

Zoologia generale

Classicamente negli anni '70 gli organismi furono distinti in 5 regni:

- **Monere**, esso era il regno basilare fino ad una ventina di anni fa. (Tutti i procarioti).
- **Protisti**, che comprendono i metazoi, e possono essere eterotrofi o autotrofi, come le monere.

Sia protisti che monere sono tendenzialmente unicellulari ma la grande differenza è che nei protisti si riscontrano solo cellule eucariotiche.

- Funghi
- Piante
- Animali

Questi sono tutti organismi pluricellulari. Funghi e piante, alle volte, vengono chiamati nel loro insieme **vegetali**. Essi, però, sono molto diversi, non solo nella loro forma ma anche nel fatto che i funghi sono eterotrofi (come gli animali). Essi non hanno una bocca che serve loro per ingerire, difatti assorbono il nutrimento tramite la membrana, a differenza degli animali che, tipicamente, lo ingeriscono.

Le piante, invece, sono organismi pluricellulari autotrofi, ovvero sono in grado di organizzare il carbonio, ciò vuol dire che a partire da sostanze inorganiche producono sostanza organica. Quest'ultima è molto più ricca di energia perché il carbonio e l'idrogeno non vanno molto d'accordo, pertanto, per tenerli insieme i legami sono altamente energetici.

La parete cellulare dei funghi presenta uno strato costituito da *chitina*, quella delle piante da *cellulosa*, mentre le cellule animali non presentano parete.

Quasi tutti gli animali, tranne le spugne, hanno una bocca dalla quale viene introdotto il cibo. Pertanto, funghi e animali differiscono per **digestione e ingestione**.

Ad un certo punto è iniziata l'era della biologia molecolare e si è compreso che le sequenze nucleotidiche sono in grado di sottolineare i rapporti filogenetici tra animali. Si possono utilizzare in generale gli acidi nucleici, però vi sono alcuni pezzi di DNA, per esempio il *DNA mitocondriale* o anche il *DNA genomico*, che servono per fare le differenze tra organismi parenti. Se, invece, si volessero fare le differenze tra organismi che non posseggono nulla in comune e che non si possono confrontare neanche da un punto di vista morfologico, si devono utilizzare acidi nucleici che cambiano più lentamente, per esempio l'*RNA ribosomiale*. Esso è l'acido nucleico più conservativo che si conosce in quanto, se l'esposizione dei nucleotidi non è adeguata, non può avvenire la sintesi proteica. L'analisi degli RNA ribosomiali, comuni a tutti gli organismi viventi, e delle sequenze nucleotidiche ha indotto a cambiare la classificazione iniziale. Osservando le sequenze degli RNA ribosomiali si è visto che nel gruppo delle monere esistono gli **archea**, i quali vivono in condizioni particolari nei fondali oceanici, in acque calde, in situazioni davvero difficili per la vita, e sono ricordo di organismi ancestrali, i quali differiscono da molti batteri e sono più affini agli eucarioti. Pertanto, intorno agli anni '80, è stato istituito un **dominio**, più grande del regno, modificando la classificazione iniziale degli organismi.

- Batteri
- Archea
- Eucarioti

Definizione di animale e caratteristiche.

Si definisce **animale** un organismo pluricellulare, costituito da più cellule eucariotiche, prive di parete, con metabolismo eterotrofo.

- **Cellule eucariotiche:** La cellula eucariotica si è originata per **endosimbiosi**, significa che una cellula un po' più grande ne ha mangiato un'altra, più piccola, e per una serie di fagocitosi non andate a digestioni, si sono costituite cellule più complesse, fra l'altro con più e più eventi di endosimbiosi. Tant'è che, andando a guardare bene le membrane dei vari organuli, i possibili inglobamenti sono stati di varia natura e diversi. Differiscono dalle cellule procariotiche in quanto hanno un nucleo delimitato da membrana e da un involucro di membrana, presentando anche una serie di altre strutture costituite da membrana che vengono denominati organuli (RER, Apparato del Golgi, mitocondri e lisosomi). Il vantaggio della cellula eucariotica è la **compartizione del citoplasma**, ovvero tutto questo aumento di membrane – le quali non sono solo delimitatori, sono anche sedi di enzimi e di attività metaboliche importanti –, dove risiede il vantaggio di separare il materiale genetico dal citoplasma e, soprattutto, dai filamenti di actina, evitando così un ingarbugliamento. Mediamente le cellule eucariotiche sono più grandi di quelle procariotiche. Le cellule procariotiche hanno un'unica molecola di DNA, non legata a istoni e situata nel citoplasma.
- **Organismo pluricellulare:** Essere costituito da più cellule comporta diversi vantaggi, tra i quali il poter aumentare le dimensioni in modo da favorire la sopravvivenza come predatore e non preda. Vi è un rapporto tra superficie e volume, per questo motivo non è possibile accrescere in maniera infinita una cellula in quanto la membrana plasmatica deve essere in equilibrio con l'interno della cellula. Un esempio di aumento di dimensioni è la **tendenza all'aggregazione di cellule**. In molti, sia nei batteri che nei protisti, ci sono forme coloniali che tendono a restare uniti dopo la divisione per aumentare la dimensione. Gli altri vantaggi della pluricellularità consistono nella specializzazione delle cellule e la possibilità di differenziare tessuti, organi e apparati (tessuto epiteliale, connettivo, muscolare, nervoso).
- **Metabolismo eterotrofo:** Tutti gli organismi viventi sono dotati di una struttura altamente ordinata e complessa e hanno bisogno, per mantenersi in vita, di scambiare con l'ambiente sia materia che energia. Ciò avviene attraverso una serie di reazioni chimiche che costituiscono i processi metabolici tra ambiente interno ed esterno. Questi bisogni possono essere esplicitati in due modi, pertanto si individuano due tipologie di organismi:
 - **Autotrofi:** sono in grado di sintetizzare le proprie molecole organiche, ricche di energia, a partire da sostanze inorganiche semplici. Molti di essi sono **fotosintetici**, quindi la fonte di energia è la radiazione luminosa. Quest'ultima viene captata dalla clorofilla e poi viene passata nei composti organici costituiti dagli autotrofi. Altri sono **chemiosintetici** in quanto liberano energia da reazioni inorganiche specifiche.
 - **Eterotrofi:** dipendono da fonti esterne per ottenere molecole organiche, utilizzate come fonte di energia e materiale da costruzione. All'inizio della storia della vita sulla Terra questa energia la ricavano dai molti temporali e da altri agenti atmosferici. Sembra che, ad un certo punto, tale materia si sia unita per dare inizio al mondo organico. Solo dopo la fotosintesi ha avuto inizio cambiando la vita stessa sulla Terra. La liberazione di uno dei prodotti della fotosintesi, ovvero l'ossigeno, inizialmente fece estinguere molte specie presenti allora, che non riuscivano a sopravvivere in un'atmosfera piena di ossigeno. Ciò

avvenne perché l'ossigeno era, ed è, un gas tossico per gli organismi che non hanno il sistema di protezione dei radicali che si formano per ossidazione. Quindi il risultato della fotosintesi, considerato gas di scarico, è divenuto successivamente una fonte di energia molto più efficace dai substrati organici.

Infatti, noi oggi sappiamo che la respirazione cellulare, che avviene in presenza di ossigeno, è il modo migliore per ottenere energia dai composti organici.

Tutta la nostra complessità e biodiversità nasce dall'esigenza di nutrirsi. Tutti gli animali e i funghi, così come molti organismi unicellulari, sono eterotrofi. Molti animali si nutrono tramite ingestione di altri organismi, sfruttando qualsiasi tipo di sorgente alimentare.

Alimentazione.

Gli animali contribuiscono per tre quarti al numero di specie, in quanto hanno avuto "l'esigenza" di mettere a punto tutta una serie enorme di adattamenti che gli consentono di sfruttare tutte le risorse disponibili nell'ambiente. La diversificazione della fonte di alimentazione è una risorsa importantissima in quanto evita la competizione tra gruppi.

In un ecosistema si hanno diversi **sistemi trofici**. Le piante solitamente si trovano alla base, sostenendo il resto del sistema tramite l'immissione di materia organica. Si hanno poi diversi livelli, ed è importante che alcuni mangino semi, altri insetti, altri piccoli mammiferi. Per questo si possono individuare consumatori *primari*, che vengono mangiati dai consumatori *secondari* e così via. Di fatto, la necessità di avere sostanza organica prodotta da altri organismi rende gli animali sì fragili ma più specializzati e complessi, in quanto procurarsi il cibo non è semplice. Ma affinché si effettui il metabolismo eterotrofo, che avviene all'interno delle cellule, è necessario anzitutto che gli animali si procurino il cibo.

- Si hanno diversi meccanismi di **alimentazione** (filtratori, microfagi sospensivori, intrappolatori) ognuno dei quali comporta delle modificazioni nella conformazione dell'animale. Un esempio sono i molluschi, i quali posseggono delle caratteristiche totalmente diverse tra loro, date, per l'appunto, dai diversi tipi di alimentazione.
- Una volta che il cibo è stato ingerito è necessario che avvenga la **digestione**, processo attraverso cui molecole complesse contenute nei cibi vengono scisse in altre più semplici, anche tramite la masticazione. Digerire significa, pertanto, depolimerizzare le macromolecole attraverso enzimi; si riducono le dimensioni per facilitare l'assorbimento. La digestione può essere *intracellulare* (non c'è una cavità digerente), come avviene nei protozoi, nei poriferi e in parte negli cnidari (tipo polipi e meduse). Le particelle, per poter entrare dentro una cellula, non possono passare attraverso la membrana plasmatica e, di conseguenza, si utilizza l'endocitosi; dall'apparato di Golgi si liberano i lisosomi che contengono enzimi digestivi, si fondono con il vacuolo digestivo, andando a formare il fagolisosoma, e in esso riversano gli enzimi lisosomiali. Le sostanze digerite possono passare attraverso le membrane del vacuolo e, pertanto, andare nel citoplasma, invece, ciò che non viene digerito, viene esocitato ed eliminato all'esterno. Negli animali più complessi la digestione è di tipo *extracellulare* e avviene in una cavità digerente apposita, all'interno della quale viene riportato il cibo e vengono riversati gli enzimi. Gli apparati digerenti, differenti tra vari organismi, possono avere solo un'apertura verso l'esterno, o essere costituiti da una **bocca** da cui entra il cibo, da un **ano** da cui escono i residui non digeriti, ovvero non assorbiti (prodotto dell'egestione), da distinguere dai prodotti del catabolismo che avviene dentro le cellule, i cataboliti azotati, i quali vengono eliminati con l'urina. Tra di essi si estende il tubo digerente specializzato in tratti con differenti funzioni anche a seconda del tipo di cibo ingerito. Esso è generalmente dato dalla successione di **cavità buccale**, che prende e demolisce il cibo attraverso la masticazione e una prima digestione (con l'amilasi salivare, per esempio), **faringe**, un tubo che ha funzione di conduzione così come **l'esofago**. La faringe può essere muscolosa e avere una funzione aspirante. Alcuni organismi, come gli uccelli, hanno anche il **gozzo** che serve come deposito di cibo in quanto

non sono in grado di procurarselo sempre, in alcuni organismi c'è una zona di macinatura (per chi non ha i denti) che viene denominata **ventriglio**, poi vi è lo **stomaco** che ha funzione di immagazzinamento, di digestione. Successivamente vi è l'**intestino tenue**, il quale continua la digestione con l'assorbimento grazie ai villi e i microvilli per aumentare l'azione assorbente: più lungo è l'intestino, più il cibo ha tempo per essere assorbito. L'**intestino crasso** serve ad assorbire l'acqua per contenere la condensazione delle feci. C'è una somiglianza tra l'intestino di un vertebrato e quello di un insetto, ma tra l'intestino di un carnivoro e quello di un erbivoro vi è differenza, in quanto gli erbivori devono digerire la cellulosa e, di conseguenza, devono avere un intestino più complesso. Per esempio, polipo e medusa (solo in quelli più evoluti, che sono organizzati con un corpo che è l'inverso dell'altro) hanno una bocca, una cavità digerente (per essere precisi *cavità gastrovascolare* o *celenteron*), ma non hanno ano. C'è una sola apertura che fa entrare il cibo e dalla stessa escono i residui non digeriti, sistema non molto efficiente in quanto i tratti non vengono differenziati, tanto che in molti cnidari la digestione si completa dentro le stesse cellule. Anche i plattelminti (dei vermi piatti) hanno una cavità digestiva più complicata ma sempre con una sola apertura. "L'invenzione" della doppia apertura, della cavità digerente, è stata molto utile in quanto la digestione è più efficace perché viene utilizzata bene il cibo assorbito.

- Una volta che il cibo ha raggiunto l'intestino è necessario l'**assorbimento**, ossia il trasporto delle sostanze ai diversi distretti dell'organismo, in quanto tutte le cellule necessitano di materia organica. La maggior parte delle molecole vengono assorbite dalle cellule che rivestono il canale alimentare tramite *trasferimento passivo* (diffusione) o coadiuvate da un meccanismo di *trasporto attivo* (contro gradiente). Le macromolecole che devono essere assorbite sono monosaccaridi, aminoacidi, glicerolo, glucosio e acidi grassi; esse vengono assorbite nell'intestino dalle cellule dell'epitelio intestinale (le più piccole) e, fino ad un certo punto, passano per gradiente di concentrazione. Un tipo di trasporto utilizzato maggiormente è il simporto, il quale aiuta, ad esempio, il glucosio a passare attraverso proteine di trasporto che si trovano nella membrana plasmatica, insieme al sodio, che passa nei lipidi, perciò vi è un forte gradiente di concentrazione dal lume intestinale al citoplasma e ciò facilita l'assorbimento e il passaggio del glucosio, che va ad accumularsi nella cellula e passa nei liquidi interstiziali.
- Una volta che la materia organica viene assorbita (glucosio, radicale acetilico) e giunge tramite sistemi di trasporto alle cellule, queste la sfruttano per la **respirazione** e scambi gassosi. La respirazione, che può avvenire in assenza o in presenza di ossigeno, consente l'ossidazione delle sostanze inizialmente introdotte con formazione di energia utile per la costruzione delle molecole. Per consentire alle cellule l'ossigeno necessario si ha bisogno un sistema di scambio, costituito dai polmoni, trachee o branchie. Solo gli animali piccolissimi non hanno bisogno dell'apparato respiratorio.
I prodotti del catabolismo (distruzione delle molecole), quali anidride carbonica o acqua, vengono espulsi tramite il fenomeno dell'**escrezione**, che regola anche il controllo idrosalino.

Tutte queste funzioni sono svolte, a seconda della complessità dell'animale, da cellule, tessuti, organi e/o apparati. La maggior parte degli animali, per procurarsi il cibo, ha sviluppato delle strutture per il **movimento** (ciglia, muscoli, scheletri), **organi di senso** e **sistema nervoso**.

Tutti gli animali sono in grado di mantenere l'**omeostasi** (equilibrio interno) grazie alla presenza della membrana plasmatica che, a livello cellulare, consente l'omeostasi del citoplasma e a livello di organismi eventuali sistemi di controllo. Vi sono animali che mantengono la temperatura indipendentemente da quella esterna, altri sono in grado di mantenere l'equilibrio idrosalino indipendentemente dall'ambiente esterno, mentre altri dipendono dall'ambiente in cui vivono. Tutti gli animali hanno inoltre un **sistema riproduttivo** per consentire il tramandamento di geni.

Gli animali, in base alle modalità di alimentazione, possono essere raggruppati in:

- **Erbivori**: per definizioni sono consumatori primari, si nutrono principalmente di piante. Abbiamo alcuni mammiferi erbivori, distinti in erbivori ruminanti e non ruminanti. I ruminanti hanno una

cavità dell'apparato digerente in cui enzimi sono in grado di scindere il legame della cellulosa. Vi sono anche insetti (grilli, insetti stecco), molluschi (patelle, occhi di bue) e ricci di mare (essi contengono al loro interno delle "palline" che sono la parte dei vegetali non utilizzata). Mangiare piante ha dei vantaggi, in quanto sono facilmente reperibili, sono ferme e, di conseguenza, gli erbivori non sprecano molta energia per cercare cibo. Da ciò si può dedurre che non sono dei predatori e, per tal motivo, non hanno bisogno di organi di senso particolarmente sviluppati. L'intestino dell'erbivoro, però, è più complesso e lungo rispetto a quello di un carnivoro, perché sono necessari più passaggi per utilizzare fino in fondo quello che rimane della pianta. Essi non posseggono denti affilati, ma quelli che posseggono sono adatti alla triturazione. I ricci posseggono la **lanterna di Aristotele**, che è un apparato buccale in grado di tritare le alghe. Invece, altri erbivori, come gli occhi di bue, hanno una struttura che raschia le alghe.

- **Carnivori:** si nutrono di altri animali (vivi). Possiamo distinguere i predatori, essendo tali hanno gli organi di senso più sviluppati e sono anche molto intelligenti (leoni, tigri, calamari, libellule, ragni), ma anche saprofagi che si nutrono di carcasse (iene, saprofagi).
- **Onnivori:** si nutrono sia di piante che di animali. L'uomo e il maiale sono degli ottimi esempi, difatti le condizioni omeostatiche interne sono molto simili.
- **Sospensivori:** si nutrono di materiale organico e inorganico che rimane sospeso in acqua. Di essi fanno parte i filtratori, che posseggono un vero e proprio filtro. Tra quest'ultimi abbiamo: muschi bivalvi, che sono i filtratori per eccellenza, (cozze, ostriche, vongole). Sono di fondamentale importanza muco e ciglia, perché il muco serve a prendere, "incollare", le particelle che vi rimangono incastrate e le ciglia, invece, servono a spostarle, oltre che a creare delle correnti d'acqua. Gli spirografi, sono anellidi in quanto sono composti da diversi anelli, hanno dei tentacoli, che, con ciglia e muco, raccolgono le particelle in acqua e le portano alla bocca. I poriferi (le spugne), che hanno un corpo attraversato dall'acqua, essendo pieno di pori, e vengono raccolte le particelle. Sono composti da coanociti, caratterizzati da un corpo cellulare e un collaretto di microvilli e un flagello. Il flagello si muove creando la corrente d'acqua, la quale entra ed esce, le particelle, invece, rimangono dentro, intrappolate nel collaretto e vengono fagocitate dal corpo (perciò la cellula fa un'operazione di endocitosi, digestione ed esocitosi). Anche la balenottera azzurra è un filtratore, essa filtra i krill a tonnellate. Nei pesci, le branche, servono a catturare il cibo.
- **Detritivori:** si nutrono di dendriti organici morti che si trovano nel terreno in un avanzato stato di decomposizione. Tra questi i lombrichi, i millepiedi e le ofiure. I millepiedi si difendono con la puzza che emanano, ovvero le loro ghiandole secernono sostanze repugnatorie che allontanano il nemico. I lombrichi ingoiano tutta la terra, prendono i nutrienti, e poi la eliminano per egestione, smuovendo così la terra.
- **Animali che si nutrono di materiali liquidi:** tali materiali possono essere di origine vegetale (afidi, cicale) o di origine animale (sanguisughe e zanzare che si nutrono di sangue o le tenie, che si nutrono del contenuto intestinale dell'ospite). Gli afidi sono piccoli insettini che si vedono soprattutto in primavera e nelle rose. Le cicale sono dei parassiti, hanno un apparato buccale che permette loro di succhiare i liquidi dei vegetali, perciò non hanno il problema di dover digerire la cellulosa. Le sanguisughe e le zanzare sono anch'essi dei parassiti ed anche le tenie. Alcune di quest'ultime sono formate da tanti pezzettini denominati proglottidi, i quali si staccano nell'intestino tenue e sembrano semi di cocomero; sono dei parassiti molto specializzati, hanno la parete del corpo che assorbe il cibo digerito e non possiedono né bocca né cavità digerente, proprio perché utilizzano il nostro materiale digerito e per assorbirlo meglio hanno dei pigmenti con microvilli.

Esistono dunque modi diversi di procurarsi il cibo, e tali modi condizionano la **radiazione adattativa**. Essa avviene quando, a partire da un antenato, gli organismi, perché hanno acquisito strutture diverse o perché hanno trovato nicchie disponibili, si diversificano dando origine ad una serie di organismi anche molto diversi. Un esempio è dato dai **molluschi**, il quale nome deriva dal loro corpo

molle. A seconda del tipo di alimentazione abbiamo molluschi erbivori, filtratori o predatori. Sulla base di ciò che mangiano cambiano la loro forma. Esistono diverse classi di molluschi diversificate dalla forma, ma quasi tutti sono caratterizzati da un movimento lento e dalla presenza di una conchiglia. Tipicamente erbivori sono quei molluschi provvisti di conchiglia e un piede, il quale serve a strisciare, come i gasteropodi. Questi ultimi sono i molluschi più comuni insieme ai bivalvi, ai polioplacofori e ai cefalopodi, che invece sono decaduti. I bivalvi, nel corso del tempo, hanno cambiato la loro forma del piede. Le cozze non hanno piede e stanno attaccate alle rocce attraverso una secrezione che si chiama fisso e sono più molle. Le vongole, invece, hanno una parte muscolosa affilata, il piede che si infossa nella sabbia, che contiene due tubicini che consentono il passaggio di acqua. Restando infossati nessuno li può mangiare e devono solo preoccuparsi di creare la corrente d'acqua attraverso le branchie e, pertanto, tutto ciò che ne consegue è uno scambio gassoso, eliminazione dei cataboliti e selezione delle particelle organiche. Calamari, seppie e polpi, essendo predatori devono intrappolare la preda o correre, perciò hanno modificato il piede: davanti si sono formate le braccia per catturare la preda e nella porzione posteriore si crea una sorta di imbuto, così l'acqua entra nella cavità del mantello ed esce a reazione, in tal modo riescono a spostarsi velocemente. Hanno anche organi di senso efficaci per vedere dove vanno e per rincorrere la preda, così si ritrovano ad avere sia la radula, sia un becco corneo per "strappare" la preda. Per *assorbimento* si intende il passaggio che avviene nell'intestino. L'*assimilazione* è la sintesi di nuove proteine alla fine di una serie di processi.

Metabolismo

Abbiamo visto che gli animali, essendo organismi eterotrofi, hanno bisogno necessariamente di ottenere sostanza organica attraverso il corpo di altri organismi. Gli organismi di cui si nutrono possono essere autotrofi o eterotrofi a loro volta, in quanto non sono in grado di produrre componenti organiche a partire da sostanza inorganica. Ciò avviene attraverso l'**alimentazione**, la quale ha luogo attraverso diverse modalità. Una volta che la sostanza organica viene ingerita attraverso la cavità buccale, è necessaria la **digestione** e l'**assorbimento** accompagnato dal **trasporto** che prevede il passaggio delle sostanze dal lume intestinale ai vari organi. Tutto ciò dipende dalla struttura complessa e dalle dimensioni degli animali.

