



Zoologia generale (M-Z) 2022.

4. Escrezione e osmoregolazione



Escrezione





Escrezione

In un sistema escretore un filtrato del sangue, o linfa, costituisce **l'urina primaria**. Da questa vengono riassorbite alcune sostanze, mentre altre vi vengono secrete. Il prodotto finale è l'**urina**. Queste tre funzioni, **ultrafiltrazione, secrezione e riassorbimento**, vengono svolte da cellule specializzate che delimitano il sistema.

Dal momento che si tratta di rifiuti possiamo tentare una analogia con quanto si verifica nel trattamento di quelli urbani. **L'ultrafiltrazione** corrisponde al secco indifferenziato: una raccolta differenziata capillare rifiuto per rifiuto sarebbe impossibile perché richiederebbe infiniti bidoni, alcuni dei quali rimarrebbero spesso vuoti, e troppa energia.

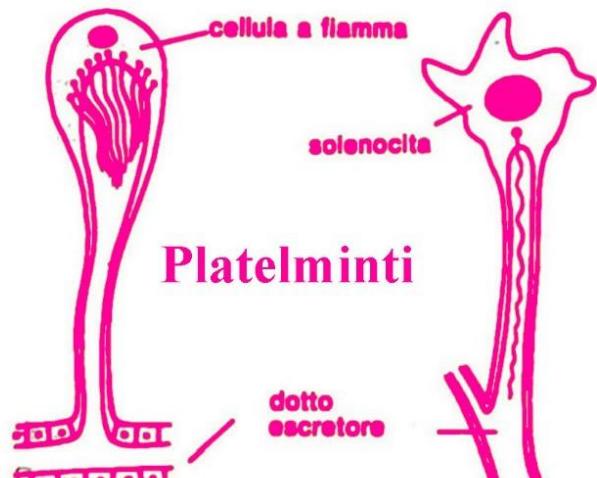
La **secrezione attiva** corrisponde alla raccolta dei rifiuti ingombranti i quali vengono portati singolarmente alla piattaforma ecologica, cioè secreti, perché le dimensioni eccessive ne impediscono una semplice «filtrazione» e sono comunque in numero inferiore agli indifferenziati.

Infine il **riassorbimento** corrisponde alla raccolta differenziata che recupera quanto ancora utilizzabile anche se richiede tempo ed energia.

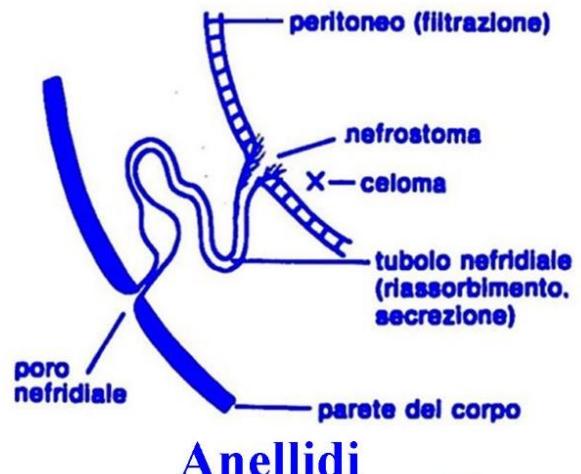


Organi escretori

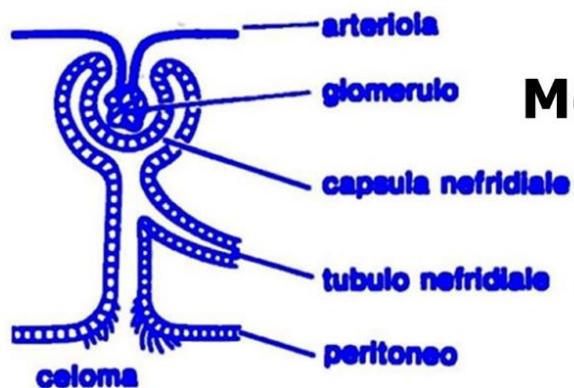
Reni a filtrazione



Protonefridi

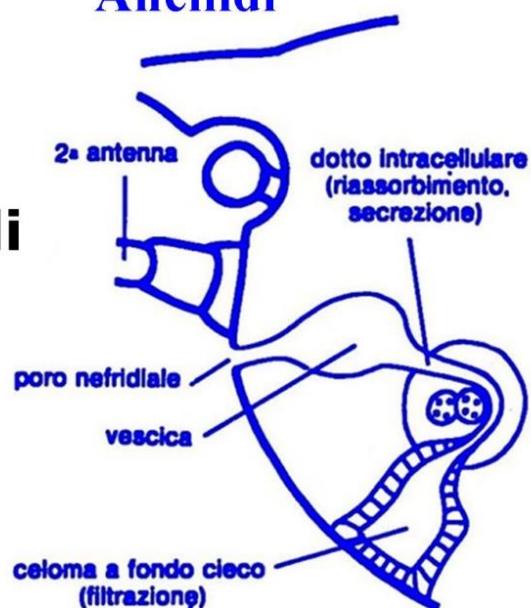


Anellidi



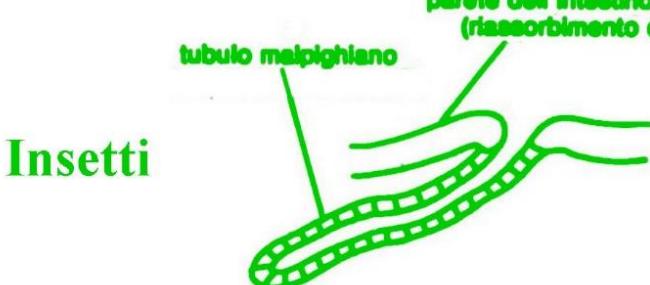
Vertebrati

Metanefridi



Crostacei

Reni a secrezione



Insetti

**Tubuli
Malpighiani**

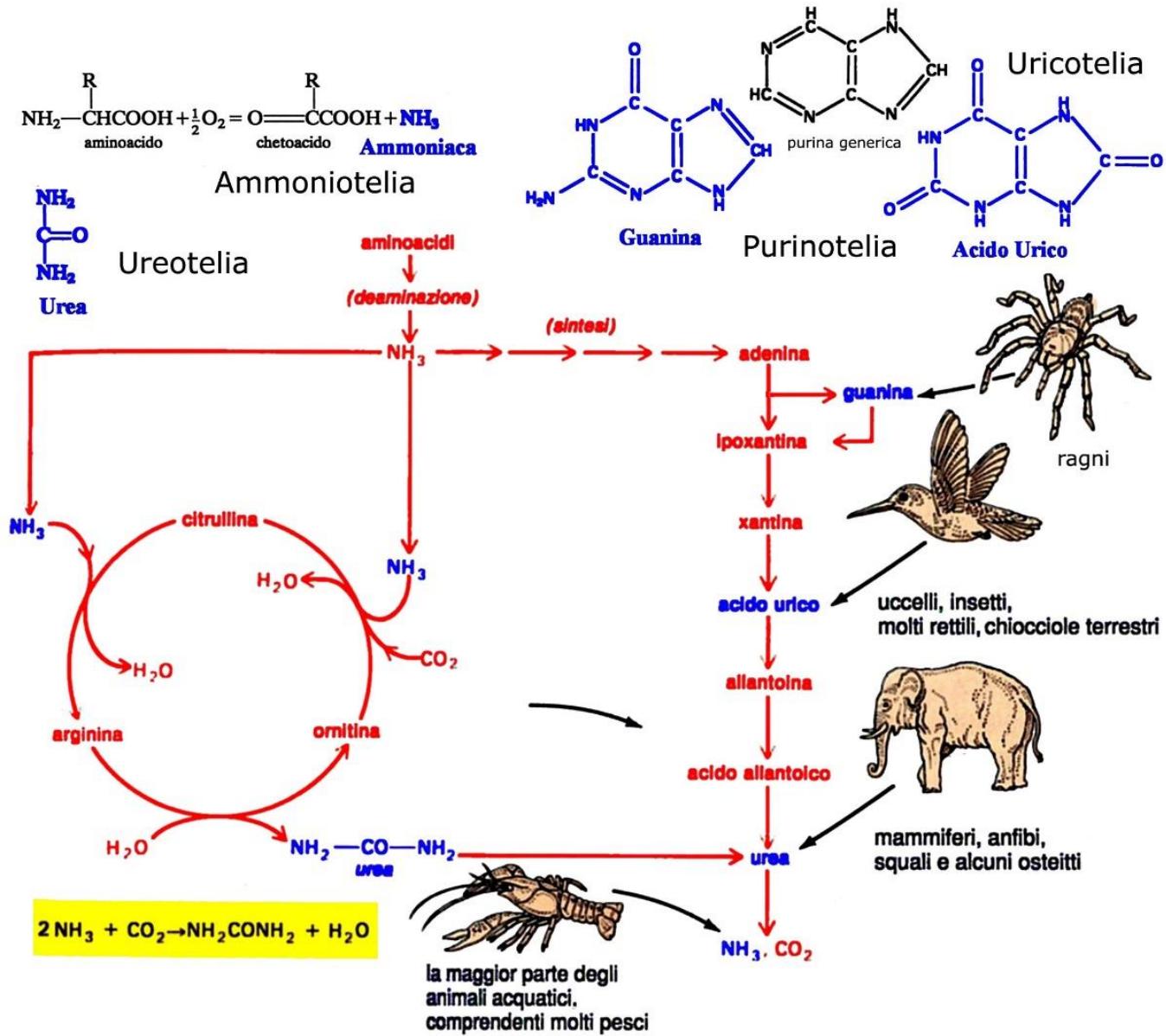


Organi escretori

Gli animali più semplici possono eliminare i **cataboliti azotati** prodotti attraverso un semplice processo di **diffusione** attraverso la propria parete corporea, grazie al favorevole rapporto superficie/volume. Agli animali più complessi, con una superficie relativa limitata e spesso più o meno impermeabile a causa della presenza di rivestimenti scheletrici, questa possibilità è preclusa per cui l'escrezione viene effettuata tramite due modelli fondamentali di organi escretori: i **reni a filtrazione**, secrezione e riassorbimento, detti anche **nefridi**, e i meno comuni **reni a secrezione** e riassorbimento, che non utilizzano meccanismi di ultrafiltrazione.



Cataboliti azotati



Caratteristiche dei principali cataboliti azotati dei vertebrati.

Composto	Formula chimica	Peso molecolare (u)	Solubilità in acqua (g·litro ⁻¹)	Tossicità	Dispendio metabolico della sintesi	Efficienza nella conservazione dell'acqua*
Ammoniaca	NH ₃	17	890,000	Alta	Nessuno	1
Urea	CO(NH ₂) ₂	60	1190,000	Moderata	Basso	2
Acido urico	C ₅ H ₄ O ₃ N ₄	168	0,065	Bassa	Alto	4
Urato di sodio	C ₅ H ₃ O ₃ N ₄ Na	212	0,880	Bassa	Alto	4
Urato di potassio	C ₅ H ₃ O ₃ N ₄ K	244	2,320	Bassa	Alto	4

* L'efficienza nella conservazione dell'acqua è espressa dal numero di atomi di azoto (N) per particella osmoticamente attiva; tassi più alti significano che una maggior quantità di azoto è escreta per unità osmotica. La solubilità varia con la temperatura; questi valori si riferiscono alla normale temperatura corporea dei vertebrati.



Cataboliti azotati

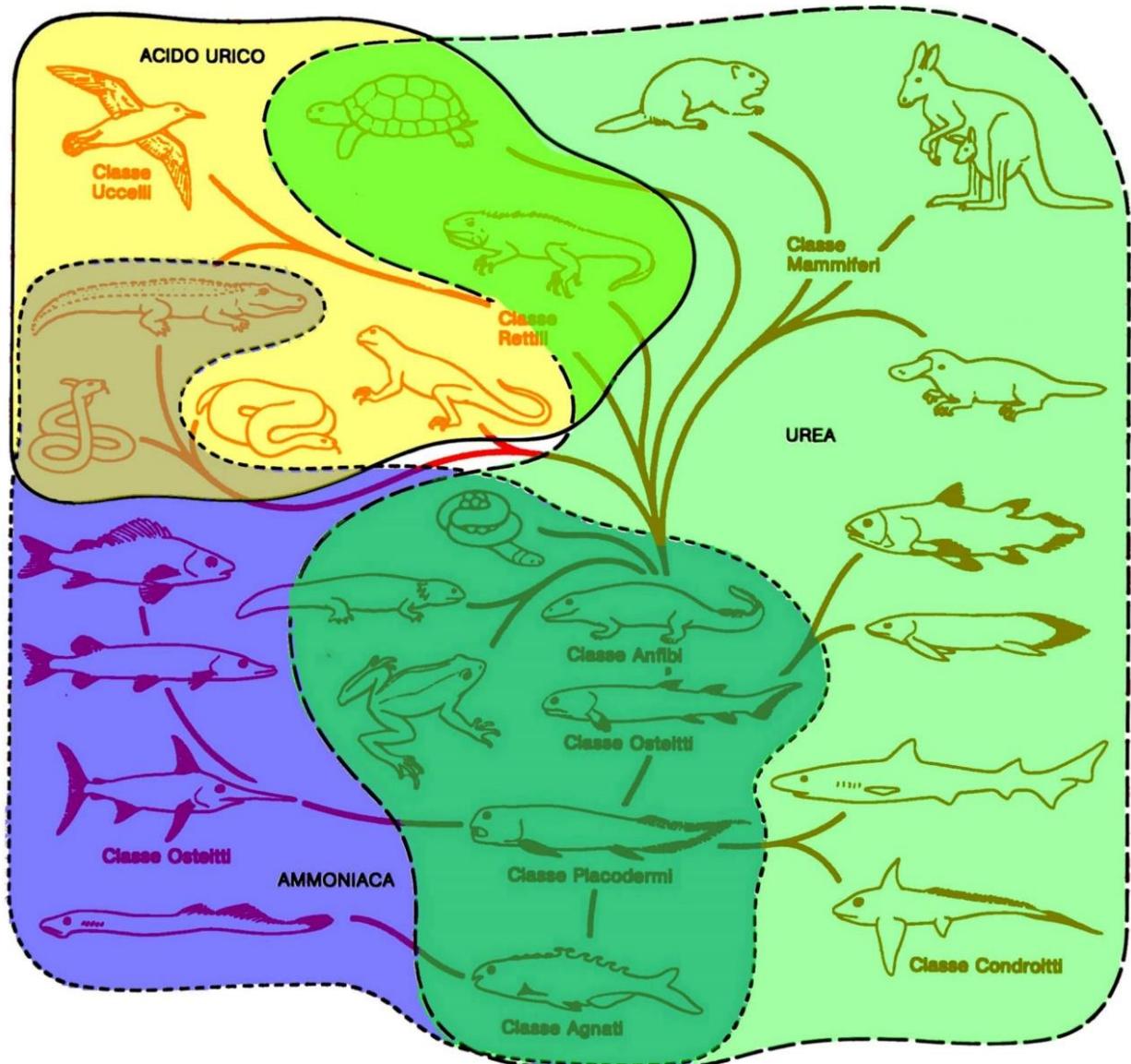
L'acido urico è il principale catabolita nell'escrezione degli animali più legati alla vita terrestre, ad esempio, insetti, uccelli e alcuni rettili.

