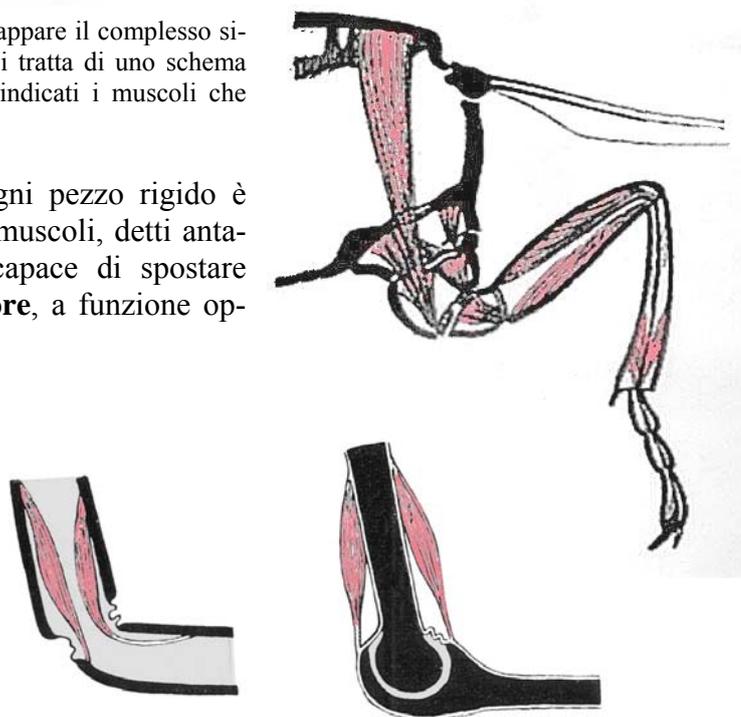
Fig. 12 (a sinistra) – Schema della zampa anteriore del grillotalpa. Notare il tarso, ridottissimo, e l'espansione del femore e della tibia, dotata di grossi denti.

Fig. 13 (a destra) – In questo schema, appare il complesso sistema di muscoli di una zampa tipica. Ma si tratta di uno schema semplificato: basti osservare che non sono indicati i muscoli che comandano il tarso.

Come avviene nei Vertebrati, ogni pezzo rigido è comandato almeno da una coppia di muscoli, detti antagonisti poiché l'uno è **estensore**, capace di spostare l'arto verso l'esterno, l'altro **adduttore**, a funzione opposta.

(Fig. 1) – Se ricordiamo la fig. 1 a pag. 4, vediamo come il meccanismo dei due muscoli antagonisti è inevitabile, qualunque sia lo schema dello scheletro.

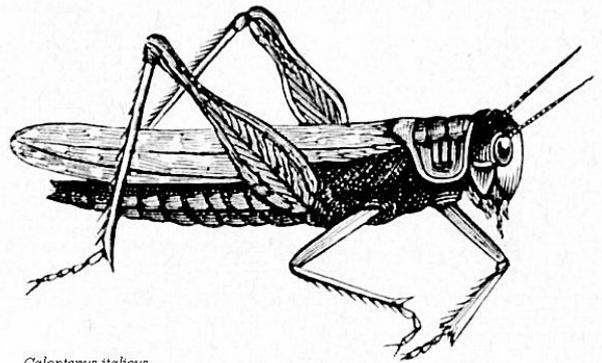
Non è necessario spiegare perché i buoni corridori mostrano zampe più lunghe degli scavatori.



## Il salto

Fig. 14 – Un Ortottero Celifero (*Caloptenus italicus*), buon saltatore. Non occorre molta fantasia per capire quali sono le zampe coinvolte nella sua capacità di saltare. I femori sono fortemente dilatati per alloggiare i muscoli estensori della tibia.

All'estremità distale della tibia posteriore, come in tutti i buoni saltatori, si noti una spina rivolta all'esterno, utile a far presa sul terreno.



*Caloptenus italicus*

Anche se i saltatori più noti sono tutti Ortotteri (cavallette, locuste, grilli, e simili), un altro insetto buon saltatore è ben noto a chi possiede animali: ogni specie di mammifero alloggia una specie distinta di pulce ma, in caso di carestia, la pulce è di buona bocca ed attacca volentieri anche l'uomo.

Fig. 15 – La *Pulex irritans* (Afanitteri) è parassita preferenziale dell'uomo, ma le specie parassite degli animali domestici le assomigliano molto. Può trasmettere alcune specie di Cestodi (vermi Platelmini parassiti intestinali). Una specie simile (*Xenopsilla cheopis*) trasmette la peste.

Anche alcuni Coleotteri, fam. Crisomelidi Alticini, saltano con lo stesso meccanismo: l'estensione delle zampe posteriori.

Tutti avranno notato, in Estate, su varie piante erbacee, dei piccoli ammassi di schiuma che sembrano sputi umani, da cui il nome di "sputacchine". Con un filo d'erba è facile spostare la schiuma e notare lì in mezzo alcune larvette bianchicce: sono le larve di un Emittore Cercopide che succhiano la linfa delle piante e con quella producono dall'ano un liquido vischioso mescolato ad aria.

Quel liquido le protegge dal disseccamento, dal sole e, forse, dai predatori.

Fig. 16 – Ammasso di schiuma di sputacchina. In alto a sinistra due larve. In basso a destra, due adulti.

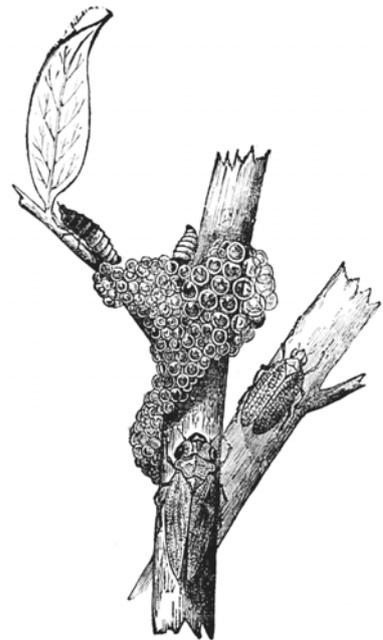
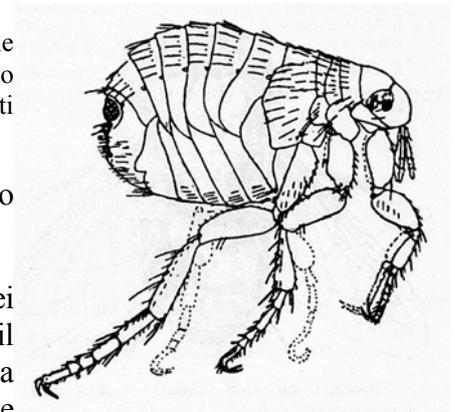
L'adulto ha la struttura tipica degli Emittori, con tegmine (elitre) semi-rigide, e spicca salti improvvisi anche di mezzo metro, pur essendo lungo pochi millimetri.

