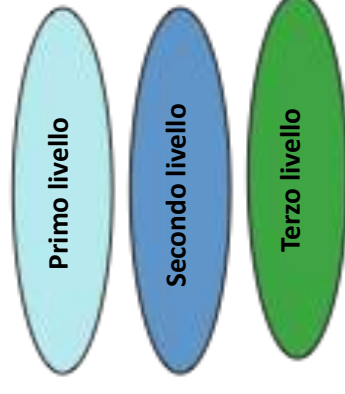


Ordinare la natura

La classificazione biologica

P. Mazzoldi e C. Mazzocchi

Liceo «Leonardo» Brescia



Identificare e classificare



La diversità delle forme viventi ha sempre colpito l'umanità: è noto che anche le tribù primitive hanno generalmente un nome per tutte le specie di piante e di animali che si trovano nel loro territorio. Ma naturalmente una cosa è riconoscere le diverse specie distinguendo gli organismi gli uni dagli altri, una cosa è classificarle, cioè riunirle in gruppi sulla base delle loro affinità.

Da questo punto di vista, il primo studioso che si sia occupato seriamente di classificazione è stato il filosofo greco Aristotele (384-322 a.C.).

Classificare per...

- **Facilitare la descrizione e l'identificazione**

Se si riuniscono tutti gli organismi in gruppi caratterizzati dal possesso di caratteristiche comuni, diventa più facile descriverli (non bisogna più per descrivere ogni organismo ripetere tutte le sue caratteristiche, perché si sottintende che possieda tutte le caratteristiche del gruppo in cui è inserito: basta elencare quelle che lo distinguono dagli altri membri del suo gruppo) e identificarli, perché si possono separare per successive dicotomie (principio che sta alla base delle **chiavi dicotomiche**, da lungo tempo utilizzate dai naturalisti a questo scopo).

- **Fare ordine nella straordinaria varietà dei viventi e darne una spiegazione**

Questa giustificazione è variata nel corso del tempo parallelamente al variare della nostra comprensione della natura.

La classificazione aristotelica

Sebbene proprio Aristotele avesse introdotto nei suoi scritti logici un metodo di classificazione per dicotomie successive del tutto analogo alle chiavi dicotomiche dei naturalisti, non se ne servì affatto nella sua classificazione degli animali. Egli procedette confrontando le varie parti del corpo nei diversi gruppi, con tale attenzione che riuscì ad identificare correttamente alcuni gruppi tuttora riconosciuti dagli zoologi. La distinzione fra i suoi animali “con sangue (*enaima*)” e “senza sangue (*anaima*)” corrisponde abbastanza bene alla moderna distinzione fra vertebrati e invertebrati; tra i vertebrati, distingue bene gli animali con pelo (i mammiferi), gli uccelli, fa un po’ di confusione tra rettili e anfibi, ma separa i cetacei dai pesci; tra gli invertebrati, definisce un gruppo, gli “*Entoma*” che racchiude tutti gli animali segmentati, cioè insetti, miriapodi, aracnidi, crostacei e vermi segmentati (gli anellidi); se si escludono questi ultimi, i suoi “*entoma*” corrispondono abbastanza bene agli artropodi attuali; un po’ di confusione gli creano invece gli animali con gusci (“*testacea*”), tra i quali racchiude molluschi, cirripedi (un gruppo di crostacei), ricci di mare, lumache e mitili: raggruppamento assai eterogeneo, alla luce delle attuali conoscenze.

Nel complesso, i gruppi individuati da Aristotele sono abbastanza vicini a quelli riconosciuti attualmente, anche più di quelli che individuerà Linneo nel ‘700.

Scala naturae

Dal punto di vista teorico, Aristotele interpreta la sua classificazione con il concetto della “*Scala naturae*” cioè una scala sui gradini della quale vengono disposti tutti gli esseri, a partire da quelli inanimati attraverso le piante fino agli animali ordinati dai più semplici fino ai più complessi, con l’uomo alla sommità: tutta la natura viene vista in funzione dell’uomo. Ovviamente è una scala che non contempla il concetto di evoluzione, ma rispecchia semplicemente l’ordine della natura.



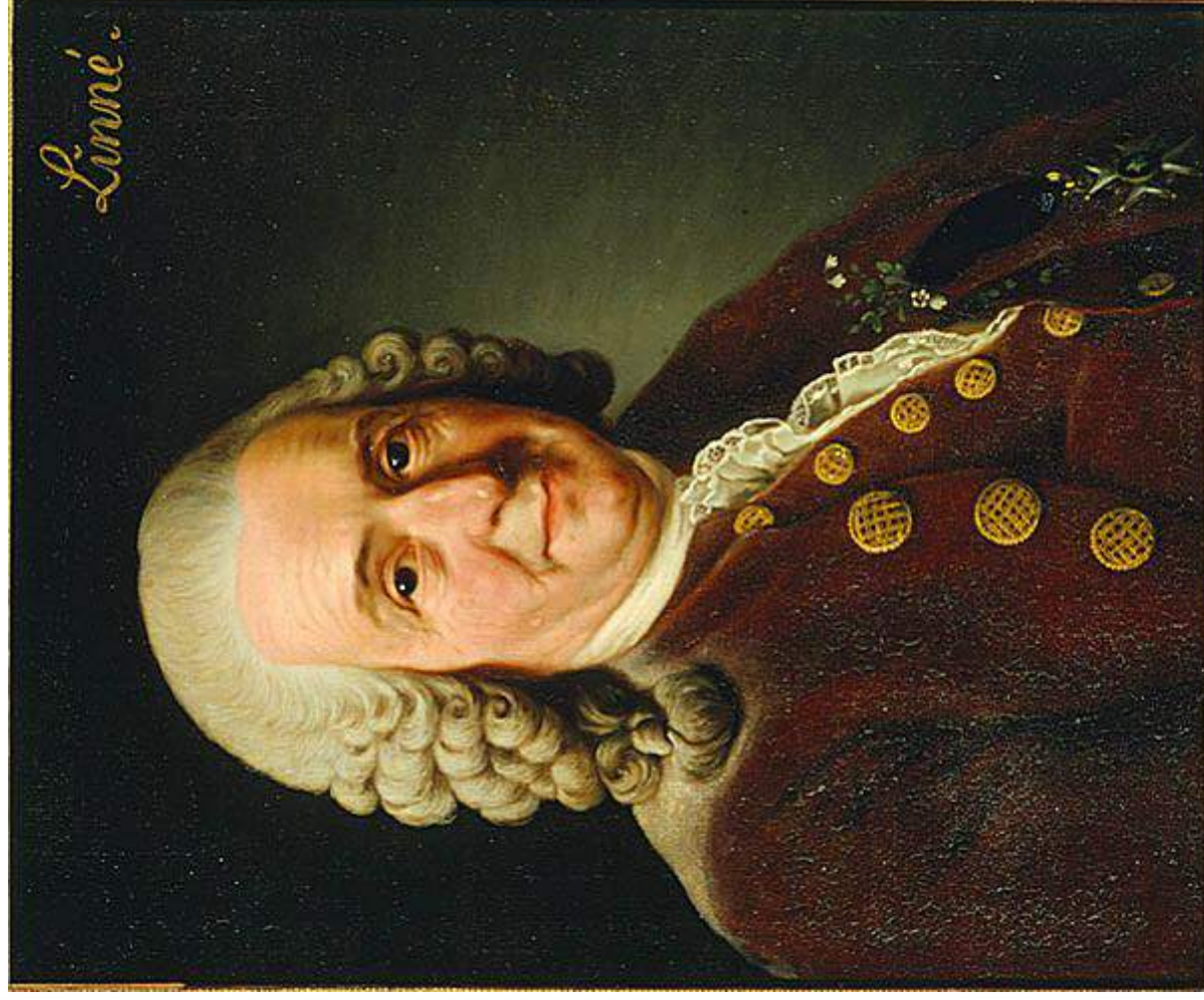
Il concetto di “*Scala naturae*” si prestava molto bene ad essere incorporato nella visione cristiana del mondo, in quanto si pensava rispecchiasse l’ordine della creazione voluto da Dio, e pertanto venne incorporata nella scienza medievale e perdurò immutato per parecchi secoli.

Dopo Aristotele

Dopo Aristotele, la ricerca biologica languì per parecchi secoli. La cultura romana non apportò alcun contributo significativo: la “*Naturalis historia*” di Plinio il Vecchio era una semplice compilazione di lavori degli autori precedenti, con riportate fra l’altro anche molte notizie fantasiose e incontrollate; successivamente, per tutto il medioevo, la ricerca biologica viene praticamente abbandonata.

L’interesse per la classificazione biologica, riprende solo nel Rinascimento, stimolata essenzialmente da due fattori: [la laicizzazione della cultura](#), che porta ad una ripresa dell’interesse per tutte le scienze e quindi al recupero delle opere degli autori classici, fra cui Aristotele, e [le scoperte geografiche](#) che a partire da quella dell’America, nei tre secoli successivi, portano alla scoperta di faune e flore di nuove terre. Mentre il mondo greco-romano e medievale conosceva solo la fauna europea e qualche esemplare di quella africana, ora d’improvviso affluiscono in Europa centinaia di specie nuove e spesso sorprendenti: si sente perciò più che mai la necessità di mettere ordine, quindi di classificare, e non è un caso che proprio nel ‘700 operi il padre della moderna classificazione: Carlo Linneo.

Linneo



Lo svedese Linneo (1707-1778), figlio di un pastore protestante, studiò presso l'università di Uppsala e si dedicò presto allo studio delle piante (era infatti soprattutto un botanico), effettuando anche spedizioni in Lapponia e Svezia centrale per raccogliere nuove specie. Si recò poi per completare i suoi studi in Olanda, ove nel 1738 si stabilì definitivamente fino alla morte. Oltre a numerose opere di botanica, la sua opera più importante è il *Systema Naturae*, alla cui decima edizione, pubblicata nel 1758, si fa risalire l'inizio ufficiale della nomenclatura scientifica tuttora in uso in biologia: tutti i nomi pubblicati precedentemente non sono considerati validi.

Innovazioni di Linneo

1. **La nomenclatura binomia**
2. **Il raggruppamento degli organismi in categorie sistematiche rigorosamente definite e organizzate gerarchicamente (quelle di Linneo erano classe, ordine, genere e specie)**

I due principi fondamentali della sistematica linneana sono tuttora validi, anche se molti altri aspetti delle sue classificazioni sono stati abbandonati: i gruppi da lui individuati, spesso basati su un solo carattere, come nel caso delle piante, non sono più considerati validi, e il numero delle categorie sistematiche è stato in seguito aumentato.

A Linneo resta tuttavia il merito di aver posto ordine in una materia che prima della sua opera si stava sviluppando in modo caotico, ed è quindi giusto considerarlo il padre della moderna sistematica.

Linneo creazionista

E' importante ricordare che Linneo era un creazionista, pertanto nella sua classificazione gerarchica vedeva semplicemente il disegno della creazione, ed il compito della sistematica secondo lui consisteva appunto nello svelare tale disegno; tuttavia sarà proprio l'organizzazione gerarchica delle sue categorie sistematiche, insieme al fatto di avere collocato l'uomo nell'ordine dei primati insieme alle grandi scimmie, a spianare la strada ad una interpretazione evoluzionistica della sua classificazione, l'ultimo passo necessario perché la sistematica potesse divenire completamente moderna.

La nomenclatura binomia

La nomenclatura binomia, uno dei principi fondamentali della classificazione moderna e forse la più importante innovazione introdotta da Linneo, si basa sui seguenti principi:

- a) **Tutti gli organismi viventi vengono indicati con due nomi latini, di cui il primo indica il genere, e va scritto con la lettera maiuscola, mentre il secondo indica la specie, e va scritto con la lettera minuscola;**
- b) **il binomio che indica la specie deve essere evidenziato tipograficamente nel testo, cioè scritto in corsivo se il testo è in carattere normale, o in carattere normale se il testo è in corsivo;**
- c) **il nome della specie deve essere seguito dal nome dell'autore della specie stessa, cioè dal nome dello studioso che per primo l'ha descritta in una pubblicazione scientifica, e dalla data di questa pubblicazione;**
- d) **tutte le categorie sistematiche di rango superiore alla specie (genere, famiglia, ordine, classe, phylum) sono indicate con un solo nome.**

Nome scientifico



Il lupo scientificamente si indica con il nome:

Canis lupus L., 1758

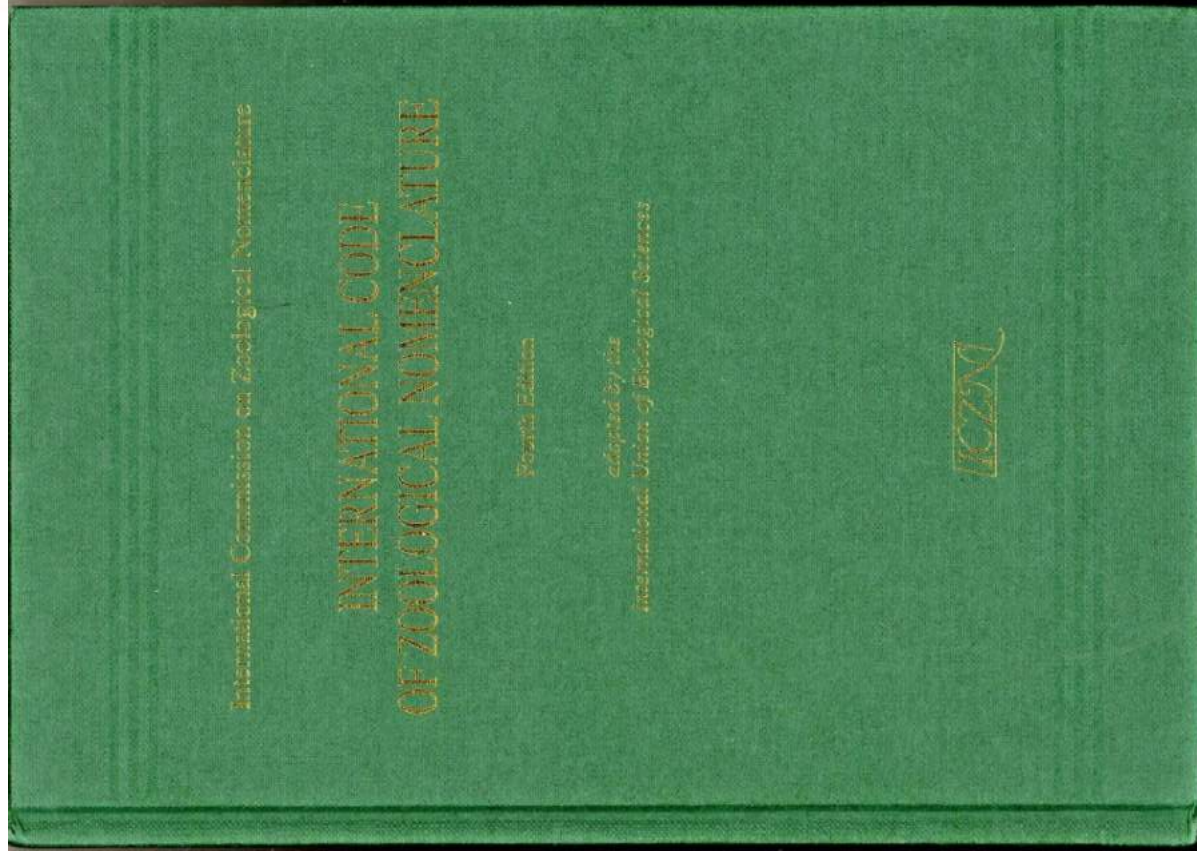
dove *Canis* indica il fatto che la specie appartiene al genere *Canis* (che oltre al lupo comprende il cane domestico, il coyote e gli sciacalli); *lupus* indica la specie (ma attenzione, non si può citare solo “*lupus*” per indicare il lupo, bisogna sempre usare i due termini *Canis lupus insieme*); L. indica che la specie è stata descritta da Linneo (e solo per il grande naturalista svedese si ammette l’abbreviazione L., tutti gli altri autori vanno indicati per intero); 1758 è la data della pubblicazione della decima edizione del “*Systema naturae*” nella quale il lupo è stato descritto.



Per fare un altro esempio, la pianta qui raffigurata si chiama *Eriophorum scheuchzeri* Hoppe, 1800, il che significa che appartiene al genere *Eriophorum*, alla specie *Eriophorum scheuchzeri* (rigorosamente con la s minuscola anche se è il nome della persona a cui la specie è stata dedicata, perché si tratta del nome specifico) e che è stata descritta dal botanico Hoppe in una pubblicazione uscita nel 1800.

Controllo di nomi

In realtà, le regole per dare il nome agli organismi viventi sono un po' più complicate di quelle sopra esposte, perché si possono verificare casi di **sinonimia** (specie descritte per errore con due nomi diversi da diversi studiosi) o di **omonimia** (lo stesso nome dato a due specie diverse), o specie non descritte correttamente, e vari altri casi che possono provocare dispute tra gli specialisti. Per risolvere questi problemi vengono pubblicati e periodicamente aggiornati con nuove edizioni dei codici, come il codice internazionale di nomenclatura per la zoologia, quelli per la botanica e per la microbiologia, che hanno il compito di fissare regole per dirimere questioni di nomenclatura.



Codice internazionale di nomenclatura zoologica
(edizione 2000)

L'organizzazione gerarchica delle categorie sistematiche

La sistemazione rigorosa delle categorie sistematiche in un ordinamento gerarchico, comporta che le categorie di rango più elevato contengono quelle di rango più basso. Per tornare all'esempio del lupo, la **specie** *Canis lupus* L., 1758 è inclusa nel **genere** *Canis* (tutte le categorie al di sopra della specie si denominano con un solo nome), insieme ad altre specie come il coyote (*Canis latrans* Say, 1823) e gli sciacalli (*Canis adustus* Sundevall, 1847, *Canis aureus* L., 1758, *Canis mesomelas* Schreber, 1775, *Canis simensis* Rüppell, 1835).



Quattro esponenti del genere *Canis*: da sinistra lupo etiopico (*Canis simensis*), coyote (*Canis latrans*), sciacallo striato (*Canis adustus*) e lupo (*Canis lupus*)

..... categorie sistematiche

A sua volta il genere *Canis* è inserito, insieme ad altri generi come *Vulpes* (la volpe), *Cuon* (il cane selvatico indiano), *Dasycon* (il lupo delle Ande), *Lycaon* (il licaone africano) nella **famiglia** Canidae; quest'ultima, insieme con altre famiglie come Ursidae, Felidae, Mustelidae, etc. è inserita nell'**ordine** Carnivora; l'ordine Carnivora è inserito nella **classe** Mammalia, i mammiferi, che a loro volta sono inseriti nel **Phylum** Chordata.

