UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

Dipartimento di
Scienze della Vita

Università degli Studi di Trieste

Corso di Studio in
Scienze e Tecnologie Biologiche

Struttura trofica ecosistemi – Flussi di energia e materia:

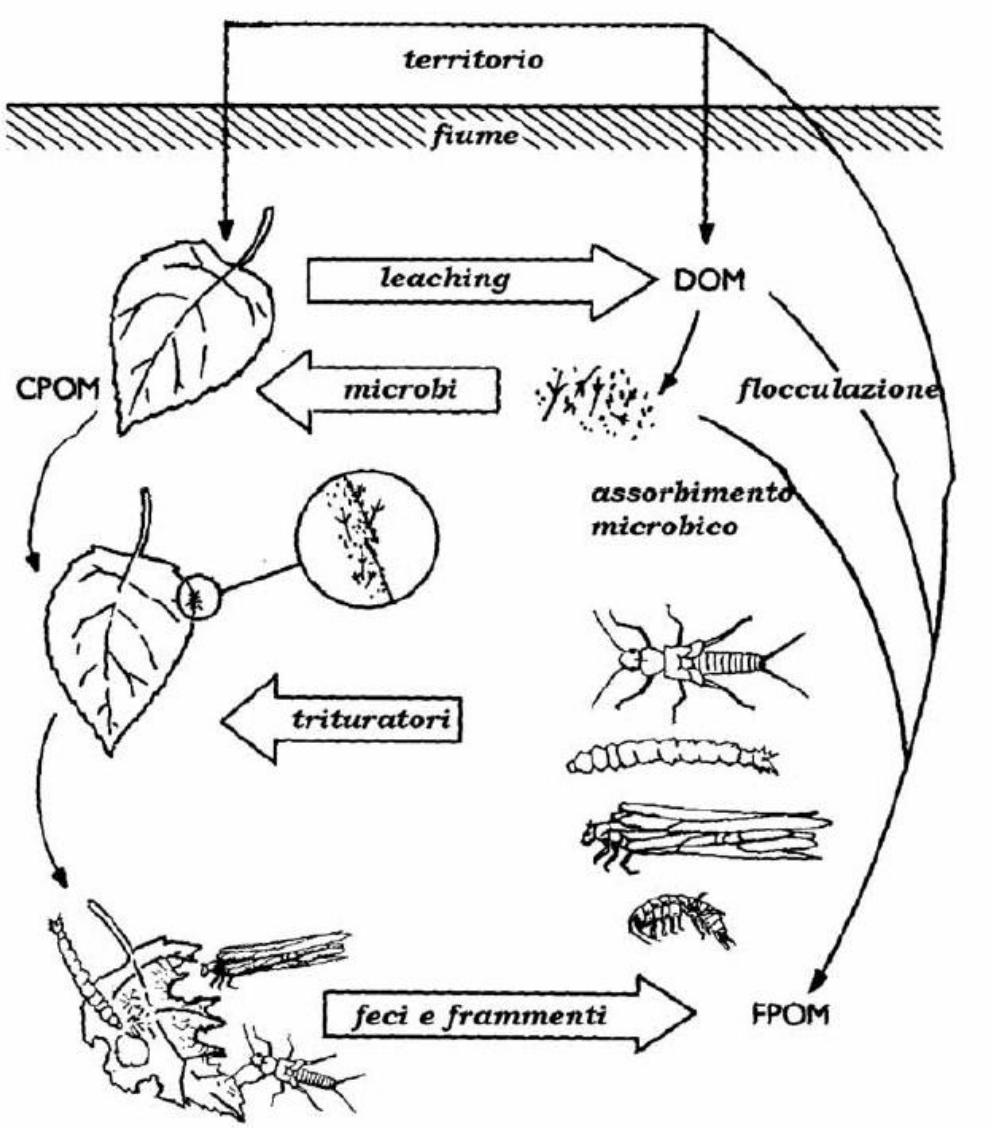
- **Produzione secondaria**
- **Flussi di energia e di materia**
- **Reti trofiche**
- **Energetica**
- **Piramidi ecologiche**
- **Meccanismi di controllo**

• ECOLOGIA
• Marco Bertoli(BIO/07)
• marbertoli@units.it

III anno – I Semestre

(*) Il materiale didattico fornito dal docente può contenere parti o immagini soggette a copyright, la diffusione e/o riproduzione non è autorizzata.

Le trasformazioni dell'energia



Relazioni tra tre frazioni di sostanza organica all'interno di un corso d'acqua, rappresentate dalle trasformazioni subite da una foglia (da Cummins e Klug, 1979, modif. in Siligardi et al., 2007)

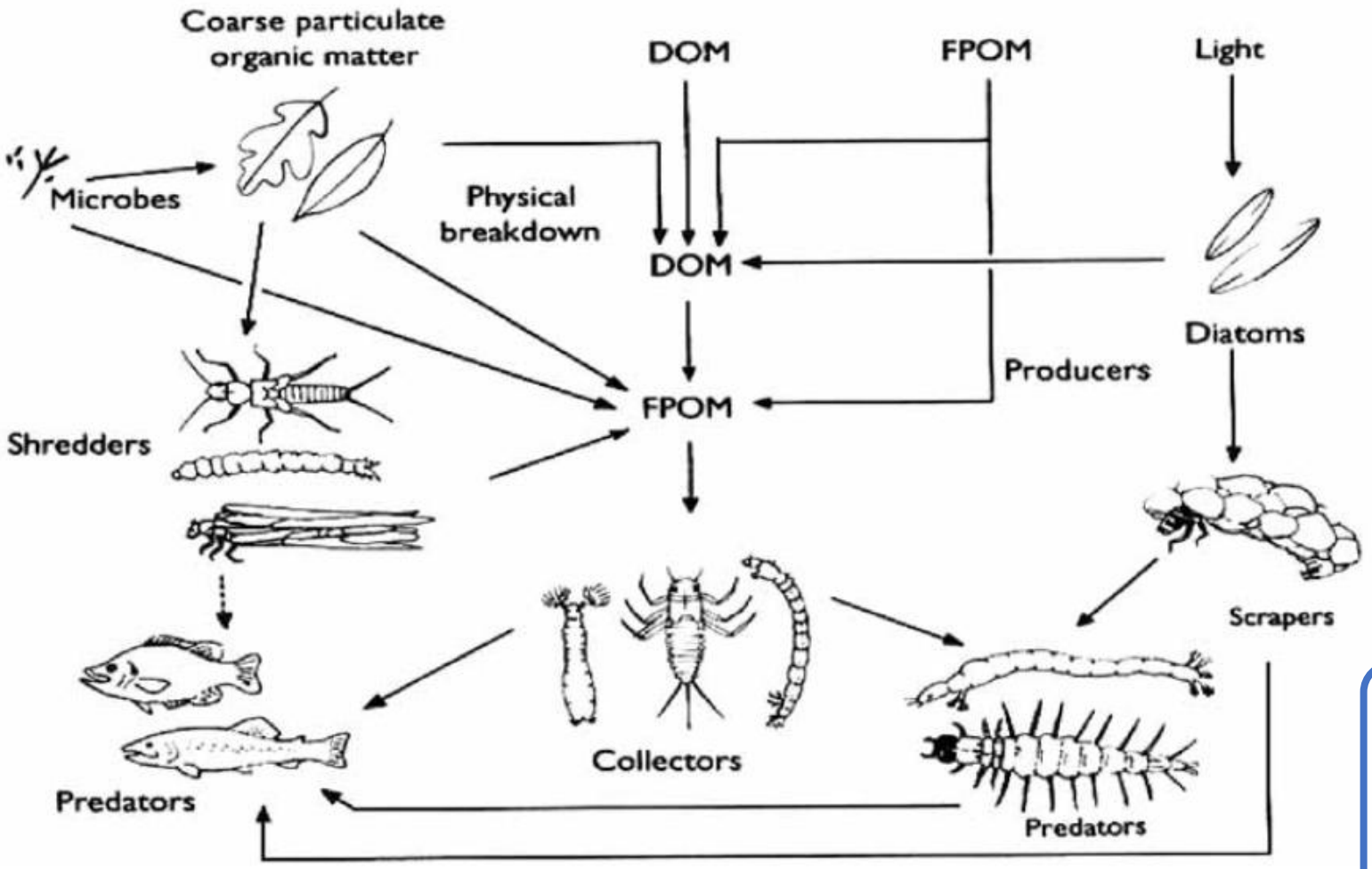
La frazione più rappresentata è la sostanza organica grossolana particolata o CPOM.

È costituita soprattutto da foglie di vegetazione riparia, che trattenute dalle strutture morfologiche di ritenzione perdono inizialmente le sostanze organiche solubili (*leaching*) che andranno ad alimentare il DOM.

Successivamente vengono aggredite da batteri e funghi che le ammorbidiscono mettendo a nudo il tessuto a palizzata e lacunoso.

La foglia viene demolita e assunta come alimento dagli organismi trituratori (*shredders*)

Le trasformazioni dell'energia



Relazioni trofico-funzionali in un ambiente fluviale:

le condizioni alimentari vengono sfruttate appieno dalla comunità macrobentonica e microbentonica, con trasformazione dell'energia in **biomassa**

PRODUZIONE SECONDARIA

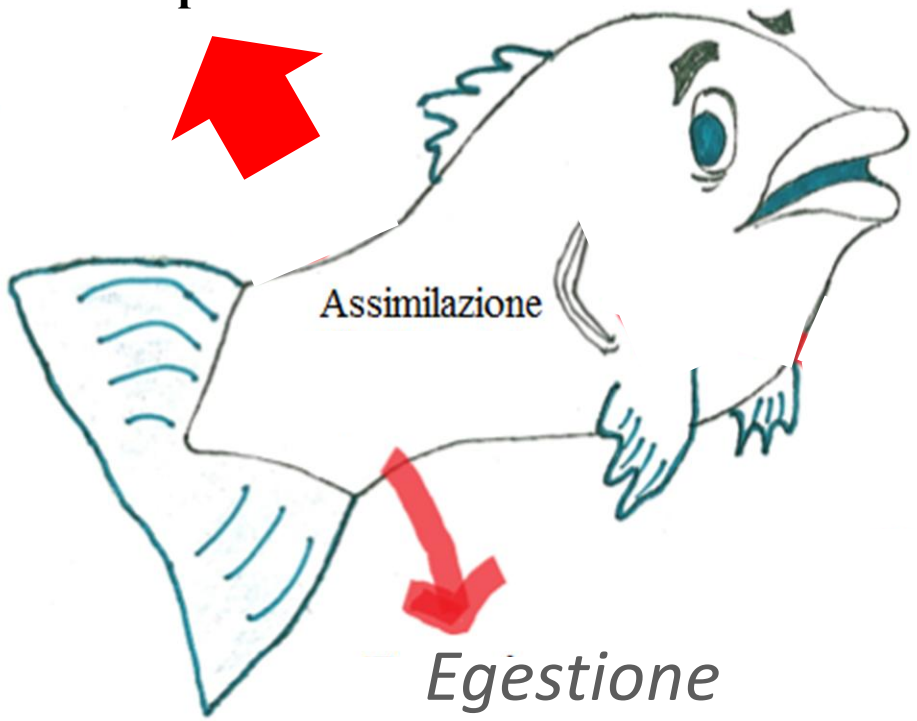
Velocità di produzione della biomassa eterotrofa da fonte energetica tratta dalla biomassa autotrofa (erbivori) o da altri eterotrofi (carnivori)

Produzione secondaria

Ripartizione dell'energia assorbita da un produttore secondario

Produzione

Crescita e riproduzione



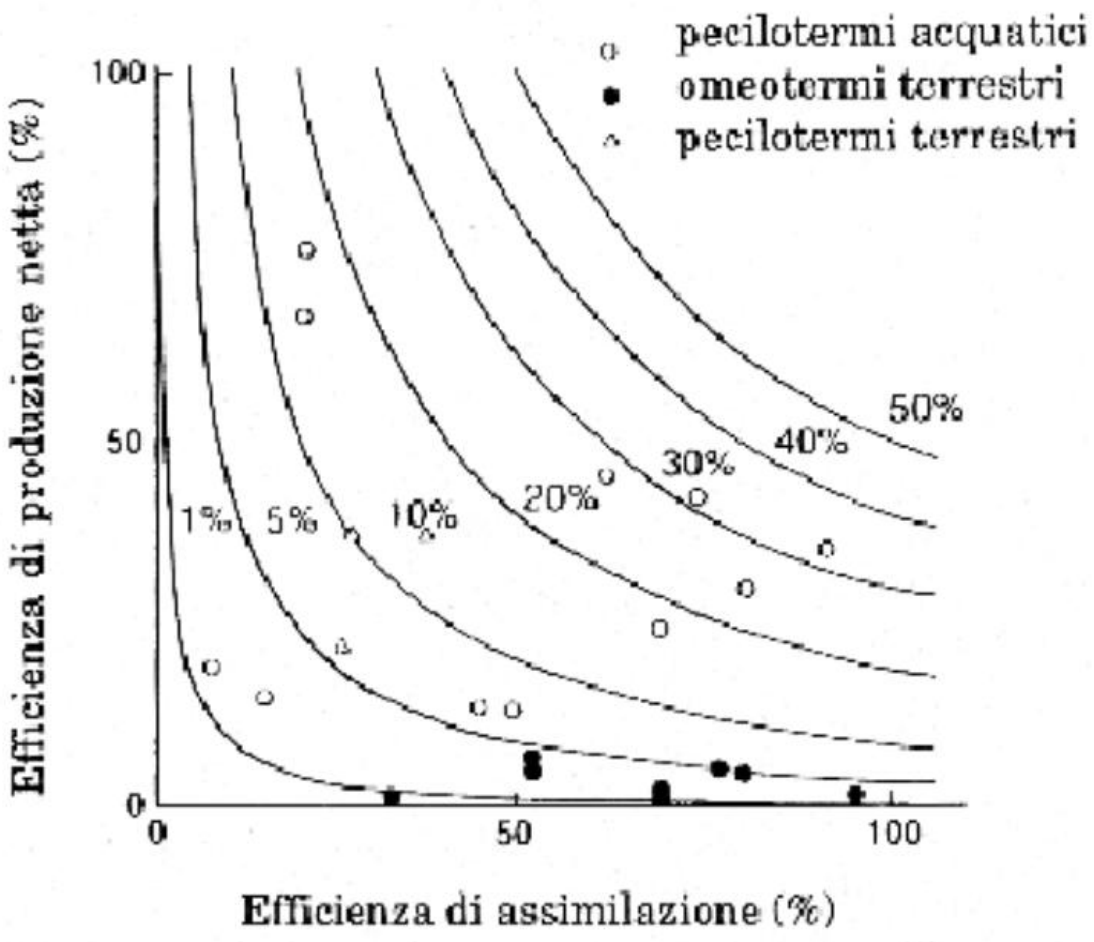
Ingestione

Egestione
Escrezione
Respirazione

Gli organismi (eterotrofi) devono provvedere a questa necessità ingerendo biomassa, viva o morta.

