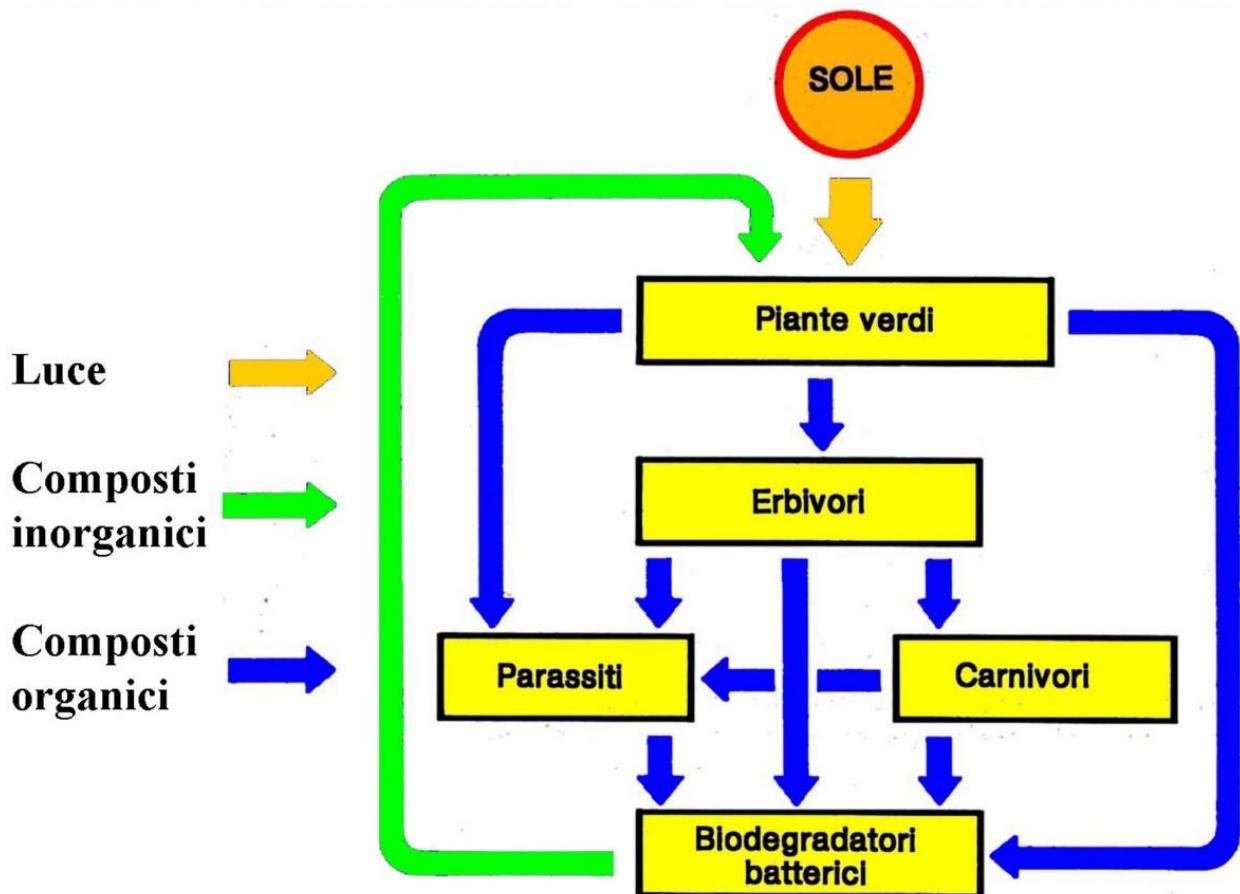




Zoologia generale (M-Z) 2022.

2. Nutrizione

Energia e carbonio



Categoria nutrizionale	Fonte di energia	Fonte di carbonio
Fotoautotrofi (membri di tutti e tre i domini)	Luce	Anidride carbonica
Fotoeterotrofi (alcuni batteri)	Luce	Composti organici
Chemioautotrofi (alcuni batteri, molti archea)	Composti inorganici	Anidride carbonica
Chemioeterotrofi (membri di tutti e tre i domini)	Composti organici	Composti organici



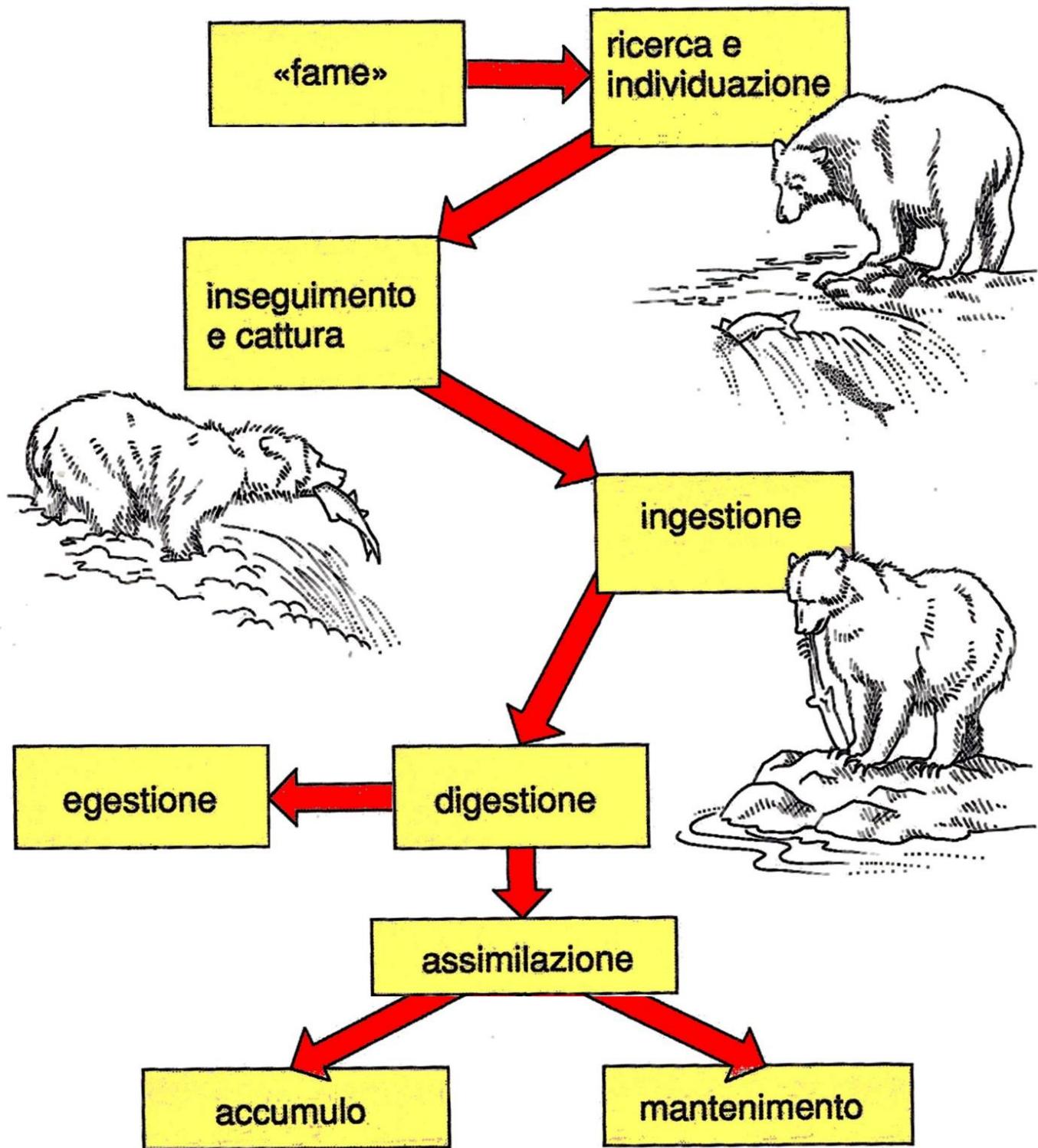
Energia e carbonio

Gli organismi viventi richiedono principalmente energia e carbonio. Quelli in grado di organicare il carbonio vengono definiti **autotrofi o produttori primari**. Il diagramma di flusso delle diverse fonti di energia e di carbonio mostrato nell'immagine è, ovviamente, estremamente semplificato.

In particolare i veri «erbivori» sono meno numerosi di quanto comunemente si pensa, così come gli animali esclusivamente «carnivori», anche se sicuramente più numerosi dei primi. Una descrizione della situazione più soddisfacente distingue quindi in prima battuta gli autotrofi dagli **eterotrofi**, detti anche **consumatori o produttori secondari**. Tutti gli animali sono eterotrofi e, a loro volta, possono essere suddivisi in base alla strategia alimentare adottata che risulta più significativa della natura dell'alimento consumato. Distinguiamo quindi i microfagi e i macrofagi; tra questi i detritivori, i sospensivori, i predatori, i pascolatori, i brucatori, ecc.



Fasi dell'alimentazione





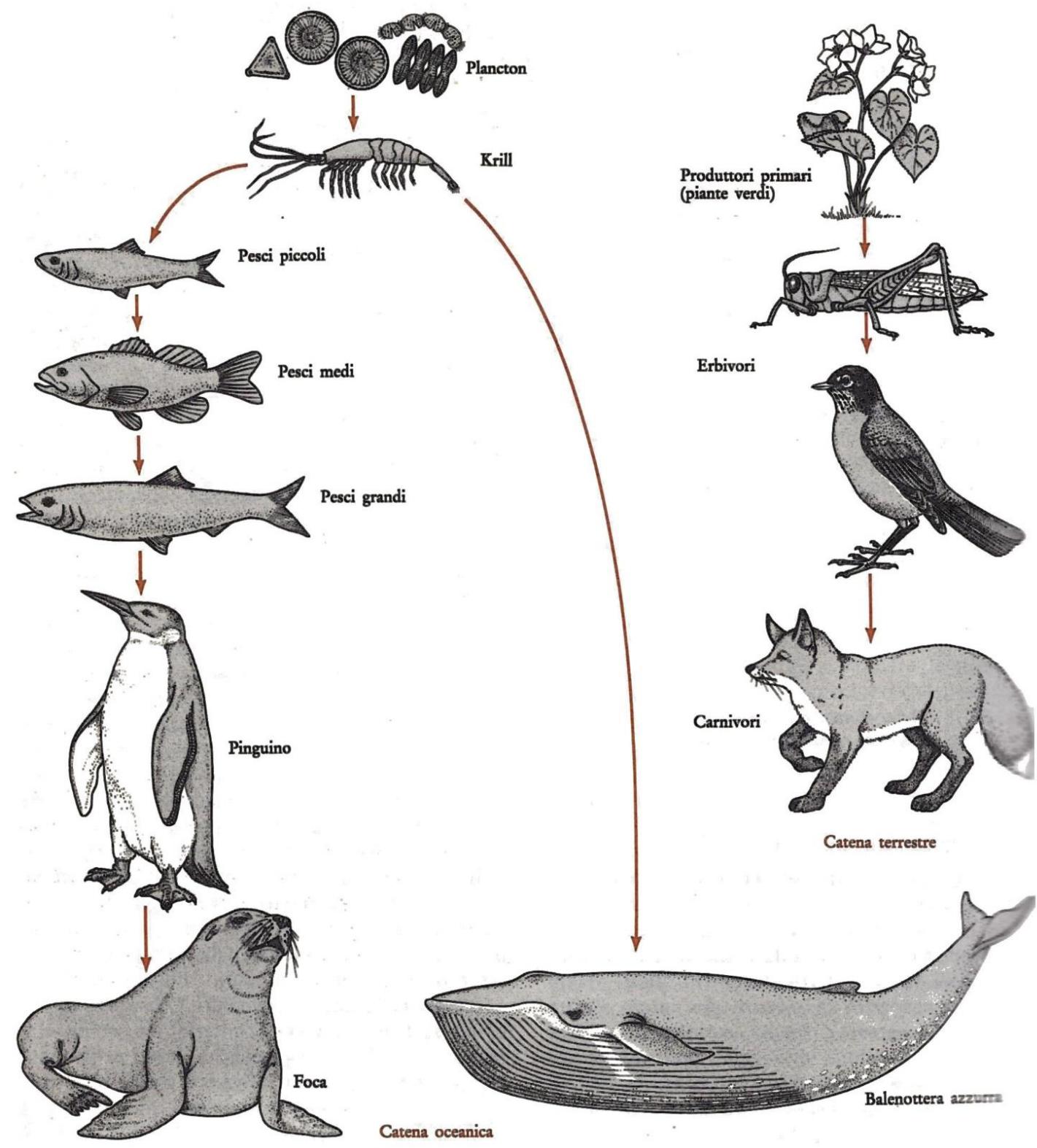
Fasi dell'alimentazione

La **nutrizione** è il complesso dei processi biologici che consentono la conservazione, la reintegrazione delle perdite, sia di materiale che di energia, l'accrescimento e lo sviluppo di un organismo vivente.

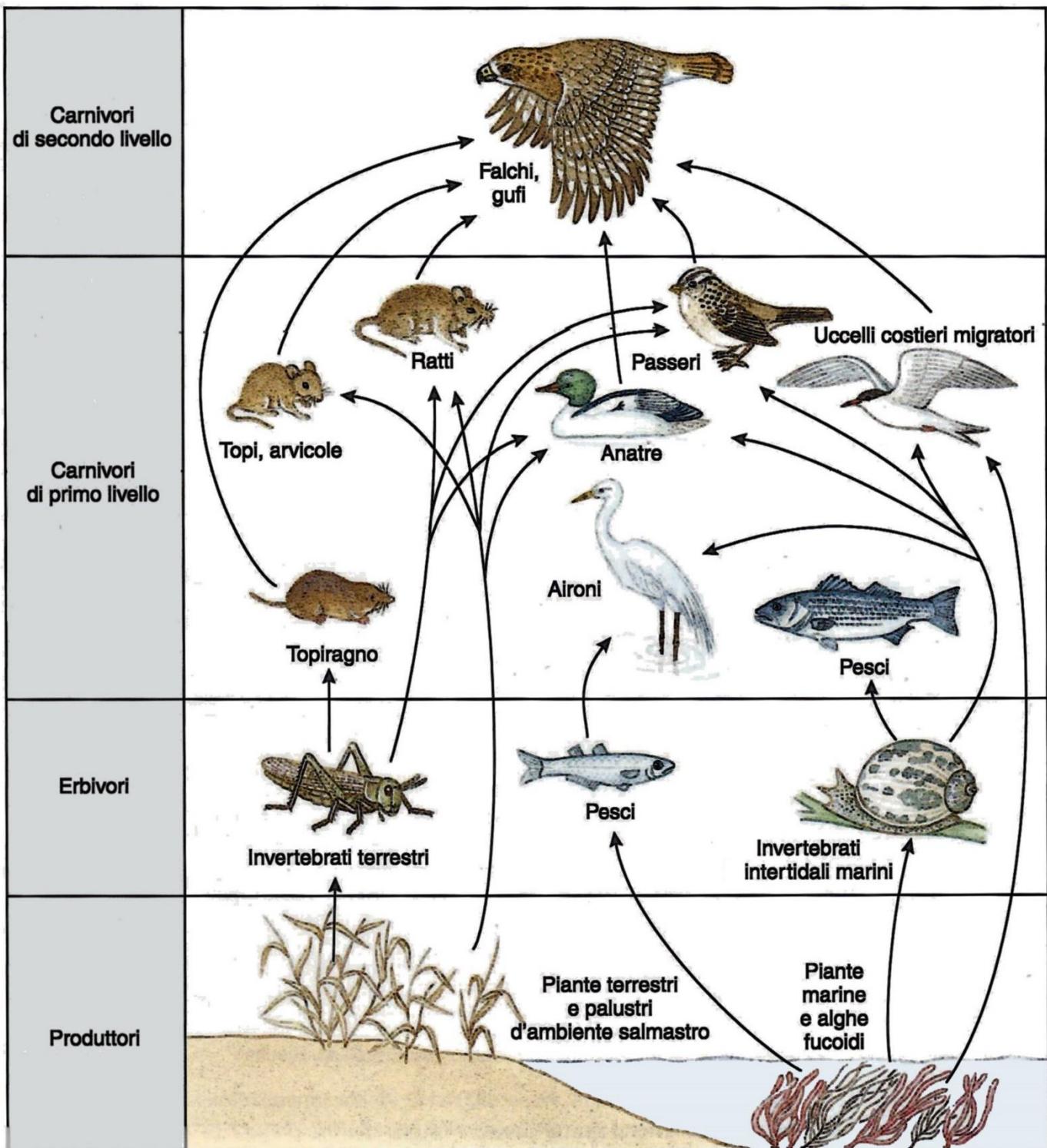
L'**alimentazione** è il momento della nutrizione che corrisponde al procurarsi, ingerire e assimilare i nutrienti. In sintesi, ogni vivente si nutre, mentre solo gli animali, e molti prototipi, si alimentano. Un animale deve spendere energia in ciascuna tappa della sequenza mostrata. Quindi, per sopravvivere e riprodursi, un animale deve procurarsi attraverso l'alimentazione più energia di quanta ne spenda nel mantenimento. L'energia accumulata consente un'alimentazione discontinua e le attività non connesse direttamente con questa.



