UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Corso di Laurea Triennale in
Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura

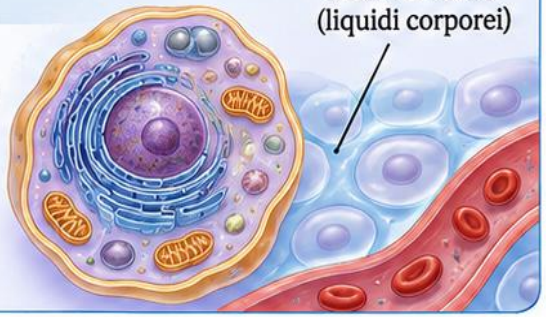
Omeostasi – Regolazione osmotica, escrezione e termoregolazione

Antonio Terlizzi
Laboratorio di Zoologia e Biologia Marina
aterlizzi@units.it

OMEOSTASI: CONCETTI FONDAMENTALI

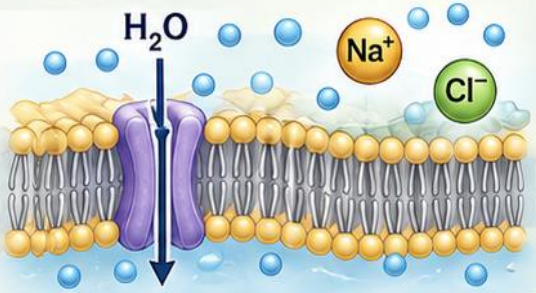
Omeostasi

Capacità di mantenere le condizioni del mezzo interno entro intervalli compatibili con la vita, mediante regolazioni dinamiche.



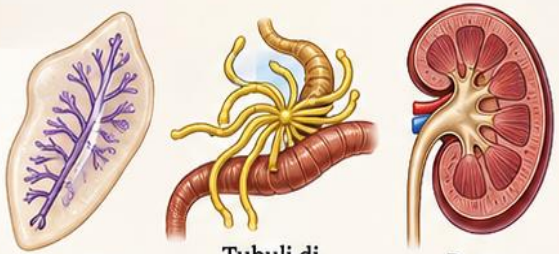
Regolazione osmotica

Controllo del bilancio idrico e della concentrazione dei soluti nei liquidi corporei.



Escrezione

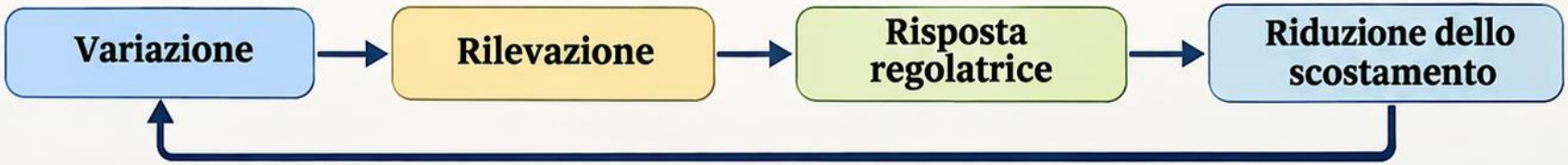
Eliminazione dei prodotti di scarto del metabolismo, in particolare dei composti azotati.



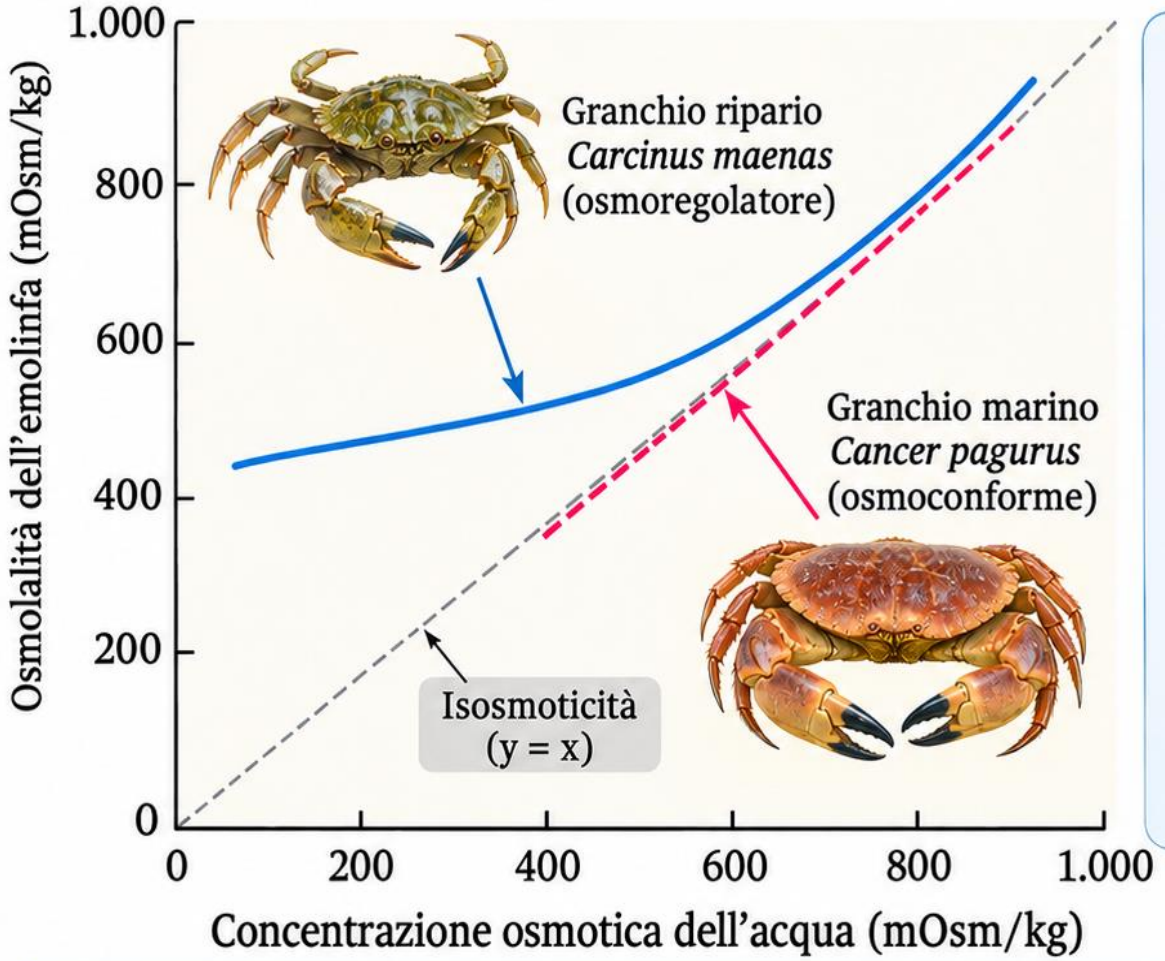
Termoregolazione

Processi fisiologici e comportamentali che modulano la temperatura corporea attraverso produzione e scambio di calore.

Feedback negativo



OSMOREGOLAZIONE: OSMOREGOLATORI E OSMOCONFORMI

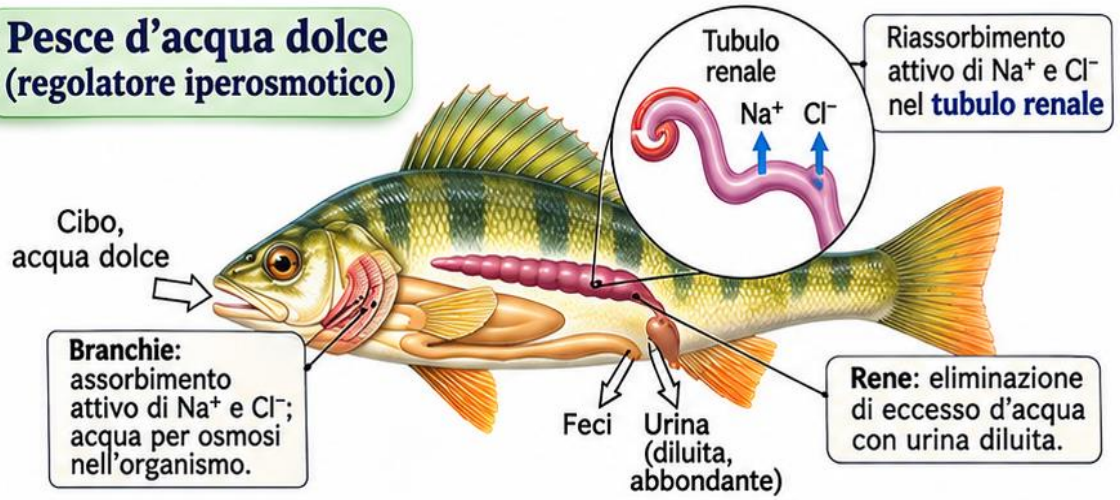


- La figura confronta la concentrazione salina (osmolalità) dell'emolinfa di due granchi in funzione dell'osmolalità dell'acqua di mare.
- La linea tratteggiata (y = x) rappresenta l'**isosmoticità**, cioè la condizione in cui la concentrazione dei liquidi corporei è uguale a quella dell'ambiente esterno.
- Il **granchio ripario** (*Carcinus maenas*) è un ***osmoregolatore***: mantiene l'osmolalità interna più alta di quella dell'ambiente, soprattutto in acqua diluita, grazie al trasporto attivo di ioni (es. Na^+, Cl^-) attraverso le branchie.
- Il **granchio marino** (*Cancer pagurus*) è **osmoconforme**: l'osmolalità dell'emolinfa varia in modo simile a quella dell'ambiente, con una limitata capacità di tollerare forti diluizioni.
- Le crocette sulle curve indicano i limiti di tolleranza osmotica delle due specie, al di là dei quali la sopravvivenza non è possibile.

In sintesi, la slide mostra due strategie di regolazione osmotica: il mantenimento attivo della concentrazione interna (osmoregolazione) e la conformità passiva alle variazioni dell'ambiente (osmoconformità).

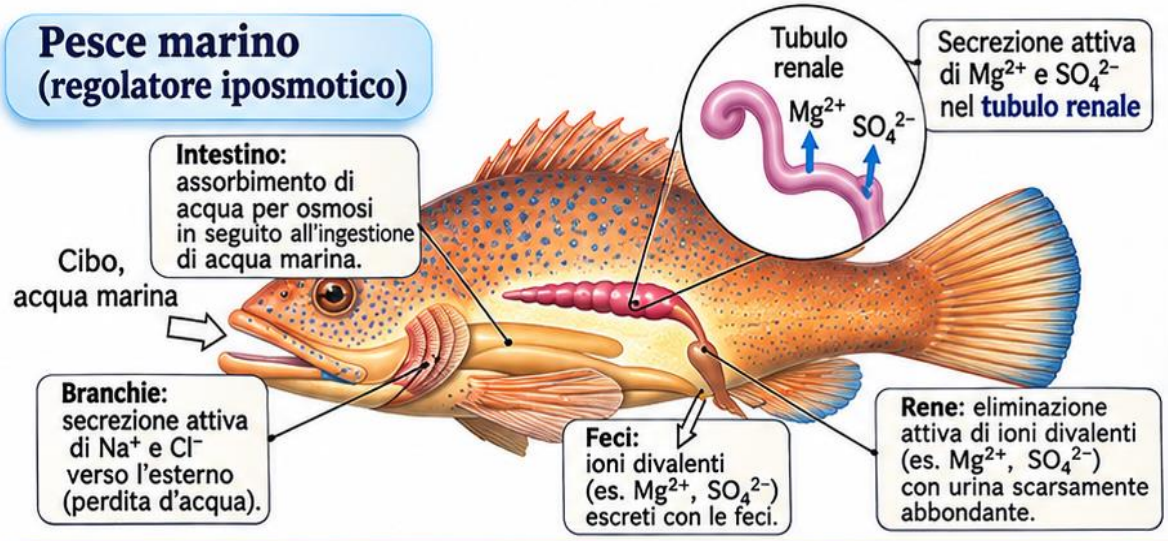
Osmoregolazione nei pesci: d'acqua dolce e marini

Pesce d'acqua dolce (regolatore iperosmotico)



Il pesce d'acqua dolce è un **regolatore iperosmotico**: mantiene la concentrazione osmotica dei propri liquidi superiore a quella dell'ambiente. Assorbe attivamente i sali (Na^+, Cl^-) principalmente attraverso le branchie e riassorbe gli ioni a livello dei **tubuli renali**, eliminando l'eccesso d'acqua con urina diluita e abbondante.

Pesce marino (regolatore iposmotico)

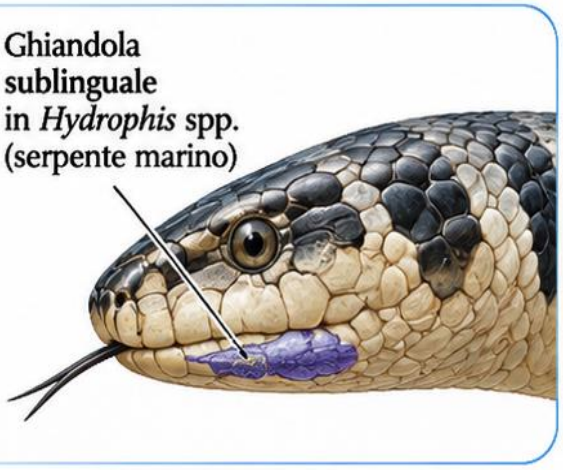


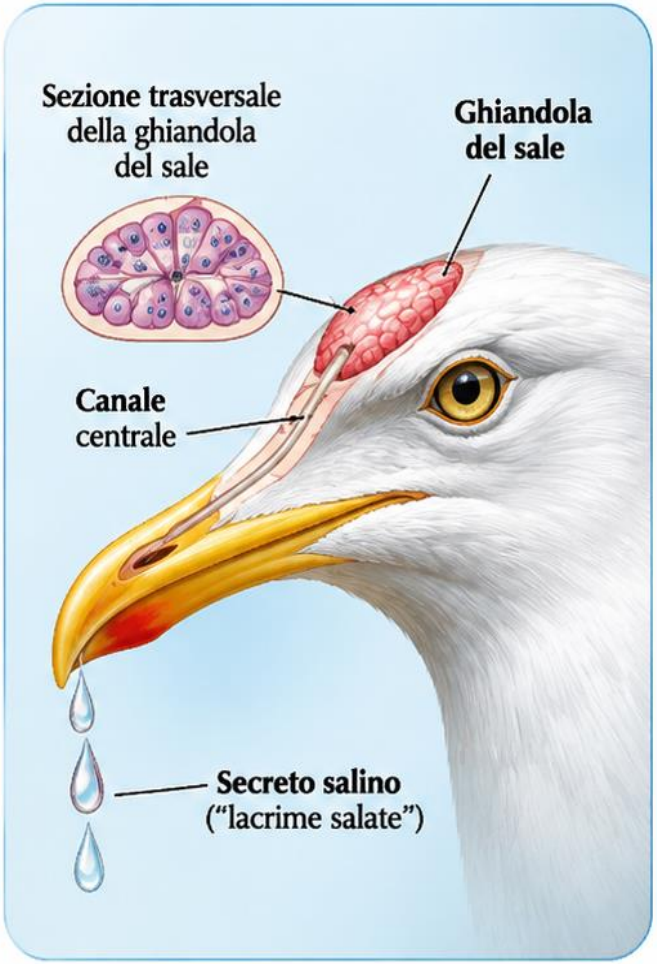
Il pesce marino è un **regolatore iposmotico**: ha una concentrazione osmotica inferiore a quella dell'acqua di mare. Beve acqua di mare, da cui assorbe l'acqua a livello intestinale. L'eccesso di Na^+ e Cl^- viene espulso attivamente attraverso le **branchie**, mentre altri sali, soprattutto Mg^{2+} e SO_4^{2-}, sono eliminati dal **rene** (con urina poco abbondante) e in parte con le feci.