Buoni saltatori anche i suoi prossimi parenti Cicadellidi.

Altri buoni saltatori, poco appariscenti, sono gli Psillidi (Emittori pure quelli), simili a piccole cicale, lunghi due o tre mm. Le larve vivono sulle piante provocandovi la formazione di galle e spesso si ricoprono di sottili filamenti cerosi che le fanno somigliare a fiocchi di bambagia.

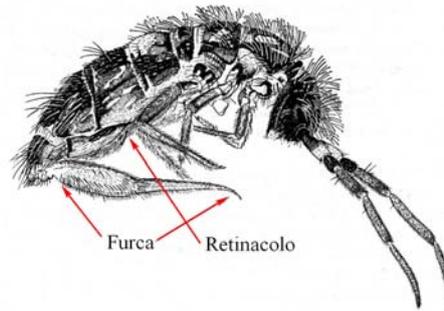
In questi Emittori, però, il meccanismo del salto non è lo stesso di quello illustrato finora. Si tratta sempre di una forte estensione delle zampe posteriori, ma l'articolazione che si estende di più non è quella fra femore e tibia, ma quella fra anca e trocantere (vedi sopra la fig. 11, alla pagina precedente).

Oltre al classico meccanismo di salto basato sull'estensione delle zampe posteriori, Madre Natura ha escogitato altri metodi ingegnosi. Facciamo qualche esempio.



Figg. 17 e 18 – Fra gli Insetti più primitivi, sempre privi di ali e con segmentazione ridotta, vi sono i Collemboli.

All'estremità dell'addome di alcune specie, sul quarto segmento, si trova un'appendice biforcuta ("furca") ripiegata a riposo e trattenuta da un **retinacolo** del terzo segmento.



Nella figura si vedono un individuo a furca estesa ed uno (di specie diversa) a furca in riposo.

La furca si può sganciare di scatto come una catapulta e consente all'animale di compiere lunghi salti, anche quando si sposta sulla neve (*Desoria glacialis* o *Isotoma saltans*, "pulce delle nevi", 2 mm, che resiste fino a  $-30^{\circ}\text{C}$ , nutrendosi del polline trasportato dal vento), sull'erba (*Orchesella villosa*, 5 mm, fig. 17) o sull'acqua (*Podura aquatica*, 1 – 2 mm, fig. 18, in questo caso sfruttando ancora la tensione superficiale).

In alcuni Collemboli, una ghiandola inferiormente al capo produce un liquido vischioso che l'insetto adopera per aderire a superfici lisce.

Per inciso, i Collemboli sfuggono all'osservazione normale per le loro piccole dimensioni e lo stile di vita sotterraneo. Ma si tratta di 2.000 specie conosciute, comparse fin dal Periodo Devoniano; in un metro cubo di terreno si possono trovare fino ad un milione d'individui.

Nell'articolo precedente (A 18, pag. 20-21) abbiamo già citato alcuni esemplari di Coleotteri, fam. Elateridi, dotati di organi luminosi (pirofori). In quella famiglia è comune una tecnica di salto piuttosto imprevedibile.

Fig. 19 – Un tipico Elateride si riconosce subito dalla caratteristica forma affusolata. Nei maschi, le antenne sono a volte a forma di pettine. Le larve vivono nel legno morto.

Se lo si rovescia nel cavo della mano, l'insetto "fa il morto". Dopo pochi secondi, esso s'inarca e si sente un secco "click": l'animale balza di qualche centimetro. Questo gli ha valso i nomi di "stiantino", "saltamartino", "picchiamartello", "fabbroferraio", ecc.

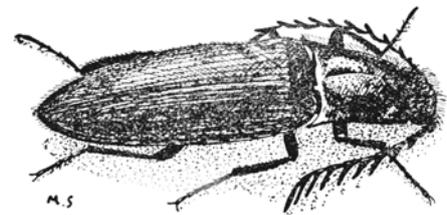
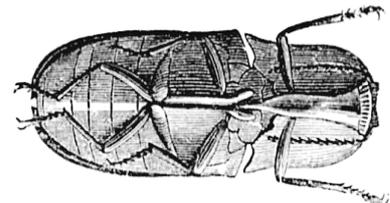


Fig. 20 – Inferiormente al protorace (il primo segmento del torace) si trova una grossa punta rivolta all'indietro. Ad essa corrisponde una fossetta nel secondo segmento toracico (mesotorace).



Quando l'insetto si trova a pancia in su, si appoggia sulla punta delle elitre e sul capo, si inarca e si solleva. Al momento giusto, la punta rientra bruscamente nella fossetta, l'insetto urta sul piano d'appoggio col mesotorace e la base delle elitre. Per reazione, balza in aria.

Se esso ricade sulle sei zampe, nessuno lo trattiene dalla fuga. Se ricade sul dorso, riattacca. (vedi Bibl. 14, pag. 77).

Può essere divertente il caso dei "semi salterini" di una pianta dell'America centrale. Se vengono posti al sole e poggiati su un piano rigido, alcuni di questi semi cominciano a saltellare. Il fenomeno sta nella larva di un microlepidottero, una farfallina (*Carpocapsa saltitans*), che parassitizza questi semi e, sentendo il riscaldamento dovuto ai raggi solari, si piega e si distende di scatto facendo saltare il suo contenitore finché non raggiunge una zona d'ombra.

## IL VOLO

Il volo è certamente il modo di locomozione che richiede il massimo d'energia, se non altro perché la gravità non si può scaricare su una superficie d'appoggio, attraverso le zampe.