Nelle cellule le molecole assorbite sono utilizzate come **substrati** per ricavare energia poiché le molecole organiche hanno un alto contenuto di energia in quanto il legame C-H è altamente energetico (la massima energia si ha negli acidi grassi, mentre il minimo si ha nell'anidride carbonica in quanto il legame C-O è favorito). L'energia verrà poi incorporata in una molecola di ATP per l'accumulo o verrà utilizzata per le attività dell'organismo. Le molecole assorbite possono anche costituire lo **scheletro di carbonio** per i processi di **biosintesi**, come la modificazione degli amminoacidi per la produzione delle proprie proteine, carboidrati e proteine secondo un modello. Tutte le reazioni chimiche che avvengono dentro una cellula si indicano con il nome di **metabolismo**, a loro volta organizzate in vie metaboliche. Queste vie metaboliche sono controllate dalla presenza degli **enzimi**. Affinché la sintesi possa avvenire è necessaria sia la presenza del substrato organico che quella di ATP. Quando le vie metaboliche consumano energia e sintetizzano nuove molecole si chiamano **vie anaboliche**, come ad esempio avviene nella sintesi delle proteine a partire dagli amminoacidi costitutivi. Quando le vie metaboliche invece liberano energia attraverso la rottura delle molecole complesse prendono il nome di **vie cataboliche**, e un chiaro esempio è la respirazione cellulare. Il metabolismo è dunque costituito da anabolismo o catabolismo. Le sostanze nutritive sono assunte dagli animali nel processo di alimentazione, rese utilizzabili con la digestione e arrivano alle cellule mediante assorbimento e trasporto. Esse sono utilizzate in due modi:

1. Come substrati per costruire le proprie molecole, perciò i propri amminoacidi, i propri

polisaccaridi e i propri lipidi. Pertanto, utilizzano lo scheletro carbonioso per la biosintesi.

2. Come substrati per ricavare energia.

Quali sono le molecole ottenute dall'assorbimento dell'epitelio intestinale? Acidi grassi e glicerolo (trigliceridi), amminoacidi e zuccheri semplici. Con ciò che viene assorbito l'energia contenuta in queste molecole può essere conservata.

Nel mondo animale il carboidrato di riserva è il **glicogeno**, il quale viene accumulato per lo più nel fegato per poi essere successivamente consumato. È possibile tuttavia accumularne ancora di più in una forma più stabile e più facile da conservare tramite i grassi, poiché l'energia contenuta in essi è più alta, dato che gli acidi grassi sono catene di C-H senza presenza di ossigeno al contrario del glucosio dove, infatti, si ha la parziale ossidazione del carbonio, quindi tale legame non contiene il massimo contenuto energetico. La riserva di grasso, invece, è più ricca di energia. Quando si comincia a perdere grasso ci sono sistemi omeostatici nell'organismo che preservano la perdita di ulteriore grasso.

L'energia può essere anche utilizzata per effettuare le sintesi cellulari. Il **radicale acetile** (CH_3CO) rappresenta il mattoncino base attraverso cui tutte le molecole più complesse vengono smontate e questo rientra in circolo per effettuare le nuove sintesi, a partire da esso possono essere ottenuti acidi grassi, amminoacidi, lipidi e ogni molecola che serve alla cellula.

Tutte le sostanze che rientrano nel gruppo acetile fungono da substrato per la respirazione cellulare, un meccanismo con cui le molecole organiche vengono scisse ulteriormente per liberare l'energia di legame. Come prodotti di reazione si hanno acqua, anidride carbonica ed energia, in parte dispersa sotto forma di calore e in parte utilizzata come energia di legame per formare molecole di ATP a partire da molecole di ADP.

Gli amminoacidi, però, contengono il gruppo ammidico e per ottenere il radicale acetilico bisogna staccare il gruppo amminico (NH_2) che, una volta liberato, diviene ammoniaca (NH_3), pertanto sorge il problema dell'eliminazione di essa, in quanto tossica per l'organismo. Dagli organismi acquatici viene eliminata come tale, perché la diluiscono avendo a disposizione una grandissima fonte d'acqua. Gli organismi terrestri, invece, non possono sprecare troppa acqua per l'eliminazione dell'ammoniaca, di conseguenza la trasformano in composti meno tossici come **urea** o **acido urico**. Quest'ultimo è meno dispendioso in acqua, ma più dispendioso in energia, uccelli e insetti ne sono un esempio.

L'eliminazione dell'ammoniaca fa parte della grande funzione dell'escrezione, nell'uomo viene svolta dai reni. Negli altri animali esistono organi costruttivamente diversi, sia per origine che per funzionamento, ma posseggono la funzione di eliminare i gruppi NH_2 derivati dal catabolismo delle proteine e degli acidi nucleici, tutti controllano l'equilibrio idro-salino e quindi il potenziale osmotico dei liquidi interni.

Una delle principali arterie del metabolismo è la respirazione cellulare, il termine respirazione è legato alla presenza di ossigeno. La prima fase è *anaerobia*, chiamata glicolisi, in cui il glucosio si scinde in due molecole di acido piruvico con un piccolo guadagno di ATP ed elettroni trasportati. Le molecole di acido piruvico entrano nei mitocondri, considerati il centro della respirazione, ed entrano a far parte del ciclo di Krebs, il quale presenta un'esigua produzione di molecole di ATP. La fosforilazione ossidativa contiene il massimo rendimento energetico a partire dai substrati organici.

Pertanto, la respirazione cellulare è correlata alla respirazione polmonare (nell'uomo), in quanto gli animali presentano altri organi respiratori, a seconda delle dimensioni e dalla forma e dal modo di comunicare con l'esterno. La respirazione è necessaria in quanto l'organismo ha bisogno di sufficiente ossigeno nella fase mitocondriale della respirazione cellulare. Se i muscoli vengono utilizzati più del dovuto i sistemi omeostatici di regolazione dell'ossigenazione del muscolo non sono abituati e quindi si ha la formazione di acido lattico. Non solo le cellule muscolari hanno bisogno di ossigeno, ma tutte quelle del nostro organismo, e tutte devono eliminare anidride carbonica.

Nella glicolisi con vari inserimenti entrano tutti i componenti degli alimenti, non solo il glucosio, ma anche acidi grassi e proteine sotto forma di acetilcoenzima A o, nel caso delle proteine, come radicali acetilici. L'energia si può ottenere anche senza ossigeno ma il rendimento è nettamente inferiore e ne viene sprecata una grande quantità, per questo esistono anche organismi anaerobi che sopravvivono

tramite fermentazione o scissione.

La respirazione

Gli organismi aerobi, che sono la stragrande maggioranza, hanno bisogno continuamente di rifornire le cellule di ossigeno e di eliminare l'anidride carbonica. La respirazione viene definita come quella reazione che consente uno scambio ottimale di gas respiratori, O_2 e CO_2 , tra organismi e ambiente. Essa deve essere distinta tuttavia dalla respirazione cellulare, nonostante siano fortemente correlate. Gli organi e le modalità sono diversi a seconda degli organismi, ma in ogni caso la respirazione viene mediata dalla diffusione secondo gradiente di differenza di concentrazione, indipendentemente dalla struttura degli organi.

Quando gli animali hanno dimensioni ridotte (come hydra, medusa o polipo), risultando anche invisibili ad occhio nudo, o sono appiattiti (cellule interne non troppo distanti dall'ambiente esterno) non si ha bisogno di superfici respiratorie organizzate.

Gli organi respiratori che si possono incontrare negli animali più grossi sono:

- **Branchie**, si originano per estroflessione della parete del corpo di un animale, la quale si ripiega. La superficie di queste branchie sarà molto sottile per garantire uno scambio migliore, poiché la distanza tra l'interno e l'esterno è un fattore limitante nello scambio gassoso. Spesso ramificate per aumentare la superficie assorbente. La sottigliezza di questa zona fa sì che gli animali, possedenti problemi di equilibrio idrosalino, da qui perdano acqua o sali. Esse possono essere completamente esterne, quindi "nude", oppure esterne ma racchiuse da una sorta di protezione detta camera branchiale. Tipiche degli organismi acquatici; la maggior parte degli organismi non può possedere le branchie in quanto si affloscerebbero e dissecherebbero, mentre in acqua possono galleggiare.
- **Polmoni**, introflessioni sacciformi della parete del corpo, anch'essi finalizzati all'aumento della superficie respiratoria. Sono tipici degli animali terrestri, in quanto è meglio fruire di strutture interne piuttosto che di quelle esterne, dato che si dissecherebbero subito. I polmoni sono usualmente globose e stanno in una parte del corpo, per la qual cosa avranno necessità di un liquido circolatorio in un apparato ben preciso, spesso coadiuvato da un pigmento respiratorio (come l'emoglobina). Nei vertebrati sono detti polmoni *alveolari*, la cui organizzazione è utile per aumentare la superficie respiratoria. La parete dell'alveolo polmonare è quella più sottile. Gli artropodi (ragni, insetti, millepiedi, centopiedi, scorpioni) presentano polmoni *a libro* con superficie ripiegata, in cui lo scambio avviene controcorrente.
- **Trachee**, introflessioni della parete del corpo con forma tubulare ramificata, con diversa modalità di funzionamento, tipiche degli insetti. Poiché appartengono ad animali di dimensioni ridotte, l'ossigeno viene scambiato alla fine delle trachee direttamente con le cellule, pertanto non si ha bisogno né di un liquido circolante né di un pigmento respiratorio. Le trachee sono organizzate in tracheole, tenidi e spiracoli (che si possono sia aprire che chiudere). Se si prende in considerazione una mantide e la si va a sezionare, in una qualsiasi parte si troveranno sempre le trachee tubolari ramificate in calibro sempre minore, le quali portano l'ossigeno direttamente alle cellule e ai tessuti.

La differenza tra questi organi respiratori sta, dunque, nella forma e nella diffusione nel corpo.

Esempi:

- Branchie interne di un crostaceo: il carapace forma questa sorta di protezione, ci sono delle appendici che agitano l'acqua per non farla ristagnare, lo stesso movimento consente di avere sempre acqua ricambiata.
- Polmone a libro di un'aracnide, quindi ragni e scorpioni. In particolare, gli scorpioni hanno solo i polmoni, la parete interna è a libro per aumentare la superficie di scambio; i ragni hanno sia polmoni a libro (quindi serve in queste zone il pigmento respiratorio) che trachee. Esistono altri aracnidi che hanno solo le trachee.

- Trachee di un insetto: sono estremamente ramificate, diventano sempre più sottili, hanno diverse aperture che si chiamano spiracoli, la tendenza degli insetti a restare all'aperto limita la presenza di spiracoli per evitare l'uscita di acqua soprattutto se si vive in ambiente arido. Gli insetti sono riusciti a realizzare il volo proprio perché hanno questo apparato respiratorio molto efficiente.

Per massimizzare lo scambio di gas respiratori gli animali possono "influire" (come risultato dell'evoluzione):

- Sull'area della superficie dove avviene lo scambio, aumentandola.
- Rendendo minima la distanza da percorrere da parte delle molecole di ossigeno e di anidride carbonica (assottigliando l'epitelio).
- Sul gradiente di concentrazione attraverso la superficie di scambio;
- Utilizzando quando è possibile l'aria piuttosto che l'acqua come mezzo di scambio respiratorio in quanto più veloce.

Un meccanismo che rende efficace la diffusione di gas è lo scambio **controcorrente**, tipico dei polmoni a libro e delle branchie nei pesci. L'acqua entra con il 100% della concentrazione di ossigeno, all'inizio quando il sangue entra nella circolazione esso ha il minimo di ossigeno, che poi viene man mano raccolto dall'acqua. Poiché sono in sensi alternati si mantiene sempre il 10% di differenza, perché se avessero senso parallelo all'inizio si avrebbe il massimo ma alla fine non potrebbero più effettuare gli scambi. Se il senso di direzione di vasi sanguigni ed entrata dell'acqua è opposto, la differenza viene mantenuta costante nel passaggio dell'ossigeno dall'acqua verso il sangue. Man mano che l'acqua perde ossigeno incontrerà il sangue meno ossigenato, pertanto sarà sempre consentita quella minima differenza di concentrazione sufficiente a garantire la diffusione dell'ossigeno. Questo sistema viene utilizzato tanto nei vertebrati (pesci) quanto negli invertebrati (scorpioni).

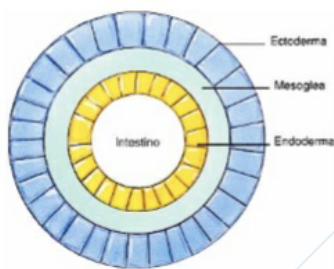


Figura 4.10

Piano strutturale diblastico. Gli animali diblastici possiedono tessuti derivati dall'ectoderma e dall'endoderma. Tra questi due strati c'è una mesoglea priva di cellule proprie.

Trasporto interno

Se un organismo è di piccole dimensioni o piatto, tutte le sue cellule sono in prossimità dell'ambiente esterno, pertanto non si ha bisogno di un sistema di trasporto né di un apparato di escrezione. Ciò è possibile in quanto ogni cellula si organizza autonomamente stando a contatto con l'esterno.

Esistono una serie di animali microscopici, che fanno parte degli invertebrati acquatici, che possiedono strutture e forme del corpo che permettono lo scambio diretto mediante diffusione. Non hanno bisogno di grosse cavità o di apparati circolatori, in quanto le varie cellule sono vicine all'ambiente esterno o in comunicazione con uno spazio a contatto con esso. Un esempio è l'idra, uno cnidario con forma di polipo di tipo urticante; il suo corpo è costituito da due soli strati di cellule, le quali prendono contatto o con l'acqua esterna o con il liquido contenuto in quella cavità denominata gastrovascolare o celenteron, delimitata dallo strato interno, o endoderma, che negli cnidari si chiama mesoglea. Esistono tuttavia anche cnidari che, in momenti diversi del loro ciclo vitale, possono essere sia polipi sia meduse. E ne esistono altri che sono polipi allo stato larvale e solo meduse da adulti, così come vi sono cnidari che hanno solo forma di polipi. Possono essere microscopici o di dimensioni enormi, soprattutto nelle forme coloniali. Essi sono quegli organismi che vanno a costituire la barriera corallina, ma poiché da soli non ce la farebbero utilizzano il lavoro di altri

organismi, entrando in simbiosi con loro. Queste simbiosi sono multiple.

Gli cnidari, oltre alla caratteristica di avere le cellule urticanti (difatti "cnidario" è un nome che sta per "Cnide", una dea medusa urticante), sono anche caratterizzati rispetto a tutti gli altri animali dal fatto che già nell'embrione sono costituiti da due soli foglietti embrionali, **ectoderma** ed **endoderma**, mentre tutti gli altri animali hanno un terzo foglietto detto **mesoderma**.

Difatti, sono organismi **diblastici**. Pertanto, sono molto limitati in forma e strutture, piccole e sottili e non si forma il mesoblasto (successivamente chiamato mesoderma), il quale è uno strato importantissimo perché dà origine a tantissime strutture. Solitamente i foglietti che si formano durante lo sviluppo embrionale sono tre:

1. Ectoderma, il foglietto esterno;
2. Endoderma, il foglietto interno. Nella maggior parte degli organismi dà origine all'apparato digerente;
3. Mesoderma, il foglietto intermedio. Dà origine a molte cose: connettivi, tessuto osseo, tessuto cartilagineo, eccetera, tutti tessuti fondamentali per ogni organismo.

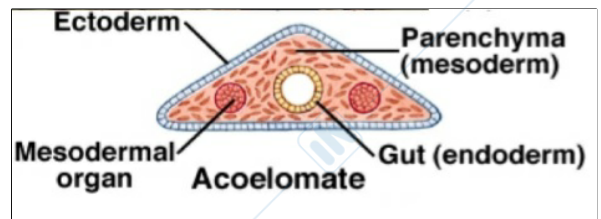
Tra ectoderma ed endoderma, nei corpi di cnidari e spugne, vi è la **mesoglea** o mesoilo, ovvero una sostanza traslucida, non vivente, gelatinosa (un colloide). È uno strato che primitivamente non ha cellule proprie, ma che possono raggiungerlo in seguito allo sviluppo embrionale. Non hanno organi interni.

Il *polipo* in particolare ha forma colonnare, dei tentacoli e una bocca su cui si poggia il substrato, che consente l'ingresso in una cavità che viene chiamata **cavità gastrovascolare** negli cnidari, mettendo in connessione il digerito dalle cavità dei tentacoli. L'epiderma è a contatto con l'ambiente esterno, mentre il gastroderma comunica con la cavità gastrovascolare. Ogni cellula, quindi, o comunica con l'esterno o con il liquido contenuto nella cavità. Il polipo ha una mesoglea molto sottile.

Nel caso delle *meduse*, poiché hanno la mesoglea più spessa per via della loro pelagia (hanno bisogno di una struttura gelatinosa che gli dia una certa consistenza e garantisca il galleggiamento), la cavità gastrovascolare è organizzata in maniera più complessa, con una zona slargata, dei canali radiali e un canale anulare che mette in comunicazione quelli radiali. Esso trasporta le sostanze digerite e le sostanze di rifiuto da uno strato all'altro. La cavità gastrovascolare è già di per sé un sistema di trasporto, in quanto i prodotti di rifiuto vengono eliminati nell'endoderma ed escono dalla cavità buccale, dalla quale fuoriescono anche le sostanze non utilizzate; ha un po' tutte le funzioni e nessuna ben specializzata. Negli cnidari più semplici la digestione avviene nelle cellule, man mano che diventano più grandi, e devono mangiare di più, essa ha luogo nella cavità gastrovascolare.

Esistono poi altri invertebrati che prendono il nome di **platelminti**, ossia "*vermi piatti*", i quali presentano una cavità gastrovascolare solo in prossimità della bocca, costituita da un sacchetto o estremamente ramificata a seconda della grandezza dell'organismo. Essendo animali triblastici (tre foglietti embrionali) presentano organi interni (gonadi) e una sorta di connettivo lasso ricco di cellule e sostanza fondamentale con tutti i costituenti (ovvero GAGs, eccetera, che normalmente sono nelle sostanze fondamentali dei connettivi e delle cellule) chiamato **parenchima**. Per tanto gli organismi così organizzati si chiamano **parenchimatosi** o **acelomati**. Questi animali sono costituiti da muscoli costantemente contratti per mantenere appiattita la forma, in modo da evitare che le cellule siano troppo lontane dall'ambiente esterno. È importante perché quando una sostanza, digerita nella cavità gastrovascolare, deve arrivare in un epitelio di superficie, passa più velocemente in una cavità ricolma di liquido che in una cavità ricolma di un colloide composto da GAGs e cellule. Di conseguenza, i Platelmini devono mantenere le cellule più vicine all'ambiente esterno per far sì che le sostanze possano arrivare in tempi ragionevoli, in quanto il passaggio è lento, soprattutto per quanto riguarda le sostanze in entrata, perché le cellule epiteliali non possono procurarsi e digerire cibo in maniera autonoma.

Esistono altri tipi di vermi che prendono il nome di **nematodi** con un diverso piano strutturale. Hanno



una sezione circolare, un intestino vero e proprio, con bocca ed ano, pertanto un apparato digerente differenziato in parti.

Essi posseggono alcune particolarità:

1. Non sono acelomati in quanto tra la parete del corpo presentano cellule muscolari con prolungamenti che prendono l'impulso dal cordone nervoso. È il primo caso in cui non si ha la fibra muscolare innervata da un nervo (presenza di una placca motrice) ma sono le cellule muscolari a garantirsi l'impulso nervoso.
2. Non hanno né ciglia né flagelli. Infatti, gli spermatozoi si spostano tramite movimento ameboide.
3. Hanno un numero di cellule fisse. Tale caratteristica prende il nome di **euteria**. Per tal motivo sono state sfruttate per lo studio del differenziamento cellulare.
4. Vanno in **criptobiosi** quando le condizioni esterne non sono loro gradite, bloccando i processi metabolici.

Essi non hanno forma appiattita ma presentano una cavità piena di liquido fra la parete del corpo e il tubo digerente che agevola il trasporto di sostanze. Tale liquido presenta una doppia funzione:

1. Quando un nematode digerisce un alimento, il materiale assorbito viene riversato nel liquido che consente il passaggio dei nutrienti a tutti i tessuti.
2. Ha funzione di scheletro idrostatico, poiché il liquido ha anche una certa pressione che viene controbilanciata dalla parete del corpo, la quale è rivestita esternamente da una cuticola e, pertanto, i muscoli, contraendosi, trovano come antagonista la pressione del liquido e la rigidità della cuticola esterna.

Questa cavità piena di liquido è interna del corpo, in quanto non comunica con l'esterno, che prende il nome di **pseudoceloma** (pseudo in quanto non presenta membrane mesodermiche che delimitano la cavità, ovvero la somatopleura e la splancnopleura). La cavità celomatica (cavità piena di liquido) si forma all'interno di lamine mesodermiche, quando è molto sviluppata vi sono presenti la somatopleura, che è la parete esterna del celoma, e attorno al tubo digerente la splancnopleura, ovvero il foglietto viscerale. Tali pleure non tengono soltanto il liquido ben compresso, ma anche gli organi separati dal liquido. Da ciò si deduce che gli organi dei nematodi sono immersi nel liquido celomatico, difatti le gonadi si trovano immerse nel liquido pseudocelomatico in modo da avere a disposizione tutto ciò che viene assorbito, mentre dei canali si occupano dell'espulsione delle sostanze da eliminare. Lo pseudoceloma del nematode è comunque molto comodo, perché le sostanze digerite dall'intestino si trovano nel liquido direttamente in contatto con tutte le cellule. Le pleure citate precedentemente si ricongiungono in quelli che vengono chiamati mesenteri. In alcuni organismi, come nei lombrichi, si distinguono un mesentere dorsale ed uno ventrale. Il mesentere dorsale sorregge e consente di far sviluppare l'intestino molto più della lunghezza del corpo. Il celoma è la cavità più diffusa tra gli animali e quelli che hanno tale cavità ben sviluppata posseggono anche un apparato circolatorio.

Possiamo quindi distinguere gli animali, in base al loro piano strutturale, cioè anche in base alle caratteristiche del celoma, in:

- **Acelomati**, non hanno un celoma vero e proprio, ma vi è il mesoderma che riempie completamente il blastocele [(cavità digerente), endoderma, mesoderma (parenchima nel caso dei Platelminiti), ectoderma];
- **Pseudocelomati**, il mesoderma delimita il lato esterno del blastocele [Intestino, endoderma, pseudoceloma, mesoderma, ectoderma, strato (considerare che, comunque, sotto tutti gli epiteli, negli animali triblastici, c'è sempre il connettivo e gli strati muscolari: *epitelio di rivestimento, lamina propria e muscolaris mucosae*)]. Lo pseudoceloma è quindi una cavità interna del

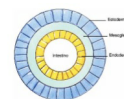


Figura 4.10
Piano strutturale acelomato. Gli animali acelomati possiedono tessuti derivati dall'ectoderma e dall'endoderma. Tra questi due strati c'è una membrana priva di cellule proprie.

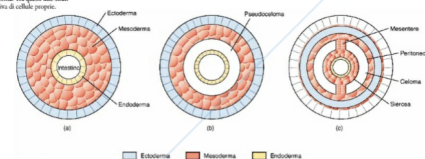
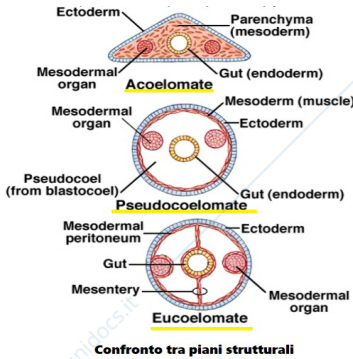


Figura 4.11
Piani strutturali triblastici. Gli animali triblastici possiedono tessuti derivati dall'ectoderma, dal mesoderma e dall'endoderma. (a) Modello triblastico acelomato. (b) Modello triblastico pseudocelomato. Note: l'assenza di rivestimento mesodermico del canale intestinale. (c) Modello triblastico celomato. I tessuti derivati dal mesoderma circondano completamente il celoma.

corpo che è priva di epitelio mesodermico.