In sintesi, i pesci d'acqua dolce acquisiscono sali e eliminano acqua, mentre i pesci marini eliminano sali e acquisiscono acqua, mantenendo costante l'osmolarità dei loro liquidi corporei.

La ghiandola del sale negli uccelli marini e nei rettili marini

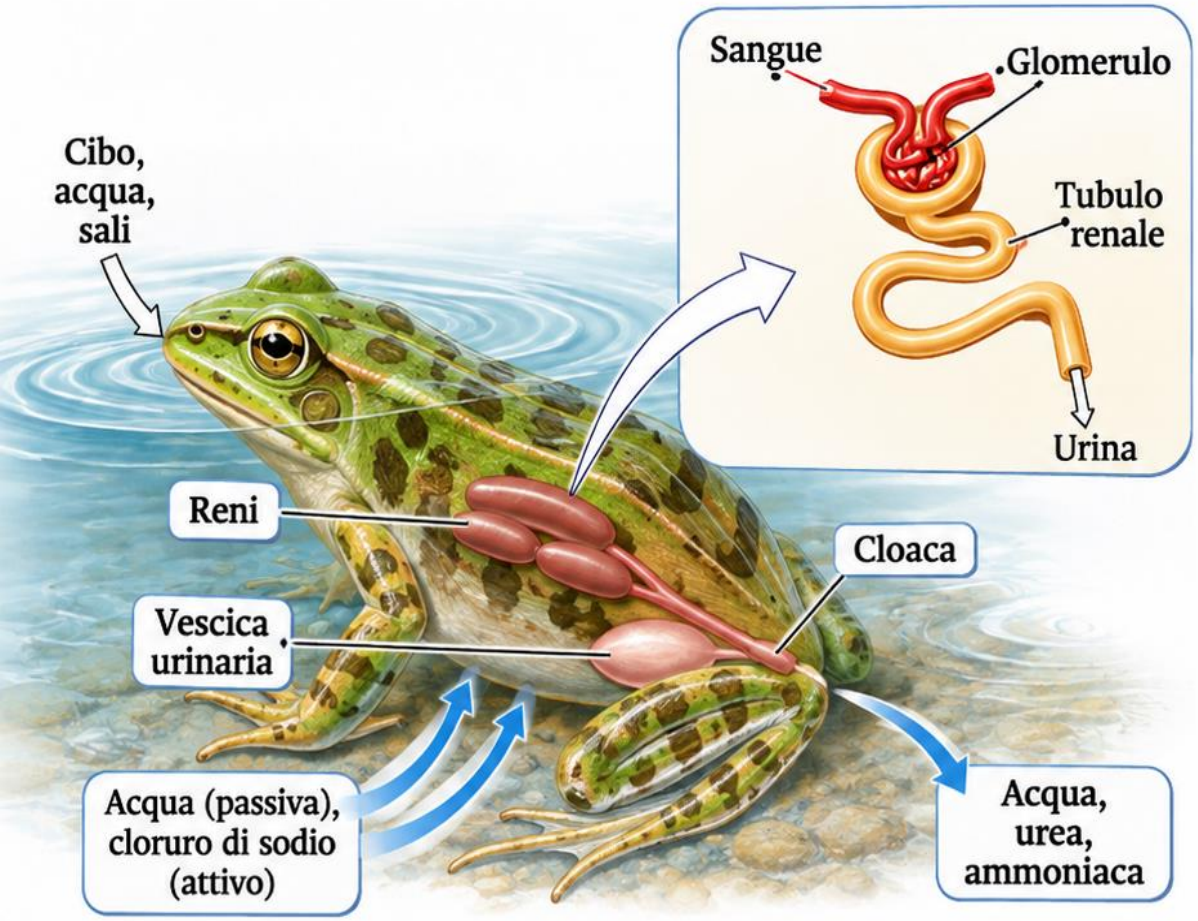
- L'eccesso di sale introdotto con la dieta viene eliminato dalla **ghiandola del sale**.
- Questa ghiandola secerne una soluzione molto concentrata di NaCl (fino a 2–5 M), permettendo l'eliminazione attiva dell'eccesso di sali.
- Negli uccelli marini (es. gabbiani, albatro) la ghiandola è un organo binario, situato sopra le orbite, che sbocca nella cavità nasale; il secreto salino viene espulso attraverso le narici sotto forma di **"lacrime salate"**.
- Strutture analoghe sono presenti in rettili marini, come tartarughe marine (es. *Chelonia mydas*) e serpenti marini (es. *Hydrophis* spp.).
- Rappresenta un adattamento che compensa la **ridotta** capacità del rene di produrre urina concentrata negli ambienti marini.





La ghiandola del sale consente l'eliminazione attiva dell'eccesso di NaCl, completando la regolazione osmotica nei vertebrati marini.

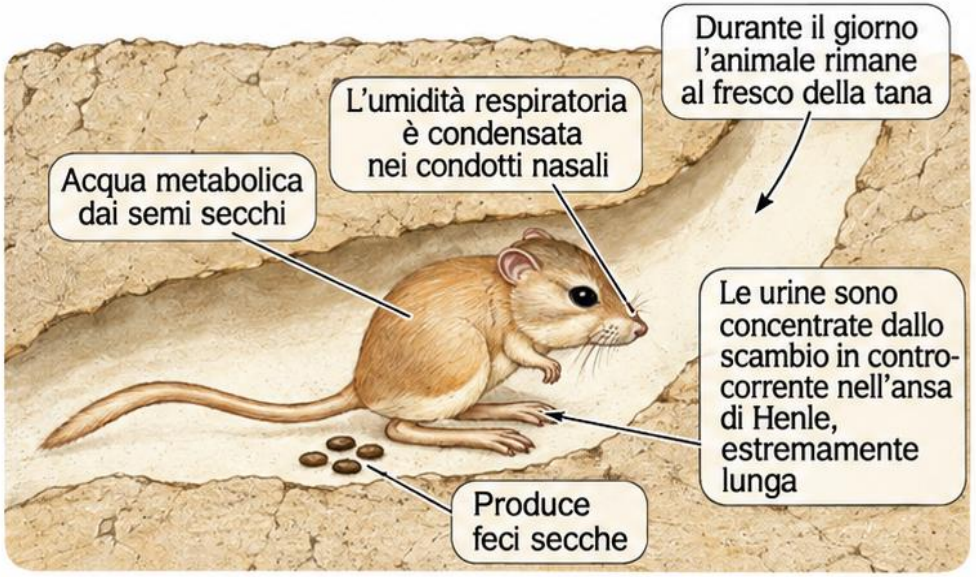
Scambio di acqua e di soluti nella Rana



- L'acqua penetra nell'organismo principalmente attraverso la **pelle**, per osmosi, e viene eliminata dai **reni**.
- La pelle della rana partecipa anche alla regolazione ionica, trasportando **attivamente NaCl** dall'ambiente esterno verso il sangue.
- I reni filtrano il sangue (glomerulo) e producono un'**urina diluita**, in cui il NaCl viene in gran parte **riassorbito** nei tubuli renali.
- L'urina confluisce nella **vescica urinaria**, dove il NaCl residuo viene ulteriormente rimosso e reimmesso nel sangue, riducendo al minimo la perdita di sali.
- L'escrezione finale (acqua, **urea** e **ammoniaca**) avviene attraverso la **cloaca**.

Nella rana, pelle, reni e vescica urinaria agiscono in modo integrato per mantenere l'equilibrio idrico e salino (osmoregolazione).

Ambiente e bilancio idrico nei mammiferi terrestri



Fonte di acqua (guadagni) e perdite	Uomo (%)	Ratto canguro (%)
Guadagni (acquisizione di acqua)		
Bevande	48	0
Acqua disponibile nel cibo	40	10
Acqua metabolica	12	90
Perdite (eliminazione di acqua)		
Urina	60	25
Evaporazione (polmoni e pelle)	34	70
Feci	6	5

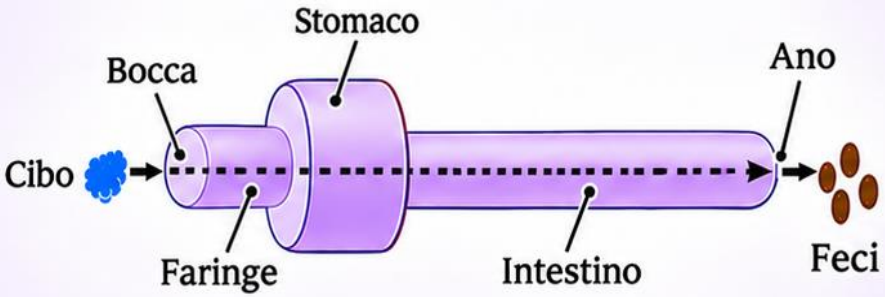
- Nei mammiferi terrestri, soprattutto in ambienti aridi, il **bilancio idrico** è mantenuto riducendo le perdite e massimizzando l'acquisizione di acqua.
- Adattamenti tipici: **comportamento fossorio** (riduce temperatura ed evaporazione), **condensazione dell'umidità respiratoria** nei condotti nasali, **urine molto concentrate** grazie a un'ansa di Henle lunga, e **feci secche**.
- L'acqua può essere ottenuta da tre fonti: **bevande** (assunzione diretta), **acqua contenuta nel cibo** e **acqua metabolica**, prodotta dall'ossidazione dei nutrienti (soprattutto lipidi).
- Le principali perdite avvengono con l'**urina**, con l'**evaporazione** (attraverso polmoni e pelle) e con le **feci**.

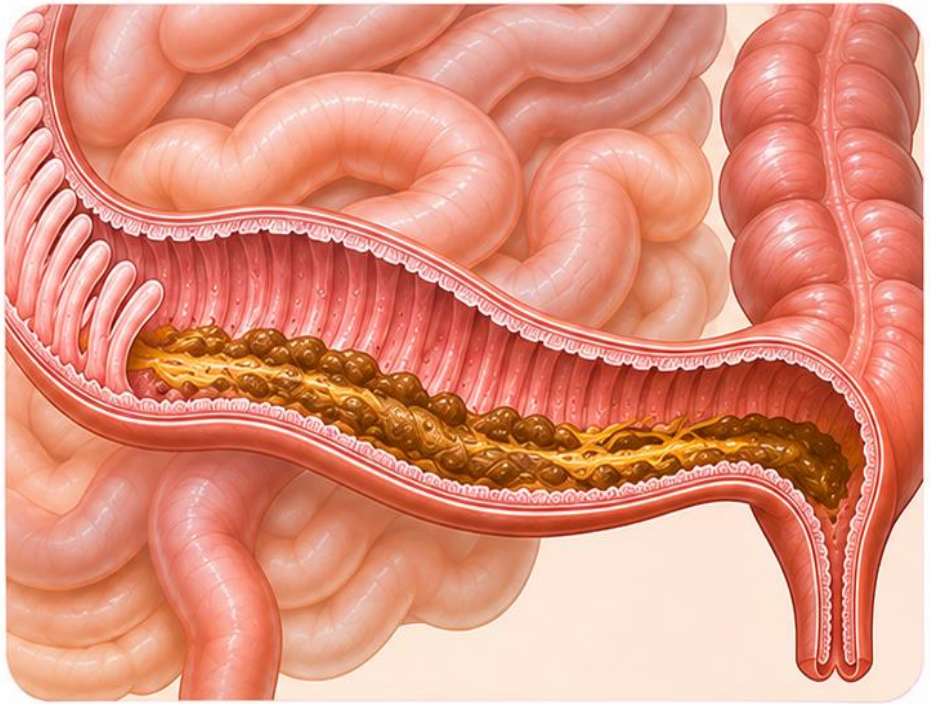
In ambienti aridi, i mammiferi (es. ratto canguro) mantengono il bilancio idrico riducendo le perdite e ricavando la maggior parte dell'acqua dall'acqua metabolica.

Eliminazione ed escrezione: due processi distinti

- **Eliminazione** ed **escrezione** sono due processi distinti, che rimuovono dall'organismo materiali di natura diversa, attraverso vie e apparati differenti.

Eliminazione: si riferisce al materiale indigerito (residui non assorbiti, cellule e fibre alimentari, sostanze non digeribili) che transita per l'intestino e viene espulso all'esterno dall'ano, sotto forma di **feci.**

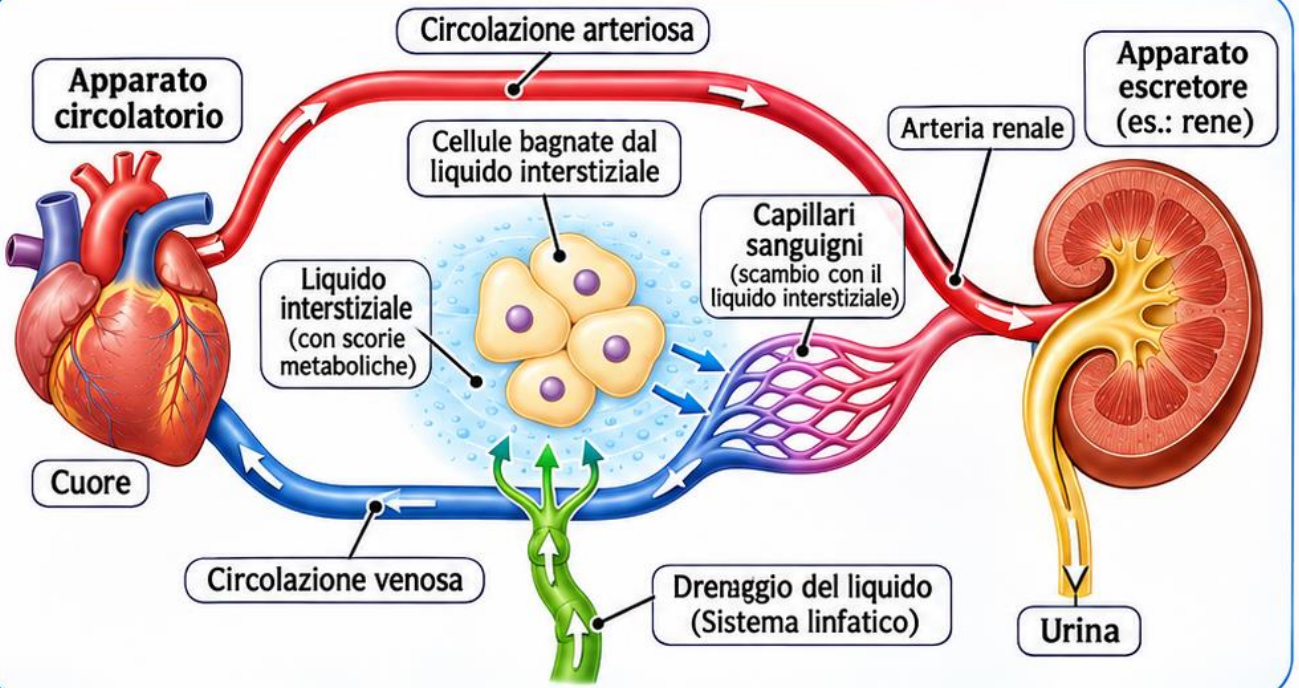




In sintesi: l'eliminazione rimuove il materiale non digerito dal tubo digerente, che viene espulso all'esterno come feci.

Escrezione: eliminazione dei prodotti del metabolismo

- **Escrezione:** si riferisce alle scorie del metabolismo cellulare (soprattutto residui azotati, come ammoniaca, urea e acido urico) che si accumulano inizialmente nel liquido interstiziale (tra le cellule) e vengono poi trasportate fuori dall'organismo attraverso organi escretori specializzati.