In realtà, molti animali hanno scelto il volo passivo, planato, come gli "scoiattoli volanti", che semplicemente si lasciano portare dalla gravità rallentando la caduta con ampie pieghe cutanee, a mo' di paracadute. Così molti ragni lasciano andare al vento un lungo filo che è in grado di trasportarli lontano (passivamente) in quanto fa presa sul vento. Alcuni Insetti molto piccoli portano ali ampiamente sfrangiate o pelose; sembra che il loro sostentamento venga dall'attrito con l'aria e da movimenti particolari dell'ala. Il vero volo planato negli Insetti è comunque limitato a poche specie di grandi dimensioni.

Ma vogliamo parlare qui del volo attivo, capace di sostenere l'animale con una certa indipendenza dalla gravità e dai movimenti del vento.

Gli unici animali volatori attivi che la lunga storia dell'evoluzione ha portato sulla faccia della terra sono alcuni rettili del Mesozoico (gli Pterosauri, 70 – 200 milioni di anni fa), gli Uccelli (non tutti), alcuni Mammiferi (i Chirotteri – i pipistrelli), e molti Insetti.

Negli Pterosauri e nei Chirotteri, il volo è affidato ad ali sostenute da uno scheletro interno di ossa che fanno parte dell'arto anteriore e sostengono un'ampia piega cutanea ("patagio"). Negli Uccelli, lo scheletro è lo stesso, ma la superficie portante è affidata a formazioni cutanee indipendenti (le penne).

Negli Insetti, invece, le ali sono date da formazioni esclusivamente tegumentali, prive di scheletro interno. La loro consistenza è affidata ad una rete di "nervature".

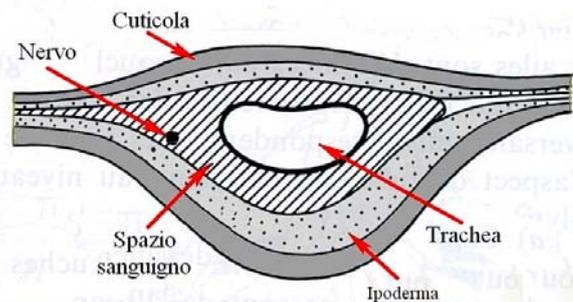
### La struttura delle ali degli Insetti

Con quali passi successivi si siano sviluppate le ali degli Insetti nel corso dell'evoluzione, non è chiaro, e mancano fossili in grado di illuminarci. Si sa che Insetti volanti sono documentati dai fossili a partire dal periodo Carbonifero superiore (circa 300 milioni di anni fa, la famosa *Meganeura*, una libellula con apertura alare di oltre 80 cm).

Provenendo da un'espansione del tegumento, le ali degli Insetti sono in sostanza delle doppie pieghe con uno strato esterno di cuticola; subito sotto, i tessuti viventi ipodermici, che scompaiono durante la maturazione dell'animale. Fra le due superfici, si diramano le nervature che consistono in altrettanti canali compresi fra due ispessimenti del tegumento; in ognuno di questi canali si trova uno spazio "ematico" collegato coll'emocele (pag. 9) e quindi pieno di emolinfa, una trachea e di solito una terminazione nervosa.

Fig. 21 – Sezione schematizzata di una delle nervature primarie dell'ala degli Insetti. Le nervature più robuste si trovano sul bordo dell'ala ("remigio") e danno ad essa la rigidità necessaria per aver presa sull'aria.

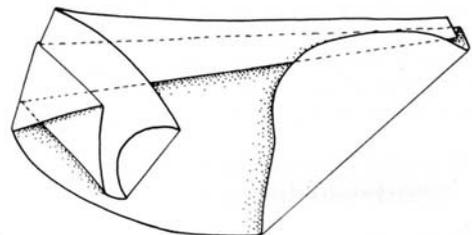
La pressione dell'emolinfa e dell'aria che si spingono nelle nervature consente la distensione dell'ala quando l'insetto esce dalla pupa al termine del suo sviluppo.



Negli insetti che ripiegano l'ala fra un volo e l'altro, al di sotto delle elitre, come i Coleotteri, l'ala si deve distendere rapidamente prima del decollo, sempre per effetto della pressione dell'aria e del sangue.

Fig. 22 – Schema del ripiegamento dell'ala posteriore dei Coleotteri durante il riposo. L'ala anteriore, l'elitra, la ricopre completamente e la nasconde alla vista.

Tale schema rimane fisso per tutta la vita e per tutti gli individui di quella specie; esso è quindi predisposto nella struttura fine dell'ala. (Da: Bibl. 4, pag. 640).

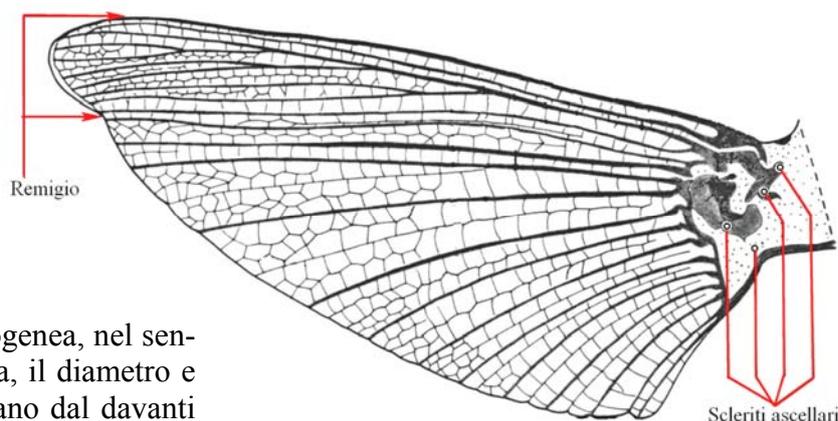


La disposizione delle nervature nelle ali degli Insetti è molto variabile da una specie all'altra e non entriamo nei dettagli.

Ovviamente, le nervature del bordo anteriore, quello che fende l'aria nel volo, sono le più sollecitate dal punto di vista meccanico, e quindi le più robuste. Questa parte dell'ala è detta **remigio**.

Fig. 23 – Schema di ala-tipo.

Sono messi in evidenza il remigio e la parte prossimale (la base) dell'ala, in cui sono presenti varie placche irregolari di rinforzo, dette "scleriti ascellari". (Da: Bibl. 4, pag. 640, modif.).



La lamina alare non è omogenea, nel senso che lo spessore della lamina, il diametro e la densità delle nervature variano dal davanti all'indietro secondo uno schema a ventaglio.