Produzione secondaria

Relazione tra efficienza di assimilazione ed efficienza di produzione netta



Efficienze di assimilazione (e_{Ass}), di produzione netta (e_N) e di produzione lorda (e_L) per diversi animali in relazione alla loro dieta e alla loro fisiologia (Ricklefs, 1979).

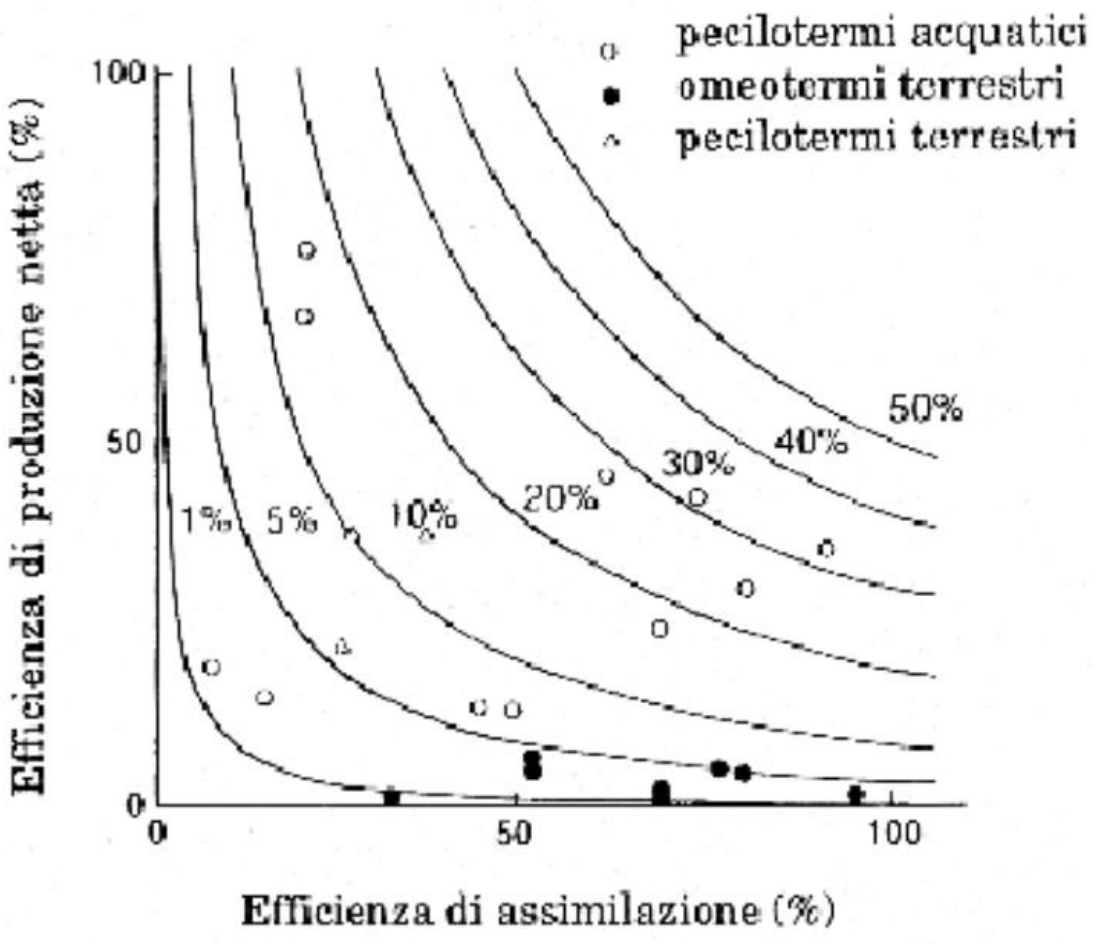
$$e_{Ass} = \frac{Produzione\ secondaria\ lorda\ (assimilazione)}{Ingestione}$$

$$e_N = \frac{Produzione\ secondaria\ netta}{Produzione\ secondaria\ lorda}$$

$$e_L = e_{Ass} \times e_N = \frac{Produzione\ secondaria\ netta}{Ingestione}$$

Produzione secondaria

Relazione tra efficienza di assimilazione ed efficienza di produzione netta



Specie	*Habitat*	*Dieta*	Efficienze (%) e_{ASS}	e_N	e_L
Peciloterme acquatici					
Megalops ciprinoides (pesce)	Acque dolci	Pesci	92	35	32
Leucisco (pesce)		Invertebrati		7	
Nanavax (gasteropode predatore)	Intertidale	Invertebrati	62	45	28
Lasca (pesce)		Piante		7	
Modiolus demissus (mollusco)	Paludi salate	Fitoplankton		30	
Hyallela azteca (anfipode)	Laghi	Alghe	15	15	2.3
Ferrissia rivularis (patella di fiume)	Acque correnti	Alghe	8	19	1.5
Tegula funebralis (gasteropode)	Intertidale	Alghe	70	24	17
Nematodi	Paludi salate	Detrito		25	
Littorina irrorata (gasteropode)	Paludi salate	Detrito	45	14	6.3
Calospecta dives (moscerino)	Sorgenti	Detrito		25	
Scrobicularia plana (bivalve)	Piani tidali	Fitoplankton	61	21	13
Peciloterme terrestri					
Formica	Campi	Semi		0.3	
Cavalletta delle paludi	Paludi salate	*Spartina*	27	37	10
Melanoplus (cavalletta)	Campi	Lespedeza	37	37	14
Cavallette (3 specie)	Campi	Vegetazione	16		
Sputacchino	Alfalfa	Succhi vegetali		39	
Pidocchio dei boschi	Lettiera	Foglie morte	33		
Bachi	Campi	Detrito	25	22	5.4
Millepiedi	Suolo forestale	Legno	15		
Omeoterme terrestri					
Donnola	Campi	Topi	96	2.3	2.2
Scricciolo di palude	Paludi salate	Insetti	70	0.5	0.35
Topo cavalletta	Cespugli del deserto	Insetti	78	5.7	4.4
Ratto canguro	Cespugli del deserto	Insetti	81	5.2	4.2
Arvicola	Campi	Vegetazione	70	3.0	2.1
Topo di campagna	Campi	Semi di erbe		1.8	
Lepre americana (*Lepus*)	Cespugli del deserto	Vegetazione	52	5.5	2.9
Coniglio coda di cotone (*Sylvilagus*)	Cespugli del deserto	Vegetazione	52	6.0	3.1
Kob dell'Uganda	Savana	Vegetazione		1.3	
Bestiame	Pascoli	Vegetazione	38	11	4.2
Elefante africano	Savana	Vegetazione	32	1.5	0.48

Approccio funzionalistico allo studio degli ecosistemi (Odum, 1959)

Non sono rilevanti le specie ma le funzioni che ricoprono nell'ecosistema

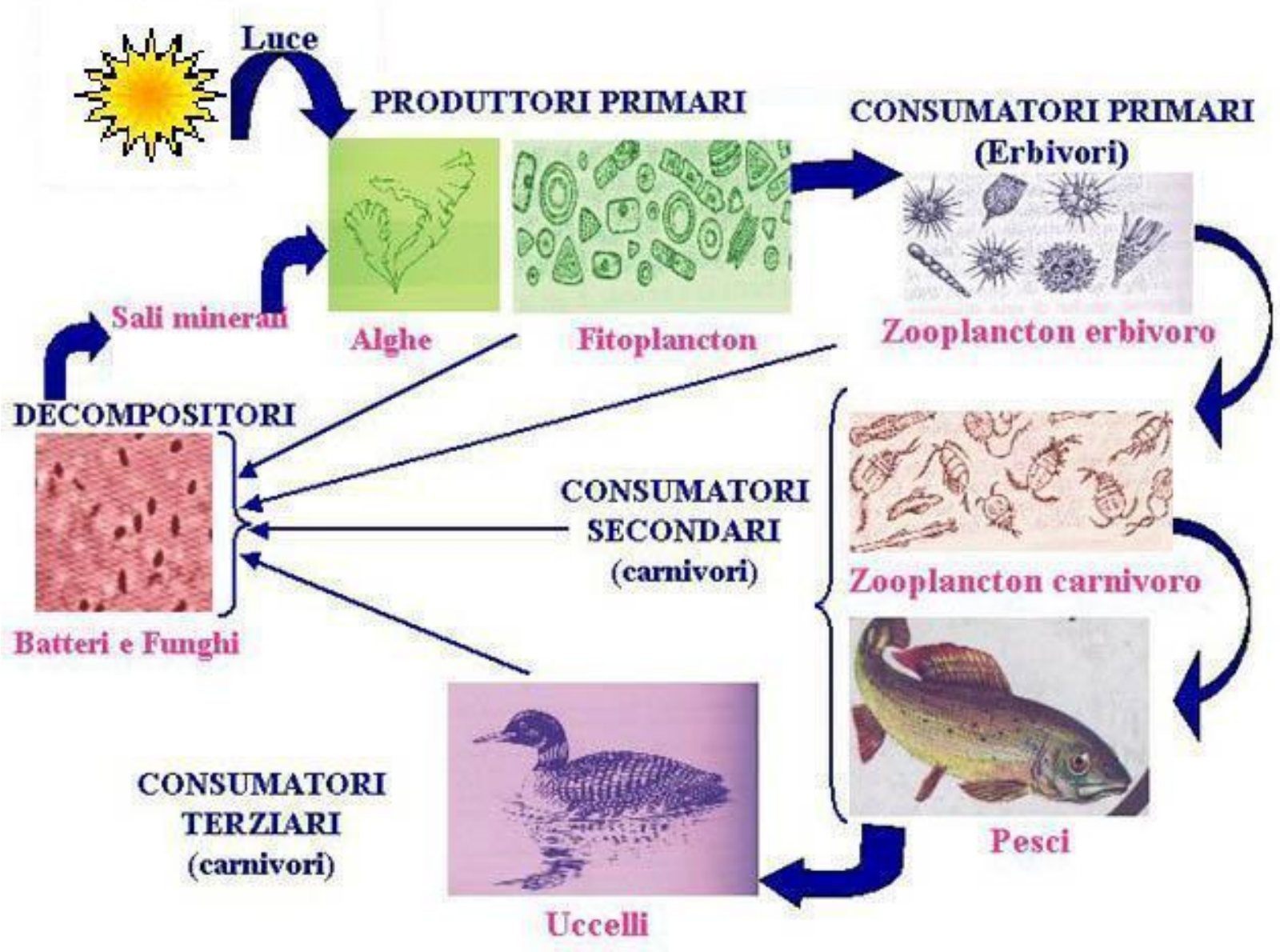
Flussi di energia

I vari organismi della comunità sono visti come comparti che accumulano e trasformano energia.
I produttori primari ricevono energia solare, la fissano con la fotosintesi, la passano agli erbivori eterotrofi (che ricevono quindi energia da altri organismi) e la passano ai carnivori.
Tutti gli organismi perdono energia sotto forma di calore perché respirano
L'energia fluisce attraverso i componenti della comunità una sola o comunque un numero limitato di volte, perché si dissipa nei processi metabolici.
Solo il continuo flusso di energia dal sole permette il <u>funzionamento ininterrotto di un ecosistema</u>

Flussi di materia

La comunità ecologica è vista come un insieme di comparti che accumulano determinati elementi o composti chimici (azoto, fosforo, carbonio, composti tossici, ecc.), ricevendoli da e cedendoli ad altri comparti.
A differenza dell'energia la stessa molecola può essere riciclata molte volte attraverso lo stesso comparto.
Infatti non c'è dissipazione (la materia non si crea e non si distrugge!) e d'altra parte il processo di decomposizione garantisce che i produttori primari possano assorbire più volte le stesse molecole inorganiche

Catene alimentari e livelli trofici



Serie di trasferimenti di energia alimentare dagli autotrofi a organismi che consumano e sono a loro volta consumati

Catene alimentari

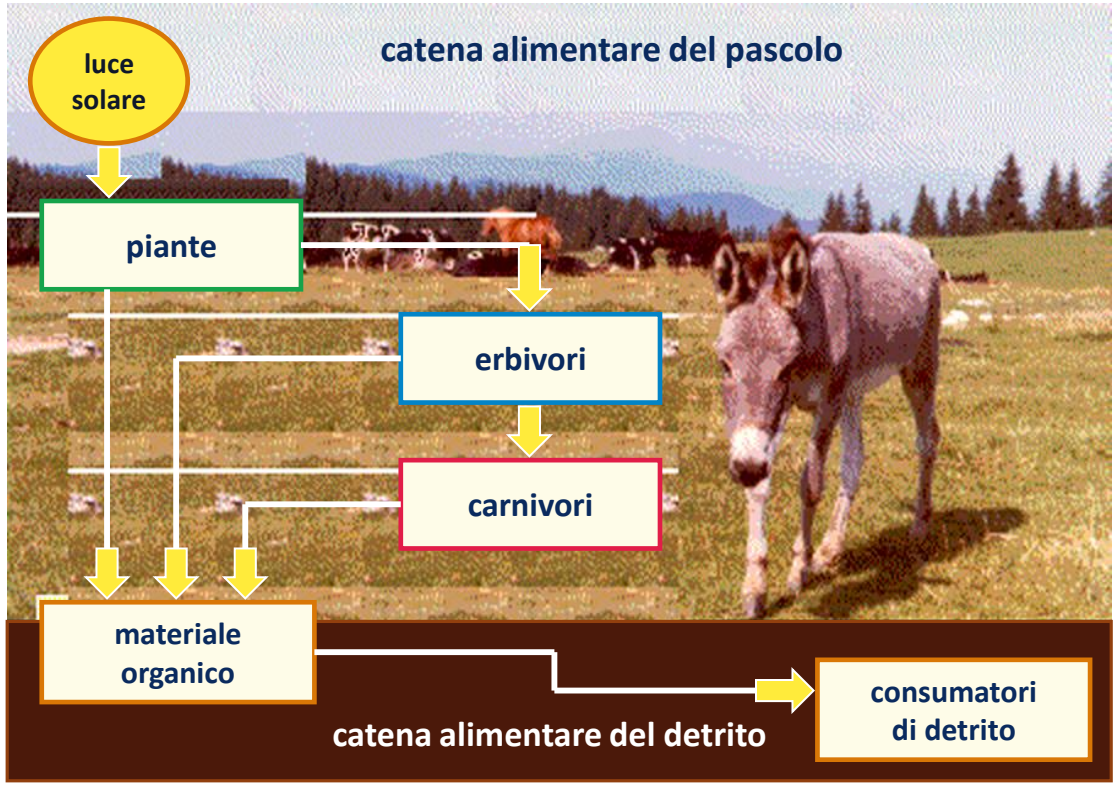
Catena alimentare di pascolo:

piante verdi → erbivori → carnivori

Catena alimentare di detrito:

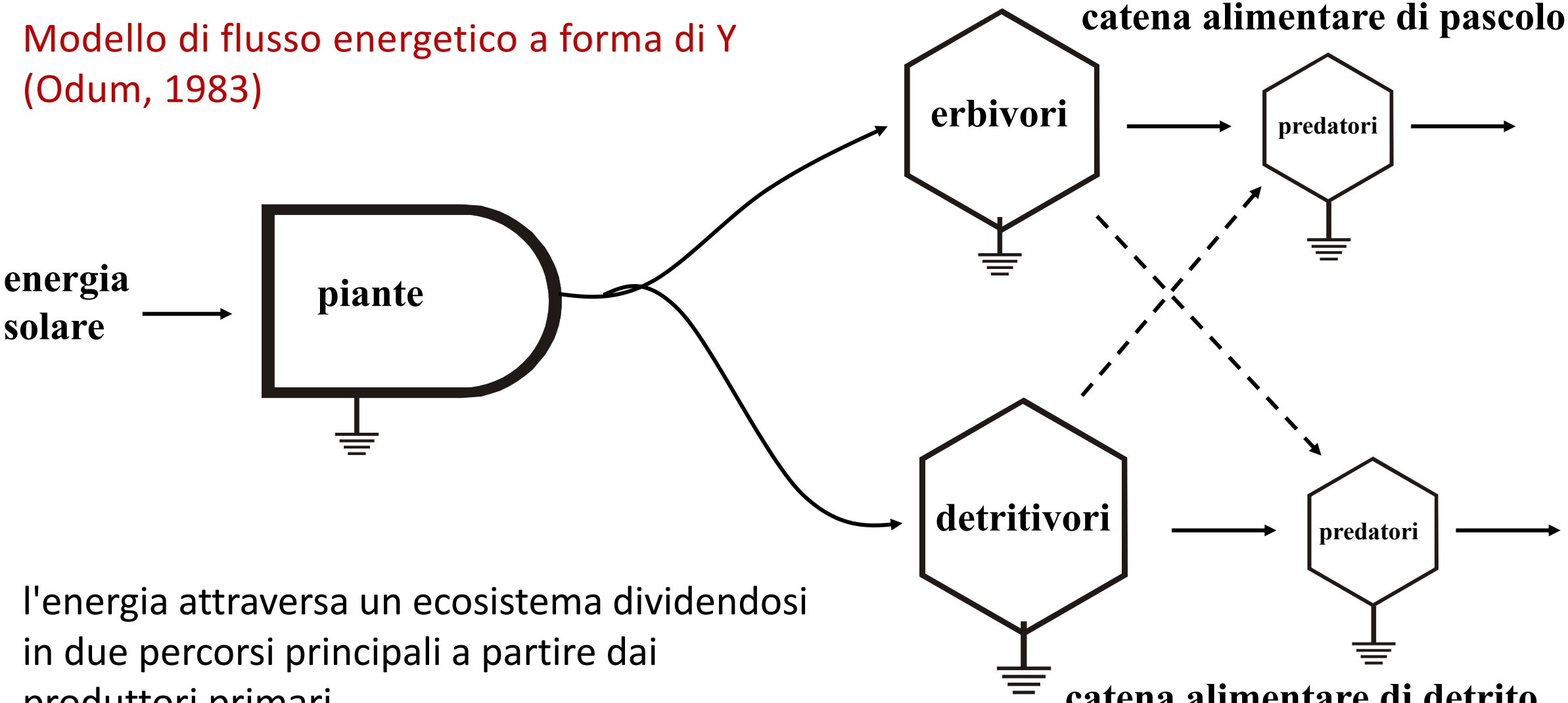
materia organica morta → consumatori di detrito → predatori

Le catene alimentari non sono sequenze isolate, ma sono interconnesse e costituiscono un modello complesso chiamato rete alimentare.



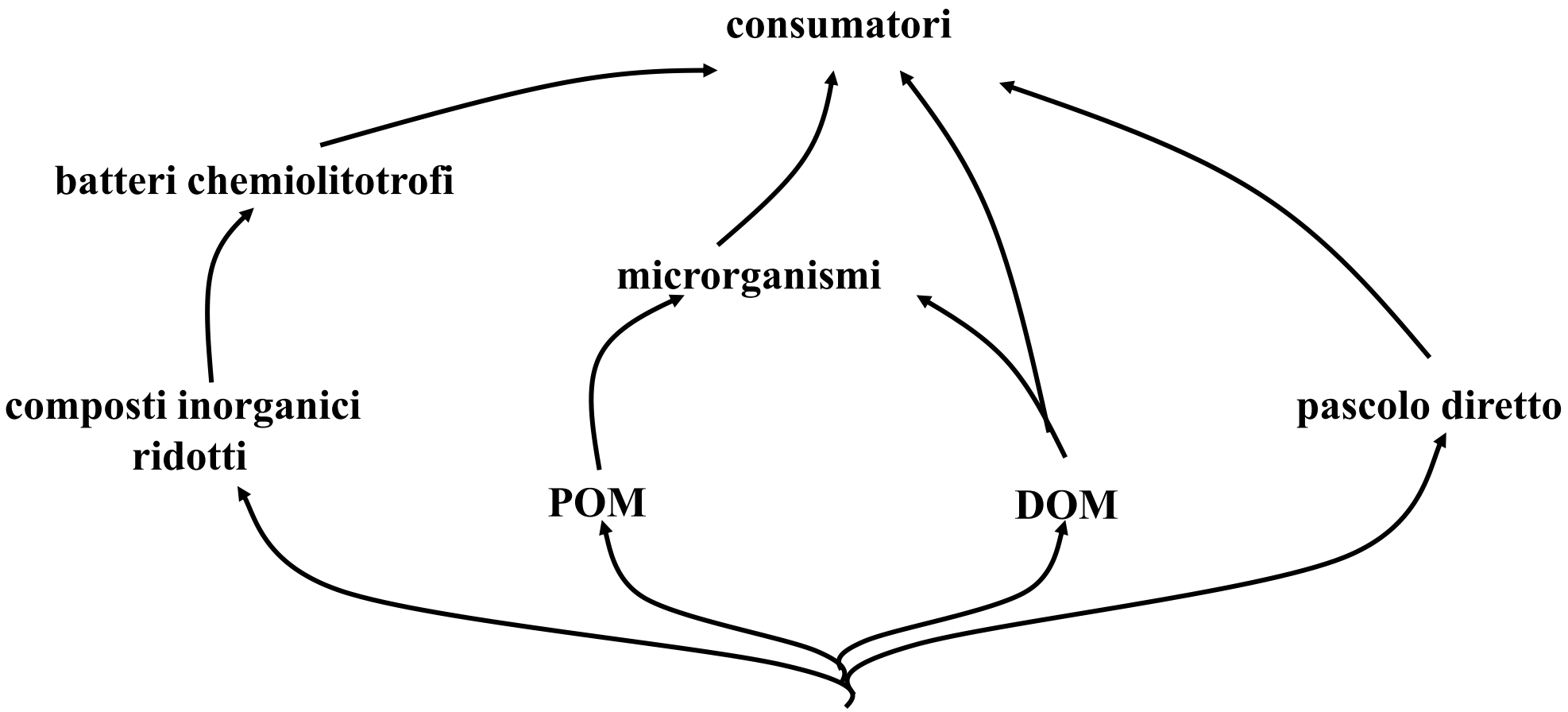
Dalle catene alle reti alimentari

Modello di flusso energetico a forma di Y (Odum, 1983)



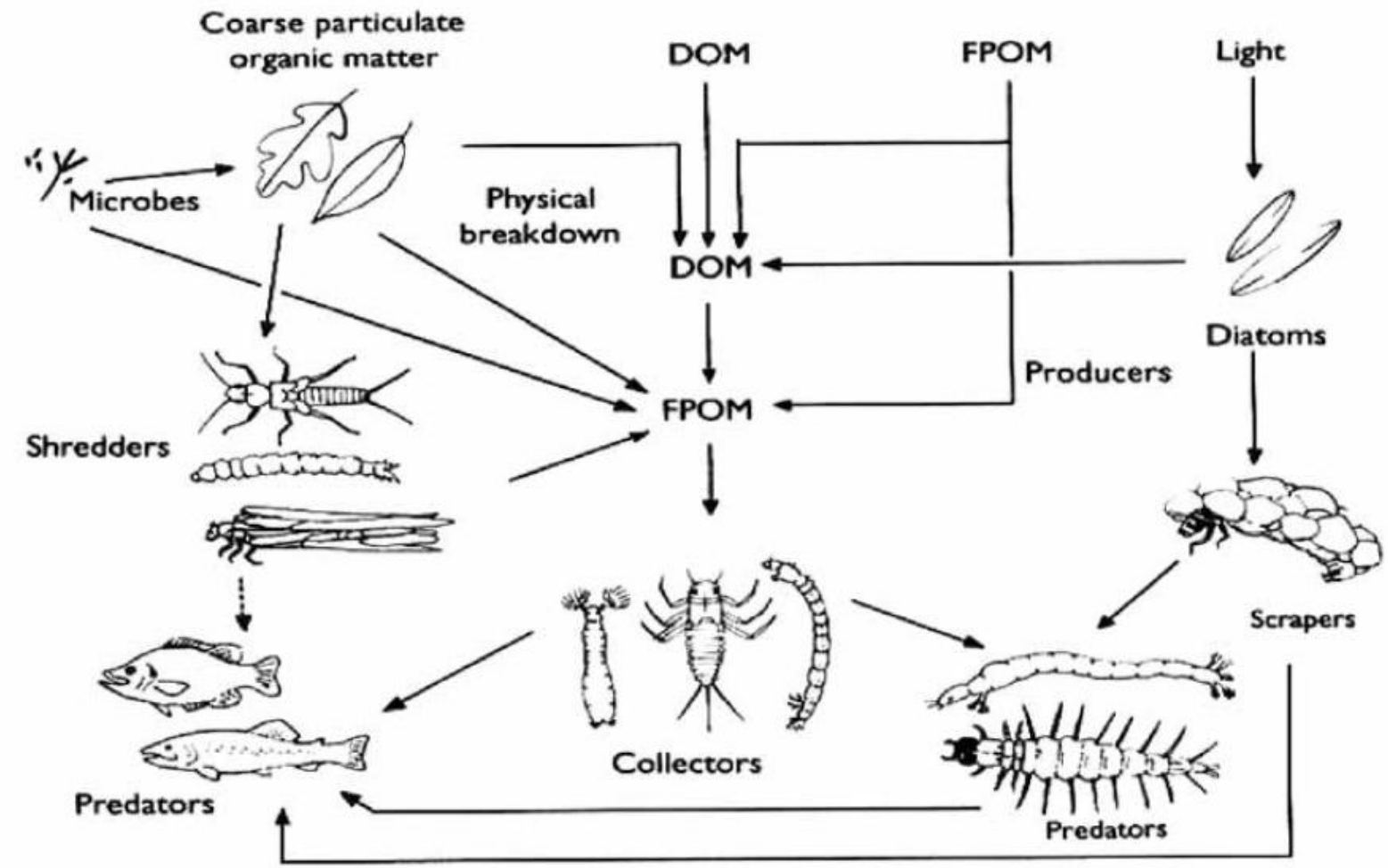
l'energia attraversa un ecosistema dividendosi in due percorsi principali a partire dai produttori primari

Reti alimentari



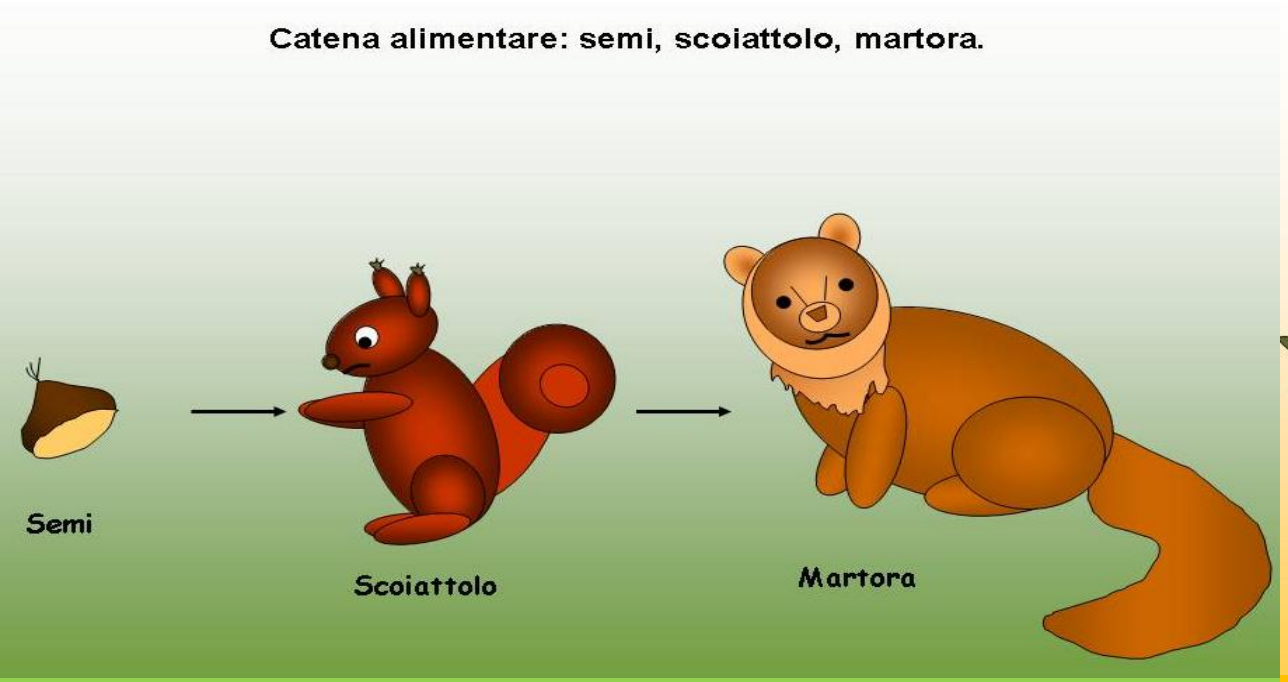
Il concetto di rete alimentare è molto più preciso di quello di catena alimentare perché in genere i rapporti tra le specie sono più complessi di una semplice catena lineare