Catene alimentari



Rete trofica



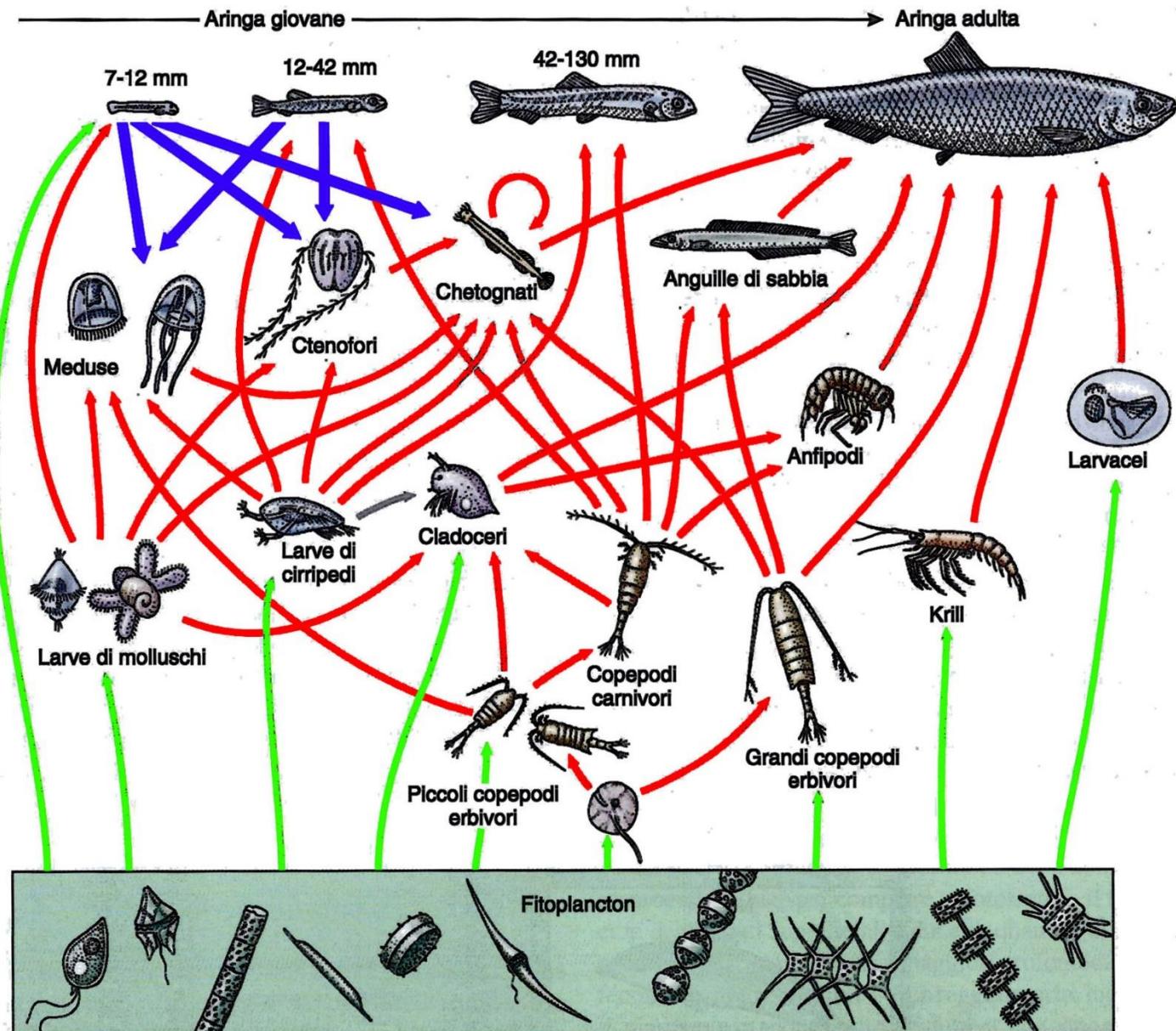


Catene alimentari e rete trofica

Le **catene alimentari** oceaniche tendono a essere molto lunghe perché iniziano con produttori primari microscopici, il cosiddetto **fitoplancton**, e comprendono diversi livelli di **zooplankton** e di pesci. Solo nel caso dei pochi sospensivori di enormi dimensioni, che si nutrono di krill, la catena si riduce a soli tre elementi perché, dato che in ciascun passaggio si perde circa il 90% della energia disponibile (**Legge del decimo ecologico**), se fossero più lunghe risulterebbero antieconomiche. Le catene alimentari terrestri tendono ad essere più brevi perché gli autotrofi terrestri sono grandi e possono costituire direttamente l'alimento di grandi erbivori. In generale, più che di catene, sarebbe opportuno parlare di reti trofiche. Nella seconda slide viene mostrata una rete trofica invernale caratteristica di una laguna salmastra a *Salicornia* nei pressi della Baia di San Francisco. L'ambiente terrestre è piuttosto instabile per cui i fattori limitanti sono legati a molte variabili ambientabili, es. temperatura e disponibilità di acqua. In mare, ambiente molto più stabile, i fattori limitanti sono sostanzialmente legati alla alimentazione. In pratica occorre procurarsi del cibo e cercare di non divenirlo per altri animali. Si verifica una intensa competizione per lo spazio, spesso inteso come substrato sul quale insediarsi, il quale deve consentire di procurarsi il cibo.



Rete trofica marina





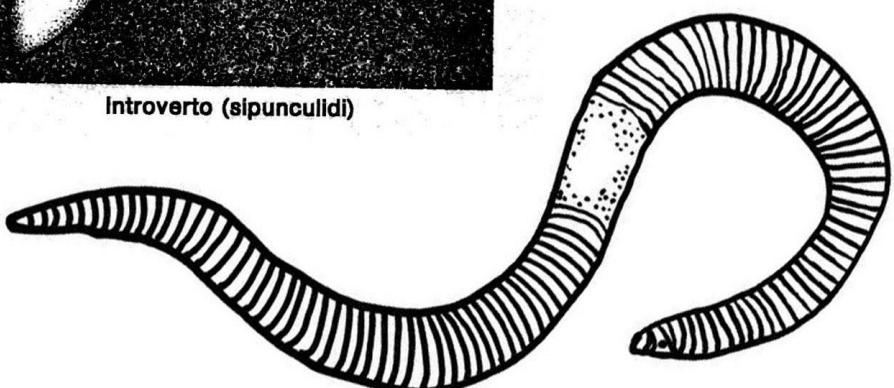
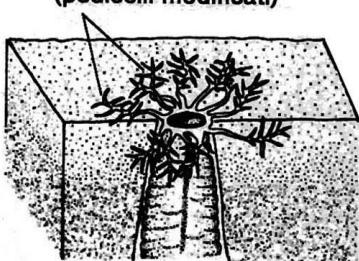
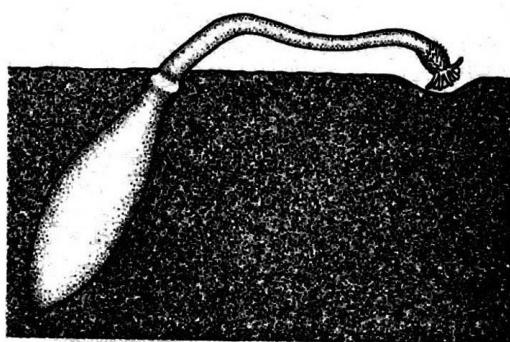
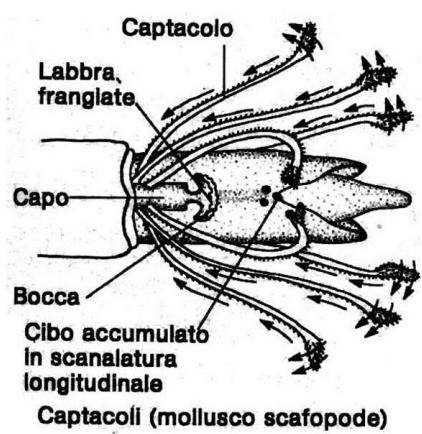
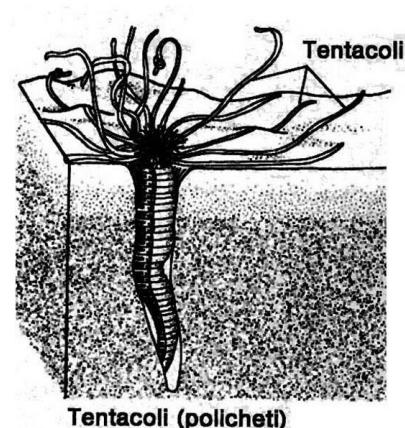
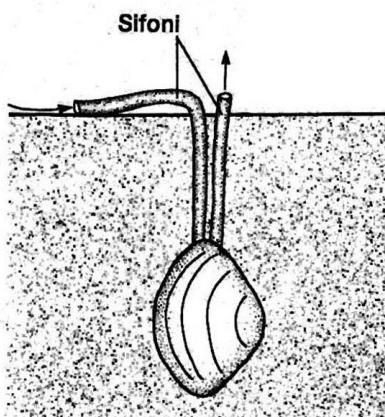
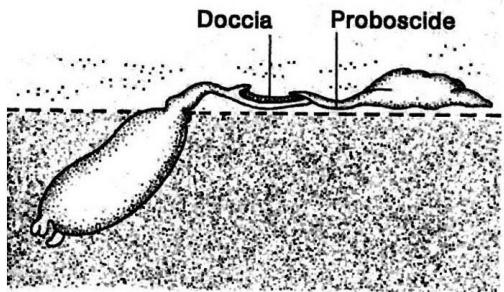
Rete trofica marina

Le rappresentazioni delle reti trofiche sono in genere notevolmente semplificate e non evidenziano la complessità dei rapporti alimentari che caratterizza, per esempio, la maggioranza degli animali epipelagici. La dieta dell'aringa (*Clupea harengus*) varia in relazione alla fase del ciclo vitale. Gli avannotti possono essere predati da organismi (frecce blu) che, non solo non sono in grado di predare gli adulti, ma, al contrario, ne costituiscono le prede (frecce rosse). In questa immagine le frecce verdi rappresentano l'**erbivoria**, le rosse la **predazione**, ma, come vedremo si tratta di una semplificazione.

Gli animali possono essere suddivisi in molte categorie alimentari. In base alla natura dell'alimento principale di cui si nutrono, solo per citarne alcune, abbiamo: **erbivori** o fitofagi (a loro volta divisibili in granivori, frugivori e folivori); **onnivori** (opportunisti); **carnivori** (insettivori, mirmecofagi, piscivori, teutofagi, necrofagi e spazzini). In base alla loro versatilità alimentare invece possiamo distinguere: monofagi, stenofagi o oligofagi, polifagi o eurifagi.



Detritivori





Detritivori

Se invece consideriamo le dimensioni dell'alimento utilizzato gli animali possono essere divisi in due grandi categorie, i **microfagi**, che si nutrono di particelle organiche o di microrganismi, e i **macrofagi**, che si nutrono di organismi di taglia relativamente grande.

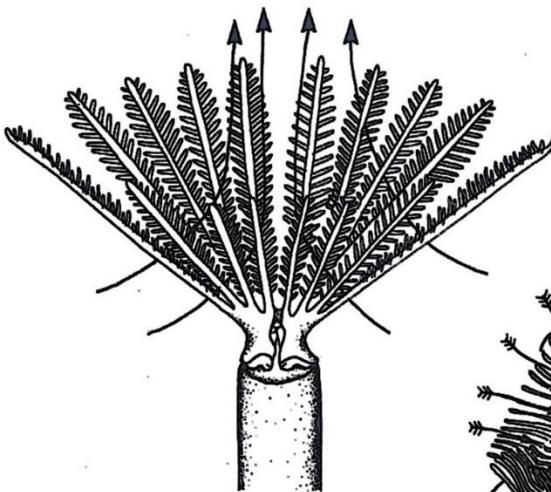
I **detritivori** e i **sospensivori** appartengono ai microfagi.

Se si escludono i poriferi, un taxon con una storia evolutiva del tutto peculiare, probabilmente i primi animali, eterotrofi e mobili, furono proprio i **detritivori**, detti anche **depositivori** o **consumatori di substrato**, e la maggior parte si nutriva di alimenti di origine batterica o animale, per motivi che vedremo più avanti. Questo giustifica quanto detto prima sulla visione un po' semplificata che tende ad immaginare gli «erbivori» come i primi animali comparsi sulla Terra. Al contrario i taxa animali meno derivati ancora oggi viventi, cnidari, ctenofori e platelminti, sono tipicamente «carnivori», mentre i pochi taxa veramente erbivori compaiono molto tardi e solo in alcune linee molto specializzate.

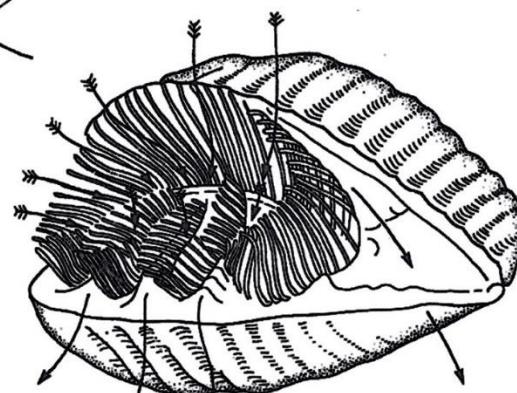
In genere i detritivori sono dotati di estroflessioni, quali **proboscidi** o **tentacoli**, rivestite di cellule ciliate e mucipare che provvedono alla raccolta, e spesso alla cernita, delle particelle alimentari presenti nel substrato.



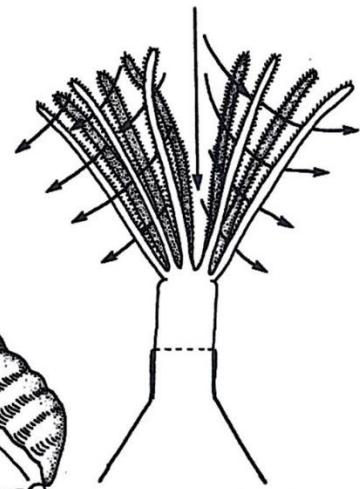
Sospensivori



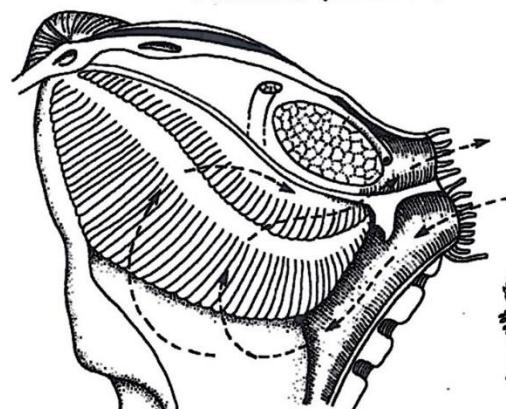
Polichete (tentacoli)



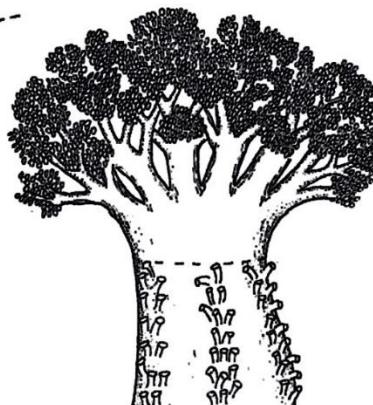
Brachiopode (lophoforo)



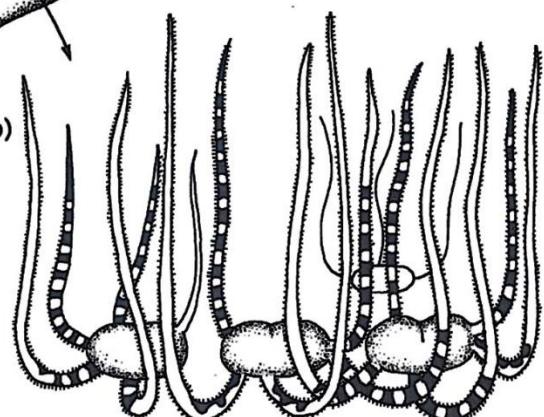
Briozoo (lofoforo)



Mollusco bivalve (branchie ctenidiali)