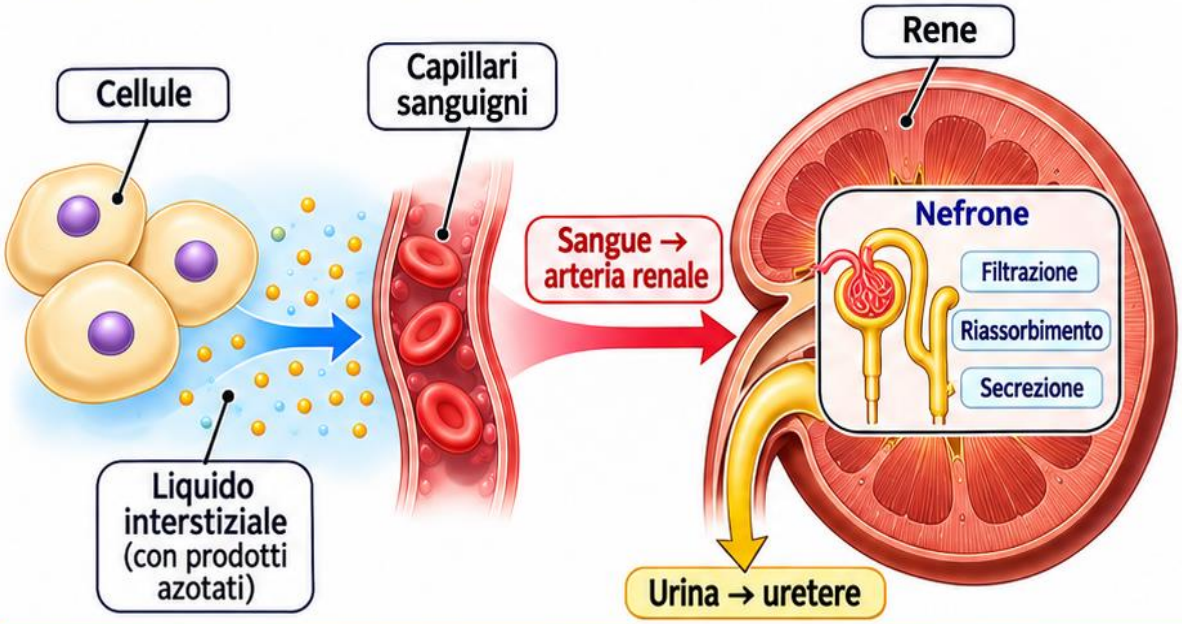
- Le scorie metaboliche prodotte dalle cellule passano nel **liquido interstiziale**, che ne permette la raccolta.
- Il liquido interstiziale contenente i prodotti di rifiuto viene convogliato nel **sistema linfatico** e successivamente riportato nel sangue.
- Dal sangue, i materiali di rifiuto sono eliminati all'esterno attraverso **organi escretori** specializzati, come i **reni** (vertebrati), i **nefridi** (anellidi) o i **tubuli di Malpighi** (insetti).

In sintesi: l'escrezione rimuove dall'organismo i prodotti di rifiuto del metabolismo (come le scorie azotate) attraverso organi escretori specializzati.

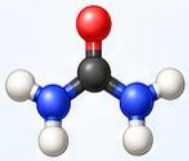
L'apparato escretore regola l'equilibrio idrico-salino

- È costituito da organi che concorrono a regolare il **potenziale osmotico**, il **volume** e la **composizione** dei fluidi extracellulari.

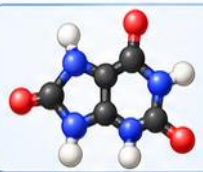
I prodotti del metabolismo passano dai **tessuti al sangue.**
Nei vertebrati i reni regolano acqua e soluti ed eliminano scorie azotate mediante filtrazione e secrezione, con riassorbimento selettivo.



Ammoniaca (NH_3): frequente in animali acquatici.



Urea [$CO(NH_2)_2$]: mammiferi, molti anfibi adulti e altri animali.



Acido urico ($C_5H_4N_4O_3$): uccelli, molti rettili e insetti.

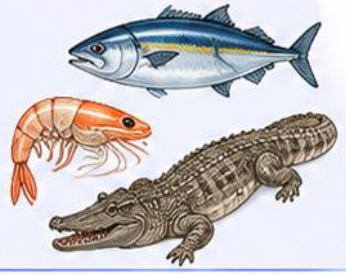
Non tutti gli animali possiedono reni: branchie, nefridi e tubuli di Malpighi svolgono funzioni escretorie in gruppi differenti.

In sintesi | **Escrezione e osmoregolazione mantengono l'omeostasi dei fluidi corporei ed eliminano i prodotti azotati del metabolismo.**

Tre categorie

Invertebrati acquatici, Pesci ossei, Coccodrilli

Hanno perdite d'acqua elevate attraverso la pelle, le branchie e le vie urinarie.



Mammiferi, Anfibi, Pesci cartilaginei

Hanno perdite d'acqua moderate e producono urea o ammoniaca a seconda della specie.

Invertebrati terrestri

Hanno perdite d'acqua molto ridotte grazie a un tegumento impermeabile e a meccanismi di conservazione idrica.

Perdita di acqua molto alta

Perdita di acqua molto ridotta

Ammoniotelici

Eliminano l'azoto di rifiuto principalmente sotto forma di ammoniaca, molto tossica ma facilmente diluibile.

Ureotelici

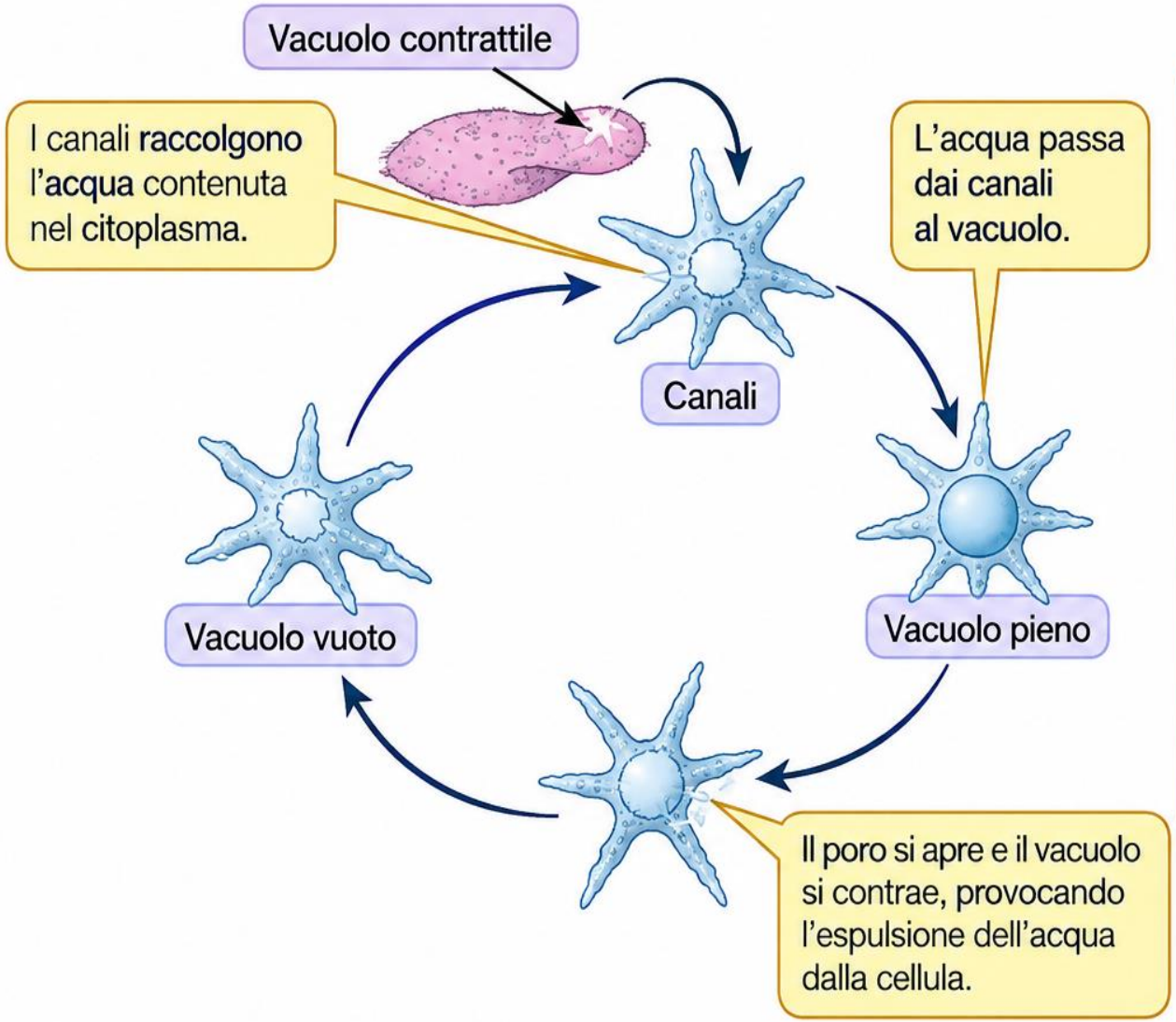
Eliminano l'azoto di rifiuto principalmente sotto forma di urea, meno tossica dell'ammoniaca.

Uricotelici

Eliminano l'azoto di rifiuto principalmente sotto forma di acido urico, poco tossico e scarsamente solubile.

In sintesi: la quantità di acqua persa e la forma dell'escreta azotata variano in base all'ambiente di vita e alle strategie evolutive delle diverse specie.

Escrezione e osmoregolazione



Nei protozoi d'acqua dolce, i **vacuoli contrattili** servono ad eliminare l'acqua in eccesso, che entra continuamente per osmosi.

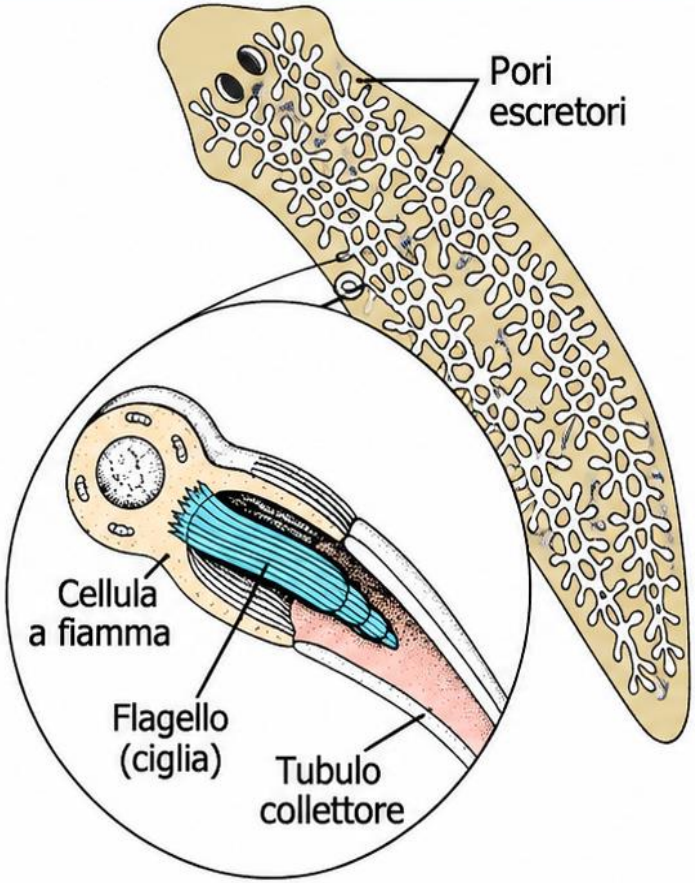
Escrezione e osmoregolazione

- **Tre processi:**

1. **Ultrafiltrazione** di sangue o liquido interstiziale
2. **Riassorbimento** ai molecole utili
3. **Trasporto** all'esterno di cataboliti nocivi

In sintesi: l'escrezione rimuove le scorie metaboliche, mentre l'osmoregolazione mantiene costante l'equilibrio idrico-salino dell'organismo.

Protonefridi



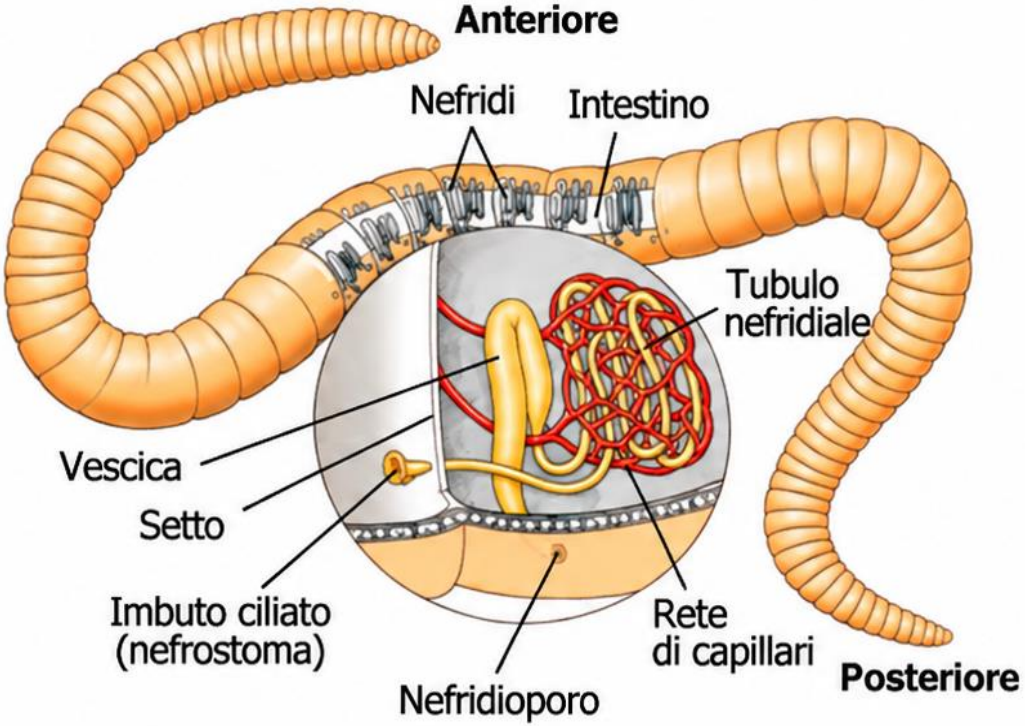
- Presenti soprattutto in **organismi di piccole dimensioni**, acelomati e pseudocelomati.
- Presenti anche nelle larve di alcuni celomati.

Funzione principale: OSMOREGOLAZIONE

- L'escrezione di composti azotati avviene soprattutto attraverso la superficie corporea per diffusione o attraverso la cavità gastrovascolare.

I liquidi organici penetrano nel comparto delimitato dalla cellula a fiamma e vengono mobilitati verso l'esterno della superficie corporea dal battito delle sue ciglia.