L'allantoina, delle tartarughe e di alcuni mammiferi; **l'acido allantoico**, di alcuni osteitti. **L'urea**, che come si vede nello schema, può essere prodotta in due modi, è escreta da altri vertebrati terrestri non nominati precedentemente, ma è tipica dei mammiferi e di pochi invertebrati tra cui alcuni platelminti, anellidi e i molluschi.

L'ammoniaca, infine, è escreta dalla maggior parte degli animali acquatici e da molti invertebrati. Mentre gli animali acquatici possono eliminare l'**ammoniaca** direttamente, quelli terrestri debbono spendere energia per convertirla in composti meno tossici, quali **l'urea** o una **purina**.

Si può notare anche che un aumento della concentrazione di urea o di purine aumenta la pressione osmotica e riduce la perdita d'acqua. In *Lymnaea*, un gasteropode, le uova passano da concentrazioni di 0,5% di peso fresco a 4,5% prima della schiusa, ma questo è un processo comune nelle uova cleidoiche, ovvero il modello di uovo che si trova nei sauropsidi, ma anche in alcuni condroitti e gasteropodi.

Escrezione nei vertebrati



		Azoto urinario totale (%)		
Gruppo		Ammoniaca	Urea	Salì di acido urico
Lepidosauri	Sfenodonti	3-4	10-28	65-80
	Squamati	Poca	0-8	90-98
Arcosauri	Loricati	49-86	12-39	1-11
	Uccelli	1-28	2-14	53-85
Cheloni	Acquatici	4-44	45-95	1-24
	Deserticoli	3-8	15-50	20-50

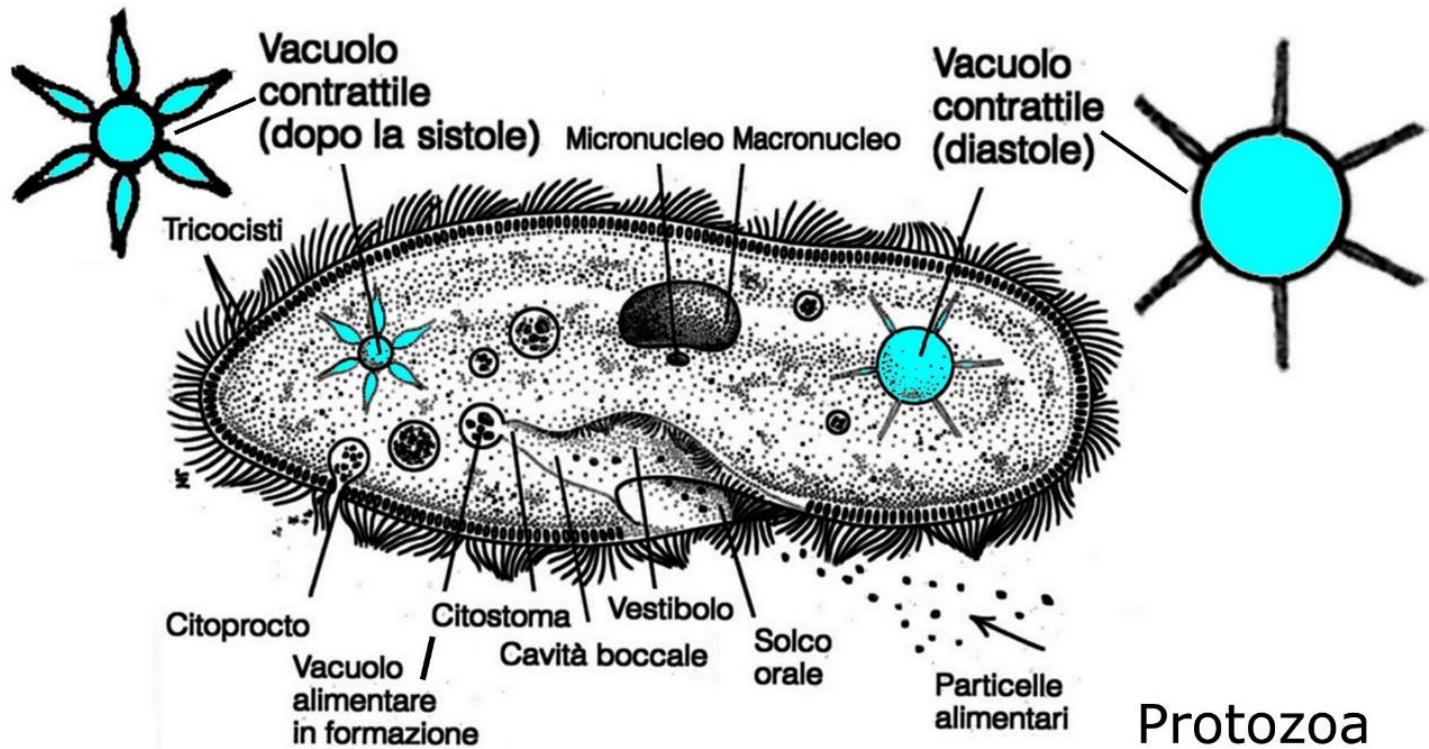


Escrezione nei vertebrati

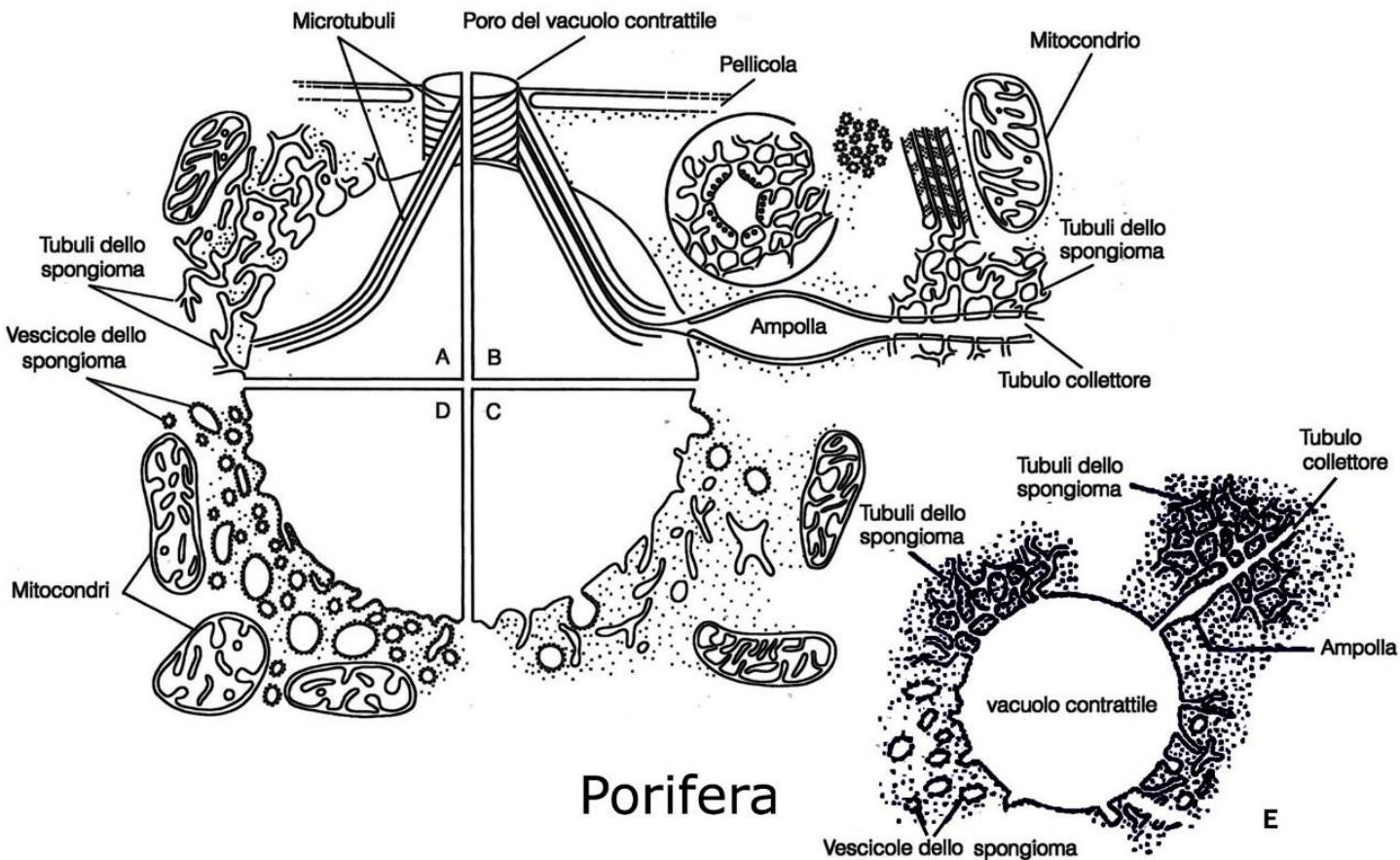
Si noti la sovrapposizione, in alcuni taxa, tra escrezione ammoniotelica, ureotelica e uricotelica. In genere gli animali eliminano miscele di vari cataboliti, ma uno di questi tende a predominare. Nella tabella è mostrata la situazione relativa ad alcuni sauropsidi. Particolarmente significative appaiono le differenti concentrazioni di cataboliti escreti dai cheloni che risultano in buon accordo con l'ambiente in cui vivono le diverse specie considerate L'uomo escreta 82% **urea**, 2% **ammoniaca**, 2% **acido urico** e 14% altro.



Vacuoli contrattili



Protozoa



Porifera

Vescicole dello spongioma

E

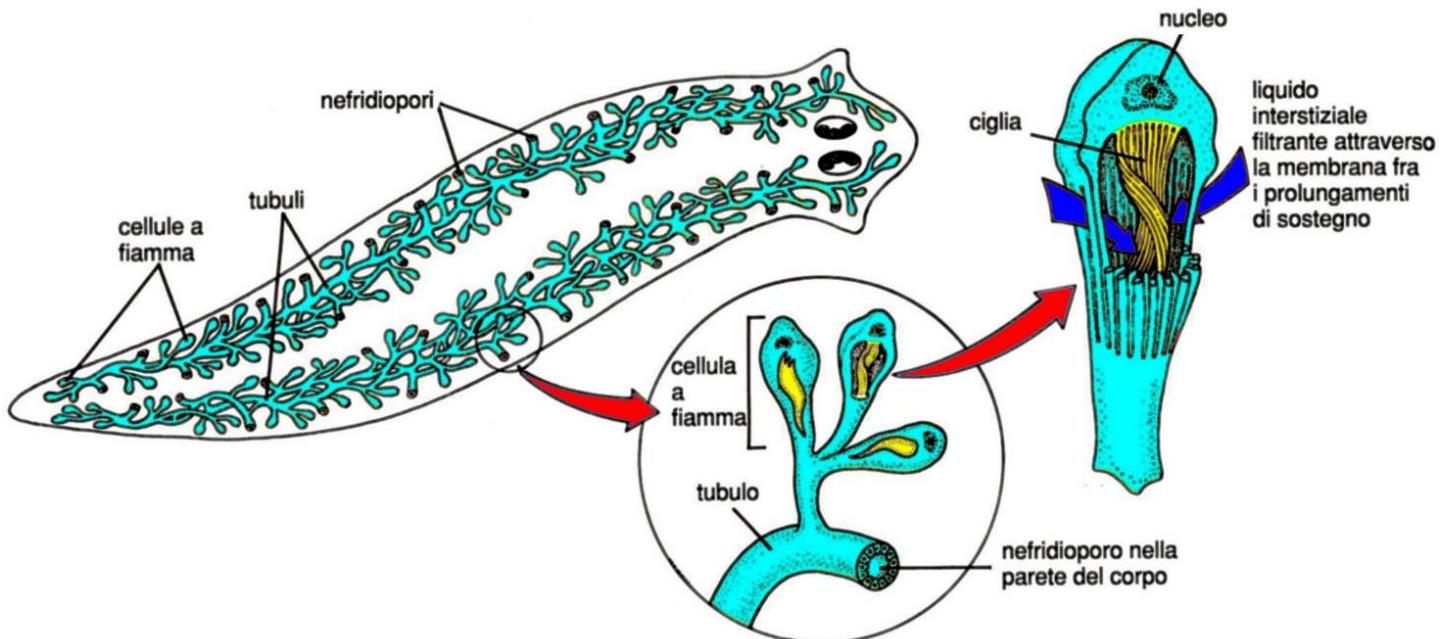


Vacuoli contrattili

Tutti i sistemi escretori contribuiscono all'**osmoregolazione**, che in alcuni casi è la funzione principale. I **vacuoli contrattili** servono essenzialmente per eliminare l'acqua in eccesso negli organismi dulciacquicoli. I tipi **(A)** e **(B)** si trovano nei ciliati. Lo **spongioma** è costituito da tubuli irregolari, pieni di liquido che può riversarsi direttamente nel vacuolo o attraverso le ampolle. I movimenti di **contrazione e dilatazione** sono opera dell'actina che riveste il poro e la superficie del vacuolo. **(C)** Tipico di flagellati e piccole amebe **(D)**. Tipico delle grandi amebe. **(E)** Vacuolo contrattile di una cellula di spugna di acqua dolce. Si può osservare come la sua struttura coincida con quello tipico di alcuni ciliati **(B)**.