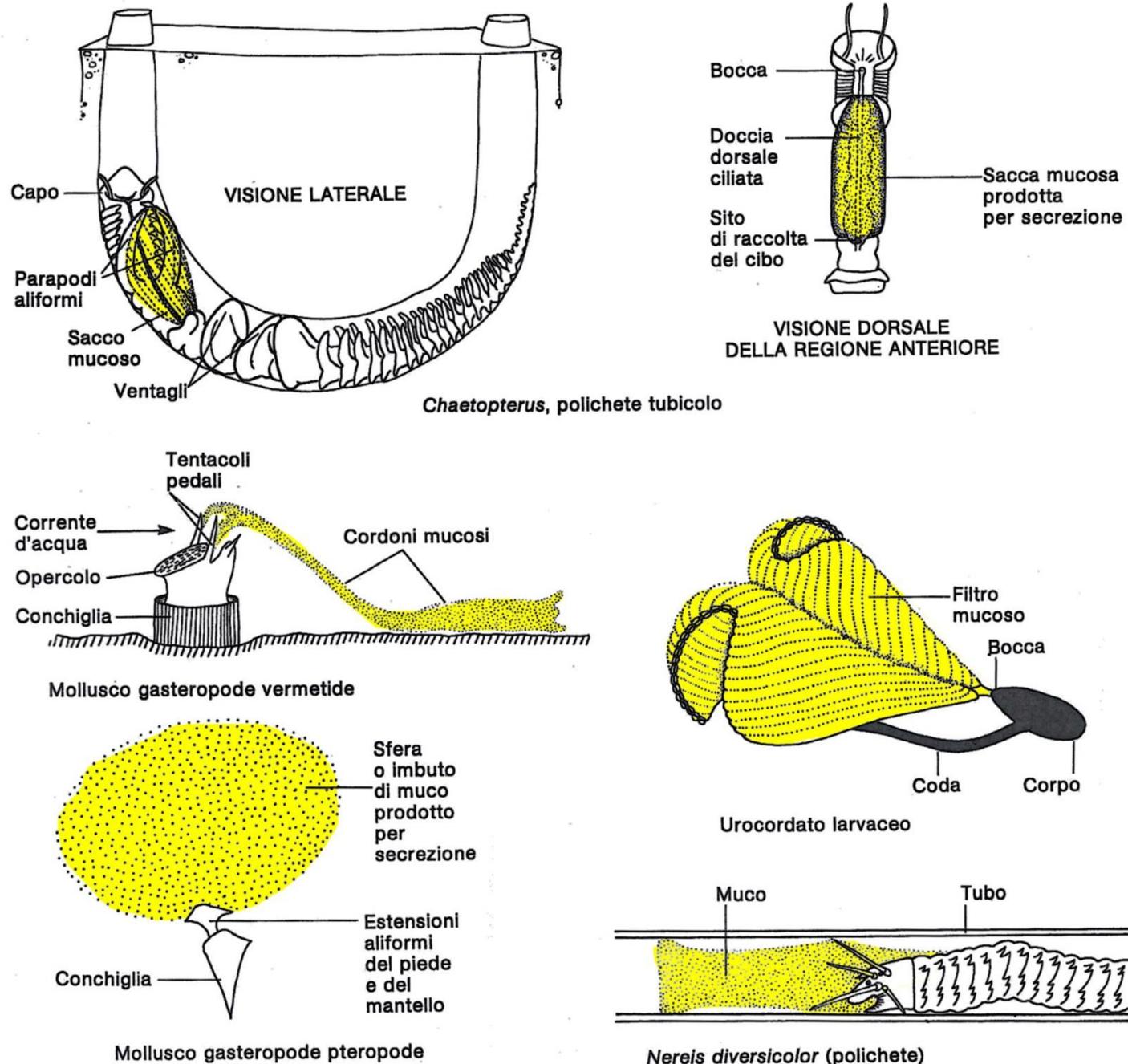
Oloturoide (tentacoli orali)



Ofiuroide (braccia)



Reti mucose





Sospensivori

Un aspetto importante da ricordare è che la modalità di alimentazione sospensivora viene usata esclusivamente in **ambiente acquatico**, anche se non necessariamente da animali acquatici (es. fenicotteri). Talvolta si opera una distinzione tra **vorticatori**, che per raccogliere le particelle alimentari adoperano le **ciglia**, e i **filtratori**, che impiegano delle **appendici** mosse da muscoli, ma essendo usata di rado, e non sempre in maniera univoca, è possibile adoperare indistintamente il termine filtratori. In generale i vorticatori sono caratterizzati dalla presenza di **organi mucociliari**.

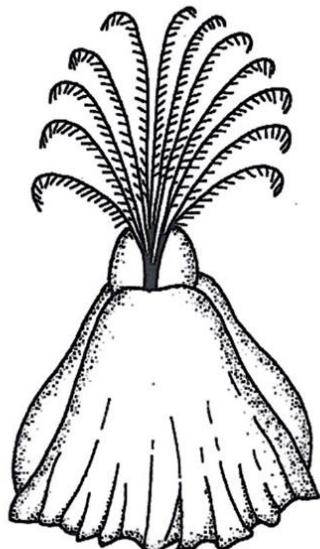
I filtri si sviluppano come superfici (vale per tutti gli epitelii ciliati cosa di cui discuteremo anche a proposito della locomozione), ovvero in proporzione al quadrato della lunghezza dell'animale, mentre le necessità metaboliche crescono con il suo volume (in realtà un po' meno come ricorda la Legge di Kleiber). Questa modalità alimentare è perciò funzionale per animali piccoli o poco mobili le cui esigenze metaboliche sono comunque limitate.

In ogni caso, in generale le dimensioni relative dei filtri crescono in funzione delle dimensioni dell'animale. Un esempio è fornito dalla complessità del lofoforo nei foronidei.

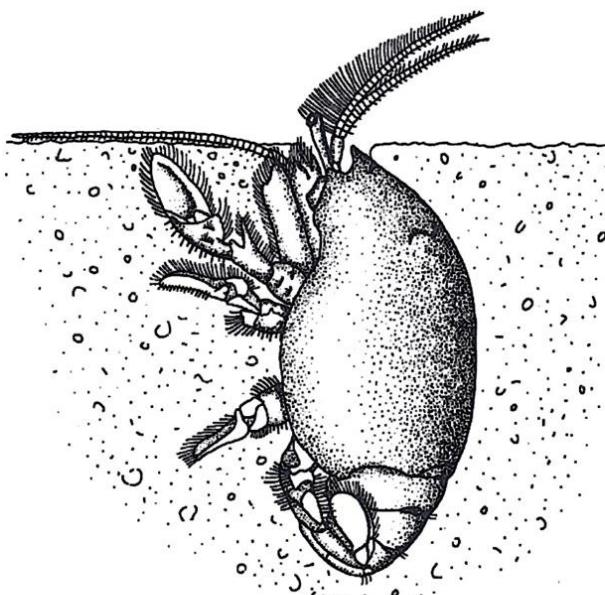
Una possibile alternativa per gli organismi sospensivori è l'impiego di vere e proprie **reti mucose** in grado di intercettare le particelle alimentari in sospensione. Una volta caricate di particelle le reti mucose vengono ingerite. Questa modalità di raccolta risulta meno selettiva delle altre che solitamente prevedono meccanismi di **cernita**.



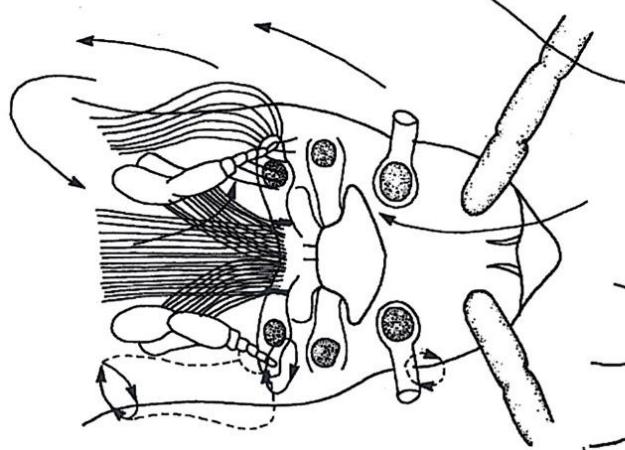
Filtratori



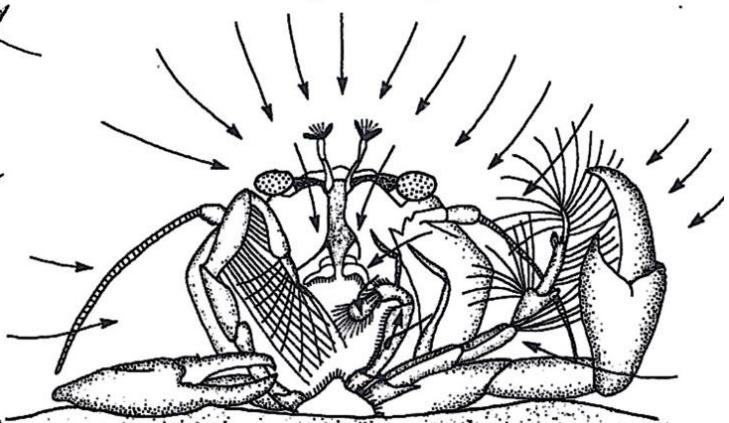
Cirripede (zampe)



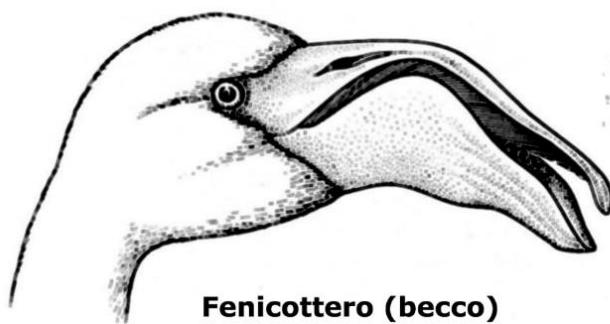
Anomuro (antenne)



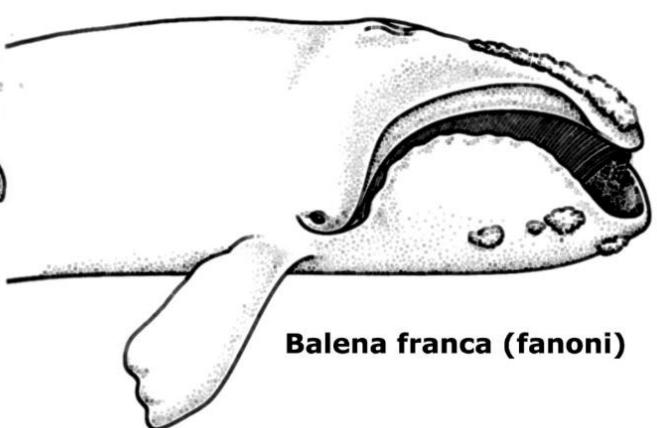
Copepode (pezzi boccali)



Anomuro (pezzi boccali)



Fenicottero (becco)



Balena franca (fanoni)



Filtratori

Tra i sospensivori che adoperano **filtri meccanici**, mossi da muscoli, troviamo in primo luogo i crostacei. Come vedremo gli artropodi hanno perduto gran parte delle ciglia funzionali e il loro tegumento non produce muco perché è rivestito da una cuticola molto spessa.

In compreso le numerose appendici che li caratterizzano possono svilupparsi e ramificarsi divenendo dei filtri molto efficaci. Gli artropodi acquatici sono sostanzialmente i crostacei e gli acari, ma i primi prevalgono largamente sui secondi dal punto di vista della biomassa e del numero di individui.

Sebbene in generale i sospensivori siano piccoli o poco mobili, sorprendentemente, anche organismi colossali e capaci di migrazioni impressionanti, tra cui i misticeti, le mante e i più grandi squali conosciuti, sono sospensivori e utilizzano per nutrirsi dei filtri mossi da muscoli. In questo caso, però, gli organismi ingeriti, (gamberetti eufasiacei, il **krill**) non sono poi così microscopici.



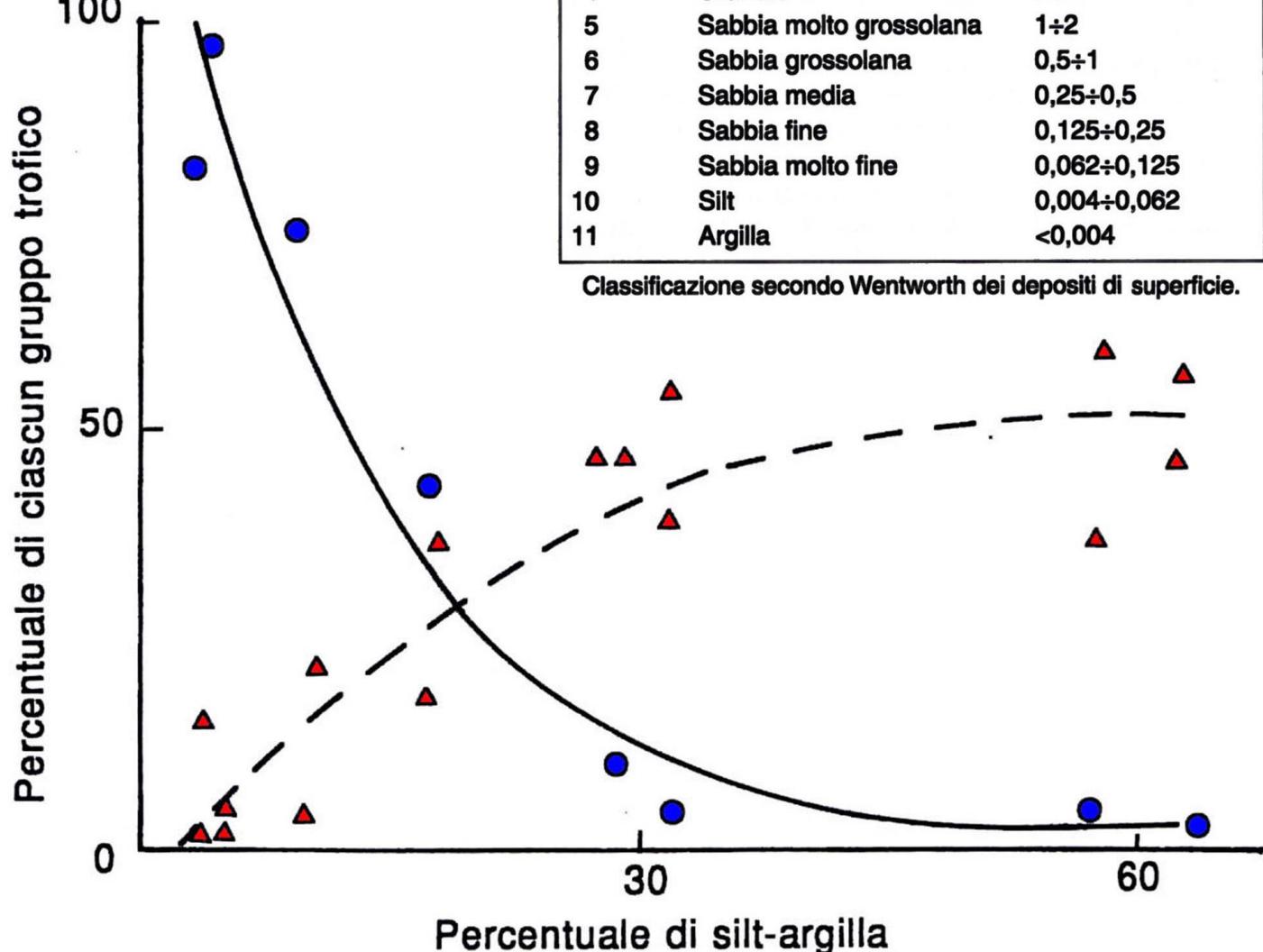
Sospensivori e detritivori

Sospensivori ●

Detritivori ●

Grado	Descrizione	Dimensione delle particelle (mm)
1	Masso	>256
2	Ciottolo	64÷256
3	Ghiaia fine	4÷64
4	Granulo	2÷4
5	Sabbia molto grossolana	1÷2
6	Sabbia grossolana	0,5÷1
7	Sabbia media	0,25÷0,5
8	Sabbia fine	0,125÷0,25
9	Sabbia molto fine	0,062÷0,125
10	Silt	0,004÷0,062
11	Argilla	<0,004

Classificazione secondo Wentworth dei depositi di superficie.





Sospensivori e detritivori

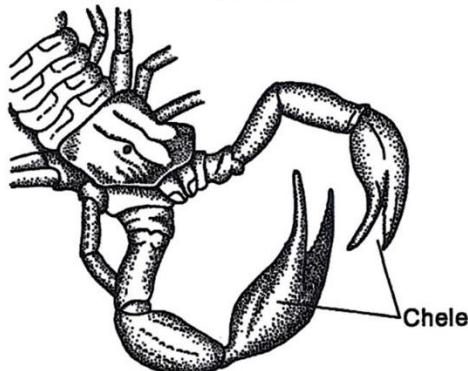
L'immagine mostra la relazione tra la percentuale di sospensivori, inclusi i filtratori, e di detritivori, inclusi i depositivori, in funzione della percentuale di silt e argilla che compongono il substrato nei fondali incoerenti (sabbia, fango e simili). Il substrato più fine risulta più adatto ai **depositivori**, mentre crea difficoltà agli organismi **filtratori** dal momento che finisce per ostruire meccanicamente i filtri utilizzati per la raccolta delle particelle alimentari.

In generale, se facciamo riferimento esclusivamente alle due principali categorie di microfagi, i substrati duri ospitano un numero maggiore di sospensivori, mentre quelli incoerenti ospitano in prevalenza detritivori. La colonna d'acqua dell'ambiente pelagico ospita esclusivamente organismi sospensivori.