Metanefridi



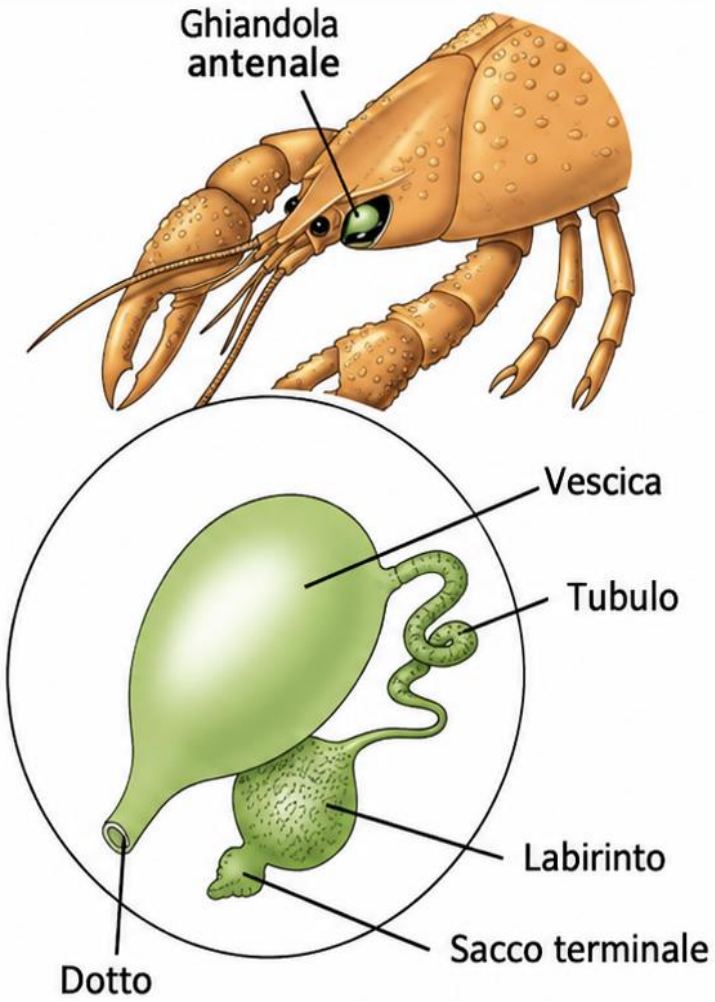
- Pseudocelomati
- Celomati

OSMOREGOLAZIONE
ESCREZIONE

- Maggior volume di liquido filtrato
- Riassorbimento

1. Il **liquido celomatico** entra nel metanefridio attraverso il nefrostoma.
2. Le cellule del **tubulo del metanefridio** modificano la composizione del liquido celomatico.
3. Si produce un'**urina** che viene eliminata attraverso il nefridioporo.

I reni degli artropodi: crostacei – La ghiandola antennale

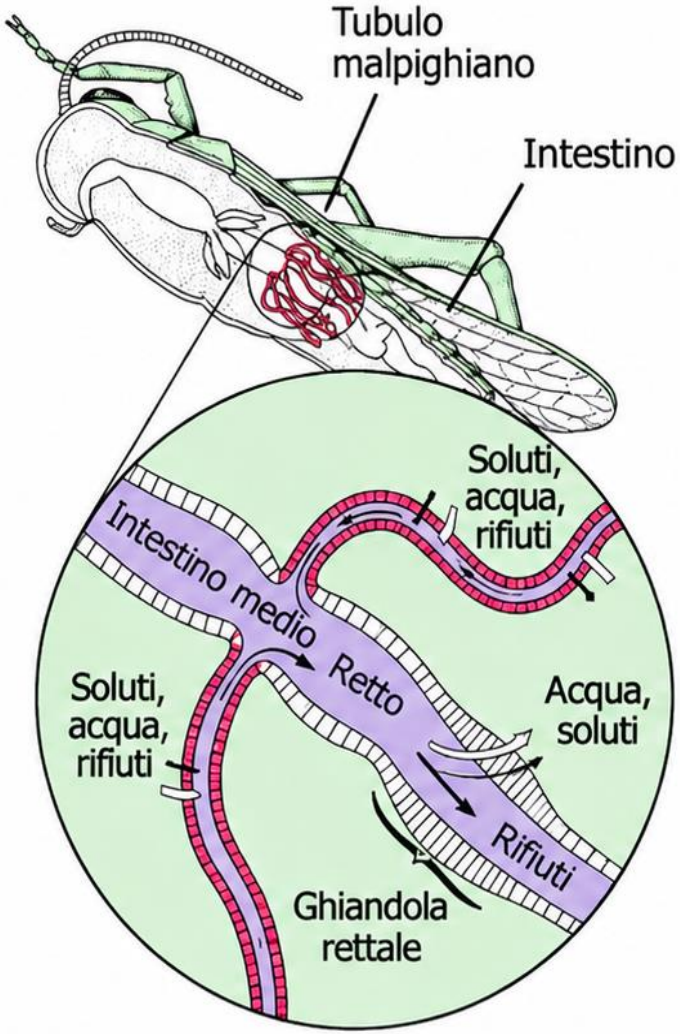


- Funziona con la stessa sequenza di eventi che porta alla formazione di urina.

- Nel sacco terminale viene a formarsi un filtrato dell'emolinfa che è convertito in urina mentre scende nel tubulo verso la vescica.

Funzione:
OSMOREGOLAZIONE ed ESCREZIONE

I reni degli artropodi: Insetti e Ragni – I tubuli Malpighiani



- Dall'emocèle gli **ioni Na^+ e H^+** vengono secreti attivamente nei tubuli malpighiani creando un gradiente osmotico che attira acqua, zuccheri ed amminoacidi costituendo l'urina primaria.
- L'urina si riversa nel **retto** e l'acqua, insieme ai sali di Sodio e Potassio e ad alcuni amminoacidi viene riassorbita.
- L'**acido urico**, insolubile, viene espulso con le feci.

Tubuli malpighiani degli insetti. I tubuli malpighiani si trovano al confine fra intestino medio e intestino posteriore (retto). I soluti, in particolare il potassio, sono secreti attivamente nei tubuli dall'emolinfa circostante, seguiti dall'acqua e dalle sostanze di rifiuto. Questo fluido defluisce nel retto, dove i soluti e l'acqua sono riassorbiti attivamente, lasciando i rifiuti da espellere.

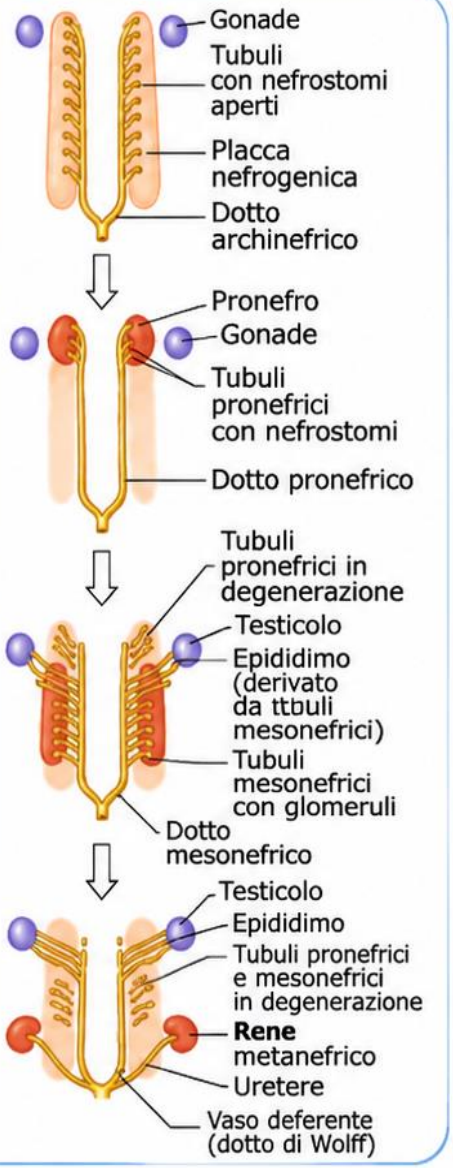
L'evoluzione del rene nei vertebrati

Archinefro: rene trovato nell'embrione di missinoidi; si suppone che questa fosse la condizione ancestrale del rene di vertebrato.

Pronefro: rene funzionale dell'adulto nei missinoidi e dell'embrione di pesci e anfibi; può essere presente transitoriamente anche nell'embrione di rettili, uccelli e mammiferi.

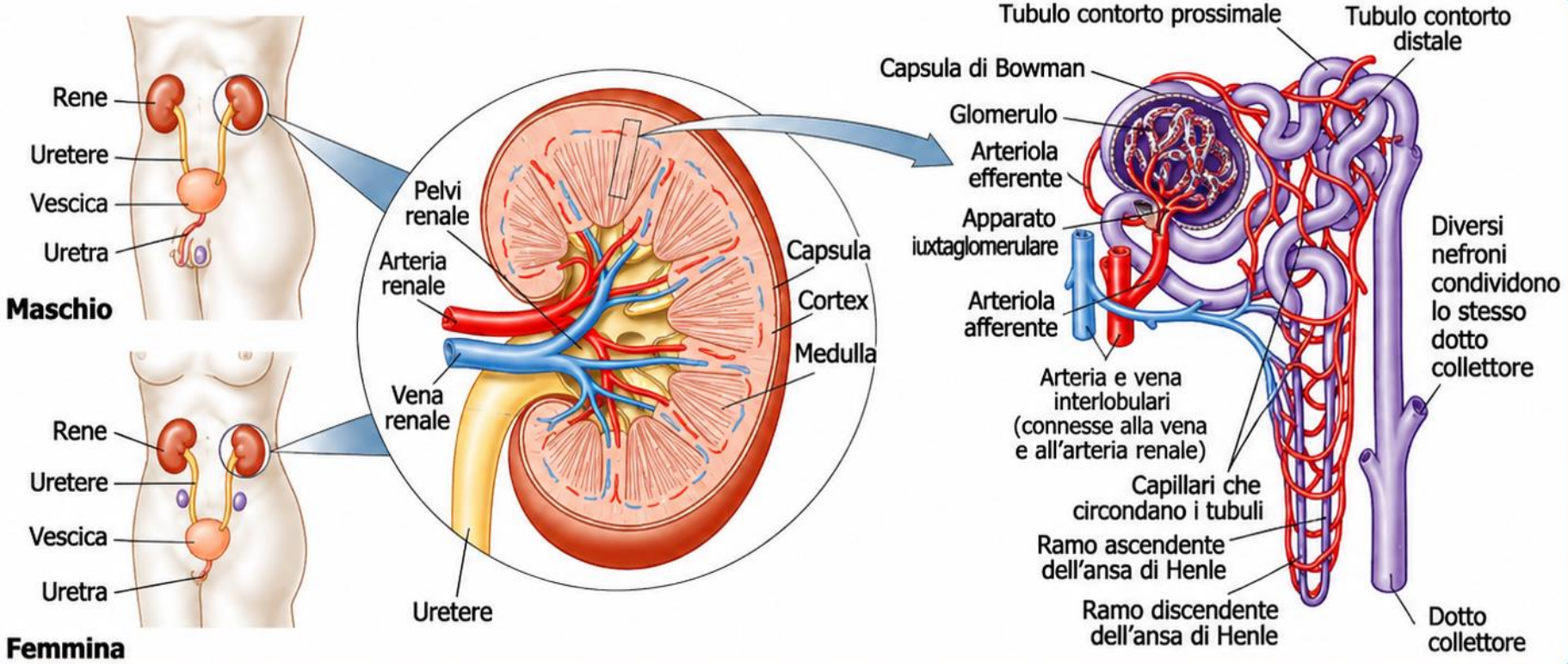
Mesonefro: rene funzionale dell'adulto in lamprede, pesci e anfibi; con funzioni transitorie nell'embrione di rettili, uccelli e mammiferi.

Metanefro: rene funzionale dell'adulto di rettili, uccelli e mammiferi.



- Il **metanefro** è la forma renale più evoluta e si sviluppa nella regione più caudale (posteriore) del mesoderma.
- È il rene definitivo e permanente negli adulti di tutti i **Vertebrati Amnioti** (rettili, uccelli e mammiferi).
- A differenza del pronefro e del mesonefro, che mostrano una certa **metameria** (segmentazione ripetitiva) nei loro tubuli renali, il metanefro è un organo più compatto e complesso.
- Adattamenti e specializzazioni.
- I mammiferi e alcuni uccelli hanno sviluppato l'**ansa di Henle**, una struttura specializzata del nefrone che permette il riassorbimento efficiente dell'acqua e la produzione di urine concentrate, un adattamento cruciale per la vita in ambienti terrestri con scarsa disponibilità idrica.

Macro e microanatomia del rene e del nefrone



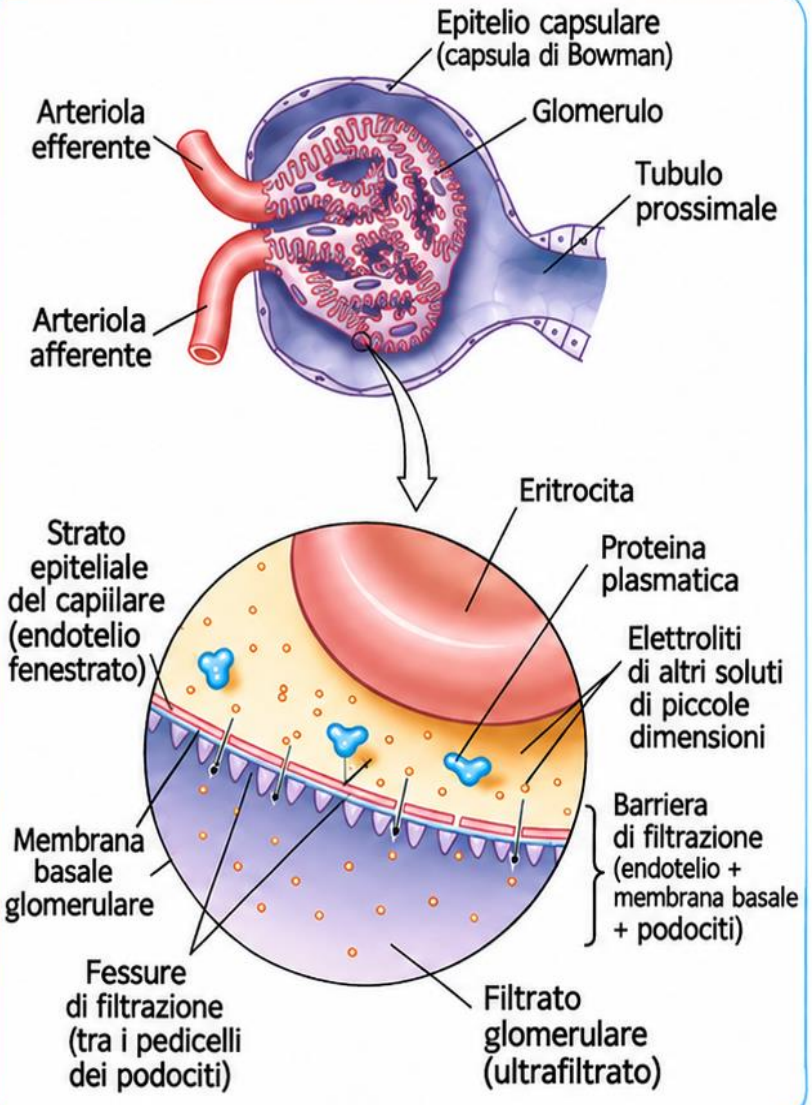
Macroanatomia del rene

- Capsula di rivestimento.
- Cortex (corteccia) esterna.
- Medulla (midollare) interna.
- Pelvi renale, che raccoglie l'urina e la convoglia nell'uretere.

Microanatomia: il nefrone

- Capsula di Bowman con glomerulo.
- Tubulo contorto prossimale.
- Ansa di Henle (ramo discendente e ascendente).
- Tubulo contorto distale.
- Dotto collettore (comune a più nefroni).