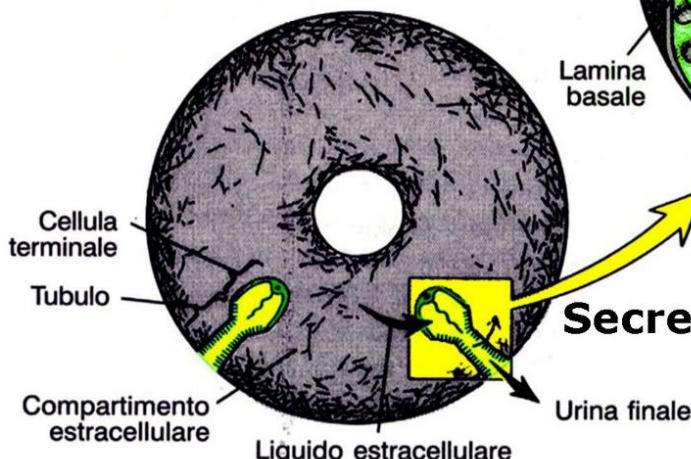


Protonefridio

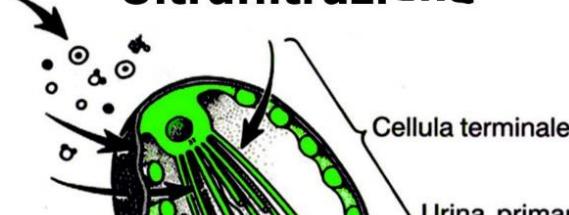


Liquido extracellulare:

- ❖ Acqua
- Tossine, ormoni usati
- ✖ Proteine
- Cellula
- Aminoacidi, zuccheri, ioni



Ultrafiltrazione



- ❖ Acqua
- Tossine, ormoni usati
- Aminoacidi, zuccheri, ioni

Riassorbimento

Secrezione

- △ = Secrezione
- ❖ Acqua
- Tossine, ormoni usati

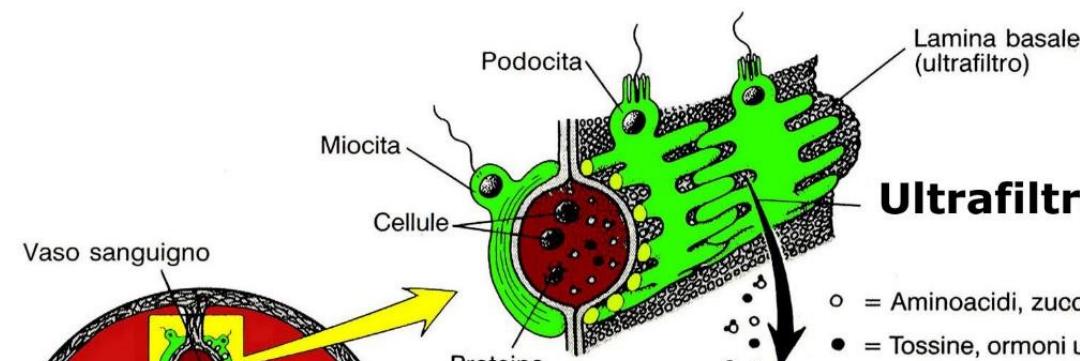
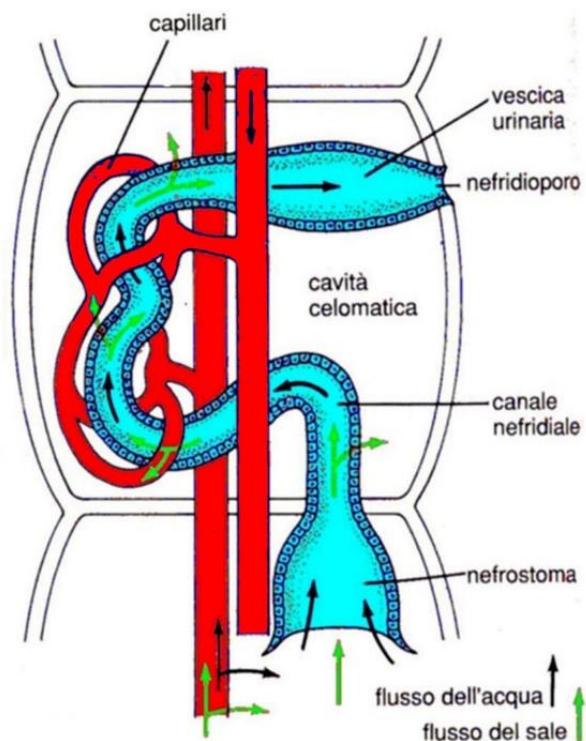
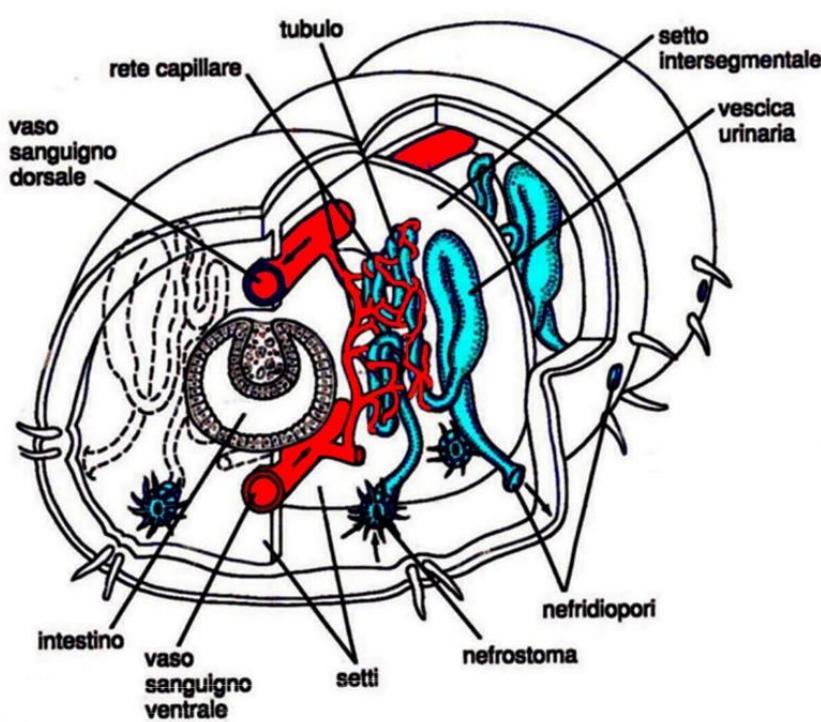


Protonefridio

In un platelminta due tratti di tubuli ciechi si ramificano all'interno del parenchima dell'animale. Il **liquido interstiziale** viene **ultrafiltrato** all'interno dei tubuli, dove viene elaborato, per mezzo di processi di **secrezione e riassorbimento**, e infine espulso attraverso i **pori nefridiali**. Le estremità cieche dei tubuli sono formate da **cellule a fiamma** che circondano uno spazio in continuità con il lume del tubulo. La "fiamma" è costituita da un ciuffo di ciglia, il cui battito crea una pressione negativa. Il liquido interstiziale attraversa la parete del tubulo a livello di fenestrelle, rivestite dalla lamina basale, delle cellule. Come vedremo più avanti le fenestrelle in corrispondenza della cellula a fiamma derivano da una serie di microvilli a palizzata della stessa, che si alternano e si incastrano tra i microvilli della cellula terminale del tubulo come i denti di un ingranaggio.

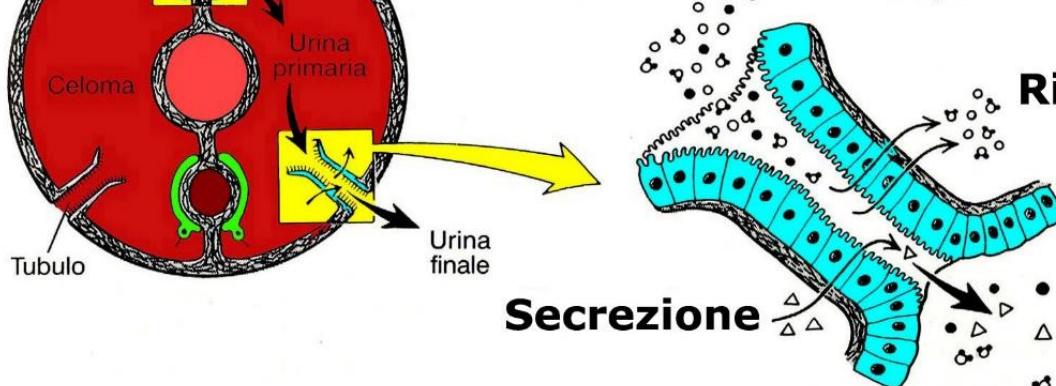


Metanefridio



Ultrafiltrazione

- = Aminoacidi, zuccheri, ioni
 - = Tossine, ormoni usati
 - △ = Acqua
- } Urina primaria (ultrafiltrato)



Secrezione

- = Tossine, ormoni usati
- △ = Secrezione
- = Acqua



Metanefridio

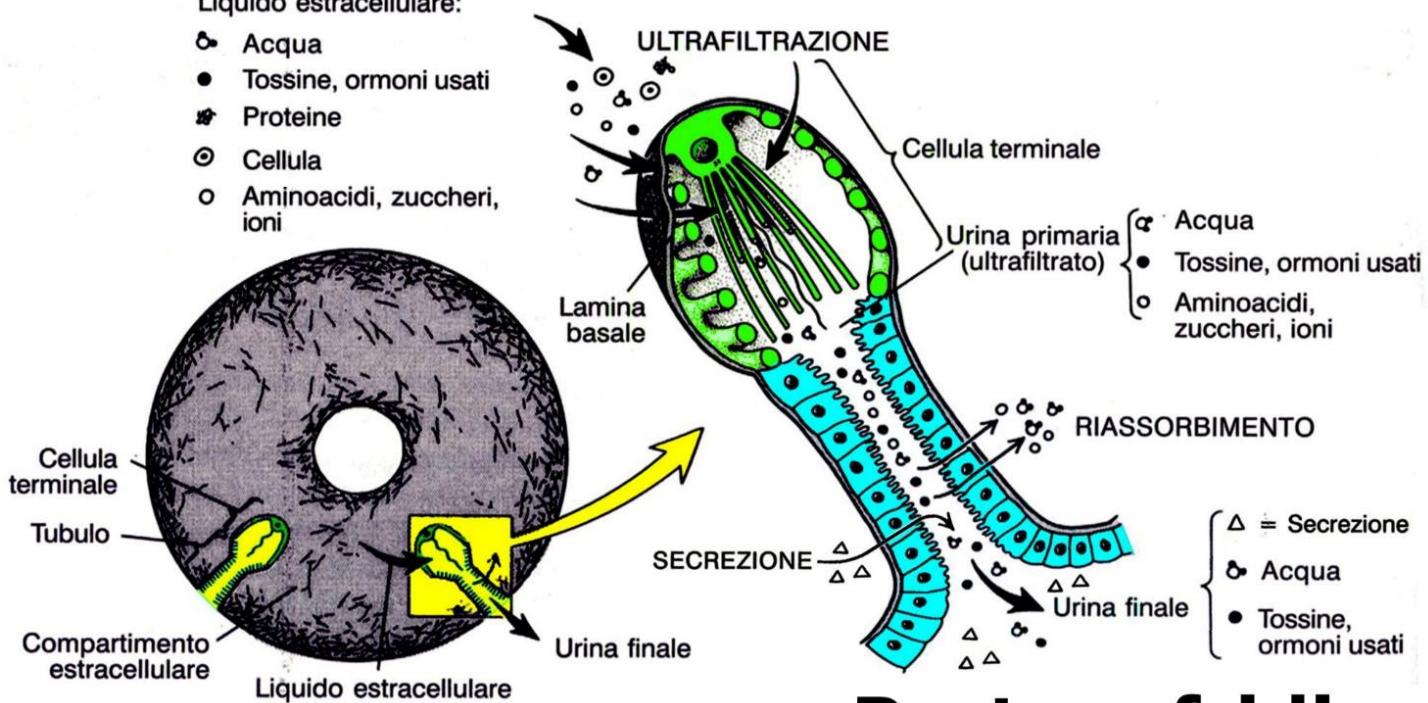
In un lombrico ciascun metamero porta due nefridi di cui è evidenziato solo quello sinistro. Il **plasma** sanguigno, grazie alla pressione esercitata dal cuore, viene **ultrafiltrato**, attraverso la lamina basale dei **podociti** che delimitano i vasi, all'interno del **celoma**. Il **liquido celomatico**, linfa, corrisponde quindi all'urina primaria. Questo liquido passa dalla cavità del corpo di ciascun metamero all'interno di tubuli che vi si aprono con un imbuto ciliato, il **nefrostoma**. Il liquido viene aspirato grazie alla pressione negativa prodotta dal battito ciliare. All'interno del tubulo l'urina primaria viene rielaborata, per mezzo di processi di **riassorbimento** (nell'immagine i sali, ma può essere anche l'acqua) e **secrezione**, che la trasformano in urina definitiva e che infine viene espulsa a attraverso i **nefridiopori**.



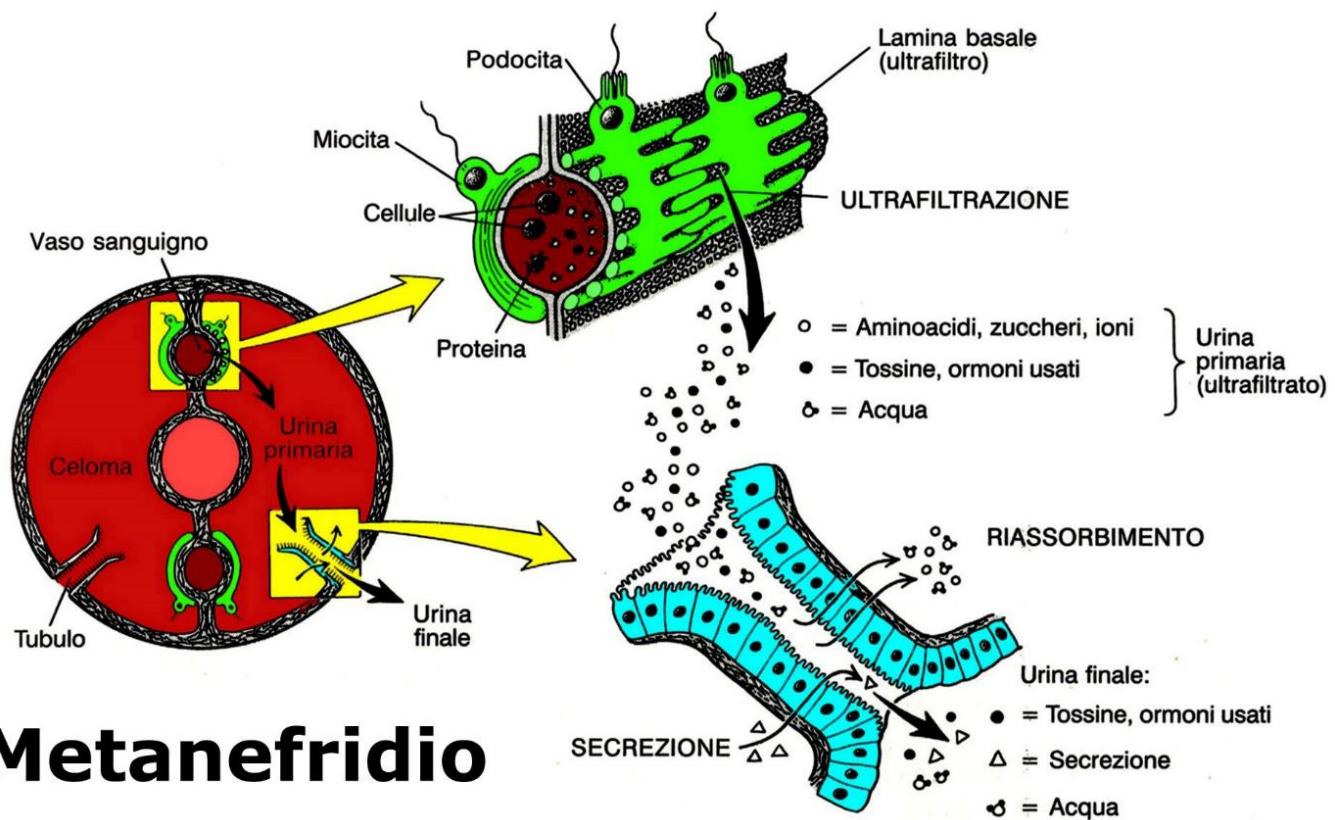
Nefridi a confronto

Liquido extracellulare:

- ❖ Acqua
- Tossine, ormoni usati
- ❖ Proteine
- Cellula
- Aminoacidi, zuccheri, ioni



Protonefridio



Metanefridio

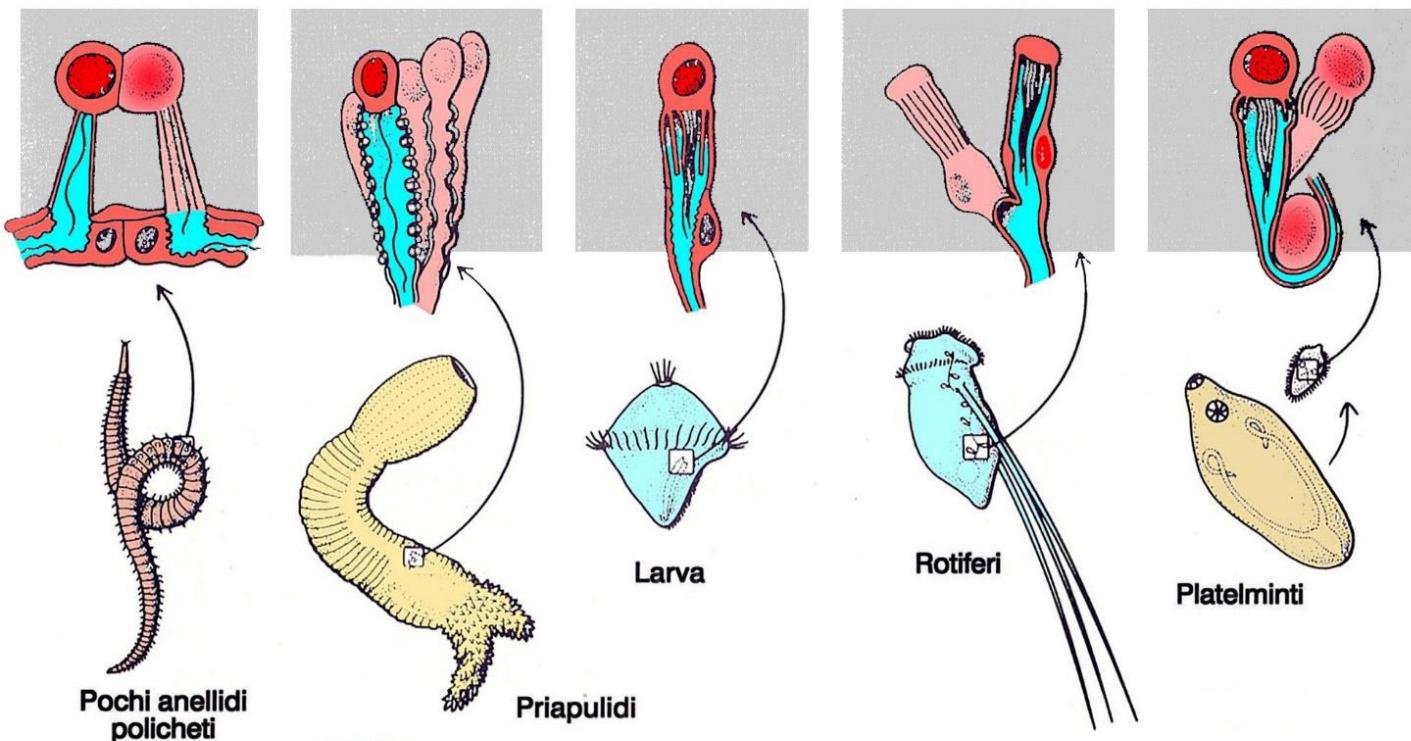


Nefridi a confronto

Nel **protonefridio** la struttura che genera la pressione utilizzata per l'**ultrafiltrazione** è direttamente connessa alla struttura preposta al **riassorbimento** e alla **secrezione**. Nel **metanefridio** le due strutture sono separate. Torniamo alla differenza tra **linfa** e **plasma**. Il plasma dell'emolinfa, o del sangue, cioè una emolinfa confinata in vasi, diviene la linfa del celoma, liquido celomatico, dopo l'ultrafiltrazione che ne varia la composizione.

A sua volta il liquido celomatico verrà processato per trasformarlo in urina. Negli acelomati, privi di cavità e di vasi, la linfa percola direttamente nel parenchima e da qui passa nel protonefridio che la trasforma in urina.

Sistemi protonefridiali



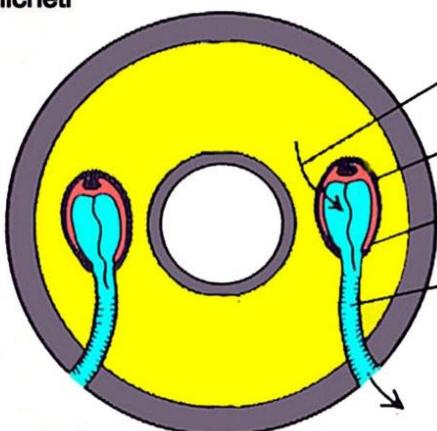
Pochi anellidi policheti

Priapulidi

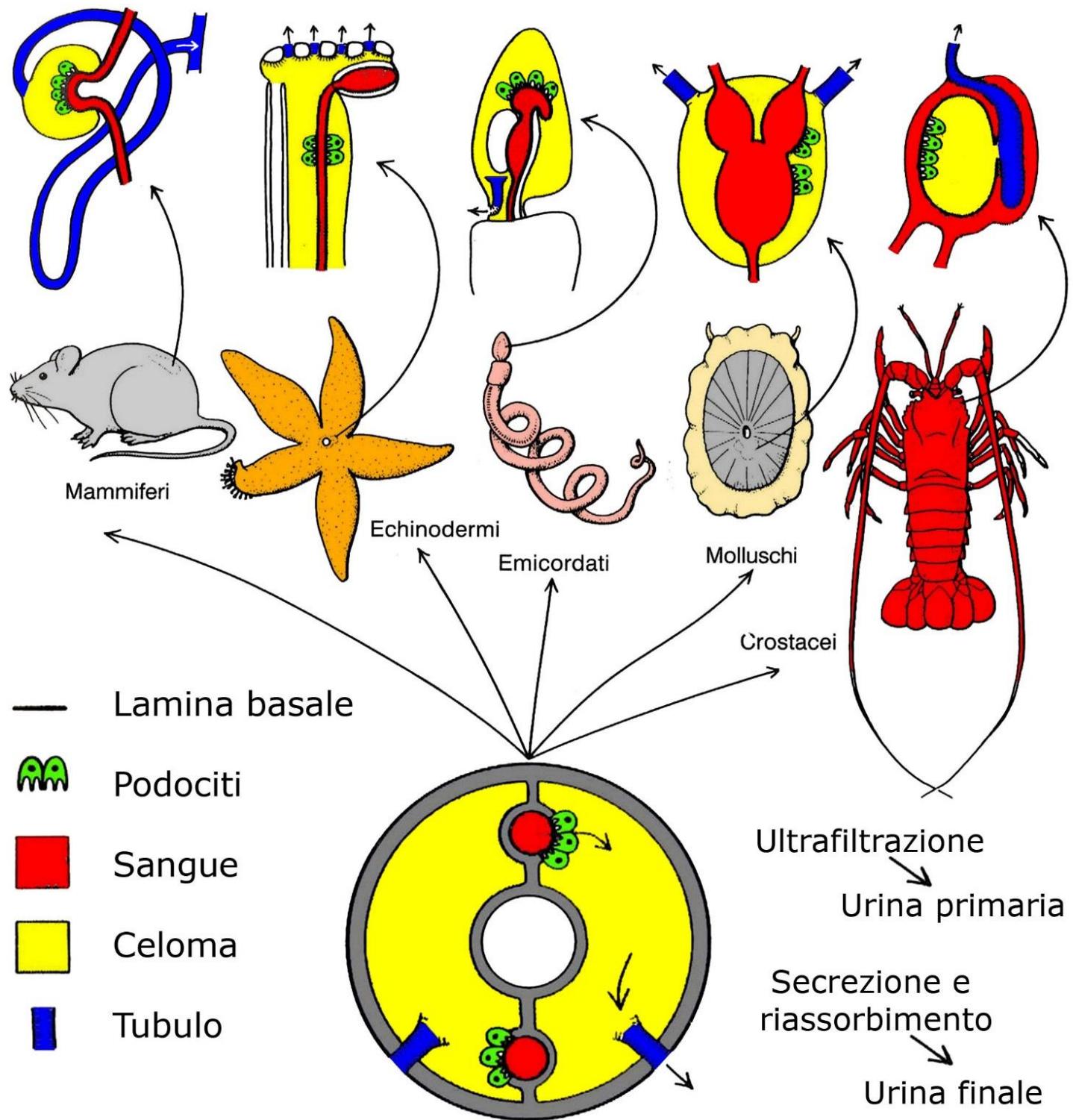
Larva

Rotiferi

Platelminti



Sistemi metanefridiali





Sistemi metanefridiali

I bilateri **privi di vasi**, e in particolare privi del **cuore**, o di **celoma**, o di ambedue, possiedono protonefridi invece dei metanefridi. Tipicamente si tratta di animali, o le loro larve, molto piccoli o piatti. Talvolta possono avere grandi dimensioni, ma in tal caso presentano un'unica **cavità corporea indivisa**, sostanzialmente uno pseudocele, in cui poche cellule a fiamma pescano direttamente. La **cellula a fiamma** ha il nucleo in posizione apicale, il **bulbo a fiamma** ha il nucleo spostato di lato. La cellula fiamma è **pluriciliata**, il **solenocita** è **monociliato**.

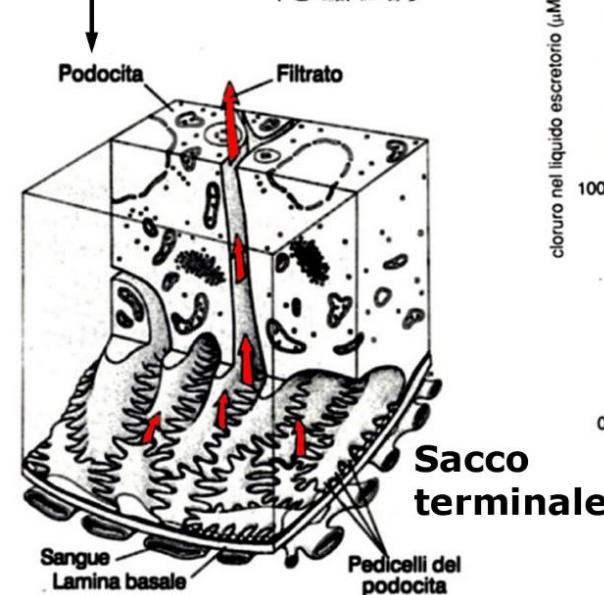
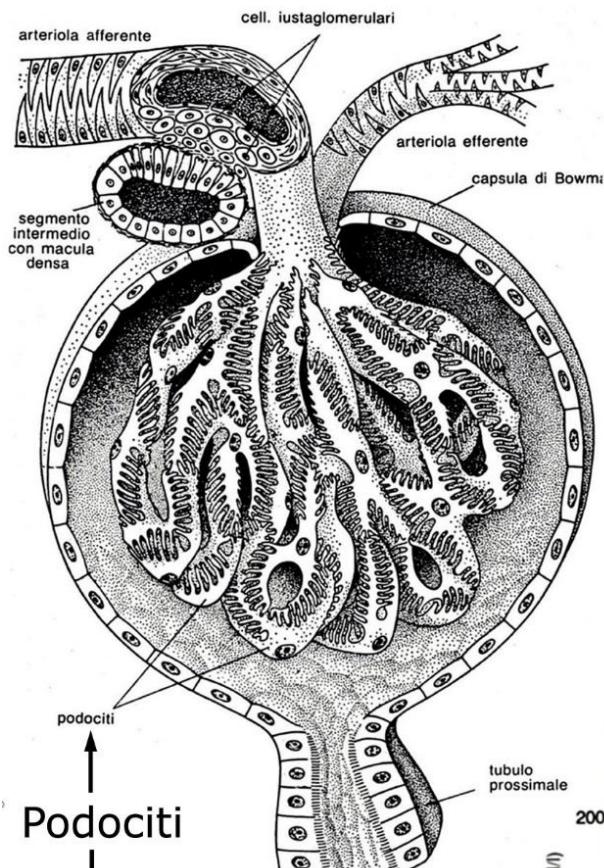
I bilateri di grandi dimensioni dotati, di **sistemi emovascolari** e di **celoma**, possiedono metanefridi invece dei protonefridi. In questo caso l'ultrafiltrazione non è realizzata dal battito ciliare, ma dalla pressione impressa dal cuore. Le ciglia possono rimanere a livello del nefrostoma, ma non partecipano all'ultrafiltrazione.

Ricapitolando:

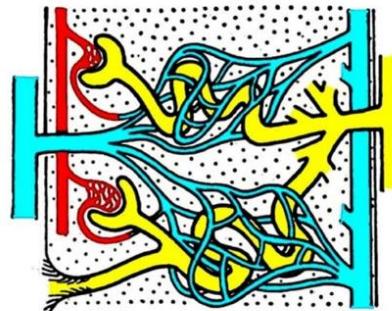
gli acelomati sono privi di cavità e di vasi; gli pseudocelomati presentano una **cavità**, ma manca il **cuore**; i celomati possiedono cavità e cuore.