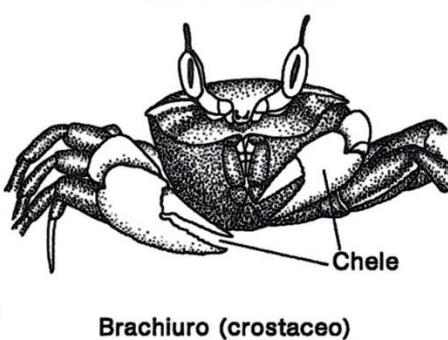
Predatori

PEDIPALPI CHELATI



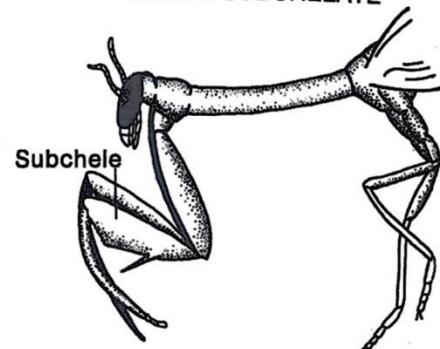
Scorpione (chelicerato)

ZAMPE CHELATE



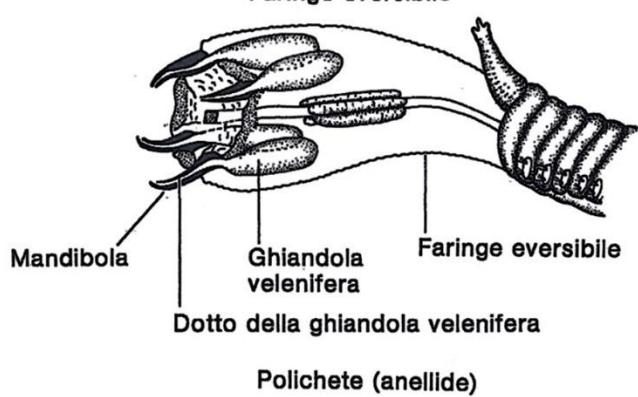
Brachiuro (crostaceo)

ZAMPE SUBCHELATE



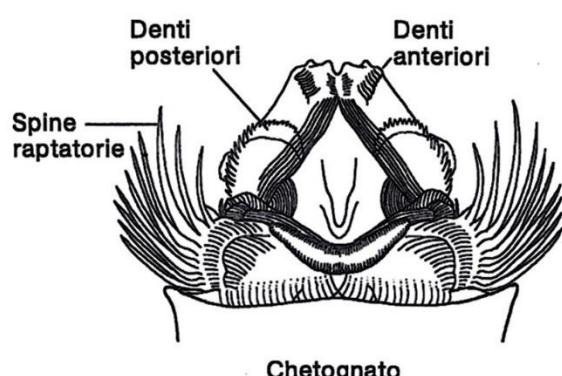
Mantide (uniramo)

Faringe eversibile



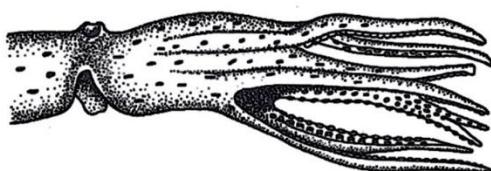
Polichete (annelide)

SPINE CEFALICHE



Chetognato

BRACCIA MUNITE DI VENTOSE



Cefalopode (mollusco)

ZANNE E ARTIGLI



Tigre (vertebrato)

Organ per la cattura di prede (da fonti diverse).



Predatori

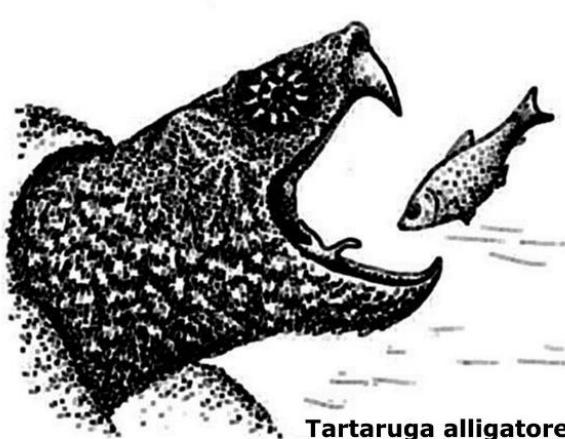
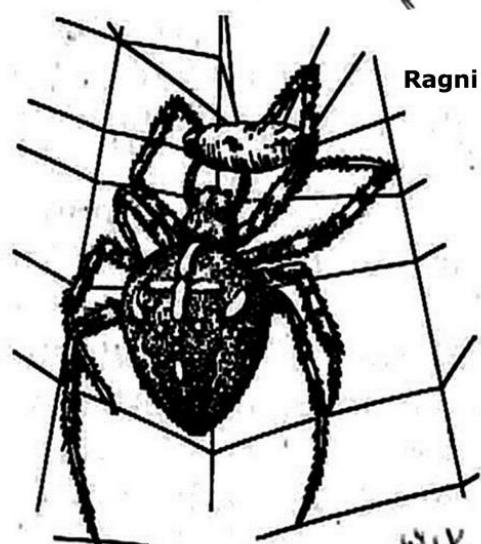
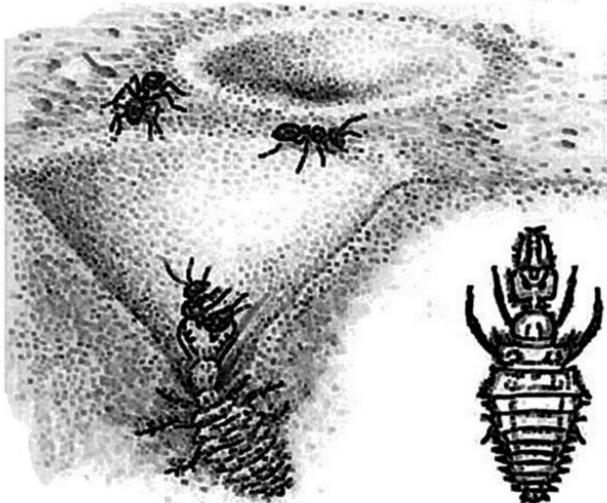
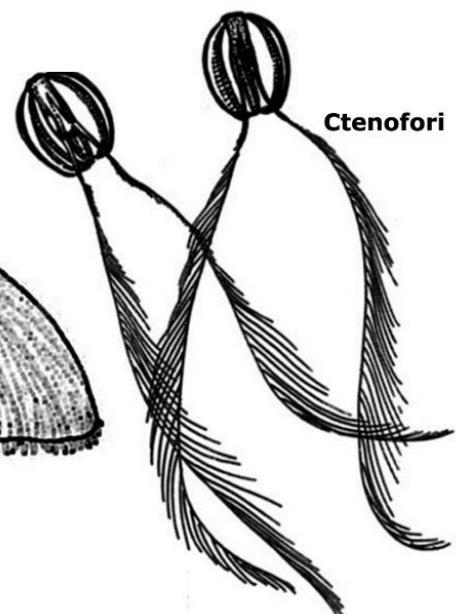
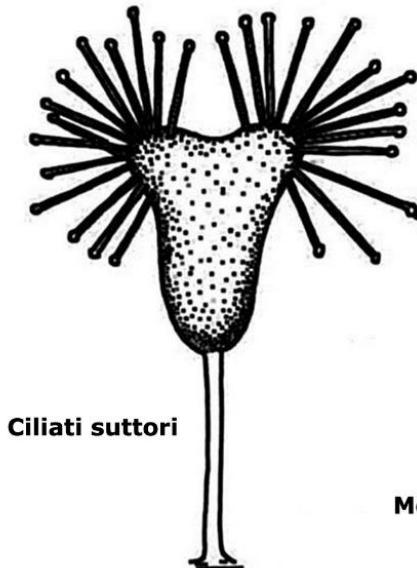
I predatori sono tipici organismi **macrofagi** che si nutrono di **prede**. In ambito terrestre si tende a identificare come preda solo un animale e quindi come predatore solo un tipico carnivoro dotato di zanne, artigli, chele e magari organi in grado di iniettare un veleno, ma, da un certo punto di vista più generale potremmo considerare **predatori** anche gli erbivori. In ambiente acquatico infatti esistono molti animali sessili o incrostanti che vengono «cacciati» con le medesime modalità con cui vengono brucate le piante. In altre parole le piante potrebbero essere considerate «prede» dal momento che presentano molte caratteristiche in comune sia con gli **animali sessili** che con le **colonie animali**.

In un certo senso questo si verifica anche per i sospensivori. Molti di essi si nutrono indifferentemente di microrganismi autotrofi o eterotrofi perché contano più le dimensioni che il modo con cui le «prede» ottengono il carbonio organizzato. Anche in questo caso possiamo notare che mentre le piante terrestri sono tutte sessili e immobili, moltissime alghe sono mobili quanto i protozoi eterotrofi utilizzando gli stessi organuli locomotori. Inoltre, mentre le piante terrestri, e le macroalghe, sono spesso ricche di sostanze indigeribili (a seconda del taxon calcite, silice o lignina), che ne riducono il valore nutrizionale, il fitoplancton non differisce significativamente dallo zooplancton.

Insomma senza voler stravolgere idee consolidate, né confondere le idee, la nostra natura di organismi terrestri ci porta a considerare animali e piante come se fossero dotati di caratteristiche differenziate molto più nettamente di quanto sarebbe ragionevole fare.



Predatori





Predatori

Tra i predatori più specializzati troviamo quelli in possesso di **tentacoli**, urticanti o adesivi, che tendono **trappole** o in grado di adescare le prede. Queste ultime possono essere **criptiche** o **mimetiche**, ad esempio imitando cibo di nullo o scarso valore, mentre i predatori possono essere criptici.

Una serie di analogie illustrano le differenti strategie di predazione: gli inseguitori sono simili ai borseggiatori in motorino, i cercatori che cacciano gli organismi sedentari dotati di una corazza esterna (esoscheletro) sono simili agli scassinatori, i predatori che tendono agguati sono simili ai rapinatori a mano armata (alcuni si mimetizzano come se indossassero la mascherina), quelli che si mimetizzano sono simili ai truffatori che si fingono operai del gas o poliziotti per farsi aprire dagli anziani.

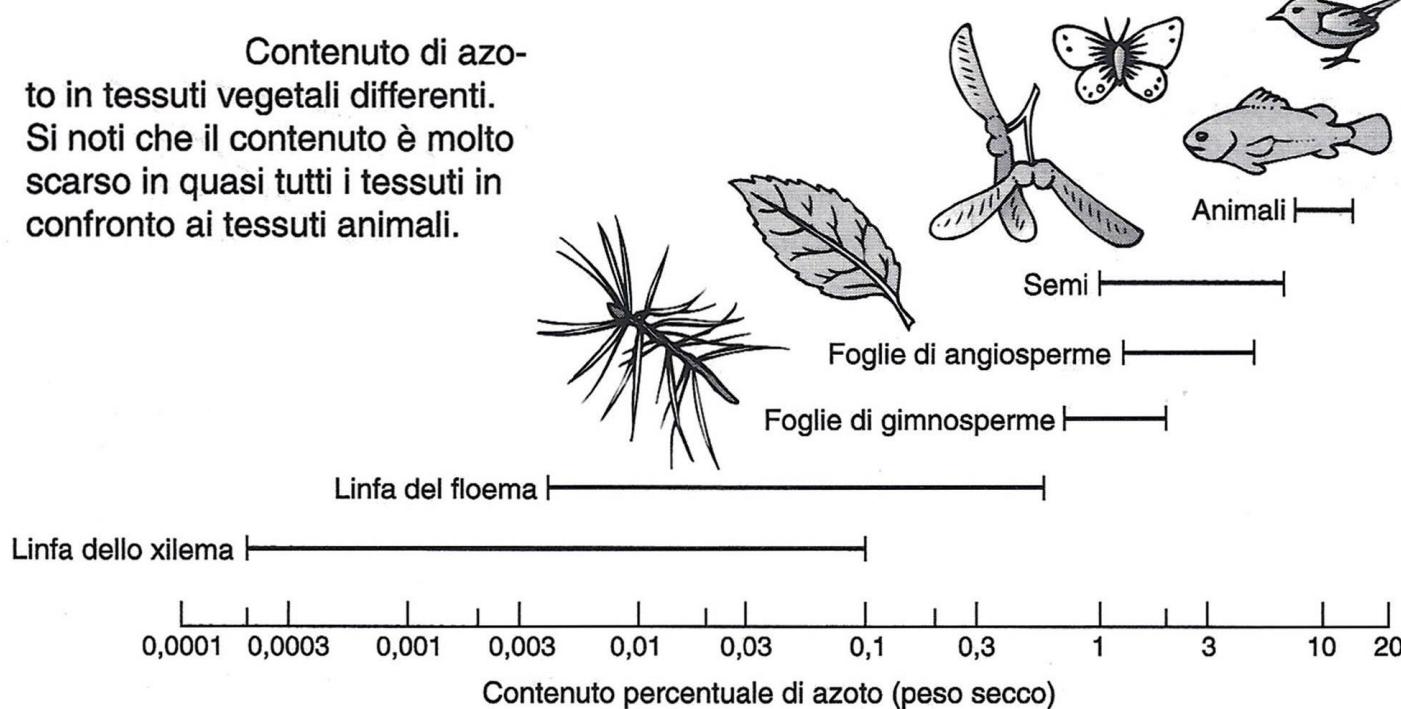
Le prede possono essere criptiche o mimetiche (imitando cioè cibo di nullo o scarso valore), i predatori possono essere criptici.

Ancora una volta le differenze tra prede animali e «prede vegetali» non sono così marcate come riteniamo di solito. La nostra percezione è che un carnivoro consumi l'intera preda uccidendola, mentre l'erbivoro non consuma l'intera pianta che sopravvive. In realtà, come molti parassiti, diversi predatori non consumano l'intera preda. Ad esempio gli uccelli limicoli e i pesci demersali si limitano spesso a predare solo le porzioni esposte dell'infauna, ad esempio i sifoni e i tentacoli, comportandosi da predatori che non eliminano la preda e ne consentono la ricrescita, come fanno anche molti pascolatori e brucatori.



Dieta vegetale

Contenuto di azoto in tessuti vegetali differenti.
Si noti che il contenuto è molto scarso in quasi tutti i tessuti in confronto ai tessuti animali.



Tipo di composto	Esempio	Fonte	Tipo di composto	Esempio	Fonte
Alcaloidi	Nicotina Atropina Solanina	Tabacco Belladonna Patata	Glicosidi cianogeni (rilasciano cianuro)	Cassavina Prunacina	Manioca Semi di Rosacee
Tioli, glucosinolati e glicosidi dell'olio di senape	Sinigrina	Crucifere	Composti fenolici, cumarinici, terpeni, steroidi, tannini	Cucurbitacina Giuvabione Ecdisone Tannino	Cocomero Abeti Felce aquilina Querce, altri alberi
Cardenolidi (glicosidi cardiaci)	Ouabaina	Asclepiadiacee, Apocinacee	Altri	Silicati Amminoacidi rari Polipeptidi	Erbe

Composti usati dai vegetali come difesa contro gli erbivori.



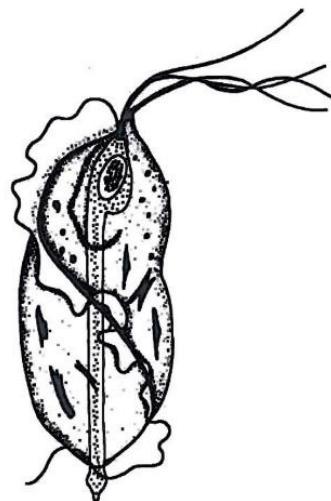
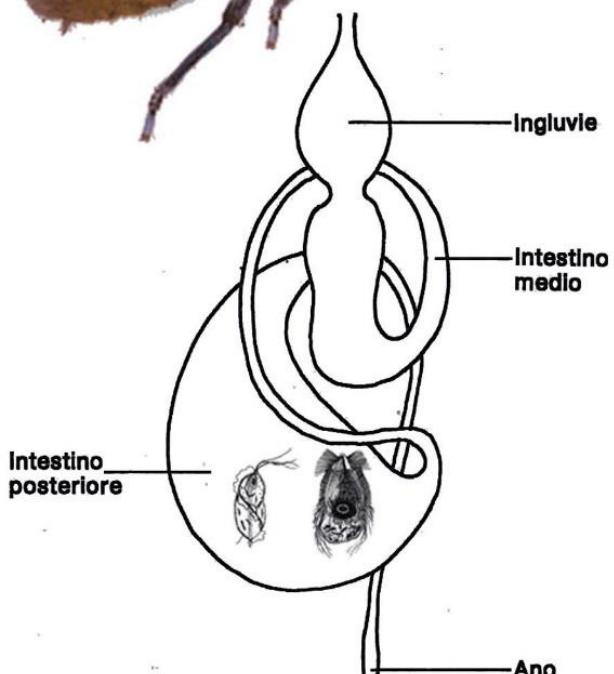
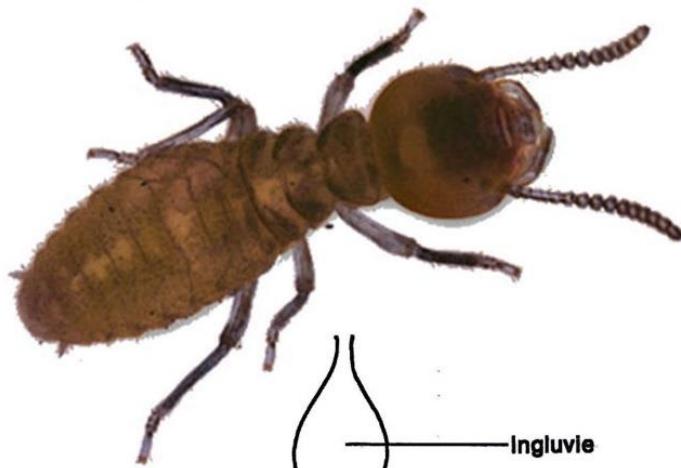
Dieta vegetale

Gli alimenti di origine vegetale, ovvero piante e alghe, presentano un valore biologico decisamente inferiore a quello degli alimenti di origine animale. I vegetali contengono spesso sostanze tossiche, antinutrizionali o indigeribili, e il contenuto proteico è inferiore.