Reti alimentari

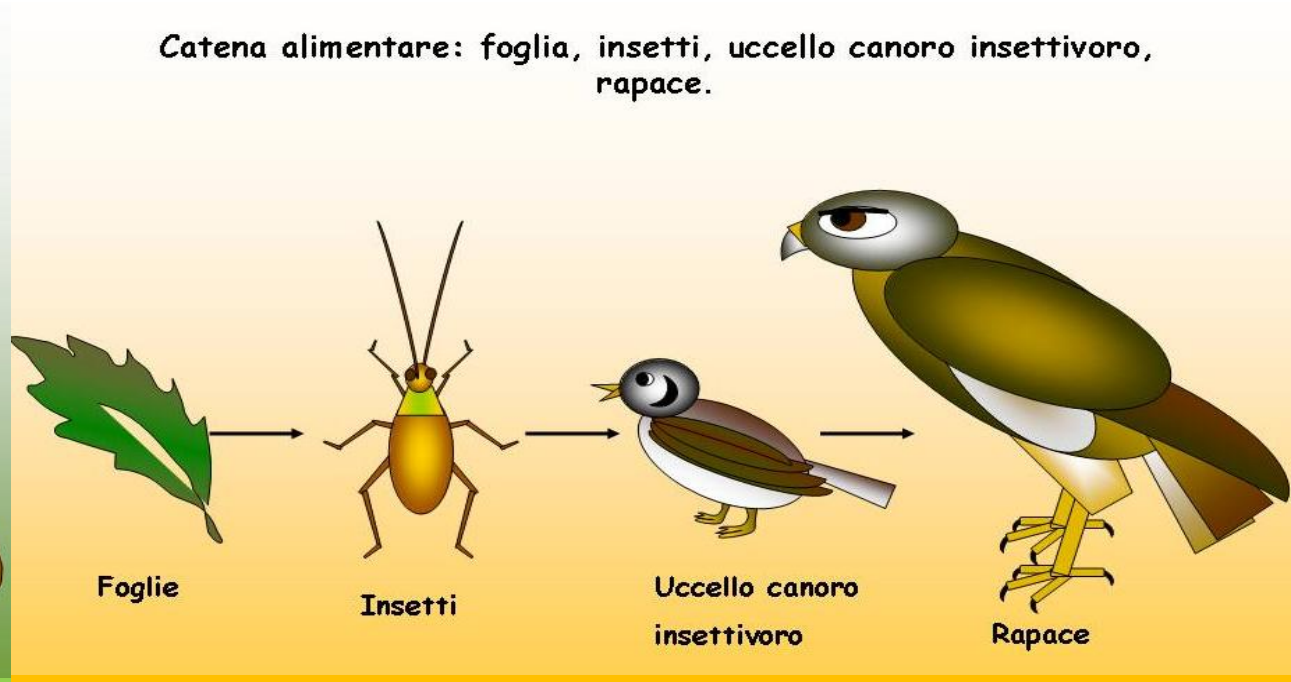


Il concetto di rete alimentare è molto più preciso di quello di catena alimentare perché in genere i rapporti tra le specie sono più complessi di una semplice catena lineare

Catene alimentari

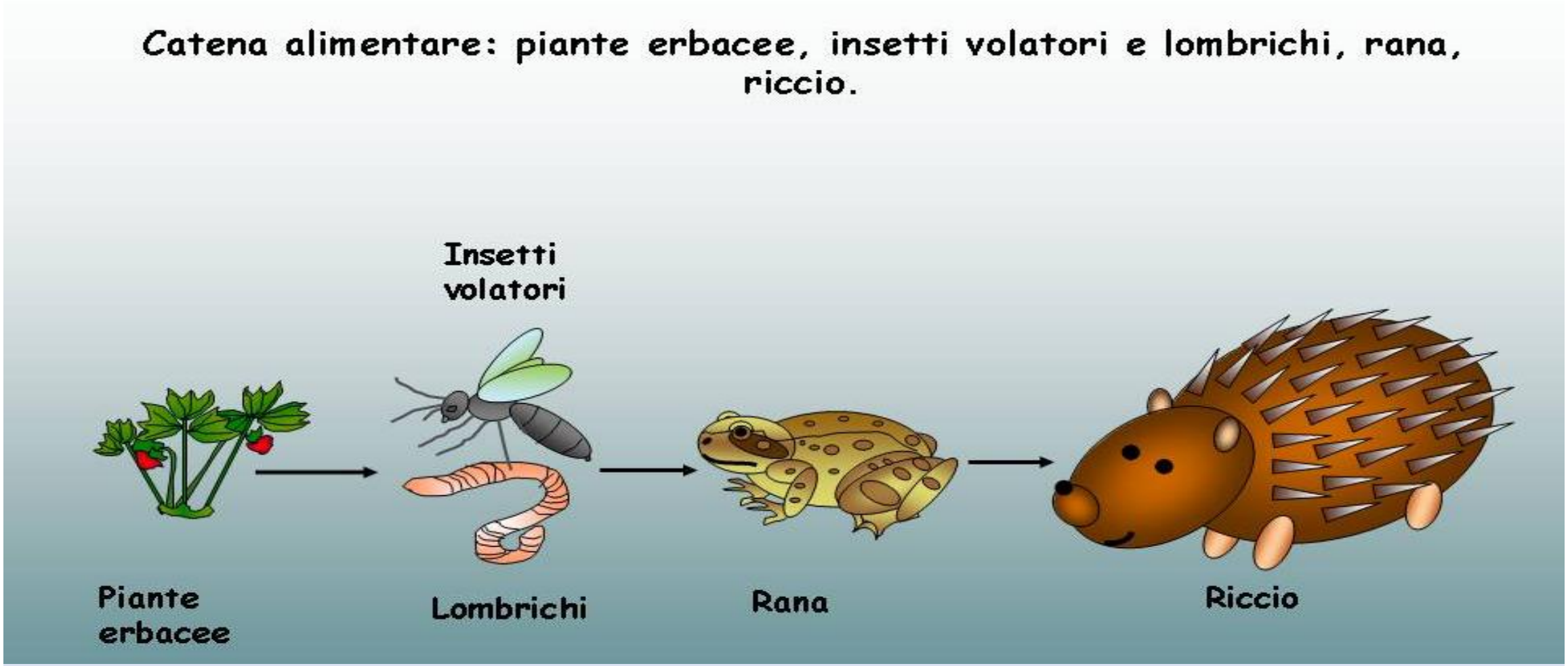


La castagna fa parte del primo livello trofico cioè quello dei produttori, lo scoiattolo che la mangia è un consumatore primario (secondo livello trofico), la martora che preda lo scoiattolo è il consumatore secondario (terzo livello trofico).



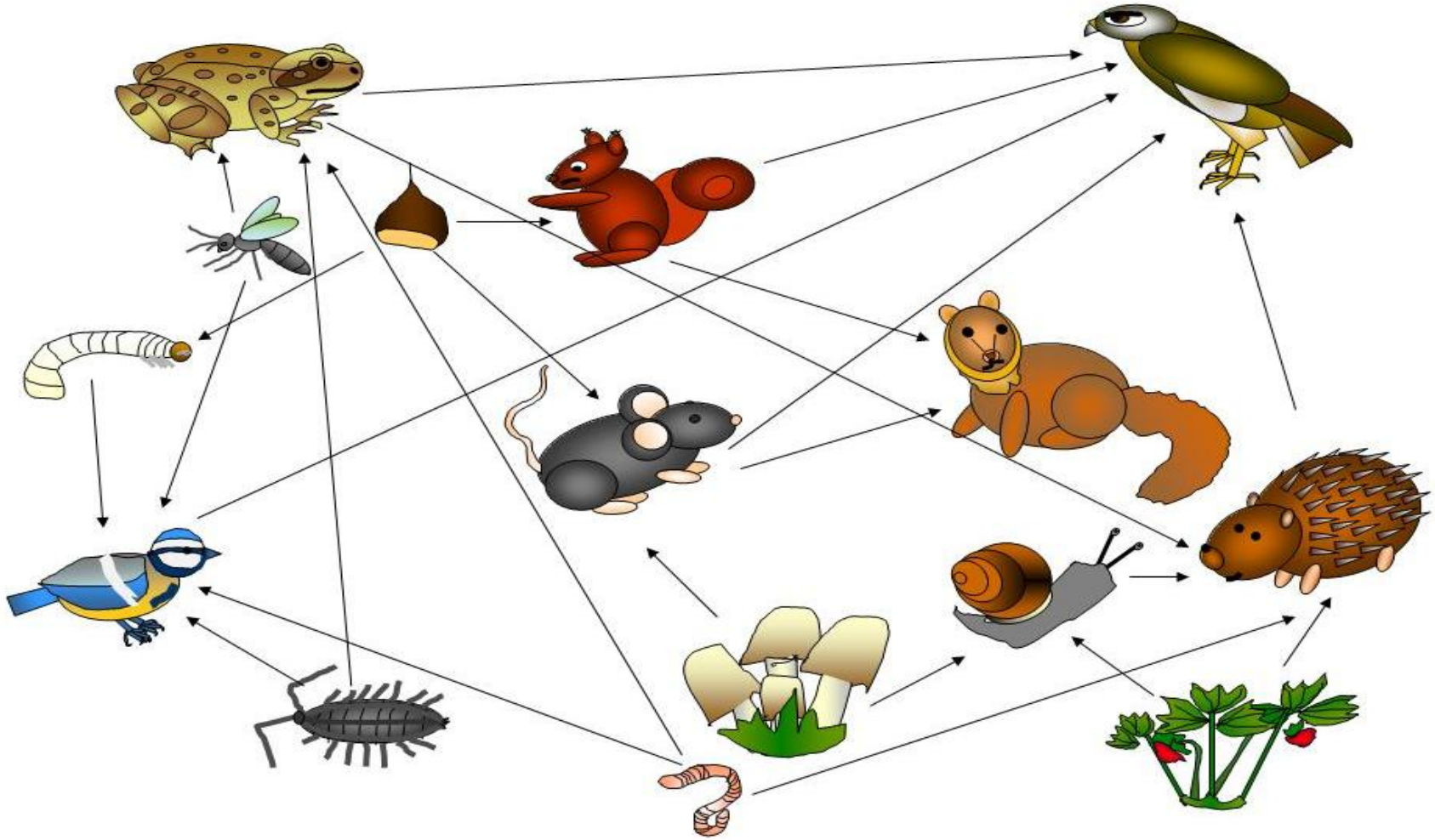
Le foglie sono i produttori (primo livello trofico), l'insetto che si nutre delle foglie è il consumatore primario (secondo livello trofico), l'uccello insettivoro è il consumatore secondario (terzo livello trofico) e il rapace che preda l'uccello insettivoro è il consumatore terziario (quarto livello trofico).

Catene alimentari



Le piante erbacee sono i produttori (primo livello trofico), gli insetti e i lombrichi che si nutrono delle piante o dei loro resti sono i consumatori primari (secondo livello trofico), la rana che mangia gli insetti e i lombrichi è il consumatore secondario (terzo livello trofico) e il riccio che preda la rana è il consumatore terziario (quarto livello trofico).

Reti alimentari

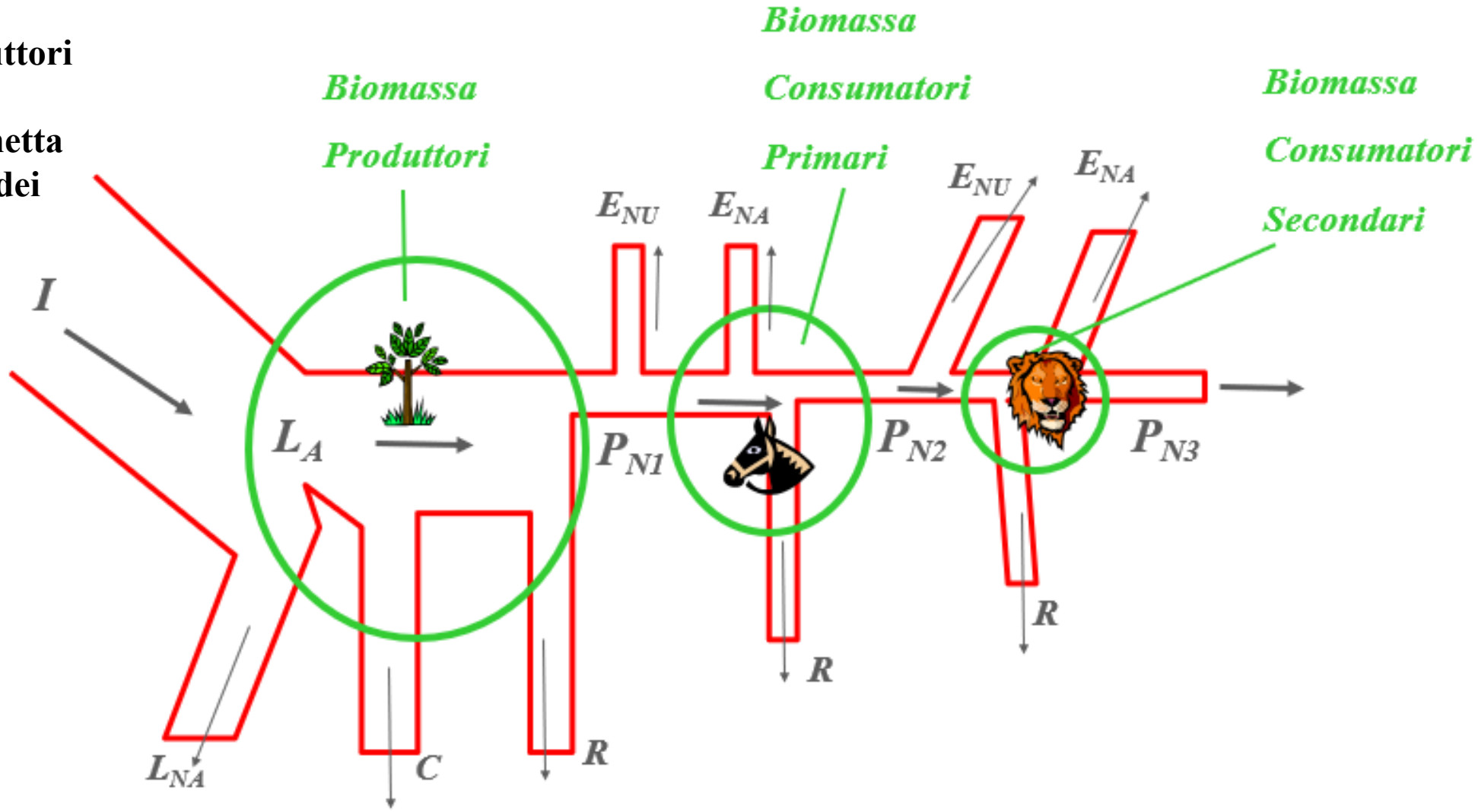


Il concetto di rete alimentare è molto più preciso di quello di catena alimentare perché in genere i rapporti tra le specie sono più complessi di una semplice catena lineare