Le categorie principali, partendo da quella più comprensiva sono nell'ordine **phylum** □ **classe** □ **ordine** □ **famiglia** □ **genere** □ **specie**.

Ma vengono utilizzate anche altre categorie intermedie fra queste, come il **subphylum** tra phylum e classe, la **sottoclasse** fra classe e ordine, la **sottofamiglia** tra famiglia e genere.

Tutte le categorie al disopra della specie si denominano con un solo nome.

.....categorie sistematiche

Esiste anche una categoria sistematica di livello inferiore alla specie, cioè la **sottospecie**, per la quale si usa una nomenclatura trinomia, cioè il binomio che indica la specie più un ulteriore nome per indicare la sottospecie; tornando all'esempio del nostro amico lupo, la sua specie è divisa in tre sottospecie:

*Canis lupus **lupus*** L., 1758, il lupo in senso stretto

*Canis lupus **familiaris*** L., 1758, il cane domestico

*Canis lupus **dingo*** Meyer, 1793, il dingo dell'Asia sudorientale e Australia



Sottospecie del lupo: da sinistra a destra, il lupo, il dingo e il cane domestico

La classificazione moderna completa del cane domestico sarebbe:

Phylum Chordata

Subphylum Vertebrata

Classe Mammalia

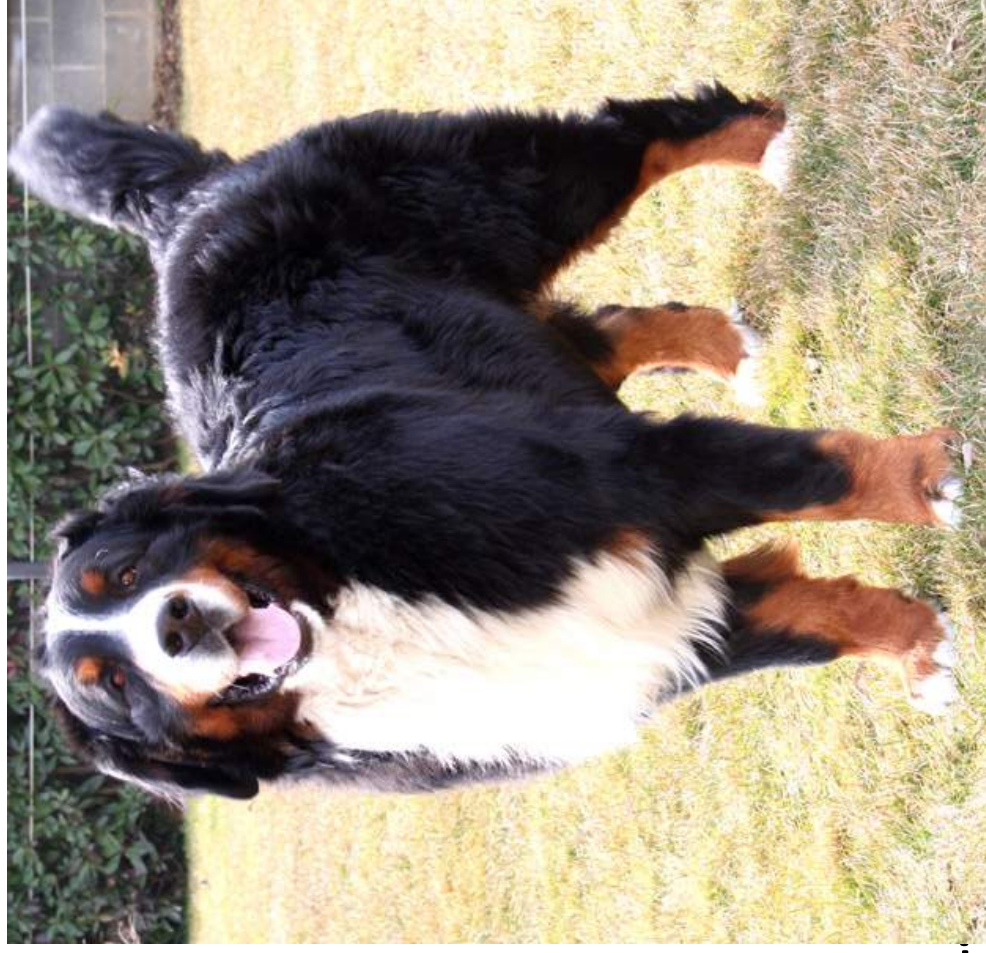
Sottoclasse Eutheria

Ordine Carnivora

Famiglia Canidae

Genere *Canis*

Specie *Canis lupus*



Sottospecie *Canis lupus familiaris* L., 1758

Categorie e taxa

Le **categorie sistematiche** sono entità astratte, mentre i gruppi concreti di organismi che in queste categorie vengono collocati vengono indicati con il termine di **taxa** (singolare taxon).

I taxa sono un fenomeno oggettivo prodotto dal processo evolutivo, nel senso che sono gruppi di organismi uniti dal fatto di avere un antenato comune; viceversa le **categorie sistematiche sono concetti astratti** ed hanno sempre un certo grado di soggettività.

Ad esempio i cani costituiscono un taxon perché discendono tutti da un lupo originariamente addomesticato dall'uomo, e questo fatto rimane valido sia che li si collochi nella categoria sistematica sottospecie, come si fa oggi, sia che li si collochi nella categoria sistematica specie, come si faceva una volta. Un taxon è quindi una entità oggettiva, mentre si può sempre discutere riguardo alla categoria sistematica in cui deve essere collocato.

Criteri di classificazione

Ma come si fa a raggruppare gli organismi tra loro, cioè ad assegnare una specie ad un genere piuttosto che ad un altro, un genere ad una famiglia piuttosto che ad un'altra? Fin dai tempi di Aristotele era chiaro ai naturalisti che bisognava confrontare i caratteri e raggruppare insieme gli organismi che mostravano caratteri simili. Questo però non risolveva il problema, perché spesso i caratteri non variavano in modo concordante, e scegliendo caratteri diversi si ottenevano raggruppamenti diversi. I naturalisti perciò si chiedevano: per classificare gli organismi, bisogna considerare un solo carattere o molti? Se se ne considera uno solo, quale si deve scegliere? Se se ne considerano molti, si deve dare a tutti la stessa importanza? E si devono considerare solo i caratteri morfologici, o anche altri, come i comportamenti degli animali o gli habitat in cui vivono?

Nel corso della storia della biologia, studiosi diversi diedero risposte diverse a queste domande, e di conseguenza proposero classificazioni diverse.

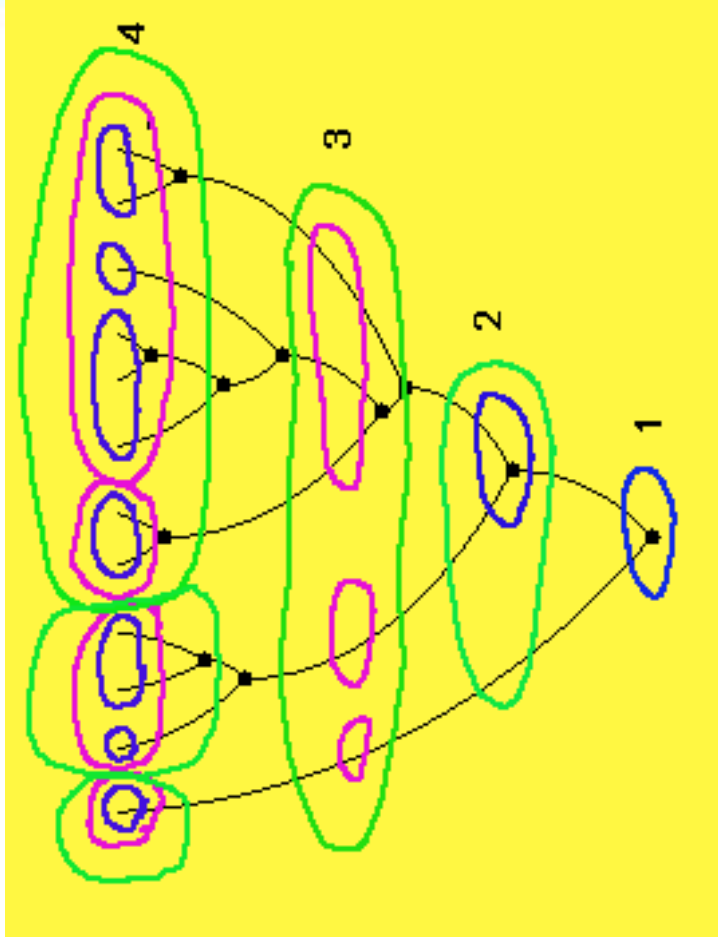
In realtà, attenendosi alle concezioni creazioniste linneane, non era possibile una soluzione razionale del problema.

Le cose cambiarono quando i biologi accettarono l'ipotesi evuzionista, perché in quel momento divenne chiaro che la classificazione gerarchica delle categorie sistematiche rifletteva il processo evolutivo: i gruppi di organismi simili erano tali perché avevano avuto un antenato comune più o meno recente.

Categorie nel tempo

Immaginiamo la storia della vita sulla Terra come un albero che si ramifica nel corso del tempo. Tagliando l'albero molto in basso al livello 1, supponiamo qualche centinaio di milioni di anni fa, troveremo una sola specie. Immaginiamo ora di tagliare l'albero qualche decina di milioni di anni più tardi, al livello 2. Qui troviamo che l'originaria specie del livello 1 si è divisa in due, ma una di queste si è a sua volta ulteriormente divisa: al posto dell'originaria specie ne troviamo 3, tutte hanno come antenato la specie originaria del livello 1, ma le due a destra (racchiuse dal cerchio blu) hanno un antenato in comune più recente rispetto alla terza specie. Possiamo considerare che la specie originaria abbia formato 2 generi, uno dei quali con 2 specie.

Se ora tagliamo l'albero al livello 4 più alto e recente, incontriamo 12 rametti, cioè 12 specie, ma di queste alcune (racchiuse dai cerchi blu) hanno antenati in comune relativamente recenti: li potremmo considerare generi; altre (cerchi viola) hanno antenati in comune un po' più antichi: le potremmo considerare famiglie; altre (cerchi verdi) hanno antenati ancora più antichi: li potremmo considerare ordini.



Tutte le specie più recenti presenti al livello 4 condividono un antenato in comune molto antico, la specie originaria, e le potremmo considerare appartenenti ad una unica classe.

Origine comune

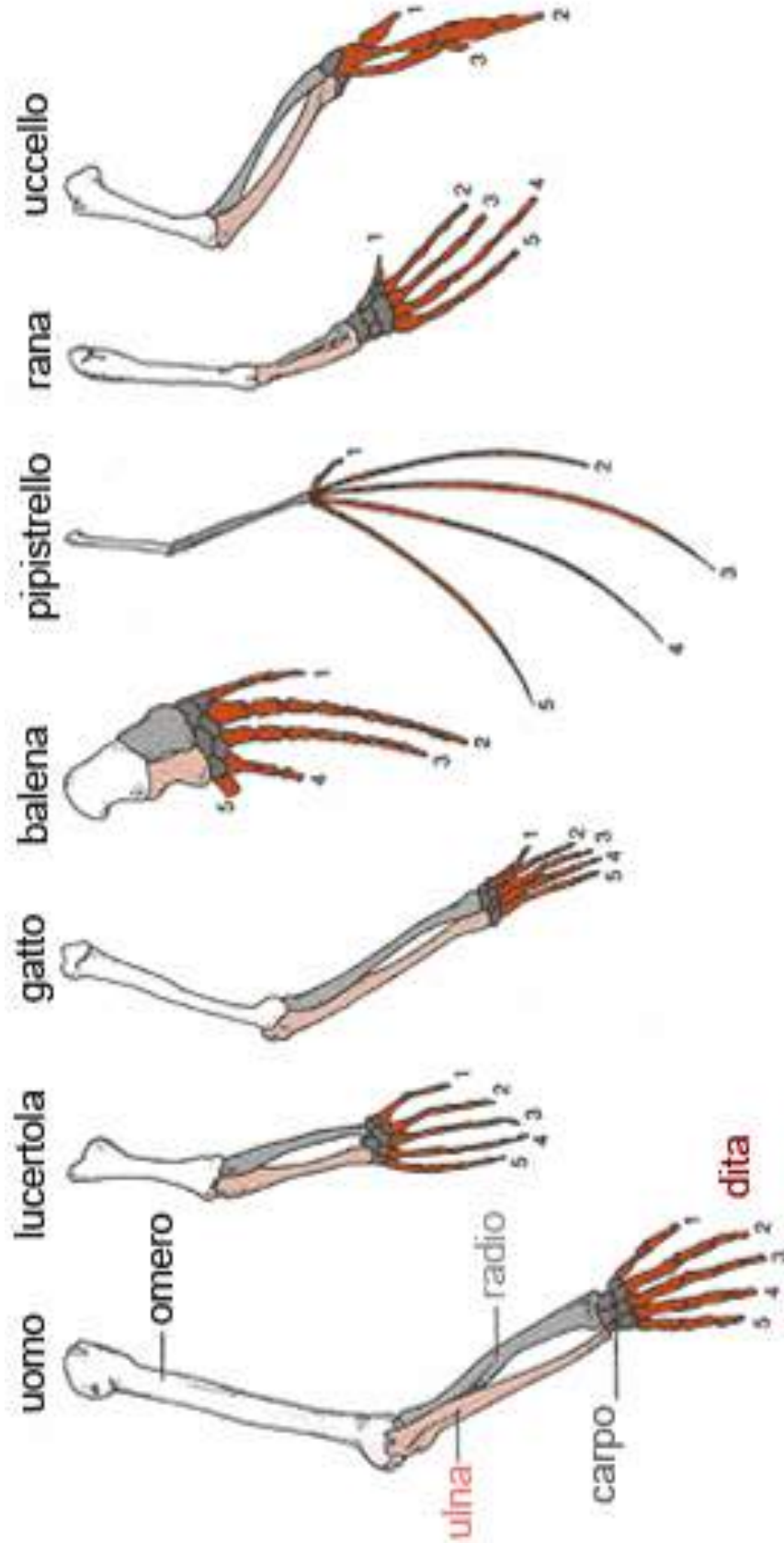
A questo punto, è chiaro che i raggruppamenti sistematici per essere validi devono essere costituiti da specie (o generi, o famiglie) che abbiano un antenato in comune più o meno recente: quelli di rango inferiore (come la specie o il genere) avranno un antenato in comune relativamente recente (pochi milioni o poche decine di milioni di anni), mentre quelli di rango superiore (come le classi o i phyla) avranno antenati comuni molto più antichi, risalenti a centinaia di milioni di anni fa.

Si chiarisce anche quali sono i caratteri che devono essere considerati per classificare gli organismi: solo quelli che riflettono un'origine comune, cioè che sono simili perché ereditati da un antenato in comune.

Ma ciò che è semplice concettualmente non è detto che lo sia anche dal punto di vista pratico: non sempre infatti è facile identificare i caratteri che indicano un origine comune, perché durante l'evoluzione si possono verificare fenomeni di **convergenza evolutiva**, cioè adattandosi ad uno stesso ambiente specie diverse possono sviluppare indipendentemente organi simili, che non possono essere considerati indice di un'origine comune.

I biologi hanno quindi compreso la necessità di distinguere fra i caratteri simili per **omologia**, cioè perché ereditati da un antenato in comune, da quelli simili per **analogia**, che sono simili perché sviluppati in modo indipendente in risposta a condizioni ambientali simili.

Omologia



Un esempio classico di omologia è l'arto dei tetrapodi (i vertebrati terrestri, cioè anfibi, rettili, uccelli e mammiferi), che mostra la stessa struttura fondamentale in tutti, anche se si è specializzato per svolgere funzioni molto diverse, come nuotare (nei cetacei) o volare (negli uccelli e nei pipistrelli). L'omologia è dovuta al fatto che tutti i tetrapodi hanno ereditato la struttura tipica dell'arto dai pesci primitivi che per primi hanno abbandonato l'acqua e originato i primi anfibi.

Analogia

Un esempio classico di analogia sono le ali degli uccelli e quelle degli insetti, organi simili perché utilizzati per muoversi nell'ambiente aereo: le prime però, come già accennato si sono sviluppate a partire da un arto tetrapode per successive modificazioni, mentre le seconde non sono altro che espansioni laterali della cuticola dell'insetto.



Il concetto di omologia ed analogia non è assoluto, ma relativo al livello sistematico che si considera: un carattere può essere omologo ad un certo livello e analogo ad un altro.



Ad esempio, se consideriamo l'ala di un uccello (a sinistra) e quella di un pipistrello (a destra) sono sicuramente omologhe a livello del subphylum vertebrati, in quanto entrambe derivate per modificazione dal piano fondamentale dell'arto dei tetrapodi, e quindi conservano tale piano strutturale.



Ma se consideriamo le due strutture a livello della classe Mammalia (mammiferi) e della classe Aves (uccelli), esse non sono più omologhe, perché la trasformazione in ala a partire dall'arto tetrapode originario è avvenuta due volte indipendentemente nei due gruppi, e la struttura dell'ala è di conseguenza diversa: negli uccelli le dita dell'arto anteriore, fortemente ridotte, non contribuiscono a sostenere l'animale durante il volo, dato che la superficie portante è fornita dalle penne; nei pipistrelli invece le dita si sono sviluppate più del normale e grazie alla membrana che le collega formano la superficie portante dell'ala.

Analogia □ Omologia

La distinzione tra analogia e omologia è fondamentale in sistematica fin dal 1843, quando fu proposta per la prima volta dallo zoologo inglese Richard Owen.

Tuttavia, per molto tempo non sono esistiti metodi rigorosi per il riconoscimento di omologie e analogie, che non sempre è semplice ed evidente come nei casi sopra citati. Anzi si può dire che in molti casi l'interpretazione di determinati caratteri era controversa, dando luogo a diverse interpretazioni da parte dei biologi, e quindi a diverse classificazioni.

Per risolvere questi problemi, nel 1950 un metodo innovativo per classificare gli organismi è stato proposto dallo studioso tedesco Willi Hennig.

Il metodo, denominato cladistica, è stato rapidamente accettato dai biologi ed è rapidamente divenuto il metodo standard per classificare gli organismi in biologia. Successivamente, il metodo è stato integrato dallo sviluppo delle tecniche di biologia molecolare, in particolare quelle che consentono di sequenziare il DNA, che hanno reso molto più facile la ricostruzione dei rapporti evolutivi fra le specie e quindi la loro classificazione.

Le chiavi dicotomiche

Le chiavi dicotomiche sono da secoli lo strumento usato dai biologi per guidare all'identificazione dei diversi gruppi di organismi.

Sono basate su di un principio molto semplice, cioè quello di procedere per successive dicotomie fino ad arrivare all'identificazione.