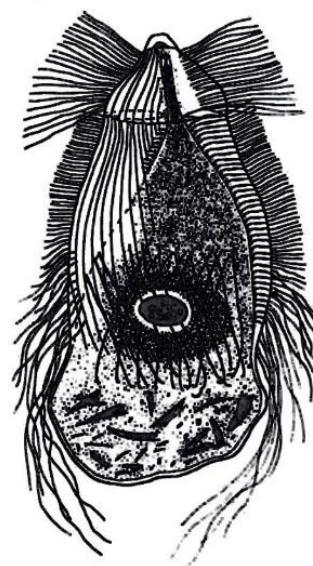
La stessa cellulosa, e in diverso grado anche molti polisaccaridi più comuni nelle alghe quali i cosiddetti ficocolloidi, è indigeribile per praticamente tutti gli animali, ma, anche se fosse digeribile, sarebbe fonte esclusivamente di zuccheri, non di proteine. Lo stesso vale per la frutta che contiene prevalentemente carboidrati. Una eccezione è costituita dalle leguminose che hanno simbionti azoto-fissatori e perciò possono integrare una dieta erbivora.

Gli erbivori specializzati compaiono tardi nel corso dell'evoluzione e non sono così comuni come siamo portati a credere.

Diete inadeguate e simbionti



Trichomonas



Trichonympha

Digerente di termite xilofaga e flagellati simbionti.



Gli afidi verdi dei piselli (*Acyrthosiphon*), a sinistra, ospitano batteri (*Buchnera*) all'interno dei batteriociti, in verde a destra.



Diete inadeguate e simbionti

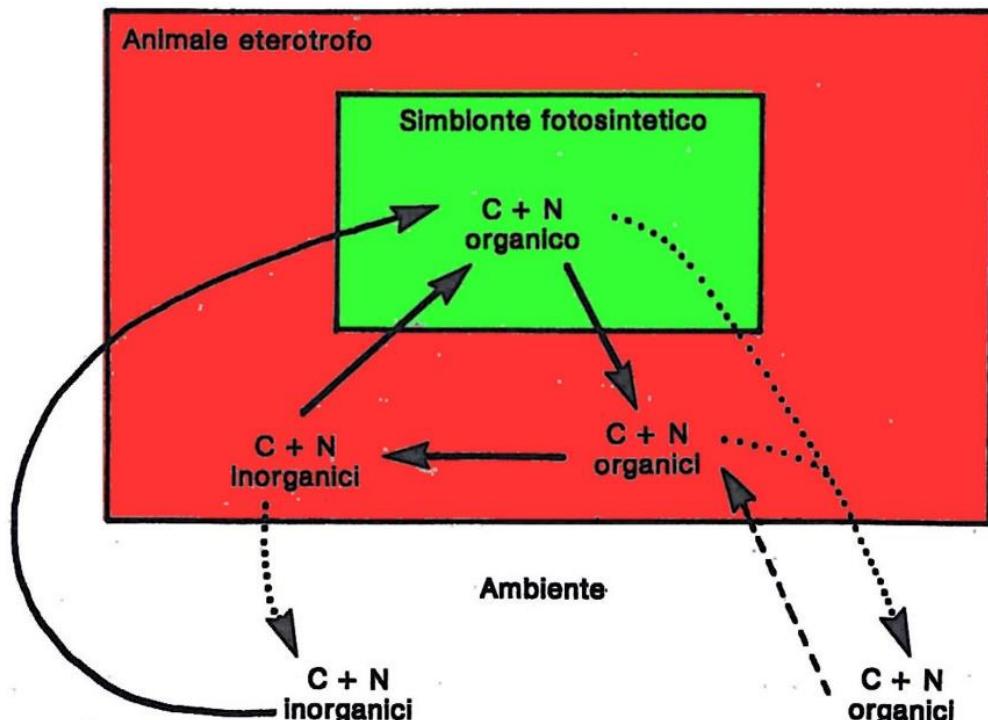
Molti animali che presentano una dieta inadeguata sono caratterizzati da una **simbiosi** con dei microrganismi in grado di correggerla tramite la produzione in eccesso dei nutrienti di cui essa è carente.

Nel caso dei ruminanti e delle termiti è solo la simbiosi con protisti, in grado di digerire la cellulosa, a consentire loro di sopravvivere con una dieta vegetale. La digestione della cellulosa fornisce carboidrati e gli stessi protisti, venendo a loro volta digeriti, costituiscono una fonte di aminoacidi indispensabili.

I simbionti sono in quantità enormi: nelle termiti i flagellati simbionti possono rappresentare oltre la metà del peso corporeo. Il rumine di una vacca di 5-600 kg può raggiungere un volume di 200 L.

Un altro esempio è illustrato dagli organismi che si nutrono della linfa delle piante che, al contrario del sangue, risulta ricca di carboidrati, ma povera di azoto. Nel caso degli insetti, i batteri sono ospitati all'interno di cellule specializzate, i batteriociti, e possono essere trasferiti direttamente alla progenie attraverso una trasmissione verticale.

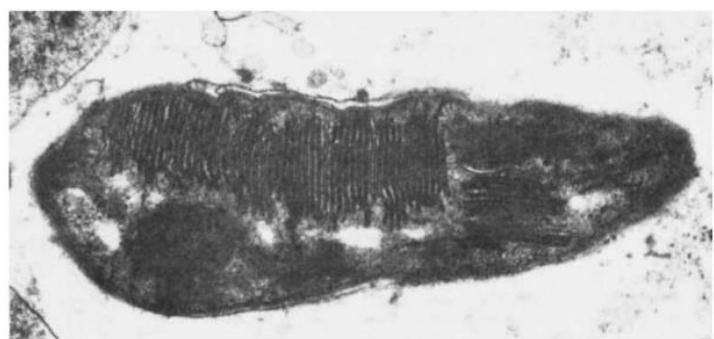
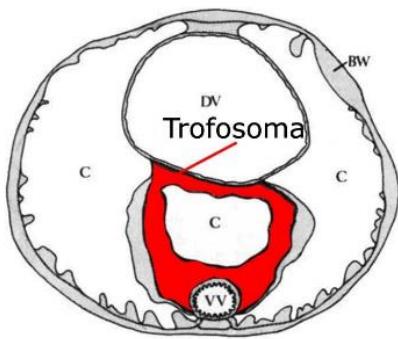
Simbiosi nutrizionale



Tridacna posta sopra una madrepaura.



Petrosia posta sopra Aiptasia.



Sezione trasversale di un pogonoforo. Batterio all'interno del trofosoma di *Siboglinum*.

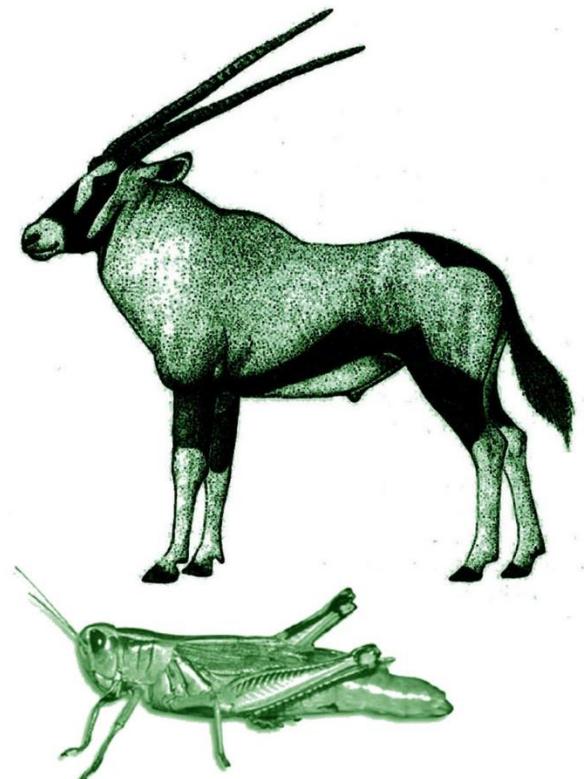
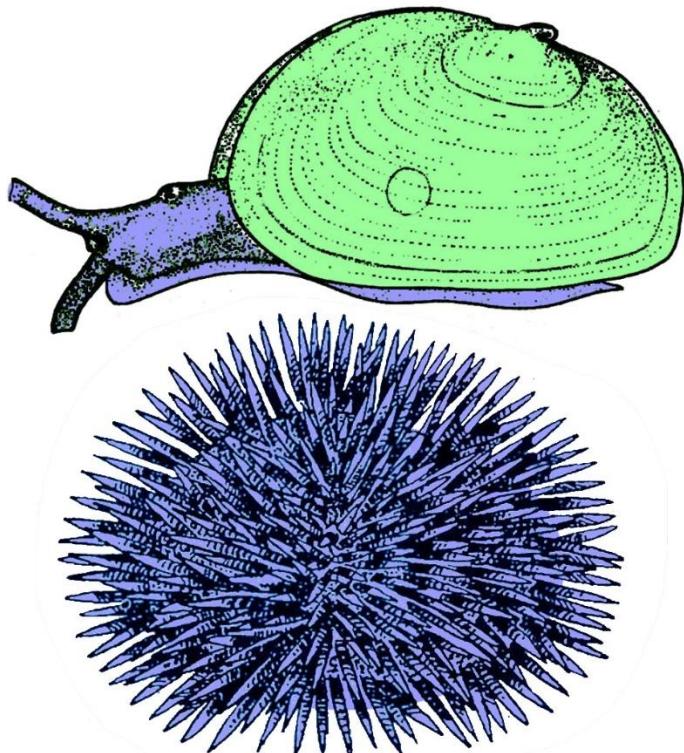


Simbiosi nutrizionale

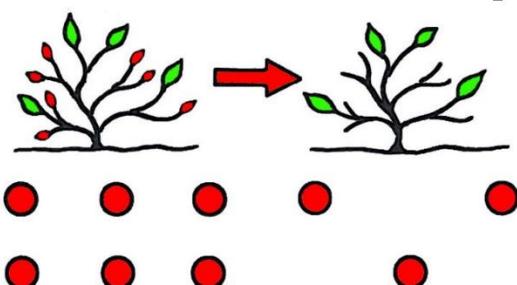
Lo schema mostra i flussi di carbonio (C) e di nutrienti (N) nelle interazioni simbiotiche con un significato trofico tra un eterotrofo e un autotrofo. Negli animali, eterotrofi, prevalgono le simbiosi con organismi **fotoautotrofi**, ma non mancano quelle con organismi **chemioautotrofi**. Tra le prime ricordiamo tutte le simbiosi che vedono coinvolte le **zooclorelle**, alghe verdi e diatomee, le **zooxantelle**, prevalentemente dinoflagellati, e le **zoocianelle**, cianobatteri. *Tridacna*, un bivalve, le madrepore, e *Aiptasia*, un antozoo, di cui si vedono i tentacoli verdi, ospitano dinoflagellati; *Petrosia*, un porifero, ospita invece cianobatteri. Batteri chemioautotrofi sono simbionti frequenti degli animali che vivono nello strato ridotto dei sedimenti e presso le bocche idrotermali poste nelle profondità oceaniche. Tra questi animali sono caratteristici i pogonofori.



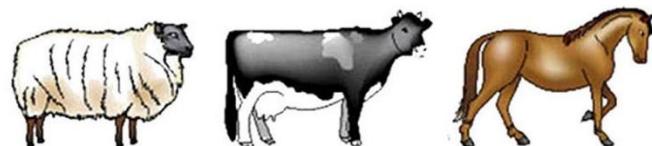
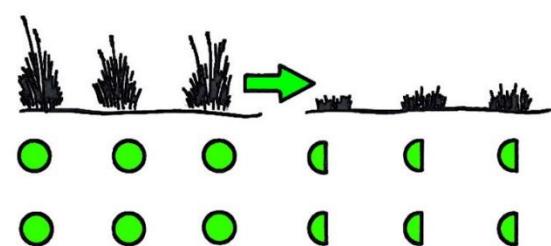
Brucatori e pascolatori



Taxa con rappresentanti erbivori



Brucatori



Pascolatori



Brucatori e pascolatori

La differenza tra i termini **brucatore (browser)** e **pascolatore (grazer)** è praticamente inesistente in italiano, mentre in inglese i brucatori sono gli erbivori più selettivi e i pascolatori quelli meno.

Un brucatore asporta completamente il cibo cambiandone sia la distribuzione che la quantità nell'habitat. Questo fa sì che i brucatori siano specie solitarie. Un po' come un cercatore di funghi raccoglie tutti quelli che trova e non ama essere seguito da altri cercatori.

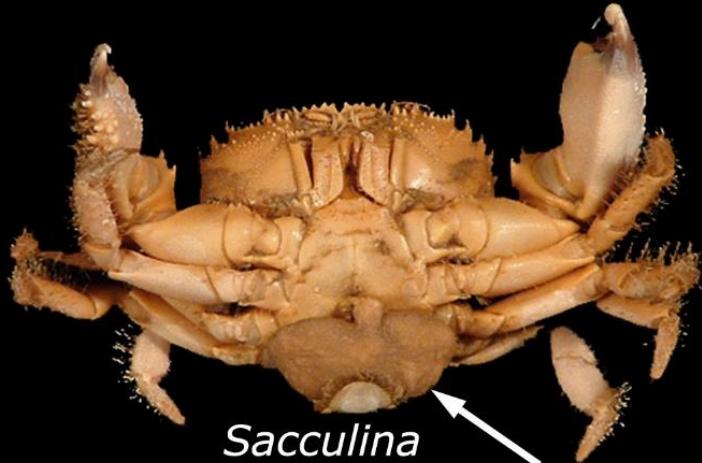
Il pascolatore ne asporta una parte cambiandone la quantità, ma non la distribuzione. Perciò è caratteristico di specie gregarie che possono formare mandrie o sciami in cui tutti gli individui si spostano insieme.

Occorre notare però che, come nel caso di molti microfagi, anche i brucatori e i pascolatori, in particolare in ambiente marino, non operano una distinzione tra **organismi sessili**, siano essi animali o vegetali; molti gasteropodi ed echinoidei, per esempio, si nutrono di specie incrostanti appartenenti ad entrambe le categorie sistematiche.

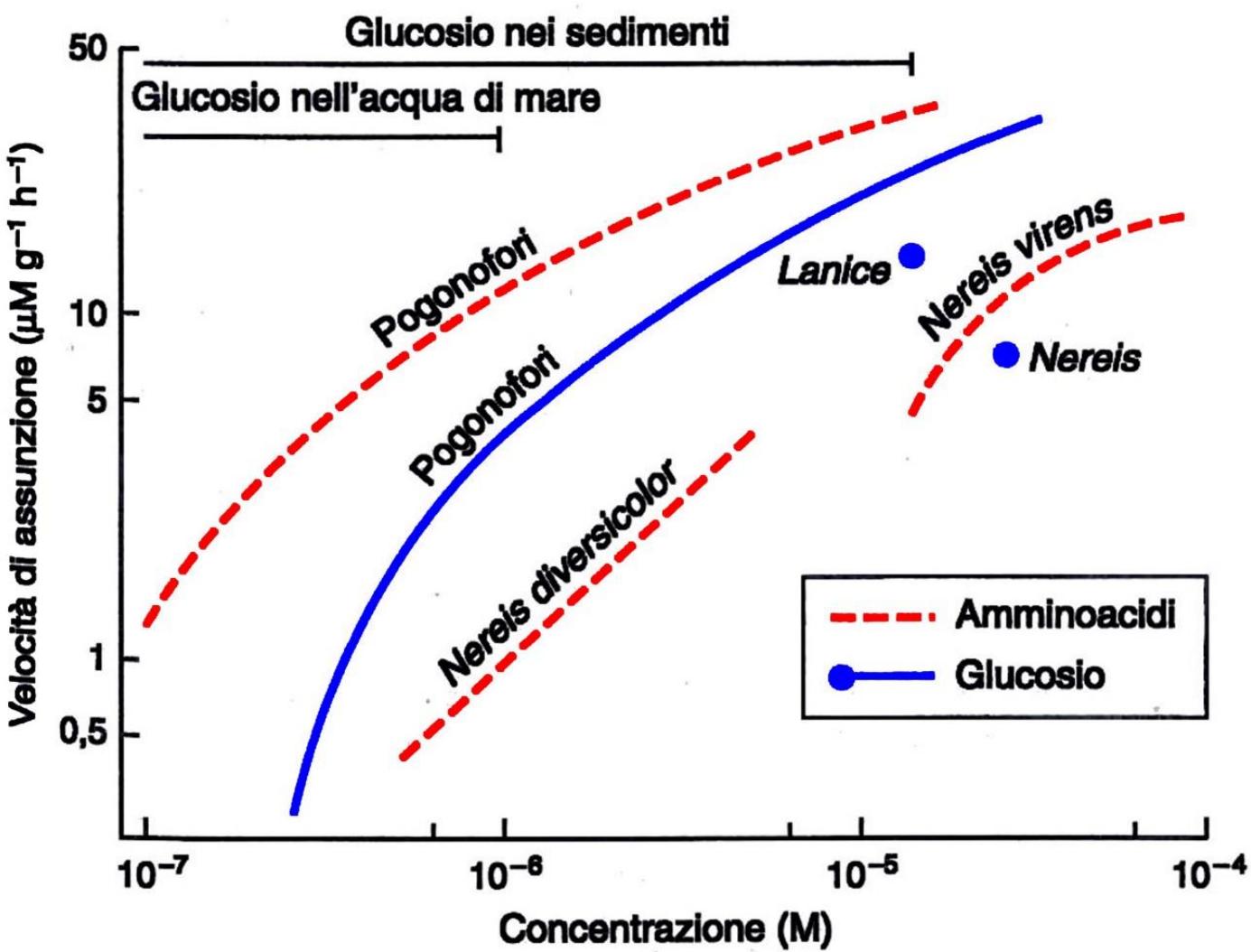
Animali che assorbono



Taenia



Sacculina





Animali che assorbono

Un'ultima categoria è costituita dagli organismi in grado di assorbire zuccheri e amminoacidi direttamente dal mezzo in cui vivono. Anche se questa capacità sembra relativamente comune tra gli invertebrati acquatici, che possono permettersi un tegumento permeabile, è dubbio, data la sua scarsa efficienza, che possa sostenere da sola un organismo animale. Una eccezione è costituita dagli **endoparassiti** che vivono all'interno di un mezzo eccezionalmente ricco di nutrienti come può essere il contenuto intestinale o i fluidi circolanti.