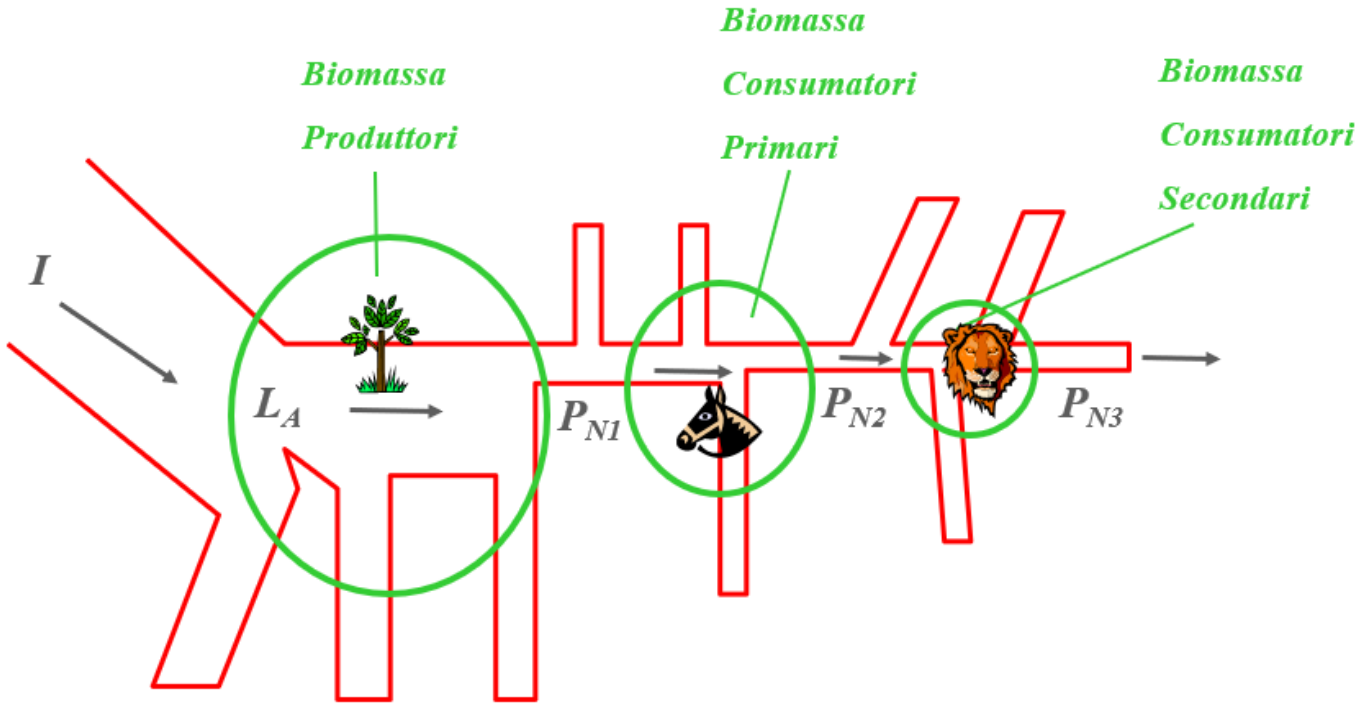
Trasferimento dell'energia attraverso livelli trofici

I: entrata totale di energia
L_A: luce assorbita dai produttori
L_{NA}: luce non assorbita
P_{N1}: produttività primaria netta
P_{N2}, P_{N3}: produttività netta dei consumatori

R: Respirazione.
C: Calore.
E_{NU}: energia non utilizzata.
E_{NA}: energia non assorbita.



Trasferimento dell'energia attraverso livelli trofici



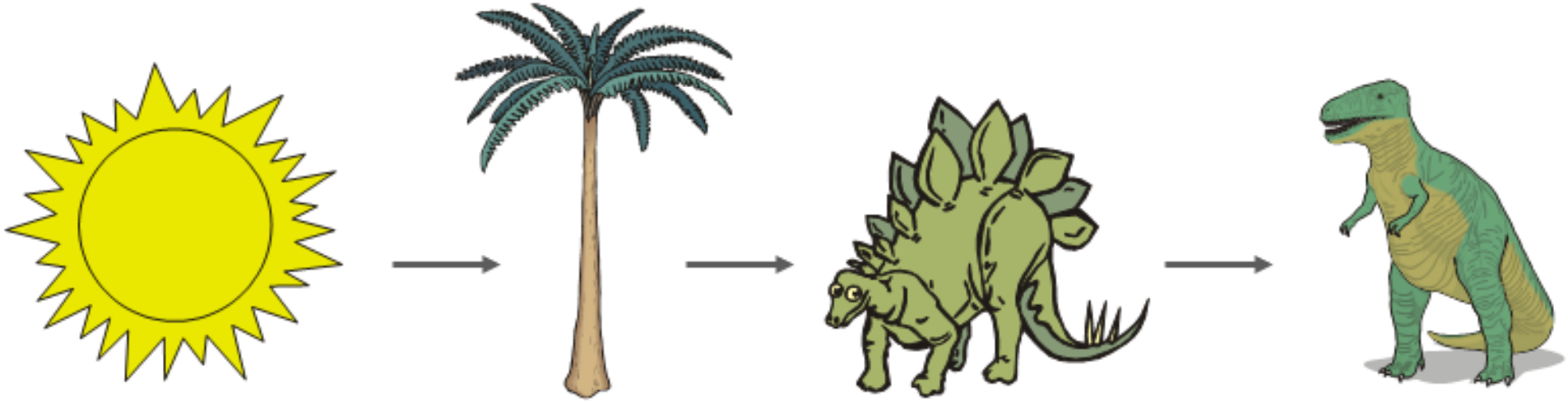
La quantità di energia diminuisce

I: 3000 → L_A: 1500 ⟶ P_{N1}: 15 ⟶ P_{N2}: 1,5 → P_{N3}: 0,3 (kcal/m²/die)

Resa energetica ⟶ 1% ⟶ 10% ⟶ 20%

La qualità dell'energia aumenta

Qualità e quantità di energia nei passaggi tra livelli trofici

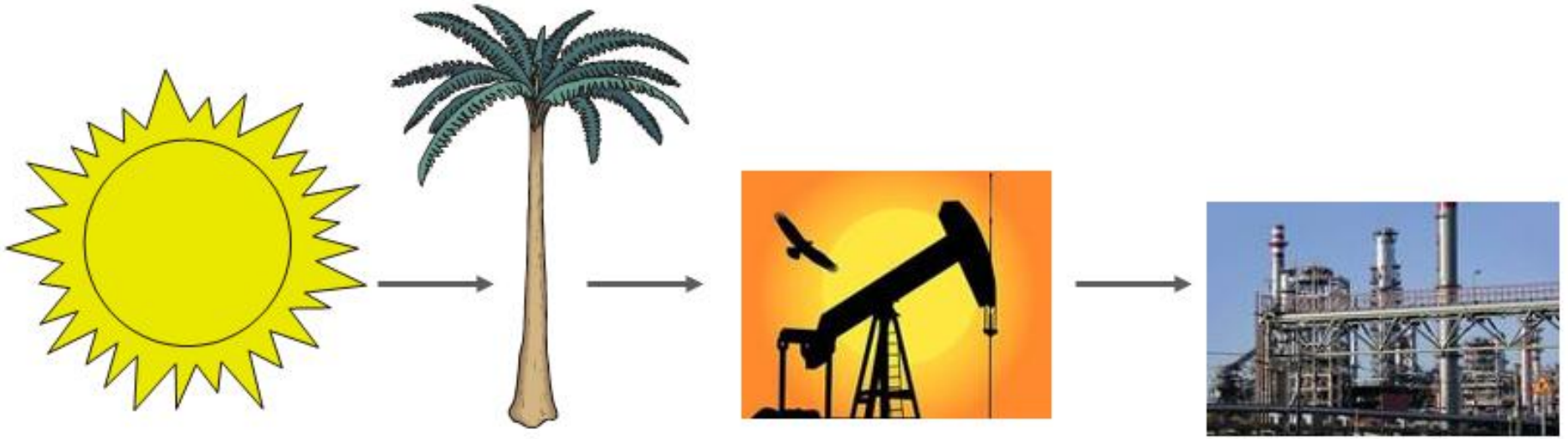


Quantità:	*1.000.000*	→	*10.000*	→	*1000*	→ *200*
Qualità:	*1*	→	*100*	→	*1000*	→ *20.000*

Concentrazione dell'energia

L'energia utilizzata e dispersa in una catena alimentare di trasformazioni successive, cambia forma diventando sempre più concentrata. In parole povere, nella catena alimentare diminuisce la quantità dell'energia, ma aumenta la sua "qualità".

Qualità e quantità di energia nei processi di conversione



fotosintesi *fossilizzazione* *industria*
legno *petrolio* *benzina*

Quantità:	*1.000.000*	→	*1000*	→ *500* → *125*
Qualità:	*1*	→	*1000*	→ *2000* → *8000*

Non tutte le Calorie (o qualunque tipo di unità quantitativa utilizzata) sono uguali perché la stessa quantità delle diverse forme di energia varia ampiamente come potenziale di lavoro. Le forme altamente concentrate come il petrolio hanno un potenziale di lavoro più elevato, per cui esse hanno una qualità più elevata rispetto ad altre forme diluite, come la luce solare.

Concentrazione dell'energia: eMergia

La concentrazione di energia o la sua qualità possono essere espresse in termini della quantità di un tipo di energia richiesto per sviluppare una certa quantità di un altro tipo di energia.

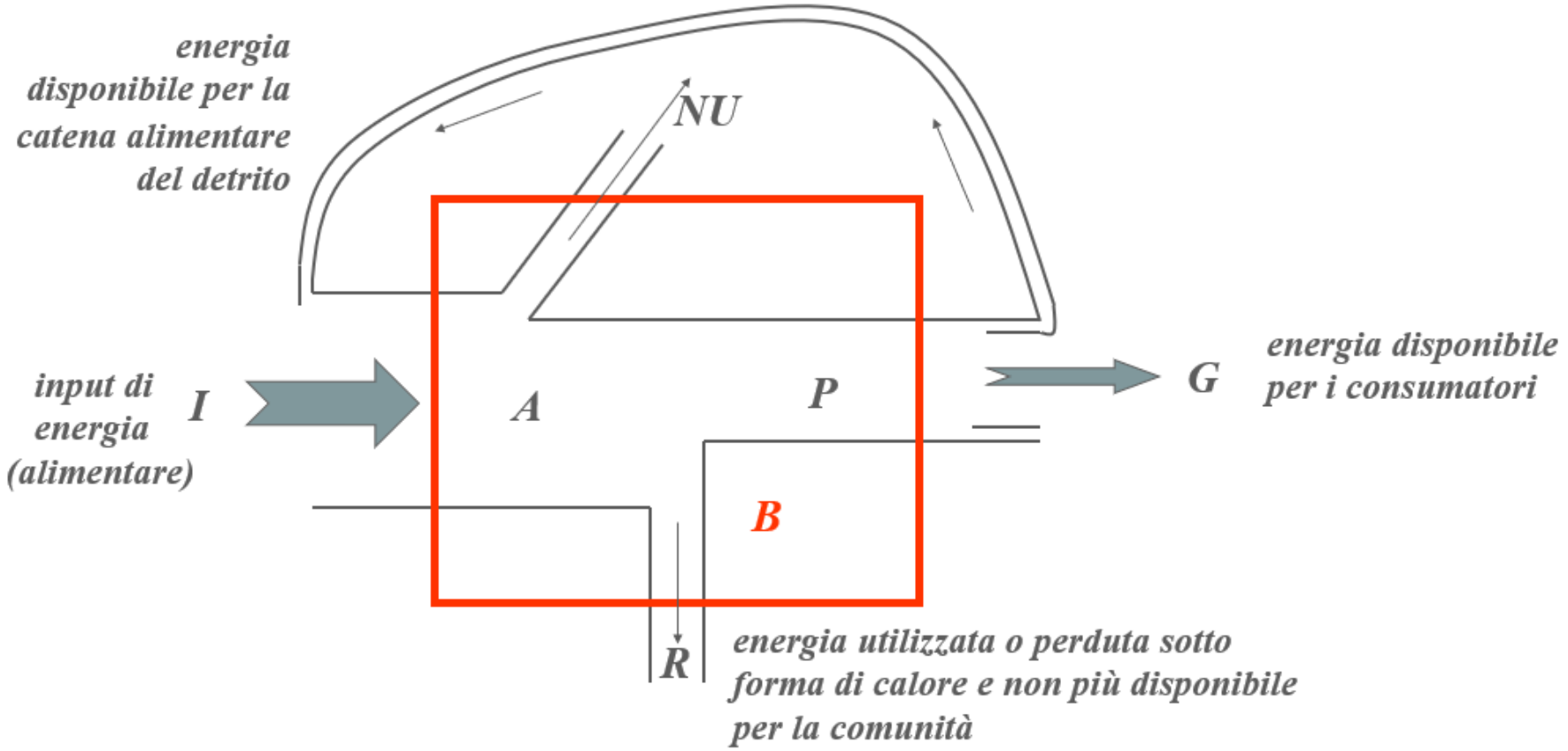
Per questa misura è stata proposto il termine **eMergia** (eMergy), definita come l'energia disponibile già utilizzata direttamente o indirettamente per creare un servizio o un prodotto.

Se nella fotosintesi 1000 Calorie di luce solare vengono quindi convertite in 1 Caloria di cibo, il rapporto di trasformazione (*transformity*) è 1000 Calorie di sole per 1 Caloria di cibo, mentre l'eMergia del cibo è 1000 Calorie di energia solare.

L'eMergia può essere quindi considerata come una specie di "memoria di energia" poiché è ricavata dalla somma di tutte le energie utilizzate a vari livelli, che combinate portano al prodotto o al servizio considerato.