Praticamente si procede prima di tutto a dividere in due il gruppo di tutti gli organismi che si considerano sulla base di un carattere che si presenta in due stati diversi nel gruppo stesso, ad esempio ali presenti - ali assenti, oppure foglie semplici - foglie composte; successivamente, sfruttando altri caratteri, si divide ciascuno dei due gruppi ottenuti in due, e si procede per successive divisioni fino ad arrivare all'identificazione.

Limiti delle chiavi dicotomiche

- a) **Le chiavi devono essere complete**, cioè devono includere tutti i taxa del gruppo considerato: ad esempio tutte le specie di un genere, oppure tutte le specie di piante di una data regione; infatti la presenza tra il materiale che si cerca di determinare anche di una sola specie non compresa nella chiave può portare fuori strada e quindi condurre ad una identificazione errata. Bisogna quindi ad esempio fare attenzione nell'uso di chiavi preparate per una determinata regione geografica (è il caso delle varie "Flore" per l'identificazione delle specie di piante locali): si possono usare anche nelle regioni confinanti, ma con molta cautela, perché vi potrebbero essere specie non incluse nelle chiavi.
- b) Il problema principale nell'uso delle chiavi è ovviamente **la valutazione corretta dei caratteri**, che spesso non è facile, soprattutto quando si vuole arrivare alla determinazione a livello specifico, perché le differenze tra i caratteri sono talora molto sottili; questo è il motivo per cui l'uso delle chiavi dicotomiche è spesso riservato allo specialista, che, avendo familiarità con il gruppo che studia, ne ha viste molte specie e quindi è in grado di valutare correttamente il carattere sapendo come si presenta nei suoi diversi stati.

Strumenti per specialisti?

L'uso delle chiavi non è precluso al non specialista: ci sono chiavi che permettono di identificare tutti gli ordini di una classe, o tutte le famiglie di un ordine che sono generalmente più facili da usare perché i caratteri che separano un ordine da un altro o una famiglia da un'altra sono generalmente più netti di quelli che separano una specie da un'altra.

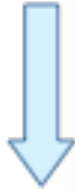
Inoltre, se ci si interessa di un determinato gruppo, e se si vuole approfondirne la conoscenza, con il tempo, provando a identificare gli organismi, si può gradualmente acquisire la competenza necessaria, soprattutto se inizialmente si ha la possibilità di far controllare le proprie identificazioni da uno specialista.

Nelle diapositive seguenti è stata costruita una chiave dicotomica per l'identificazione dei diversi ordini di insetti; la scelta di questo gruppo è dovuta al fatto che si tratta di organismi facilmente reperibili in natura.

Trovane alcuni e prova ad individuarli usando la chiave proposta.



Nelle chiavi dicotomiche cartacee al termine di ciascuna dicotomia un numero indica a quale riga bisogna andare per passare alla dicotomia successiva; nel nostro caso sfrutteremo i vantaggi del mezzo elettronico e quindi dopo aver scelto una delle due alternative di una dicotomia basterà cliccare sulla freccia corrispondente per essere automaticamente trasportati alla dicotomia successiva.



Chiave per l'identificazione degli ordini di insetti

Prima di utilizzare la chiave, sarà bene ricordare i seguenti punti:

- a) La chiave non è completa al 100%, nel senso che non include alcuni ordini minori di insetti, che però sono o esotici, o estremamente rari, o vivono in ambienti molto particolari per cui ben difficilmente capitano nelle mani del raccoglitore non specialista: si può quindi usarla con tranquillità per identificare gli insetti che si raccoglieranno normalmente nelle nostre regioni.
- b) Prima di usare una chiave, è evidentemente necessario assicurarsi che gli organismi che si vogliono identificare siano effettivamente compresi nella chiave stessa, quindi è utile prima di tutto controllare i caratteri diagnostici degli insetti, cioè quelli che ci indicano con sicurezza che l'animale che vogliamo identificare è effettivamente un insetto.

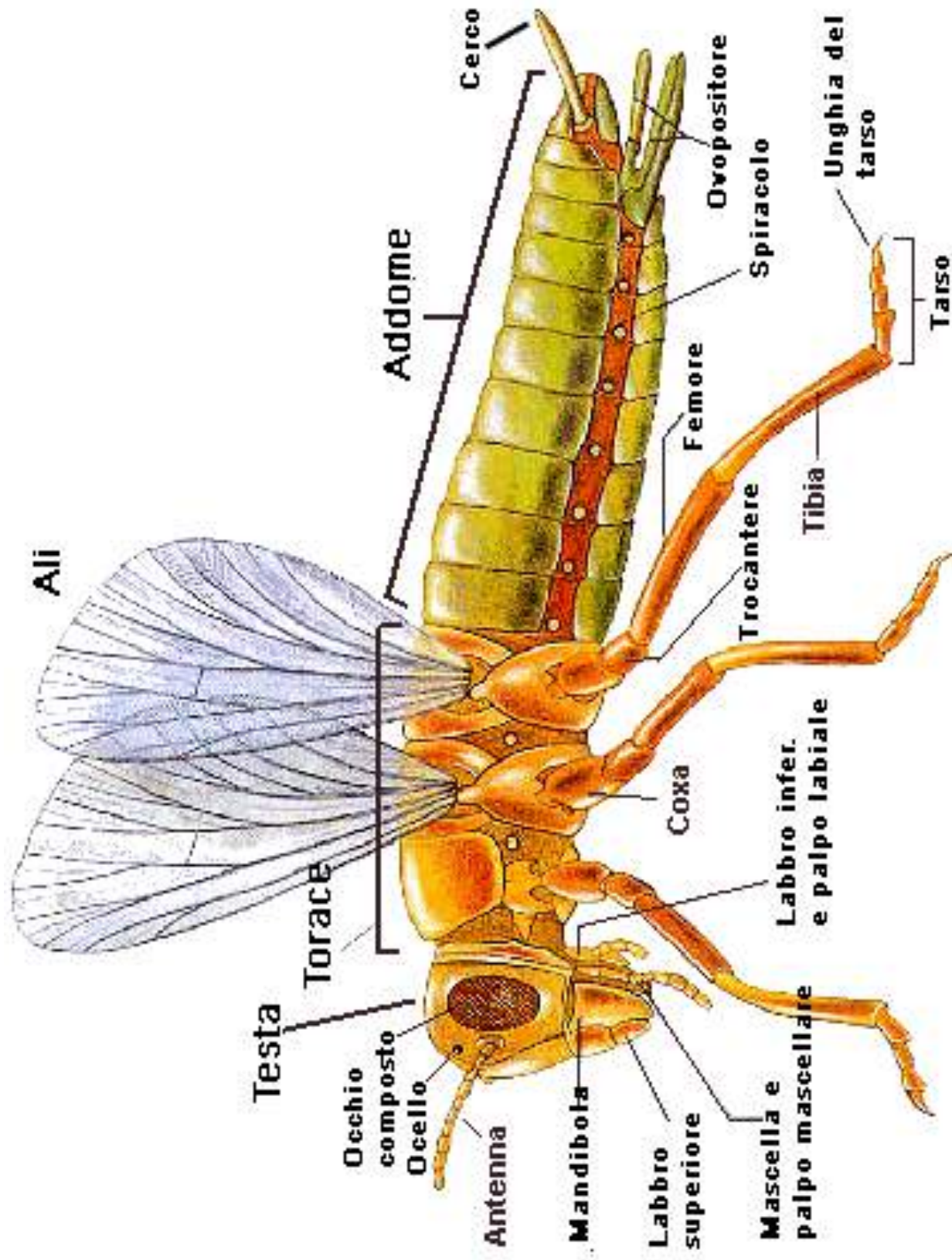
Caratteri identificativi degli insetti

I caratteri che identificano gli insetti in modo inequivocabile sono i seguenti:

- a) **Corpo segmentato e diviso in tre parti: capo, torace e addome**
- b) **Presenza di tre paia di zampe, una per ogni segmento del torace**

Oltre a questi, aiuta spesso anche la presenza di **due paia di ali in corrispondenza dei primi due segmenti toracici**: carattere questo però non sempre presente (alcuni gruppi di insetti primitivi non hanno le ali e altri gruppi le hanno perse); quindi se un piccolo animale ha due paia di ali, si può essere sicuri che è un insetto, ma se non le ha non è detto che non lo sia. Pertanto il carattere più sicuro sono le tre paia di zampe (una volta gli insetti venivano chiamati esapodi, cioè appunto con 6 zampe): questo carattere non permette confusione con nessun altro gruppo di organismi, tranne che con le forme larvali degli acari, che però allo stato adulto hanno 4 paia di zampe come tutti gli altri aracnidi (ragni e scorpioni). Tuttavia distinguere queste forme dagli insetti è relativamente facile: prima di tutto le forme larvali degli acari sono molto piccole (lunghezza del corpo generalmente inferiore al millimetro), in secondo luogo il loro corpo è diviso solo in due sole parti (cefalotorace e addome).

Struttura di un insetto



Sono chiaramente visibili la divisione in tre parti (testa, torace, addome), le tre paia di zampe e le due paia di ali (queste ultime però assenti in alcuni gruppi di insetti)

Inizio chiave per la determinazione degli ordini degli insetti

Procediamo con la prima dicotomia:

- Presenza di ali, completamente sviluppate o più o meno ridotte



Controlla il carattere

- Ali completamente assenti

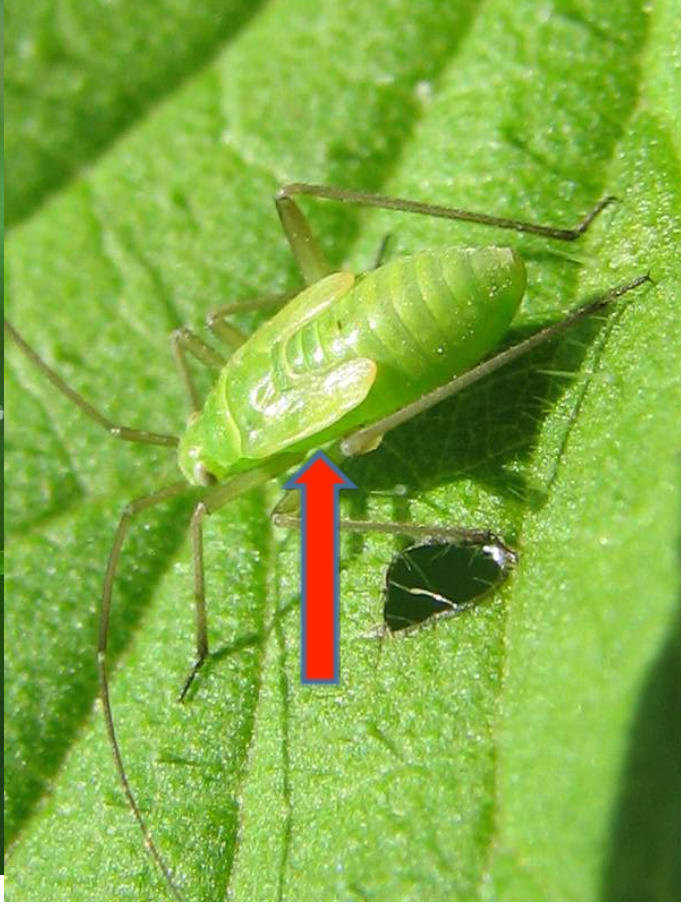


Controlla il carattere

Fine secondo livello

Torna alla
chiave

Un esempio di insetto con ali ben sviluppate ... e tre con ali ridotte. Le frecce indicano la posizione delle ali



Torna alla
chiave



- Con un solo paio di ali ben sviluppate

Controlla il carattere



- Con due paia di ali ben sviluppate
(attenzione: controllare con attenzione, il secondo paio di ali potrebbe essere nascosto sotto il primo paio, indurito e a forma di corazza)

Controlla il carattere



Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Ali anteriori membranose ben sviluppate



Controlla il carattere

- Ali anteriori ridotte, ali posteriori membranose ben sviluppate (rari)

Strepsittera

Controlla il carattere

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave

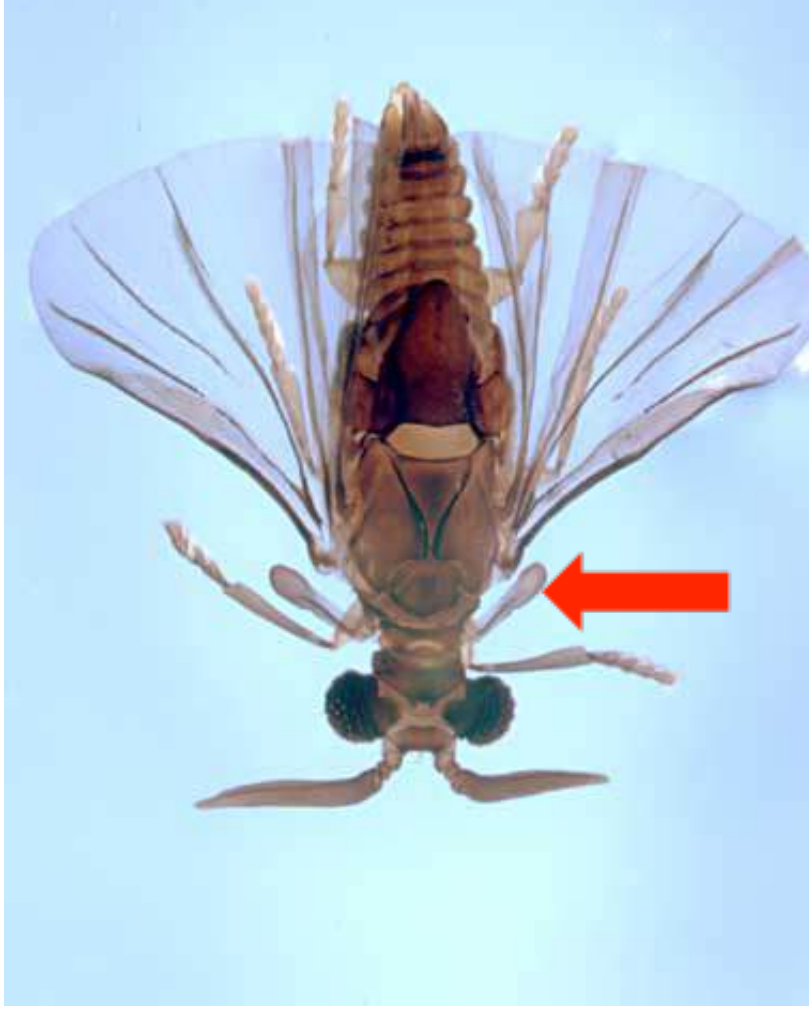


Immagine di uno Strepsittera in cui sono chiaramente visibili le ali anteriori ridotte (freccia) e quelle posteriori membranose

- Ali anteriori membranose ben sviluppate, ali posteriori completamente assenti; tre lunghe appendici terminali all'estremità dell'addome

Ephemeroptera

(un solo genere di
Ephemeroptera, *Caenis*)

Controlla il carattere

- Ali anteriori membranose ben sviluppate, ali posteriori molto ridotte, in forma di piccole mazze o squame



[Torna alla
chiave](#)



Un esemplare di Ephemeroptera del genere *Caenis*, l'unico appartenente a questo ordine con 1 solo paio di ali

- Ali anteriori membranose ben sviluppate, ali posteriori trasformate in strutture claviformi (bilancieri)

Diptera

Controlla il carattere

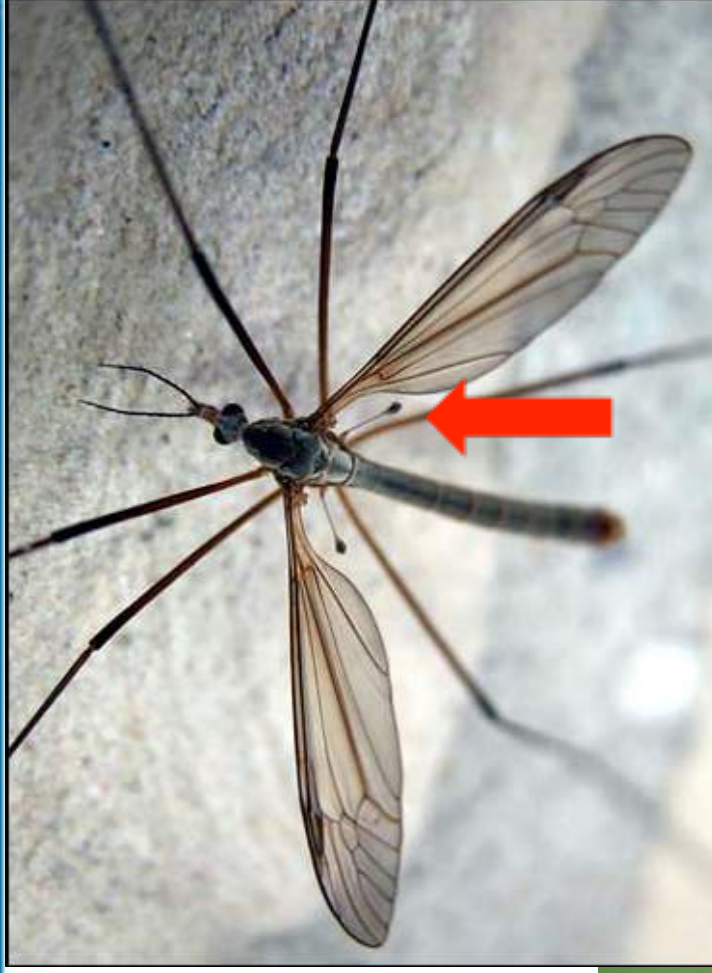
- Ali anteriori membranose ben sviluppate, con una sola nervatura biforcuta, ali posteriori piccole e appiattite; insetti piccoli e raramente visibili

Homoptera

(solo i maschi di
un piccolo gruppo
di Homoptera)

[Torna alla
chiave](#)

Tre immagini di Diptera in cui sono
chiaramente visibili (indicate dalle frecce) le
ali posteriori trasformate in bilancieri



- Ali anteriori
fortemente indurite,
coriacee



Controlla il carattere

- Tutte le ali membranose



Controlla il carattere

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Ali anteriori solo parzialmente coriacee, con l'estremità membranosa

Controlla il carattere

- Ali anteriori uniformemente indurite e coriacee

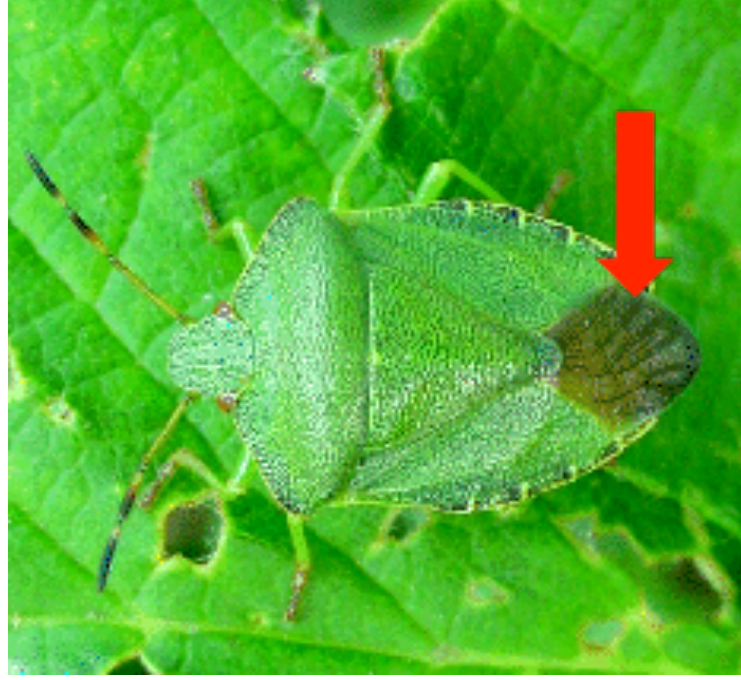
Controlla il carattere

Heteroptera



Torna alla
chiave

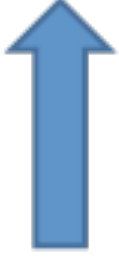
Alcuni esempi di Heteroptera.
Le frecce indicano l'estremità
posteriore membranosa delle ali.