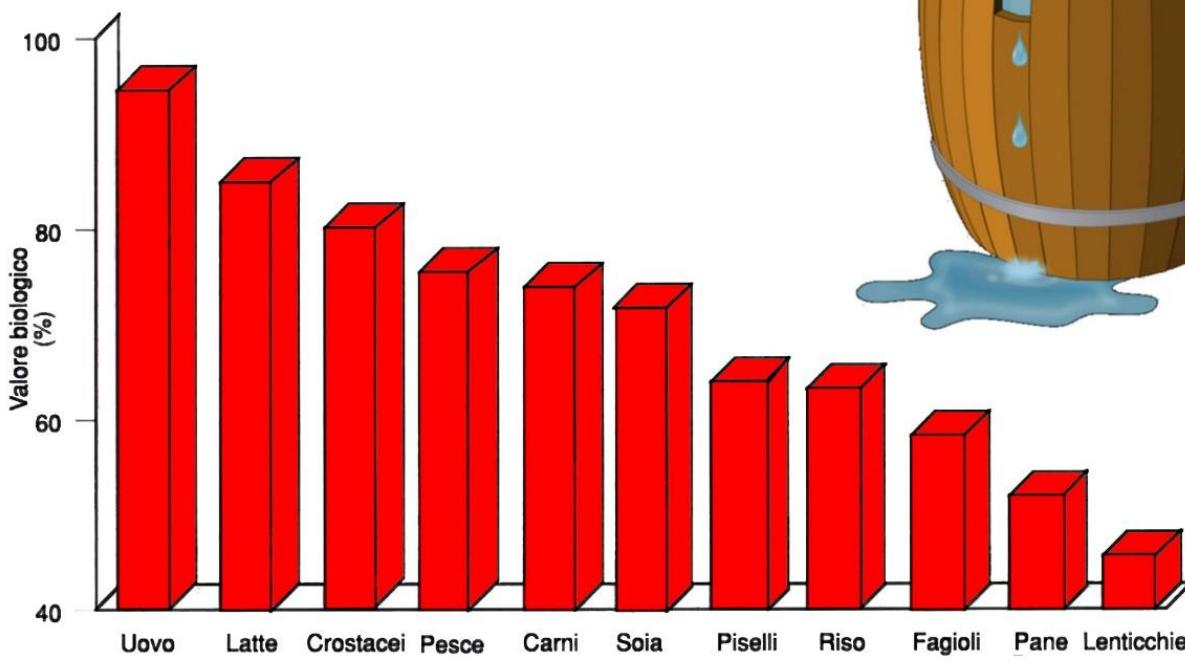
Nell'immagine in basso è mostrata la velocità di assunzione di amminoacidi e glucosio attraverso la superficie corporea in vari anellidi policheti. Tra questi i pogonofori, privi di canale alimentare, sono in grado di farlo a concentrazioni estremamente basse.



Nutrienti essenziali

sostanza	abbrev.	quantità per dì	unità
Proteine, aminoacidi			
- Arginina (bimbi)	ARG	ca. 2.5	gr
- Istidina (bimbi)	HIS	ca. 0.6	gr
- Isoleucina	ISO	ca. 1.8	gr
- Leucina	LEU	ca. 2.4	gr
- Lisina	LYS	ca. 1.7	gr
- Metionina	MET	ca. 0.8	gr
- Fenilalanina	PHE	ca. 1.5	gr
- Treonina	THR	ca. 1.4	gr
- Triptofano	TRY	ca. 0.4	gr
- Tirosina	TYR	ca. 1.1	gr
- Valina	VAL	ca. 2.1	gr
Lipidi			
		0.8...1.2 gr/kg p.c.	
omega-9		?	
omega-6		ca. 1.5	gr
omega-3		ca. 0.5	gr
- altri insaturi		?	

Vitamine			
- Retinolo oppure betacarotene	A provit. A	1...3 2...6	mg mg
- Tiamina	B1	1...1.5	mg
- Riboflav.	B2	1.2...1.8	mg
- Niacina	PP, B3	13...20	mg
- Piridossina	B6	1.6...2	mg
- Cobalam.	B12	2...3	mcg
- Acido folico	M, B9	0.15...0.3	mg
- Biotina	H	30...100	mcg
- Acido pantotenico	B5	4...7	mg
- Acido ascorbico	C	60...75	mg
- Colecalciferolo	D	5...10	mcg
- Tocoferoli	E	8...12	mg
- Chinone	K	60...80	mcg



sostanza	abbrev.	quantità per dì	unità
Aria		O2	
Acqua		H2O	1...1.2 gr/kcal
Glucidi			100...150 gr
Minerali			
- Sodio		Na	5...6 gr
- Cloro		Cl	4...5 gr
- Potassio		K	2...4 gr
- Fosforo		P	0.7...0.9 gr
- Zolfo		S	?
- Calcio		Ca	0.8...1.2 gr
- Magnesio		Mg	0.3...0.4 gr
- altri			

Altre sostanze

- Fibre vegetali
- Altre sostanze indigeribili (ballasto)
- Acidi organici
- Flavonoidi
- Altre sostanze ormonesimili
- Altre sostanze

cc by P. Forster nd

* p.c.: Peso corporeo

A



B

C



Nutrienti essenziali

(A) Un nutriente si dice essenziale per un organismo, se questo non è in grado di sintetizzarlo autonomamente e deve perciò assumerlo da fonti esterne. I nutrienti essenziali risultano differenti tra una specie e l'altra, anche se affini, come del resto, le sostanze tossiche sono spesso differenti per organismi diversi. Forse siete a conoscenza del fatto che il cioccolato è tossico per i cani. Le tabelle riportano i **nutrienti essenziali** per l'uomo e il suo fabbisogno essenziale in termini di grammi di macronutrienti per kg di peso corporeo al giorno. **(B)** Barile di Liebig: la crescita risulta controllata, non dal totale delle risorse naturali disponibili, ma dalla disponibilità di quella più scarsa che risulta il fattore limitante per la crescita. Quindi più che la quantità di cibo ingerito conta la sua composizione. Se nel cibo mancasse completamente anche un solo nutriente essenziale l'organismo morirebbe d'inedia anche se avesse una quantità di cibo tale da non poterla consumare interamente. Forse siete a conoscenza del fatto che nel passato i marinai, privati di frutta e verdura fresca per diversi mesi, potevano morire di scorbuto a causa della carenza di vitamina C, una delle più comuni in una dieta normale. **(C)**

Nell'istogramma viene indicato il **valore biologico** delle proteine dei principali alimenti di origine animale e vegetale per l'uomo. Quelli di origine animale presentano valori molto più alti.

Preferenze alimentari

Modalità alimentare e tipo di cibo

Ordine di preferenza

Saprofago su *Macoma* morta (mollusco bivalve)

1

Cacciatore di *Tubifex* vivo (annelide oligochete)

2

Cacciatore di *Corophium* vivo (crostaceo anfipode)

3

Cacciatore di larve vive di *Erioptera* (insetto dittero)

4

Deposivoro di particelle sedimentarie superficiali

5

Modalità alimentare e tipo di cibo

Ordine di preferenza

Sospensivoro di particelle nell'acqua sovrastante

6

Brucatore di *Enteromorpha* viva (alga verde)

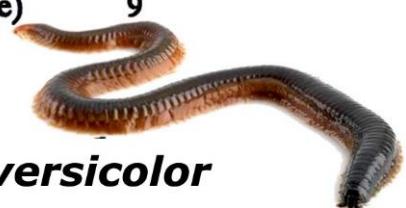
7

Brucatore di *Ulva* viva (alga verde)

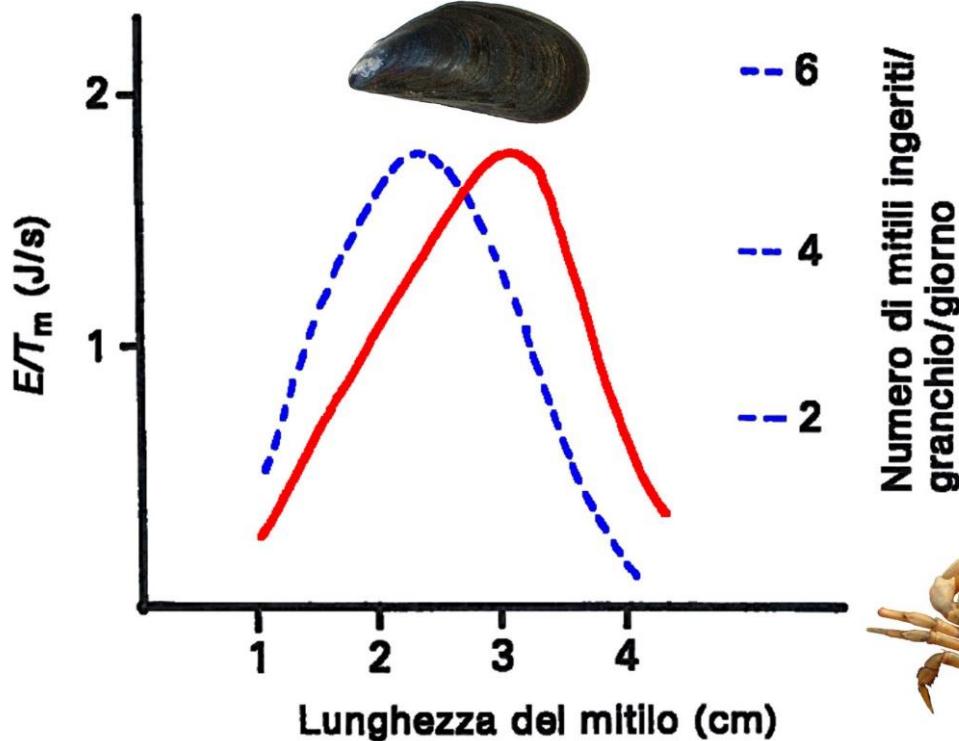
8

Cacciatore di *Hydrobia* viva (mollusco gasteropode)

9



Preferenze alimentari di *Nereis diversicolor*



*Il rapporto tra il valore nutritivo del cibo (E/T_h) e la scelta della preda in granchi (*Carcinus maenas*) di dimensioni tra 6,0 e 6,5 cm che si nutrono di mitili (*Mytilus edulis*)*

Preferenze alimentari di *Carcinus maenas*

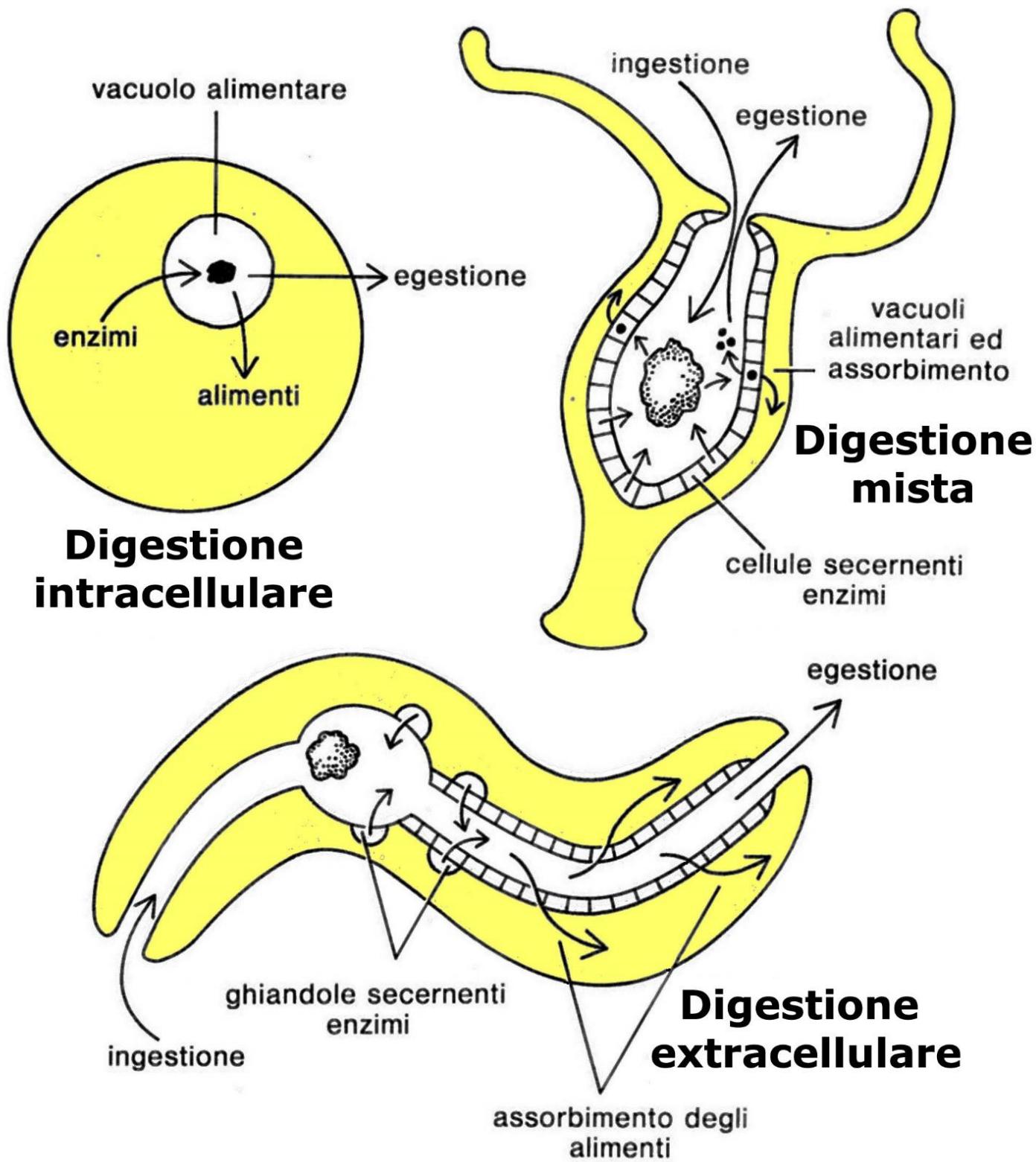


Preferenze alimentari

Gran parte degli animali sono **onnivori** e opportunisti. Secondo la Teoria della ricerca ottimale del cibo un animale, potendo scegliere, consuma il cibo più nutriente; quando il tempo o il rischio necessario a procurarselo aumenta può optare per cibi meno nutrienti, ma più sicuri o abbondanti. Nel caso di *Carcinus* i bivalvi più grandi hanno una conchiglia più robusta che richiede molto tempo per essere aperta e quindi le curve rappresentano il compromesso tra la quantità di cibo e il tempo e l'energia necessaria per ottenerlo (E/T energia ricavabile per unità di tempo); le due curve rappresentano granchi dimensioni diverse che presentano preferenze diverse perché i più grandi riescono a rompere conchiglie più grandi.

Un altro aspetto da considerare quando si confronta l'energia che un predatore e una preda sono in grado di consumare, occorre considerare che la preda rischia la vita, il predatore solo un pasto e quindi l'energia allocata è ben diversa.