Il termine eMergia è stato introdotto per sostituire il termine *embodied energy*, che veniva utilizzato per misurare la qualità dell'energia, ma che si prestava a confusione con il significato di "contenuto energetico"

Livello trofico



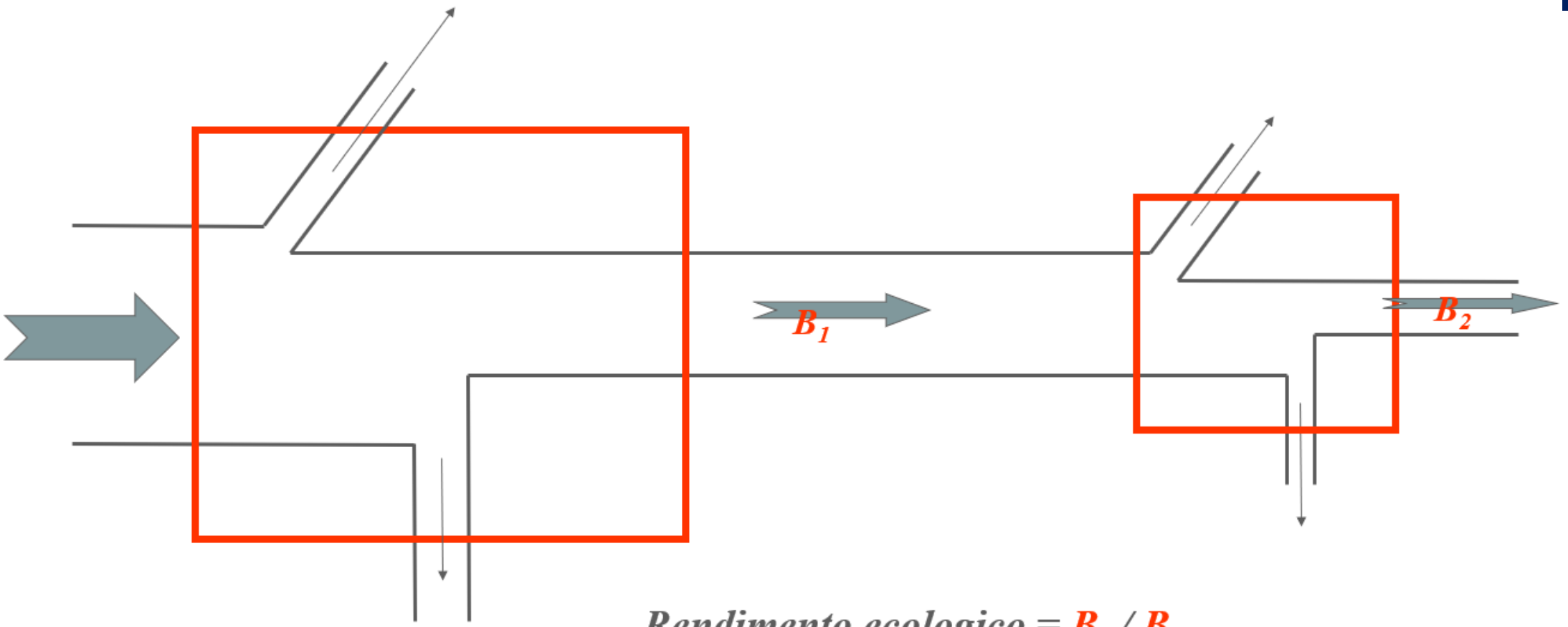
I: input di energia
A: energia assimilata
P: produzione
R: respirazione
B: biomassa
G: accrescimento
NU: energia non utilizzata

A/I = efficienza di assimilazione

Gli organismi che ottengono energia alimentare dal sole con lo stesso numero di passaggi, appartengono allo stesso livello trofico.

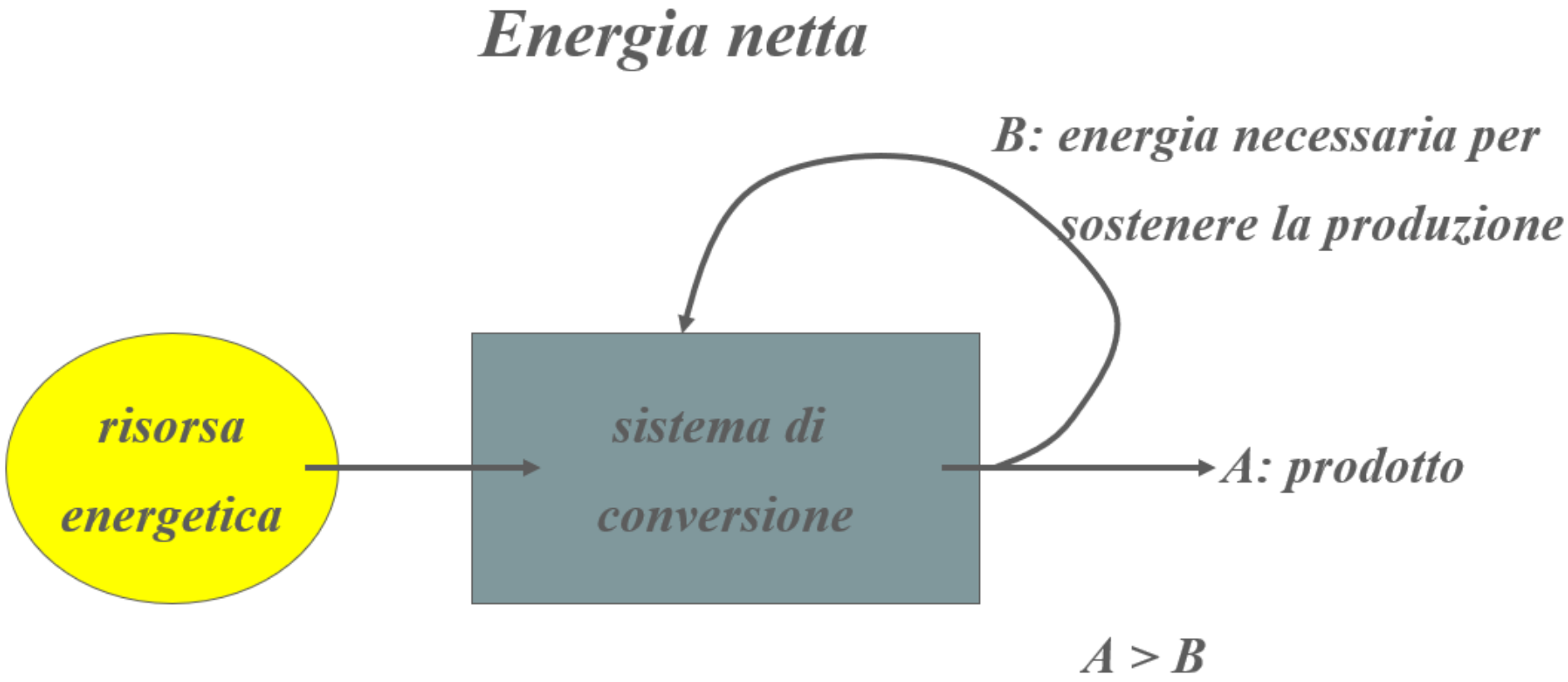
Il flusso di energia attraverso un livello trofico è uguale alla assimilazione totale (A) a quel livello, che è a sua volta uguale alla produzione di biomassa (P) più la respirazione (R).

Livello trofico



Rendimento ecologico (o efficienza ecologica): è il rapporto tra la biomassa incorporata da un livello trofico di consumatori e la biomassa del livello trofico delle loro prede.

Livello trofico



Il prodotto (A) deve essere maggiore di B (energia di retrocontrollo necessaria per sostenere la produzione) al fine di consentire alla sorgente di energia e al sistema di conversione di produrre energia netta

Rendimenti energetici

Rendimento di produzione

Percentuale di energia assimilata dagli organismi che viene incorporata in nuova biomassa nel livello n rendendosi disponibile per accrescere la biomassa.

$$RP_n = (P_n/A_n)*100$$

In generale è alto per gli invertebrati (30-40%), basso per i vertebrati ectotermi (5%) e bassissimo per i vertebrati endotermi (1-2%) a causa del dispendio energetico della termoregolazione.

Rendimento di assimilazione

Il rendimento di assimilazione è la percentuale di energia proveniente dal livello n-1 che è stata ingerita dal livello n e che viene assimilata dagli organismi, rendendosi disponibile per accrescere la biomassa o per compiere lavoro.

$$RA_n = (A_n/I_n)*100$$

In generale è basso per gli erbivori, detritivori e microbivori (20-30%) e alto per i carnivori (80%). Questo soprattutto a causa della scarsa metabolizzazione della componente vegetale refrattaria (lignina, cellulosa). I rendimenti degli erbivori possono essere alti in caso di granivori e frugivori (60-70%). Il resto non è assimilato ed entra nella catena del detrito sotto forma di feci.

Rendimento di consumo

Percentuale totale di produttività dal livello n-1 che viene consumata dal livello n

$$RC_n = (I_n/P_{n-1})*100$$

In generale è basso in ambienti forestali (5%), moderato in ambienti di pascolo (25%) e più alto in ambienti acquatici dominati da fitoplancton (50%). Per i carnivori può variare (minimo 5%).
Il resto non viene consumato e prima o poi entra nella catena del detrito.

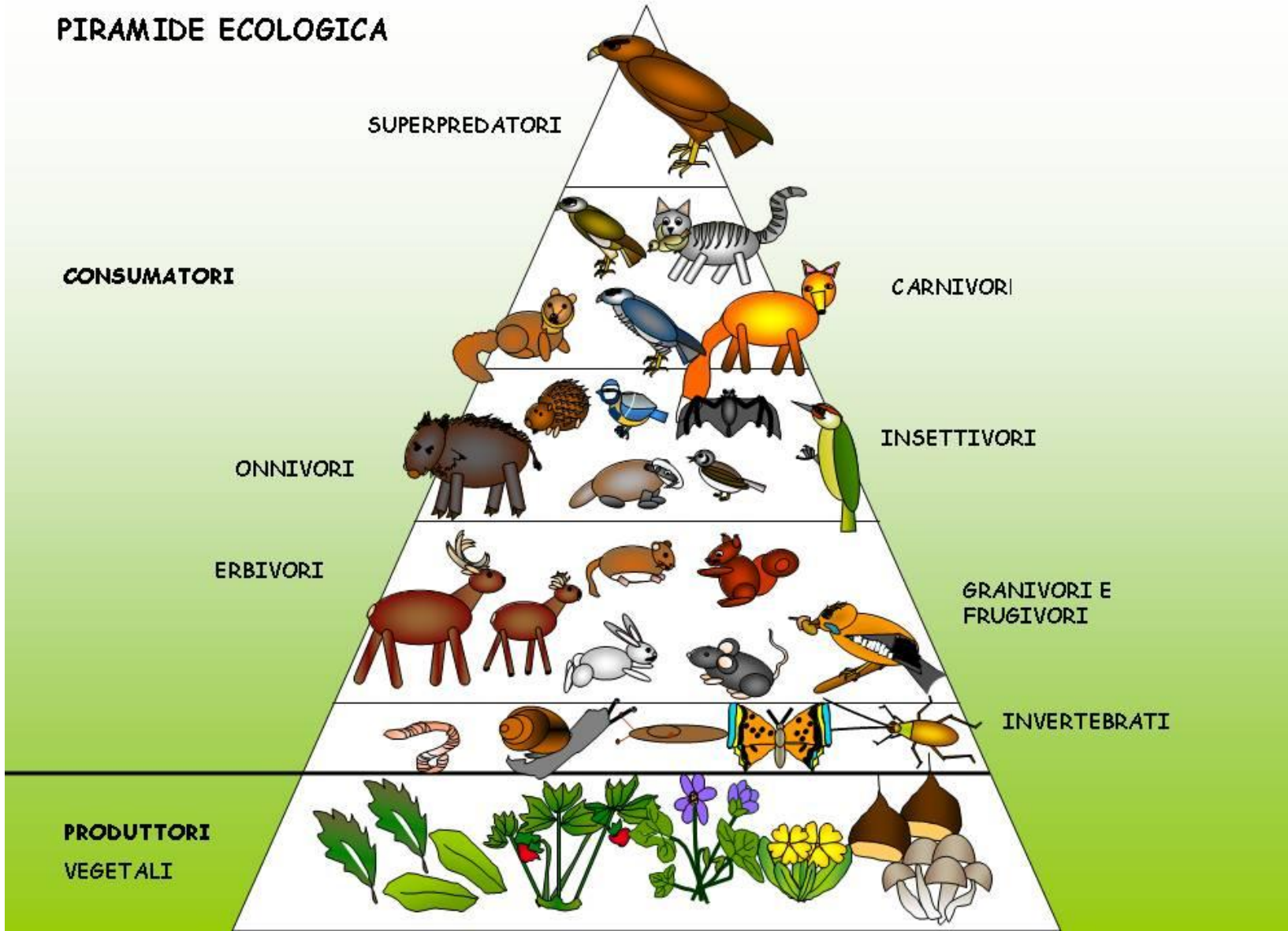
Piramidi ecologiche

Il primo livello (la base) è quello dei produttori

I livelli successivi sono quelli dei consumatori

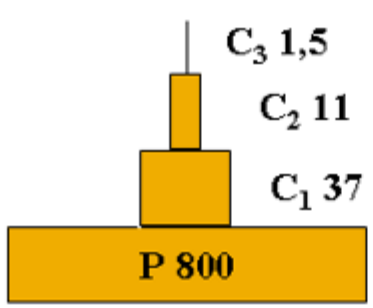
Le piramidi ecologiche possono essere di tre tipi:

- piramidi dei numeri
- piramidi di biomassa
- piramidi di energia

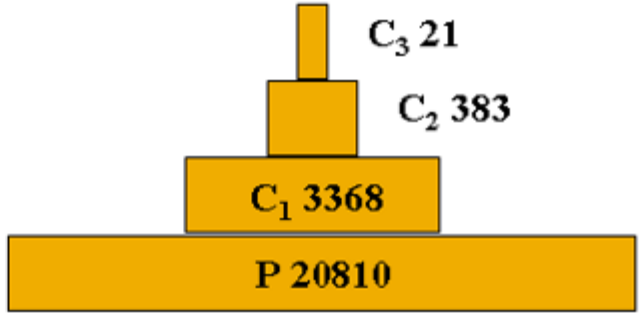


Variazioni di biomassa stagionali di biomassa

Piramidi di biomassa e di energia a Silver Springs (Florida)