Torna alla
chiave



- Ali anteriori completamente indurite, prive di venature visibili, che si uniscono una all'altra lungo la linea mediana



Controlla il carattere

- Ali anteriori con numerose venature, che si sovrappongono almeno parzialmente lungo la linea mediana, e spesso ripiegate a tetto sopra il corpo

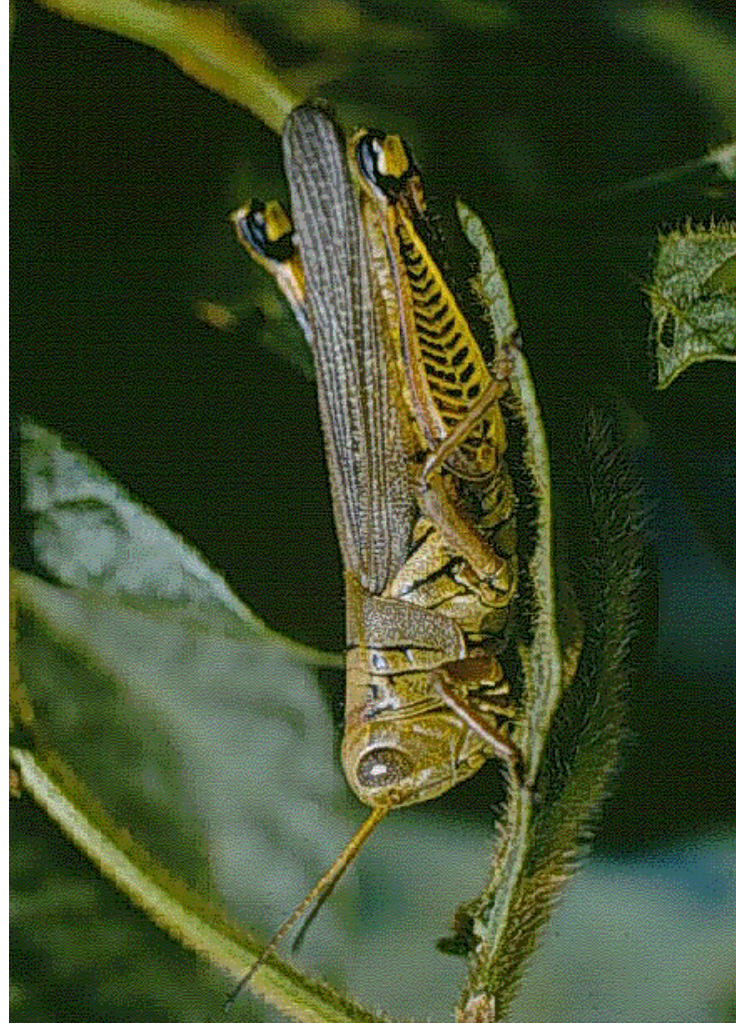


Controlla il carattere

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Addome terminante con due evidenti “pinze” (cerci)

Controlla il carattere

Dermaptera

- Addome senza pinze

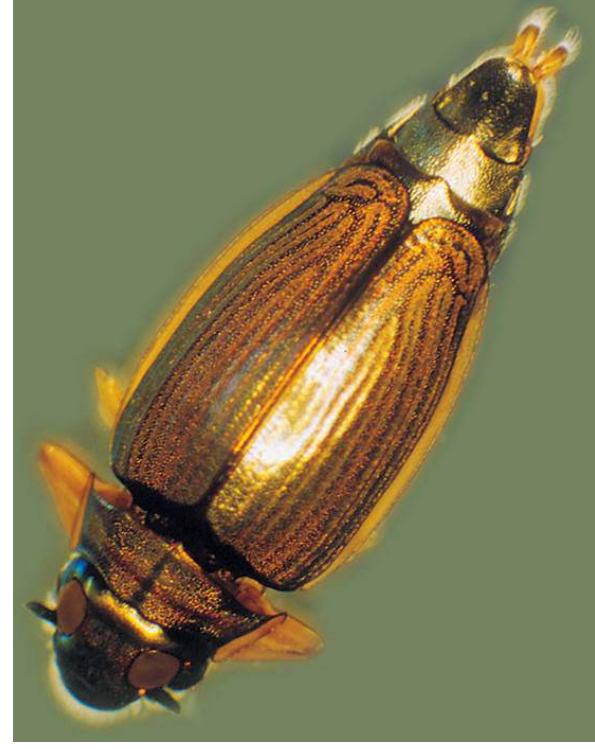
Controlla il carattere

Coleoptera

[Torna alla
chiave](#)



Torna alla
chiave



- Insetti con apparato boccale formato da un rostro atto a pungere e succhiare

Homoptera

Controlla il carattere

- Insetti con apparato boccale masticatore, con mandibole ben sviluppate; all'estremità dell'addome sono generalmente presenti dei cerci



Controlla il carattere

[Torna alla
chiave](#)

Un Homoptera visto ventralmente: la freccia indica la
posizione del rostro



Torna alla
chiave

Apparato boccale masticatore di un Orthoptera: la freccia indica la posizione della mandibola, parzialmente coperta dal labbro superiore



- Zampe posteriori modificate per il salto

Controlla il carattere

Orthoptera

- Zampe posteriori non modificate per il salto

Controlla il carattere

Dictyoptera

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



Copyright (c) Jon Brierley, 2006
www.naturesbestcreations.com



- Insetti piccoli con ali molto strette provviste di frange di peli lungo i bordi; si trovano spesso sui fiori o sotto le cortecce

Thysanoptera

Controlla il carattere

- Insetti diversi da questi



Torna alla
chiave



- Testa rivolta verso il basso e prolungata in un becco

Controlla il carattere

Mecoptera

- Testa non prolungata in becco



Torna alla
chiave



- Ali più o meno fittamente ricoperte da minute scaglie appiattite, che formano spesso disegni colorati; la bocca è abitualmente provvista di una proboscide arrotolata in stato di riposo

Lepidoptera

Controlla il carattere

- Ali di solito trasparenti, anche se a volte ricoperte da peli più o meno fitti

Controlla il carattere



Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Ali con una fitta rete di venature, incluse molte venature trasverse



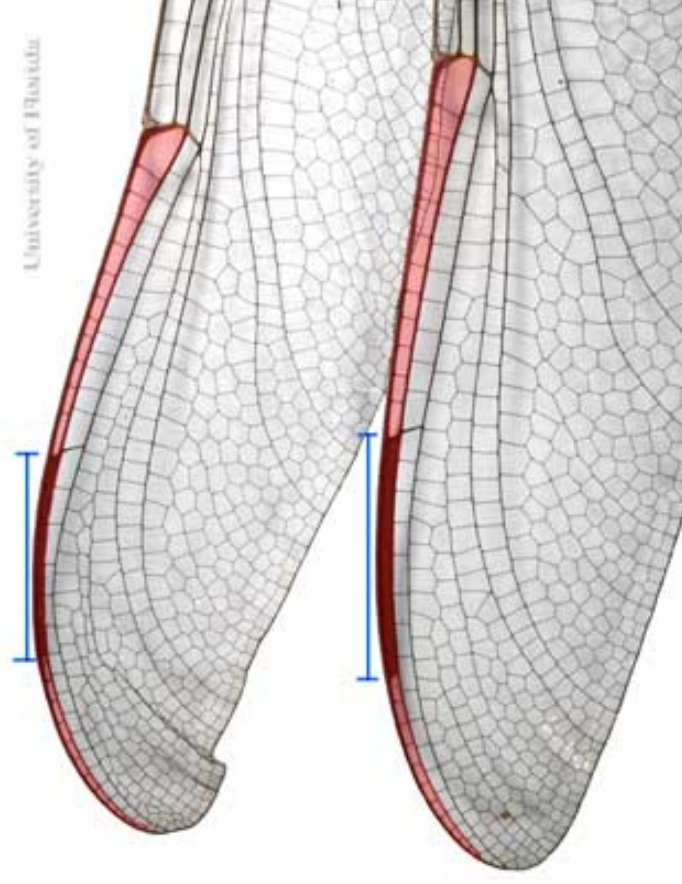
Controlla il carattere

- Ali con nervature più rade e con meno vene trasverse



Controlla il carattere

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Addome terminante con 2 o 3 appendici molto lunghe

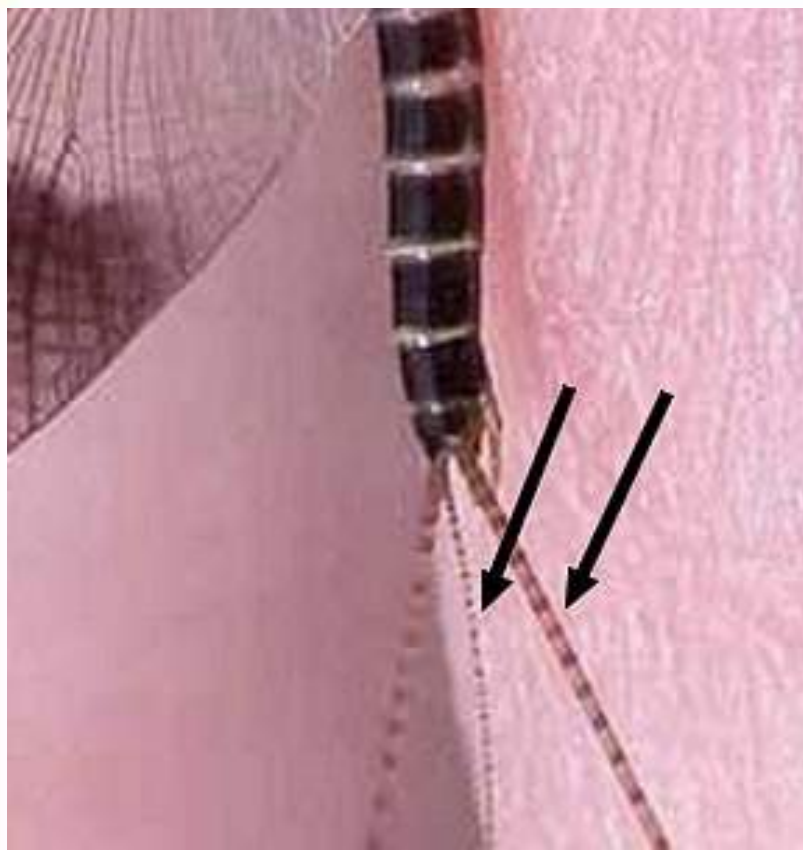
Controlla il carattere



- Addome con appendici terminali corte o assenti

Controlla il carattere





Torna alla
chiave

Torna alla
chiave



- Ali anteriori molto più grandi delle posteriori; ali in riposo tenute verticalmente sopra il corpo; addome terminante con 2 o 3 appendici

Ephemeroptera

Controlla il carattere

- Ali di dimensioni più o meno uguali; ali in riposo tenute orizzontalmente sopra il corpo; addome terminante con due appendici

Plecoptera

Controlla il carattere

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Antenne molto corte; insetti grandi, con corpo lungo almeno 25 mm

Controlla il carattere

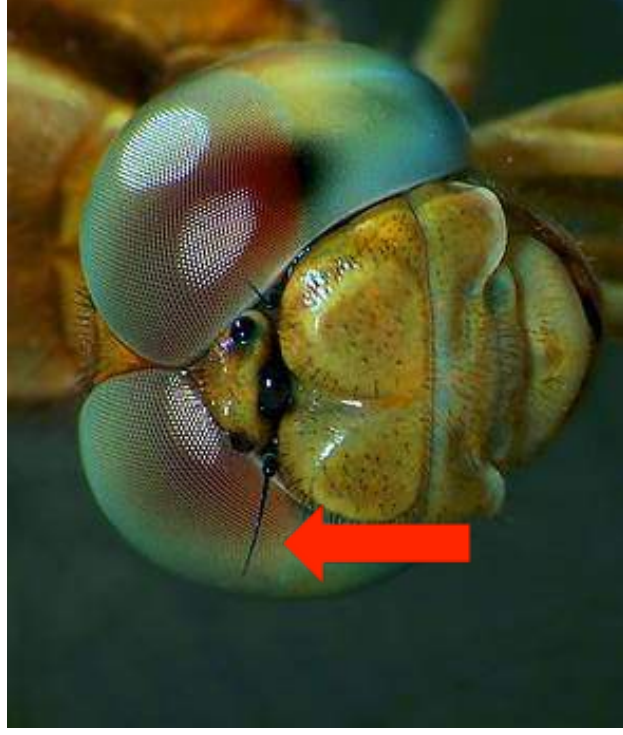
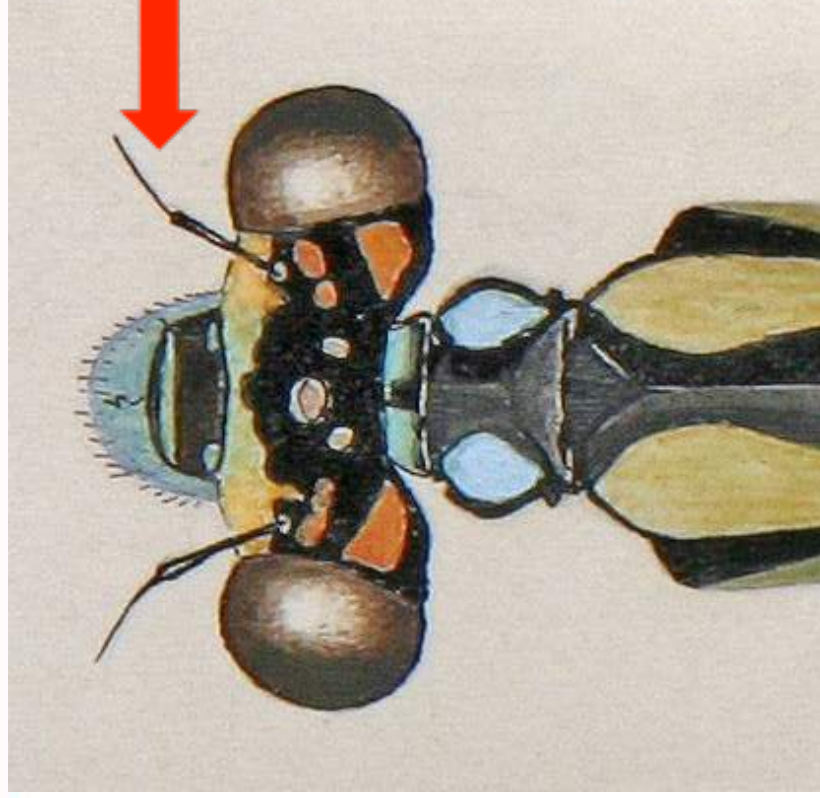
Odonata

- Antenne più sviluppate, sempre più lunghe della larghezza della testa

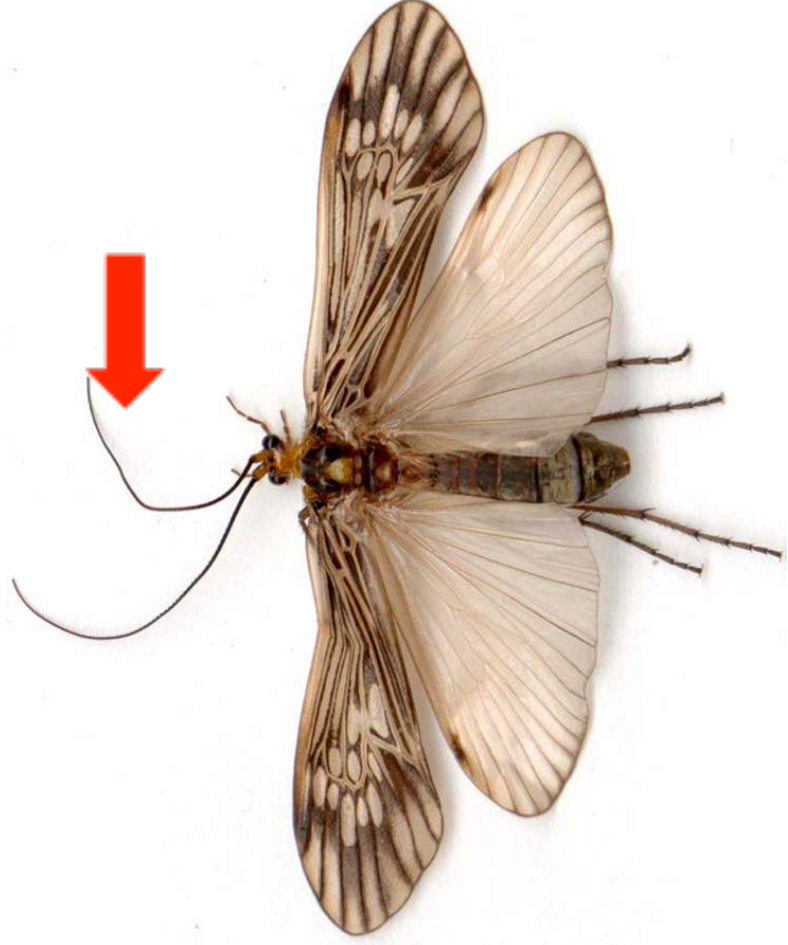
Controlla il carattere



[Torna alla chiave](#)



Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Tarsi con tre segmenti

Controlla il carattere

Plecoptera

- Tarsi con 5 segmenti

Controlla il carattere

Neuroptera

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Ali distintamente pelose

Controlla il carattere



- Ali non distintamente pelose

Controlla il carattere



Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Ali anteriori più o meno uguali; tarsi anteriori ingrossati; vivono nel terreno o sotto i sassi in tunnel di seta (rari)