Digestione





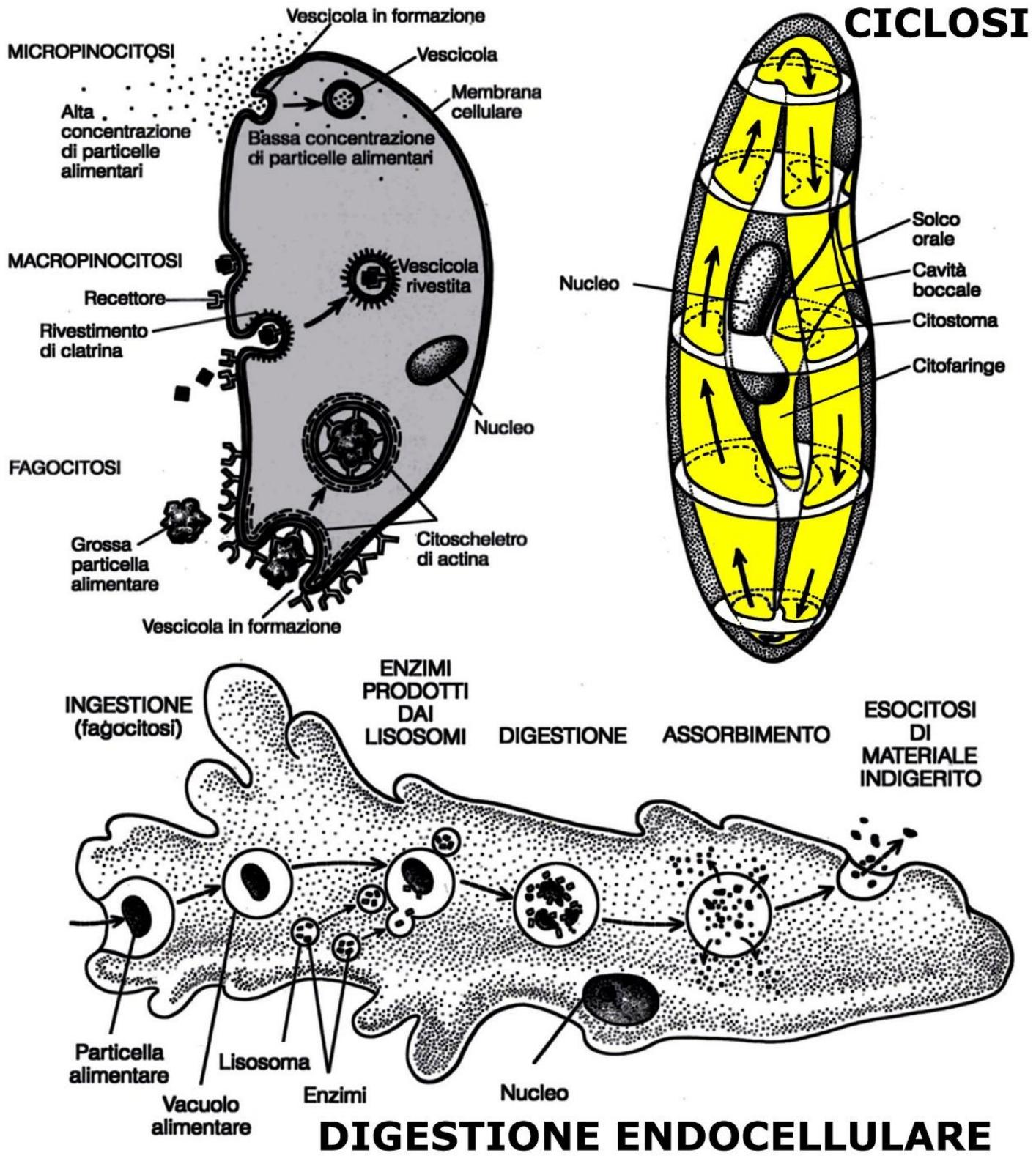
Digestione

Parlando in generale, gli organismi **privi di apparato digerente** effettuano una **digestione intracellulare**, quelli con **apparato digerente completo** una **digestione extracellulare** e quelli con **apparato digerente incompleto**, detto anche **cavità gastrovascolare**, una **modalità mista**. Tuttavia, sempre generalizzando un poco, i microfagi, anche quando sono dotati di un digerente completo, possono ricorrere alla digestione intracellulare, mentre i macrofagi tendono a utilizzare sempre anche la digestione extracellulare, più efficace. Un esempio del primo caso è fornito dai molluschi che si originano da forme microfaghe pascolatrici. L'epatopancreas dei molluschi microfagi svolge sempre una consistente attività di digestione intracellulare.

Alcuni organismi presentano una **digestione extraintestinale** rigurgitando succhi gastrici dalla bocca (molti chelicerati tra cui i ragni), altri presentano una **digestione extracorporea**. Molte stelle di mare sono in grado di estroflettere parte dello stomaco che digerisce l'alimento prima dell'ingestione.



Endocitosi





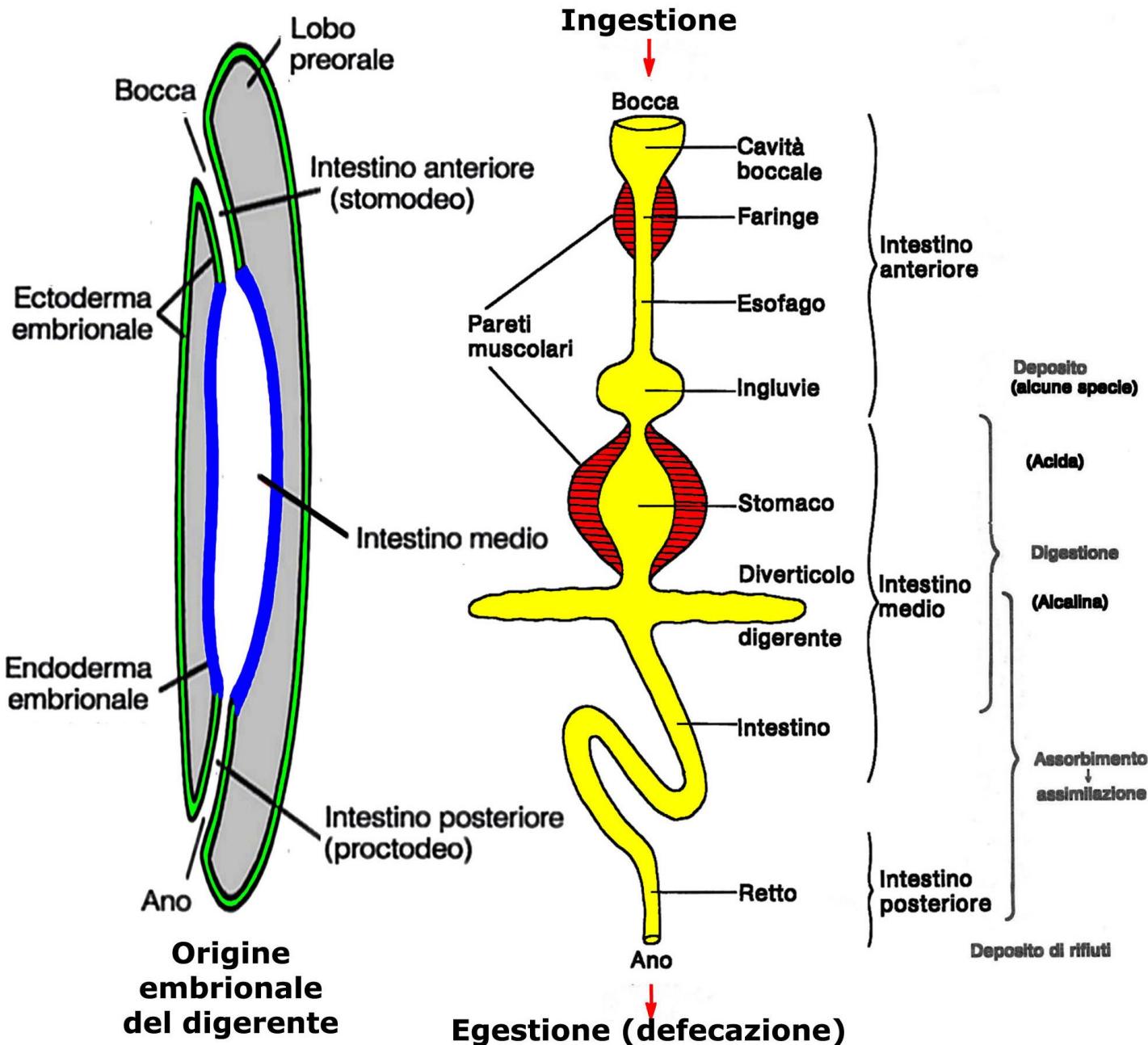
Endocitosi

La digestione intracellulare, o **endocellulare**, comporta l'**endocitosi**, un processo che può essere distinto in tre modalità principali:

- 1) **Endocitosi in fase fluida** = endocitosi generica o aspecifica = **micropinocitosi** = pinocitosi. In questo caso l'alimento è assunto per diffusione secondo il gradiente di concentrazione dello stesso e può essere quindi considerato un meccanismo passivo senza riconoscimento da parte della membrana cellulare. Nei casi seguenti invece l'endocitosi richiede un costo metabolico perché è un processo attivo che avviene contro il gradiente di concentrazione.
- 2) **Endocitosi mediata da recettori** = endocitosi specifica = **macropinocitosi**. La cellula produce vescicole di **clatrina**.
- 3) **Fagocitosi**. Per ingerire le particelle alimentari di grandi dimensioni, a volte organismi interi, la cellula forma degli pseudopodi; è quindi richiesta la presenza di **actina**.



Digerente completo





Digerente completo

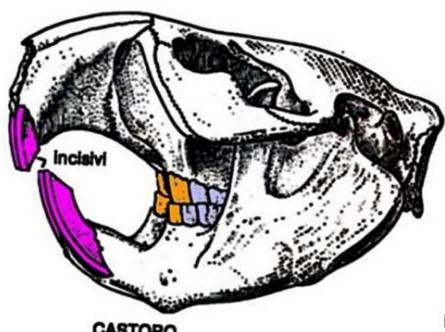
Schema generale di un sistema **digerente completo**. Il passaggio del cibo in una unica direzione consente il verificarsi simultaneo delle diverse operazioni sequenziali necessarie per il trattamento del cibo, e allo stesso tempo riduce il rimescolamento tra materiale digerito e materiale non digerito, circostanza inevitabile in un sistema **digerente incompleto**. Questa circostanza pone le premesse per una specializzazione dei differenti distretti del digerente che possono svolgere attività differenti, ma comporta la presenza di una qualche sistema di distribuzione che porti le sostanze assorbite anche a distanza rispetto a dove si verifica l'assorbimento. Non a caso il digerente incompleto è sinonimo di **cavità gastrovascolare**. In questo caso il digerente si occupa anche della distribuzione, ramificandosi, se si rende necessario con l'aumento di dimensioni, in tutte le regioni del corpo.

Con l'eccezione di gran parte degli cnidari, il primo e l'ultimo tratto del digerente di molti animali derivano da una introflessione dell'ectoderma. Questi tratti presentano quindi molto spesso caratteristiche differenti rispetto al tratto intermedio di origine endodermica.

È particolarmente importante ricordarsi che l'**egestione** e l'**escrezione** costituiscono processi completamente distinti.



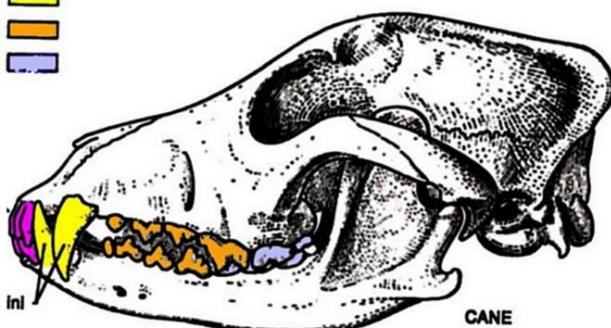
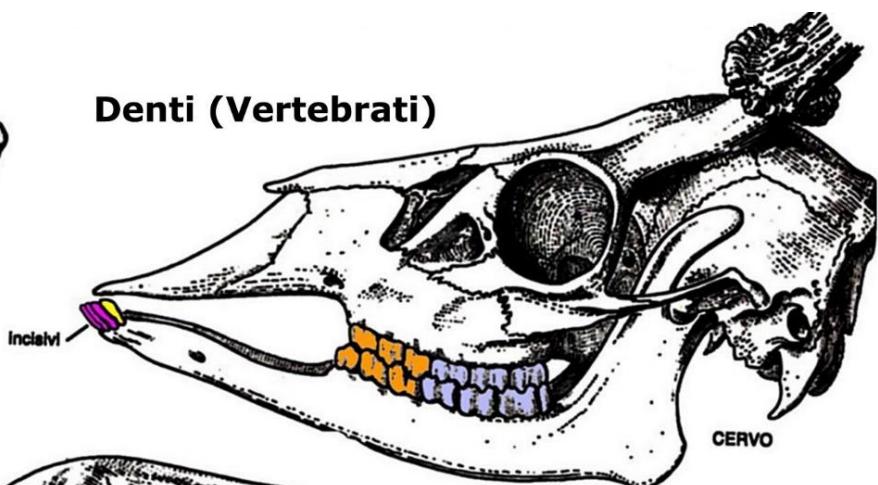
Digestione meccanica



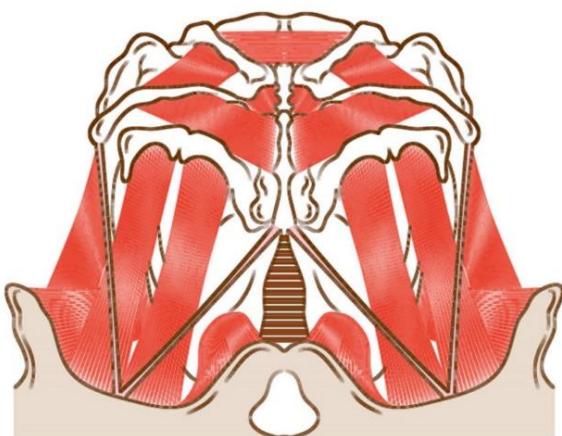
incisivi
canini
premolaria
molari

CASTORO

Denti (Vertebrati)



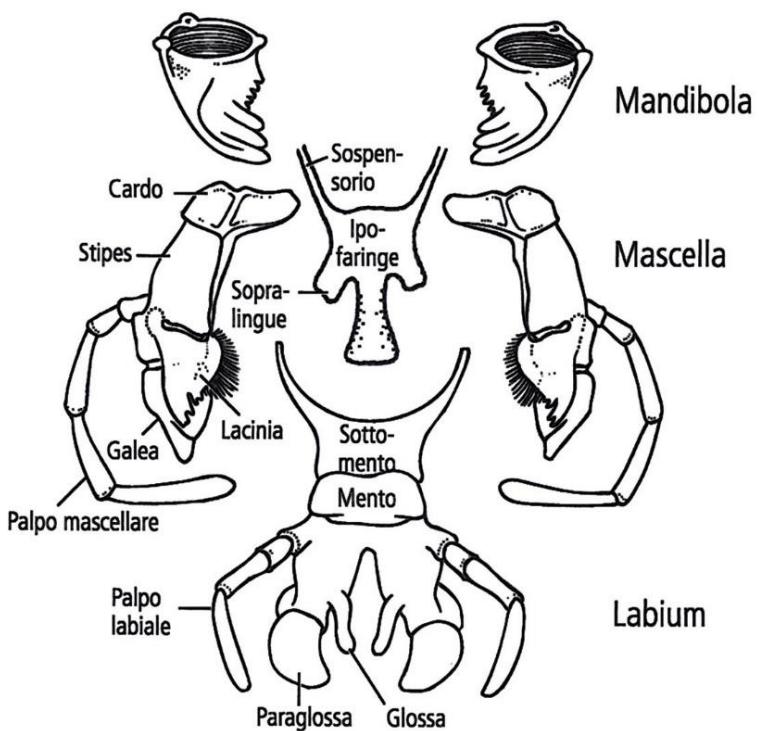
Radula (Molluschi)



Lanterna di Aristotele
(Ricci di mare)



Mastax (Rotiferi)



Appendici buccali (Artropodi)



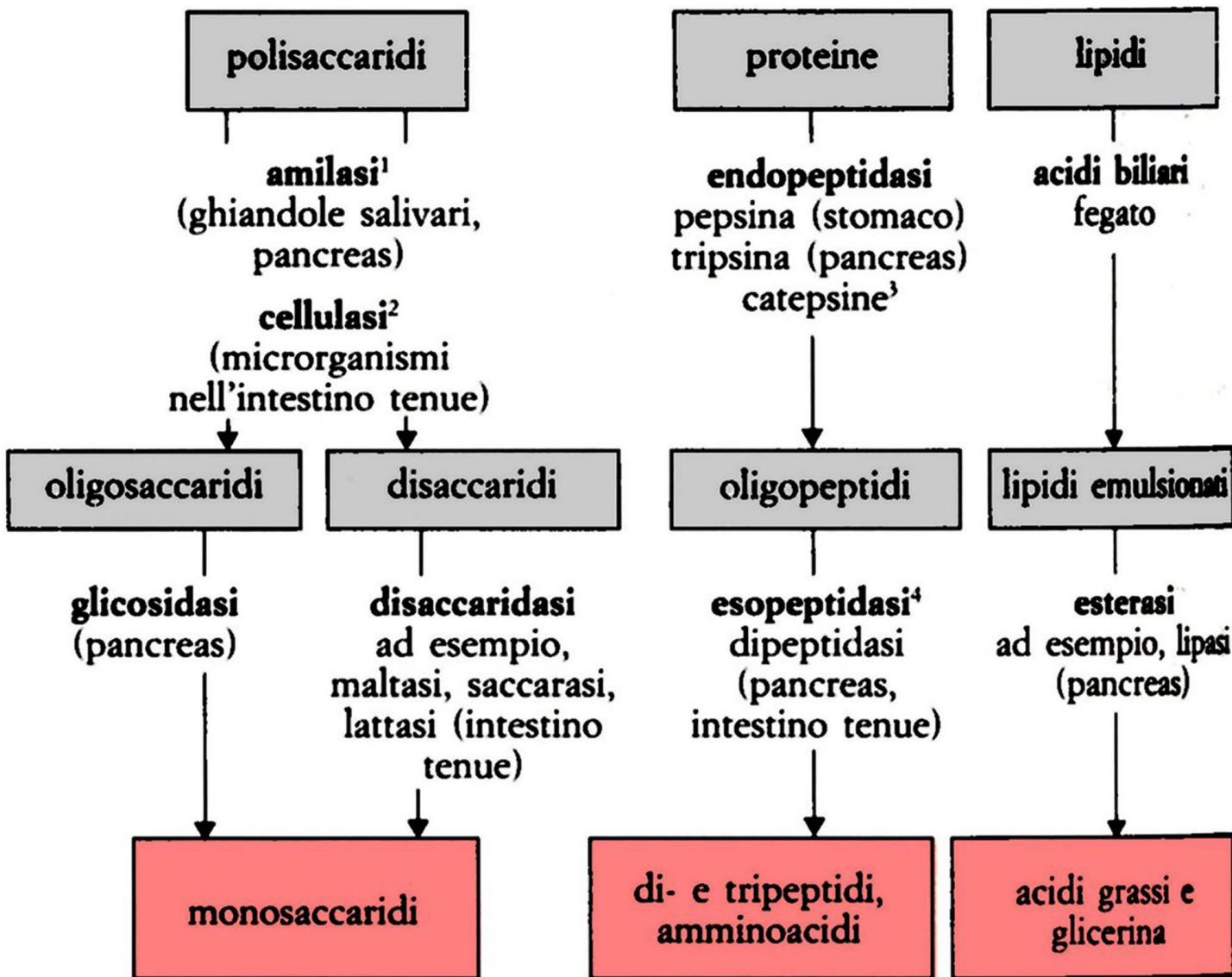
Digestione meccanica

Generalmente la digestione meccanica viene effettuata da strutture sclerificate, spesso definite **apparati masticatori** sebbene non operino una masticazione paragonabile a quella caratteristica dei mammiferi. Questo tipo di apparati lacera, strappa o gratta, ma non è in grado di sminuzzare finemente l'alimento in piccoli frammenti di dimensioni omogenee, come invece può fare la sola **dentatura eterodonte**, con denti specializzati differenti, presente nei soli mammiferi.