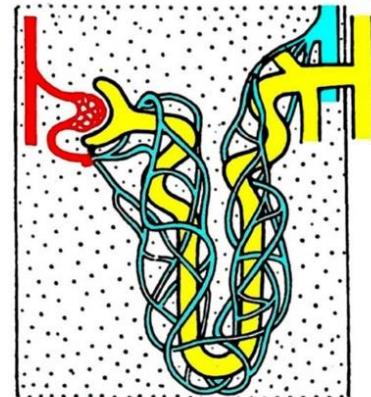
Metanefridi modificati



Tipi di nefroni dei Vertebrati e loro vascolarizzazione.

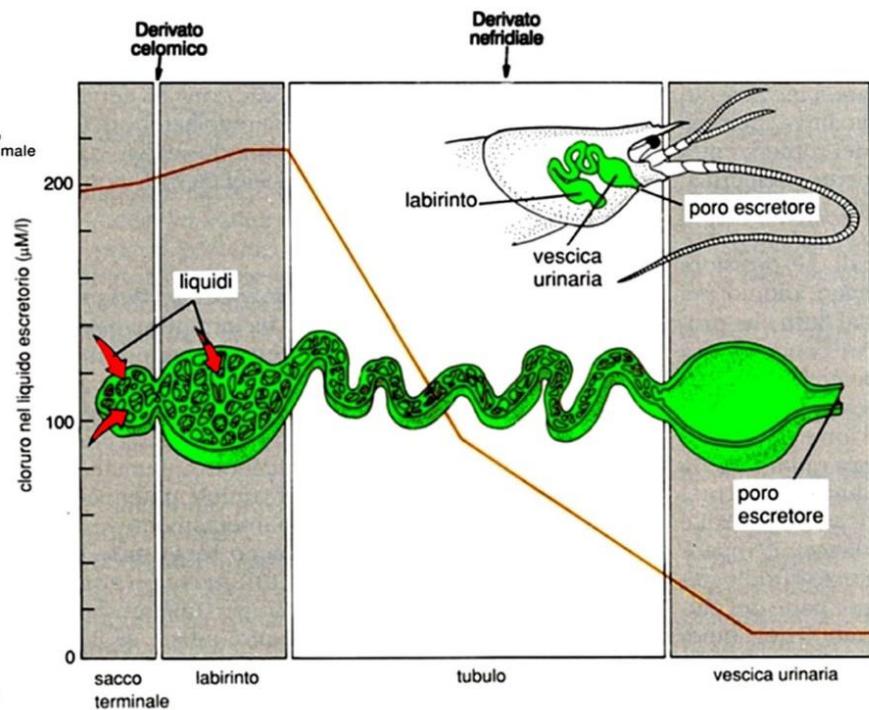


Urodeli, in alto senza nefrostoma e in basso con nefrostoma.



Mammiferi; manca la vena afferente.

Vertebrato



Crostaceo



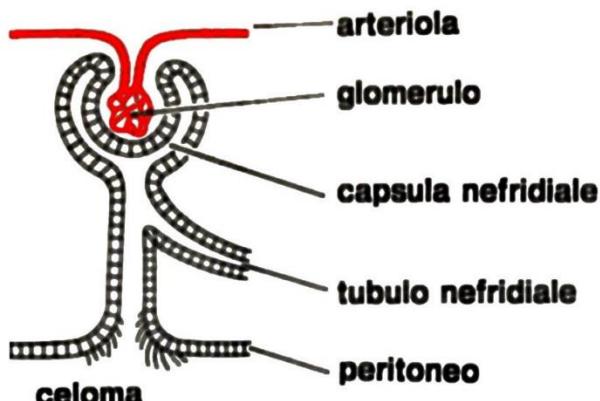
Metanefridi modificati

Nel **corpuscolo di Malpighi** dei vertebrati il sangue è convogliato nel **glomerulo capillare**. L'ultrafiltrato, dopo aver attraversato i **podociti** che poggiano sulla lamina basale dei capillari, viene riversato nella **capsula di Bowman** che, in alcuni vertebrati mantiene le primitive connessioni con una cavità celomatica, mentre nella maggioranza le perde. Dalla capsula passa nel tubulo che spesso forma lunghe anse e che nei mammiferi è in grado di concentrare l'urina rendendola iperosmotica rispetto al sangue.

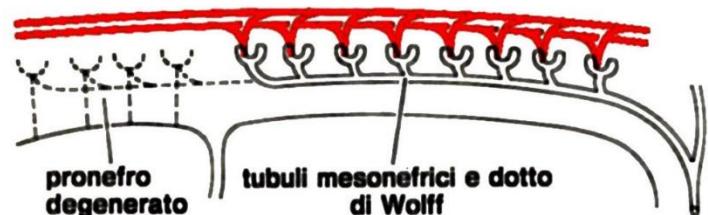
Nella **ghiandola antennale** di un gambero l'ultrafiltrato dell'emolinfa è spinto attraverso le pareti del **sacco terminale**, rivestito di podociti, e del **labirinto**, entrambi derivati del celoma. L'immagine mostra un esempio di riassorbimento dell'urina primaria attraverso il tubulo mostrando come varia la concentrazione degli ioni cloruro.



Rene dei vertebrati



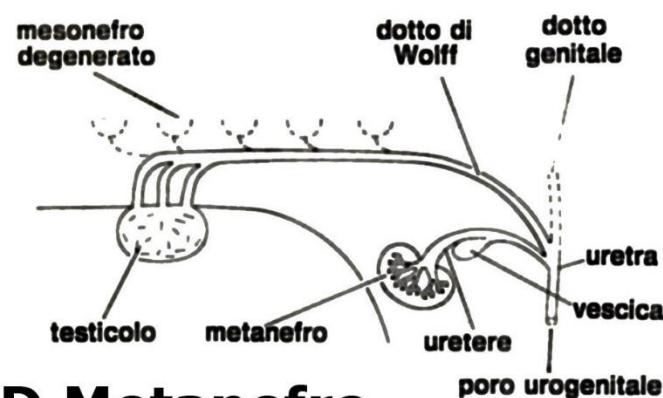
A Nefrone



C Mesonefro



B Pronefro



D Metanefro

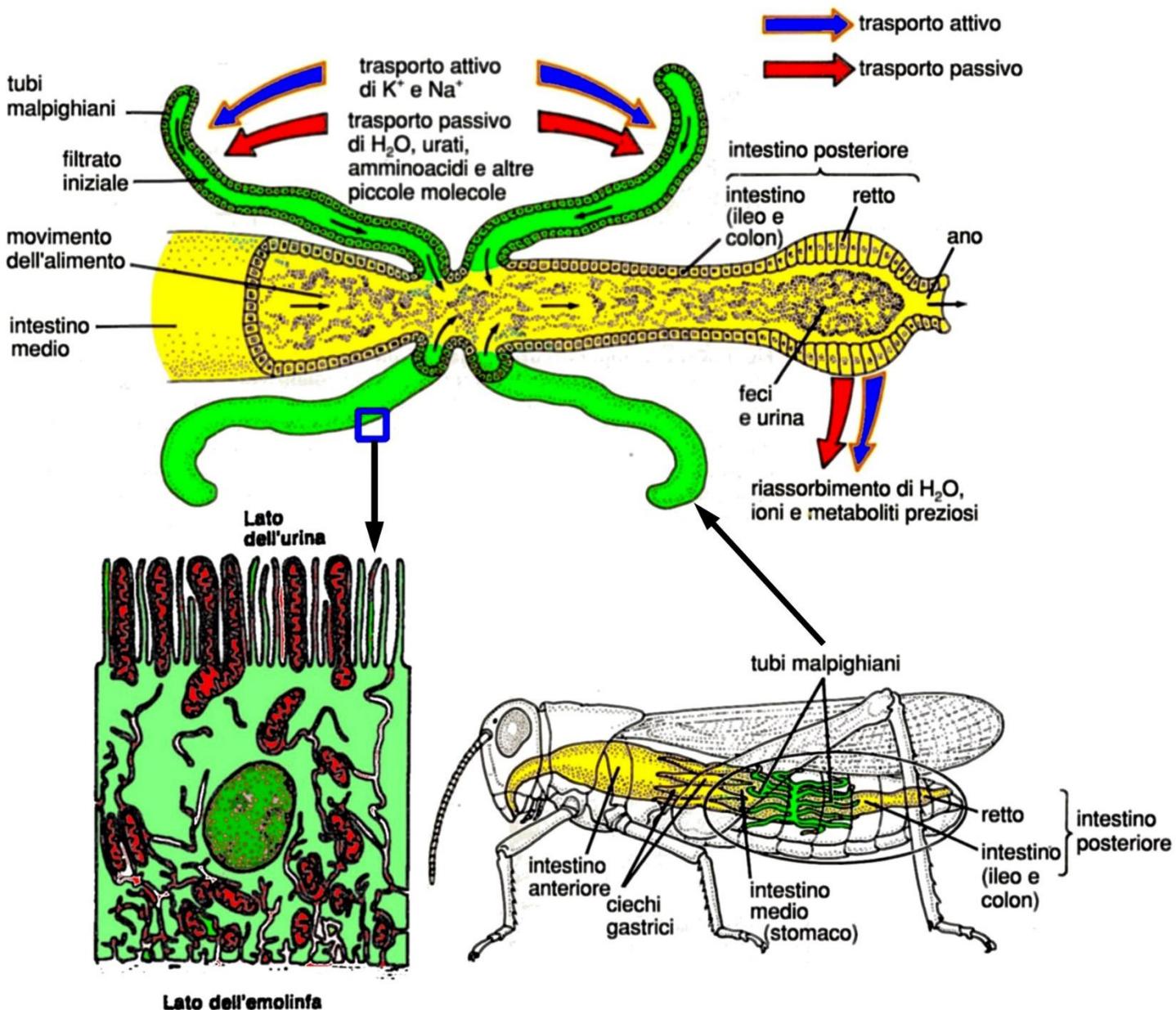


Rene dei vertebrati

(A) Il **nefrone** primitivo, l'unità del rene dei vertebrati, presentava un **nefrostoma** che si apriva nel **celoma**. **(B)** Nel **pronefro** degli embrioni i nefrostomi si aprono nella cavità pericardica. **(C)** Nel **mesonefro** degli anamni si sviluppano nuovi nefroni lungo il dotto di Wolff, ma questi perdono le connessioni con il celoma. **(D)** Nel **metanefro** degli amnioti si sviluppano nuovi nefroni indipendenti che sboccano nella porzione posteriore del dotto di Wolff. Nei maschi questo dotto mantiene le connessioni con il **testicolo**, nella femmina degenera, perché il dotto genitale femminile è indipendente. Per le strette connessioni tra gonadi e reni si parla di sistema **urogenitale**. Gli scambi tra i fluidi contenuti nei diversi compartimenti del corpo sono molto intensi e, nell'uomo, ammontano a 75.000 litri al giorno (l/d); nel rene scorrono 1.800 l/d di sangue, di questi 180 l/d vengono ultrafiltrati e, infine, 1,8 l/d vengono eliminati come urina.



Tubuli malpighiani





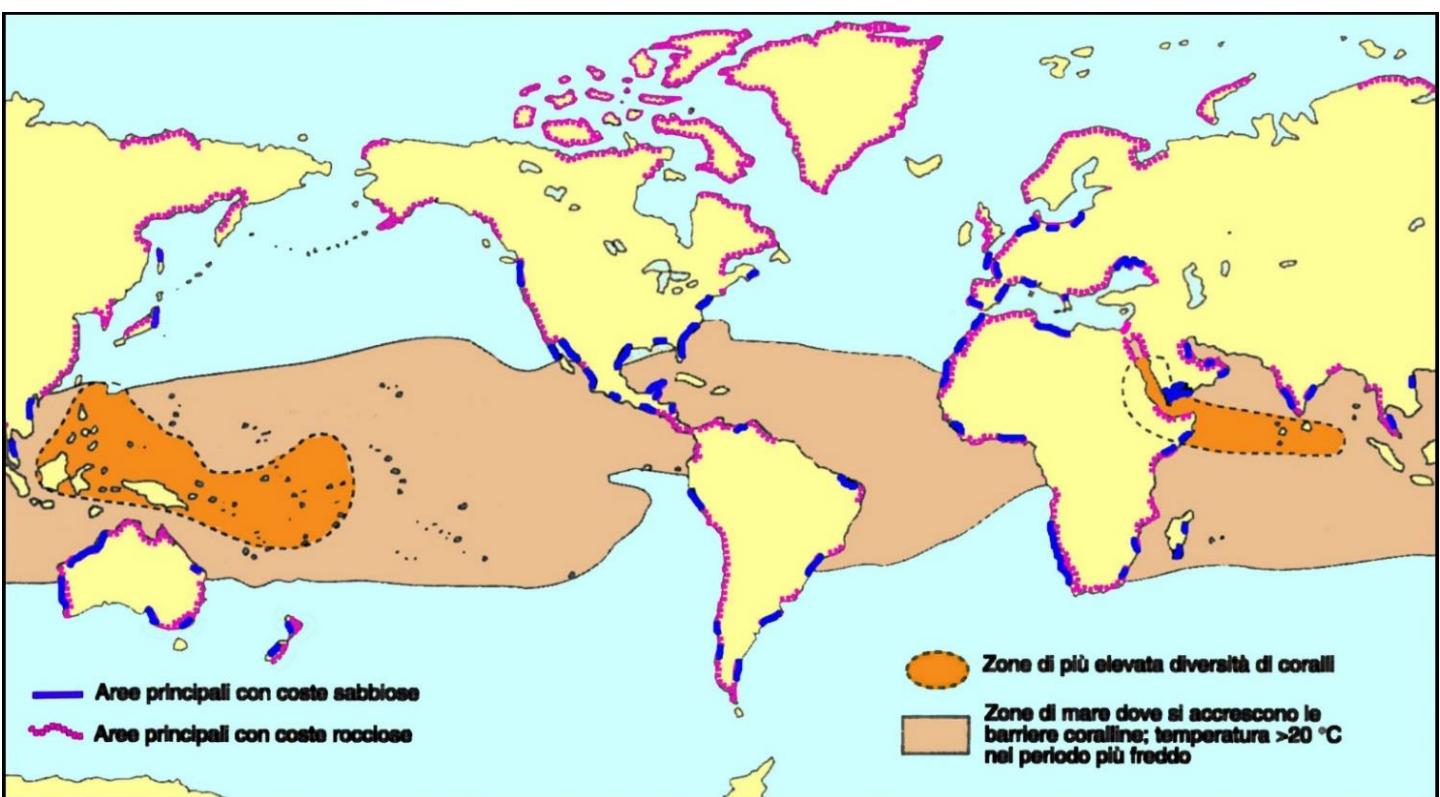
Tubuli malpighiani

I reni a secrezione sono tipici degli organismi che hanno perduto le ciglia funzionali, che non possiedono il cuore o hanno i fluidi circolanti soggetti a pressioni piuttosto limitate, tutte caratteristiche che ostacolano o impediscono la filtrazione. In pratica questo identikit corrisponde agli artropodi, in particolare quelli terrestri, e ai nematodi. In effetti si tratta di due taxa attualmente considerati affini e compresi negli ecdisozoi.