Tutto ciò, ovviamente, in relazione alle sollecitazioni che l'ala subisce durante il suo movimento.

A maggior ragione, la base dell'ala deve essere irrobustita in quanto su di essa si applicano i muscoli e gli scleriti che la fanno muovere. Pertanto, fra le due lamine di tegumento sopra citate, esistono vari ispessimenti alla base dell'ala, altri piccoli scleriti di forma varia, detti "**scleriti ascellari**" (vedi la figura qui sopra).

Lo schema appena esposto corrisponde all'ala membranosa posteriore dei Coleotteri, Ortotteri, Emitteri, ecc., l'ala che partecipa maggiormente al volo.

Va però aggiunto che spesso l'ala anteriore è trasformata ed ispessita, irrigidita, e partecipa passivamente al volo, come quella degli aeroplani: non batte, ma la sua curvatura procura comunque una certa portanza. Parliamo in questo caso di **elitre** (nei Coleotteri), di **tegmine** (negli Ortotteri – cavallette e grilli), di **emielitre** (negli Emitteri). In quest'ultimo ordine (cimici delle piante, sputacchine, cicale, afidi, ecc.), vi sono tutti i passaggi da ali tutte membranose (cicale), ad ali anteriori ispessite solo nella metà prossimale (certe cimici delle piante) o totalmente rigide (sputacchine). Se le ali sono totalmente membranose o totalmente coriacee si parla di Emitteri Omotteri; altrimenti di Eterotteri.

In qualche raro caso avviene l'inverso, e le ali coriacee sono quelle posteriori.

Accade anche che le ali posteriori si riducano a piccole appendici a forma di spillo, di clava o di scaglietta (i "**bilancieri**" di molti Ditteri – mosche e zanzare), oppure che siano le ali anteriori a ridursi a squame (certi Ortotteri, ad es.).

I bilancieri dei Ditteri non sono organi vestigiali, atrofici ed inutili: alla loro base vi sono organi cordotonali (vedi l'articolo precedente, A 18, pagg. 4 e 5) che consentono all'insetto di percepire di continuo l'assetto del corpo in volo ed il flusso dell'aria sulla sua superficie; essi funzionano quasi come giroscopi ed anemometri. Essi battono in sincronismo colle altre ali.

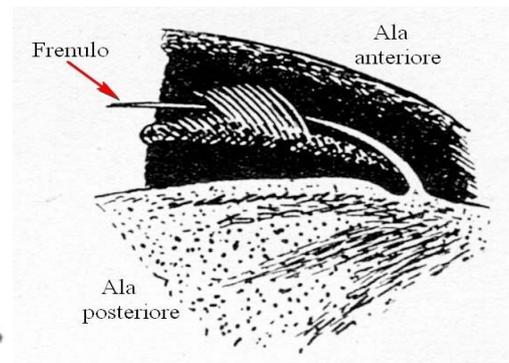
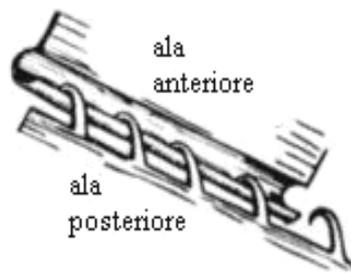
Negli Strepsitteri (minuscoli Insetti parassiti di api e vespe) sono le ali anteriori ad essere sostituite da bilancieri.

Quando le quattro ali sono tutte membranose (Lepidotteri – farfalle, Imenotteri – api, vespe, bombi, alcuni Emitteri – cicale, Odonati – libellule, blatte, ecc.) i movimenti del paio anteriore e di quello posteriore possono essere indipendenti. Questo viene interpretato come un segno di primitività e di poca efficienza<sup>9</sup>. In quasi tutti gli altri casi esiste un vincolo che obbliga le ali delle due paia a muoversi di concerto, in modo che la turbolenza creata dal primo paio non disturbi il secondo. Impossibile elencare tutte le modalità esistenti.

Si va dalla semplice sovrapposizione ed adesione, alla presenza di setole, uncini, costole in rilievo che si intrecciano fra loro (figura seguente).

<sup>9</sup> È difficile parlare di poca efficienza quando si osserva l'agilità e la flessibilità del volo delle libellule, ma tant'è ... Oltretutto, come pochi altri Insetti, **le libellule sono capaci di volare anche in retromarcia**.

Fig. 24 e 25 – Due tipici esempi di aggancio fra ala anteriore e posteriore in un insetto con quattro ali membranose.

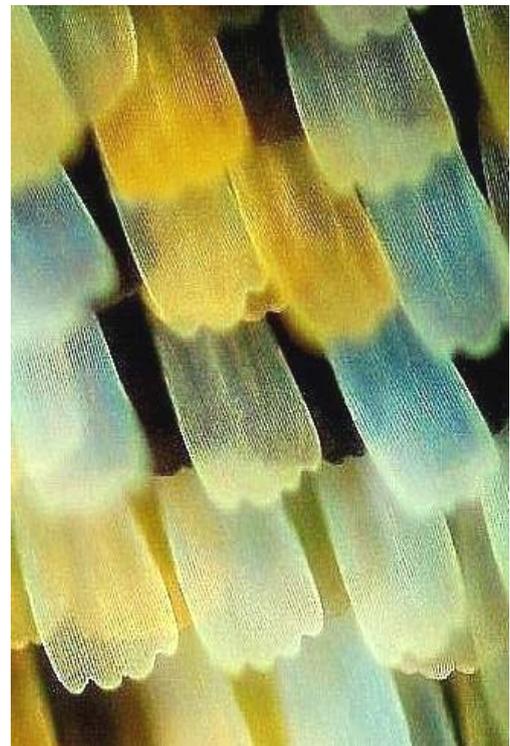
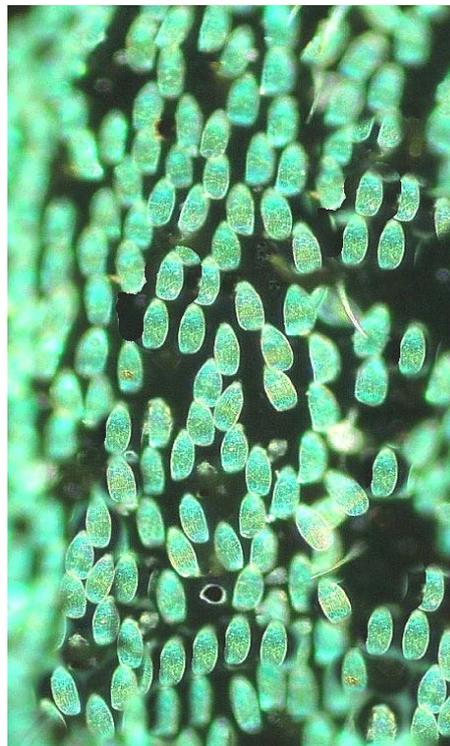