Embioptera

Controlla il carattere

- Ali posteriori generalmente più larghe di quelle anteriori, tarsi anteriori non ingrossati; vivono generalmente vicino ad ambienti acquatici

Trichoptera

Controlla il carattere

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



John Edward Latta - 1992

- Piccoli insetti ricoperti da una polvere bianca

Controlla il carattere

Neuroptera

(solo 1 gruppo di
Neuroptera, i
Coniopterygidae)

- Ali trasparenti (anche se talvolta più o meno iscurite), prive di peli o scaglie vistosi (piccoli peli possono essere presenti)

Controlla il carattere



Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Tarsi con 4 o 5 segmenti

Controlla il carattere

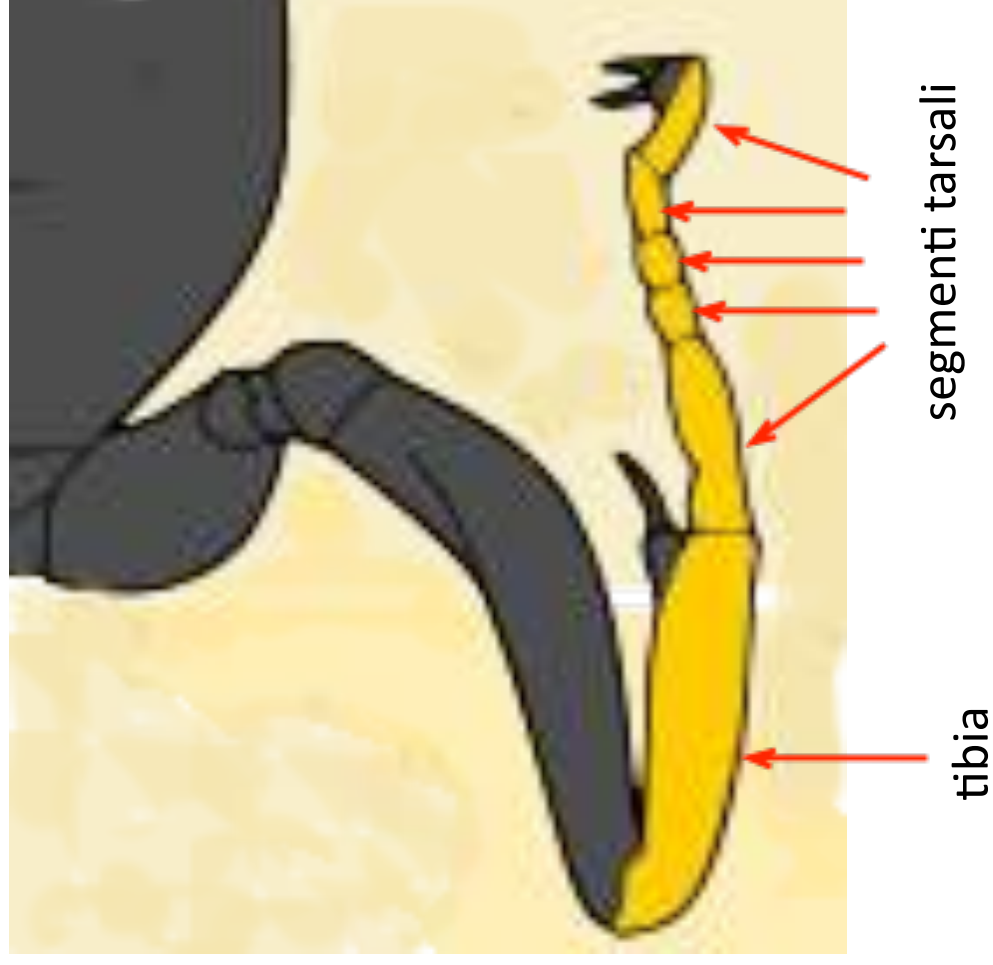


- Tarsi con 3 segmenti

Controlla il carattere



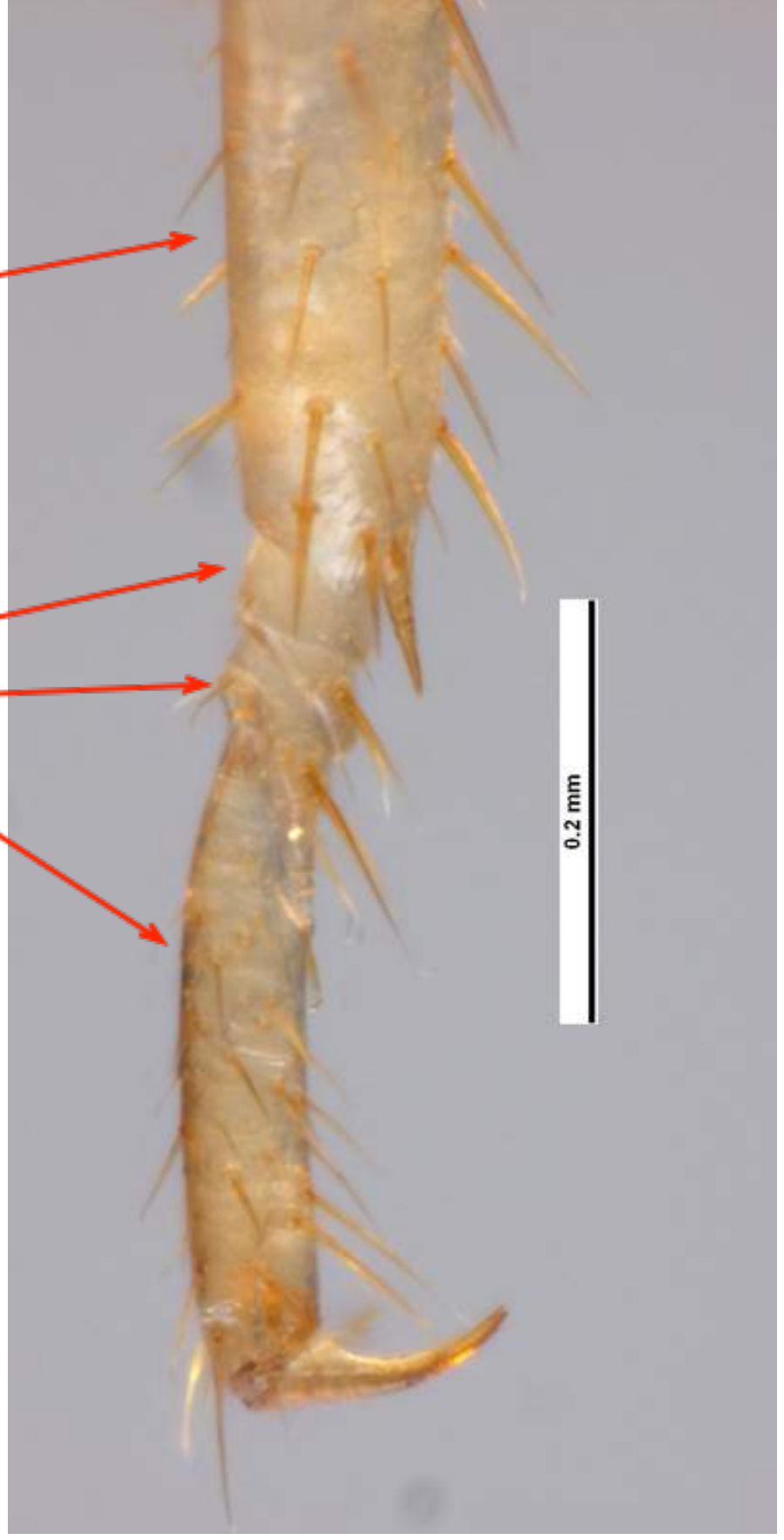
Torna alla
chiave



Torna alla
chiave

tibia

Segmenti
tarsali



Ali posteriori simili o più grandi delle
posteriori; addome con cerci

Controlla il carattere

Plecoptera

Ali posteriori più piccole delle
anteriori; cerci assenti

Controlla il carattere



Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Ali tutte più o meno uguali

Controlla il carattere

Isoptera

- Ali posteriori molto più piccole delle anteriori

Controlla il carattere

Hymenoptera

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Insetti minuscoli con almeno 12 segmenti antennali; apparato boccale masticatore

Controlla il carattere

Psocoptera

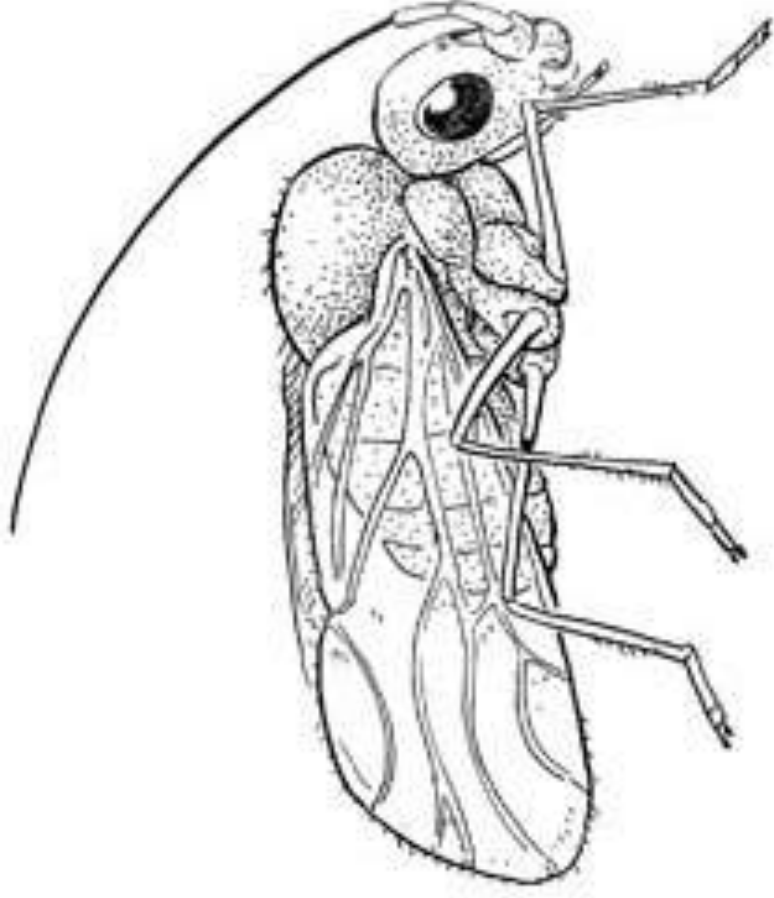
- Antenne con non più di 10 segmenti: apparato boccale per pungere e succhiare

Controlla il carattere

Homoptera

(afidi)

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Insetti con corpo allungato a forma di stecco

Controlla il carattere

Phasmida

- Corpo di altra forma



Torna alla
chiave



- Insetti con corpo a forma di cavalletta, con zampe posteriori particolarmente sviluppate

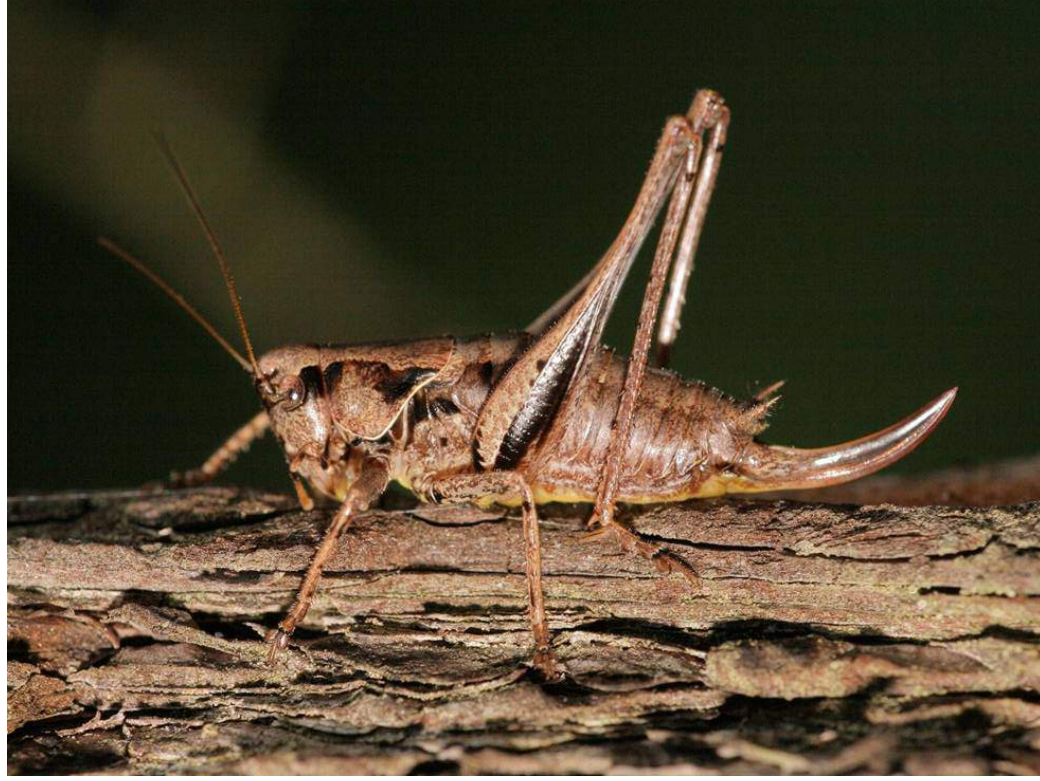
Controlla il carattere

- Corpo di altra forma



Orthoptera

Torna alla
chiave



- Piccoli insetti dal corpo molle che vivono su piante ricoperti da squame o scaglie

Controlla il carattere

Homoptera

(solo 1 gruppo di Homoptera, i Coccida cioè le cocciniglie)

- Forma del corpo diversa



Torna alla
chiave



- Insetti minuscoli (meno di 2 mm di lunghezza), privi di antenne, che vivono nel suolo

Controlla il carattere

Protura

- Insetti diversi da questi



Torna alla
chiave



- Insetti con cerci o altre appendici addominali

Controlla il carattere



- Insetti senza appendici addominali

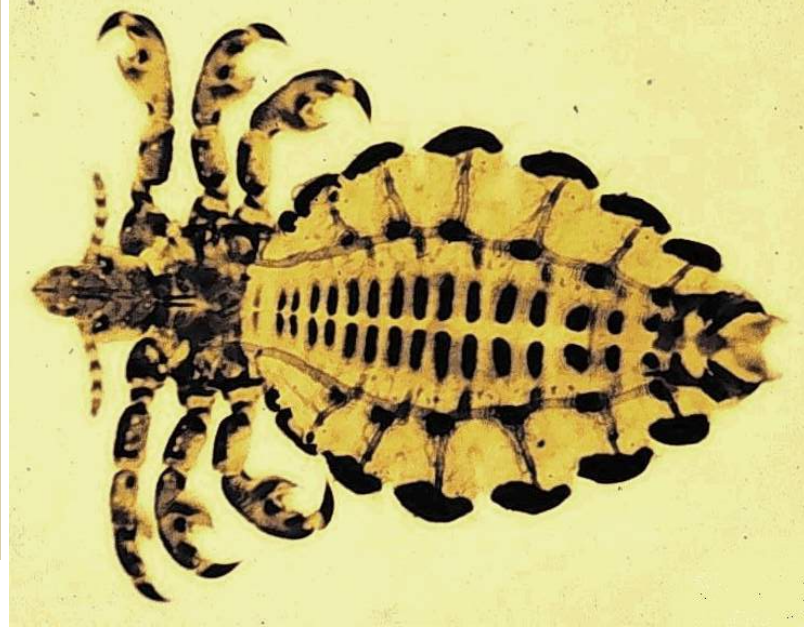
Controlla il carattere



Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Appendici addominali lunghe ed evidenti

Controlla il carattere



- Appendici addominali brevi o nascoste sotto il corpo

Controlla il carattere



Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Appendici addominali formanti pinze

Controlla il carattere



- Appendici addominali non formanti pinze

Controlla il carattere



[Torna alla
chiave](#)



Torna alla
chiave



- Tarsi con 3 segmenti

Controlla il carattere

Dermaptera

- Tarsi con solo 1 segmento

Controlla il carattere

Diplura

[Torna alla
chiave](#)



[Torna alla
chiave](#)



- Addome con tre lunghe appendici

Controlla il carattere

Thysanura

- Addome con solo due appendici

Controlla il carattere

Diplura



Torna alla
chiave



[Torna alla
chiave](#)



- Piccoli insetti in grado di saltare con la testa prolungata in un becco; ali vestigiali presenti

Controlla il carattere

Mecoptera

- Nessuna traccia di un becco

Controlla il carattere



Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Insetti piccoli o minuscoli con un organo a forca che funziona come molla per saltare sotto l'estremità posteriore del corpo; si trovano nel terreno o nella vegetazione marcescente

Collembola

Controlla il carattere

- Insetti di forma diversa



Torna alla
chiave



© Walter, D.E., 1999



- Tarsi di solito con 4 segmenti

Controlla il carattere

Isoptera

- Tarsi con 3 segmenti; tarsi anteriori ingrossati

Controlla il carattere

Embioptera

Torna alla
chiave



[Torna alla
chiave](#)



- Insetti parassiti nel pelo o tra le piume; corpo generalmente appiattito o in senso laterale o in senso dorso-ventrale

Controlla il carattere



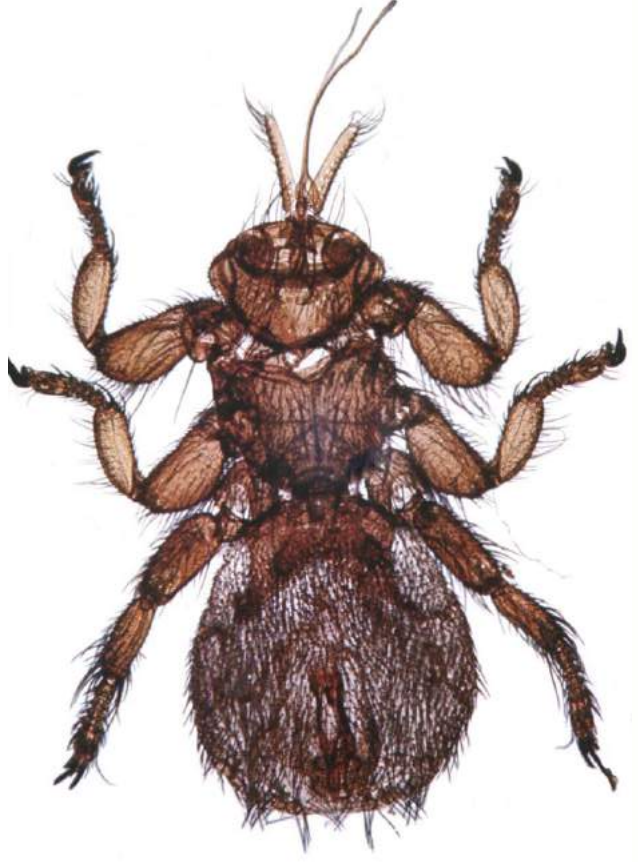
- Insetti non parassiti e di solito non appiattiti