I **tubuli malpighiani** degli insetti derivano dall'ectoderma, mentre gli organi analoghi degli aracnidi sono di origine endodermica. Come si può notare la cellula di un tubulo malpighiano appare ricchissima di mitocondri, suggerendo la presenza di fenomeni di **trasporto attivo**.



Intervalli di tolleranza





Intervalli di tolleranza

Per descrivere la capacità di sopportare le **variazioni ambientali** di un organismo vivente si adoperano i prefissi **euri-** e **steno-**. Si noti che un organismo può essere euriecio per un parametro e stenoecio per un altro.

Euriecie sono specie che tollerano la variabilità di molti valori ambientali.

Stenoecie quelle che esigono la stabilità di molti dei valori ambientali.

Euriterme sono specie che tollerano ampie variazioni di temperatura.

Stenoterme quelle che esigono temperature stabili (alte, medie o basse). Ad esempio sono megaterme le madrepore dell'immagine precedente, che richiedono una temperatura media annua superiore ai 20°C, mesoterme le specie che esigono una temperatura compresa tra i 15 e i 20°C, microterme tra 0 e 15°C.

Eurialine sono specie che tollerano ampie variazioni di salinità.

Stenoaline quelle che esigono valori di salinità stabili (alti, medi o bassi). Anche in questo caso si distinguono specie iperaline, mesoaline e ipoaline.

Eriosmotiche sono specie che tollerano ampie variazioni della concentrazione del mezzo esterno.

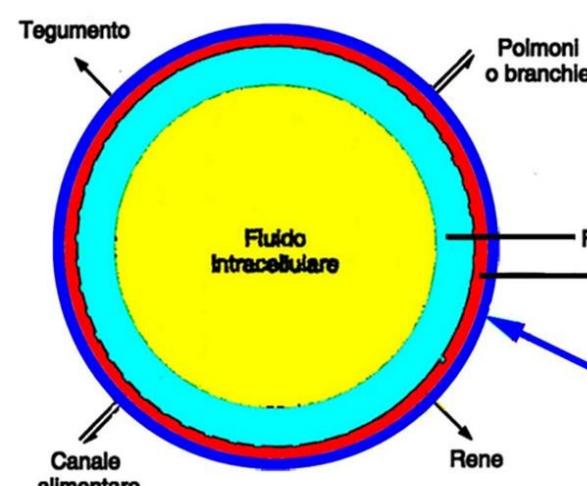
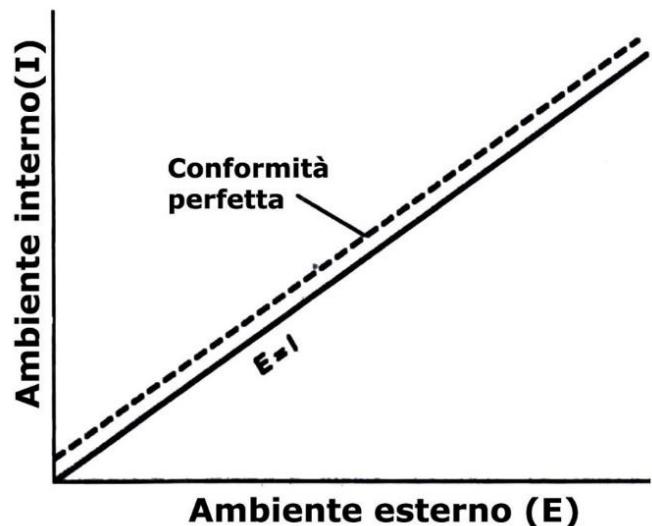
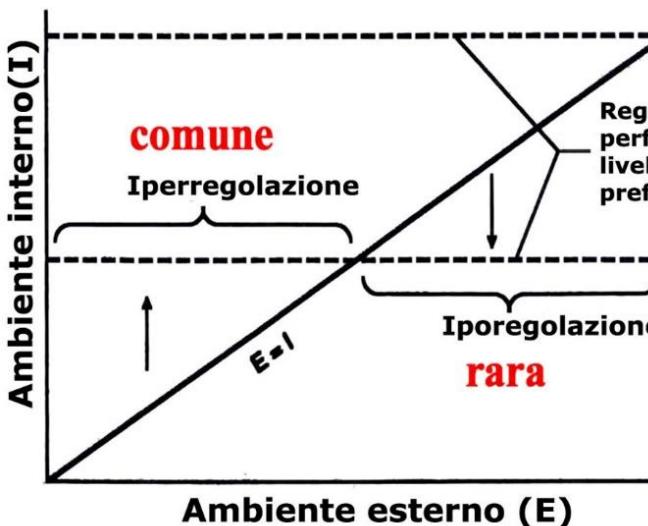
Stenosmotiche quelle che esigono valori di concentrazione del mezzo esterno stabili (alti, medi o bassi).

Eurifotiche sono specie che tollerano ampie variazioni di illuminazione.

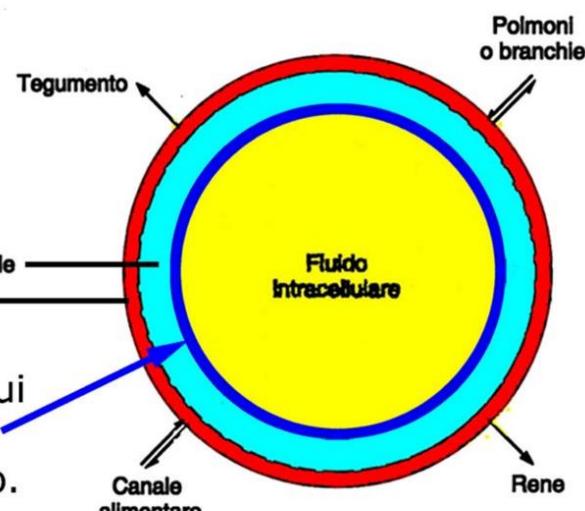
Stenofotiche quelle che esigono valori di illuminazione stabili (alti, medi o bassi). Pur essendo l'illuminazione un parametro fondamentale solo per gli organismi fotoautotrofi, occorre ricordare che molti eterotrofi, animali compresi hanno simbionti di questo tipo. Si distinguono specie fotofile, eliofile, mesofotiche e sciafile.



Regolatori e conformi



Regolatore



Conforme



Conformi e regolatori

Gli animali **regolatori** controllano l'interfaccia tegumento-fluidi corporei; in pratica mantengono costante la concentrazione dei fluidi corporei. Alcuni riescono a evitare condizioni avverse.

Gli animali **conformi** non controllano l'interfaccia tegumento-fluidi corporei, ma regolano l'interfaccia **fluidi corporei-cellule**; in pratica operano per mantenere costante il volume cellulare.

Le strategie adottate dai diversi animali agiscono a diversi livelli biochimici, fisiologici, morfologici e comportamentali.

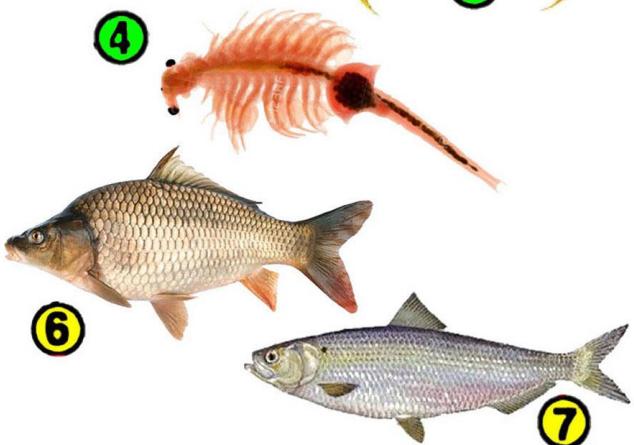
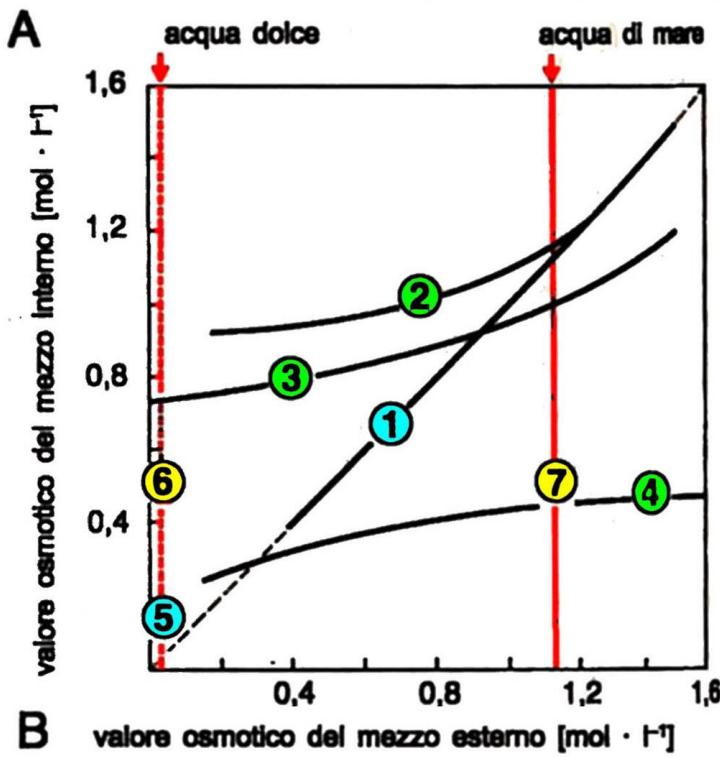
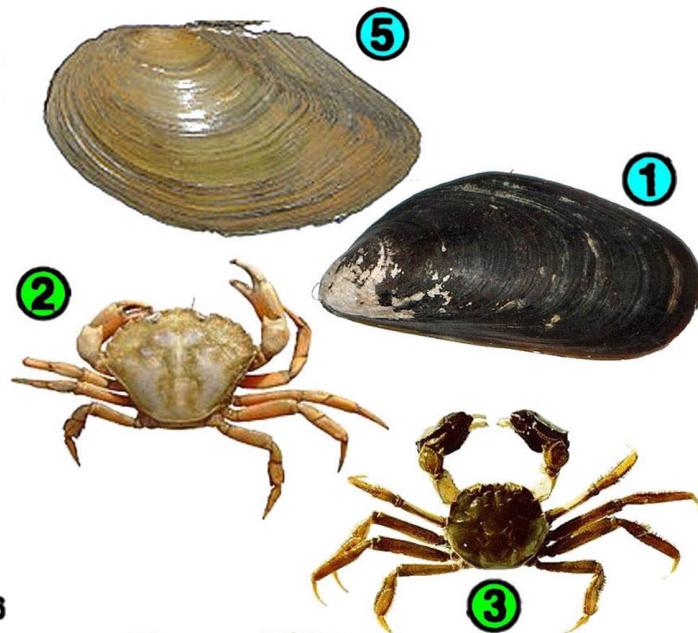
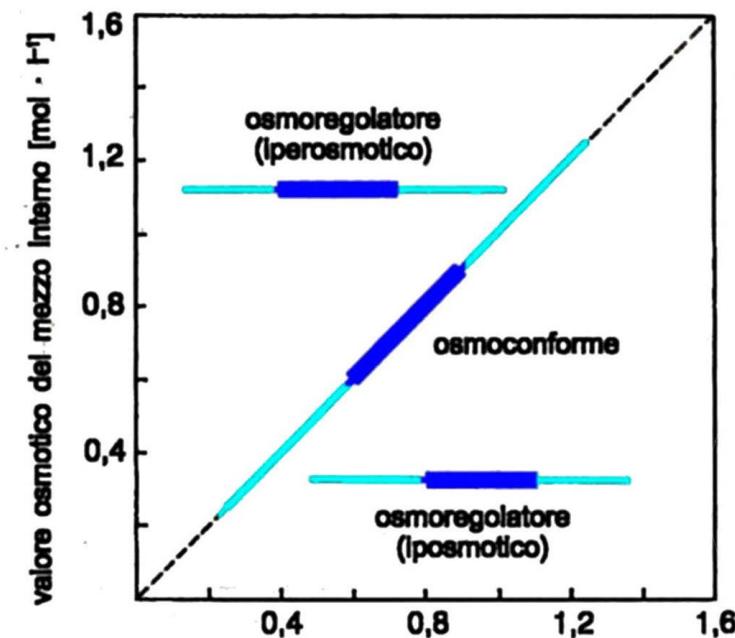
Semplificando un po' si può riassumere così:

gli animali di **piccole dimensioni**, a **corpo molle**, si conformano, oppure evitano le condizioni avverse attraverso la selezione del microhabitat; gli animali piccoli o di taglia media, con **esoscheletro**, regolano o evitano spostandosi in un ambiente meno ostile;

gli animali di **grandi dimensioni** di norma regolano perché un ridotto rapporto superficie/volume rende questa strategia meno costosa;

i vertebrati regolano sempre; anche gli **animali sessili** possono evitare condizioni ostili adottando forme di resistenza; anche gli animali regolatori, quando possono, evitano per risparmiare energia metabolica.

Osmoconformi e osmoregolatori



1 *Mytilus* (mollusco); 2 *Carcinus*, 3 *Eriocheir*, 4 *Artemia* (2-4 = crostacei); 5 *Anodonta* (mollusco); 6 teleostei di acqua dolce; 7 teleostei marini. Il valore osmotico dell'acqua di mare e dell'acqua dolce è evidenziato da linee in colore.



Osmoconformi e osmoregolatori

(A) Non bisogna confondere il concetto di euri- e stenosmotico con quello di osmoregolatore e osmoconforme. Un organismo regolatore può essere euriomotico (linea celeste) o stenosmotico (linea blu); lo stesso vale per uno conforme.

(B) I molluschi sono essenzialmente osmoconformi, *Anodonta* è stenosmotico; i crostacei sono essenzialmente osmoregolatori, anche se a valori estremi tendono a divenire osmoconformi; *Artemia* è iporegolatore. I vertebrati sono sempre osmoregolatori e regolano molto efficacemente. Il fatto che i molluschi sono più conformi rispetto ai crostacei e ai vertebrati, lo si evince anche dal fatto che, relativamente all'ambiente di acqua dolce, *Anodonta* è molto meno iperosmotico degli osteitti dulciacquicoli.