Va poi notato che diverse specie mostrano sulle ali delle formazioni sporgenti, derivate dall'ipoderma: peli di varia struttura e scaglette a forma di tegola, rettangolari, triangolari, filiformi, ecc. Queste scaglette sono normali nella maggioranza dei Lepidotteri (farfalle) e possono ricoprire anche il resto del corpo. Scaglette simili si trovano pure sul corpo dei Tisanuri (“pe-sciolini d’argento”) e di molte zanzare, nonché sulle elitre di molti Coleotteri Curculionidi.

Figg. 26 e 27 – Scaglette sulle elitre di un Coleottero Curculionide (*Phyllobius* sp.) e di una farfalla (*Vanessa Io*), entrambe specie nostrane.

Quale sia l'effetto di queste strutture tegumentali sull'aerodinamica del volo non è ancora stato chiarito da studi di dettaglio.

Probabilmente, la loro funzione è principalmente mimetica.



### La meccanica del volo

Qui le cose si complicano poiché appaiono meccanismi mai riscontrati in nessun altro animale volatore.

Esamineremo qualcuno degli schemi fondamentali, ma è impossibile esaurirne la varietà poiché ogni gruppo di specie presenta modalità differenti.

Facilmente si comprende come non esista uno schema unico. A riposo, le quattro ali possono rimanere distese in posizione orizzontale, come nelle libellule, o verticale (Efemere), oppure aderenti al corpo in posizione orizzontale (mosche) o inclinata (cavallette).

A riposo, le ali anteriori possono trovarsi accostate o addirittura saldate per il margine interno (Coleotteri Carabidi), oppure sovrapposte (Emitteri, ecc.). Tutte queste posizioni richiedono strutture dell'esoscheletro e muscoli adeguati, indipendenti da quelli implicati nel volo.

Il volo degli Insetti comporta poi, come in tutti gli animali volatori, un movimento delle ali nel piano verticale, per il sostentamento, ed inoltre, per assicurare il movimento in avanti, anche movimenti in orizzontale.

E ancora: poiché le ali degli Insetti sono relativamente rigide e non possiedono muscoli interni, se il loro movimento si limitasse ad una successione semplice di sollevamenti ed abbassa-

menti, la portanza creata dal movimento all'ingiù sarebbe neutralizzata dalla spinta verso il basso provocata dal sollevamento dell'ala. Occorre pertanto che l'ala, mentre si solleva, s'inclini di molto in modo da offrire la minima resistenza all'aria e poi ritorni orizzontale quando si abbassa. Lo schema seguente può chiarire questo concetto, che è fondamentale per comprendere come fanno gli Insetti a stare per aria.

Si pensi che l'ala degli uccelli e dei pipistrelli si piega su sé stessa mentre si solleva (riducendo la superficie), e si distende quando si appoggia sull'aria. Le articolazioni dei vari ossi dell'ala fra loro, un sistema di muscoli propri interni all'ala, l'attacco e la flessibilità delle penne, consentono questa continua variazione della superficie attiva dell'ala stessa. Agli insetti tutti questo è precluso: le loro ali sono rigide. Possono solo variarne l'inclinazione per opera di muscoli esterni all'ala.

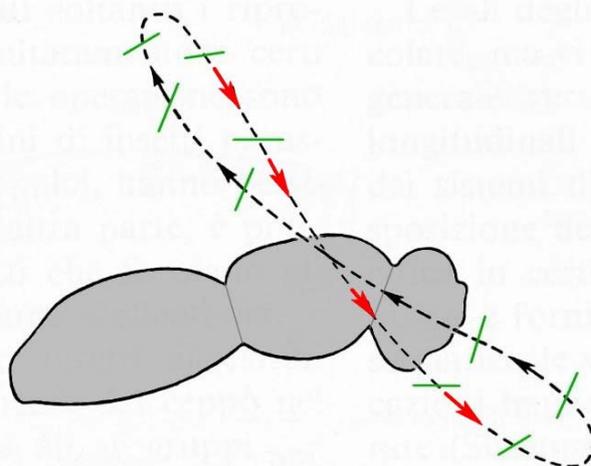
Fig. 28 – In forma molto semplificata è qui illustrato il percorso dell'ala di un insetto tipico durante un ciclo completo.

I piccoli segmenti verdi indicano l'inclinazione dell'ala nelle varie fasi del ciclo: tendenzialmente orizzontale durante l'abbassamento (freccette rosse) ed inclinata verso l'alto durante il sollevamento (freccette nere).

Il percorso totale dell'ala disegna una figura ad 8<sup>10</sup>.

Nell'osservazione diretta, questo andamento non è percepibile: occorrono riprese con forte rallentamento.

Non deve stupire: la frequenza del battito delle ali degli Insetti va da 4 al secondo in alcune farfalle a quasi 1.000 in certi moscerini; tanto maggiore quanto più piccolo è l'animale.



In confronto con il volo di Uccelli e Chiroteri (pipistrelli), va anche notato che il movimento delle ali dei Vertebrati è dovuto direttamente a muscoli che agiscono sullo scheletro di quelle. Negli Insetti, i muscoli possono ancora agire direttamente sugli scleriti ascellari alla base delle ali, come visto sopra, ma anche indirettamente sugli scleriti del torace sui quali esse sono imperniate, come vedremo (figg. 29-33). Si può quindi parlare di muscolatura **diretta** ed **indiretta**.