- **Eucelomati:** Il celoma è ben sviluppato e si forma all'interno del mesoderma, con mesentere dorsale e ventrale. Gli organi sono retroperitoneali, non raccolgono i nutrimenti direttamente dal celoma, sono rivestiti da una membrana di origine mesodermica, ovvero somatopleura, splancnopleura e peritoneo, nonostante quest'ultimo sembri un epitelio pavimentoso monostratificato. Il peritoneo si trova sia sotto la parete del corpo che attorno all'intestino.



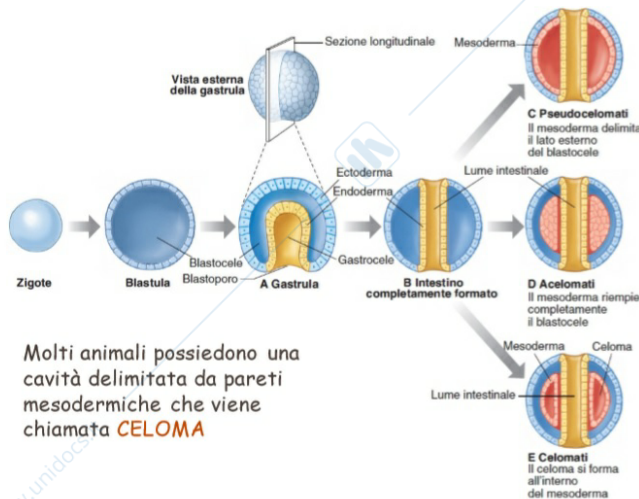
Come si forma il celoma vero e proprio degli eucelomati? Passaggi:

Cellula uovo fecondata (generalmente, la cellula uovo fecondata che inizia lo sviluppo embrionale è lo zigote; ma non sempre, infatti ci sono tante specie in cui l'uovo si sviluppa anche senza lo spermatozoo). Primo stato embrionale che è la blastula e poi iniziano i movimenti embrionali. Ad un certo punto una parte di quello che era il blastoderma si introflette, come se si premesse con un dito un palloncino morbido, e questa introflessione darà origine alle pareti del tubo digerente, il quale sarà prima ad una sola apertura, poi a doppia apertura. In seguito si

forma il mesoderma, il quale può rimanere compatto come negli acelomati, può fare la cavità con le pareti proprie negli eucelomati, può fare cavità non completamente delimitata da mesoderma come negli pseudocoelomati.

Quando compare il celoma, emerge uno strato sempre sottile che delimita la cavità e si ha

somatopleura, splancnopleura, mesentere dorsale e ventrale. Il mesentere ventrale spesso scompare, e ne consegue che, invece, di avere una cavità celomatica di destra e una di sinistra, ce ne sarà una sola. Il mesentere dorsale quasi mai scompare perché mantiene sospeso l'intestino e gli permette di allungarsi molto di più di quanto si allunga il corpo dell'animale. Chiaramente più intestino ha un animale e più assorbe, più assorbe e più ha energia; pertanto avere un intestino molto lungo (soprattutto per gli erbivori) permette loro di digerire meglio quello che mangiano e di assorbire di più. Quindi, uno dei vantaggi grandissimi della cavità celomatica e del mesentere dorsale è l'allungamento



Molti animali possiedono una cavità delimitata da pareti mesodermiche che viene chiamata **CELOMA**

Figura 14.5 Una sequenza di sviluppo generalizzata, iniziando dallo zigote. Tutti i metazoi si sviluppano fino allo stadio di blastula. La sequenza di sviluppo delle fasi successive porta a piani strutturali diversi.

dell'intestino rispetto alla lunghezza del corpo dell'animale.

Alcuni animali, come i lombrichi, presentano delle cavità celomatiche che, oltre alla distribuzione e all'eliminazione di cataboliti, hanno funzione di movimento poiché formano uno scheletro idrostatico. I lombrichi fanno parte degli anellidi, si chiamano così perché presentano il corpo composto da tanti anelletti, e posseggono un'organizzazione del corpo **metamerica**, ovvero hanno delle parti uguali e ripetute "n" volte. Questi anelletti non sono solo esterni, ma anche interni, perciò la metameria riguarda diversi organi interni. Questi animali possiedono una cavità celomatica metamerica, utile anche per il movimento in quanto funge da scheletro idrostatico. Solo i ricci di mare, chiamati correttamente **echinodermi**, hanno uno sviluppo ancora più clamoroso, rispetto ai lombrichi, delle cavità celomatiche, ma un po' più differenziato. La cavità celomatica, pertanto, negli organismi metamerici, non è solo suddivisa in cavità destra e sinistra dai mesenterii, ma anche in prima cavità,

seconda cavità, terza cavità e così via da dei setti trasversali, che "separano" questi sacchetti ripetuti. Le cavità del corpo offrono molti vantaggi e possono svolgere molte funzioni diverse:

- Presentano uno spazio interno per lo sviluppo di organi e apparati, e ciò non vale solo per il celoma ma anche per lo pseudoceloma. È, invece, difficoltoso per gli organi farsi spazio in un parenchima.
- Possono essere utilizzati come scheletri idrostatici. Lo scheletro idrostatico è una delle spinte che tengono la cavità celomatica sviluppata al massimo (ed è una spinta evolutiva fortissima), tant'è che può capitare che in alcuni animali, originariamente celomati, si perda la funzione di scheletro idrostatico, e quando capita ciò, perdono il celoma.
- Possono svolgere la funzione di distribuzione e trasporto interno.
- Il liquido contenuto nella cavità può avere funzione protettiva per gli organi interni, perché questi sono più stabili dal punto di vista delle temperature e dei colpi, infatti stare immersi in un liquido è sempre un vantaggio, o può servire per accumulare sostanze e cellule, in particolare i gameti.

Negli animali dotati di celoma ed euceloma, la funzione di trasporto interno è svolta in relazione ad un apparato circolatorio, formato tipicamente da vasi, cioè strutture tubulari con spessori vari, a seconda se serve la pompa o lo scambio, da un organo propulsore (cuore o vaso che funge da pompa) ed un liquido circolante. Gli animali più forniti godono di un cuore organizzato come quello umano, ossia in quattro cavità, due atri e due ventricoli, e doppia circolazione, ma non esiste solo questo sistema. Ad esempio, può esservi un sistema con il cuore ma che non possiede separazione totale tra atri e ventricoli, oppure ci può essere un vaso più importante, un po' più muscolarizzato, che funge da ponte. Insomma, non sempre il cuore viene definito.

Negli organismi eucelomati, dove di norma è presente anche il sistema circolatorio, in quanto gli organi interni stanno dietro il peritoneo, i compiti di trasporto e distribuzione vengono generalmente così suddivisi:

- Gli alimenti digeriti e assorbiti seguono la via del sistema circolatorio, il quale raccoglie, dietro l'intestino, nei liquidi interstiziali, le sostanze assorbite e le porta alle cellule.
- Spesso i cataboliti e l'acqua in eccesso vengono eliminati attraverso il celoma e l'apparato nefridiale connesso. Pertanto, il celoma assume la funzione di osmoregolazione non da solo ma con l'apparato nefridiale, il quale in alcuni casi è ancora collegato al circolatorio. Questi sistemi lavorano insieme, in maniera diversa a seconda dell'organismo.
- I gameti vengono spesso portati all'esterno tramite il celoma, se non vi sono dotti specifici per questa funzione.
- Gli scambi gassosi sono comunemente effettuati tramite il respiratorio, infatti, nel caso di branchie e polmoni vi è la necessità che il sangue passi attraverso questi organi per lo scambio gassoso, cioè per raccogliere O_2 ed eliminare CO_2

I sistemi circolatori

L'apparato circolatorio può essere **chiuso**, se il liquido circolante durante la circolazione è confinato all'interno dei vasi e non esce mai, o **aperto**, se il liquido circolante fluisce dal cuore attraverso le arterie direttamente negli spazi intercellulari; in questo caso non esiste alcuna differenza tra liquido interstiziale e liquido circolante (che poi riprende la via di qualche vaso che lo riporta, per esempio, alle branchie o ai polmoni). È chiaro che un sistema circolatorio chiuso è più efficace di uno aperto, perché è tenuto a regimi pressori più alti e il sangue si muove prima.

I molluschi, ad esempio, presentano un apparato circolatorio aperto non efficiente, soprattutto per il trasporto dell'ossigeno alle cellule in quanto più lento. Per questo è tipico di quegli animali che non hanno bisogno di un rifornimento continuo di ossigeno. I molluschi cefalopodi, però, essendo

predatori hanno bisogno di contrazioni muscolari molto efficienti e la contrazione costa tanta energia, la quale, per essere ricavata, richiede che le cellule muscolari abbiano a disposizione, in maniera veloce, sia il materiale nutritivo sia l'O₂. Per questo motivo, essi, presentano un apparato circolatorio chiuso per fornire maggiormente ossigeno all'organismo, oltre a presentare un differente pigmento respiratorio che rende loro necessario vivere in acqua fortemente ossigenate.

L'apparato circolatorio chiuso è tipico solitamente dei vertebrati, ma lo possiedono anche alcuni invertebrati come gli anellidi (es: lombrico) o, come si è già detto, i cefalopodi. Gli insetti (es: cavallette) e tutti gli artropodi (sono il phylum con il più alto numero di specie) sono un chiaro esempio di sistema circolatorio aperto. Gli esapodi, poiché presentano le trachee, pur presentando un sistema poco efficiente sono favorite dal trasporto diretto che può fornire un giusto apporto di ossigeno per il volo o il salto.

In genere quando si ha un celoma ben sviluppato l'apparato circolatorio è ben sviluppato, mentre quando il celoma regredisce, perdendo ad esempio importanza come scheletro idrostatico, l'apparato circolatorio si riduce e si apre, in quanto celoma e sistema circolatorio sono collegati che viaggiano insieme.

Per esempio, ciò accade negli artropodi, i quali quando sono embrioni sviluppano una cavità celomatica metamerica, ma poi, da adulti, poiché si organizzano con un altro scheletro, che fa loro da esoscheletro, lo scheletro idrostatico viene perso. Di conseguenza, il celoma degenera e scompare (lasciando residui) e concede via libera al ristabilirsi di una cavità senza pareti mesodermiche, in cui comunque confluisce il sangue che proviene dall'apparato circolatorio aperto (negli artropodi prende il nome di **emolinfa**) e non differisce dal liquido interstiziale. Tale cavità, che non è un celoma ma di questi presenta residui, si chiama **emocele** e non pseudoceloma, in quanto il processo di formazione segue un percorso diverso rispetto ai nematodi, che non hanno mai avuto un celoma privo di pareti mesodermiche. Se una cosa viene ereditata dagli antenati o se si tratta di qualcosa acquisita successivamente ha un significato filogenetico ben diverso.

La maggior parte degli artropodi e dei molluschi possiede sistemi circolatori aperti con un vaso dorsale che pompa, gli artropodi perché hanno perso il celoma, i molluschi perché ne hanno uno molto ridotto in quanto non viene utilizzato come scheletro di movimento. Gli anellidi, i molluschi cefalopodi e i vertebrati possiedono invece un sistema circolatorio chiuso in cui il liquido non esce mai dai vasi. Gli scambi avvengono attraverso i capillari. I vertebrati hanno un complesso sistema circolatorio chiuso, a seconda del livello evolutivo e dell'ambiente in cui si trovano: i pesci lo hanno **semplice** (un atrio e un ventricolo), gli anfibi uno **doppio e incompleto** (due atri e un ventricolo), mentre mammiferi e uccelli hanno una circolazione **doppia e completa**, con separazione del sangue. In realtà, anche gli altri vertebrati riescono a non mescolare più di tanto sangue ricco di O₂ e povero di O₂, ma non efficientemente come i mammiferi.

Escrezione e osmoregolazione

Classicamente si considerava **escrezione** l'eliminazione dei cataboliti azotati (NH_2), mentre secondo definizioni successive si intende quel processo di eliminazione di tutti i prodotti di rifiuto del metabolismo, tra cui acqua e biossido di carbonio, residui chimici di quelle reazioni che avvengono all'interno della cellula. I prodotti del metabolismo sono da distinguere, nella maggior parte dei casi, dai prodotti non digeriti e non assorbiti. Quando eliminiamo urina facciamo escrezione, mentre quando eliminiamo le feci eliminiamo i residui non digeriti del nostro organismo. L'eliminazione delle feci non è dunque escrezione in quanto fa parte della funzione digerente.

L'escrezione, nella maggior parte dei casi, riguarda l'eliminazione dei cataboliti e, in particolare, i cataboliti azotati, i quali sono i prodotti di rifiuto del catabolismo delle proteine e degli acidi nucleici e sono quelli più complicati. L'eliminazione di questi rifiuti non coinvolge solo gli organi escretori ma, talvolta, anche quelli respiratori. L'escrezione riguarda anche la funzione di osmoregolazione.

La **osmoregolazione**, ossia controllo dell'equilibrio idrosalino, è una delle funzioni più ampie dell'**omeostasi**, ossia il mantenimento di un equilibrio più o meno costante dei liquidi interni sia quelli interstiziali di un organismo pluricellulare. È una delle caratteristiche dei viventi ed è la capacità di mantenere le condizioni ideali (temperatura, pressione osmotica, eccetera) affinché avvengano tutte le reazioni del metabolismo. Alcuni organismi non riescono a differenziare le concentrazioni dei propri soluti rispetto all'ambiente esterno, pertanto devono trovarsi in acque profonde.

La maggior parte dei prodotti del catabolismo azotato si presenta sotto forma di ammoniaca (NH_3), un gas molto solubile in acqua ma tossico a determinate concentrazioni. Essa rappresenta la scoria azotata normalmente eliminata dagli animali acquatici, poiché, avendo a disposizione una grande quantità di acqua, la diluiscono, risolvendo il problema della tossicità e possono tranquillamente eliminarla. Negli animali terrestri l'ammoniaca può essere trasformata in **urea** ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) o **acido urico** ($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$), entrambi meno tossici e quindi richiedono meno acqua per essere eliminati. L'urea comporta un più basso prezzo energetico ma fa sprecare un po' più d'acqua, mentre l'acido urico è più risparmiativa per l'acqua ma più dispendioso per l'energia.

Per spiegare meglio: la colonizzazione dell'ambiente terrestre è stato uno dei passaggi cruciali per la storia della vita sulla terra. In quanto esso non è l'ambiente in cui è nata la vita sono stati necessari davvero moltissimi adattamenti per poter sopravvivere in questo "nuovo" ambiente. Fra i tanti adattamenti (oltre quelli riguardanti la parete del corpo, attuati per evitare di perdere troppa acqua, disseccarsi e raggrinzirsi) dovettero attuarsi alcuni per risolvere il nuovo problema dell'eliminazione dell'ammoniaca, che non poteva essere sostenuta con la mancanza di acqua che c'è nell'ambiente terrestre. Gli adattamenti hanno pertanto portato a due possibilità:

- 1) Trasformare l'ammoniaca in urea (che è quello che fa l'uomo), soluzione un po' più dispendiosa ma comunque abbastanza economica dal punto di vista energetico.
- 2) Oppure eliminare acido urico, che certe volte viene addirittura eliminato come cristalli di urato di potassio, soluzione che prevede il massimo del risparmio dell'acqua ma anche il massimo della spesa energetica, poiché essendo l'acido urico una molecola molto più complessa dell'ammoniaca ci vuole più energia per produrla.

Ma perché proprio l'ammoniaca? Proteine (e acidi nucleici) hanno molti gruppi amminici, cioè molti gruppi NH_2 più la valenza che serve per legarsi al composto a cui sono legati. Durante la demolizione delle proteine, staccando NH_2 c'è una valenza da "sistemare", e pertanto, NH_2^- prende un idrogeno, trasformandosi in NH_3 . Vero è che l'ammoniaca è tossica a certe concentrazioni, ma c'è da ammettere che è il modo più economico dal punto di vista energetico per eliminare i cataboliti azotati, in quanto richiede sì tanta acqua, ma relativamente poca energia.

Sistemi di escrezione.

In genere quando gli animali sono piccoli l'eliminazione dei cataboliti può avvenire per diffusione, ogni cellula può eliminare ammoniaca o verso l'esterno o nella cavità gastrovascolare, pertanto non c'è bisogno di alcun apparato escretore, mentre quando ciò non è possibile esistono degli **organi escretori** e un **apparato escretore** più o meno complessi, infatti ne possiamo radunare almeno 4. Tutti però presentano strutture o solo tubulari o sia tubulari che sacciformi; filtrano inoltre i liquidi interstiziali extracellulari e modificano il filtrato con fenomeni di secrezione o riassorbimento. Tubuli e sacchi servono a drenare e a raccogliere queste sostanze per eliminarle. I meccanismi di escrezione nei vari animali che utilizzano questo sistema hanno uno schema comune:

1. Filtrare i liquidi extracellulari dove vengono riversati i cataboliti, funzione che richiede anche delle strutture che servono a raccogliere il filtrato;
2. Modificare il filtrato mediante trasporto attivo di determinate molecole, che possono essere aggiunte o rimosse (**secrezione e riassorbimento**).
3. La soluzione finale di questo filtrato (acqua, prodotti di rifiuto e Sali) viene espulsa all'esterno sotto forma di **urina**.

Gli organi escretori e osmoregolatori presenti in molti gruppi animali sono tubuli detti **nefridi**, i quali sono multipli (mai uno solo perché è conveniente che vi siano più "vie d'uscita") e si aprono all'esterno del corpo con un **nefridioporo**. I nefridi possono essere più o meno ramificati, più o meno ripetuti (metamerici). Ne esistono due tipi:

- **Protonefridi**: sono quelli più primitivi. Riscontrabili nei plattelminti, in particolare nella **Planaria**, i quali presentano una catena di tubuli a fondo cieco con più pori, che si aprono all'interno con cellule *a fiamma*. La cellula che chiude il tubulo verso l'interno, nella porzione che dà sul lume, presenta un gruppo di ciglia che si muovono continuamente (rassomigliando ad una fiammella). Tali cellule sono estremamente importanti perché, con il loro movimento continuo, creano una corrente d'acqua per la filtrazione, per far passare l'acqua in eccesso dai liquidi extracellulari verso il lume del tubulo. Quest'ultimo è percorso dall'acqua verso il nefridio sempre grazie al movimento di ciglia. Sono presenti delle fenestrature tra una cellula per cui il liquido può entrare nel protonefridio. Nella maggior parte dei plattelminti, nelle planarie in particolare, il sistema protonefridiale (che è, appunto, siffatto sistema di tubuli ramificati che sboccano ognuno in una cellula a fiamma) ha fundamentalmente la funzione di regolare la pressione osmotica e di esercitare, dunque, un controllo sui liquidi in eccesso. Ciò è necessario perché la planaria è un organismo di acqua dolce e ha i liquidi più concentrati rispetto ad essa; accade, or dunque, che per fenomeni di pressione osmotica l'acqua tenderebbe ad andare dalla soluzione più diluita a quella più concentrata e, giacché le pareti cellulari e del corpo sono membrane semipermeabili, l'acqua tenderà inesorabilmente ad entrare dentro e a "farli scoppiare". Difatti, il sistema protonefridiale serve per risolvere il problema.
- **Metanefridi**: tipici degli animali celomati (molluschi, anellidi). Sono molto più complessi, che presentano uno slargamento (imbuto ciliato) che, a differenza delle cellule a fiamma, viene chiamato *nefrostoma*. Si ha poi un tubulo molto lungo che viene avvicinato dall'apparato circolatorio con intervento massiccio. Di fatto le sostanze dell'apparato circolatorio passano nel nefridio e vengono eliminate dal nefridioporo. Il nefrostoma si apre in un segmento, mentre il nefridioporo si apre in un altro. È riscontrabile talvolta una zona di accumulo chiamata vescica.
- **Ghiandole antennali o ghiandole verdi**: sono strutture tipiche di alcuni crostacei come gamberi e granchi. Anche qui si ha un tubulo, con zone più o meno slargate, e una vescica di accumulo. Non sono dei veri e propri metanefridi in quanto non si ha una cavità celomatica ma un emocele. Alcuni pensano che questi apparati escretori siano da considerarsi il residuo del

sacchetto celomatico di quel segmento, come modificazioni di quella regione del corpo con funzione di raccoglimento dei cataboliti.

- **Tubuli Malpighiani:** tipici degli insetti, sono dei diverticoli dell'intestino che si formano fra intestino medio e posteriore, in numero variabile e di fatto immersi nel liquido dell'emocele. Anche qui espellono acqua, ioni e acido urico tramite il lume del tubulo malpighiano. Si distingue un trasporto attivo e uno passivo. Vengono riversati nell'intestino posteriore, l'acqua viene riassorbita, i sali e tutto ciò che è necessario vengono ripresi e, attraverso il retto, viene eliminato acido urico.

Da quale apertura vengono eliminati i cataboliti azotati? Negli insetti avviene attraverso l'ano, mentre negli altri organismi nefridioporo.

- **Rene:** è l'organo responsabile dell'equilibrio idrosalino e dell'eliminazione dei cataboliti azotati nei vertebrati. Esso prende rapporti con l'apparato circolatorio. Il glomerulo avrà sviluppo minore o maggiore a seconda delle necessità. L'unità morfo-funzionale fondamentale del rene è rappresentata dal nefrone.

Osmoregolazione

Tratta osmosi, il fenomeno attraverso cui l'acqua passa attraverso le membrane cellulari da una soluzione meno concentrata ad una più concentrata perché tende all'equilibrio. Le concentrazioni di soluti rappresentano il fattore principale di ciò che viene definito potenziale osmotico di una soluzione. Le soluzioni vengono dette isosmotiche (con uguale potenziale osmotico), iperosmotica o iposmotica.

Se i globuli rossi vengono messi in una soluzione iperosmotica l'acqua tende ad entrare e poiché la membrana non regge tende ad esplodere. Così come per le cellule si ha un problema della soluzione in cui si trovano, in quanto i problemi dipendono dal tipo di ambiente. Distinguiamo tre situazioni:

- Animali che vivono in acqua marina (i bacini più bassi sono più salati, mentre la concentrazione è più bassa nei bacini o negli estuari).
- Animali che vivono in acqua dolce (per quanto possa essere diversa la concentrazione dei sali nell'acqua dolce è sempre più bassa rispetto a quella delle cellule degli organismi, per questo tende ad entrare).
- Animali che vivono in ambiente terrestre.

Animali che vivono in acqua salata

Gli invertebrati marini sono solitamente isosmotici con l'acqua di mare. Se la salinità dell'ambiente esterno cambia leggermente, cambia anche la concentrazione dei sali nei liquidi interni. Per tanto si chiamano animali osmoconformi: non sono in grado di tollerare variazioni consistenti di salinità e quindi sono stenoalini, cioè possono vivere in un limitato ambito di salinità. In questi animali l'apparato escretore provvede alla regolazione del volume interno d'acqua e al relativo contenuto in ioni. I residui del metabolismo azotato vengono eliminati attraverso le superfici del corpo, specialmente nei punti in cui avvengono gli scambi respiratori (branchie, ad esempio, in quanto sottili e non altrettanto protette quanto tutto il resto del corpo). Non tutti gli animali marini sono osmoconformi in quanto alcuni possono mantenere un potenziale osmotico diverso da quello dell'ambiente che li circonda, pertanto vengono definiti osmoregolatori. Possono abitare acque con gradi di salinità più basso o variabile. Si chiamano anche eurialini in quanto hanno un intervallo più ampio di salinità in cui possono vivere, colonizzando ambienti che agli altri sono negati. Un esempio di regolatore osmotico è l'artemia salina, che vive in condizioni particolari, anche in laghi soprassalati.