Controlla il carattere





Torna alla
chiave





[Torna alla chiave](#)

- Insetti appiattiti in senso laterale

Controlla il carattere

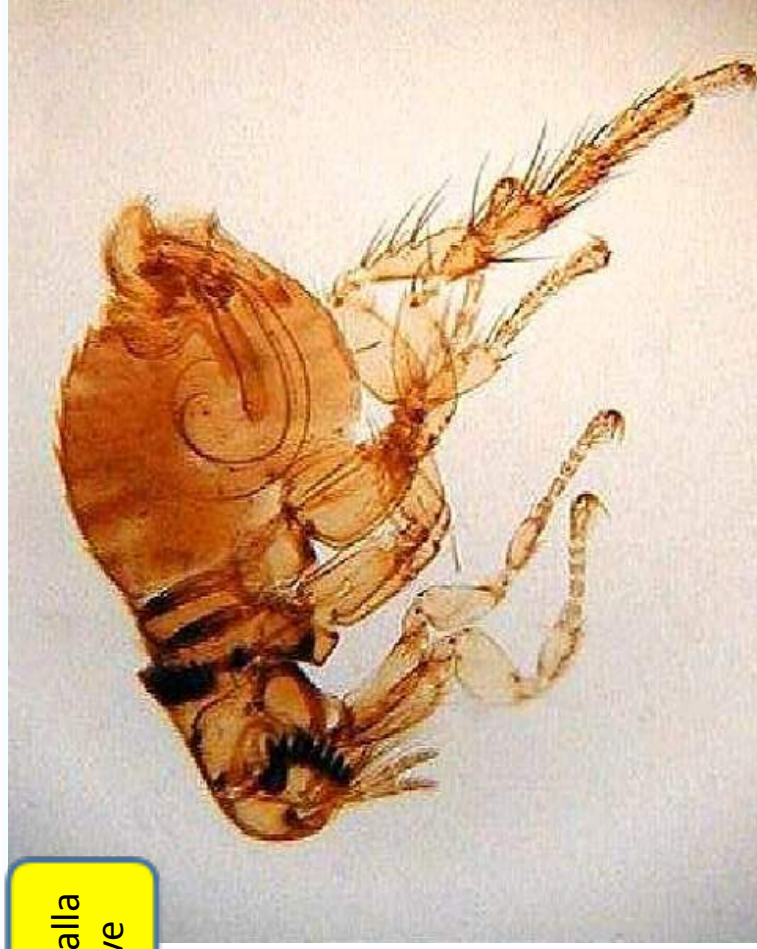
Siphonaptera

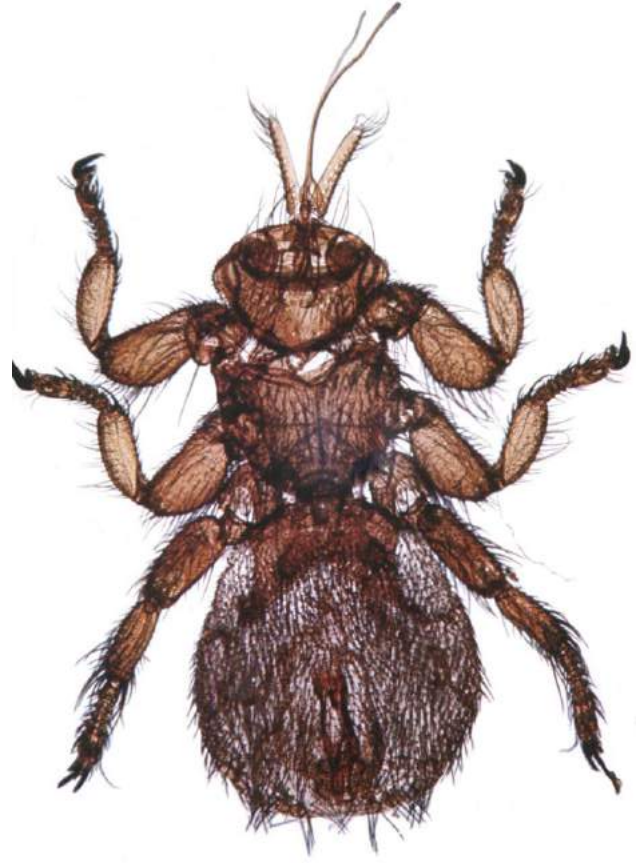
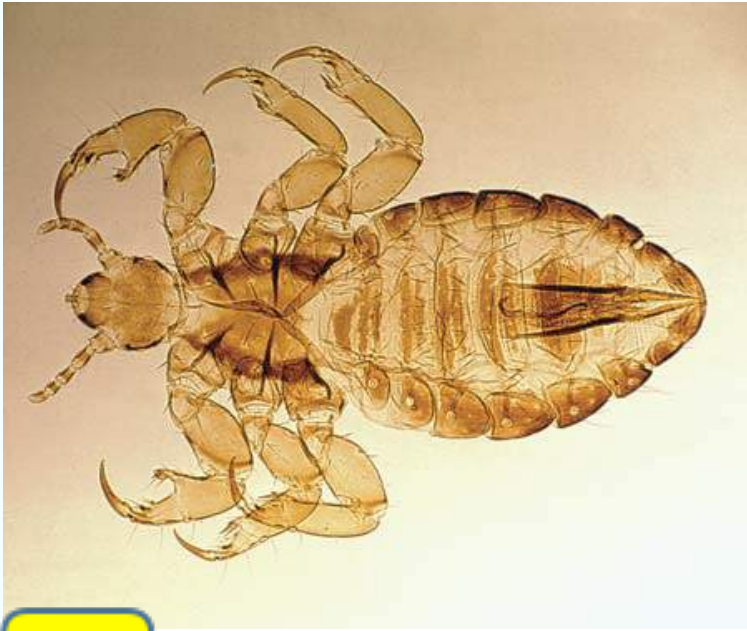
- Insetti appiattiti in senso dorso-ventrale

Controlla il carattere



[Torna alla chiave](#)





Torna alla
chiave

- Insetti di dimensioni moderate:
testa parzialmente retratta nel torace



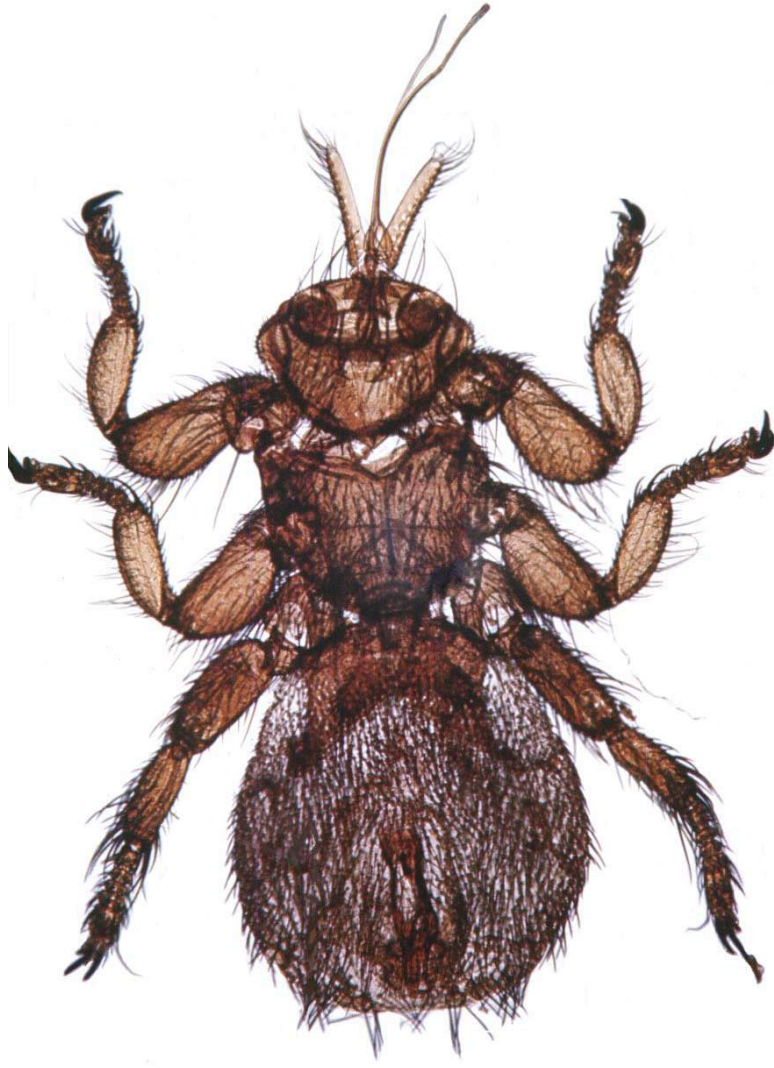
Controlla il carattere

- Insetti di dimensioni minuscole: testa
non retratta nel torace



Controlla il carattere

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Antenne corte; zampe robuste con unghie evidenti adatte per aggrapparsi al pelo del mammifero ospite

Controlla il carattere

Diptera

(solo alcuni Diptera
atterri parassiti di
mammiferi)

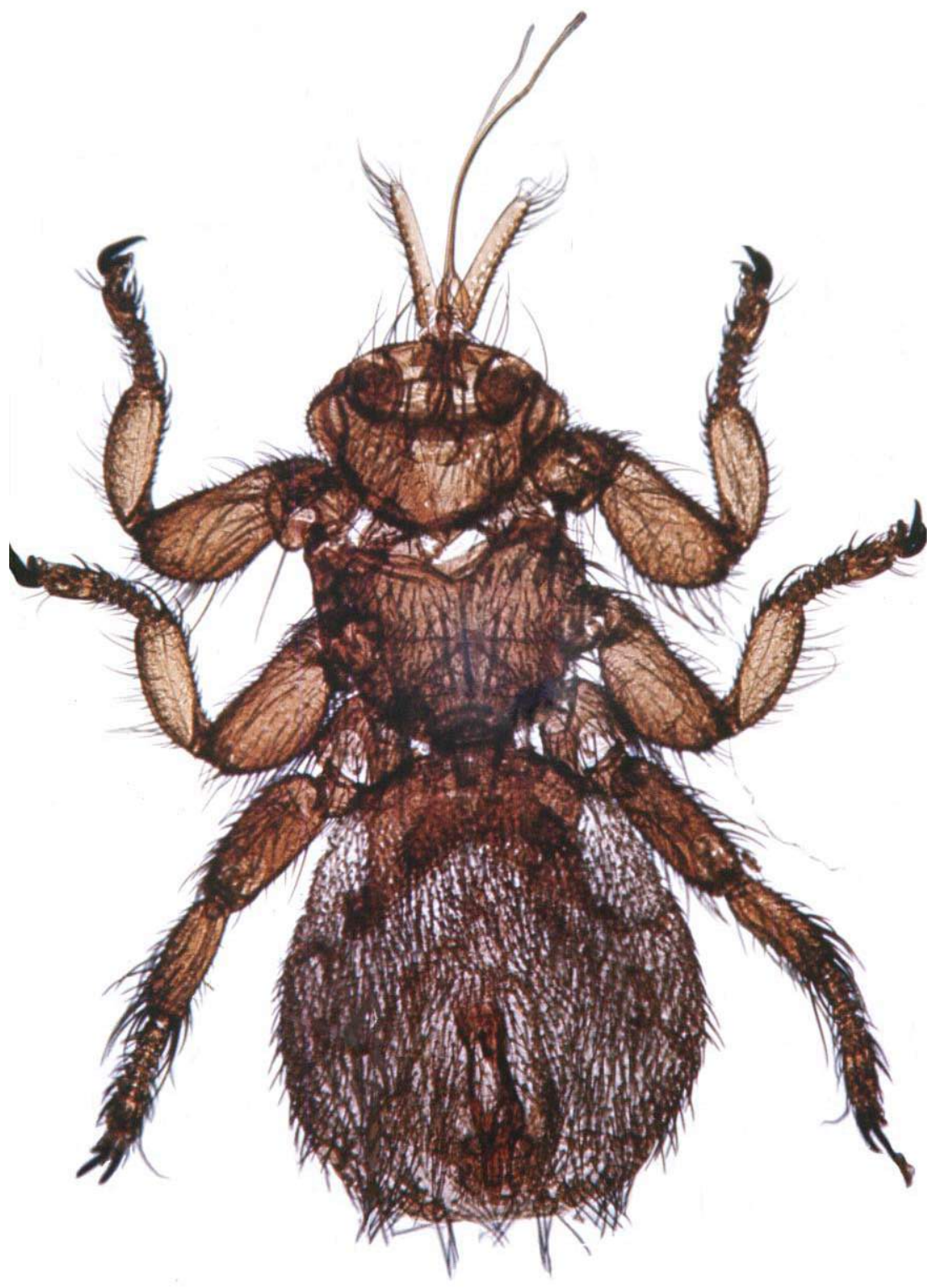
- Antenne più lunghe, corpo approssimativamente circolare, unghie meno prominenti

Controlla il carattere

Heteroptera

(solo alcune specie
atterre parassite)

Torna alla
chiave



Torna alla
chiave



- Bocca adatta a mordere;
protorace distinto

Controlla il carattere

Mallophaga

- Bocca adatta a succhiare;
segmenti toracici fusi in una
singola unità

Controlla il carattere

Anoplura

[Torna alla
chiave](#)



[Torna alla
chiave](#)



- Addome fortemente strozzato, formando un peduncolo sottile; antenne generalmente piegate a L

Controlla il carattere

- Nessuna di queste caratteristiche presenti

Hymenoptera

(solo una famiglia, i Formicidae, cioè le formiche)



Torna alla
chiave



- Testa larga quanto il corpo o quasi quanto il corpo; antenne lunghe e sottili; insetti che vengono rinvenuti spesso tra materiali secchi

Psocoptera

Controlla il carattere

- Testa più stretta del corpo; antenne più corte; addome spesso con un paio di appendici tubulari all'estremità posteriore; insetti sempre rinvenuti su piante vive

Homoptera

(solo il gruppo degli afidi)

Controlla il carattere

[Torna alla
chiave](#)



Torna alla
chiave



La cladistica: un nuovo modo di classificare

Il metodo cladistico richiede essenzialmente tre passaggi:

- a) Identificazione della polarità dei caratteri
- b) Costruzione di un albero filogenetico coerente con le polarità dei caratteri nelle specie considerate
- c) Costruzione di una classificazione basata sull'albero filogenetico individuato

Vediamo ora più in dettaglio ciascuno di questi passaggi.

Identificare la polarità dei caratteri

Si tratta di identificare omologie e analogie, e la cladistica ha reso questo processo più rigoroso.

In cladistica si distinguono 3 tipi di caratteri.

- a) Caratteri plesiomorfi (cioè primitivi), cioè caratteri che all'interno di un gruppo di organismi sono stati ereditati da un comune antenato e sono quindi rimasti invariati all'interno del gruppo.
- b) Caratteri apomorfi (cioè evoluti), cioè caratteri che in alcune delle specie del gruppo si sono evoluti e quindi non si trovano più nello stato primitivo; corrispondono in pratica alle omologie della sistematica tradizionale.
- c) Caratteri omoplasici: sono caratteri condivisi da due o più specie che però non derivano da un antenato comune; comprendono le analogie della sistematica tradizionale ma non coincidono esattamente con queste, perché possono comprendere anche caratteri originariamente apomorfici che sono regrediti allo stato più primitivo.

E' chiaro che solo i caratteri apomorfici possono permettere di creare dei raggruppamenti all'interno di gruppi più grandi, ma bisogna ricordare, come già detto in precedenza, che i termini plesiomorfo e apomorfo sono relativi ad un determinato livello sistematico: se cambia il livello, un carattere apomorfo può diventare plesiomorfo e viceversa.

Ad esempio, a livello della classe Mammalia, il carattere "corpo coperto di peli" è plesiomorfo, perché è stato ereditato dall'antenato comune dei mammiferi, e non ci può servire per creare raggruppamenti all'interno dei mammiferi; ma a livello del subphylum Vertebrata, il carattere è apomorfico, perché si è sviluppato solo nella linea evolutiva che ha portato ai mammiferi e quindi ci consente di raggruppare i mammiferi in una classe a sé all'interno dei Vertebrata.

Distinguere apo e plesiomorfi

Distinguere i caratteri apomorfi da quelli plesiomorfi non è sempre così semplice come nell'esempio precedente, anzi è spesso difficile.

La cladistica stabilisce essenzialmente 2 criteri per effettuare questa distinzione, e cioè:

a) Il confronto con un gruppo esterno (outgroup in inglese) imparentato con il gruppo all'interno del quale si sta cercando di classificare i taxa: se nel gruppo che stiamo cercando di classificare un carattere si presenta in due stati, a e b, e nel gruppo esterno si presenta nello stato a, possiamo supporre che lo stato primitivo, cioè plesiomorfo, sia a.

b) Il criterio ontogenetico, cioè l'analisi dello sviluppo embrionale: se un carattere all'interno dei taxa di un gruppo si presenta nei due stati a e b, ma noi osserviamo che nei taxa che mostrano il carattere nello stato b durante lo sviluppo embrionale prima si forma il carattere allo stato a e poi si trasforma nello stato b, allora possiamo supporre che lo stato a sia quello plesiomorfo.