Generalmente gli apparati masticatori in specie affini mostrano un piano di base simile, ma una morfologia specializzata in funzione della dieta. Ad esempio la dentatura di un erbivoro o di un carnivoro mostrano una struttura simile, ma analoga, in taxa differenti. Generalmente gli elementi sclerificati sono più numerosi, regolari e fitti nei primi. Le piante non fuggono, quindi non vanno abbattute rapidamente, ma sono più abrasive per cui richiedono un lavoro di digestione meccanica lento ma regolare. Al contrario i carnivori presentano pochi elementi molto robusti e mobili. Gli animali devono essere immobilizzati, spesso le parti sclerificate li uccidono rapidamente, ma i tessuti, una volta rimossi gli scheletri se presenti, sono teneri e facilmente digeribili dagli enzimi.



Digestione chimica



¹ Scinde i legami α -glucosidici.

² Scinde i legami β -glucosidici.

³ Agiscono soprattutto in ambiente intracellulare.

* Ammino- o carbossipeptidasi: distacco di singoli amminoacidi dall'estremo amminico o carbossilico del peptide.



Digestione chimica

Sono evidenziati, nel caso dei vertebrati, gli **enzimi**, in grassetto, e la loro funzione, i loro siti di formazione, tra parentesi, i gruppi di **nutrienti**, nei riquadri in grigio, e i prodotti della digestione che possono essere assorbiti dall'intestino tenue, nei riquadri in rosa.

Tra gli enzimi in grado di scindere i legami β -glucosidici meritano di essere menzionate anche le **chitinasi** che sono molto comuni negli animali. La **chitina** è caratteristica dei funghi e dei protostomi che costituiscono la maggior parte delle specie animali e questi due gruppi sono spesso una fonte di cibo per gli animali.

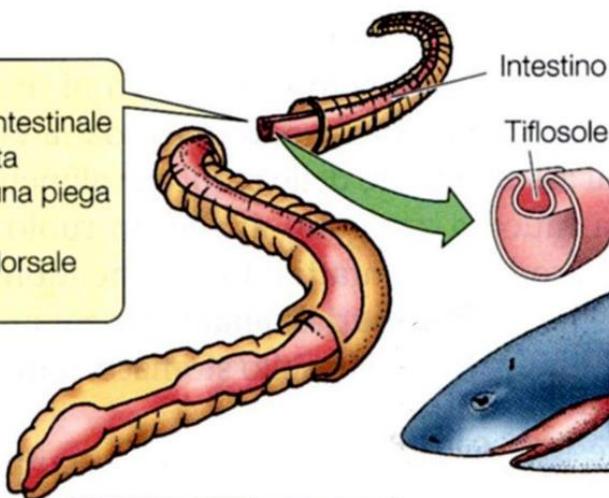
Almeno il 30% delle proteine assorbite dall'intestino non sono di origine alimentare, ma derivano dagli enzimi e dal muco secreti per la digestione; sono quindi riciclati dall'organismo che li ha prodotti. Non tutte le proteine alimentari si presentano in una forma tale per cui possono essere degradate e assorbite. Quelle di origine vegetale sono le meno digeribili, mentre quelle di origine animale sono digeribili in percentuali più alte



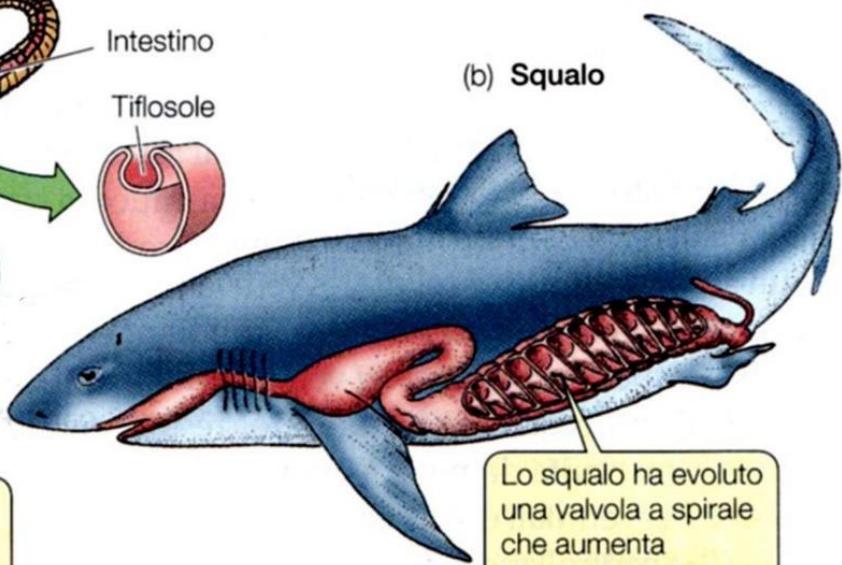
Assorbimento

(a) Lombrico

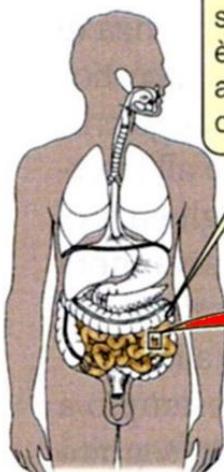
Nel lombrico la superficie intestinale risulta ampliata dal tiflosole, una piega longitudinale della parete dorsale dell'intestino.



(b) Squalo

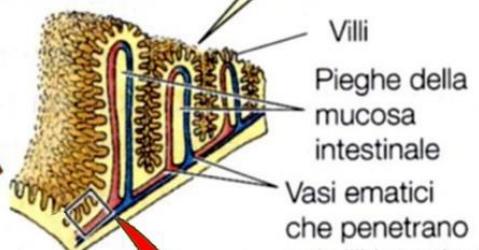


(c) Uomo

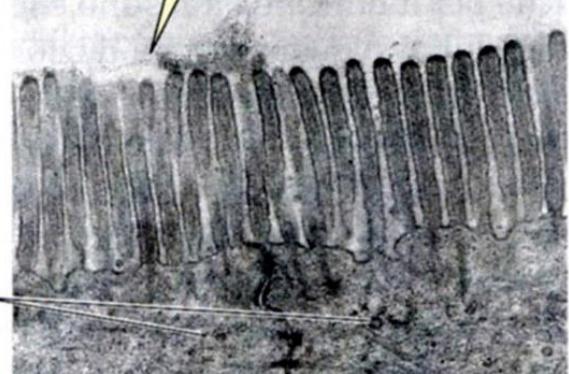
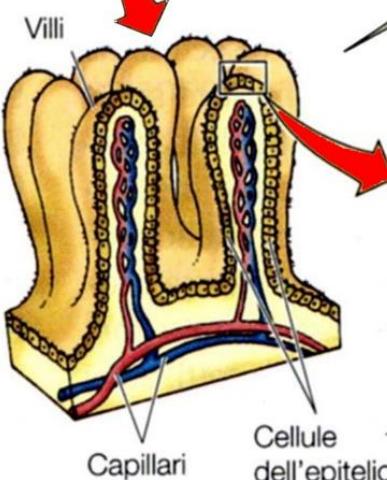


Nella maggior parte dei vertebrati, l'enorme superficie di assorbimento è ottenuta grazie alla lunghezza dell'intestino tenue...

...e alla presenza di pieghe della sua mucosa.



Villi digitiformi aumentano la superficie delle pieghe...



...e microvilli coprono i villi, ampliando notevolmente la superficie di assorbimento.



Assorbimento

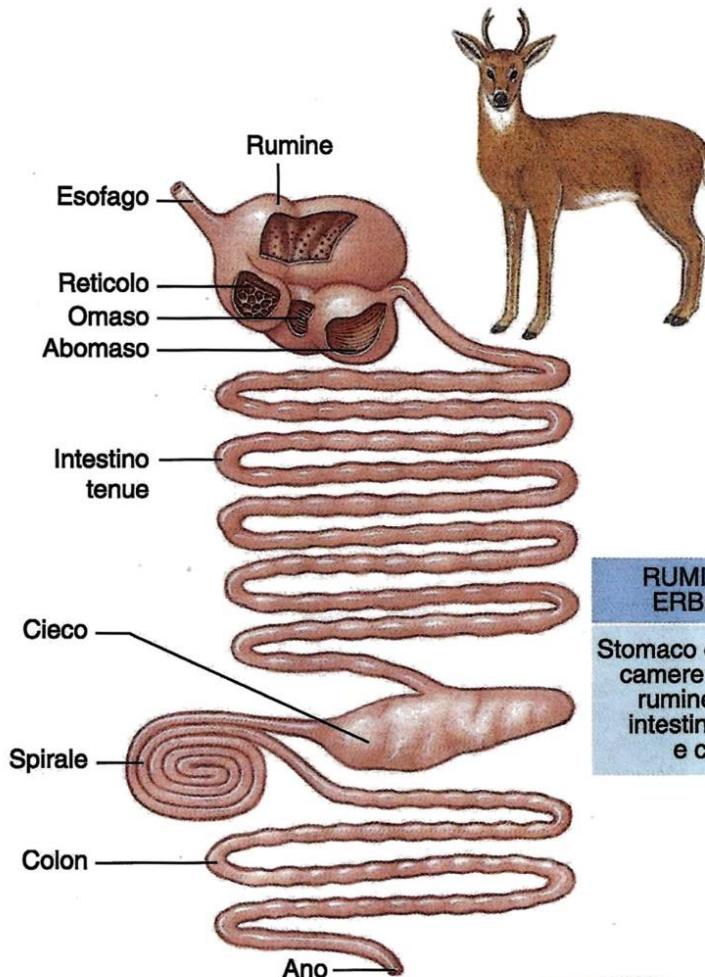
Gli organismi di una certa dimensione presentano un rapporto tra le superfici e i volumi ridotto non solo per quanto riguarda le superfici esterne, ma anche per quanto riguarda le superfici interne. Gli organi vanno quindi complicandosi, ramificandosi e ripiegando la propria parete, per recuperare una superficie relativa sufficiente.

Possedere un'ampia superficie della parete intestinale consente un assorbimento efficiente delle grandi quantità di nutrienti necessarie al sostentamento di un animale di grandi dimensioni. La maggioranza degli animali ha sviluppato un canale alimentare tale da poter massimizzare la propria superficie di assorbimento.

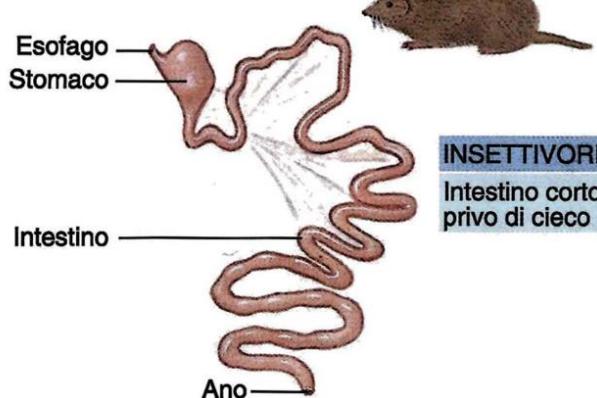
Nell'uomo la superficie assorbente complessiva dell'intestino tenue è di 300 m^2 e un singolo enterocita presenta circa 2000 microvilli.



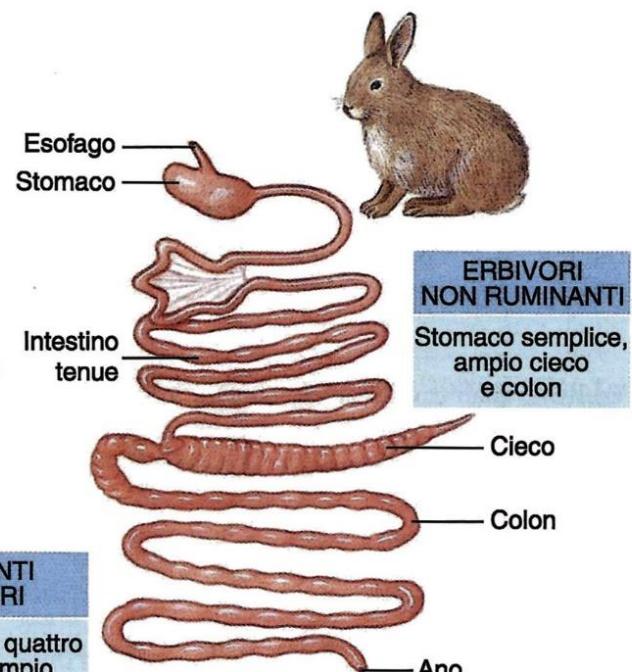
Apparato digerente e dieta



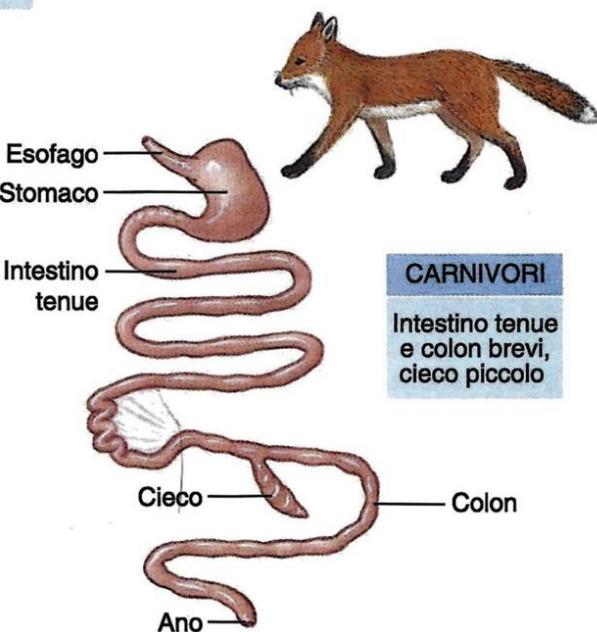
RUMINANTI ERBIVORI
Stomaco con quattro camere e ampio rumine; lungo intestino tenue e colon



INSETTIVORI
Intestino corto privo di cieco



ERBIVORI NON RUMINANTI
Stomaco semplice, ampio cieco e colon



CARNIVORI
Intestino tenue e colon brevi, cieco piccolo



Apparato digerente e dieta

Apparati digerenti di alcuni mammiferi caratterizzati da morfologie differenti in relazione alla diversa dieta. La stretta relazione tra la morfologia e la dieta è evidente anche in altri taxa animali, ad esempio gli uccelli o gli insetti. In generale un carnivoro presenta un digerente morfologicamente più semplice e breve di un erbivoro in virtù del maggior valore biologico e della digeribilità dell'alimento che assume.

In generale gli erbivori monogastrici utilizzano l'intestino cieco e il crasso per digerire l'alimento mentre i poligastrici utilizzano il rumine. I monogastrici devono essere molto grandi perché grandi dimensioni rendono più efficienti dal punto di vista metabolico. Quelli piccoli utilizzano la ciecotrofia. Ingerendo le loro prime feci fanno compiere il percorso intestinale due volte all'alimento aumentando l'assorbitamento. I ruminanti sfruttano i loro simbionti come già descritto.

In ogni caso gli erbivori devono dedicare moltissimo tempo alla nutrizione anche perché devono ingerire una quantità molto più elevata di alimento di cui sfruttano solo una piccola parte. Le loro feci, ancora ricche di nutrienti, costituiscono l'alimento di moltissimi coprofagi. In natura un cavallo introduce 30.000 bocconi al giorno, mentre un gorilla adulto passa il 45% del tempo a mangiare.