Il contenuto di sale nei liquidi corporei dei vertebrati marini è circa un terzo di quello dell'acqua di mare, per questo sono iposmotici e meno concentrati. I pesci marini tendono difatti a diffondere acqua verso l'esterno, che viene recuperata tramite una serie di meccanismi per confermarla. La perdita di acqua è contrastata:

- Dalla riduzione della struttura filtrante del rene
- Dall'assunzione continua di acqua dalla bocca
- Eliminazione di Sali in eccesso tramite l'epitelio branchiale.

Animali che vivono in acqua dolce

I liquidi interni degli animali che vivono in acqua dolce sono sempre più concentrati (iperosmotici) rispetto all'esterno, pertanto l'acqua tende a diffondere nel corpo dalla bocca e dalle branchie mentre i sali tendono a diffondere all'esterno. Essi sono ovviamente e rigorosamente osmoregolatori. I protozoi d'acqua dolce possiedono dei **vacuoli contrattili** che svolgono l'osmoregolazione.

Animali che vivono in ambiente terrestre

Sono assimilabili a quelli d'acqua marina, pertanto possono vivere nell'ambiente terrestre con una serie di adattamenti. Mentre un pesce marino può de-salicare l'acqua marina per riprenderla, la disidratazione in ambiente terrestre è più difficile. Tra le principali strategie:

- *Riduzione dell'evaporazione* attraverso scambi gassosi interni (i polmoni sono introflessioni), modificazioni della barriera tegumentaria (cuticola sviluppata fatta di lipidi negli artropodi, squame nei rettili, tegumento cheratinizzato e piume negli uccelli, epitelio pluristratificato cheratinizzato con ghiandole sebacee annesse negli uomini), occupazione di habitat umidi e attività notturna;
- *Riduzione della perdita d'acqua* attraverso produzione di cataboliti azotati non solubili, produzione di urina iperosmotica, bassa produzione di urina;
- *Riduzione della perdita d'acqua* da egestione (feci condensate);
- *Tolleranza metabolica alla disidratazione*;
- *Utilizzazione dell'acqua di ossidazione*;

Gli organismi hanno potuto crescere in dimensioni e complessità grazie alla comparsa di un ambiente interno liquido, la cui composizione può essere diversa da quella dell'ambiente esterno.

Omeostasi

La osmoregolazione è uno degli esempi di omeostasi, che è un concetto generale e importante che riguarda tutti gli organismi viventi dotati di cellule in quanto la membrana plasmatica è capace, di per sé, di regolare l'entrata o l'uscita di determinate molecole, mantenendo un ambiente interno ed uno esterno. La cellula è la più piccola unità vivente, qualunque essere vivente ne possiede una: la sua parte più importante è la membrana plasmatica che mantiene ambiente interno ed esterno diversi, ricorrendo al gradiente di concentrazione. Gli organismi pluricellulari non solo presentano differenze tra ambiente interno ed esterno, ma anche tra ambiente del corpo interno ed esterno disuguali. Ci sono una serie di liquidi interni che possono essere differenti da quelli esterni.

Come abbiamo visto gli osmoconformi non sono capaci di regolare il loro contenuto di sale pertanto il contenuto salino nel mare gioca un ruolo fondamentale. Altri organismi, però, sono in grado di regolare.

L'omeostasi non riguarda una sola funzione, ossia l'equilibrio idro-salino o la termoregolazione, ma tutti i parametri interni ed esterni, in quanto anche gli apparati intervengono, come quello respiratorio, in quanto tutte le cellule producono anidride carbonica e hanno bisogno di ossigeno, pertanto tale apparato si occupa di regolare le concentrazioni di questi due gas respiratori, controllando l'equilibrio omeostatico. Gli organismi che l'hanno raggiunto hanno potuto evolversi e diventare sempre più complessi: difatti la presenza di un ambiente interno con caratteristiche ottimali ha consentito la specializzazione delle cellule in tessuti, organi e apparati. Un animale abbastanza strutturale presenta:

- **Tegumento:** separa ambiente interno ed esterno, più o meno sottile o complesso e che cambia a seconda dell'ambiente in cui si trova;
- **Sistema digerente:** dotato solitamente di una bocca da cui entra il cibo e di un ano da cui esce il

cibo non digerito, considerando ovviamente tutte le relative eccezioni. Esso è in continuità con l'ambiente esterno, difatti si considera spazio esterno, diverso tra quello che si trova tra la parete del corpo e l'intestino;

- **Apparato respiratorio:** anche questo è uno spazio in continuità con l'esterno in quanto l'aria, entrando dall'esterno, scambia con l'apparato circolatorio.
- **Apparato circolatorio:** è in connessione con il sistema escretore, ed è costituito da un organo propulsore, il cuore.
- **Sistema escretore:** importante sistema per il controllo dell'omeostasi, in quanto elimina cataboliti, sostanze di rifiuto.

Le cellule sono collocate nell'ambiente interno, in corrispondenza dei liquidi interstiziali, si tratta di tessuto connettivo, responsabile di fornire a tutte le cellule vicine i nutrienti, oltre a metterli in comunicazione le une con le altre. Più capacità di regolazione omeostatica ha un organismo, più un corpo funziona meglio.

Le caratteristiche dell'ambiente interno sono soggette a continue variazioni, determinate sia dall'attività delle singole cellule, che compiono il metabolismo liberando CO₂ e residui azotati, sia da variazioni esterne. Il complesso delle funzioni che consentono di mantenere un ambiente interno costante prende il nome di **omeostasi**. Si tratta di un processo dinamico, continuo, in quanto in ogni secondo della nostra vita la funzione omeostatica è in azione in risposta ai continui cambiamenti a cui siamo sottoposti: ad esempio l'ossigeno viene consumato continuamente e rimpiazzato continuamente con l'anidride carbonica, che altrettanto velocemente deve essere eliminata. Sono necessari dei sistemi che controllino in maniera autonoma, senza che sia necessario il nostro controllo. I sistemi di controllo portano l'informazione (sistema nervoso ed endocrino), e poi vi sono le funzioni di regolazione esplicitate dai vari apparati, che sono tutti coinvolti nel mantenimento dell'equilibrio.

Gli apparati della vita vegetativa sono quelli che funzionano indipendentemente dalla nostra volontà: si tratta dell'apparato digerente, del sistema respiratorio, del sistema endocrino, dell'apparato circolatorio, del sistema nervoso e di quello escretore. Gli apparati della vita di relazione consentono invece all'animale di interagire attivamente con l'ambiente: sono l'apparato cutaneo, il sistema nervoso, l'apparato muscolare e quello scheletrico. L'apparato cutaneo, talvolta, ha delle risposte autonome necessarie per la comunicazione.

Il secondo esempio di omeostasi è la **termoregolazione**. Esiste un intervallo termico entro cui un animale può vivere, abbastanza ampio, che va da 0° a 40°, in quanto al di sotto dei 0° l'acqua si congela e gli organismi sono composti per la maggior parte da essa. Le reazioni metaboliche sono più veloci a temperature elevate mentre risentono di basse temperature. Infatti è importante che la temperatura rimanga in questo intervallo.

Gli animali hanno messo a punto sia meccanismi fisiologici, comportamentali e strutturali per mantenere la temperatura corporea entro i limiti. Quindi si distinguono due categorie di organismi: gli **ectotermi**, che sono la maggior parte, e gli **endotermi**, che si sono perfezionati meglio; poi esistono categorie intermedie. Un esempio di ectotermo è la lucertola, che è un rettile. La lucertola ha la temperatura corporea direttamente proporzionale a quella dell'ambiente esterno; eppure, non avendo adattamenti fisiologici, hanno degli adattamenti comportamentali che rendono tale dipendenza meno evidente. Esse d'estate, nell'orario centrale, non si vedono in quanto la temperatura è troppo elevata, mentre nelle altre stagioni esse tentano di cogliere la maggior parte delle radiazioni solari. Difatti la mattina, non appena sorge il sole, esse si orientano in modo da essere sposte ai suoi raggi; ma alle due, quando la temperatura si innalza troppo, la lucertola ritorna all'ombra perché non ha un meccanismo di controllo come il sudore. Poi il sole scende nel pomeriggio e quindi lei esce di nuovo per incamerare più calore possibile e poi di notte rientra nella tana: quindi ha una serie di limitazioni, come il non poter stare fuori nelle ore più calde, o quando c'è troppo freddo e deve stare attenta a prendere bene il sole perché ha bisogno di calore per riscaldarsi. La lucertola si comporta in modo da minimizzare la variazione di temperatura, sebbene essa rimanga in relazione alla temperatura esterna. Gli endotermi, tuttavia, non hanno soltanto adattamenti fisiologici e metabolici per mantenere

costante la temperatura, ma anche altri adattamenti, tra cui:

- *Produzione o perdita attiva di calore*: la prima consiste nell'aumento del metabolismo ossidativo, in quanto parte dell'energia che si libera viene dispersa sotto forma di calore, mentre la seconda consiste nella sudorazione.
- *Isolamento termico*: gli endotermi sono gli uccelli e i mammiferi che sono forniti di penne, piume, peli o strato di grasso sottocutaneo. Penne e piume sono state acquisite non per volare, ma per realizzare l'endotermia e l'isolamento termico. Gli umani e le balene hanno anche uno strato adiposo che funge da isolante termico.
- *Regolazione del flusso sanguigno*: tra il centro del corpo e le periferie ci sono dei sistemi che consentono di risparmiare calore o di disperdere più calore regolando il flusso sanguigno.
- *Evaporazione*: che si ha o col sudore o per esempio, nei cani, attraverso la lingua.

Tra gli adattamenti per rimanere in ambiente caldo c'è pure lo stare all'ombra, come l'ombra fatta dagli alberi, infatti anche i mammiferi hanno sistemi isolanti e di raffreddamento; i colori della pelliccia cambiano (chiaro se c'è caldo, scuro se c'è freddo, perché i colori scuri assorbono calore). Ulteriori adattamenti sono la concentrazione di feci e urine, la respirazione profonda e lenta, e la selezione dei cibi, favorendo piante succulente in ambienti caldi e secchi.

Quindi, ricapitolando, l'omeostasi è la capacità di mantenere un equilibrio. Ci sono diversi modi per mantenerlo. Ogni cellula ha capacità omeostatica. Esempi di osmosi sono la osmoregolazione e la termoregolazione e queste sono sempre reazioni dell'organismo all'ambiente esterno.

Sistema nervoso

È il sistema più importante della vita di relazione ed è fatto da neuroni e le cellule gliali. I neuroni sono in grado di recepire stimoli provenienti dall'ambiente sia esterno che interno e li traducono in segnali elettrici che vanno o ad altri neuroni o innescano una risposta. I neuroni che raccolgono gli stimoli

sono detti **recettori** e spesso sono organizzati e raggruppati insieme ad altre cellule non neuronali in organi di senso. La risposta viene data da organi **effettori** che sono ghiandole e muscoli. Il neurone è formato da un corpo cellulare con dei prolungamenti che sono gli assoni, che ci sono sempre, e i dendriti che possono esserci, non esserci, possono essere molti o pochi. In generale i dendriti raccolgono gli stimoli dalla periferia verso il corpo e l'assone segue il processo contrario. In alcuni animali molto semplici c'è un'unica via con entrambe le direzioni, che non è una via efficiente. Spesso si riscontra la presenza di guaina mielinica per velocizzare il trasporto degli impulsi; inoltre dove si formeranno le sinapsi si ha una separazione tra le cellule che prende il nome di **spazio sinaptico**.

Il sistema nervoso primitivo è a **rete diffusa**, mancano cioè gangli in cui sono raccolti i corpi dei neuroni e negli *Cnidari* manca il senso unico di circolazione, in quanto l'impulso può viaggiare in entrambi i sensi. Gli *Cnidari* hanno anche una simmetria raggiata, cioè esistono più piani che passano attraverso l'asse centrale del corpo che dividono l'animale in metà speculari identiche. La loro simmetria raggiata è di tipo primaria, cioè tutte le fasi della vita dei loro organismi presentano questa simmetria e non deriva da antenati che avevano simmetria opposta. Gli echinodermi, invece, a cui appartengono animali come la stella marina o il riccio di mare, da adulti presentano una **simmetria pseudoraggiata** in quanto le larve presentano, poiché derivanti da antenati con simmetria bilaterale, tale simmetria. Questa simmetria, che è la più diffusa, manca solitamente in quegli animali che si trovano fissi al substrato.

Gli animali dotati di movimento hanno **simmetria bilaterale**, in quanto il corpo viene diviso da un piano sagittale mediano in due metà specularmente identiche, differendo tra la superficie ventrale e la dorsale; inoltre presentano degli organi di senso e aggregazioni di neuroni anteriori, vicini ai sensi di associazione che gli permette di recepire subito gli stimoli esterni. L'evoluzione del sistema nervoso negli animali è verso la direzione della cefalizzazione, centralizzazione e la bilateralità.

Abbiamo diversi casi di simmetria raggiata secondaria, legata al fatto che successivamente alcuni organismi hanno scoperto che fosse più utile rimanere fissi al substrato per procurarsi i nutrienti. Gli **organi di senso** possono essere di varia natura: tra gli insetti sono un esempio di **chemiorecettori** i sensivi. Alcuni, invece, sono **meccanorecettori**: essi presentano una pietruzza che poggia su alcune parti dell'epitelio, in modo da fornire informazioni relative all'equilibrio e all'orientamento. Si tratta di otoliti che premono su un gel. Altri meccanorecettori sono quelli che si trovano nei pesci e negli anfibi, i quali costituiscono una linea laterale che gli consentono di percepire le vibrazioni dell'acqua. Altri organi sono i **fotorecettori**, tra cui alghe fitoflagellate dotate di movimenti nonostante siano protisti autotrofi. Per tutti gli animali è necessario recepire la luce, per tanto si hanno occhi molto complessi e composti, come avviene nel caso degli insetti: più un animale è mobile, più i fotorecettori saranno complessi.

La **convergenza evolutiva**, od omoplasia, indica quelle strutture analoghe che non sono state tuttavia ereditate da antenati comuni. Infatti l'occhio dei cefalopodi assomiglia a quello degli anfibi o dei pesci in quanto è molto sviluppato.

Sostegno e movimento

Bisogna distinguere la locomozione, che è la capacità che un organismo ha di spostarsi da un luogo all'altro, dal movimento delle parti del corpo. Molti animali che rimangono attaccati al substrato, difatti, possono muovere ciglia o tentacoli: tutti gli animali sono capaci di movimento, non tutti di locomozione.

La locomozione può essere distinta in:

- Cammino o corsa
- Strisciamento
- Scavo
- Nuoto: tipico degli animali acquatici, i quali però possono anche camminare, strisciare o scavare in

quanto prevedono una locomozione non attaccata al substrato, pertanto non tutti gli animali marini nuotano

- **Volo**

La maggior parte degli animali si muove attraverso la contrazione di cellule muscolari che esercitano la loro forza su supporti costituiti da sistemi scheletrici diversi per natura e posizione. Altri animali utilizzano invece le ciglia per spostarsi: i *Platelminti*, tra cui la Planaria, si muove spostando le ciglia sul substrato. Infatti i protozoi utilizzano per la locomozione e per procurarsi cibo ciglia, flagelli e pseudopodi.

La contrazione muscolare e il movimento cigliare, e in parte il movimento ameboide, si realizzano mediante due strutture subcellulari facenti parte del citoscheletro:

- **Microtubuli:** sono responsabili del movimento di ciglia e flagelli, in quanto costituiscono la struttura dell'**assonema**, in comune tra esse. Ciglia e flagelli si distinguono per la lunghezza, numero (ciglia sono meno lunghe, i flagelli sono meno numerosi) e tipologia di movimento. I microtubuli sono collegati da altre proteine che consentono lo scivolamento e lo spostamento.
- **Microfilamenti:** sono da actina che, nelle cellule muscolari, interagisce con la miosina. L'actina sembra avere la forma di due fila di perle intrecciate; lo scorrimento accorcia il sarcomero e la fibra muscolare.

Entrambi sono costituiti da proteine globulari organizzate in microfilamenti: il fatto di potersi attaccare e staccare le rende adeguate alla realizzazione di queste contrazioni.

Anche il movimento **ameboide**, tipico di protozoi, e l'emissione di pseudopodi comunque sembra che traggano parzialmente origine dal coinvolgimento di microfilamenti di actina. Infatti il movimento ameboide si realizza per lo scorrimento di filamenti di actina e per una variazione della consistenza del citoplasma superficiale (**ectoplasma**) e più profondo (**endoplasma**).

Il movimento comporta il consumo di ATP, esso comporta l'interazione attiva di componenti del citoscheletro.

La cuticola è considerata una sorta di scheletro esterno negli artropodi. Il sistema scheletrico recepisce la contrazione del muscolo con un sistema diffuso di leve meccaniche. Molti animali che non hanno uno scheletro rigido, inoltre, possiedono un microscheletro.

Scheletro idrostatico, esoscheletro e endoscheletro sono le tre categorie dell'insieme scheletrico. Un Nematode presenta lo pseudoceloma ricolmo di liquido e non delimitato da pareti mesodermiche. Il liquido è a pressione e se non ci fosse una cuticola esterna inestensibile esso scoppierebbe. I nematodi hanno inoltre movimento ondulatorio, in quanto contraggono i muscoli dorsali destri e sinistri ventrali in maniera alternata. Tutto ciò è possibile in quanto la contrazione ha un riscontro sulla pressione del liquido, mantenuta compatta dalla cuticola. Come gli artropodi anche i nematodi quando devono accrescersi compiono la **muta**, perdendo la vecchia cuticola e facendone una nuova. Essendo inestensibile non li accompagna nella crescita. I lombrichi invece possiedono un celoma con pareti mesodermiche proprie (sono celomati metamerici); il celoma non è solo necessario per la distribuzione, ma anche come scheletro idrostatico metameroico, ovvero presenta delle sacchettine su cui la muscolatura interviene cambiando la forma di alcuni segmenti in un modo e in un altro. I lombrichi sono i rappresentanti più famosi degli anellidi policheti, si muovono difatti con un movimento di tipo peristaltico. Vivono infossati nel terreno e per muoversi i primi quattro segmenti della zona cefalica anteriore (detti metali) si contraggono e poi si allungano. Hanno due tratti muscolari continui: uno circolare e uno longitudinale.

Gli **esoscheletri** si formano sulla superficie esterna del corpo come prodotti dell'epitelio. Classico esempio è la cuticola, strato protetto dall'epidermide di tipo proteico, in quanto contiene cutina: essa è rigida e copre tutta la superficie, comprese le appendici, con azione fondamentalmente di protezione grazie alla quale è stata possibile la colonizzazione dell'ambiente terrestre. Gli artropodi acquatici hanno inoltre lo scheletro impregnato di sali calcio, reso impermeabile dopo aver deposto uno strato di cera su di esso. Questa evita la disidratazione e offre anche una protezione a muscoli e dai predatori. I muscoli si impiantano su alcuni ispessimenti interni all'esoscheletro e contraendosi fanno muovere i singoli segmenti. Le appendici possono essere costituite sino ad 8 segmenti, per tanto sono più

mobili rispetto al tronco e sono costituiti da tanti pezzetti in modo da realizzare movimenti più raffinati: per questo motivo lo scheletro presenta porzioni più sottili.

Poiché non è possibile l'accrescimento si assiste al fenomeno della muta o ecdisi, durante la quale si stacca la vecchia e si forma la nuova, infatti è necessario che i tessuti di senso abbiano rapporti con l'ambiente esterno, in quanto se si è corazzati è impossibile vedere e percepire qualcosa.

L'**endoscheletro** è quello che si riscontra negli *Echinodermi*, dove prende il nome di **teca**, sebbene non sia esterno: esso, tuttavia, non ha origine dall'epitelio ma bensì dal tessuto connettivo. Non tutti gli echinodermi, inoltre, ne sono provvisti. Le conchiglie dei molluschi sono esoscheletri in quanto prodotti dall'epitelio dorsale, detto **mantello**. Anche gli *Cnidari* ne hanno uno in modo da poter rimanere dritti. Molti di questi sono prodotti dalla mesoglea, altri dall'epiderma. Negli *Cnidari* lo scheletro esterno è endoscheletro, quello interno esoscheletro. Bisogna difatti ricordare da dove questi due scheletri hanno origine, l'endoscheletro dal tessuto interno mentre l'esoscheletro dall'epidermide.

La colonia dei polipi e i pezzi interconnessi possono ripopolare tutto lo scheletro, generato dall'epitelio, ma collocato all'interno delle parti viventi.

I *Poriferi* hanno strutture diverse, tra cui le spicole silicee o calcaree e un reticolo discontinuo. La **spongina** è una proteina tipica delle spugne: quando hanno solo le fibre di spongina sono quelle spugne utilizzate per lavare i neonati, estremamente morbido se bagnato.

Gli endoscheletri possono essere costituiti da materiale extracellulare inorganico od organico, in quanto possono essere prodotti dal tessuto connettivo.

Gli **idroscheletri** sono invece le cavità o eventuali spazi ripieni di fluidi interni, tra cui mesoglea e parenchima, che possono dare forma al corpo di un animale. Lo hanno animali come l'*Hydra* o l'*Attinia*. Ricapitolando possiamo affermare che gli scheletri rigidi possono essere **esoscheletri** di natura epidermide, **endoscheletri** con materiale extracellulare sia organico che inorganico e sono prodotti dai connettivi che stanno nella matrice; idroscheletri, cavità del corpo ripieni di fluidi interni che danno forma al corpo dell'animale.

Riproduzione

Un essere vivente si definisce tale per la sua capacità di riprodursi, una delle essenze degli organismi viventi. I virus, infatti, sono considerati viventi sebbene abbiano bisogno di strutture cellulari degli ospiti, in quanto sono capaci di riprodursi. La riproduzione è necessaria per la sopravvivenza di una specie nel tempo, nonostante esista l'estinzione per quelle specie che non hanno buone capacità di

riprodursi. I meccanismi dell'evoluzione si basano sulle capacità riproduttive e alcune caratteristiche si affermano solo se gli individui che le presentano riescono a riprodursi meglio.

Tutti gli individui di una specie, attraverso i processi riproduttivi, generano nuovi individui con caratteristiche ereditarie simili ma non identiche alle proprie: la nuova generazione sostituirà la vecchia, in quanto la vita contiene in sé la morte. La riproduzione, difatti, non è responsabile solo della nascita di una nuova generazione, permettendo che la specie si mantenga nel tempo, ma è anche lo strumento con cui gli organismi si diversificano, in molti casi, e quindi possono evolversi, cambiare e adattarsi ai cambiamenti del loro ambiente esterno.

Alcuni meccanismi riproduttivi sono tali che i figli siano identici ai genitori: questo avviene tramite riproduzione **agamica** o **asessuale**, ovvero priva di gameti. Esse, cioè, prendono origine da cellule somatiche. Nella maggior parte degli animali, infatti, precocemente si genereranno due linee cellulari, una che darà vita alle cellule somatiche, una che invece genererà i gameti. Questo tipo di riproduzione è tipico di tutti gli organismi unicellulari, come batteri, archea o protozoi.

Sesso non significa riproduzione ma ricombinazione genica.