Tabella dati

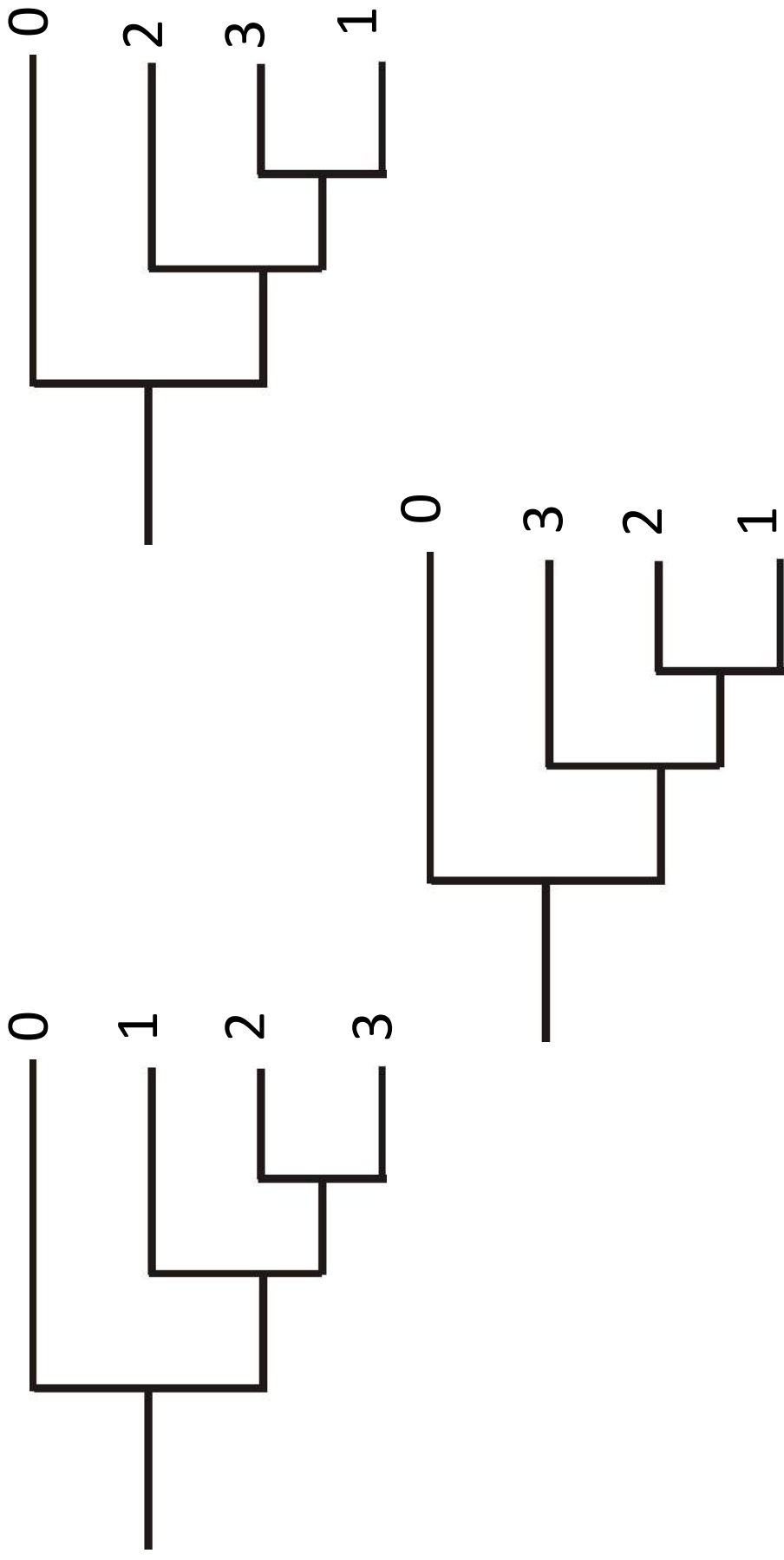
Una volta che la polarità dei caratteri è stata determinata con questi criteri, i caratteri vengono raccolti in una tabella.

Ad esempio supponiamo di dover classificare un gruppo di tre taxa, 1, 2 e 3, considerando i caratteri A, B, C, D, E ed F; il taxon 0 rappresenta il gruppo esterno. Possiamo riassumere i caratteri nella seguente tabella, dove i + rappresentano i caratteri allo stato apomorfo e i – indicano i caratteri allo stato plesiomorfo.

Taxon	Caratteri					
	A	B	C	D	E	F
0	-	-	-	-	-	-
1	+	+	-	-	-	+
2	+	-	+	+	+	+
3	+	-	+	-	+	-

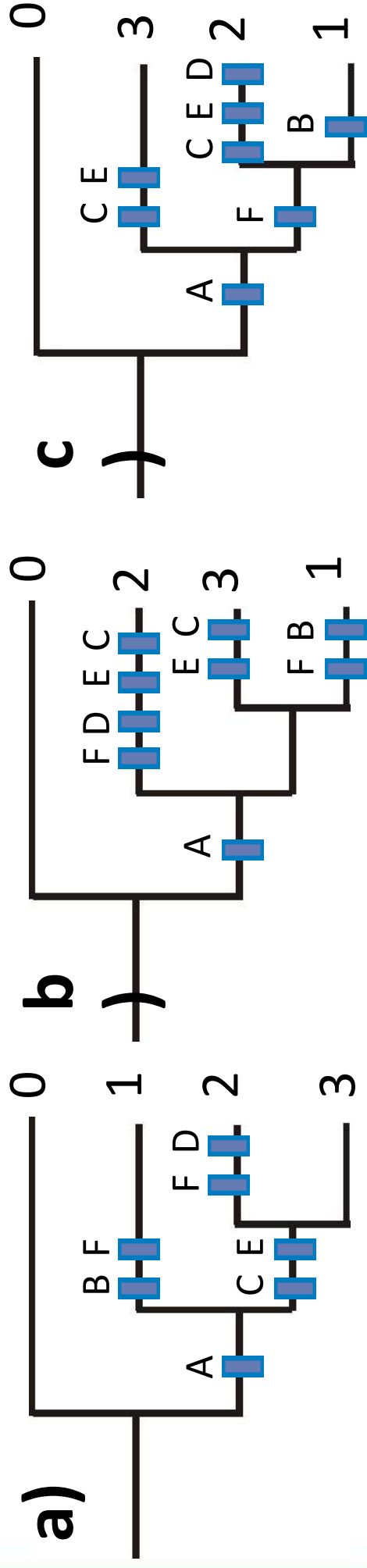
Construire l'albero filogenetico

Ora possiamo considerare le relazioni filogenetiche che intercorrono fra i tre taxa.
Con tre taxa, sono possibili teoricamente tre diversi alberi filogenetici (sempre considerando il taxon 0 come gruppo esterno), cioè i seguenti:



Ma quale di questi tre rispecchia le reali relazioni filogenetiche tra le specie?

Per deciderlo dobbiamo considerare i caratteri e inserirli nei nostri alberi:



Ogni rettangolo azzurro contrassegnato da una lettera indica il passaggio del corrispondente carattere dallo stato plesiomorfo a quello apomorfo.

A questo punto, possiamo applicare il criterio della **parsimonia**: l'albero che viene ritenuto corretto è quello che richiede il minor numero di cambiamenti di stato dei caratteri, cioè a), perché in esso troviamo solo 7 cambiamenti di stato, mentre ce ne sono 9 nel b) e 8 nel c). Osserviamo che in a) c'è un solo carattere che deve cambiare di stato 2 volte, F, che cambia sia nella linea che porta al taxon 1, sia in quella che porta al taxon 2; ma in b) sono 3 i caratteri che devono cambiare di stato 2 volte (E, C e F) e in c) sono 2 (C ed E).

Per la verità si potrebbe avanzare un'ipotesi alternativa, cioè che il carattere F si sia sviluppato nella linea che porta ai taxa 2 e 3 (insieme a C ed E) e sia poi ritornato alla condizione primitiva nella linea che porta al taxon 3, ma questo non porterebbe a cambiamenti dell'albero a), che quindi possiamo accettare come il più probabile.

Costruire la classificazione

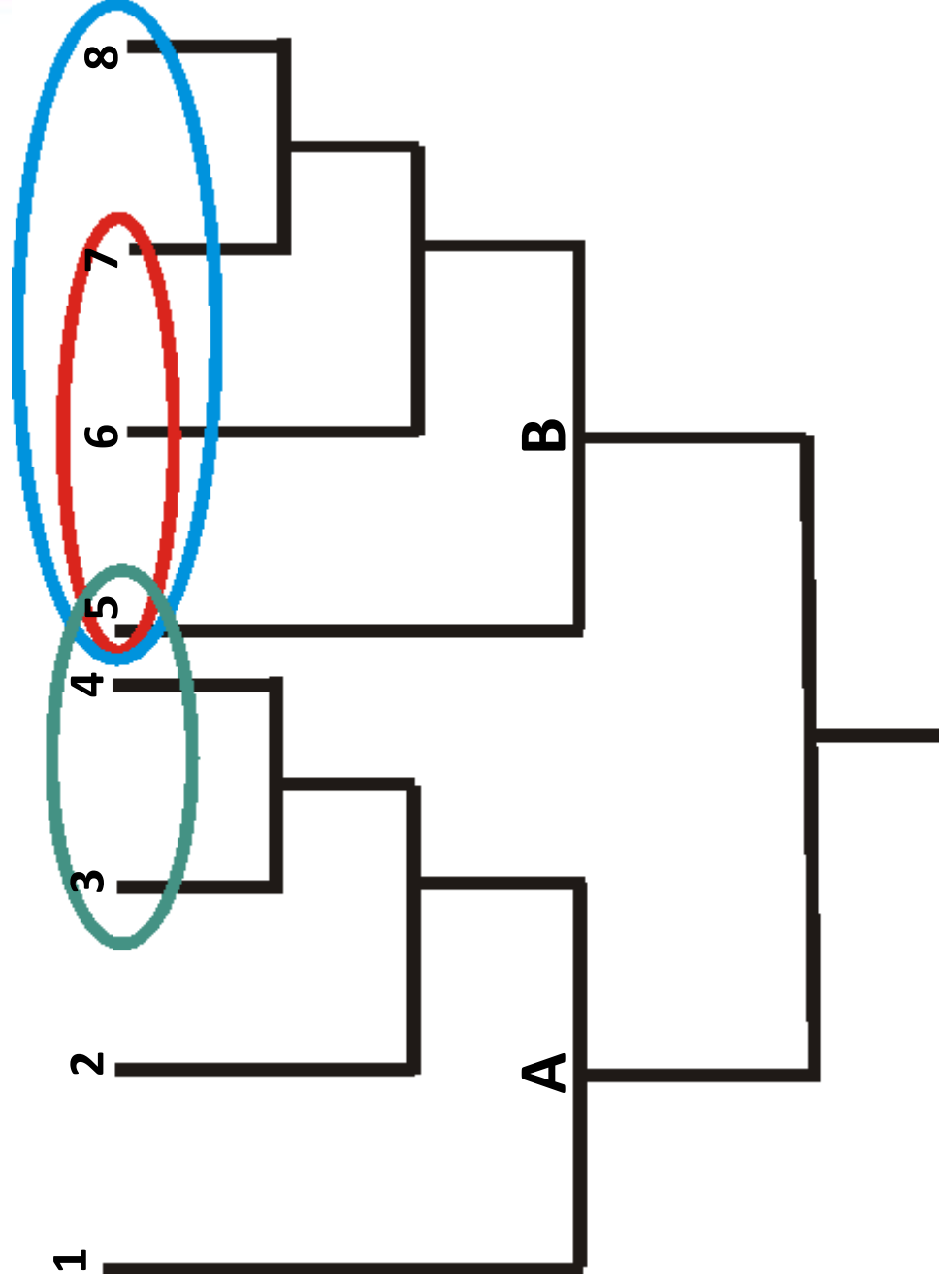
Bisogna ricordare che l'esempio è stato fatto con 3 taxa e 6 caratteri; in realtà, i biologi lavorano normalmente con molte più specie e con molti più caratteri, il che rende l'elaborazione dei dati molto più complessa; oggi ovviamente il lavoro di rielaborazione viene fatto con appositi programmi dai computer.

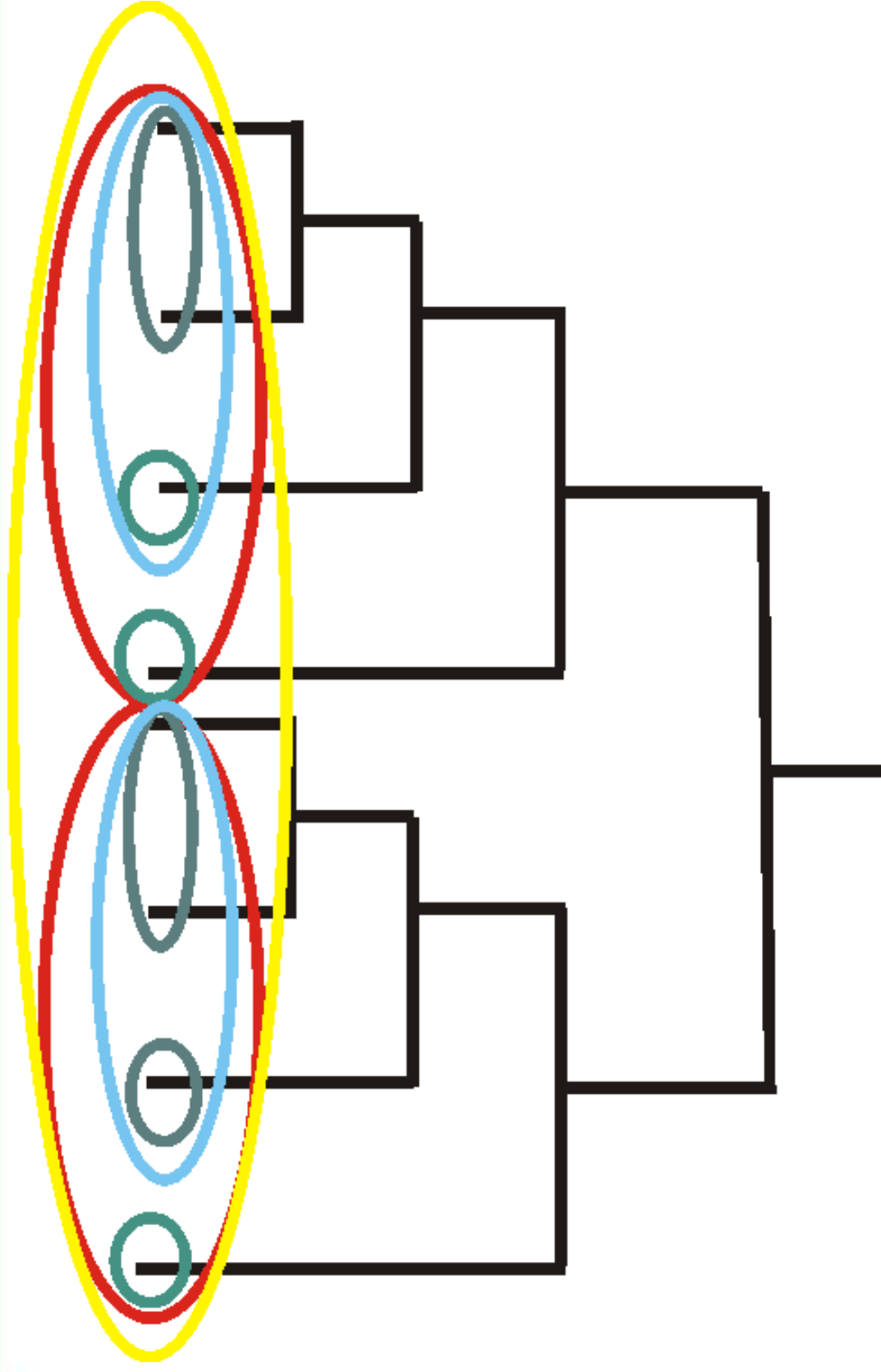
A questo punto abbiamo costruito l'albero filogenetico corretto che ci indica le relazioni evolutive tra i vari taxa; dobbiamo ora costruire una classificazione basata su tale albero. Questo è il punto in cui la classificazione cladistica si distacca maggiormente da quella tradizionale, perché ammette che possano entrare nelle categorie sistematiche solo **gruppi monofiletici**.

In cladistica si distinguono tre diversi tipi di raggruppamenti dei taxa: **gruppi monofiletici**, **gruppi parafiletici** e **gruppi polifiletici**.

La figura seguente ci permette di chiarire il significato di questi termini.

Il gruppo formato dai taxa 5, 6, 7, 8 (cerchio azzurro) rappresenta un gruppo **monofiletico**, perché include tutti i discendenti del taxon B; il gruppo formato dai taxa 5, 6, 7 invece è parafiletico, perché include solo una parte dei discendenti di B (manca il taxon 8); il gruppo infine formato dai taxa 3, 4, 5 è polifiletico, perché riunisce alcuni taxa discendenti da A (3, 4) e alcuni (5) discendenti da B.