La filtrazione glomerulare

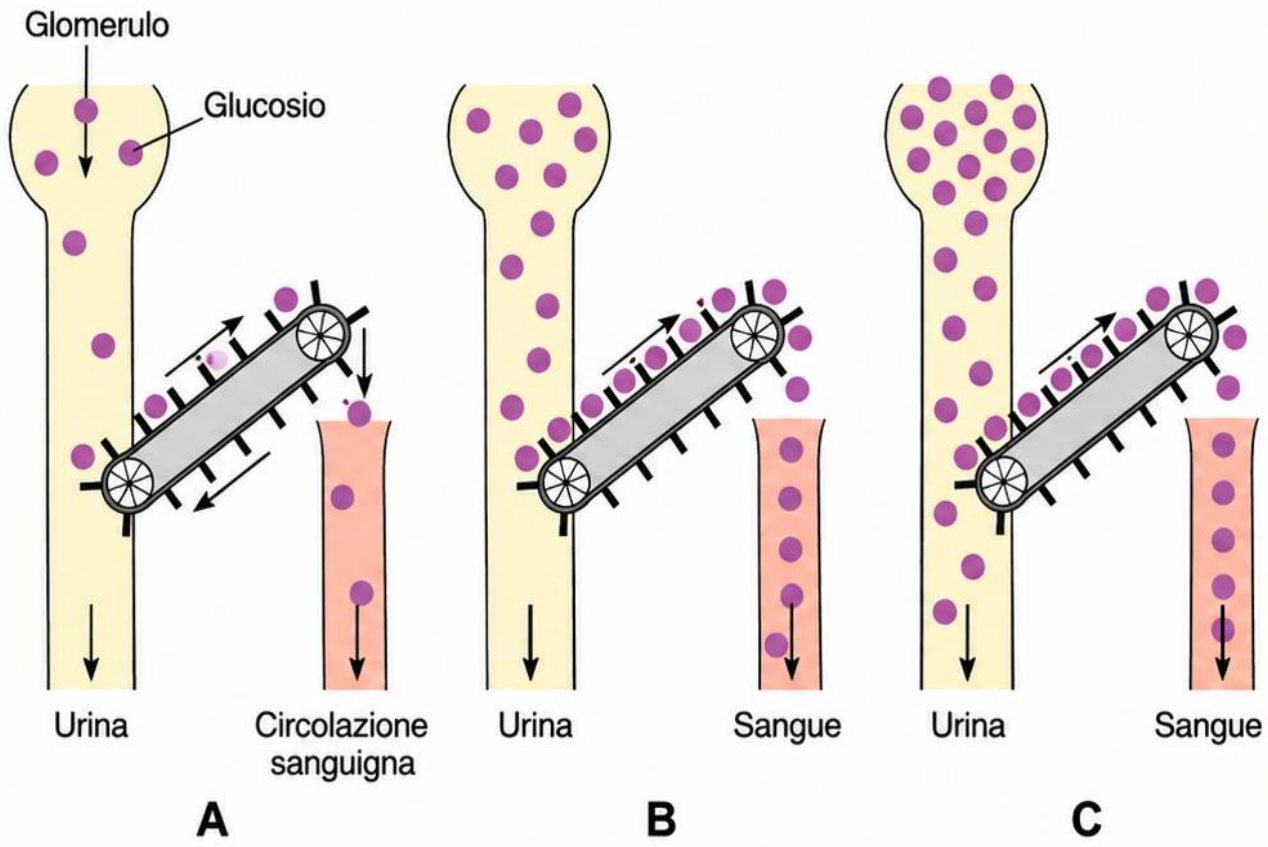


- La filtrazione glomerulare avviene nel **corpuscolo renale**, formato dal glomerulo (e il suo letto capillare) e dalla capsula di Bowman.
- Il sangue entra per l'arteriola afferente ed esce per l'arteriola efferente.
- La **barriera di filtrazione** (endotelio fenestrato, membrana basale glomerulare e podociti con fessure di filtrazione) è **selettiva**: lascia passare acqua e **soluti** di piccole dimensioni (ioni), glucosio, aminoacidi, urea), ma non cellule e la maggior parte delle proteine plasmatiche.

Microscopia elettronica a scansione di glomeruli renali.

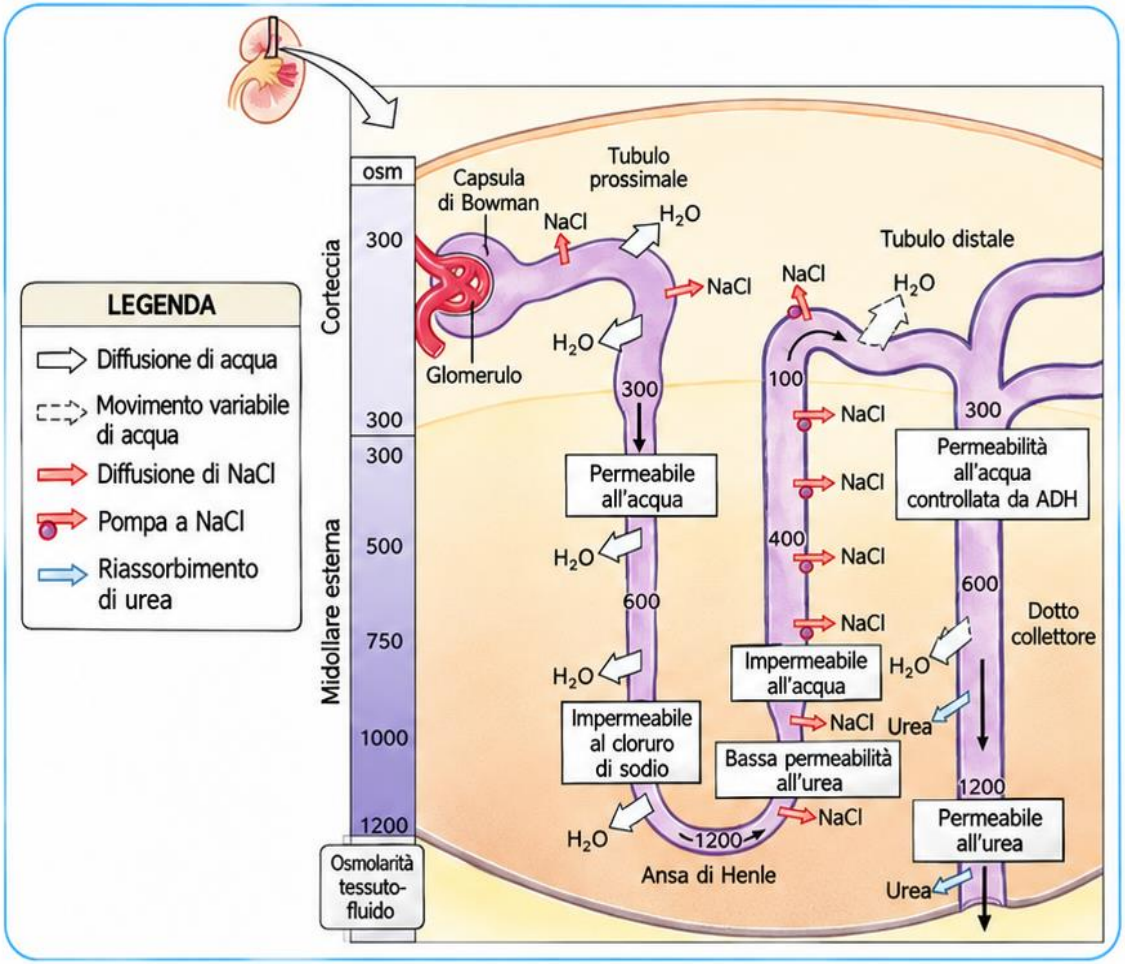
Il filtrato glomerulare è aproteico
(privo della maggior parte delle proteine plasmatiche).

Riassorbimento tubulare del glucosio



- **A.** Quando la concentrazione del glucosio nel filtrato è bassa, esso viene completamente riassorbito.
- **B.** Quando la concentrazione del glucosio nel filtrato ha raggiunto il trasporto massimo, tutti i siti di trasporto per il glucosio sono occupati.
- **C.** Se la concentrazione del glucosio aumenta ulteriormente, come nel diabete mellito, una parte sfugge alle molecole del trasportatore e compare nelle urine (glucosuria).

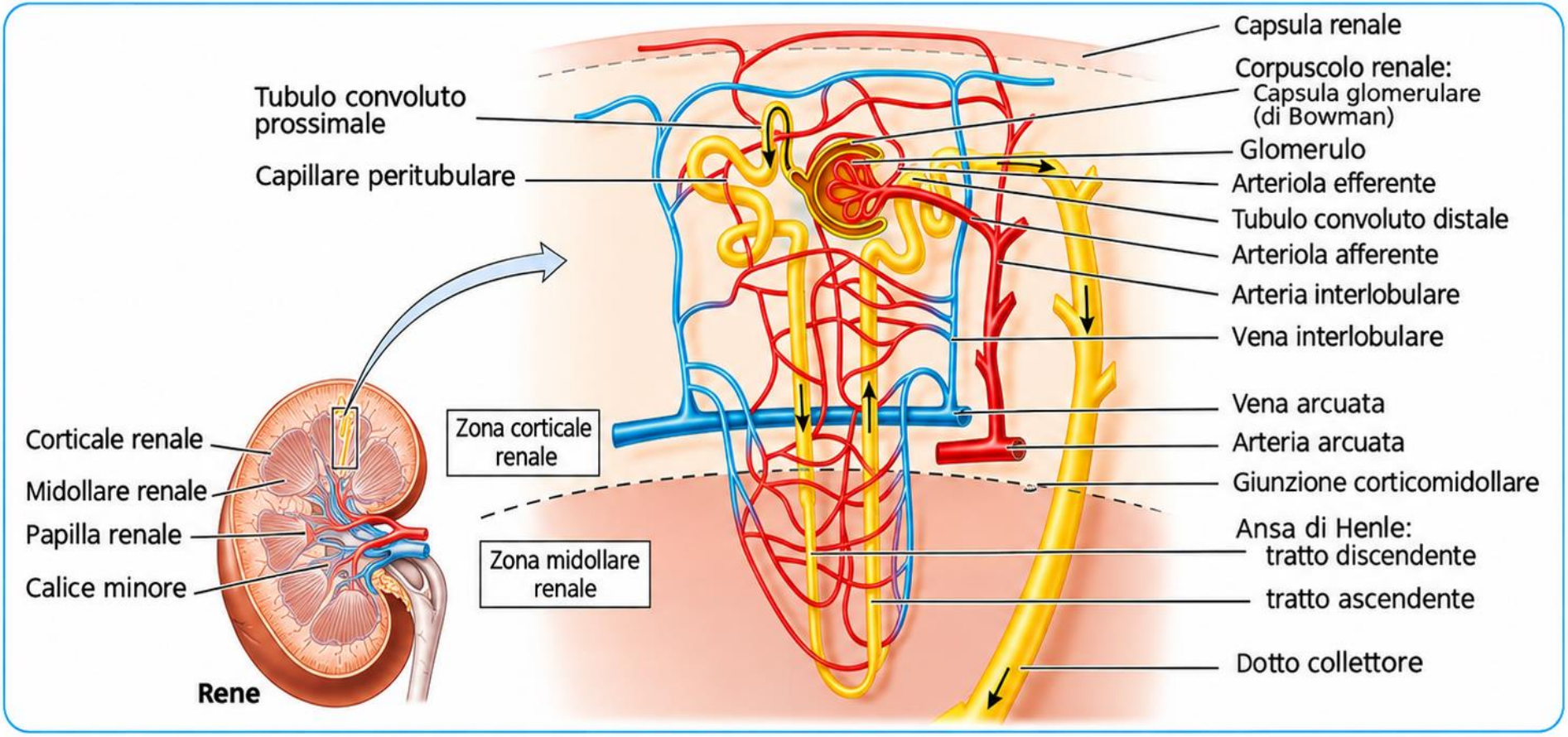
I tre processi: Filtrazione, Riassorbimento, Secrezione



- Nel **tubulo prossimale** si ha il riassorbimento di più dell'80% di acqua, sodio, cloro, di tutto il glucosio, della maggior parte del calcio, del magnesio, delle vitamine e di parte dei fosfati.
- Nell'**ansa di Henle** viene riassorbita parte di acqua e Sali.
- Nel **tubulo distale** viene riassorbita parte di acqua e di fosfati e la rimanente parte di Sodio non assorbita nei segmenti precedenti.

L'acqua tubulare residua con le sostanze in essa converge attraverso l'Uretere verso la vescica.

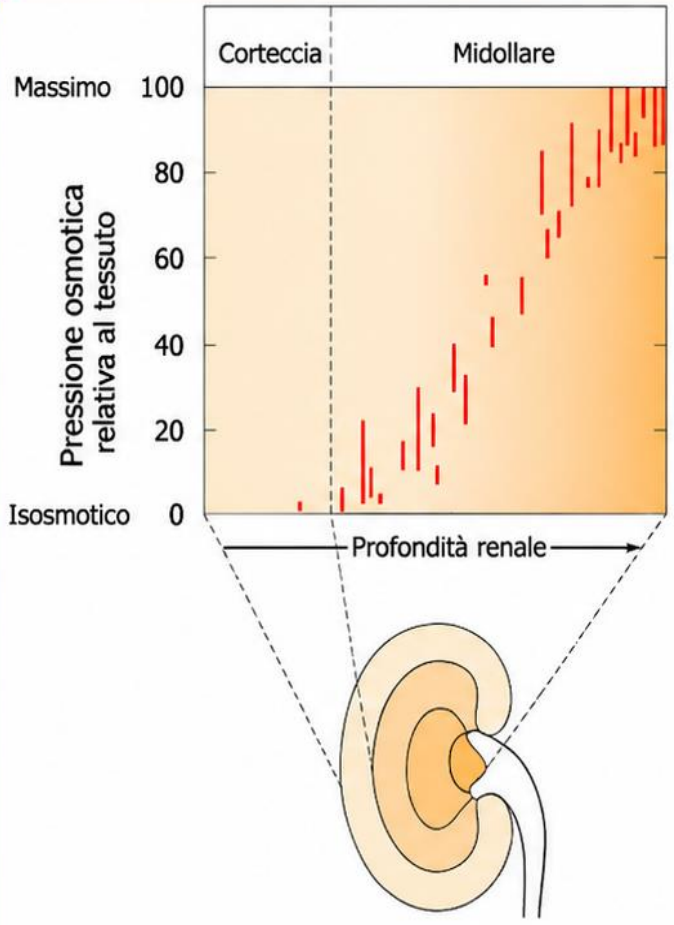
Vascolarizzazione del rene e del nefrone

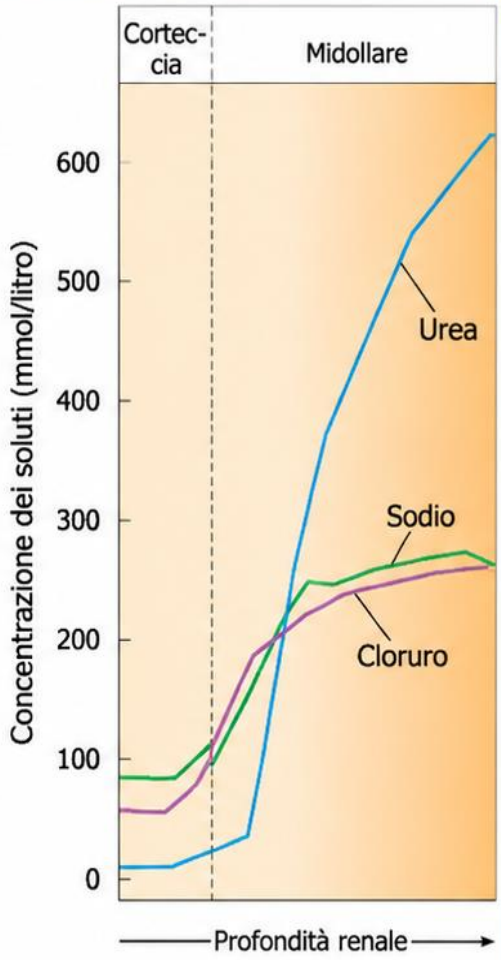


- Il sangue entra nel glomerulo tramite l'**arteriola afferente** e ne esce con l'**arteriola efferente.**
- L'arteriola efferente forma i **capillari peritubulari,** che avvolgono i tubuli, mentre le arterie e le vene interlobulari e arcuate distribuiscono e raccolgono il sangue nel rene.