I procarioti hanno una sola molecola di DNA, i protisti invece essendo eucarioti hanno più molecole di DNA, ognuna corrispondente ad un cromosoma, pertanto è necessaria la mitosi per garantire una copia di ogni gene ad ogni figlio. I figli sono identici tra di loro. L'unica riproduzione dei protisti è la mitosi, che avviene per **scissione binaria** o **multipla**, in quanto sono eucarioti: tuttavia le modalità e i vari passaggi sono differenti. I figli identici ai genitori che si generano da questa riproduzione prendono il nome di **cloni**. Solo gli animali che vivono in ambiente acquatico e hanno cellule indifferenziate o staminali sono capaci di questa riproduzione.

La spinta ai fenomeni della sessualità è legata alla ricombinazione, fra individui diversi, i propri alleli. Non esiste una specie animale che non faccia almeno uno dei meccanismi sessuali di riproduzione che conosciamo in cui sono coinvolti gli alleli: si considera **allele** un gene che è stato modificato che ha origine per mutazione. Quando due mutazioni favorevoli sono combinate insieme, se non si ha il passaggio di materiale genetico fra un individuo e l'altro o nella formazione della prole, tutte le modifiche che si possono osservare nell'evoluzione non ci sarebbero state, in quanto è necessario ricombinare e mettere insieme le mutazioni di diversi individui. Nel caso della maggior parte degli organismi lo scambio di materiale genetico avviene nel momento della riproduzione, mentre nei procarioti e nei protisti non avviene così. Ogni tanto anche i *Parameci* detti coniuganti, dopo essersi riconosciuti, attaccano dei citostomi (bocca della cellula) in cui manca il rivestimento ad un altro individuo, per formare dei ponti di citoplasma ed effettuare lo scambio di materiale genetico.

La riproduzione **sessuale** è una riproduzione in cui i nuovi individui traggono origine da cellule specializzate dei genitori, generalmente aploidi, dette **gameti**, per cui la riproduzione è detta **sessuale** o **gamica**.

L'**anfigonia** è il tipo di riproduzione sessuale più diffusa negli animali, detta anche *biparentale*, in essa si ha la fusione dei due gameti, uovo e spermatozoo. Nella maggior parte dei casi gli individui che producono i 2 gameti appartengono a sessi diversi, i maschi che producono spermatozoi e le femmine che producono le cellule uovo; i gameti vengono maturati e prodotti nelle gonadi. Questa condizione di sessualità con due sessi diversi, maschio o femmina più o meno riconoscibili, viene chiamata **gonocorismo**. Però non è l'unica condizione possibile, difatti esistono individui che nel corso della loro vita, se prima, in simultaneità, o dopo – con tutte le possibili varianti – maturano sia spermatozoi sia cellule uovo: tale condizione è chiamata **ermafroditismo**. Quest'ultimo, in tal caso, non è un'anomalia sessuale, infatti è molto diffusa, ma è una condizione di quella determinata specie che la sviluppa e ha i suoi vantaggi. L'ermafroditismo è possibile spesso grazie alla presenza di una sola gonade che prende il nome di **ovo testis**, ma possono anche prima maturare le gonadi femminili e poi quelle maschili o viceversa. Non si tratta di un tipo di riproduzione, in quanto un ermafrodita può nascere e morire vergine, ma una distribuzione del sesso nella specie, ossia una caratteristica che riguarda la distribuzione delle gonadi. Tutti i *Platelminti* sono ermafroditi.

I gameti hanno in comune il fatto di subire la meiosi, in quanto aploidi, in modo che quando si uniscono ristabiliscono il numero corretto del corredo cromosomico di una specie. I processi di

maturazione dei gameti, però, sono diversi.

Nella **spermatogenesi** avviene subito e in seguito ad essa la **spermioistogenesi**, che comporta la differenziazione e la specializzazione delle cellule, in quanto le cellule gametiche si sono divise i compiti in maniera incredibile. Gli spermatozoi perdono la maggior parte del citoplasma, concentrando il materiale nucleare e lasciano una vescicola del Golgi che prende il nome di **acrosoma**, ricco di enzimi e posizionato dinnanzi al nucleo. Inoltre essi presentano un flagello necessario per il movimento per raggiungere la cellula uovo, grazie alla sua struttura assonemica e ad un manicotto di mitocondri che fornisce energia. La differenziazione citologica avviene alla fine della meiosi. Una grande differenza è che gli spermatozoi vengono prodotti in grandi quantità e per tutta la vita.

Le cellule uovo, invece, vengono prodotte una al mese e ad un certo punto cessano di essere prodotte: sono difatti definite nel numero. L'**ovogenesi** presenta invece degli stop, infatti nelle donne la divisione meiotica comincia all'età di 9/10 anni e finisce quando si ha l'ultima ovulazione, pertanto dura circa 40 anni. Questa interruzione della divisione serve a produrre del citoplasma particolare, perché la cellula non solo eredita il citoplasma dell'ovogonio, che è la cellula capostipite, ma produce tutta una serie di sostanze che servono a controllare le prime fasi dello sviluppo, per cui la prima fase dello sviluppo embrionale è sotto controllo dai geni della femmina. Nel passaggio da ovogonio ad oocita di primo ordine si ha un aumento di dimensioni in quanto nella cellula si accumula più citoplasma ricco di sostanze nutrienti. Queste sostanze, che prendono il nome di sostanze organo-cromatide, sono proteine e RNA messaggeri impacchettati e pronti ad entrare in azione subito dopo la formazione dello zigote, necessarie per le prime fasi dello sviluppo in cui non avviene la sintesi. Da tutto ciò si deduce che il genoma materno ha più influenza sull'embrione rispetto a quello paterno. Alla prima divisione meiotica i cromosomi sono divisi in maniera imparziale e il citoplasma no, difatti una sola delle cellule sorelle lo prende, l'altra ne rimane privata per evitare dispersione: si ha la formazione di un **globulo polare**, destinato alla degenerazione. Durante la seconda divisione meiotica, quando si ha la divisione dei cromatidi, tutto il citoplasma verrà concentrato in una sola cellula. Inoltre i globuli polari possono dividersi a loro volta, ma solo una delle quattro cellule avrà la possibilità di essere fecondata. Il **vitello** o tuorlo è l'accumulo di materiale, sostanze di riserva per il nutrimento dell'embrione nelle prime fasi in cui non si è ancora formata la placenta.

La fecondazione avviene nel momento in cui lo spermatozoo si fonde con una cellula uovo, il risultato è una cellula che prende il nome di **zigote**, il quale ristabilisce la diploidia tipica della specie. Attraverso la ricombinazione dei cromosomi sessuali del corredo si ha una modalità di determinazione del sesso, sebbene non avvenga sempre così. La cellula uovo è altamente specializzata, possiede una membrana plasmatica, uno strato chiamato **membrana vitellina** e uno strato gelatinoso con funzione di protezione. Lo **strato vitellino** presenta una serie di palline esterne, i recettori, molecole adibite al riconoscimento, e granuli corticali. Lo spermatozoo invece ha pochissimo citoplasma, presenta l'acrosoma che si origina dall'apparato del Golgi, colmo di sostanze per sciogliere lo strato gelatinoso di protezione della cellula uovo. Lo strato giallo di rivestimento delle cellule uovo è costituito da sostanze che attraggono gli spermatozoi, come magneti, seppur sia necessaria una distanza minima. La testa dello spermatozoo entra a contatto con lo strato gelatinoso, rilascia enzimi litici e si fa strada, disciogliendo lo strato di protezione. Dietro l'acrosoma, che non è riscontrabile in tutte le specie, si accumulano molecole di actina globulari, che si polimerizzano formando un **processo acrosomiale**. Tale processo ha lo scopo di penetrare meglio lo strato gelatinoso ed esporre la parete interna della vescicola cromosomiale dove ci sono molecole che devono fare il sistema chiave-serratura con le molecole recettore: se viene riconosciuta, si fondono le due membrane plasmatiche. Se non avviene il riconoscimento entra in gioco la **barriera riproduttiva**, che si interpone tra specie diversi.

Appena il nucleo dello spermatozoo penetra si ha la reazione dell'uovo che prende il nome di **reazione corticale**, durante la quale si depolarizza la membrana dell'uovo che riversa il suo contenuto nello spazio tra la membrana plasmatica dell'uovo e lo strato vitellino. Fra le altre cose che la cellula uovo ha preparato durante l'ovogenesi vi sono anche questi granuli corticali. Questi ultimi quando avviene la prima fusione riversano il loro contenuto fuori dalla membrana plasmatica tramite un meccanismo di

esocitosi, cioè i granuli, che sono delle vescicole piene di sostanze, vanno a fondersi e allargano lo spazio fra la membrana plasmatica e quello che è rimasto fuori, costituendo la cosiddetta **membrana di fecondazione**. La membrana di fecondazione è tutta una zona trasparente che allontana gli spermatozoi, è una barriera riproduttiva prezigotica. Tale barriera cambia inoltre la permeabilità e la possibilità di legarsi con altri spermatozoi. Quando il nucleo dello spermatozoo raggiunge quello della cellula uovo avviene l'**anfimissi**, ossia la fecondazione vera e propria: formazione di un unico nucleo diploide dalla fusione del nucleo materno e quello paterno.

Nello zigote avviene la ricombinazione genetica, infatti questo avrà i geni composti dalla versione dello spermatozoo e quella dell'uovo. I gameti hanno subito entrambi la meiosi e durante questa si riscontrano due momenti importantissimi di **ricombinazione genica**: l'assortimento indipendente durante la disposizione sulla piastra equatoriale e il crossing-over, che ha luogo durante la fase del pachitene.

Con l'anfigonia i momenti fondamentali di ricombinazione genica sono: **fecondazione, crossing-over ed assortimento indipendente**.

La **variabilità genica** serve a garantire che al variare delle condizioni ambientali vi sia qualcuno che riesca a sopravvivere.

Il lombrico è un esempio di **ermafroditismo**, in quanto producono sia gameti maschili che femminili: prendono il nome di **proterandri** in quanto prima avviene la maturazione dei testicoli, in un determinato periodo dell'anno uguale per tutti gli organismi di tale specie. I lombrichi, infatti, vivono infossati nella terra da cui ricavano il materiale organico: in queste condizioni le probabilità di incontrare un altro della stessa specie e di sesso opposto sono relativamente basse. Durante la stagione in cui hanno maturato gli spermatozoi, se più esemplari si incontrano scambiano i gameti maschili e conservano quelli di altri individui nei **ricettacoli seminali**. Quando avviene la maturazione delle gonadi femminili le uova vengono rilasciate nel **climeno**, un manicotto mucoso ispessito dal tegumento per la presenza di ghiandole. Tale manicotto scorre dapprima davanti l'apertura genitale femminile, dove vengono rilasciate le uova, poi passa davanti i ricettacoli ricevendo gli spermatozoi di altri individui e consentendo così la fecondazione: è all'interno tale manicotto che si ha la formazione di un embrione. I lombrichi rappresentano inoltre il massimo esempio di metameria, in quanto abbiamo una serie di strutture tipiche, tra cui metamerica è anche la cavità celomatica. La metameria è anche responsabile del movimento, il quale si realizza attraverso la contrazione alternata della muscolatura longitudinale e circolare allo stesso modo in cui noi facciamo procedere il contenuto intestinale, in un cambiamento di forma. Le gonadi maschili e femminili, nel lombrico, non sono però del tutto metameriche in quanto si trovano su segmenti differenti.

In linea generale, poiché la maggior parte degli animali ermafroditi ha la necessità di non autofecondarsi per garantirsi la ricombinazione, essi eviteranno accuratamente tale possibilità. Nella maggior parte dei casi, tranne in alcune eccezioni, le aperture genitali sono incompatibili tra di loro: per questo gli ermafroditi non fanno quasi mai l'inseminazione esterna, e se questa avviene sarà interna. Inoltre le aperture genitali sono tra di loro incompatibili e spesso lontane, in modo da abbassare ulteriormente le probabilità di autofecondazione. Altro modo per evitare questa cosa è la maturazione sfasata temporalmente: prima maturano i maschi e poi le femmine, a distanza di giorni, settimane o mesi. Il fatto di essere appiccicati testa e coda fa sì che ognuno secerna più muco in modo da formare un canale attraverso cui gli spermatozoi possano raggiungere l'altro individuo e non raggiungere i propri ricettacoli seminicoli. I gameti non solo sono diversi da un individuo e l'altro, ma tramite la meiosi sono differenti anche tra individuo e individuo, in modo da garantirsi il massimo della ricombinazione genetica. Un piccolo quantitativo di autofecondazione non è rilevante, in quanto è importante che ci sia un importante contributo da parte degli altri individui.

L'ermafroditismo non è dunque un meccanismo riproduttivo ma una condizione di sessualità che si contrappone al gonocorismo. Un esemplare gonocorico e uno ermafrodita può, difatti, nascere e morire vergini. Le specie ermafrodite proprio perché possono maturare gameti sia maschili che femminili, durante il corso della vita, si riproducono per anfigonia. Le specie anfigoniche possono dunque avere condizione gonocorica o ermafrodita. L'ermafroditismo comporta vantaggi in quanto

almeno per una parte della vita tutti gli individui possono produrre uova e quindi figli; due individui qualunque, infatti, incontrandosi possono riprodursi tramite lo scambio di gameti maturati precedentemente. Tendenzialmente si conservano gli spermatozoi.

In teoria può avvenire l'autofecondazione e viene chiamato **ermafroditismo sufficiente**, anche se è raro in quanto riduce la variabilità genetica. Un esempio sono i *Platelminti* parassiti come le tenie: esse si trovano nell'intestino degli ospiti, mentre i cestodi sono i più sviluppati e vivono immersi nel tubo digerente, dotati di microvilli sulla loro superficie e di un tegumento che compete con l'assorbimento. Il loro scopo è quello di produrre numerosi parassiti figli al fine di colonizzare altri intestini. Hanno cicli complessi, e per riuscire a mantenere intatta la generazione hanno una proliferazione elevata. Sebbene questi appaiano come esempi di metameria, si tratta solamente di individui specializzati con tegumento e apparato riproduttivo. L'ermafroditismo è di tipo **simultaneo** quando i gameti femminili e maschili vengono prodotti nello stesso momento, mentre **sequenziale** se maturano in tempi diversi e sfasati tra di loro. Un'unica gonade prende il nome ovo testis, che può produrre entrambi i gameti.

Si parla di **proterandria** quando maturano prima gli spermi, mentre di **proteroginia** quando maturano prima le uova.

Affinché avvenga la fecondazione, ossia la fusione di uno spermatozoo con una cellula uovo, è necessario che i gameti vengano messi vicini tra di loro. L'**inseminazione** è l'atto di mettere i gameti in prossimità l'uno dell'altro, propedeutico per la fecondazione. Essa può essere:

- **Esterna:** è quella di quasi tutti gli animali acquatici, ed è la modalità più primitiva. I gameti vengono immessi nell'ambiente esterno, come nel caso di meduse, pesci ossei, ricci di mare o molluschi bivalvi. In questo caso si ha un'emissione in gran numero di gameti, poiché molti di questi andranno perduti, ma si realizzano molti meccanismi per favorirne l'incontro. Tra questi la sincronizzazione della maturità sessuale, la concentrazione di molti individui nello stesso luogo durante il periodo riproduttivo. In alcuni casi inoltre le specie sfruttano le correnti marine per il trasporto dei gameti. L'inseminazione degli Anfibi, ad esempio, avviene a stretto contatto tra gli esemplari ed è molto controllata, sebbene avvenga all'esterno, in quanto quando la femmina comincia a produrre uova l'esemplare maschio deporrà su di esse gli spermatozoi.
- **Interna:** è l'unica fattibile per gli animali terrestri, in quanto i gameti all'esterno si disseccherebbero immediatamente, ma può avere luogo anche in ambiente acquatico, come avviene negli squali, nelle balene o nei mammiferi marini come i delfini. I gameti maschili vengono immessi direttamente all'interno delle vie genitali femminili, in modo da evitare la dispersione dei gameti che vengono prodotti in numero minore. Questa modalità di inseminazione viene favorita da alcune specie marine in quanto è la più vantaggiosa e consente un maggiore risparmio. Questa inseminazione avviene mediante l'atto della **copula** e necessita di apparati genitali complessi: la vagina negli individui femminili e il pene in quelli maschili, tutti forniti di organi per accumulo dei gameti.

Gli spermi possono essere immessi in un liquido seminale o in sacchetti detti **spermatòfore**. Nel ragno, ad esempio, le spermatofore contengono quattro spermatozoi. Per garantire l'accoppiamento gli animali attuano complessi comportamenti che prevedono il **corteggiamento** o eventuali **segnali di richiamo** (suoni, colori, odori, ormoni, luci).

Una volta fecondate internamente nelle vie genitali femminili, le uova possono essere deposte all'esterno (ovipari come galline o tacchini) sebbene vengano fecondate nelle vie genitali femminili, in seguito al quale processo si ha la formazione di un guscio. Possono inoltre svilupparsi nelle vie genitali femminili, come nel caso dei vivipari e in particolare nei Mammiferi, dove rimangono per periodi diversi.

Dimorfismo sessuale

Nelle specie a sessi separati il maschio e la femmina possono essere simili morfologicamente e differire solamente per le gonadi, tramite analisi istologica in quanto non presentano caratteri esterni, oppure possono essere diversi morfologicamente per qualche carattere: in quest'ultimo caso si parla

di dimorfismo sessuale.

Solo le gonadi sono caratteri sessuali principali, qualora vi siano anche caratteri sessuali **secondari** si parla di dimorfismo sessuale, ad esempio l'uomo, il cervo, o il gallo. Molti di questi caratteri secondari si sono sviluppati in seguito alla selezione sessuale.

Il dimorfismo può essere utile nella divisione dei ruoli e delle funzioni dei due sessi, facilitando inoltre il riconoscimento e l'incontro di sessi per l'accoppiamento. I caratteri secondari nell'uomo sono:

- Organi copulatori;
- Ghiandole mammarie funzionali tipiche del sesso femminile;
- Pelosità;
- Larghezza del bacino legata alla possibilità di far fuoriuscire il bambino durante il parto;
- Larghezza di spalle e muscolatura;
- Pannicolo adiposo;
- Resistenza al dolore fisico, come avviene nel caso delle mestruazioni.

I caratteri sessuali secondari possono essere espressione diretta dei geni presenti negli eterocromosomi o essere influenzati da ormoni sessuali, come nel caso dei vertebrati.

Si definisce **ginandromorfo** un organismo in cui il sesso non è stato definito. Se i caratteri sessuali vengono determinati dai geni si parla di ginandromorfo, mentre se si tratta di caratteri determinati dagli ormoni si parla di **intersesso**. Esso può essere a mosaico se si esprime in diverse parti del corpo in maniera diversa, ad esempio negli insetti.

La determinazione del sesso è complessa, nella genotipica si hanno difatti situazioni diverse. Si prevede principalmente l'eterocromia dei cromosomi **XY**. Sembra che in condizioni particolari del liquido vaginale si possono avere individui maschi o femmine, selezionando alcuni spermatozoi piuttosto che altri che portano un contributo genetico ben preciso (AX o AY). L'**eterogametia maschile** (XY) è dovuta ad un fattore di mascolinità sul cromosoma Y. In altri casi in base ai fattori che si trovano sulla X si possono stabilire individui maschi o femmine. La diversità di determinazione del sesso fa sì che eventuali animali cromosomiche in un gruppo o in un altro causino delle conseguenze diverse. Esistono degli esemplari, come alcune farfalle o uccelli, in cui il sesso digametico e da cui dipende il sesso dello zigote è la femmina: si parla di eterogametia o digametia femminile (ZW). Pertanto la determinazione genotipica può essere di tipo XY, ZW o anodiploide (se l'individuo sarà diploide o aploide sarà maschio o femmina)

La diversità di determinazione del sesso risiede nelle modalità di controllo il sesso: tale controllo può avvenire anche tramite fattori ambientali, come nel caso della *Bonellia Viridis*, un echinuro con forte dimorfismo sessuale. Se la larva si trova in un ambiente in cui non vi sono altri individui, essa si sviluppa in femmina al di là di come si presenta il genotipo, mentre se si trova in presenza di un individuo femmina si sviluppa come maschio. Altro esempio è quello dei rettili, che dipende dalla temperatura, in base alla quale si sviluppano esemplari maschi o femmine. Questo è un altro caso di determinazione ambientale del sesso. Le tartarughe marine invece a seconda della spiaggia in cui depongono le uova e della temperatura in cui le uova si sviluppano.

Partenogenesi

Si definisce **partenogenesi** la capacità della cellula uovo di svilupparsi senza essere fecondata.

Questo avviene in quanto la cellula uovo, di per sé pronta, non ha bisogno di essere attivata. Ciò ha luogo ad esempio nei tacchini, sebbene a lungo andare non sia favorevole in quanto si perde la variabilità genetica, però molte specie ricorrono a questa capacità in maniera periodica. Si definisce **eterogonia** l'alternanza di riproduzione per partenogenesi a quella per anfignonia.

La partenogenesi è una riproduzione sessuale, in quanto il nuovo organismo ha origine da un gamete. I vantaggi sono:

- Maggiore produttività in quanto sono tutte femmine; essa si alterna all'anfignonia e aumentano così la produttività.

Tra gli svantaggi invece:

- Mancanza di ricombinazione genetica.

Per queste ragioni le specie esclusivamente partenogenetiche sono molto rare. Le uova durante la meiosi ricostituiscono l'organismo diploide in vari modi: tramite il raddoppiamento pre-meiotico, fusione con un globulo polare. In tutti questi casi si ha un minimo di ricombinazione, anche se il risultato non è il massimo. Si parla di partenogenesi apolitica: in queste manca la prima divisione meiotica.

La partenogenesi può essere una modalità riproduttiva geneticamente fissata in una specie, ma può anche risultare **obbligatoria, facoltativa o geografica**. Si può trattare anche di un evento saltuario, in questo caso prende il nome di partenogenesi **occasionale o accidentale**.

La *Philodina Roseola* è un rotifero bdelloideo, il quale presenta due ruote di ciglia con cui si creano le correnti d'acqua per il nutrimento. È l'unico gruppo di animali che da millenni si riproduce solo per partenogenesi: essi difatti danno origine solo a individui femmine e durante questi cicli la produzione di organismi è elevata. Se vengono prodotti organismi solo femminili si parla di partenogenesi **telitoca**, mentre se sono solo maschi si definisce partenogenesi **arrenotoca**. Le proli possono essere di entrambi i sessi: quando questi si alternano si ha la partenogenesi **deuterotoca**.

L'*Artemia Salina* è un piccolo crostaceo che presenta un ciclo complesso in cui si riscontrano delle cisti dormienti: quando ci sono degli ambienti sfavorevoli si formano queste pareti cistiche per attendere che le condizioni cambino ritornando nuovamente favorevoli. Essa presenta una popolazione partenogenetica e altre anfigoniche. L'*Artemia Salina* è inoltre un ottimo organismo per l'individuazione di una sostanza tossica. Questi organismi presentano inoltre una **partenogenesi di tipo geografica**: vi sono organismi maschi e femmine e sono ottimi regolatori iperosmotici in quanto si trovano in pozze d'acqua molto salate.