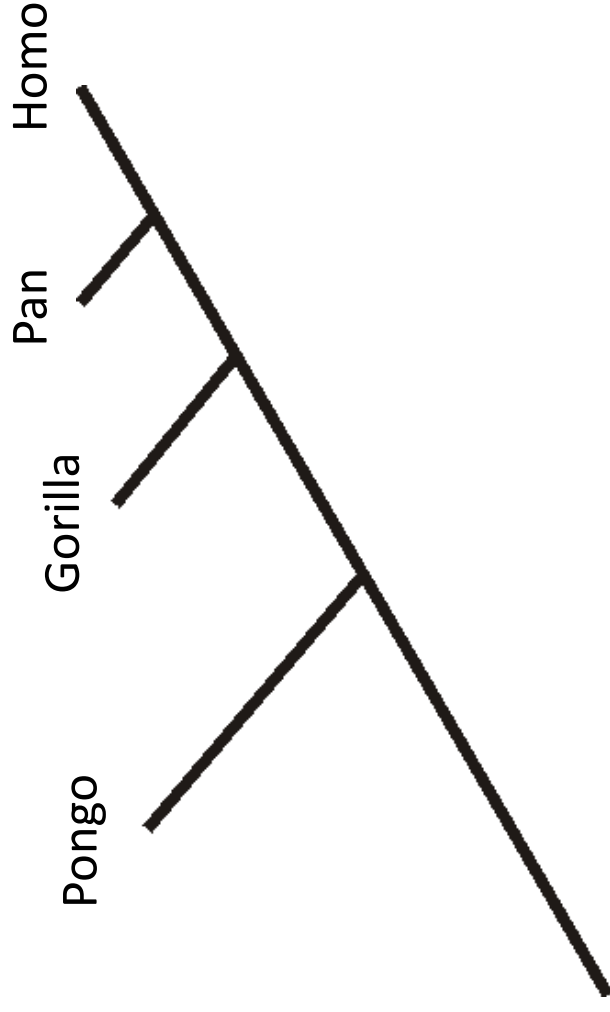




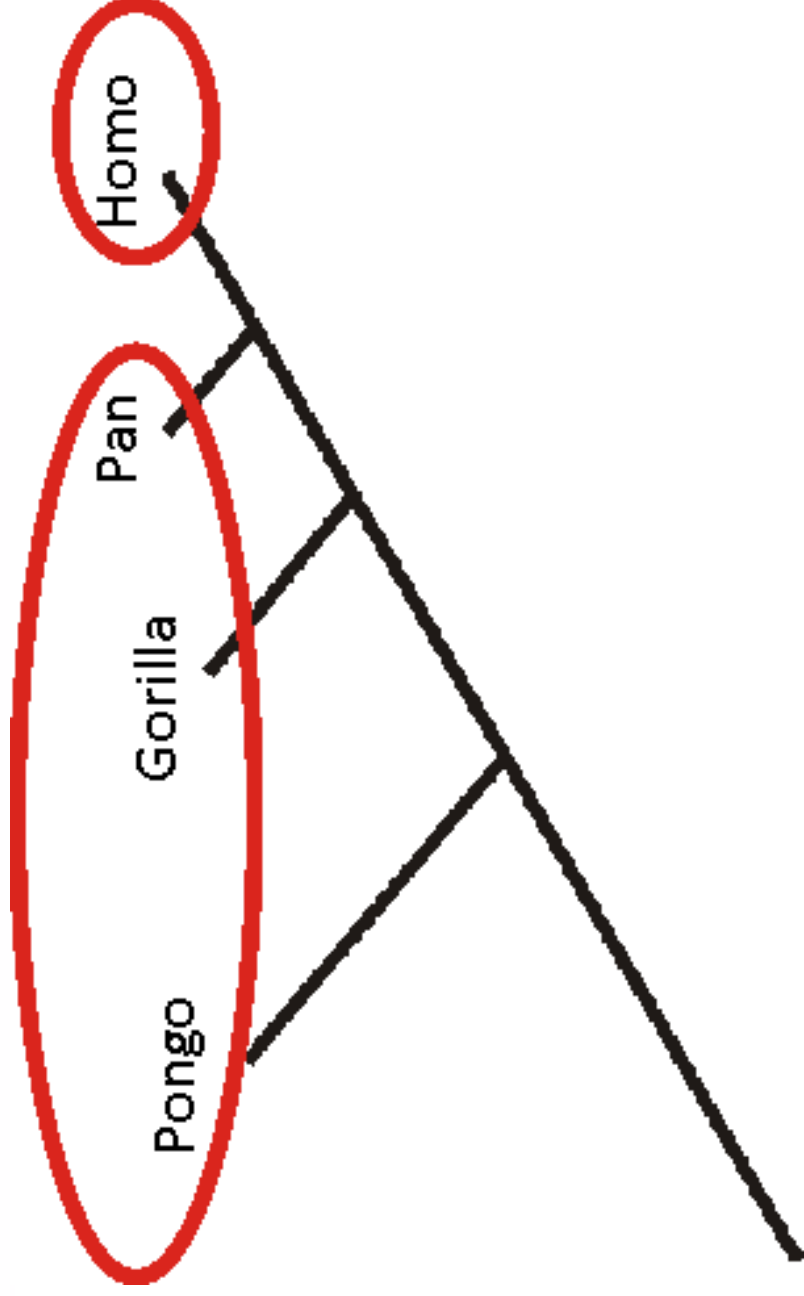
Pertanto, considerando lo stesso albero filogenetico della figura precedente, i raggruppamenti che si potrebbero formare legittimamente secondo le regole della cladistica sono quelli mostrati in questa figura, dove i taxa racchiusi dai cerchi verdi potrebbero essere **generi**, quelli racchiusi dai cerchi azzurri **famiglie**, quelli racchiusi dai cerchi rossi **ordini**, e quello racchiuso dal cerchio giallo una **classe**.

Come già accennato, una differenza rispetto alla sistematica tradizionale è appunto l'applicazione rigorosa della regola secondo la quale solo i gruppi monofiletici possono essere inclusi nelle categorie sistematiche.

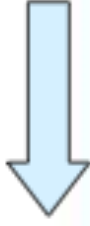
Un esempio può essere rappresentato dalla classificazione della specie umana e delle specie di scimmie antropomorfe più vicine filogeneticamente ad essa.



Tutti gli zoologi sono concordi nell'accettare questo albero filogenetico, il quale ci indica che il genere più strettamente imparentato con il nostro è *Pan* (gli scimpanzé), seguito da *Gorilla*, con *Pongo* (l'orango) un po' più distante. Ma la traduzione di questo albero in classificazione è diverso a seconda che si accetti la metodologia cladistica o quella della sistematica tradizionale.



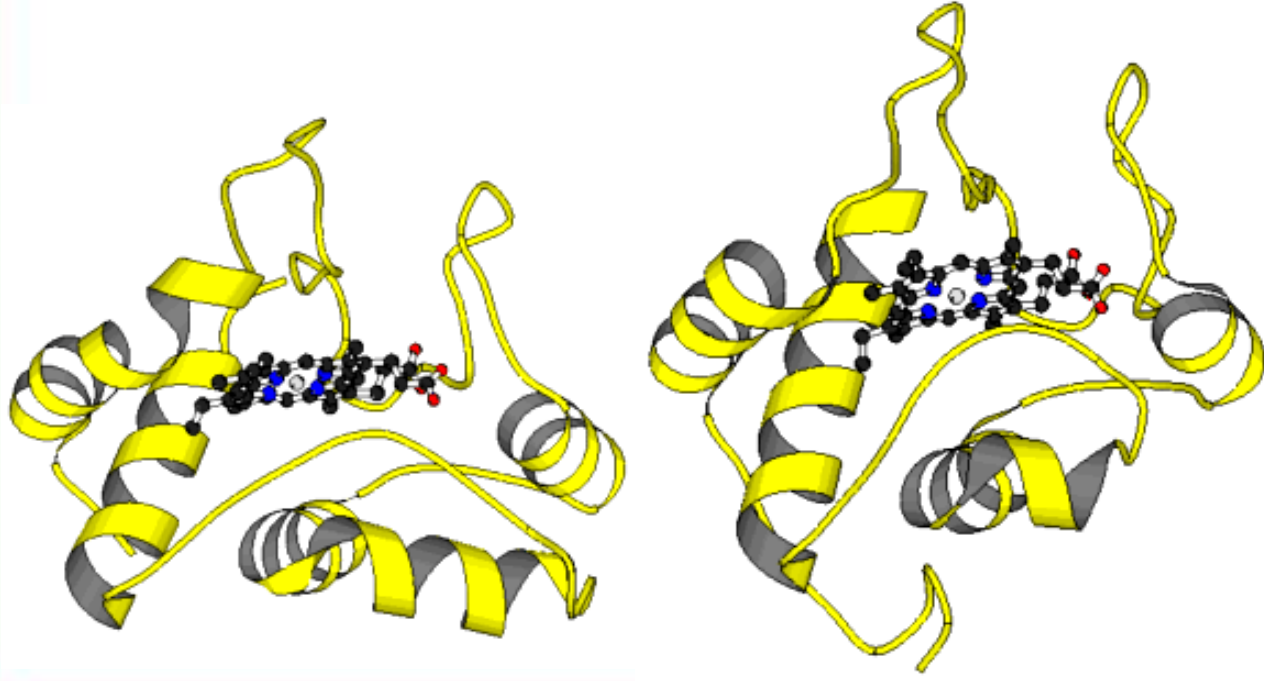
La sistematica tradizionale, considerando il livello di evoluzione raggiunto dall'uomo, ritiene che esistano differenze sufficienti per giustificare l'inclusione del genere *Homo* in una famiglia a sé stante (Hominidae) mentre le scimmie antropomorfe vengono incluse nella famiglia Pongidae. La cladistica viceversa ritiene che questa separazione rende il gruppo contenente *Pongo*, *Gorilla* e *Pan* parafiletico, perché non include tutti i discendenti di un taxon ancestrale, e quindi ritiene che l'uomo e le grandi scimmie antropomorfe debbano essere incluse in un'unica famiglia, Hominidae.



Le tecniche di biologia molecolare in sistematica

Negli ultimi decenni, gli studiosi di sistematica hanno avuto la possibilità di studiare caratteri prima inaccessibili, cioè quelli derivanti dalla biologia molecolare: in particolare i dati provenienti dallo studio delle proteine e del DNA. Queste tecniche sono diventate oggi uno strumento indispensabile per i biologi che si occupano di classificazione, tanto che si può dire che tutti gli studi moderni di sistematica includono qualcuna di queste tecniche.

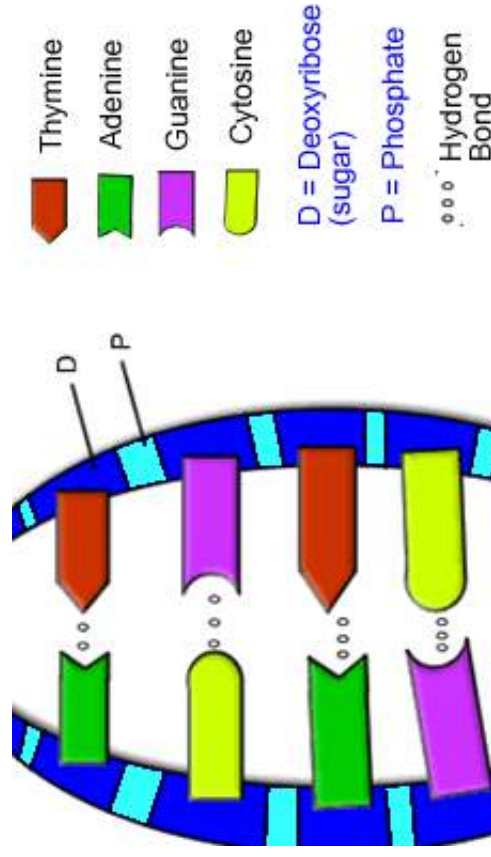
Sistematica e proteine



Già a partire dagli anni '60 del secolo scorso, si confrontavano le sequenze di amminoacidi di proteine omologhe nelle diverse specie. Una delle prime proteine studiate da questo punto di vista è stato il citocromo c, proteina che, essendo inserita nella via metabolica della respirazione aerobia cellulare, si ritrova praticamente in tutti gli organismi, dai batteri all'uomo. L'ipotesi su cui si basava lo studio era che nel corso dell'evoluzione si accumulassero nei diversi organismi mutazioni che portavano a sostituzioni nella sequenza di amminoacidi, e che le specie più vicine evolutivamente dovessero avere un numero di amminoacidi variati molto ridotto, e quelle più distanti un numero molto più alto. Su questa base si costruì pertanto un albero filogenetico, che risultò in ottimo accordo con quello ottenuto con i metodi tradizionali.

Struttura della molecola di citocromo c nel tonno (in alto) e nel riso (in basso). Nonostante le forti somiglianze nella struttura, le differenze nelle sequenze di amminoacidi sono tanto maggiori quanto più due specie sono distanti filogeneticamente.

Sistematica e DNA



I metodi basati sullo studio delle sequenze degli aminoacidi delle proteine sono serviti più che altro per confermare la sistematica tradizionale, ma non sono entrati nell'uso corrente come tecnica per classificare gli organismi. Ben diverso è stato l'impatto che le tecniche di studio del DNA hanno avuto sulla sistematica, tanto che oggi si può dire che gli studi moderni di sistematica includono sempre qualcuna di queste tecniche.

Come è noto, la struttura a doppia elica della molecola di DNA, formata da due filamenti di 4 basi azotate legate in modo complementare (adenina con timina e guanina con citosina), permette la replicazione esatta della molecola, in quanto ogni filamento può fungere da stampo per la sintesi del filamento complementare.

La sequenza di basi lungo la molecola rappresenta l'informazione genetica, che è ovviamente diversa da specie a specie e viene ricopiata fedelmente durante il processo di replicazione. Tuttavia sia pure con frequenza molto bassa durante la replicazione avvengono degli errori, le mutazioni, che possono cambiare la sequenza delle basi e di conseguenza anche quella degli aminoacidi delle proteine codificate dal DNA.

Le mutazioni sono il materiale di base su cui agisce la selezione naturale, eliminando quelle che risultano nocive e preservando quelle che risultano vantaggiose. Pertanto si può supporre che quando due specie si separano nel corso dell'evoluzione, le mutazioni si accumulino progressivamente, portando a differenze nelle sequenze di basi del DNA tanto più marcate, quanto maggiore è il tempo passato dalla separazione tra le due specie: si parla, a questo proposito, di orologio molecolare, in quanto dal numero di basi mutate si può calcolare il tempo trascorso dalla separazione.

E' ovvio quindi che le differenze tra il DNA di due specie possono servire a valutare il loro grado di parentela evolutiva, e quindi a classificarle.

Polimorfismo di frammenti di DNA

Una tecnica che utilizza il DNA ai fini della classificazione, per esempio, sfrutta il polimorfismo dei frammenti di DNA tagliati dagli enzimi di restrizione (RFLP). Gli enzimi di restrizione sono enzimi specializzati, estratti da cellule batteriche, che tagliano il DNA soltanto in corrispondenza di particolari sequenze di basi: ne esistono parecchi, e ciascuno taglia il DNA solo in corrispondenza della sequenza che esso riconosce. Pertanto, combinando vari enzimi di restrizione, si può tagliare il DNA in vari punti, ottenendo una miscela di frammenti che poi possono essere separati in base alla loro lunghezza mediante elettroforesi.

Ma se il DNA che viene così trattato proviene da specie diverse e quindi ha sequenze più o meno diverse, alcuni enzimi di restrizione troveranno nel DNA di una specie sequenze da essi riconosciute che non sono presenti nell'altra specie, e viceversa: di conseguenza, i frammenti tagliati avranno lunghezze diverse nelle due specie e i tracciati elettroforetici saranno quindi diversi, tanto più, quanto più le due specie sono distanti evolutivamente (vedi in figura: tracciati elettroforetici di campioni di DNA).



Sequenziazione del DNA

Le tecniche più adatte per la classificazione sono quelle basate sulla sequenziazione del DNA, perché in tale caso si va a leggere direttamente la sequenza di basi del DNA e si possono confrontare le sequenze delle diverse specie, rilevando quale percentuale di basi è mutata fra l'una e l'altra.

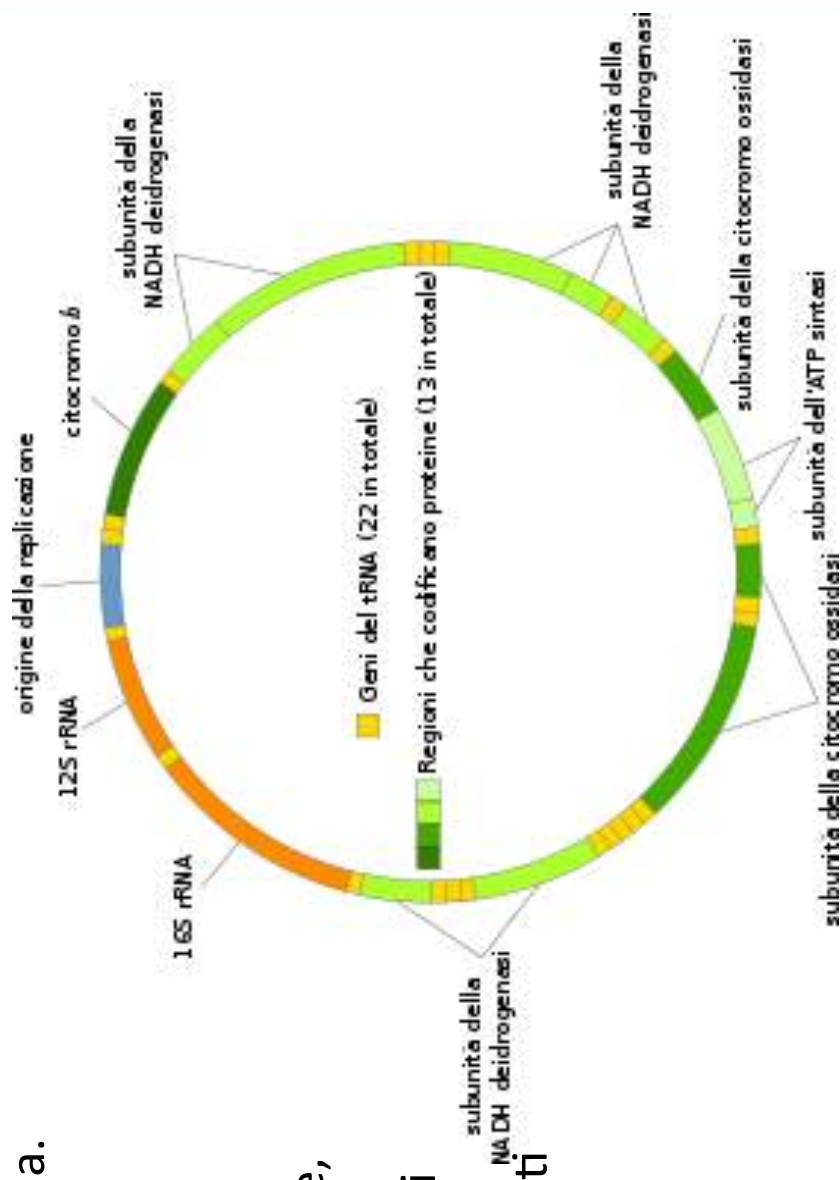
C'è però un inconveniente: nonostante il processo di sequenziazione sia stato in parte automatizzato e venga svolto da macchine, rimane un processo molto lungo e costoso, che finora è stato realizzato solo per un numero molto limitato di specie. Ai fini della classificazione si preferisce perciò sequenziare tratti di DNA campione, scelti in modo opportuno.

In particolare, viene usato il DNA ribosomiale oppure il DNA mitocondriale, che a differenza del precedente non è contenuto nel nucleo della cellula, ma nei mitocondri.

Quest'ultimo offre l'ulteriore vantaggio di essere trasmesso esclusivamente lungo la linea materna e di non essere soggetto a ricombinazione in occasione della riproduzione sessuata.

DNA mitocondriale

Schema del DNA mitocondriale con la disposizione dei geni lungo la molecola. Molti tratti della molecola, proprio in quanto codificano per enzimi essenziali, sono soggetti a forte controllo da parte della selezione naturale che impedisce loro di mutare, perché le mutazioni sarebbero fortemente nocive: di conseguenza, ai fini della classificazione, si usano soprattutto le sequenze non codificanti interposte fra i geni, perché queste al contrario sono libere di mutare.



Limiti della tecnica

Naturalmente, anche i metodi basati sullo studio del DNA non sono immuni da limiti. Quasi mai le differenze tra le basi osservate coincidono esattamente con il numero di mutazioni che separano le due specie, per diversi motivi:

a) in un sito (cioè in corrispondenza di una certa posizione lungo la molecola) possono avvenire più mutazioni consecutive, pertanto il numero di mutazioni osservate risulta inferiore a quello che si è effettivamente verificato da quando le due specie si sono separate;

b) esiste anche per il DNA il problema delle convergenze evolutive, cioè una mutazione può rendere una base in una certa posizione identica a quella di un'altra specie, ma in questo caso la concordanza della sequenza tra le due specie non indica un'origine comune della sequenza: si tratta cioè di un'analogia e non di un'omologia.

Tuttavia, esistono modelli matematici che consentono di ridurre l'effetto di questi fenomeni, tanto che oggi l'esame del DNA è diventato una procedura standard per la costruzione degli alberi filogenetici.