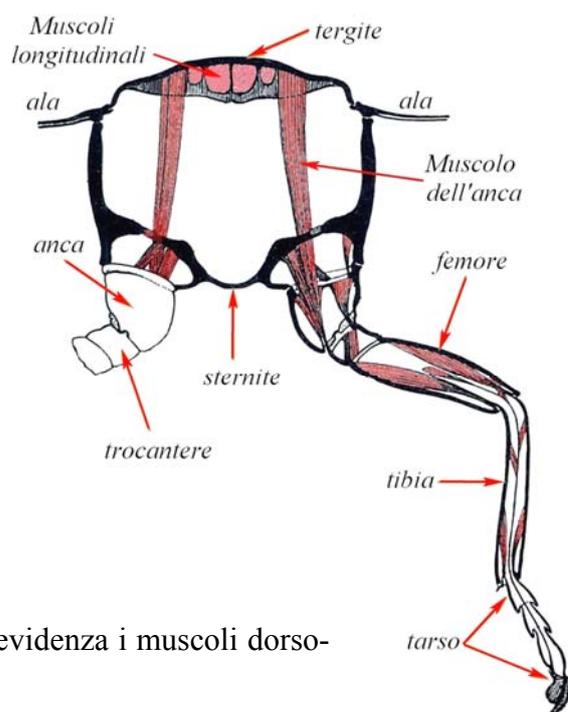
Fig. 29 – Questo primo schema parziale della muscolatura **indiretta** del torace mostra solo il primo muscolo della zampa ed i muscoli longitudinali che scorrono sotto il tergite.

Quando i muscoli longitudinali, che collegano fra loro i vari segmenti, si contraggono, ogni segmento si accorcia e la sua pressione interna aumenta. Questo provoca un sollevamento del tergite rispetto allo sternite.

Altri muscoli “dorso-ventrali”, sempre “indiretti”, collegano fra loro tergite e sternite. La loro contrazione abbassa il tergite sullo sternite (vedi le figure seguenti).

Vi è dunque la possibilità per l'insetto di variare la posizione reciproca dei due scleriti principali a mezzo di muscoli che non riguardano le ali, “indiretti”, appunto.

Nella figura che segue sono proprio messi in evidenza i muscoli dorso-ventrali.



<sup>10</sup> Nel sollevarsi, l'ala si sposta all'indietro in modo da spingere l'insetto in avanti.

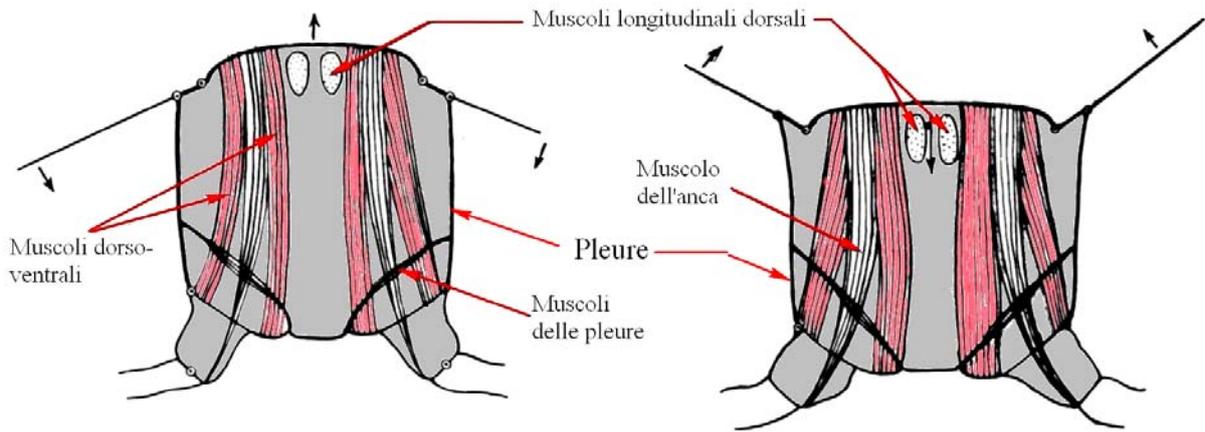
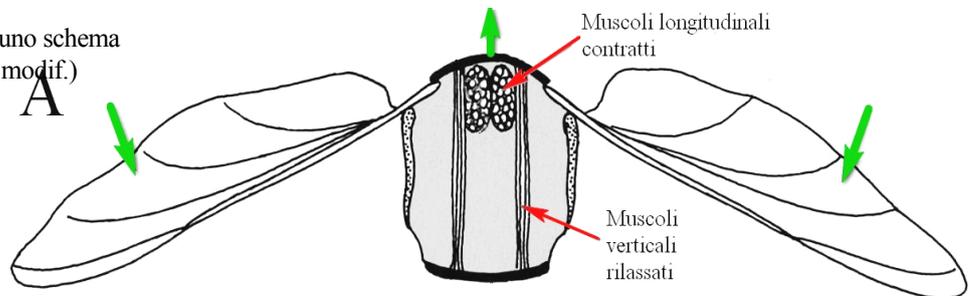


Fig. 30 – Nelle due posizioni estreme dell'ala, i muscoli indicati in rosa come “dorso-ventrali” sono rilassati (a sinistra – tergite sollevato) oppure contratti (a destra – tergite abbassato).

Altri muscoli riguardano le pleure, gli scleriti laterali, e le collegano allo sternite. Questi muscoli, contraendosi, tendono ad avvicinare fra loro le pleure e quindi restringere il segmento toracico.

Ora possiamo tentare di descrivere uno dei meccanismi principali del movimento delle ali, dovuto ai soli muscoli indiretti.

Fig. 31 A – Ancora uno schema (da: Bibl. 30, pag. 19, modif.)



In A vediamo l'effetto della contrazione dei muscoli longitudinali dorsali: il tergite si solleva e trascina l'estremo prossimale dell'ala che viene portato verso l'alto; il lembo distale si abbassa. Movimento dell'ala verso il basso. Ciò presuppone che i muscoli dorso-ventrali, verticali, siano rilassati.

Nello stesso tempo, le pleure si avvicinano fra loro e rendono più stretto il segmento toracico; ciò aiuta il sollevamento del tergite ed avviene in parte per l'elasticità dell'esoscheletro dell'intero segmento, ma anche per la contrazione dei muscoli delle pleure, citati nella didascalia della fig. 30, qui sopra.