Nelle api si ha una **partenogenesi facoltativa**: sono popolazioni altamente sociali, con comportamenti complessi ed una eccezionale capacità di comunicazione. Questa partenogenesi è facoltativa in quanto l'unica che si riproduce è l'ape regina: non è geneticamente diversa dalle operaie, ma è l'unica feconda che produce uova mature, in quanto già da larva viene nutrita con pappa reale. L'ape regina, una volta maturata, esce dall'alveare e compie il "volo nuziale", seguita da un gruppo di maschi. Essa conserva gli spermatozoi dei vari individui maschili con cui si unisce, per tale ragione questo volo rappresenta una raccolta di spermatozoi, all'interno di ricettacoli seminali. Di ritorno all'alveare la regina depone le uova in delle cellette, di dimensioni diverse, che strizzano o meno il suo corpo: se sono più strizzate usciranno contemporaneamente gli spermatozoi e si avrà un uovo fecondato, da cui originerà una femmina diploide, mentre quelle non fecondate si svilupperanno per partenogenesi dando origine ai fuchi aploidi. Le operaie che si sviluppano dalle uova fecondate svolgono una serie di attività in base all'età: costruiscono e puliscono le celle, vanno in esplorazione alla ricerca di una fioritura, informando le altre tramite una danza. A seconda di come si orientano tra i raggi solari e l'asse terrestre, le altre api capiscono se vi è un campo fiorito. Nell'ultima fase della loro vita, invece, fanno le bottinatrici. Sono i fuchi a fecondare le regine. La determinazione del sesso passa dunque attraverso aploidia e diploidia.

La *Fillossera della vite* è un insetto afide parassita che si riproduce in grandi quantità solo in individui femminili, sterminando durante le epidemie la maggior parte degli alberi di vite. I maschi compaiono solamente in una stagione alla fine dell'estate, fecondando le uova dette "di inverno" che si schiudono, tra la primavera e l'estate, dando vita ad altri individui femminili: si tratta di **partenogenesi deuterotoca**.

In seguito a stimoli come l'abbassamento delle temperature o i cambiamenti stagionali la femmina subirà la meiosi da cui trarranno origine uova non fecondate e individui maschi.

La riproduzione è quell'evento per cui si fanno figli, mentre per ricombinazione si intende il mescolamento del patrimonio ereditario. Nei Metazoi l'anfigonia garantisce l'aumento e la ricombinazione, ma non è tipico di tutti gli organismi.

La riproduzione nei metazoi prende il nome di **asessuale** quando i nuovi individui hanno origine da cellule somatiche e non gametiche. Al di là di mutazioni per errore i figli sono identici tra loro e con la cellula madre. Tra le varie modalità di riproduzione asessuale abbiamo:

- **Scissione o frammentazione** del corpo: il corpo del generante si scinde in due parti e ogni parte

riproduce quella mancante. È possibile ciò solamente se l'organismo è poco differenziato o ricco di cellule staminali. Questo meccanismo si riscontra nei *Platelminti turbellari*, tra cui la Planaria, o negli *Cnidari* come l'Attinia. Quest'ultimi utilizzano la scissione in tantissimi modi: allo stato larvale di alcune meduse, ad esempio, si dividono trasversalmente. La forma larvale si setta e con un processo di **strobilazione** si moltiplica a partire dalla larva. Lo **scifistoma**, è lo stadio larvale di alcune meduse che presentano come larva un polipo e come adulto le meduse. Esso è il risultato dell'atto di fecondazione di un uovo da parte di uno spermio. Le meduse figlie prenderanno il nome di **efire**, che poi diverranno adulte.

- **Gemmazione:** tipica nell'Hydra, un gruppetto di cellule da origine ad un polipetto più piccolo che si accresce man mano, staccandosi poi dalla madre. In alcuni casi non si staccano e formano delle colonie che talvolta possono essere altamente polimorfe e si pensa ad un solo individuo e non un insieme. La riproduzione **asessuale** si realizza in animali poco differenziati e che vivono in acqua: *Poriferi, Cnidari, Platelminti, Echinodermi*.

La **metagenesi** è l'alternanza di anfigonia e riproduzione asessuale.

La **pedogenesi** è la riproduzione anfigonia che può avvenire allo stato larvale o giovanile, come avviene negli anfibi caudati o tritoni.

La **neotenia** indica una specie che matura sessualmente prima di aver maturato l'accrescimento, come avviene nel caso dell'uomo.

Riproduzione nei protozoi

Abbiamo detto che i **protozoi** sono protisti eucarioti fondamentalmente unicellulari ed eterotrofi, nella maggior parte dei casi, anche se vi sono organismi che riescono a svolgere funzione autotrofa. La classificazione dei protozoi cambia in continuazione in quanto sono organismi che nei tempi passati erano poco studiati e si supponevano appartenere ad un unico Phylum, mentre adesso si è a conoscenza di una grande quantità di regni diversi: la classificazione, pertanto, è estremamente complessa e variabile. Qualsiasi classificazione subisce infatti variazioni, in quanto è uno strumento per fare ordine e ricostruire i rapporti di parentela; ogni dato che si aggiunge alla conoscenza degli organismi fa sì che noi la rivediamo, ma mentre quella degli artropodi, dei cordati o dei vertebrati ha una certa stabilità, quella dei protisti in questo momento è abbastanza instabile. Pertanto utilizzeremo il vecchio schema classificatorio, il più utilizzato e comune, consapevoli che esso dovrebbe essere aggiornato. Possiamo classificare i protozoi in:

- **Flagellati:** sono i più basali e primitivi, presentano un flagello adibito al movimento.
- **Sarcodina:** sono caratterizzati dall'assenza di pellicola, che è un ispessimento extra o intramembranoso della membrana plasmatica che conferisce una certa stabilità. Essi hanno la forma del corpo estremamente variabile e in qualsiasi parte della superficie del corpo cellulare possono produrre **pseudopodi** simili a quelli di un'ameba. Gli pseudopodi possono essere tozzi o filiformi, come quelli dei *Foraminiferi*, i quali presentano dei gusci calcarei bucherellati da cui fuoriescono gli pseudopodi. Quando questi muoiono i gusci si depositano e si formano rocce sedimentarie. Se i gusci sono costituiti da molte camere prendono il nome di *Politalamici*.
- **Apicomplexa o Sporozoi:** un esempio è il *Plasmodium*, un agente eziologico della malaria.
- **Ciliati:** sono caratterizzata dalla presenza di ciglia, che presentano la stessa struttura del flagello ma sono più numerose e coordinate nel movimento. È vero anche che esistono ciliati con il corpo rivestito uniformemente da ciglia e altri che invece riducono la cigliatura alla zona attorno al citostoma, creando degli strumenti dette membranelle per raccogliere il cibo tramite correnti d'acqua quando sono fissi al substrato; altri ciliati presentano dei ciuffi di ciglia

organizzati sulla superficie ventrale utilizzate come zampette. Le ciglia possono essere diffuse in tutto il corpo, a creare delle strutture che prendono il nome di membranelle o organizzate in ciuffetti per il movimento di cammino.

I protozoi, essendo organismi unicellulari, distinguono riproduzione e sesso, in quanto non esiste un meccanismo come l'anfigonia in grado di garantire al contempo la ricombinazione e la produzione di figli. La prima avviene tramite un meccanismo di mitosi, mentre la sessualità non prevede la formazione di figli ma solo lo scambio di materiale genetico. La moltiplicazione degli individui si realizza sempre tramite mitosi, il meccanismo più conservativo che garantisce alle cellule figlie di avere tutti i geni dei genitori, assolutamente asessuale. I meccanismi di ricombinazione genetica, e quindi di sessualità in generale, non comportano immediatamente un aumento del numero di individui, ma succede subito dopo se subentra la meiosi.

Mitosi

La mitosi che fanno i protozoi solo raramente è simile a quella degli eucarioti pluricellulari. Abbiamo infatti una serie di mitosi diverse, in cui per esempio l'involucro nucleare non si disgrega, mentre il fuso può formarsi dentro il nucleo, fuori ma legato ai cromosomi, in parte dentro o in parte fuori. Si può avere anche l'ortomitosi chiusa, con il fuso ai due poli della cellula. Questo tipo di mitosi avviene in gruppi diversi, alcune sono tipiche dei *Foraminiferi*, altri nei *Flagellati* o negli *Sporozoi*, fra l'altro con distribuzione non sempre unica, in quanto tutte queste cellule eucariotiche nel corso della loro evoluzione hanno compiuto tentativi di fare una mitosi che garantisce l'ordinata suddivisione dei cromosomi in modo che la cellula figlia avesse gli stessi geni della cellula madre. La mitosi infatti testimonia questa storia di tentativi, ben riusciti. La selezione naturale, difatti, non ammette errori: chi non riesce a mettere a punto situazioni vantaggiose non è in grado di sopravvivere.

La riproduzione può avvenire con due fondamentali possibilità:

- **Scissione binaria:** è la più diffusa, una cellula tramite mitosi si divide in due secondo piani trasversali o longitudinali a seconda della forma. Chiaramente prima è avvenuta la mitosi nel nucleo, mentre può cambiare la divisione del citoplasma o citodieresi.
- **Scissione multipla:** è tipica degli *Apicomplexa*, tutti parassiti dotati di un complesso apicale necessario per penetrare dentro l'ospite o per agganciarsi all'interno di una cavità di esso.

Ciclo di Plasmodium

Tramite le ghiandole salivari delle zanzare nell'uomo giunge lo **sporozoite**, che rappresenta la fase infettante, in quanto i protozoi hanno fase diversa a seconda del ciclo vitale. La zanzara, dunque, succhia il sangue dell'uomo in quanto sono insetti ematofagi che si nutrono del nostro sangue; per evitare di rimanere appiccicati con l'apparato succhiatore a causa di una reazione di coagulazione del sangue, tali insetti tramite la saliva producono e iniettano una sostanza anticoagulante che fluidifica il sangue e consente di succhiare meglio. Nel momento in cui viene iniettata la saliva, penetrano anche gli sporozoi, forma infettante per l'uomo. Questi entrano in circolo sanguigno e raggiungono le cellule epatiche del fegato, all'interno delle quale in seguito ad accrescimento compiono la scissione multipla: il nucleo si divide più volte e avviene una sola citodieresi, per risparmiare tempo. In seguito avviene la rottura dell'epatocita, con rilascio dei **merozoiti**, parte della cellula che si è divisa per scissione multipla. La fase che avviene nel fegato prende il nome di **fase esoerocitaria** o di pre-patena. A questo punto i merozoiti raggiungono nuovamente il circolo sanguigno e gli eritrociti in quella fase che prende il nome di **erocitaria**: ogni merozoite si nutre a spese dell'eritrocita in quella fase che prende il nome di **tropozoite** in seguito alla quale avviene nuovamente la scissione multipla, con rottura del globulo rosso e liberazione dei cataboliti del metabolismo del merozoite e del tropozoite. I cataboliti rilasciati si rompono in maniera sincronizzata, in quanto i tempi di scissione multipla sono sincronizzati: i cataboliti agiscono sul centro di termoregolazione e scatenano l'accesso febbrile, che nella malaria è tipicamente cadenzato, ogni terzo giorno nella malaria terzana e ogni quarto giorno nella malaria quaternaria. Quando avviene la reazione dell'organismo, alcuni merozoiti si trasformano in **microgamonte** e **macrogamonte**. Il **gamonte** è quello che diventerà gamete quando dal sangue

dell'uomo ritornerà nell'intestino della zanzara, tramite un'altra zanzara che punge l'uomo: i merozoiti vengono digeriti mentre microgamonte e macrogamonte continuano lo sviluppo all'interno dell'intestino della zanzara dando origine il macrogamonte ad un **macrogamete** o **oogamete** ricco di citoplasma, e il microgamonte a numerosi **microgameti** flagellati simili agli spermatozoi. Tutti i microgameti raggiungono i macrogameti per attrazione e avviene la formazione dello **zigote** che in un primo momento, nella fase iniziale, prende il nome di **oocinete**, ossia la cellula uovo appena fecondata ma mobile: esso attraversa la parete dell'intestino della zanzara verso l'esterno, prendendo il nome di **oocisti**. Al suo interno la prima cosa che avviene è la meiosi, da cui si formeranno quattro cellule. In seguito, tramite un'intensa moltiplicazione, si formano migliaia di sporozoi che, una volta pronti, migreranno nelle ghiandole salivari pronti ad essere iniettati nuovamente.

Nel ciclo di Plasmodium possiamo pertanto osservare una scissione multipla, la gamia specializatissima per la presenza di microgameti mobili e macrogamete, la meiosi e quindi un ciclo classicamente aploonte.

- **Gemmazione:** tipica di alcuni protozoi ciliati, da non confondere con la riproduzione asessuale nei protozoi. In cui si ha una mitosi normale e una citodieresi asimmetrica, anche se non è un processo particolarmente diffuso.

Sessualità dei protozoi

Non è stata studiata e dimostrata per tutti i protozoi, in alcuni casi si suppone in quanto vi sono fenomeni di eterozigosi comprensibili solo se in relazione ad un minimo di sessualità, mentre per altri è stata visualizzata.

- **Gametogamia, copulazione o singamia:** due cellule, da considerare come individui in quanto unicellulari, si fondono dimezzandone il numero. Non è pertanto un meccanismo per moltiplicarsi ma per ricombinare i patrimoni genetici.
- **Gamontogamia o coniugazione:** tipica dei ciliati, avviene tramite gamonti.
- **Autogamia:** consiste nella fusione di gameti o nuclei gametici derivati dalla stessa cellula, che tuttavia non comporta ricombinazione genica.

Copulazione

Consiste nella fusione di due individui aploidi detti aploidi in un individuo diploide detto zigote. Essa può avvenire per:

- **Isogamia:** i gameti sono uguali e non si possono distinguere morfologicamente tra di loro.
- **Anisogamia:** si possono distinguere un microgamete ed un macrogamete.
- **Oogamia:** il gamete femminile è molto grande mentre il gamete maschile è piccolo e flagellato, tipica ad esempio del *Plasmodium*. Si tratta del fenomeno più diffuso, anche se con livelli diversi di specializzazione.

Coniugazione

I ciliati tipicamente hanno un **micronucleo** e un **macronucleo**: il primo ha numero di cromosomi diploide (2n), presenta inoltre copie multiple dei geni necessari per il controllo del metabolismo, ossia produrre le proteine necessarie per produrre gli enzimi. Siccome i ciliati sono spesso molto grandi, talvolta anche più di piccoli invertebrati multicellulari, è chiaro che esso necessita di parecchie proteine e quindi se presenta più copie di DNA che può essere trascritto contemporaneamente questo processo si velocizza ed è più efficace. Quando un ciliato si divide per mitosi divide il micronucleo, che è quello che ha la funzione dell'eredità genetica: esso entra infatti in mitosi e si divide in maniera regolare, mentre i macronuclei si dividono senza particolari accorgimenti perché tanto la copia di memoria è contenuta nel micronucleo. Se per caso nella suddivisione il macronucleo si divide in maniera non uguale, il micronucleo compenserà eventuali mancanze. I ciliati si riproducono per scissione binaria tramite mitosi del micronucleo ma ogni tanto, sotto stimoli esterni, cominciano a disperdere i macronuclei e ogni micronucleo diploide subisce la meiosi, con la formazione di quattro micronuclei aploidi. Quando sopraggiunge il momento di effettuare la coniugazione, due ciliati compatibili si accollano tramite due citostomi, regioni del corpo cellulare in cui non c'è la pellicola ed è

possibile effettuare la fagocitosi e costituire un ponte citoplasmatico, che ha lo scopo di unire i due coniuganti. Quando succede questo scompare il macronucleo, il micronucleo subisce la meiosi e si formano quattro micronuclei aploidi. Di questi quattro micronuclei tre degenerano e scompaiono e quello che rimane si raddoppia tramite mitosi: pertanto in ogni coniuganti restano due micronuclei, uno stazionario e uno migrante che si sposta nell'altro. In questo modo non si perde individualità, ma ognuno presenta un micronucleo diploide risultato della fusione del proprio micronucleo con quello migrante dell'altro individuo. A partire da questi si hanno meccanismi di formazione di micronuclei e macronuclei. I due ciliati hanno mantenuto la loro individualità in quanto non si sono fusi, hanno scambiato materiale ereditario, una copia aploide di ciascun nucleo, e poi si sono staccati per continuare la propria vita: si tratta di un meccanismo più evoluto in quanto non si ha la perdita di individui.

Da un punto di vista dei cromosomi i *Ciliati* sono dei diplonti, e la meiosi è detta terminale (sub-terminale), in quanto in seguito ad essa si ha una mitosi, o gametica. Nei *Foraminiferi* presentano cicli aplodiplonti, i gamonti formano i gameti con meccanismi di moltiplicazione e divisione multipla simultanea del nucleo. I gameti si fecondano tra di loro all'interno della stessa cellula, questo è il caso dell'autogamia. Si formano questi zigoti diploidi, molto numerosi, dai quali si formano a loro volta dei giovani agamonti plurinucleati che danno origine ad individui che prendono il nome di agamonti diploidi. Dopo un certo numero di generazioni questi subiscono la meiosi e diventano agameti con il nucleo aploide, i quali formeranno i gamonti che a loro volta formeranno i gameti. Per metà del ciclo vitale i nuclei sono aploidi e per l'altra metà sono diploidi; la meiosi inoltre può essere chiamata intermedia. I gusci degli agamonti, inoltre, sono più grandi di quelli dei gamonti, in quanto esiste un rapporto preciso tra citoplasma e nucleo e tra citoplasma e guscio. I gusci saranno di dimensioni maggiori perché i nuclei, se diplonti, renderanno la cellula più grande.

La posizione nel ciclo biologico varia nei protisti in quanto nella maggior parte, come *Flagellati* o *Protozoi*, essa sarà zigotica ed iniziale. Nei *Foraminiferi* è intermedia, mentre nei *Ciliati* è quasi terminale o gametica. Protisti e protozoi sono diplonti come gli animali, aplodiplonti come piante o aplonti come le alghe.

Sviluppo embrionale

Si definisce sviluppo embrionale l'insieme di quei processi che, a partire da uno zigote o da un uovo vergine, portano alla formazione di un individuo dotato delle caratteristiche proprie della sua specie che consentono la vita attiva. Quando diciamo che si tratta di caratteristiche proprie della sua specie significa che ci dev'essere possibile riconoscerla. Esistono infatti delle larve che alla fine dello sviluppo embrionale hanno le caratteristiche larvali della propria specie ma non assomigliano agli adulti, basti pensare al bruco e alla farfalla o al girino e alla rana: si parla di sviluppo **post-embrionale indiretto**, e queste forme che si completano alla fine dello sviluppo embrionale prendono il nome di **larve**. Che consentono la vita attiva significa che alla fine dello sviluppo l'individuo deve essere in

grado di nutrirsi, eliminare feci e cataboliti azotati, effettuare gli scambi gassosi e in generale tutto ciò che un organismo può fare.

Grazie allo sviluppo dello zigote si formano degli organismi formati da miliardi di cellule diverse, organizzate in tessuti, organi e sistemi. Tutte le cellule, anche se specializzate diversamente, possiedono tutto lo stesso patrimonio ereditario. La mitosi è il sistema più conservativo che abbiamo per garantire alle cellule di avere entrambe una copia di geni. Il differenziamento cellulare dipende da informazioni di posizione, ovvero dalla collocazione di determinate cellule che ricevono ed elaborano le informazioni che influiscono sul loro sviluppo in base alla posizione nell'embrione. In questo modo si dividono delle cellule che hanno funzioni totalmente diverse, come le cellule epiteliali e quelle nervose, che tuttavia provengono tutte dallo stesso foglietto embrionale, l'ectoderma. Nei momenti iniziali dello sviluppo, in cui le cellule cominciano a muoversi durante la gastrulazione, è molto importante quali cellule si trovano vicine e quali comunicazioni si scambiano per intraprendere una via di sviluppo piuttosto che un'altra. La posizione riguarda sia i movimenti sia da quale parte del citoplasma cellulare della cellula uovo è avvenuta la formazione: questo dipende anche dal tipo di sviluppo.

Esistono infatti due modalità fondamentali di sviluppo embrionale:

- **Regolativo:** vi sono dei momenti iniziali in cui è possibile effettuare un cambiamento. Se i primi due blastomeri di segmentazione si staccano lo sviluppo continua e si formano i due gemelli, questo perché le sostanze sono ancora distribuite equamente in tutto il citoplasma. Non è la stessa cosa se avviene alla fine della segmentazione.
- **Determinativo:** già dall'inizio si sa che cosa avrà origine da un determinato blastomero, pertanto se questo viene allontanato, gli individui mancheranno di tutte quelle strutture che derivano da esso. Questo dipende da come la cellula uovo ha proceduto durante la oogenesi nell'accumulo di materiale di riserva che nei citoplasmi attivi, i quali presentano delle molecole e sostanze che regolano lo sviluppo. In base alla disposizione del citoplasma e di queste molecole è possibile capire nelle prime fasi cosa si andrà a formare da quei blastomeri.

Le tappe fondamentali dello sviluppo embrionale sono:

- **Fecondazione:** non è sempre presente.
- **Segmentazione:** si riscontra sempre; le fasi avvengono molto velocemente e sono di tipo tumultuose in quanto il citoplasma dell'uovo, poiché enorme, è possibile suddividerlo senza bisogno di accumulare nuove molecole o materia.
- **Gastrulazione:** l'insieme dei movimenti organizzati di queste cellule; durante questa fase si ha comunque la formazione di nuove cellule tramite divisioni cellulari, ma in questo caso la fase G₁ avviene e non viene saltata come avviene nella fase della segmentazione.
- **Organogenesi:** una volta effettuati i primi smistamenti dei foglietti embrionali avviene l'organizzazione degli organi.

Segmentazione

Consiste in una serie di divisioni mitotiche non seguite dall'accrescimento delle cellule figlie: manca infatti la fase G₁. Essa dà origine a un elevato numero di cellule di dimensioni via via minori che prendono il nome di **blastomeri**. Le cellule figlie non sono tutte di uguali dimensioni, in quanto vi sono differenze tra blastomeri in base alla loro posizione.

Alla fine di questa fase tutte le cellule si sposteranno verso la superficie e all'interno si troverà una **cavità**. L'insieme dei blastomeri, che può essere organizzato in uno o più strati di cellule, viene chiamato **blastoderma**; la cavità interna prende invece il nome di **blastocoele**. Il blastocoele è la prima cavità dell'organismo vivente e si forma alla fine della segmentazione.

Dove ci sono i blastomeri sono più piccoli si parla di **polo animale** mentre dove i blastomeri sono più grandi si parla di **polo vegetativo** o **vitellino**. La loro dimensione dipende dalla quantità di materiale di riserva contenuto. Uno dei fattori che influenzano fortemente le modalità di segmentazione e di gastrulazione è la quantità di **tuorlo** contenuta all'interno del citoplasma. Il blastocoele è più spostato verso il polo animale. Questo stato di sviluppo prende il nome di **blastula**.

La segmentazione parte dall'uovo e finisce quando si è formata la blastula: essa è l'insieme di blastomeri che costituisce il blastoderma, che può essere costituito da uno o più strati, all'interno della quale si ha una cavità che prende il nome di blastocele.