- I tubuli del nefrone (tubulo convoluto prossimale, ansa di Henle, tubulo convoluto distale) si trovano immersi in una fitta **rete capillare,** che consente gli scambi tra il filtrato e il sangue.

Osmolarità del liquido tissutale e concentrazione dei soluti nel rene





- Il **liquido tissutale** è **isosmotico** nella regione corticale. La concentrazione osmotica aumenta nella regione midollare raggiungendo il massimo nella papilla, dove le urine sfociano nell'uretere.

- L'aumento dell'osmolarità nella midollare è dovuto all'accumulo di soluti, soprattutto urea, e in misura minore sodio (Na^+) e cloruro (Cl^-).

Termoregolazione

Dispersione di calore
(convezione: ansimazione)

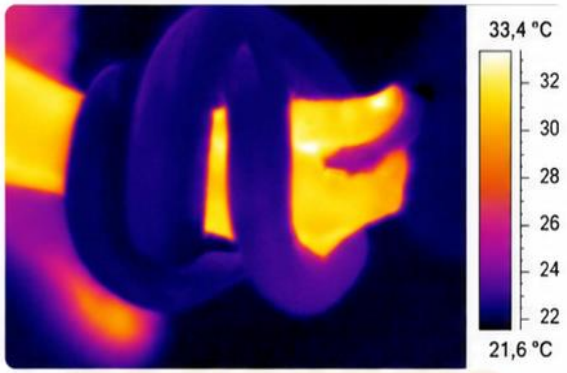


Immagine termografica
(zona più calda in giallo)

Ectotermo
(si riscalda al sole)

Endotermo
(mantiene la temperatura corporea)

- **Termoregolazione**: insieme dei meccanismi con cui un organismo mantiene la temperatura corporea entro limiti compatibili con le proprie funzioni vitali.
- **Endotermi** (es. mammiferi, come l'orso polare): producono calore metabolico e mantengono una temperatura corporea relativamente costante.
- **Ectotermi** (es. rettili, come la lucertola): la loro temperatura corporea varia con quella dell'ambiente e dipende da fonti esterne di calore (es. **l'irraggiamento solare**).

Gli animali regolano la temperatura corporea attraverso la produzione, la conservazione e la dispersione di calore.

Q_{10} e metabolismo

La velocità (e l'efficienza) della maggior parte dei processi fisiologici e delle reazioni biochimiche dipendono dalla **temperatura.**

$$Q_{10} = \frac{Rt}{Rt_{-10}}$$

- Q_{10} esprime la **dipendenza** di un processo o di una reazione **dalla temperatura**.

- **Rt** = velocità della reazione alla temperatura T = t °C.
- **Rt_{-10}** = velocità della reazione alla temperatura T = t – 10 °C.

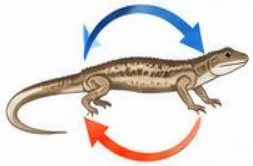
Significato: indica di quanto aumenta (o diminuisce) la velocità del processo quando la temperatura cresce di 10 °C.

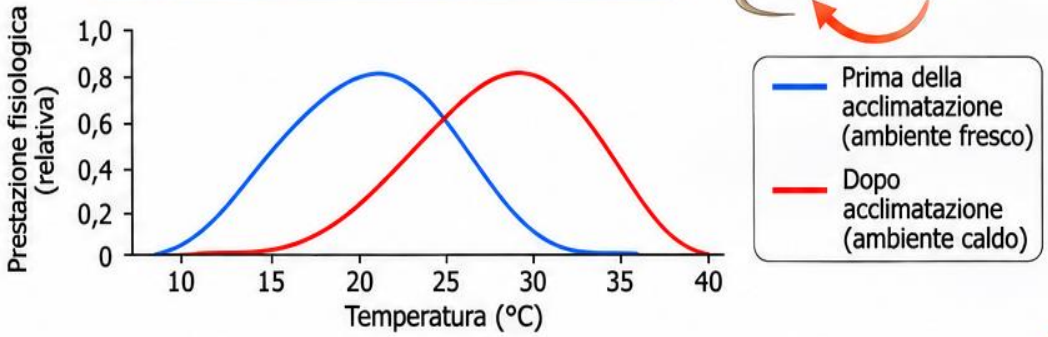
Valori tipici: nei sistemi biologici Q_{10} è spesso compreso tra 2 e 3, cioè la velocità del processo raddoppia o triplica per un aumento di 10 °C.

Acclimatazione e adattamento

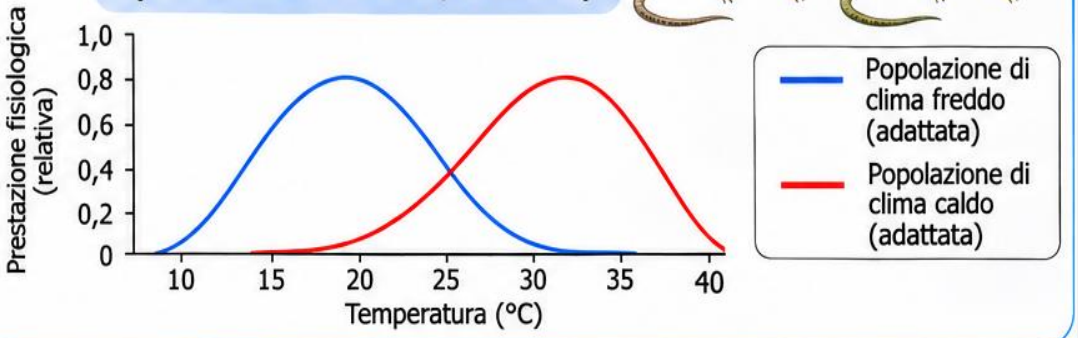
- L'**acclimatazione** permette la compensazione metabolica.
- Acclimatazione: **differenti gruppi di enzimi** operano in maniera ottimale a **differenti temperature** mantenendo costante l'efficienza metabolica.
- L'**adattamento** si realizza grazie alla **selezione genetica** delle strategie che favoriscono la sopravvivenza.

Acclimatazione
(regolazione fisiologica, reversibile)





Adattamento
(cambiamento evolutivo, ereditario)



In sintesi: l'acclimatazione è una risposta flessibile e reversibile a condizioni ambientali variabili, mentre l'**adattamento** è un cambiamento evolutivo ereditario.

Adattamenti all'esposizione all'aria nelle patelle intertidali

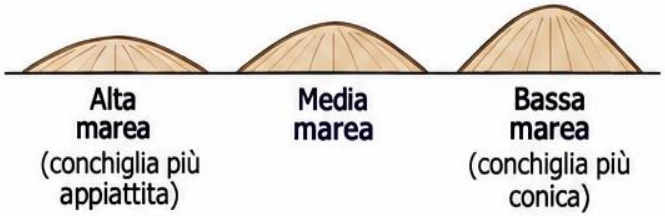
Adesione al substrato: il piede muscolare e il margine della conchiglia limitano la perdita d'acqua.

Ritenzione idrica: un sottile film d'acqua e il muco riducono la disidratazione durante la bassa marea.

Risposte fisiologiche: tolleranza alle variazioni di temperatura, salinità e disponibilità di ossigeno.

Variazione della conicità (spessore/altezza) nella stessa specie lungo il gradiente di marea

Profilo della conchiglia
(sezione laterale)



- Nella stessa specie la conchiglia è **più conica** nei siti più esposti all'aria (bassa marea), riducendo il rapporto **superficie/volume** e quindi la perdita d'acqua.

In sintesi: la combinazione di modificazioni morfologiche (es. maggiore conicità), meccanismi di ritenzione idrica e tolleranza fisiologica permette alle patelle di sopravvivere all'emersione.

Termoregolazione: strategie a confronto

Fonte del calore

ENDOTERMI

Calore prevalentemente prodotto dal metabolismo (termogenesi interna).

Uccello (es. pettirosso)

Mammifero (es. lupo)

ECTOTERMI

Calore prevalentemente acquisito dall'ambiente (non prodotto principalmente dal metabolismo).

Lucertola (al sole)

Pesce (es. persico)

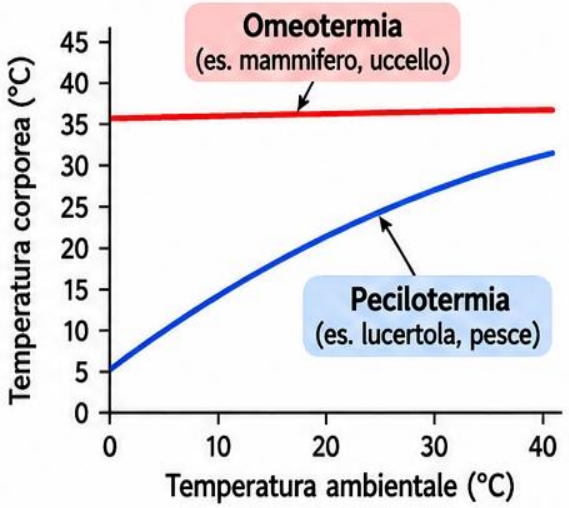
Stabilità della temperatura corporea

OMEOTERMI

Temperatura corporea relativamente stabile, nonostante le variazioni ambientali.

PECILOTERMI

Temperatura corporea variabile in relazione alle condizioni ambientali.



ETEROTERMI

Temperatura che varia tra fasi della vita (es. ibernazione, estivazione) o tra distretti corporei.

Marmotta (in ibernazione)

Endotermia ≠ omeotermia; ectotermia ≠ pecilotermia.
La fonte del calore e la stabilità termica sono criteri distinti.

Ectotermi ed endotermi

ENDOTERMI

Il **calore metabolico** è la principale fonte per mantenere la temperatura corporea.

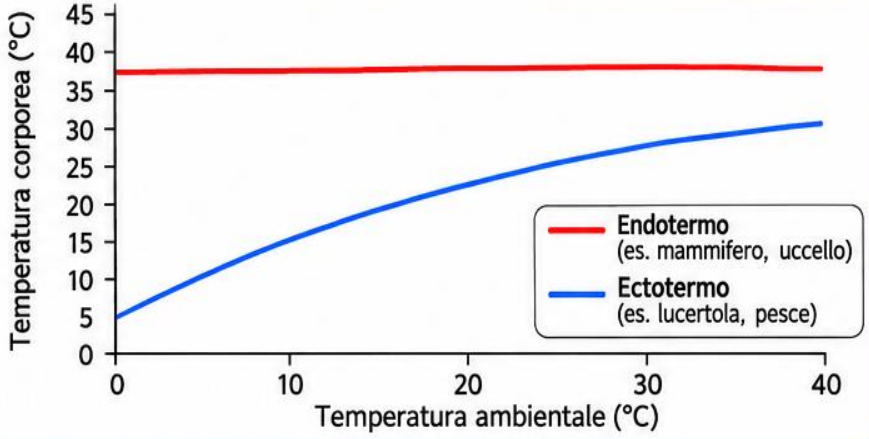
Uccelli e mammiferi

ECTOTERMI

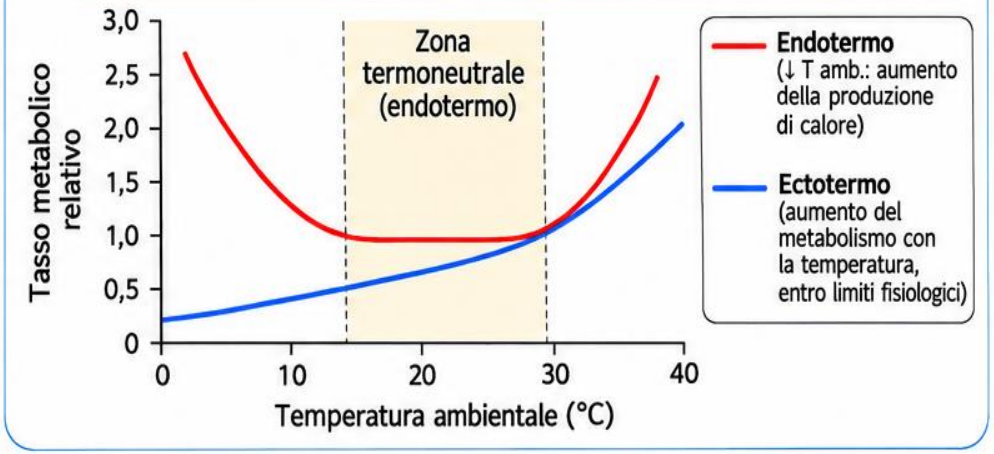
La temperatura corporea dipende prevalentemente dagli **scambi termici** con l'ambiente.

La maggior parte degli invertebrati, pesci, anfibi e rettili

Temperatura corporea vs temperatura ambientale



Tasso metabolico a riposo vs temperatura ambientale

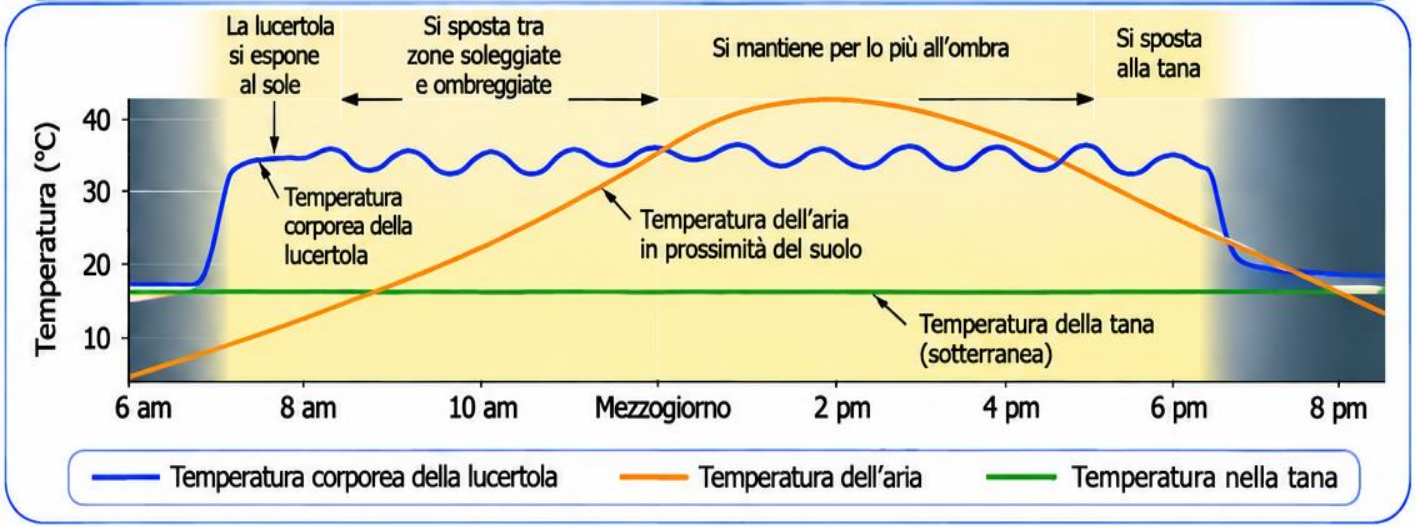


Endotermia ed ectotermia indicano la fonte prevalente del calore, non necessariamente la costanza della temperatura corporea.