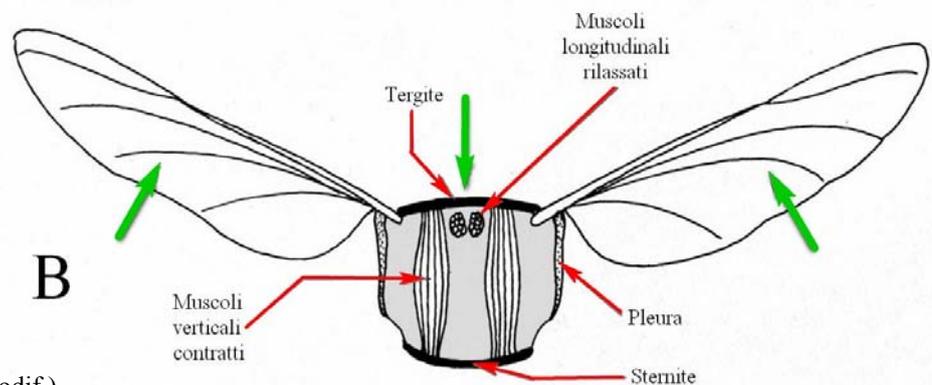


Fig. 31 B (da: Bibl. 30, pag. 19, modif.)

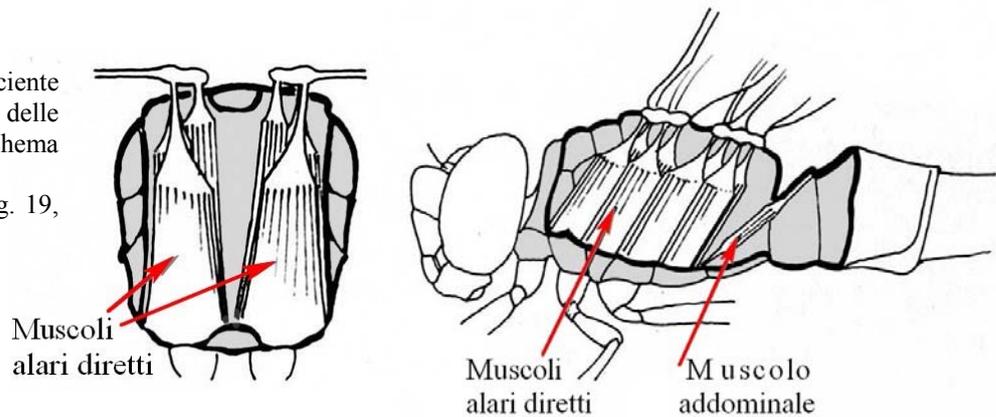
In B vediamo la fase successiva: i muscoli longitudinali e delle pleure si rilassano, mentre si contraggono quelli verticali; il segmento toracico si allarga, il tergite si abbassa e spinge in basso l'estremo prossimale dell'ala mentre l'altro estremo si alza.

Si potrebbe pensare che tutto ciò avvenga semplicemente perché l'ala è impernata vicino al-



Fig. 33 – L'efficiente meccanismo di volo delle libellule segue uno schema leggermente diverso.

(Da: Bibl. 30, pag. 19, modif.)



Un'altra carta vincente degli Insetti nella questione del volo risiede in un meccanismo fisiologico. In tutti gli altri animali, ogni muscolo si muove solo se riceve un adeguato comando nervoso. Si può parlare di movimento **“sincrono”**: un impulso – una contrazione. Negli Insetti, la frequenza del battito alare sincro non può superare 100 battiti/s per via del tempo di latenza nella successione degli impulsi nervosi. Poiché spesso la frequenza effettiva supera questo limite, deve entrare in gioco un altro meccanismo.

Infatti, nei muscoli del volo degli Insetti si verifica spesso un comportamento **“asincrono”**; l'impulso nervoso serve solo a conservare il **“tono”** muscolare, uno stato di contrazione **“di base”**, ma ad ogni impulso seguono molte contrazioni in rapida successione.

L'effetto di questo comportamento è la possibilità di ottenere un battito alare molto più veloce di quanto non sarebbe possibile in base alla limitata velocità di formazione e propagazione degli impulsi nervosi lungo i nervi.

E la causa?

Sappiamo che in ogni muscolo di ogni animale esistono sensori capaci di avvertire lo stato di tensione di ogni gruppo di fibre muscolari – i tensocettori (vedi un accenno a pag. 9). La loro funzione è di tenere il sistema nervoso sempre avvertito della situazione: contrazione dei muscoli, sforzi, posizione reciproca dei vari pezzi scheletrici, ecc. Nell'uomo è noto il **“riflesso rotuleo”**: un colpo secco sul tendine che passa sopra la rotula (l'osso rotondo che protegge l'articolazione del ginocchio) provoca un brusco stiramento del quadricipite, il muscolo estensore della gamba. Tale stiramento, attraverso qualche tensocettore ed i centri del midollo spinale, ritorna al muscolo con altri impulsi provocandone la contrazione e facendoci dare un calcio involontario.

Negli insetti, questo riflesso è molto più rapido poiché non si passa attraverso i centri nervosi, ma l'arco riflesso si chiude attraverso il muscolo stesso. Detto in altre parole, ogni movimento è operato direttamente da un muscolo **“agonista”**, per es. la flessione di un arto. Il movimento opposto, di estensione, è generalmente dovuto ad un altro muscolo, **“antagonista”**. Quando l'agonista si contrae, l'antagonista, per forza, si deve stirare, e viceversa.

Negli insetti, la contrazione dei muscoli che provocano, per es., il sollevamento dell'ala, provoca immediatamente lo stiramento dei muscoli antagonisti ma, in virtù dei tensocettori sopra nominati, il muscolo antagonista stesso tende a contrarsi in tempi brevissimi, indipendentemente da qualsiasi meccanismo nervoso. In questo modo s'innesca quasi una risonanza interna, contrazioni e rilassamenti autonomi e continui, senza stimolo esterno. Ogni muscolo agonista, contrendosi, provoca la distensione e quindi la contrazione immediata dell'antagonista.

Ecco perché si usa l'aggettivo **“asincrono”**.

Per finire, vogliamo far notare che nei Coleotteri, come già accennato, il primo paio di ali è coriaceo e rigido, e non partecipa attivamente al volo, non **“batte”**. Si parla di **elitre**.

Di solito, le elitre in volo sono tenute perpendicolari al corpo e liberano il secondo paio di ali, membranose, che battono energicamente.