Il primo fattore influenzante, come abbiamo già detto, è la *quantità e la distribuzione del materiale di riserva* della cellula uovo. Questo materiale prende il nome di **tuorlo, deutoplasma, tuorlo o lecite**. Il secondo fattore influenzante è il *controllo genetico della simmetria della segmentazione*: proteine e mRNA, che prendono il nome di **determinanti morfogenetici**, preparati durante l'oogenesi e accumulati nel gamete femminile, guidano la formazione dei fusi mitotici, che possono assumere posizioni diverse, e determinano il modo in cui avviene la segmentazione, se più lentamente o velocemente. Tutta questa fase dello sviluppo è sotto controllo genetico della cellula uovo. Dalla gastrulazione in poi entra in gioco anche il patrimonio genetico maschile, ma tutta la fase precedente dipende esclusivamente dal controllo genetico della madre. Dei determinanti morfogenetici importa anche la quantità e la distribuzione: difatti se sono distribuiti in maniera equivalente in tutto il citoplasma subentra lo sviluppo regolativo. Se invece sono distribuiti in maniera asimmetrica avremo uno sviluppo embrionale di tipo determinativo. Pertanto tutto dipende da come si è formata la cellula uovo.

In base alla quantità e alla distribuzione del tuorlo le uova si distinguono in:

- **Isolecittiche o oligolecittiche**: il tuorlo è distribuito in modo uniforme, come avviene nel riccio di mare.
- **Telolecittiche**: lo sono le uova di uccelli e rettili, in esso il tuorlo è molto abbondante e si concentra al polo vitellino della cellula, mentre il citoplasma in pochissima quantità si trova nel polo opposto.
- **Mesolecittiche**: il tuorlo è abbondante, non quanto le telolecittiche, e non è ammassato in un unico punto ma distribuito in placche abbondanti in corrispondenza del polo vegetativo; tipico è l'uovo degli anfibi.
- **Centrolecittiche**: molto ricche di tuorlo, situato al centro, è circondato dal citoplasma; è il caso degli insetti.

Le uova che presentano un sacco di tuorlo sono quelle degli animali terrestri, che necessitano di apporre su di esso una protezione, come il guscio: in esse il materiale di riserva dev'essere necessariamente collocato all'interno. Chi ha uno sviluppo acquatico, invece, può permettersi di produrre larve più velocemente e senza bisogno di guscio.

La segmentazione, invece, può essere:

- **Oloblastica**: tutta la cellula si divide formando blastomeri più o meno uguali, o con blastomeri diversi che vengono chiamati micromeri e macromeri.
- **Meroblastica**: è solo parziale, il citoplasma è ridotto mentre tutto il resto è il tuorlo; essa può essere discoidale (telolecittiche) o superficiale (centrolecittiche).

A parità di poco tuorlo, abbiamo degli orientamenti dei flussi mitotici che dipendono interamente dai determinanti morfogenetici. Per cui cellule uovo oligolecittiche hanno andamento e modalità di divisione, e di distribuzione dei blastomeri, completamente diversi. Può essere molto regolare con solchi rettilinei tra blastomeri, o con flussi mitotici obliqui, per cui i solchi seguono un percorso a spirale. La segmentazione può essere difatti **a spirale o radiale**. Solitamente, ma non sempre, gli animali con segmentazione a spirale hanno sviluppo determinativo, mentre quelli con segmentazione radiale hanno sviluppo regolativo.

In questi due modelli che dipendono dai determinanti morfogenetici si inserisce anche in svariati modi la quantità di tuorlo, pertanto si hanno moltissime varianti possibili.

Negli anfibi la **semiluna grigia** si forma dal lato opposto da dove avviene l'entrata dello spermatozoo nell'uovo; l'entrata degli spermatozoi, infatti, attiva l'uovo e provoca una reazione. In questi animali una parte di citoplasma corticale, dotato di pigmenti, scivola sull'altro e risale in maniera opposta dall'ingresso degli spermatozoi. La semiluna grigia determina inoltre il piano di simmetria di questo embrione, determinata a sua volta da dove è entrato lo spermatozoo, in quanto il piano sagittale mediano taglia a metà la semiluna grigia. Alcune caratteristiche come queste, infatti, dipendono dagli esemplari maschili che entrano in gioco immediatamente.

Nella maturazione dell'embrione dei mammiferi, come avviene nel caso del topo, si assiste quasi ad una maturazione del sacco vitellino o sacco del tuorlo, anche se non necessario, in quanto discendono dai rettili.

Gastrulazione

Consiste in un movimento generalizzato dei blastomeri, i quali possono muoversi sia come foglietto che singolarmente ma raggruppati. Alla fine della segmentazione avevamo la blastula, formata da blastoderma e blastocele. A partire dal blastoderma della blastula, con modalità diverse, si smista il primo foglietto germinativo interno che prende il nome di **endoderma**. Lo strato di blastomeri che invece rimane all'esterno prende il nome di **endoderma**. Nel caso più semplice un gruppo di blastomeri subisce un'invaginazione, come se chiudessimo a palloncino premendo con il dito: nel momento in cui entra all'interno assume il valore di endoderma, in quanto daranno origine ai tessuti dell'intestino primitivo. Il terzo foglietto prende il nome di **mesoderma**, costituito da cellule mesenchimali, rappresenta lo strato intermedio. Si tratta di **foglietti embrionali**, quindi già sappiamo che cosa avrà origine da ognuno di questi gruppi di cellule. Il punto in cui avviene l'invaginazione che porterà alla formazione dell'endoderma prende il nome di **blastoporo**, l'unica apertura della blastula. L'intestino primitivo che si forma dallo smistamento di queste cellule primitive prende il nome di **archenteron**: si tratta di una cavità delimitata da un foglietto embrionale di endoderma che comunica all'esterno tramite il blastoporo.

Il passaggio dei blastomeri che ruotano attorno al blastoporo e penetrano all'interno è uno dei momenti cruciali dello sviluppo embrionale per alcuni organismi.

Con il completamento dello sviluppo il blastoporo può dare origine alla bocca e dalla parte opposta all'ano; esso rappresenta la prima bocca del primo intestino, da cui il nome di **protostoma**. Vi sono casi in cui questo smistamento avviene al contrario, ossia dal blastoporo ha origine l'ano e dalla parte opposta la bocca, da cui il nome di **deuterostoma**.

Il blastocele si riduce per via della formazione dell'endoderma ma resiste.

Il mesoderma si può formare con modalità diverse a seconda dei gruppi di animali. In alcuni, oltre a formare le strutture intermedie, da esso trarranno origine i mesoteli, somatopleura e splanchnopleura. Il mesoderma, che forma lo strato intermedio, dà origine alla maggior parte delle cavità del corpo, organi e tessuti. Il tessuto connettivo, ad esempio, è di origine mesodermica. Gli animali **diblastici** non presentano il foglietto intermedio, pertanto la presenza di due soli foglietti embrionali nelle fasi dello sviluppo non ha consentito la formazione di organi complessi, come avviene nel caso degli *Cnidari*.

Possiamo dunque dire che la gastrulazione è un processo attraverso il quale i foglietti germinativi o embrionali si formano e assumono specifiche posizioni gli uni rispetto agli altri. I rapporti spaziali che vengono in questo modo a stabilirsi tra le cellule permettono l'instaurarsi di fenomeni di **induzione**. L'induzione embrionale porta al **differenziamento cellulare** e quindi all'attivazione di alcuni geni rispetto ad altri. L'induzione avviene attraverso il passaggio di sostanze da cellule a cellule, che devono essere vicine in momenti ben precisi. Fondamentali sono la posizione e il timing. Il differenziamento di cellule consente la formazione di organi.

Nello sviluppo embrionale degli anfibi il blastocele è spostato verso il polo animale.

Labbro dorsale del blastoporo.

- **Ectoderma**: epidermide e annessi, tubo neurale, creste neurali.
- **Endoderma**: apparato digerente, polmoni, tiroide.
- **Mesoderma**: tutti gli organi interni.

Organogenesi

Durante questa fase molti organi e sistemi di organi si sviluppano contemporaneamente e interagiscono gli uni con gli altri.

Sviluppo post – embrionale

Quando il nuovo nato ha completato lo sviluppo embrionale dovrebbe essere in grado di svolgere la vita attiva sebbene non sia del tutto uguale all'adulto: pertanto dovrà subire un'ulteriore fase di sviluppo che prende il nome di **sviluppo post-embriale**. Questo potrà essere:

- **Diretto**: se il giovane differisce dall'adulto solo per le dimensioni, per non aver ancora maturato le gonadi. In questo caso lo sviluppo post-embriale consiste principalmente nell'accrescimento e nel raggiungimento della maturità sessuale. Esempio sono l'uomo, gli uccelli o le lucertole.
- **Indiretto**: se il giovane differisce dall'adulto anche nella forma e nella struttura corporea. In questo caso il giovane si chiama larva e dovrà subire una o più **metamorfosi** prima di raggiungere la condizione adulta. Esempio sono le rane, le chiocchie marine o le stelle di mare. Gli insetti più evoluti presentano sviluppo indiretto, e prendono il nome di insetti **olometaboli**, ossia che fanno completamente la metamorfosi: esempio clamoroso è quello del bruco e della farfalla. La farfalla si nutre dei pollini dei fiori, mentre i bruchi come il baco da seta si nutrono di foglie in quanto erbivori. Pertanto i bachi sono dotati di un apparato buccale, mentre le farfalle presentano una trombetta che prende il nome di spiritromba, arrotolata quando sono in volo. Questo differenziamento consente di avere più cibo a disposizione per la convivenza di due esemplari nello stesso territorio. Altro esempio classico è quello degli anfibi: la larva presenta larve esterne e vive dentro l'acqua, dopo di che ad un certo punto subisce la metamorfosi può uscire dall'acqua dotandosi di polmoni e pelle umida. Gli anfibi, infatti, possono vivere questa doppia vita sia fuori che dentro l'acqua. Le larve sono presenti negli organismi acquatici, consentendo così la rapida formazione di un individuo semplice, in grado di nutrirsi, a partire da un uovo con scarso vitello.

Modalità di vita degli animali

Indica il tipo di organizzazione adottata dai vari organismi. Sebbene vi siano animali associati, in maniera più o meno stretta per cooperare per la sopravvivenza dell'intero gruppo, la maggior parte di essi conduce una vita solitaria, senza prendere rapporti con gli altri esemplari al di là del momento della riproduzione. Pertanto si può avere una organizzazione:

- **Coloniale**: si sviluppa in seguito alla riproduzione asessuale per gemmazione, quando il nuovo individuo rimane attaccato garantendo l'aumento delle dimensioni.
- **Sociale**: un esempio è l'uomo, ma anche i lupi.
- **Simbiosi**: associazione tra individui di specie diverse, comprendendo tutte le varie sfaccettature.

Organizzazione coloniale

Nei *Poriferi*, organismi pluricellulari ma non con organizzazione da vero e proprio animale, negli *Cnidari* e nelle *Ascidie* si ha un'organizzazione di tipo coloniale. Gli individui che costituiscono la colonia sono anatomicamente collegati, come minimo devono avere qualche tessuto in comune (spesso anche le cavità digerenti), si originano per gemmazione da un individuo fondatore dal quale non si separano. Tra i vantaggi di un'organizzazione coloniale l'aumento delle dimensioni, una

divisione dei ruoli tra gli individui che si specializzano diversamente e una maggiore efficienza della colonia. Le barriere coralline, in realtà, sono costituite alla base da colonie di *Cnidari*, su cui si impiantano specie e organismi diversi. Le colonie più specializzate sono quelle **polimorfe**, in cui gli individui hanno forma diversa a seconda della funzione svolta. In questa organizzazione troviamo individui classicamente a forma di polipo che prendono il nome di **gastrozoidi**, che procurano da mangiare, i **dattilozoidi** che sono adibiti alla difesa, i **gonozoidi** femminili e maschili che maturano le gonadi, la struttura scheletrica e talvolta le spine.

Organizzazione sociale

Esiste anche una interdipendenza sia funzionale che comportamentale, in questo caso si ha un'organizzazione sociale con condivisione dei ruoli. Esempi sono le api, le formiche, i babbuini e l'uomo. Anche nelle società si può avere del **polimorfismo**, infatti nelle api si tratta di polimorfismo a 3: abbiamo la femmina diploide fertile (*regina*), la femmina diploide sterile (*operaia*) e il maschio aploide fertile (*fuco*). La differenziazione tra ape regina e api operaie prende il nome di **castrazione alimentare** in quanto dipende da come vengono nutrite quando si trovano allo stadio larvale. Si tratta di determinismo del sesso per aplo-diploidia, che dipende dalle dimensioni delle cellette e da come viene strizzato l'addome quando vengono deposte le uova: il maschio è aploide, si sviluppa per partenogenesi se le uova non vengono fecondate, si tratta di partenogenesi *arrenotoca* in quanto si sviluppano solo individui maschi.

- La **regina** è la madre di tutte le api dell'alveare, si accoppia in volo durante il *volo nuziale*, depone le uova e produce la sostanza reale, che nutrirà le future regine.
- I **fuchi**, oltre all'accoppiamento, nell'alveare sono importanti in quanto la massa di individui produce calore. Si occupano anche della circolazione del cibo all'interno dell'arnia.
- Le **operaie** si occupano della pulizia delle celle per i primi tre giorni; nutrono e sorvegliano la covata per sei giorni; costruiscono e riparano le celle, determinando quanti individui maschi, quanti femmine e quante regine si formeranno (il potere nella società delle api è di tipo *operaio*); ricevono il nettare e il polline per pochi giorni; difendono la comunità; raccolgono il cibo nei campi per il resto della vita. In quest'ultima fase si distinguono le **esploratrici** (che tramite la danza e l'orientamento avvisano le altre api operaie sulla presenza di campi in fiore) e le **bottinatrici**.

Simbiosi

Con il termine simbiosi si indica l'interazione nella quale due o più individui di specie diverse, chiamate **simbionti** (*ospite* quello grande, *simbionte* il più piccolo), stabiliscono una stretta associazione. Il simbionte vive all'interno o sulla superficie corporea dell'ospite, pertanto si parla di **endosimbionte** ed **ectosimbionte**. Il simbionte trae sempre vantaggio da tale rapporto, mentre per l'ospite la simbiosi può avere effetti diversi. Commensalismo, mutualismo e parassitismo sono varie forme di parassitismo e si possono considerare come insiemini con intersezioni, presentando infatti zone in comune difficili e variabili.

- **Mutualismo (+/+)**: sia ospite che simbionte traggono vantaggio da questa associazione, come avviene nel caso dell'*attinia* e del paguro. Il *paguro* è un crostaceo particolare adattato a vivere nelle conchiglie lasciate vuote dai molluschi gasteropodi attorcigliata; il pleon di un paguro è molle, mentre tutti i crostacei sono coperti dalla crosta, esso non ha più bisogno di avere un rivestimento duro. Pertanto esso è asimmetrico e ridotto. Sulla sua conchiglia si viene a depositare l'*attinia*, un polipo cnidario: essa trae vantaggio in quanto viene trasportata e non rimane fissa ad un substrato. Il paguro, invece, trae vantaggio dalle cellule urticanti presenti sull'*attinia*: queste dipendono dalla presenza di **cnidociti**, i quali presentano degli organuli cellulari chiamati **nematocisti** che, se stimolate, rilasciano il liquido urticante con funzione di difesa. Il mutualismo prende anche il nome di **epibiosi** quando si trovano l'uno sull'altro, **inquilinismo** se il vantaggio è la protezione (formiche e pianta di acacia) e **foresia** se il vantaggio è lo spostamento (uccelli che stanno sopra gli elefanti).

- **Commensalismo (+/0):** l'ospite non ne trae né danno né vantaggio, in quanto spesso il commensale utilizza l'eccedenza di cibo.
- **Parassitismo (+/-):** l'ospite ne risulta danneggiato, talvolta gravemente. Il simbiote prende il nome di **parassita**. Il danno può dipendere dalle condizioni di salute dell'ospite, per questo anche il commensale può diventare un parassita. Un esempio sono le sanguisughe, le zecche o le zanzare. La co-evoluzione viene studiata nel rapporto tra ospite e parassita. Il parassitismo è una sorta di simbiosi antagonista, e può essere di due tipi in particolare:

»» **Obbligatorio:** il parassita dipende dall'ospite e non può completare il suo sviluppo senza di esso. Le tenie, ad esempio, sono talmente adattate alla vita parassitaria che non hanno più bocca e presentano dei microvilli per assorbire meglio nell'intestino dell'organismo ospitante. Anche i virus sono parassiti obbligati.

»» **Facoltativo:** è proprio di animali e vegetali che vita libera, ma penetrano casualmente nell'ambiente entozoico dell'ospite. È il parassitismo più dannoso per l'ospite in quanto non è co-evoluto stabile e spesso si conclude con la morte dell'ospite.

La tendenza e l'obiettivo dei parassiti è quello di fare meno danno possibile all'ospite in modo da stare più a lungo al suo interno e proliferare di più. La *Tenia Sodium* è quella del maiale, ed è molto più pericolosa. L'uomo diventa ospite definitivo ma può anche assumere il ruolo di ospite intermedio, pertanto se l'adulto libera le uova nell'intestino dell'ospite possono svilupparsi in esso e impiantarsi nel circolo sanguigno, nei muscoli, nel fegato o nel cervello. La *Tenia Sagginata* invece è quella del vitello, l'uomo è solo ed esclusivamente ospite definitivo, pertanto se si liberano o si ingeriscono uova nell'intestino i danni non sono eccessivi.

In relazione al numero di ospiti che il parassita usa possiamo distinguere:

- **Eteroxeni:** quando compiono il loro ciclo biologico necessariamente, in tempi successivi, in due o più ospiti appartenenti a specie diverse; in particolare se gli ospiti sono due si dicono *dixeni*. Esempio sono le tenie.

- **Monoxeni:** quando essi possono completare il loro ciclo biologico in una sola specie ospite. Quando ci sono più ospiti è possibile distinguere i diversi ruoli che questi hanno nel contesto di un ciclo riproduttivo. Per i Protozoi si parla di:

- **Ospite definitivo:** quello in cui il parassita compirà la riproduzione sessuale

- **Ospite intermedio:** quello in cui il parassita compirà la riproduzione asessuale

Nel caso del ciclo del *Plasmodium* noi siamo ospite intermedio in quanto dentro il nostro fegato e nei globuli rossi viene la scissione multipla, mentre la sessualità viene compiuta negli intestini delle zanzare che pertanto sono sia vettori che ospiti definitivi.

Per i Metazoi si può usare un altro criterio di definizione che tiene conto della condizione di larva o adulto:

- **Ospite definitivo:** quello in cui il parassita si trova da adulto

- **Ospite intermedio:** quello in cui il parassita si trova da larva (individuo non maturo sessualmente uguale o diverso rispetto all'adulto)

A secondo della posizione rispetto al corpo dell'ospite distinguiamo: **ectoparassiti** ed **endoparassiti**.

Quest'ultimi possono essere **endocavitari** se si trovano nell'intestino o nel circolo sanguigno, anche se molto raro, o **endocellulari** se sono abbastanza piccoli.

Biodiversità

W. Rosen, 1985: «diversità a tutti i livelli di organizzazione biologica»

E. Wilson, 1992: «insieme alla ricchezza materiale e alla ricchezza culturale, la diversità biologica è una delle forme in cui si manifesta la ricchezza del nostro pianeta. Infatti, la diversità biologica è una sorgente potenziale di un'immensa ed inesplorata ricchezza materiale e culturale, sotto forma di cibi, medicinali e risorse per il tempo libero»

Convenzione sulla Diversità Biologica (CDB), 1992: «la varietà tra gli organismi viventi di ogni origine includendo, fra gli altri, quelli di tipo terrestre, marino e di altri ecosistemi acquatici nonché dei complessi ecologici dei quali fanno parte. E' inclusa la diversità all'interno di una stessa specie, tra specie e tra ecosistemi»

Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN), 1994: «la variabilità di ogni tipo tra organismi viventi»

La diversità può essere:

- Genetica o intraspecifica
- Tra specie o interspecifica
- Ecosistemica

L'unità di misura della biodiversità è sempre il concetto di **specie**. Quando dico numero e varietà di organismi intendo quelli definiti come specie. Poco meno di $\frac{3}{4}$ della biodiversità conosciuta è quella costituita dagli animali, poi troviamo virus, monera, funghi, protozoi, alghe e piante superiori in netta minoranza. Fra le specie animali attualmente conosciute, la maggior parte è infatti rappresentata dagli artropodi.

La definizione **morfologica** o **tipologica** di specie è quel *gruppo di organismi che possiedono comuni caratteristiche morfologiche*. L'istituzione formale di una specie avviene attraverso la designazione di esemplari **tipo** che vengono conservati in un Museo o in un Dipartimento universitario. Una specie può essere istituita formalmente da un esperto di quel tipo di organismi, e la presenza di tipi presenti nei Musei permette di poter effettuare un confronto per stabilire eventuali somiglianze o meno.

Nessuno però oggi descrive una specie sulla base di un solo esemplare, in quanto si ha una spiccata variabilità genetica, pertanto più di tipo si parla di **serie tipica**, in grado di mostrare lo **spettro di variabilità** che è stato percepito in queste specie. Il concetto di specie è in continua mutazione.

Esistono infatti casi di specie che morfologicamente non si distinguono ma che si mostrano diversi ad un'analisi genetica più approfondita. Vi sono individui diversi all'interno di una specie e specie che invece si assomigliano, pertanto si hanno dei limiti in questo tipo di approccio.

La definizione teorica più corretta e in uso è quella **biologica**, secondo cui *una specie è costituita da un gruppo di popolazioni naturali (distribuite in luoghi diversi o in uno solo) capaci di incrociarsi tra loro, generando prole fertile, e che risultano isolate da un punto di vista riproduttivo da altri gruppi simili. Ogni specie occupa in natura una specifica nicchia ecologica*.

Le specie si formano quando si riscontrano **barriere riproduttive** (non riescono ad accoppiarsi o, se si accoppiano, gli ibridi non sono fertili) che fanno sì che non si mescolino geni per non generare prole non fertile. Se non ci fossero tali barriere avremmo un'unica specie vivente che soppianterebbe quelle parentali.

Le due definizioni non sono in antitesi, in quanto se considero delle caratteristiche morfologiche per definire una specie A e una specie B, se quest'ultime non avessero delle barriere riproduttive le caratteristiche morfologiche si mescolerebbero. Le caratteristiche morfologiche sono quelle più visibili che rendono evidente la presenza di barriere riproduttive che non sempre si può riscontrare sul momento.

Oggi tuttavia non ci si basa solo sulle caratteristiche morfologiche ma anche su quelle biochimiche, comportamentali o molecolari. Ci possono essere una serie di caratteristiche che contraddistinguono una specie rispetto ad un'altra e che si mantengono distinte in quanto vi sono le barriere riproduttive: solo indirettamente si vanno ad osservare quelle morfologiche o molecolari. Ma alla base di questa distinzione tra specie si trovano le barriere riproduttive.

Un problema in merito alle barriere riproduttive è legato ai protisti, ai batteri e a quegli organismi in generale che non presentano sessualità.

Esistono specie chiamate **cosmopolite** che possono essere distribuite uniformemente o in porzioni distanti tra di loro, come posso dire se ci sono le barriere riproduttive? In questo caso si suppone la loro presenza ma non è qualcosa di certo.

La **nicchia ecologica** di una specie è data dalle sue caratteristiche ecologiche e dal ruolo che essa svolge nell'ambiente in cui vive (abitudini alimentari, modalità di assunzione del cibo, periodo di attività, etc.) In natura le specie tendono a differenziare le loro nicchie ecologiche per evitare la competizione per le stesse risorse. Essa ci aiuta a distinguere il ruolo di una specie all'interno dell'ecosistema.