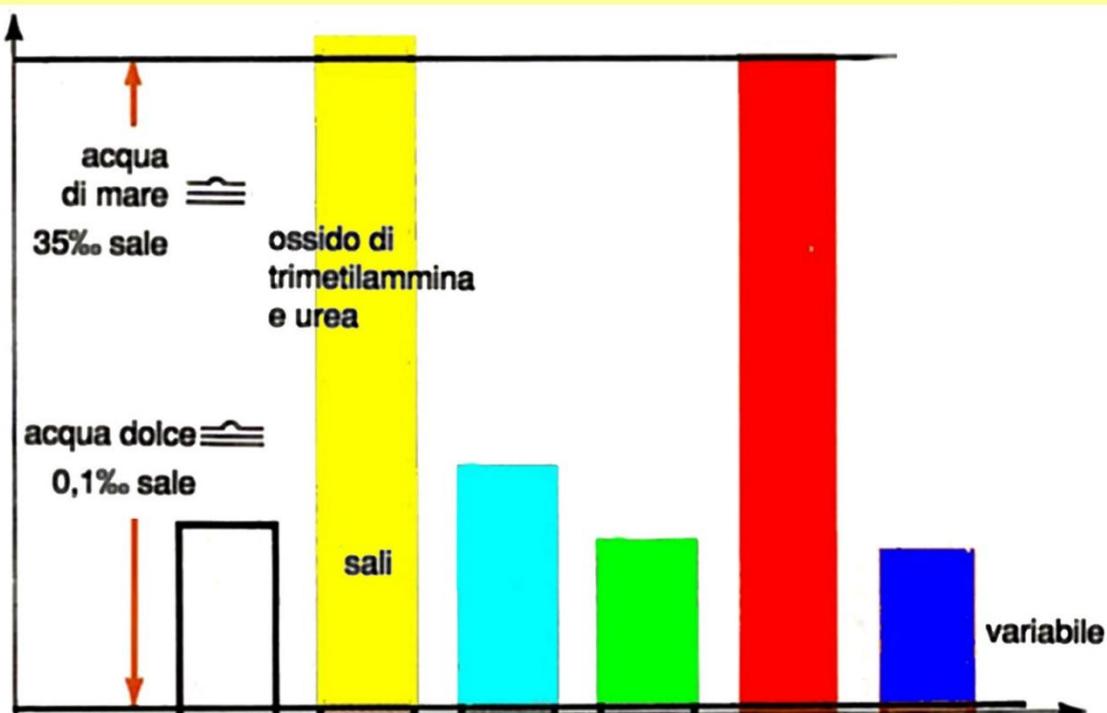
Pur essendo fondamentalmente osmoconformi, i molluschi possono mantenere condizioni stabili semplicemente serrando le valve. Durante il ciclo della marea, in *Mytilus edulis*, la concentrazione degli amminoacidi rimane quasi costante mentre l'osmolarità dei fluidi del mantello cambia meno della salinità esterna. In queste condizioni però, l'animale non può nutrirsi o respirare, per cui questa condizione non può protrarsi troppo a lungo.



Concentrazione dei fluidi organici

A

			Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄
Cnidaria	<i>Aurelia aurita</i>	99	106	96	97	104	47	
Echinodermata	<i>Marthasterias glacialis</i>	100	111	101	98	101	100	
Urochordata	<i>Salpa maxima</i>	100	113	96	95	102	65	
Annelida	<i>Arenicola marina</i>	100	104	100	100	100	92	
Sipuncula	<i>Phascolosoma vulgare</i>	104	110	104	69	99	91	
Crustacea	<i>Maia squinado</i>	100	125	122	81	102	66	
	<i>Dromia vulgaris</i>	97	120	84	99	103	53	
	<i>Carcinus maenas</i>	110	118	108	34	104	61	
	<i>Pachygrapsus marmoratus</i> *	94	95	92	24	87	46	
	<i>Nephrops norvegicus</i>	113	77	124	17	99	69	
Mollusca	<i>Pecten maximus</i>	100	130	103	97	100	97	
	<i>Neptunea antiqua</i>	101	114	102	101	101	98	
	<i>Sepia officinalis</i>	93	205	91	98	105	22	


B

- rettili, uccelli e mammiferi
- squali e razze
- osteitti marini
- pesci e anfibi dulciacquicoli
- molti invertebrati marini
- invertebrati dulciacquicoli



Concentrazione dei fluidi organici

A) Concentrazione ionica, nel plasma o nella linfa, espresso come percentuale del fluido confrontato con l'acqua di mare in diversi taxa di invertebrati.

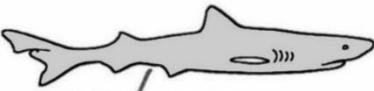
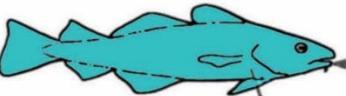
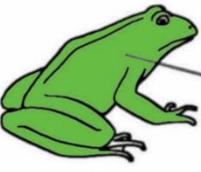
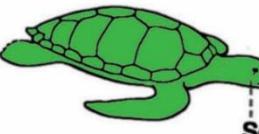
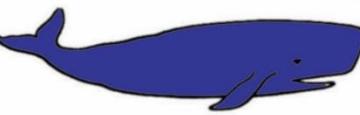
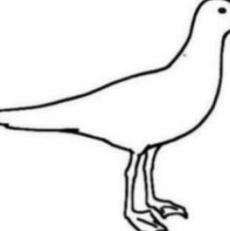
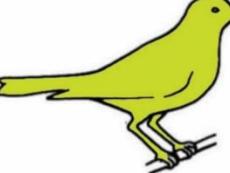
(B) Concentrazione osmotica dei fluidi organici, espressa come salinità (%) rispetto a quella dell'acqua dolce e marina negli animali.

Come abbiamo già notato la linfa e il liquido celomatico hanno una composizione più povera e più simile all'acqua di mare rispetto all'emolinfa e al plasma. Questo spiega perché gli echinodermi, che come vedremo presentano una forte dominanza celomatica, e gli cnidari, privi di un sistema vascolare e perciò fondamentalmente linfatici, sono gli animali i cui liquidi interni risultano più simili all'acqua di mare.

Tra le notevoli discrepanze di concentrazione che in molti casi si osservano tra i fluidi organici e l'acqua di mare la più comune è la drastica riduzione dei soli solfati nelle meduse (e in *Salpa*); questo è legato alla necessità di alleggerirsi per poter galleggiare efficacemente. Infatti negli echinodermi i solfati sono identici a quelli presenti in acqua di mare perché sono tipicamente bentonici. I solfati vengono scambiati con i più leggeri cloruri ma, dato che in acqua di mare, e nei liquidi corporei, i cloruri sono il 55% mentre i solfati sono solo il 7,7% la neutralità elettrica può essere mantenuta anche variando molto di meno la concentrazione dei secondi rispetto ai primi.



Scambio di acqua e sali

TAXON	CONCENTRAZIONE SANGUE/AMBIENTE	CONCENTRAZIONE URINA/SANGUE	SCAMBI ATTIVI DI ACQUA E SALI NEI VERTEBRATI.
Elasmobranchi marini	Isotonica	Isotonica	 NaCl ipertonico dalla ghiandola rettale Non beve acqua di mare
Teleostei marini	Ipotonica	Isotonica	 Beve acqua di mare Secerne sali dalle branchie
Teleostei acqua dolce	Ipertonica	Fortemente ipotonica	 Non beve acqua dolce Assume sali attraverso le branchie
Anfibi	Ipertonica	Fortemente ipotonica	 Assume sali attraverso la pelle
Rettilli marini	Ipotonica	Isotonica	 Beve acqua di mare Secrezione ipertonica dalla ghiandola del sale
Mammiferi del deserto	—	Fortemente ipertonica	 Non beve acqua È dipendente dall'acqua metabolica
Mammiferi marini	Ipotonica	Fortemente ipertonica	 Non beve acqua di mare
Uccelli marini	—	Debolmente ipertonica	 Beve acqua di mare Secrezione ipertonica dalla ghiandola del sale
Uccelli terrestri	—	Debolmente ipertonica	 Beve acqua dolce



Scambio di acqua e sali

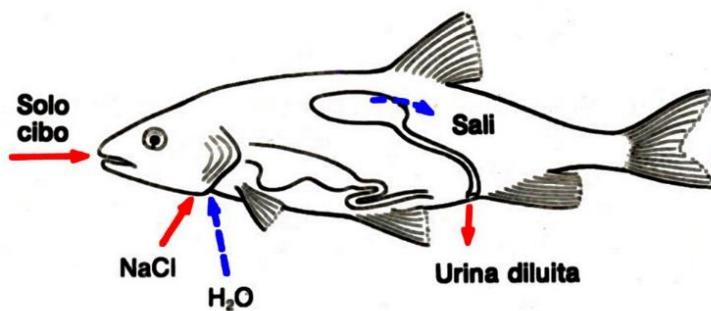
In questa tabella vengono mostrati il rapporto di concentrazione tra il sangue e quella del mezzo esterno, acqua marina o acqua dolce, e il rapporto tra la concentrazione dell'urina e quella del sangue. Come si nota i mammiferi sono i soli in grado di produrre una urina ipertonica rispetto al sangue, però un uccello può eliminare 1g di acido urico, insolubile, con 1,5-3 mL di acqua mentre un mammifero elimina 1g di urea con 60 mL di acqua. Perciò, pur non potendo concentrare l'urina con i reni, gli uccelli possono produrre urina con una concentrazione di acido urico 3000 volte superiore al plasma mentre i mammiferi deserticoli al massimo concentrano l'urea di sole 25 volte rispetto al plasma.

L'immagine mostra solo gli scambi attivi, mentre non sono riportate le perdite passive di acqua attraverso il tegumento, i polmoni e il tratto alimentare.

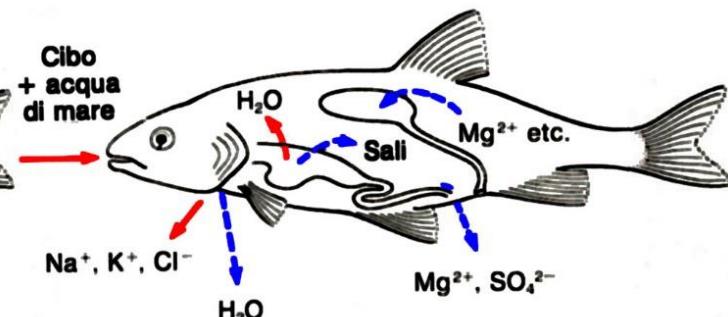
Un aspetto importante è che gli animali che bevono acqua di mare possiedono strutture specializzate per l'**escrezione dei sali**. Chi non le possiede non la beve perché, per ripristinare la corretta concentrazione dei fluidi interni, andrebbe incontro a una perdita d'acqua complessiva. Anche i mammiferi, pur essendo in grado di concentrare i soluti nell'urina rispetto al sangue non sono in grado di smaltire l'eccesso di sali che assumerebbero bevendo acqua di mare.