Adattamenti comportamentali per il controllo della temperatura

Molti animali, in particolare ectotermi, regolano la propria temperatura corporea attraverso **comportamenti** che sfruttano le condizioni termiche dell'ambiente.

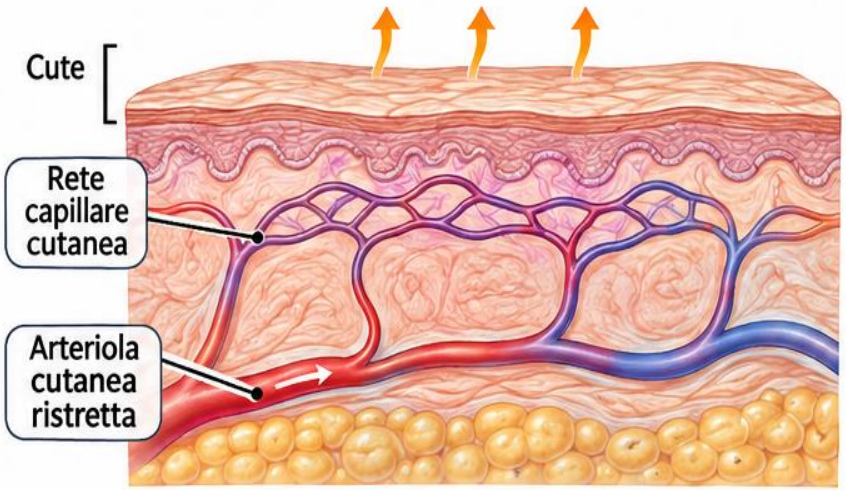
Anche gli esseri umani adottano strategie comportamentali (es. abbigliamento, riparo) per ridurre la perdita di calore.



In sintesi: gli adattamenti comportamentali (es. esposizione al sole, ricerca dell'ombra, uso di rifugi) consentono agli ectotermi di mantenere la temperatura corporea entro limiti funzionali.

La circolazione sanguigna contribuisce alla termoregolazione

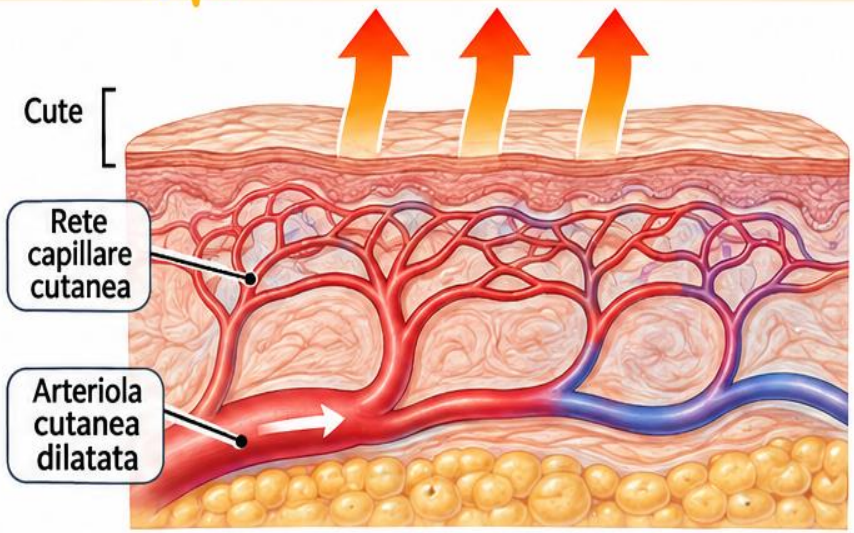
AMBIENTE FREDDO



VASOCOSTRIZIONE CUTANEA

Riduzione del flusso sanguigno superficiale → minore perdita di calore

AMBIENTE CALDO



VASODILATAZIONE CUTANEA

Aumento del flusso sanguigno superficiale → maggiore trasferimento di calore alla cute

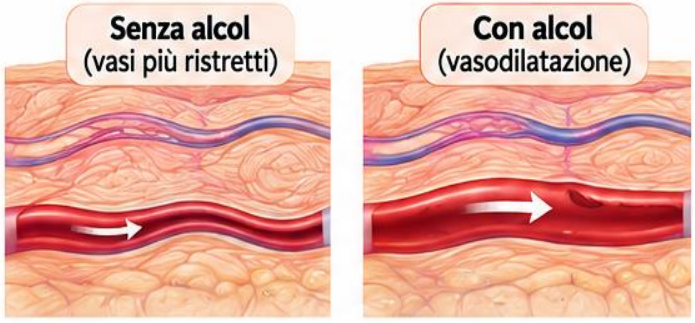
Nell'iguana marina (*Amblyrhynchus cristatus*), le variazioni della frequenza cardiaca accompagnano il riscaldamento e il raffreddamento corporeo.

Bere un liquore quando si è infreddoliti: un falso rimedio

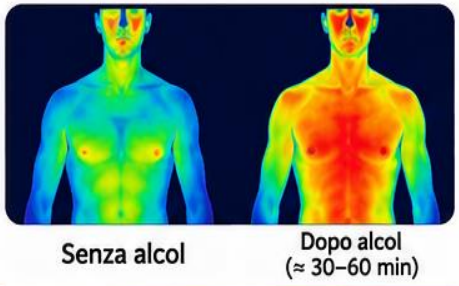
IL MITO "Un liquore scalda il corpo quando si è infreddoliti."

PERCHÉ È FALSO?

L'alcol (etanolo) provoca **vasodilatazione** dei vasi sanguigni superficiali (cutanei).



- Aumenta il flusso di sangue caldo verso la pelle.
- Si ha una sensazione di calore e la pelle si arrossa.
- In realtà si perde calore più rapidamente nell'ambiente, raffreddando di più il corpo.



Le immagini termografiche mostrano che, dopo l'assunzione di alcol, la temperatura della pelle aumenta (colori più caldi), segno di maggiore dispersione di calore.

IL COMPORTAMENTO CORRETTO PER RISCALDARSI

Mantieni il calore corporeo

Indossa più strati di abbigliamento (isolamento termico) e copri soprattutto testa, collo, mani e piedi.

Apporta calore in modo sicuro

Bevi bevande calde non alcoliche (es. tè, tisane, brodo): aumentano il calore interno senza favorire la dispersione.

Produci calore con il movimento

Svolgi attività fisica moderata (es. camminare): i muscoli in attività producono calore (termogenesi).

Cerca un ambiente caldo e riparato

Riduci l'esposizione a vento e umidità, che aumentano la perdita di calore.

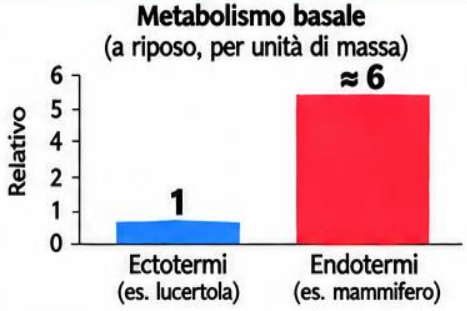
In sintesi: l'alcol dà solo una breve sensazione di calore, ma **accelera la perdita di calore** e aumenta il rischio di **ipotermia**, soprattutto in ambienti freddi.

Meccanismi omeostatici negli endotermi

Controllo neurale

Mammiferi e uccelli mantengono la temperatura corporea (≈ 36–41 °C) relativamente costante grazie a un'elevata produzione interna di calore e a meccanismi di controllo neuraale e ormonale (**omeostasi**).

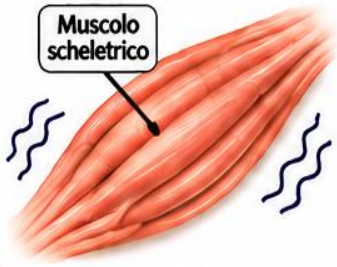
Metabolismo basale e produzione di calore



- Negli endotermi il metabolismo basale è in media ≈ 6 volte superiore a quello degli ectotermi (di pari massa).
- Un metabolismo più elevato consente una produzione di calore (metabolico) più efficace e continua.

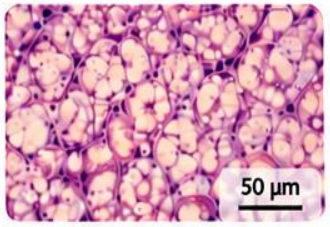
Nota: il rapporto di sei volte è indicativo e può variare tra specie, età e condizioni fisiologiche.

Termogenesi da brivido



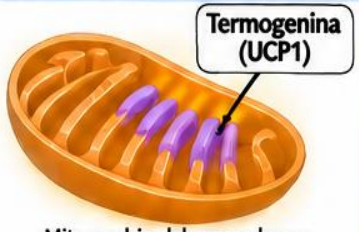
- Contrazioni rapide e involontarie della muscolatura scheletrica, senza movimento efficace (brivido).
- Derivano dalla conversione di ATP in ADP, con liberazione di calore (≈ 75% dell'energia dell'ATP diventa calore).

Termogenesi senza brivido: il grasso bruno



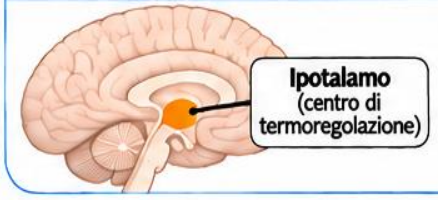
Tessuto adiposo bruno
(microscopia ottica)

- Tessuto adiposo specializzato (presente nei mammiferi, abbondante in neonati e in specie che vivono al freddo).
- Adipociti con molti mitocondri, riccamente vascolarizzati.
- Produce calore senza sintesi di ATP, grazie alla proteina **termogenina (UCP1)**.



Mitocondrio del grasso bruno
("disaccoppiamento"
della fosforilazione ossidativa)

Controllo neurale



L'**ipotalamo** confronta la temperatura corporea con un valore di riferimento (**set point**) e attiva le risposte appropriate (es. brivido, attivazione del grasso bruno, vasocostrizione cutanea, aumento del **metabolismo**).

In sintesi: negli endotermi la temperatura corporea è mantenuta costante dall'equilibrio tra produzione di calore (elevato metabolismo, brivido, grasso bruno) e dispersione di calore (es. vasodilatazione/vasocostrizione, isolamento).

Precisazioni scientifiche:

- Il metabolismo degli endotermi è generalmente più elevato di quello degli ectotermi di massa comparabile, ma il rapporto di sei volte è indicativo, non universale.
- La termogenina (UCP1) produce calore dissipando il gradiente protonico mitocondriale, senza accoppiarlo alla sintesi di ATP.

Dispersione del calore

Negli animali la dispersione del calore avviene tramite strutture e comportamenti che aumentano lo scambio termico con l'ambiente.

Rivestimenti cutanei

Lepre europea
(pelo rado, minore isolamento, maggiore dispersione)

Lepre artica
(pelo denso, elevato isolamento, minore dispersione)

Orecchie

Negli elefanti le ampie orecchie, riccamente vascolarizzate, aumentano la superficie di scambio e dissipano il calore per irraggiamento, convezione ed evaporazione.

Iperpnea e sudorazione

Nei cani la dispersione del calore avviene soprattutto con l'**iperpnea** (ansimare): la rapida evaporazione dell'acqua dalla lingua e dalle vie respiratorie raffredda il corpo.

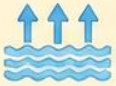
Principali meccanismi di dispersione del calore

Rivestimenti cutanei (pelo, penne)
→ modulano l'isolamento termico

Iperpnea
→ aumenta lo scambio di calore (es. cani)

Sudorazione
→ evaporazione dell'acqua (es. mammiferi)

Superfici vascolarizzate estese
→ aumento della dispersione (es. orecchie degli elefanti)



Altri meccanismi
→ convezione (aria/acqua) e irraggiamento

In sintesi: la dispersione del calore è modulata da caratteristiche morfologiche (rivestimenti, superfici vascolarizzate) e da risposte comportamentali e fisiologiche (iperpnea, sudorazione) in relazione alle condizioni ambientali.

Ipotermia e ibernazione

Ipotermia regolativa

- Riduzione controllata e reversibile della temperatura corporea.
- Si associa a un abbassamento del metabolismo basale (e del consumo di ossigeno).
- Comune negli uccelli e in piccoli mammiferi per risparmiare energia durante il freddo (es. durante la notte).

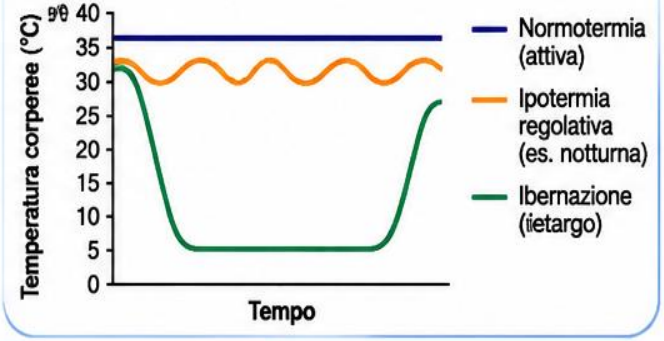
Ibernazione

- Stato di letargo con ipotermia marcata, rallentamento metabolico prolungato e forte risparmio energetico.
- Dura settimane o mesi ed è regolata da ritmi circannuali (fotoperiodo, temperatura, disponibilità di cibo).
- Tipica di molti mammiferi (es. marmotte, ricci, ghiri, pipistrelli) e di alcuni uccelli.