Ma c'è un'eccezione: nella tribù Cetonine (fam: Scarabeidi, la comune cetonia dorata, chiamata anch'essa **“maggiolino”** insieme a tante altre specie che compaiono in Primavera – il vero maggiolino è la melolonta, vedi la fig. 35) le elitre in volo vengono tenute chiuse, si sollevano

appena per consentire la fuoruscita delle ali membranose che sono tenute ripiegate sotto le elitre durante il riposo (vedi la fig. 22 a pag. 13).

Per facilitare questa strana operazione, di cui non è facile comprendere il vantaggio aerodinamico, le elitre portano sul margine esterno, sul davanti, un'insenatura per l'estrazione del secondo paio di ali al momento del decollo.

Fig. 34 – La *Cetonia aurata*, dai bei colori verde-oro, con riflessi metallici. Qualche macchiolina bianca, a forma di virgola, sulle elitre.

Dato il suo strano rifiuto di aprire le elitre, il suo volo è pesante, lento e rumoroso.

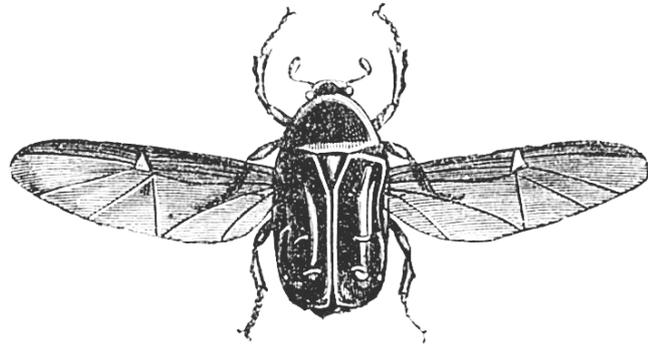


Fig. 35 – Il vero maggiolino (*Melolontha melolontha*), un altro Scarabeide, dalle elitre color nocciola, che vola ad elitre spiegate.

Le sue larve vivono tre anni nel terreno danneggiando le radici di molte piante. Poiché la maggioranza dei cicli riproduttivi sono sincronizzati, questo Coleottero compare esplosivamente ogni tre anni.

Le antenne dei maschi (vedi l'insetto a sinistra) presentano gli ultimi articoli espansi a spatola, a mo' di ventaglio (sensori olfattivi?).

Poiché altri Scarabeidi mostrano questo carattere, un altro nome usato un tempo per essi è "Lamellicorni".

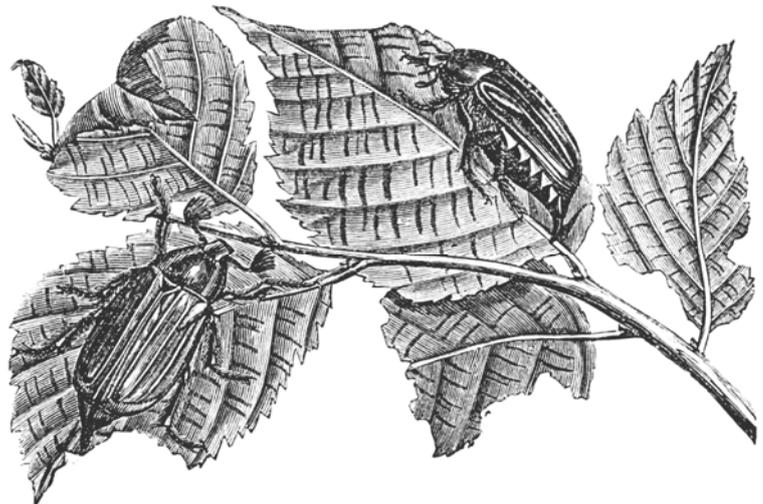


Fig. 36 (a destra) – Schema generico di Coleottero in volo (a destra) ed in riposo (a sinistra).

(Da: Bibl. 10, pag. 761, modif.)

Ultima annotazione: la massima velocità di volo misurata per gli Insetti è di 50 km/ora (per brevi tratti) nella mosca cavallina.

Secondo il modello in scala, essendo essa lunga 6-7 mm, un colombo dovrebbe volare ad oltre 1.000 km/ora.

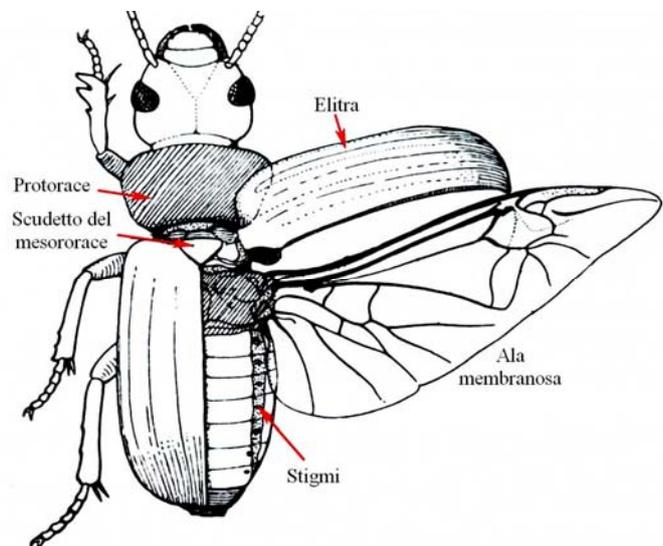
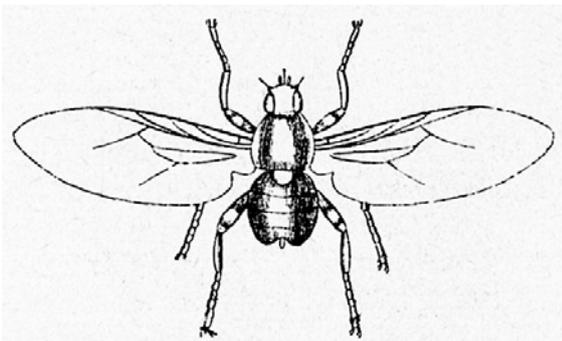


Fig. 37 (a sinistra) – La mosca cavallina (*Hippobosca equi* – Ditteri), parassita succhiasangue dei cavalli, è detta anche "mosca ragno". L'elevata velocità nel volo ha probabilmente valore adattativo in quanto è utile a scansare i colpi della coda del povero cavallo.

BIBLIOGRAFIA – Vedi l'articolo precedente (A 18)