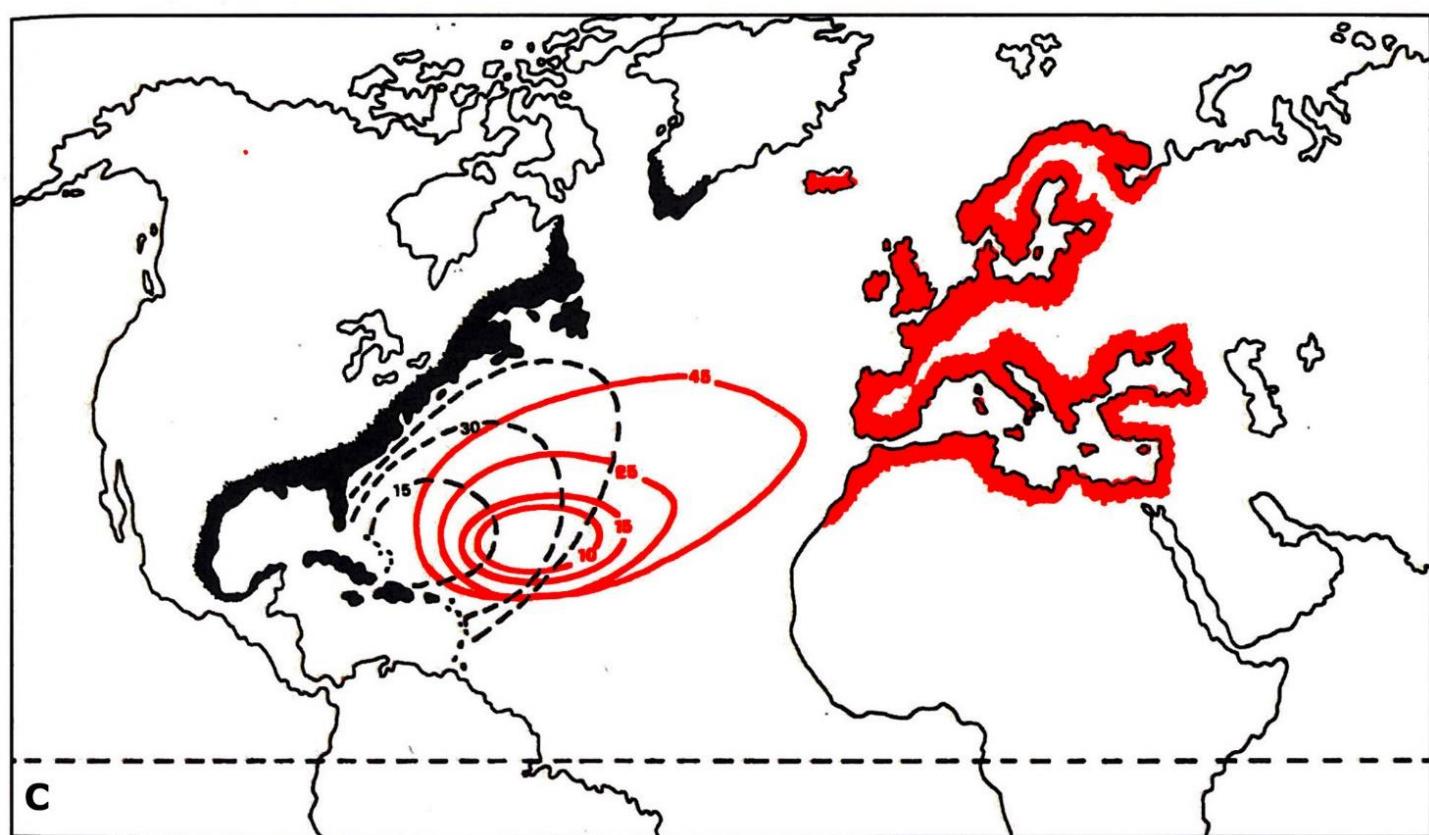
Anadromi e catadromi



A Teleosteo d'acqua dolce



B Teleosteo marino





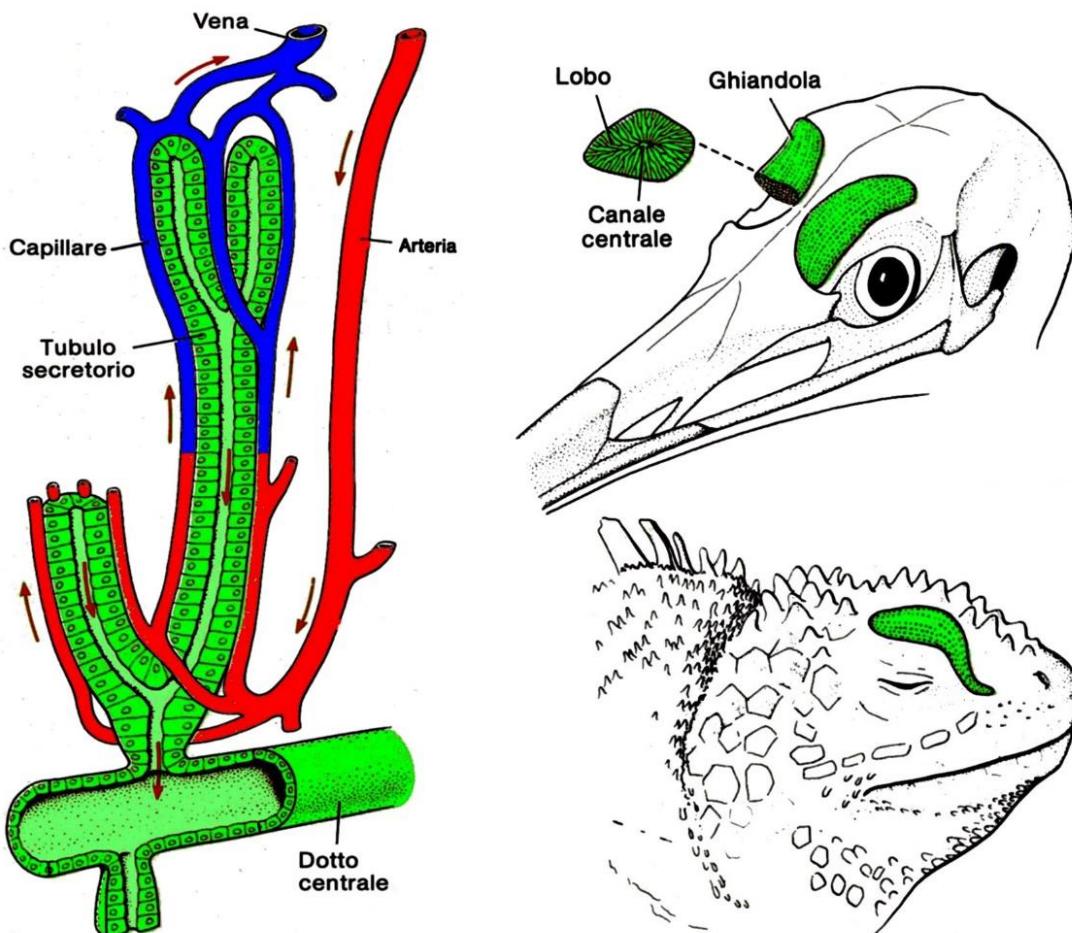
Anadromi e catadromi

Molti pesci trascorrono parte del loro ciclo vitale in ambienti diversi dal punto di vista della concentrazione salina. Spesso gli avannotti si portano nelle zone estuariali, che presentano una maggiore presenza di nutrienti e offrono habitat riparati, per poi tornare al mare da adulti. Al contrario alcuni invertebrati trascorrono le fasi larvali, che non sono in grado di osmoregolare efficacemente, nelle acque marine e si trasferiscono negli estuari da adulti. Altri pesci trascorrono una parte del proprio ciclo vitale in acqua dolce e un'altra in acqua marina.

L'immagine mostra i meccanismi di scambio di sali e di acqua nei teleostei di acqua dolce (**A**) e marini (**B**). Le frecce continue rosse indicano **trasporto attivo**; le frecce tratteggiate blu, **trasporto passivo**. Si noti, in entrambi i gruppi, il ruolo attivo svolto dalle branchie nel trasporto dei sali. Le specie **diadrome**, che cioè trascorrono una parte del proprio ciclo vitale in mare e una parte nelle acque dolci, possono invertire la funzionalità delle branchie. Le specie che si riproducono in acqua dolce sono dette **anadrome**, ad esempio i salmoni, quelle che si riproducono in mare **catadrome**, ad esempio le anguille. (**C**) La distribuzione di *Anguilla anguilla* (in rosso) e di *A. rostrata* (in nero) è illustrata nella cartina. Le linee indicano l'area di riproduzione delle due specie. I numeri le lunghezze in mm raggiunte dai leptocefali, gli stadi giovanili, delle due specie, nel corso della loro migrazione verso le coste evidenziate dai relativi colori.



Ghiandole del sale



Secrezioni delle ghiandole del sale nei sauropsidi.		Concentrazione ionica (mmol · kg ⁻¹)		
Specie e condizioni		Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
Cheloni				
Tartaruga caretta (<i>Caretta caretta</i>), in acqua marina		732-878	18-31	810-992
Testuggine dal dorso di diamante (<i>Malaclemys terrapin</i>), in acqua marina		322-908	26-40	Non riportato
Squamati				
Iguana del deserto (<i>Dipsosaurus dorsalis</i>), stima in condizioni naturali		180	1700	1000
Lucertola dalle dita frangiate (<i>Uma scoparia</i>), stima in condizioni naturali		639	734	465
Iguana marina (<i>Amblyrhynchus cristatus</i>)		1000-1400	Non riportato	Non riportato
Serpenti				
Serpente marino (<i>Pelamis platurus</i>), in condizioni di abbondanza di sale		620	28	635
Serpente delle mangrovie (<i>Cerberus rhynchops</i>), in condizioni di abbondanza di sale		414	56	Non riportato
Loricati				
Coccodrillo marino (<i>Crocodylus porosus</i>), con dieta naturale		663	21	632
Uccelli				
Albatro piedineri (<i>Diomedea nigripes</i>), in condizioni di abbondanza di sale		800-900	Non riportato	Non riportato
Gabbiano reale nordico (<i>Larus argentatus</i>), in condizioni di abbondanza di sale		718	24	Non riportato
Pinguino		720-850	Non riportato	Non riportato



Ghiandole del sale

I sauropsidi, privi di branchie, necessitano di ghiandole apposite in grado di eliminare l'eccesso di sali assunti spesso con la dieta. Le prede marine, se invertebrati, sono isosmotiche rispetto all'acqua di mare. Nelle secrezioni degli animali marini il catione più comune è il Na^+ , in quelli terrestri, specialmente erbivori, è invece il K^+ . La concentrazione di sali in queste ghiandole può risultare oltre 6 volte la concentrazione che può essere raggiunta dal rene e viene ottenuta grazie a un tipico flusso controcorrente come mostrato dal disegno.



Permeabilità della parete corporea.

Genere e habitat		P_w (10^{-4} cm s $^{-1}$)	P_{Na} (10^{-6} cm s $^{-1}$)
BIVALVI			
Acqua salmastra	<i>Mya</i>	3,8	5,7
	<i>Geukensia</i>	1,3	4,0
CROSTACEI			
Acqua di mare	<i>Libinia</i>	12,8	13,2
	<i>Porcellana</i>	4,7	1,0
	<i>Eupagurus</i>	12,4	1,6
	<i>Maia</i>	3,4	12,9
	<i>Carcinus</i>	9,0	5,0
Acqua di mare al 50%	<i>Carcinus</i>	2,8	5,0
	<i>Cancer</i>	1,3	2,7
Acqua dolce	<i>Eriocheir</i>	0,22	0,87
	<i>Astacus</i>	0,88	0,10
VERTEBRATI			
Acqua dolce	<i>Carassius</i>	3,9	0,4
	<i>Salmo</i>	1,6	0,3
	<i>Anguilla</i>	1,2	0,6

Valori della permeabilità all'acqua (P_w) e al sodio (P_{Na}) in animali d'acqua salmastra in confronto con animali marini e d'acqua dolce.



Permeabilità della parete corporea

Gli organismi che abitano ambienti soggetti a frequenti variazioni devono ridurre il più possibile la permeabilità corporea, sia quella all'acqua che quella ai sali. Ad esempio, i granchi di habitat salmastri, dove l'effetto delle maree o l'apporto di acqua dolce dalle foci dei fiumi possono comportare frequenti variazioni di salinità, mostrano permeabilità inferiori, e cuticole più spesse, se confrontati con granchi più tipicamente di habitat marini.

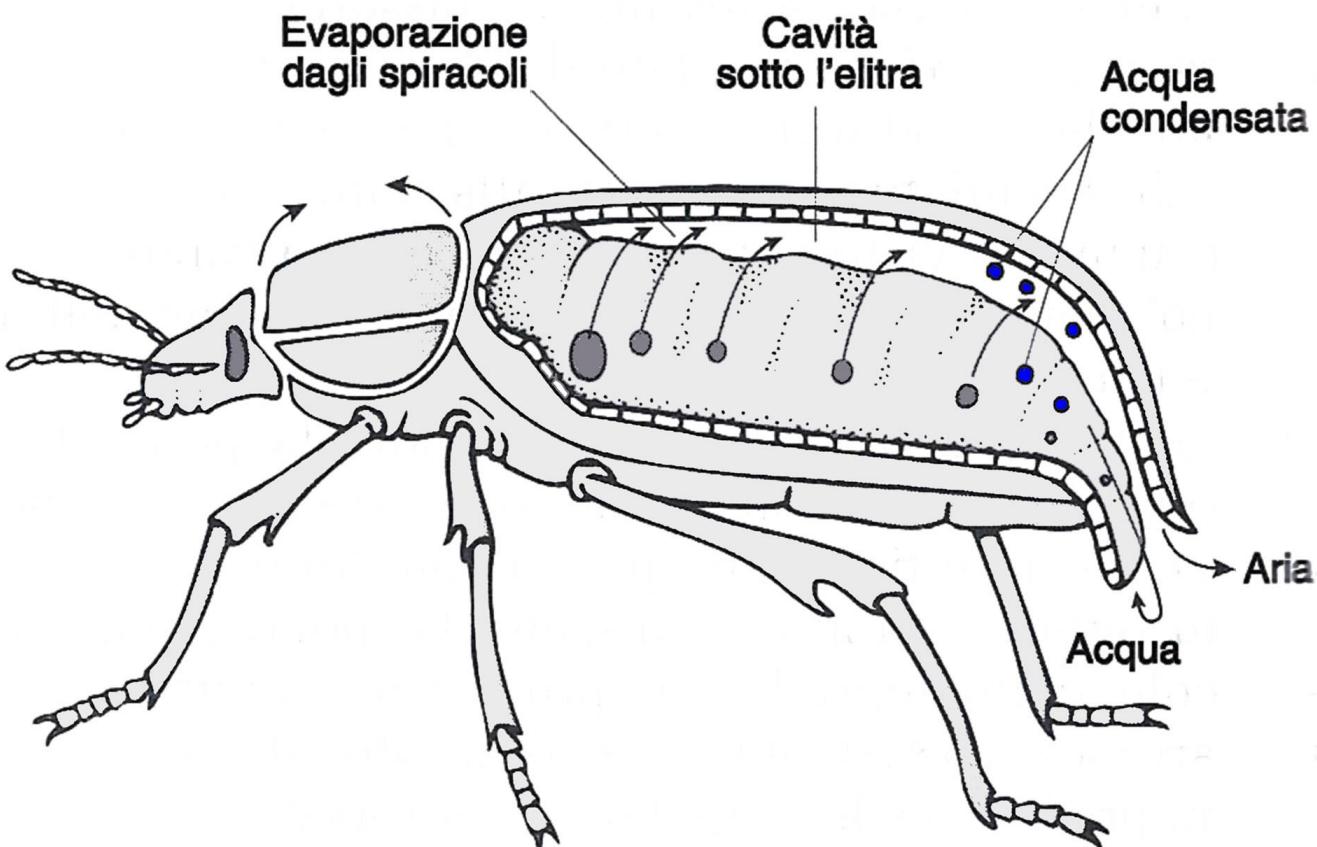
In generale, le larve e gli stadi giovanili osmoregolano meno efficacemente degli adulti. Questo si verifica essenzialmente a causa del loro elevato rapporto superficie/volume e, in molti casi, per lo sviluppo incompleto delle loro strutture esoscheletriche. Gli stadi giovanili di granchio osmoregolano peggio degli adulti e le larve di insetto, a differenza degli adulti, possiedono una scarsa cuticularizzazione per cui le forme d'acqua dolce faticano a osmoregolare.



Tolleranza alla perdita d'acqua

Anellidi	<i>Allolobophora</i>	75	Insetti	Coleotteri delle zone temperate Blaute delle zone temperate	25÷45 25÷35
Molluschi	<i>Patella</i>	35÷60		Cicale del deserto	25
	Chitoni	75		Formiche, cavallette deserticole	40÷70
	<i>Helix</i>	45÷50		Coleotteri tenebrionidi deserticoli	60÷75
	<i>Limax</i>	80			
	<i>Sphincterochila</i>	50÷55	Rane	<i>Rana</i>	28÷35
				<i>Hyla</i>	35÷40
Granchi	<i>Gecarcinus</i>	15÷18		<i>Bufo</i>	42÷45
	<i>Uca</i>	18		<i>Scaphiopus</i>	45÷48
			Uccelli e mammiferi	Piccoli uccelli	4÷8
				Ratto	12÷15
				Uomo	10÷12
				Cammello	30

Tolleranza alla perdita di acqua, espressa come percentuale massima tollerata di perdita di peso, di vari animali viventi in habitat terrestri o semi-terrestri.





Tolleranza alla perdita d'acqua

L'immagine mostra il meccanismo attraverso cui un coleottero tenebrionide sopporta habitat deserticoli. Nella cavità sotto l'elitra si aprono gli spiracoli che le permettono di fungere da camera di condensazione; le goccioline d'acqua vengono poi recuperate per via rettale. Gli artropodi e i vertebrati terrestri sono gli organismi più adattati all'ambiente terrestre anche estremamente arido. Nella tabella non sono segnati, ma a 25°C gli scorpioni perdono solo lo 0,01% del peso corporeo all'ora. Di fatto sono gli artropodi più impermeabili e sopportano una perdita del 40% dell'acqua corporea. Oltre a questo riducono la disidratazione attraverso una serie di comportamenti mirati: sono notturni, di giorno vivono infossati e, come molti artropodi, si mantengono sollevati dal suolo grazie alle proprie appendici; alcune specie non bevono mai, come del resto fanno anche i topi del deserto che utilizzano l'acqua metabolica.