Confronto fisiologico

Parametro	Normotermia (attiva)	Ipotermia regolativa	Ibernazione (letargo)
Temperatura corporea (°C)	~ 36–40	↓ di pochi °C (es. 30–34)	↓ marcata (es. 2–10)
Metabolismo basale	1 (riferimento)	↓ 20–50%	↓ 90–98%
Frequenza cardiaca	normale	ridotta	molto ridotta
Durata	continua	ore–giorni (reversibile)	settimane–mesi (stagionale)

Andamento della temperatura corporea



Ritmi di controllo

Ritmo circadiano (modulazione giornaliera, es. ipotermia notturna)

Ritmo circannuale (modulazione stagionale, es. ibernazione)

Fattori ambientali (fotoperiodo, temperatura, disponibilità di cibo)

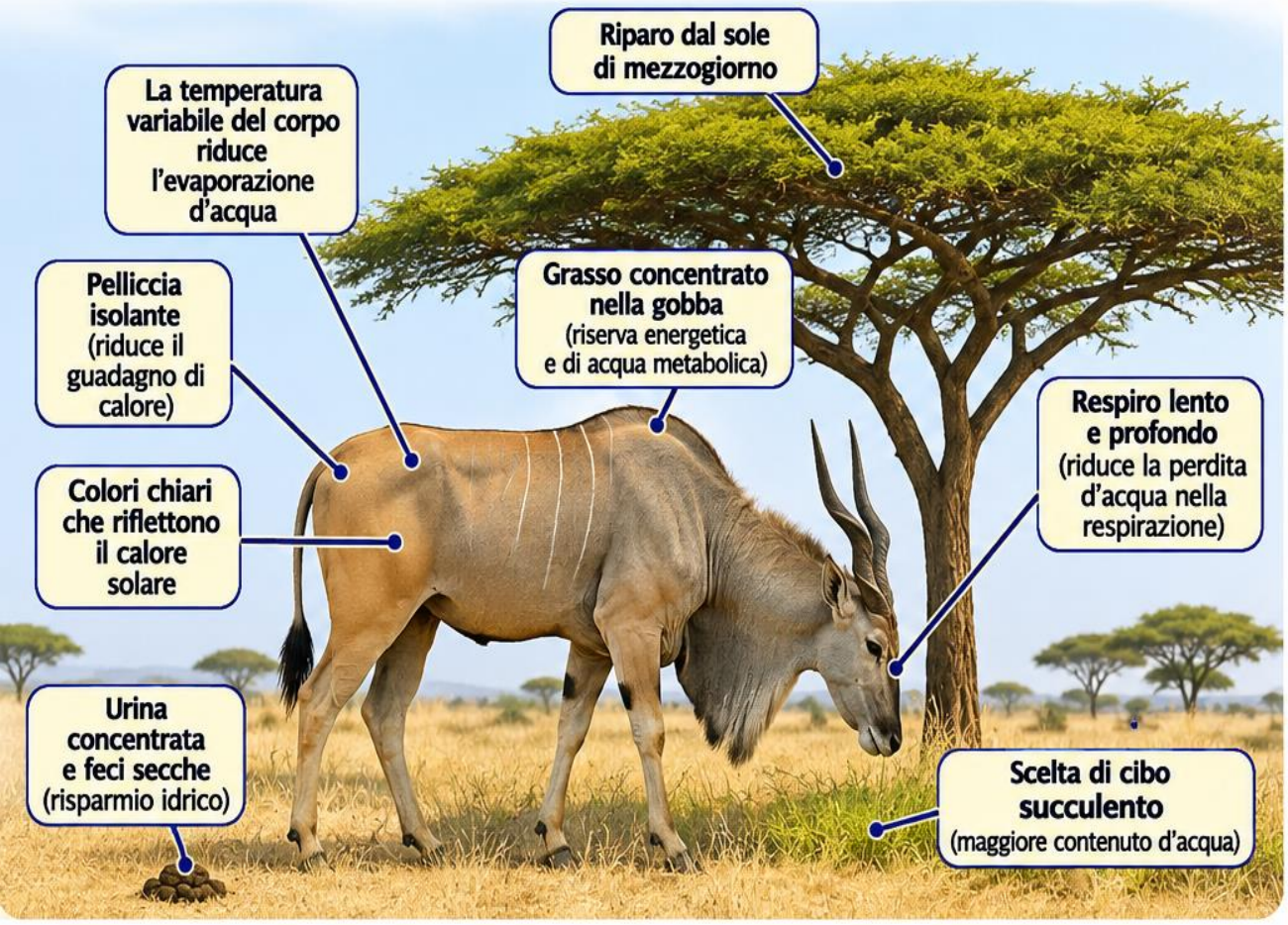
Perché ridurre la temperatura?

- Diminuisce il fabbisogno energetico.
- Consente di superare periodi di freddo e/o scarsità di risorse.
- Riduce la perdita di acqua e il catabolismo delle riserve (es. grassi).

In sintesi: l'ipotermia regolativa è una riduzione temporanea e moderata della temperatura corporea, mentre l'ibernazione è un stato di letargo stagionale con ipotermia profonda e drastico rallentamento del metabolismo.

Adattamenti termoregolatori del taurotrago (elano)

Strategie fisiologiche e comportamentali per mantenere il bilancio termico nella calda e arida savana africana



Principali adattamenti

Fisiologici

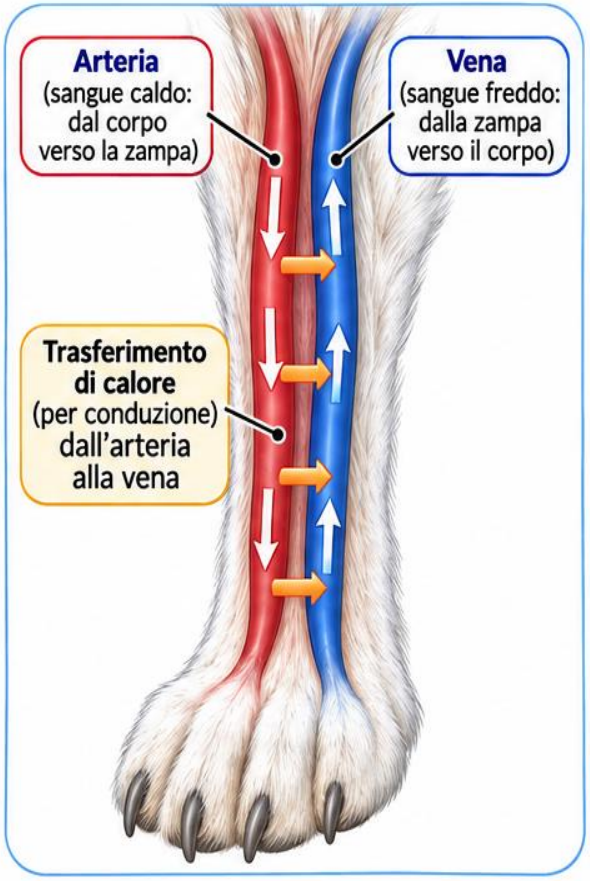
- Temperatura corporea variabile (eterotermia controllata) → minore perdita d'acqua per evaporazione.
- Accumulo di grasso nella gobba → riserva energetica e fonte di acqua metabolica.
- Urina concentrata e feci secche → risparmio idrico.
- Respirazione lenta e profonda → minor perdita di acqua per evaporazione.

Comportamentali

- Ricerca dell'ombra nelle ore più calde (es. sotto gli alberi).
- Alimentazione selettiva di piante succulente (ricche d'acqua).
- Riduzione dell'attività nelle ore di massimo calore (riposo).

In sintesi: il taurotrago integra adattamenti fisiologici e comportamentali che limitano il guadagno di calore, riducono la perdita di acqua e conservano energia, consentendogli di vivere in ambienti caldi e aridi.

Scambio termico in controcorrente: conservare il calore



1. **Il sangue arterioso caldo scende verso la zampa.**
2. Il sangue venoso più freddo risale accanto all'arteria e riceve calore per conduzione.
3. **Il sangue arterioso raggiunge l'estremità più freddo, mentre il sangue venoso torna al tronco più caldo: diminuisce la dispersione di calore.**

In sintesi: Il meccanismo consente di mantenere calda la regione centrale del corpo e perfondere le estremità fredde: è un esempio di **eterotermia regionale.**

Nota: La vasocostrizione periferica e l'isolamento della pelliccia contribuiscono ulteriormente alla conservazione del calore.

Scambi di calore tra animale e ambiente

L'animale scambia calore con l'ambiente attraverso radiazione, convezione, conduzione ed evaporazione.
Il verso dello scambio dipende dal gradiente termico e dal bilancio energetico complessivo.

RADIAZIONE

Trasferimento di energia per onde elettromagnetiche.

- **Solare diretta e riflessa** (onde corte): guadagno di calore.
- **Termica** (infrarossa, onde lunghe) emessa dall'animale: perdita di calore verso l'ambiente.

CONVEZIONE

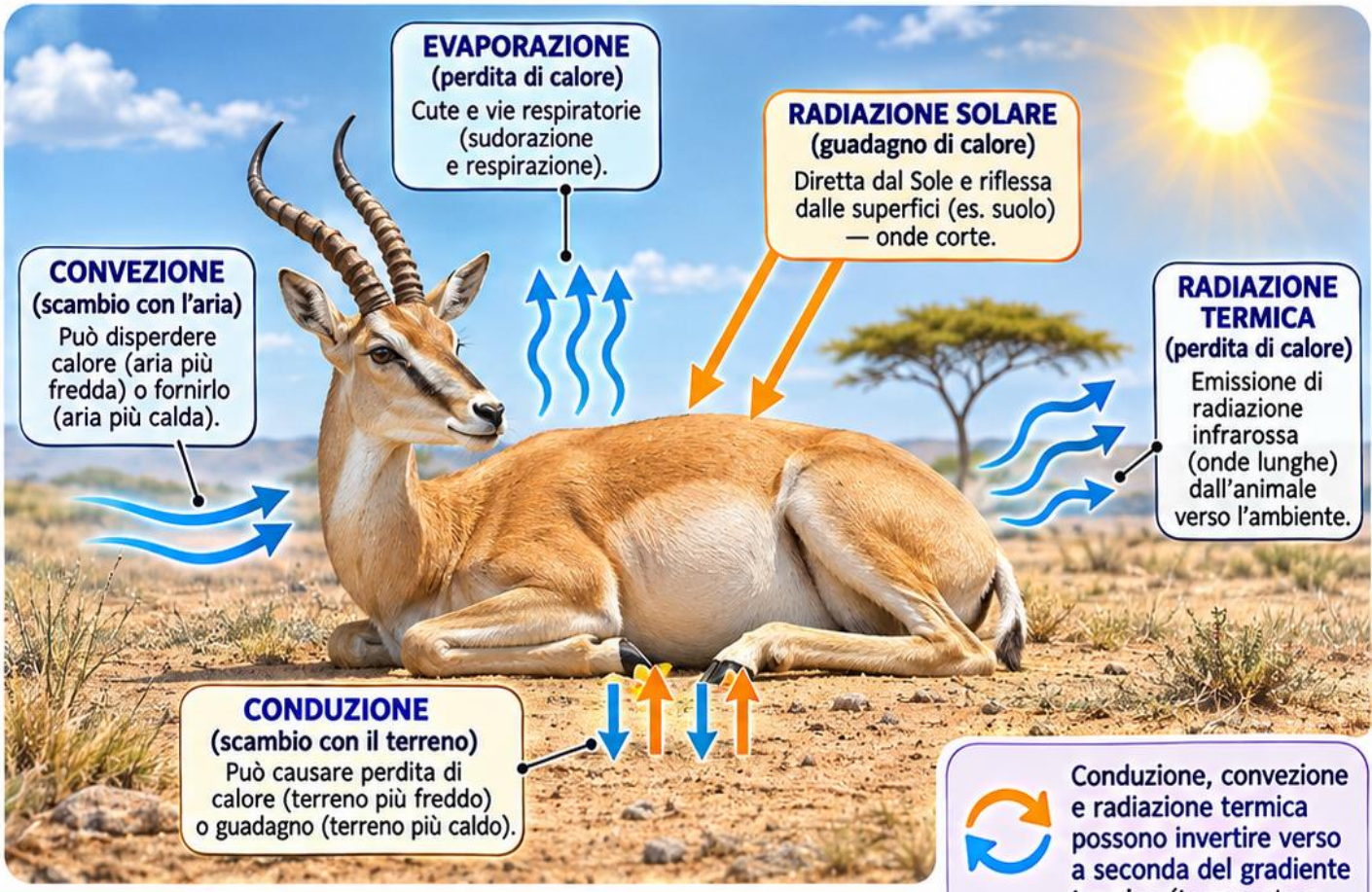
Scambio di calore tra la superficie corporea e l'aria in movimento (es. vento). Può disperdere calore o, se l'aria è più calda del corpo, fornire calore.

CONDUZIONE

Trasferimento di calore per contatto diretto con il terreno. Può causare perdita di calore (terreno più freddo) o guadagno (terreno più caldo).

EVAPORAZIONE

Perdita di calore dovuta all'evaporazione dell'acqua dalla cute (sudorazione, "panting") e dalle vie respiratorie. È sempre un meccanismo di raffreddamento.



Il calore passa spontaneamente dal corpo più caldo a quello più freddo.

Quando l'ambiente è più caldo della superficie corporea, l'evaporazione diventa essenziale per disperdere calore.

Conduzione, convezione e radiazione termica possono invertire verso a seconda del gradiente termico (temperatura del corpo, dell'aria e delle superfici circostanti).

Omeostasi – Regolazione osmotica, escrezione e termoregolazione

L'**omeostasi** è la capacità di mantenere relativamente costanti nel tempo le principali variabili dell'ambiente interno (composizione ionica e osmotica, volume dei fluidi, equilibrio acido-base, temperatura, ecc.), nonostante le variazioni dell'ambiente esterno.

Omeostasi: un principio generale negli animali

- Conserva condizioni interne compatibili con molteplici processi fisiologici (metabolismo, funzione cellulare e macromolecolare, compatibilità ionica, attività enzimatica).
- È un tratto fondamentale della biologia animale, presente in tutti i phyla, con soluzioni adattative diversificate in relazione all'ambiente (acquatico, terrestre, aereo, periodicamente variabile).

Regolazione osmotica

Controllo di acqua e soluti per mantenere il volume cellulare e la composizione ionica.

Esempi

- **Teleostei marini**: eliminano l'eccesso di sali con le cellule del cloruro (branchie).
- **Invertebrati marini**: regolazione ionica attiva (es. granchi e molluschi).
- **Organismi eurioli**ni (es. pesci **anadromi**): modulano attivamente il bilancio osmotico tra acqua dolce e marina.

Escrezione

Eliminazione dei prodotti di scarto del metabolismo (soprattutto azotati) con minima perdita di acqua.

Forme principali di escrezione azotata

- **Ammoniaca** (molti invertebrati acquatici, pesci ossei): molto tossica, eliminata con abbondante acqua.
- **Urea** (es. elasmobranchi, molti anfibi, alcuni invertebrati): meno tossica, risparmio idrico.
- **Acido urico** (uccelli, rettili, molti artropodi): poco solubile, massima conservazione dell'acqua.

Termoregolazione

Mantenimento della temperatura corporea entro un range funzionale, modulando gli scambi di calore con l'ambiente.

Strategie

- **Ectotermia** con compensazioni comportamentali e fisiologiche (es. pesci, rettili, molti invertebrati).
- **Endotermia** con produzione di calore metabolico e isolamento (es. uccelli, mammiferi).
- **Strategie specializzate** (es. scambio controcorrente in pesci, insetti e mammiferi artici).

Il controllo neurale ed endocrino dell'omeostasi

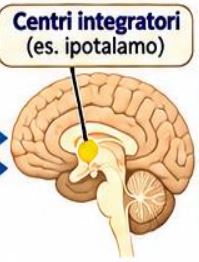
Il mantenimento degli equilibri interni è il risultato di sistemi integrati di controllo rapido (neurale) e più lento e duraturo (endocrino), spesso organizzati in circuiti di retroazione negativa.

Controllo neurale

Rilevazione rapida delle variazioni e coordinamento delle risposte (comportamentali, autonome e viscerali).

Controllo endocrino

Modulazione più lenta e prolungata di funzioni chiave (bilancio idrico-ionico, escrezione, metabolismo e termoregolazione).



Risposte effettrici

- Funzione renale/escretoria (equilibrio idrico e ionico)
- Modulazione vascolare (scambi termici)
- Ghiandole esocrine (es. sudorazione, secrezione di sali)
- Comportamento (ricerca di ombra/acqua, attività)

Esempi di integrazione neuroendocrina

- **Osmoregolazione**: vasotocina (arginina-vasotocina/vasopressina) in mammiferi, uccelli, rettili, anfibi e molti pesci; peptidi correlati anche in invertebrati.
- **Escrezione/bilancio idrico**: sistema renina-angiotensina-aldosterone (vertebrati).
- **Termoregolazione**: ipotalamo e ormoni tiroidei (T_3/T_4) nel controllo del metabolismo e della produzione di calore; integrazione con il sistema nervoso autonomo.

Diversità negli animali

Cnidari: mantenimento dell'equilibrio ionico per regolazione del volume cellulare in ambienti variabili.

Crostacei: osmoregolazione attiva delle branchie e escrezione di ammoniaca; modulazione ormonale dell'equilibrio idro-ionico.

Elasmobranchi: ritenzione di urea (osmoconformità parziale) come adattamento all'ambiente marino.

Rettili e testuggini marine: escrezione di sali tramite ghiandole specializzate (ghiandole del sale).

In sintesi

Omeostasi, osmoregolazione, escrezione e **termoregolazione** sono processi strettamente interconnessi, controllati da meccanismi neurali ed endocrini integrati, fondamentali per comprendere come gli animali mantengono l'equilibrio interno, si adattano a ambienti diversificati e rispondono ai cambiamenti ambientali.