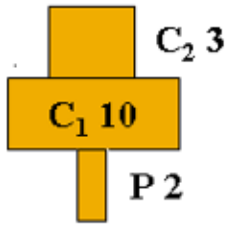
biomassa kcal/m²



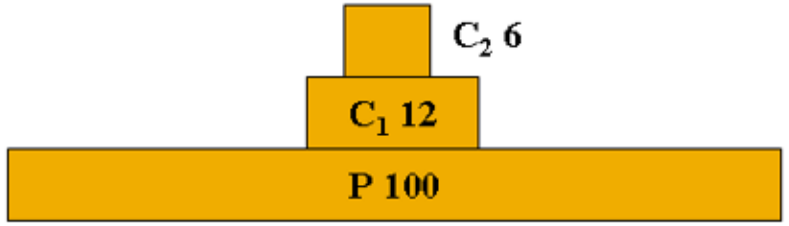
flusso energetico kcal/m²/anno

Variazioni stagionali nelle piramidi di biomassa in un lago italiano

biomassa kcal/m²



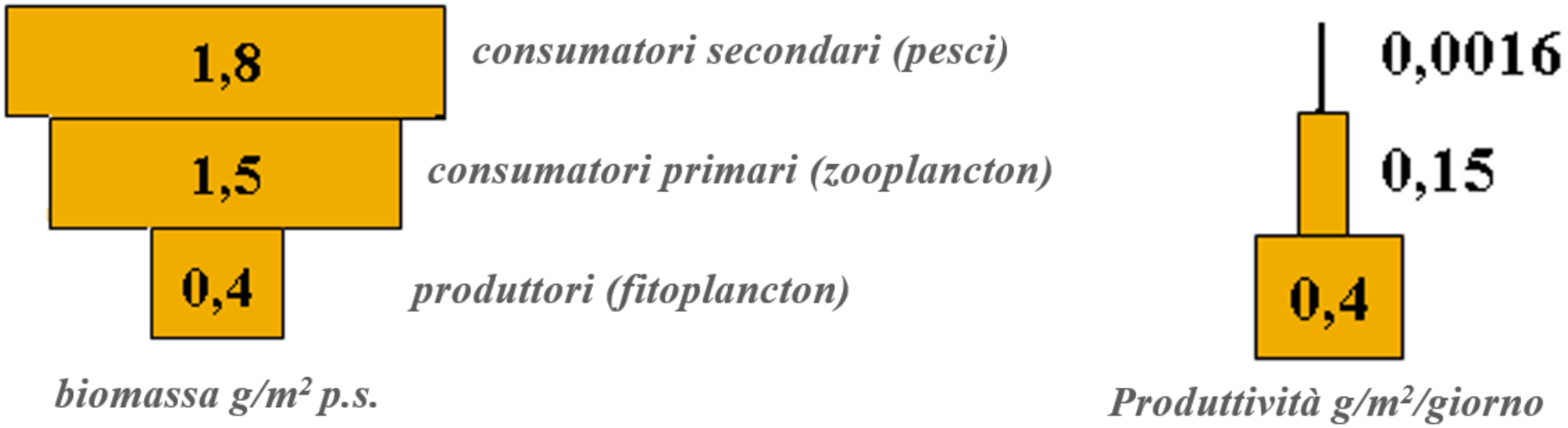
Primavera



Inverno

ATTENZIONE: Le piramidi di biomassa e dei numeri possono essere invertite (es. stagionalità) ma la piramide di energia non può mai essere invertita!

Flusso di materia nel Canale della Manica (Harvey, 1950)



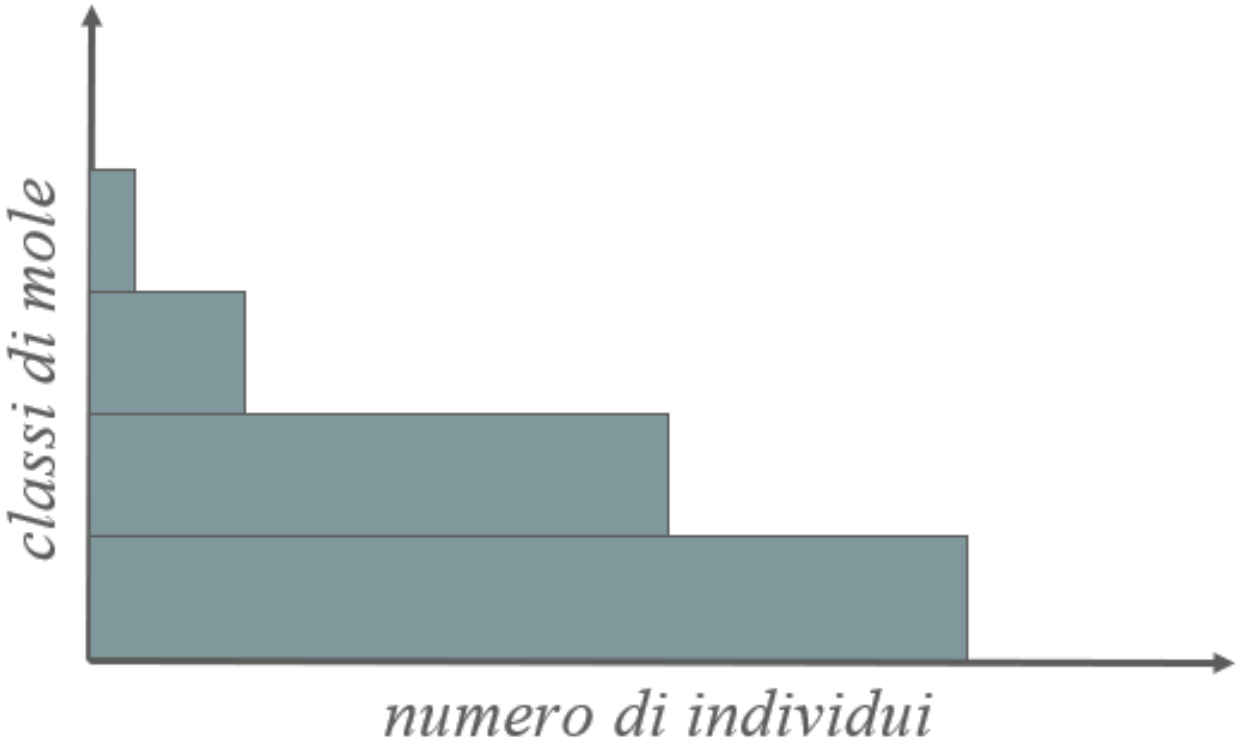
La elevata produttività nel Canale della Manica (0,4 g di biomassa di fitoplancton prodotta giornalmente per ogni metro quadro) è notevolmente superiore alla biomassa prodotta dai consumatori (0,15 e 0,0016 g/m^2 al giorno rispettivamente).

Questo spiega l'anomalia della piramide delle biomasse, che assume un aspetto rovesciato in quanto la biomassa dei pesci consumatori secondari, è superiore a quella dello zooplancton (consumatori primari) e del fitoplancton (produttori).

Queste piramidi rovesciate sono comuni nelle aree marine ad elevata produttività

Piramidi dei numeri e modelli di flusso di energia negli ecosistemi

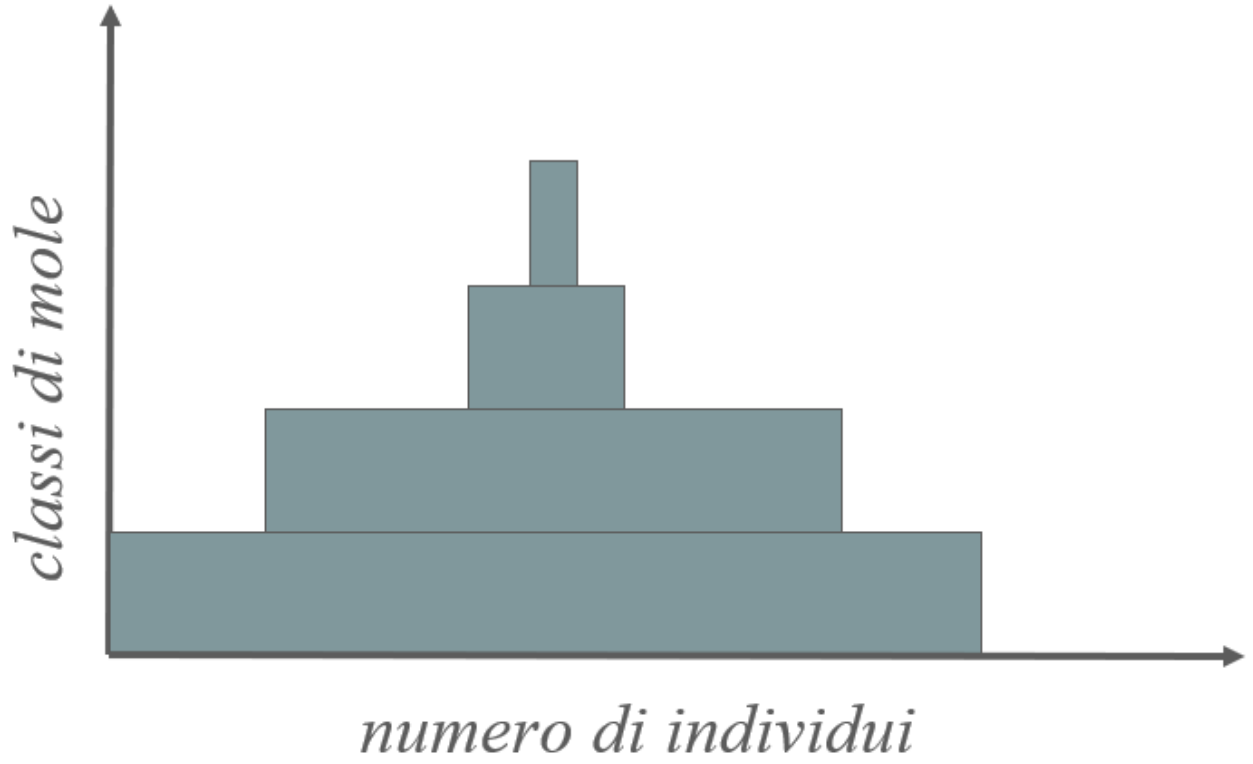
Il concetto di flusso dell'energia nell'ecosistema è legato alle osservazioni di Charles Elton (1927) che cercava di spiegare il perché della rarità degli animali di grandi dimensioni rispetto all'abbondanza di quelli piccoli.



Piramidi dei numeri e modelli di flusso di energia negli ecosistemi

Il concetto di flusso dell'energia nell'ecosistema è legato alle osservazioni di Charles Elton (1927) che cercava di spiegare il perché della rarità degli animali di grandi dimensioni rispetto all'abbondanza di quelli piccoli.

Ponendo l'asse y al centro della figura si ottiene una piramide, chiamata piramide dei numeri



Piramidi dei numeri e modelli di flusso di energia negli ecosistemi

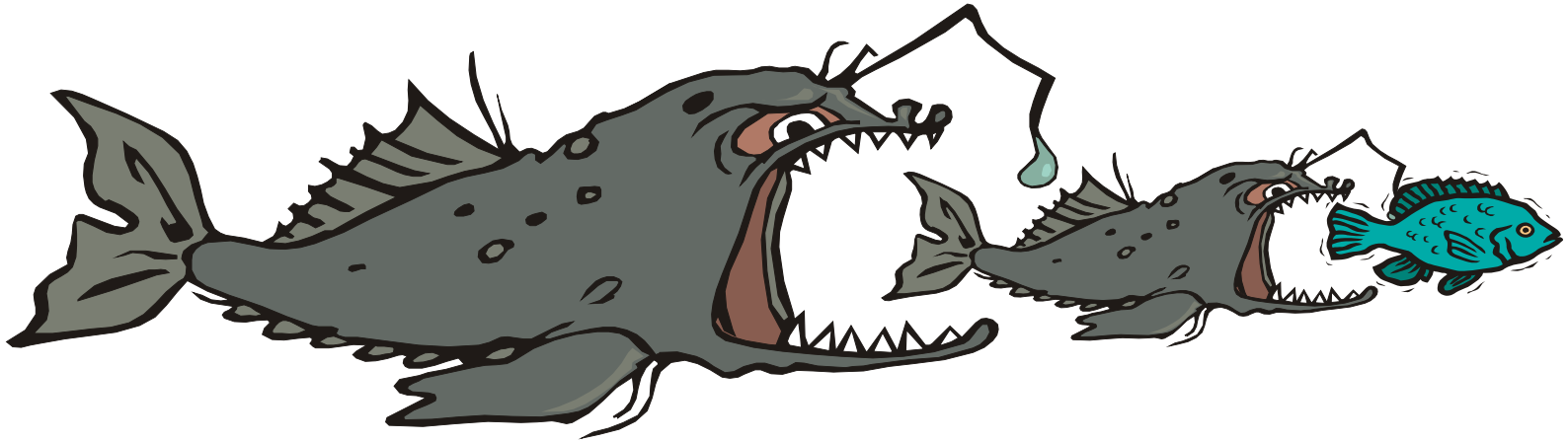
Il concetto di flusso dell'energia nell'ecosistema è legato alle osservazioni di Charles Elton (1927) che cercava di spiegare il perché della rarità degli animali di grandi dimensioni rispetto all'abbondanza di quelli piccoli.

I predatori sono significativamente più grandi delle loro prede in quanto (in teoria) devono essere più forti e più grandi della preda per poterla catturare (Elton, 1927)



Livello trofico

La rarità degli animali predatori (posti cioè ai vertici delle catene alimentari) è sicuramente collegata alla scarsa disponibilità energetica ai livelli trofici più elevati. Questo è in accordo con le leggi della termodinamica, che ci dicono come ad ogni trasformazione si abbia una perdita di energia, ma la forte diminuzione dell'energia a disposizione nei livelli trofici elevati non si spiega solo con questo.

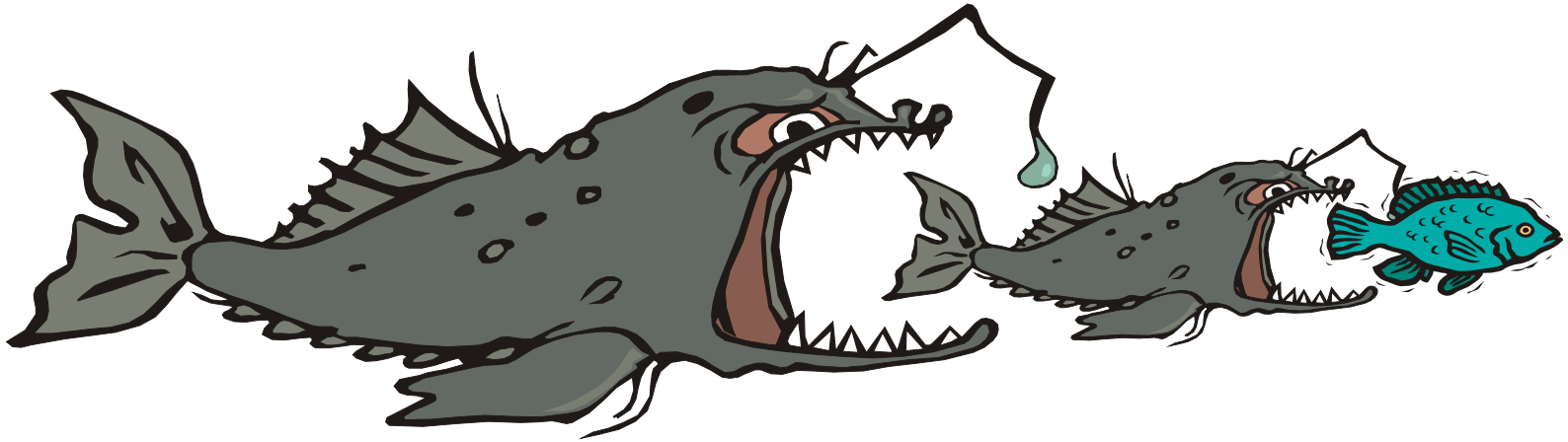


Perché la taglia corporea (M, massa) governa la struttura energetica delle comunità?