La specie è una **categoria sistematica**, significa cioè che viene assimilata a contenitori attraverso cui noi costituiamo una classificazione necessaria non solo per fare ordine ma per rendere i rapporti di parentela e la storia evolutiva. La specie è inoltre una **categoria tassonomica** e, al contempo, una **realtà biologica**. Mentre tutte le altre categorie vengono istituite dall'uomo per determinare i rapporti filogenetici e cercare di descrivere la biodiversità, la specie è qualcosa di tangibile e reale, unità della biodiversità.

Per **habitat** si intende uno spazio abitato da una specie di viventi con specifiche caratteristiche.

Mentre la nicchia ecologica è il ruolo che una specie svolge e le risorse che essa utilizza.

Le barriere per permettono la differenziazione di una specie sono, dopo la fecondazione e la formazione dello zigote:

- **Prezigotiche:** ostacolano l'accoppiamento o impediscono la fecondazione nel caso in cui l'accoppiamento si verifichi.
- **Postzigotiche:** impediscono che uno zigote ibrido si sviluppi in un adulto vitale e fertile (esempio del mulo).

Sono queste barriere che consentono l'isolamento riproduttivo.

Tra le barriere *prezigotiche* abbiamo:

- **Isolamento temporale:** l'accoppiamento o la fioritura avvengono in stagioni diverse sfasate temporalmente o in parti diverse del giorno.
- **Isolamento di habitat:** le popolazioni vivono in habitat differenti e non si incontrano.
- **Isolamento comportamentale:** gli individui delle due specie non si riconoscono come potenziali partner riproduttivi. Basti pensare alle luci, ai canti, alle danze, ai combattimenti rituali che consentono il riconoscimento di maschi e femmine della stessa specie.

Se invece avviene l'accoppiamento:

- **Isolamento meccanico:** vi sono differenze anatomiche a livello degli organi genitali o del fiore che impediscono rispettivamente la copula e l'impollinazione.
- **Isolamento gametico:** i gameti maschili e femminili non si uniscono e pertanto non si ha la fecondazione.

Queste barriere sono le meno dispendiose ed è quello più favorito in quanto evita lo spreco degli individui.

Nel caso invece in cui avvenga la fecondazione, tra le barriere postzigotiche invece abbiamo:

- **Mortalità degli ibridi:** lo zigote ibrido non completa lo sviluppo o comunque l'individuo non sopravvive fino al raggiungimento della maturità sessuale.

- **Sterilità degli ibridi:** gli ibridi non sono capaci di produrre gameti funzionali.

La speciazione avviene in due meccanismi diversi: a partire da una specie si formano due specie, una come l'originale e una con nuove caratteristiche; o, nel tempo, una stessa specie si modifica acquisendo una serie di caratteristiche che prima non aveva, come il sottogola rosso in alcuni volatili.

Il primo caso è detto **cladogenesi** e il secondo **anagenesi**. Ci si può accorgere di questi meccanismi tramite lo studio degli organismi fossili.

Nella realtà abbiamo invece due modelli di speciazione:

- **Allopatrica:** una popolazione dà origine ad una nuova specie qualora si trovi geograficamente isolata rispetto alla popolazione di origine. Il flusso genico in questo caso è ostacolato dalla presenza di una barriera geografica che separa fisicamente due popolazioni. In questo caso subentra la selezione naturale che favorisce determinati fenotipi piuttosto che altri. Questo modello di speciazione è tra i più diffusi.
- **Simpatica:** una piccola popolazione dà origine ad una nuova specie senza necessità di isolamento geografico rispetto alla popolazione d'origine. Il flusso genico viene ridotto da cambiamenti genetici improvvisi. È meno diffuso ed è molto più veloce.

Darwin

Nel suo saggio *On the Origin of the Species by Means of Natural Selection*, pubblicato nel 1859, Charles Darwin enunciò la teoria dell'evoluzione attraverso la selezione naturale, sostenendo in particolare che:

- Le specie attuali sono derivate da specie preesistenti attraverso un processo di "**discendenza con variazioni**" (espressione usata da Darwin per indicare l'evoluzione).
- Il meccanismo che sta alla base dell'**evoluzione** è la selezione naturale.

Sotto l'influenza del libro di Maltus che parlava delle risorse degli uomini, in base alle scoperte avanzate dai geologi su uno sviluppo lento e graduale della Terra e sulle varie manipolazioni condotte dagli inglesi nel campo dell'allevamento e della coltivazione, la **teoria della selezione naturale** di Darwin metteva in relazione le varie osservazioni che aveva riscontrato sul campo durante i suoi viaggi:

- **Osservazione 1:** gli organismi hanno un ampio potenziale riproduttivo, ossia la quantità di uova, spermatozoi e figli era molto elevata.
- **Osservazione 2:** le popolazioni naturali, normalmente, rimangono di grandezza costante, ad eccezione di fluttuazioni di secondaria importanza.
- **Osservazione 3:** le risorse naturali sono limitate.

Da queste tre osservazioni egli dedusse che tra i membri di una popolazione c'è una continua lotta per l'esistenza.

- **Osservazione 4:** gli individui di una popolazione mostrano variazioni.
- **Osservazione 5:** le variazioni sono ereditabili.

Anche senza essere a conoscenza delle scoperte sui cromosomi, da qui Darwin dedusse che tra i diversi organismi di una popolazione c'è un differente potenziale di sopravvivenza e di riproduzione (sopravvivenza dei più adatti) e che attraverso molte generazioni, i differenti potenziali di sopravvivenza e di riproduzione generano nuovi adattamenti e nuove specie.

La selezione naturale non è sempre la stessa nel tempo e negli uomini, quindi l'adattamento è relativo ad un determinato periodo: per questo è importante la variabilità genetica, in quanto consente un maggiore adattamento.

Gli individui meglio adattati al proprio ambiente hanno maggiori probabilità di sopravvivere e di riprodursi, trasmettendo quindi i caratteri utili alla generazione successiva. Gli individui meno adattati non sopravvivono abbastanza a lungo per riprodursi. Queste idee formarono la base della **teoria dell'evoluzione per selezione naturale** di Darwin.

Darwin concluse che la selezione naturale poteva spiegare come gli organismi cambiano gradualmente nel tempo ed evolvono in nuove specie.

Un metodo di selezione naturale è quello che avviene tra determinati insetti che, se non riescono a mimetizzarsi con il substrato, finiscono per essere mangiati dai predatori: essi finiranno per

scompare e il fenotipo favorito sarà quello che mostrerà lo stesso colore del substrato su cui essi si trovano.

La comparsa di popolazioni resistenti (ai pesticidi, agli antibiotici) in specie dannose combattute dall'uomo è un effetto simile a quello provocato dalla selezione naturale.

Definizioni utili

- **Zoologia sistematica:** è la scienza che studia la diversità degli animali, la loro classificazione e la loro filogenesi.
- **Tassonomia:** rappresenta la parte tecnica della sistematica che riguarda i metodi e le procedure di identificazione, denominazione e classificazione degli organismi; alcuni autori considerano sinonimi i termini "tassonomia" e "sistematica"
- **Classificazione:** operazione di ordinare gli organismi in gruppi (taxa) sulla base delle loro relazioni di affinità.
- **Filogenesi:** è la storia evolutiva degli organismi, che viene ricostruita attraverso l'analisi dei rapporti di discendenza a partire dal loro antenato comune.

Classificazione

Sin dai primordi gli esseri umani hanno sentito l'esigenza di "dare un nome" ai viventi coi quali interagivano e ai quali era legata la loro sopravvivenza. Distinguere le piante velenose da quelle commestibili, potenziali prede da predatori pericolosi etc.

Il filosofo greco **Aristotele** (384-322 a.C.) fu il primo a classificare gli organismi sulla base delle loro somiglianze strutturali. **S. Agostino** (354-430 a.C.) propose invece una suddivisione degli animali in ottica antropocentrica: *utili, dannosi, superflui*. Ma fu soltanto **Carlo Linneo** (1707-1778) che migliorò e propose lo schema di classificazione usato ancora oggi, sebbene fosse stato messo appunto da altri scienziati prima di lui. Linneo nella sua opera più importante, il *Systema Naturae*, classificò tutte le specie di piante ed animali allora conosciute (circa 11.000 specie).

Il sistema di Linneo presenta due caratteristiche fondamentali:

- Ad ogni specie viene assegnato un nome composto da due parole (**nomenclatura binomia**).
- Le specie vengono raggruppate in categorie tassonomiche progressivamente più ampie (**classificazione gerarchica**).

Nomenclatura binomia

- Il nome scientifico di ciascuna specie è composto da due nomi latinizzati, il nome del **genere** e l'**epiteto specifico** (*Canis canis*, *Canis lupus*).
- Il nome del genere è sempre scritto con la lettera iniziale maiuscola, mentre l'epiteto specifico, anche se riprende un nome o un cognome, è sempre scritto con la lettera iniziale minuscola.
- Entrambi i nomi sono scritti in corsivo, o sottolineati se si scrive a mano.
- Dopo la prima citazione, il nome del genere può essere abbreviato ad una singola lettera. Per esempio, *C. lupus*.
- Al binomio si fa seguire il nome dell'autore che ha descritto la specie, proponendo il nome, e la data, preceduta da una virgola, della pubblicazione della descrizione. Ad esempio *Homo sapiens* Linnaeus, 1758.

Specie: *Homo sapiens* **Genere:** *Homo* **Epiteto:** *sapiens*

Come abbiamo detto, i metodi di classificazione nel passato erano stati diversi e il primo a mettere tutto in ordine proponendo un sistema attualmente in uso fu Linneo, che ha definito le regole della nomenclatura binomia (nome del genere ed epiteto specifico). La specie è definita dall'insieme dei due nomi, anche se in gergo e in maniera non formale ci si può riferire solamente all'epiteto specifico. La specie è la categoria sistematica di base, ma è anche una realtà biologica, al contrario di tutte le altre categorie. Questo perché in realtà ci sono tante specie diverse per la presenza di barriere riproduttive.

Classificazione gerarchica

Linneo propose 6 categorie sistematiche ordinate in senso gerarchico dalla più grande alla più piccola:

- *Regno*
- *Phylum*
- *Classe*
- *Ordine*
- *Famiglia*
- *Genere*
- *Specie*

Talvolta in situazioni particolari in cui si interpongono differenze all'interno della stessa specie può essere introdotto il concetto di *sottospecie*. Basti pensare alle diverse etnie umane.

Successivamente a queste categorie principali ne sono state aggiunte altre, che rappresentano livelli intermedi (subphylum, sottoclasse, superordine etc). Recentemente è stato aggiunto il livello di **dominio**, superiore al regno, in quanto *Archea* e *Batteri* hanno una differenza molto più forte tra di loro che tra gli *Archea* e tutti gli eucarioti. I tre domini fondamentali sono *Batteria*, *Archea* ed *Eucarion*. Nel momento in cui chiamiamo una specie con due termini possiamo definire il genere come l'insieme di specie che hanno caratteristiche affini, anche per la presenza di geni in comune. Più generi, a loro volta, se presentano caratteristiche simili vengono raggruppati all'interno della stessa famiglia. Via via, crescendo, tutte le categorie sono contenute nell'altre in ordine decrescente.

Quali sono le caratteristiche dei Cordati? E degli Artropodi?

Definizioni utili

- **Taxon**: è un qualunque raggruppamento di organismi abbastanza distinto da essere nominato, a qualsiasi livello di categoria; il taxon designa il contenuto della categoria e si riferisce agli organismi veri e propri, mentre la categoria è un'astrazione.
- **Categoria sistematica**: è il rango che attribuiamo ad un taxon nella classificazione gerarchica istituita da Linneo. I Mammiferi sono un taxon, la categoria sistematica a cui li attribuiamo è la classe.
- **Nomenclatura**: è il sistema di nomi da attribuire ai raggruppamenti di organismi, ai diversi livelli della classificazione.

DNA Barcoding

Perché utilizzare la sequenza dei nucleotidi per definire una specie? Esso si basa sull'utilizzo di un tratto di DNA mitocondriale, che contiene informazioni sufficienti a distinguere le specie, utilizzato esattamente come il codice a barre dei prodotti commerciali. Questo perché per gli animali esiste un tratto di DNA mitocondriale della citocromo-ossidasi che ci consente, tramite una sequenza specie-specifica, di distinguere i vari animali.

La classificazione della moderna biologia si sforza di riflettere i reali rapporti filogenetici (cioè di discendenza) fra i taxa; tali rapporti vengono ricostruiti mediante il riconoscimento delle **omologie**.

Le rappresentazioni gerarchiche di questi rapporti prendono il nome di **alberi filogenetici**. I taxa dovrebbero essere **monofiletici**, includere cioè solo e tutte le specie derivate da un antenato comune.

Un taxon **parafiletico** comprende alcuni, ma non tutti, i discendenti di un singolo antenato. Un taxon **polifiletico** include membri con più di un recente antenato comune. Un taxon **monofiletico** comprende tutti i discendenti di un singolo antenato.

Due strutture, presenti in specie diverse, si dicono **omologhe** quando sono ereditate da un progenitore comune. Nei discendenti possono avere mantenuto la stessa orma o averla modificata. Basti pensare alle ali di un pipistrello, a quelle di un uccello, alle zampe anteriori di un rettile e all'arto anteriore dell'uomo: sono tutti arti anteriori di animali tetrapodi. Eppure noi sappiamo che le ali di un pipistrello e quelle di un uccello non sono state ereditate da un antenato comune come ali, ma solamente come zampe anteriori.

Le strutture omologhe si possono riconoscere perché hanno la stessa **origine embrionale** (*omologia*

embriologica) e/o perché hanno gli stessi **rapporti anatomici** (*omologia anatomica*), per esempio possiedono la stessa innervazione o irrorazione sanguigna, oppure se sono costituite dagli stessi pezzi scheletrici. L'analisi delle sequenze degli acidi nucleici o delle proteine permette di evidenziare le **omologie molecolari**. L'arto anteriore dei vertebrati è, difatti, un esempio di omologia anatomica. I singoli componenti, sebbene simili, sono stati profondamente modificati.

Strutture presenti in specie diverse si dicono invece **analoghe** quando hanno la stessa funzione e appaiono simili ma non sono ereditate da un antenato comune, come si evince dal confronto delle ali di un insetto e di un uccello. Altri esempi di strutture analoghe sono gli occhi degli anfibi e quelli dei molluschi cefalopodi. L'adattamento a compiere la stessa funzione spesso determina delle **convergenze morfologiche** o **omoplasie**.

Lo studio dell'embriologia è fondamentale per comprendere i rapporti filogenetici fra i taxa; più si va indietro e più queste si assomigliano, mentre le differenziazioni sono riscontrabili nelle fasi successive. Le sequenze degli acidi nucleici sono utili non solo per l'identificazione ma anche per la ricostruzione dei rapporti filogenetici tra i vari taxa. L'RNA ribosomiale è, infatti, il DNA più conservativo di tutti gli altri. I **geni omeotici** controllano la struttura e la forma generale del corpo: basta che in essi vi siano piccole variazioni per poter riscontrare differenze notevoli.

Sistematica evolutiva

Secondo questa corrente di pensiero, che è tra l'altro una delle meno affermate, i taxa sono **monofiletici** (includono cioè specie derivate da un antenato comune) ma viene dato valore al livello adattativo; pertanto elementi del gruppo monofiletico che hanno conquistato caratteristiche nuove possono essere considerati un gruppo a sé stante. Ad esempio sia Uccelli che Mammiferi sono considerati una classe, come i Rettili da cui derivano.

Sistema filogenetica o cladistica

È una delle scuole di pensiero più popolari in quanto presenta delle regole ben precise. È Più rigorosa di quella evolutiva, infatti non solo considera le omologie ma tiene anche conto dello **stato** (primitivo o derivato / plesiomorfo o apomorfo) **dei caratteri**. Le rappresentazioni grafiche dei rapporti filogenetici sono costituite da **cladogrammi**, alberi meno smussati e morbidi rispetto a quelli della sistematica evolutiva, costituiti fondamentalmente da curve sinuose. I taxa sono rigorosamente **monofiletici** e includono tutti i discendenti dell'antenato comune, ad esempio la classe dei Rettili include anche gli Uccelli, in modo da non rendere i Rettili un raggruppamento parafiletico.

Lo stato del carattere può essere **primitivo** o **derivato**. In genere quando si fa una classificazione cladistica bisogna porre un gruppo diverso che funge da riferimento che prende il nome di **gruppo out**.

Nel confronto tra Mammiferi ed Uccelli lo stato derivato è la presenza di peli e di ghiandole mammarie, mentre quello primitivo è il non avere peli e ghiandole mammarie. Procedendo lungo la retta, per ogni biforcazione un carattere primitivo acquisisce uno stato derivato in base alla presenza o assenza: difatti la presenza di ghiandole mammarie e peli può assumere lo stato di carattere primitivo, a seconda del punto in cui ci si trova del cladogramma.

Simmetria e piani strutturali

La maggior parte degli animali, dotata di movimento, presenta **simmetria bilaterale**, ossia esiste un solo piano che divide il corpo dell'animale in due metà specularmente identiche. Tale piano, detto **sagittale mediano**, decorre dal dorso al ventre ed è ortogonale agli assi latero – laterali, individuando una metà destra e una sinistra.

La simmetria bilaterale si accompagna generalmente alla capacità di movimento e alla **cefalizzazione**, cioè la concentrazione di organi di senso e tessuto nervoso nella parte anteriore del corpo, in modo da consentire una visuale completa di ciò che si trova davanti. Alcuni animali presentano degli organi di senso posteriori, utili per difendersi dai predatori.

Quando un animale si muove su un substrato l'estremità anteriore, che esplora l'ambiente, è differente da quella posteriore; la superficie ventrale, che poggia sul fondo o sul terreno, è diversa dalla superficie dorsale. Le due superfici laterali hanno invece una relazione simili con l'ambiente e sono uguali.

Il piano che separa superficie dorsale e ventrale prende il nome di **piano frontale**. Estremità anteriore e posteriore sono separati da un piano che prende il nome di **piano trasversale**.

Le sezioni usate per descrivere gli organi interni sono:

- Longitudinale sagittale: piano mediano dorso-ventrale o piano di simmetria, divide l'animale in una parte destra e una sinistra.
- Longitudinale frontale: divide il dorso dal ventre.
- Trasversale: è data dal piano dorso-ventrale perpendicolare al piano mediano, divide l'animale in una parte anteriore e in una posteriore.

Gli animali **sessili**, fissi al substrato, hanno di solito una **simmetria raggiata**. Esistono cioè più piani (due o più) che, passando per l'asse principale del corpo (asse di simmetria), lo dividono in due metà specularmente identiche. Nell'uomo, ad esempio, solo le metà destra e sinistra differiscono da quelle anteriori e posteriori. Di solito l'asse di simmetria è **oro – aborale**. Questa simmetria consente di prendere contatto con l'ambiente nello stesso modo in tutte le direzioni. Negli animali a simmetria raggiata una sezione longitudinale è data da qualunque piano che passi per l'asse di simmetria (oro – aborale); una sezione trasversale è perpendicolare all'asse di simmetria.

La simmetria raggiata può essere *primaria* quando è sempre appartenuta alla specie, o *secondaria* quando le larve presentano simmetria bilaterale. Gli unici organismi assolutamente a simmetria raggiata sono gli Cnidari, che presentano una corona di tentacoli.

Il piano strutturale di molti animali comporta la divisione del corpo in una serie di parti simili, o segmenti. La ripetizione segmentale di parti, definita metameria, comprende strutture sia interne sia esterne, quali gli organi escretori, i vasi sanguigni, i nervi e così via. Un chiaro esempio di metameria **omomora** sono i lombrichi, i quali presentano sia simmetria interna che esterna (cavità metamerica). Quando la simmetria individua segmenti diversi prende il nome di metameria **eteromora**, come avviene nel caso degli artropodi, che presentano regioni del corpo (appendici) diverse. Nei pesci (vertebrati) si ha una metameria **interna**, a livello della spina dorsale o della muscolatura.

Piani strutturali

La maggior parte degli animali, durante lo sviluppo embrionale, presenta tre foglietti embrionali. Solo

negli cnidari tra i due foglietti manca il mesoderma intermedio, con grosse limitazioni nello sviluppo degli organi interni. L'unico strato presente è la mesoglea, uno strato gelatinoso amisto privo di cellule.

Gli animali che mancano di mesoderma prendono il nome di diblastici. Dagli cnidari in più, quando si individuano tre foglietti embrionali, si parla di organismi triblastici.

Prima degli Cnidari esistono i Poriferi, i quali non vengono considerati veri e propri metazoi in quanto hanno delle caratteristiche particolari come l'essere né diblastici né triblastici e la presenza di embrioni totalmente diversi: vengono infatti chiamati *Parazoi*, per distinguerli dagli *Eumetazoi*. In questi organismi le cellule possono cambiare da un tipo all'altro in quanto manca un differenziamento cellulare definitivo. Essi, inoltre, non presentano le giunzioni cellulari. Se vengono passati al setaccio le cellule, una volta separate, sono in grado di riaggregarsi ulteriormente.

Altre caratteristiche ci consentono di raggruppare gli organismi in base al loro sviluppo embrionale.

Fra i diblastici possiamo infatti individuare:

- **Protostomi:** in corrispondenza del blastoporo si avrà la bocca del futuro animale. Normalmente questi hanno **segmentazione a spirale**, ossia i blastomi prendono posizione diversa, e si ha uno sviluppo di tipo **determinativo**. Le larve dei protostomi sono larve simili alla *brocofora*. Il celoma di forma per **schizocelia** (prima masse compatte e mesodermiche in cui poi si forma una cavità).
- **Deuterostomi:** in corrispondenza del blastoporo si avrà l'ano e in quella opposta la bocca dell'animale. Questi organismi invece presentano solitamente **segmentazione radiale** e lo sviluppo è di tipo **regolativo**. Se ci sono larve, queste sono di tipo *dipleurula*. Il celoma si forma per **enterocelia**, a partire da evaginazioni dell'*archenteron*.

Gli animali, come abbiamo detto, sono organismi pluricellulari, pertanto i Protozoi non si classificano come tali ma come protisti, ossia eucarioti unicellulari. Fra gli organismi pluricellulari abbiamo il livello di aggregati di cellule, che corrisponde alle spugne, infatti queste non rientrano come Metazoi veri e propri. L'apertura, che prende il nome di osculo, non è una bocca ma un'apertura da cui esce l'acqua. Gli Eumetazoi presentano foglietti embrionali, una bocca e una cavità digerente più o meno cava.

I protisti ancestrali hanno raggiunto il conseguimento della condizione *multicellulare*. In seguito, il conseguimento dell'organizzazione tissutale consente il conseguimento di una *simmetria radiale*. Tutti gli altri hanno conseguito una *simmetria bilaterale*, in seguito alla quale si può avere l'assenza di una cavità corporea (organismi *acelomati*). **INSERIRE FOTO SLIDE SCHEMA** La presenza di una cavità corporea può portare la presenza di uno *pseudoceloma* o di un *celoma* vero e proprio, con formazione del celoma a partire da apparenti *evaginazioni* del canale alimentare o per cavitazione (*schizocelia*).

All'interno dei protostomi possiamo individuare:

- **Lofotrofozoi:** animali che presentano il lofotro (struttura per raccogliere il cibo) o larva trocofora.
- **Ecdisozoi:** sono costretti a fare l'ecdisi.

Questa suddivisione è abbastanza recente e si basa sulle sequenze dell'RNA ribosomiale nella subunità inferiore dei ribosomi. È una rivoluzione dei rapporti e delle classificazioni fatta sulla base della sistematica molecolare, meno soggetta ad interpretazioni e più oggettiva.