Livello trofico

il tasso metabolico (le richieste energetiche individuali, R) scala con la massa corporea (M) secondo la **legge allometrica di Kleiber**

$$R = aM^{b}$$



Il numero degli individui (N) che può essere soddisfatto da una data quantità di energia varia con le dimensioni individuali secondo un modello inverso

$$R = aN^{-b}$$

Livello trofico

Le relazioni tra dimensioni individuali, richieste energetiche degli individui e disponibilità di risorse possono chiaramente influenzare il modo in cui le specie interagiscono e l'intensità di tali interazioni.

Un modello comune è che specie coesistenti che utilizzino uno stesso set di risorse differiscano nelle loro dimensioni corporee.

Hutchinson (1959) ha proposto che la distanza in taglia tra specie debba tendere ad un valore di circa 1,28 in dimensioni lineari che corrisponde a circa 2 in peso.

Tale ipotesi ha trovato ampie conferme sperimentali anche se i meccanismi che determinano una regolarità nella ripartizione in taglia tra specie coesistenti devono ancora essere chiariti.

Meccanismi di controllo

Come vengono regolate l'abbondanza e la biomassa dei vari livelli in una rete trofica?

MECCANISMI DI CONTROLLO:

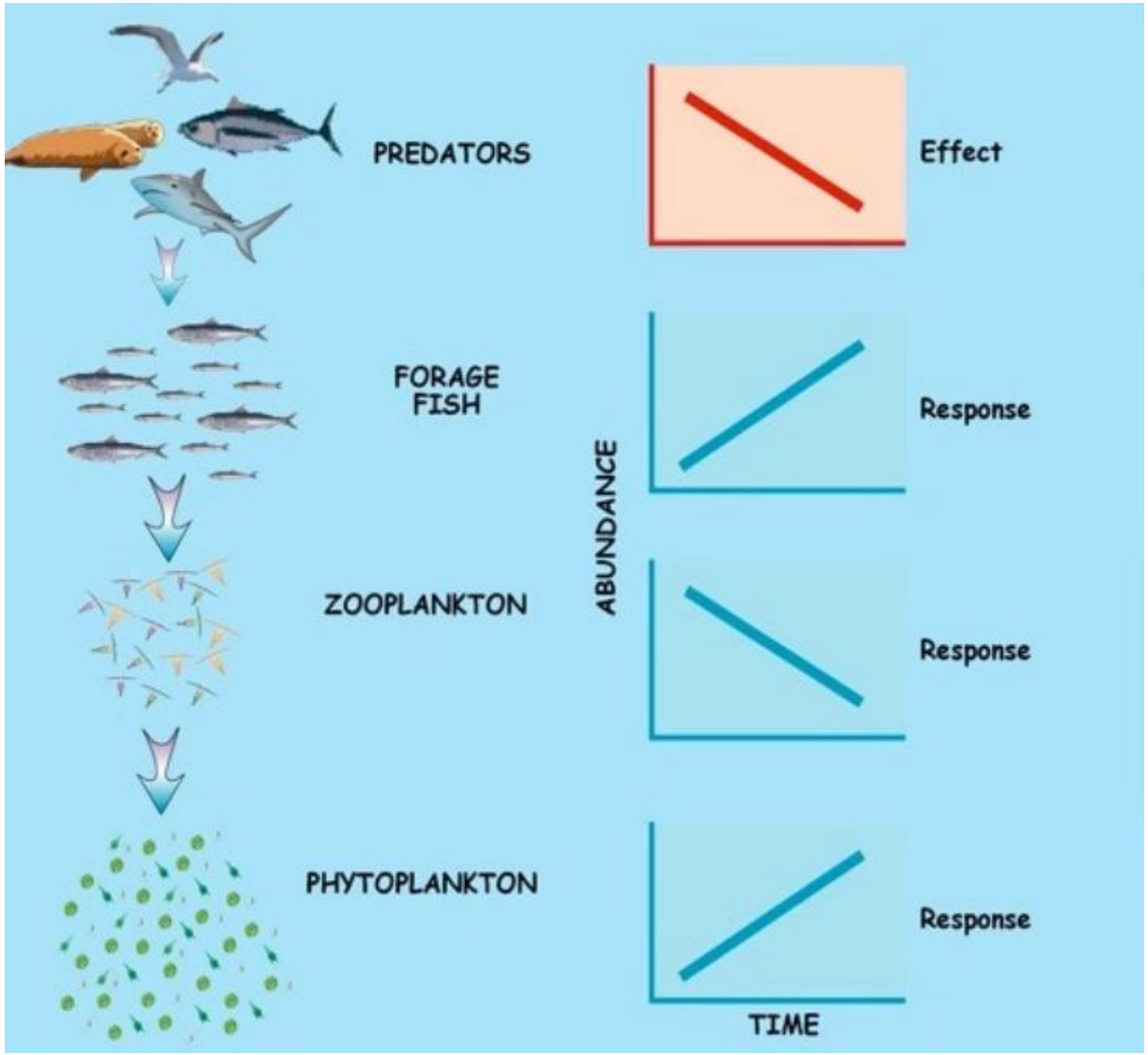
regolano struttura, stabilità e distribuzione di biomassa e flussi energetici:

- TOP-DOWN
- BOTTOM-UP
- WASP-WAIST



<u>I livelli trofici non sono compartimenti stagni:</u>
un'alterazione in un punto della rete (eccesso di nutrienti/eutrofizzazione, pesca intensiva su un pesce foraggio intermedio, rimozione/introduzione di un predatore apicale) si propaga a cascata lungo l'intera rete trofica, invertendo l'abbondanza relativa dei diversi comparti e modificando il funzionamento stesso dell'ecosistema

Meccanismi di controllo



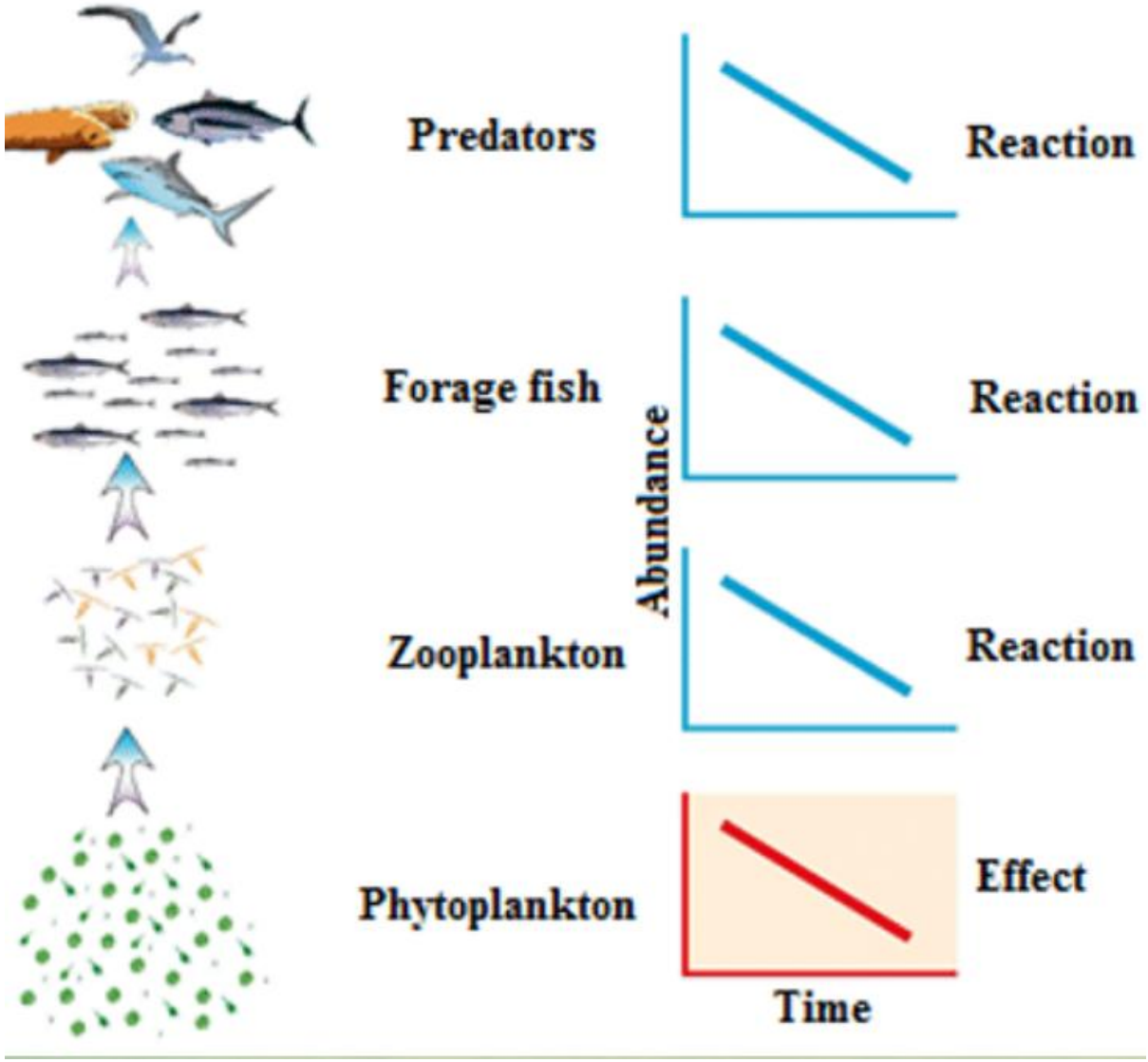
TOP-DOWN

Il predatore apicale controlla la densità della popolazione delle sue prede

Cascate trofiche

Cambiamenti nelle densità dei predatori apicali che svolgono un controllo di tipo top-down inducono effetti sui livelli trofici sottostanti determinando drastici cambiamenti nell'ecosistema.

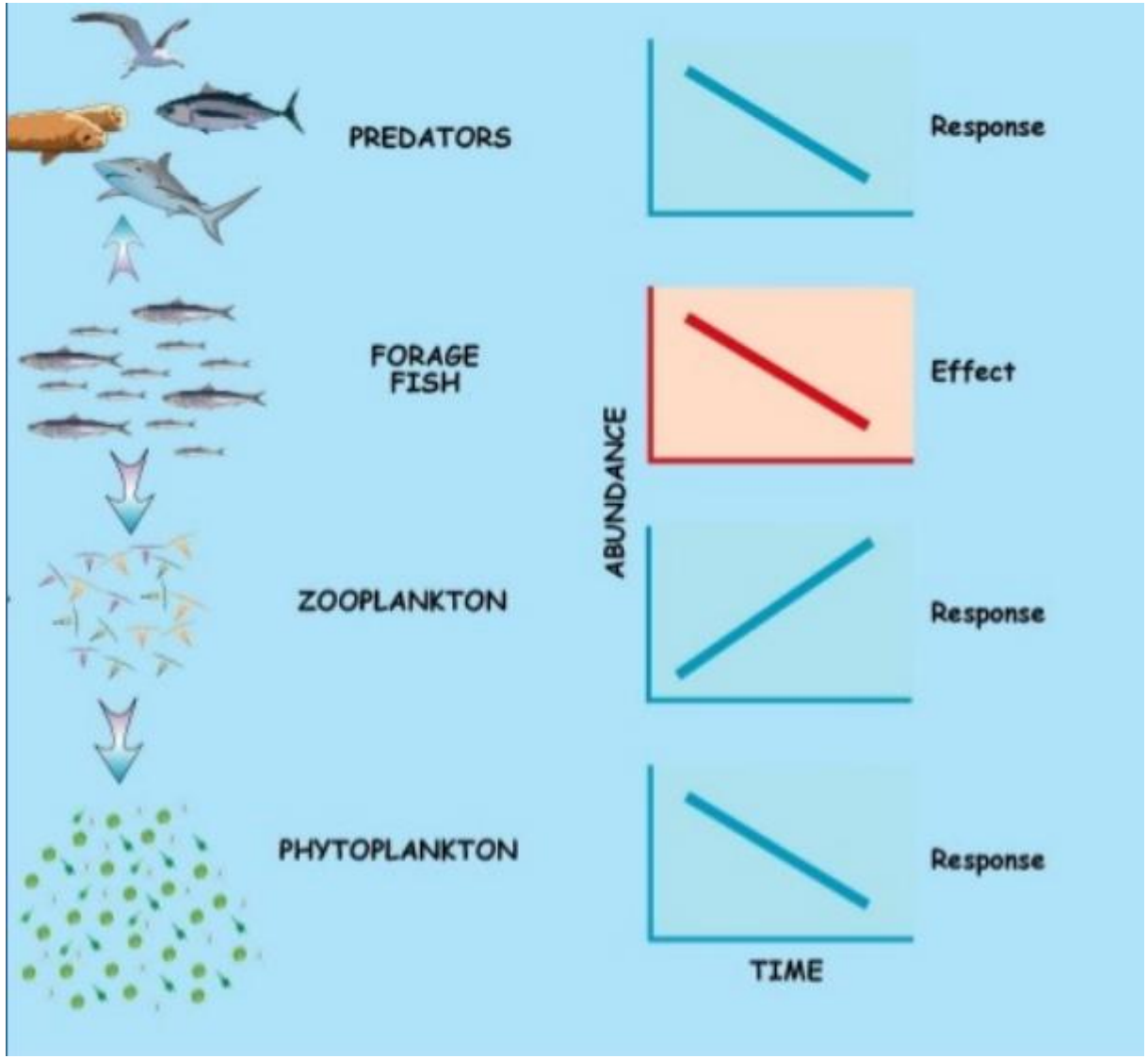
Meccanismi di controllo



BOTTOM - UP

Il cambiamento primario avviene ai livelli trofici più bassi (produttori primari), spesso innescato da variazioni nei fattori chimico-fisici ambientali (es. apporto di nutrienti, luce, precipitazioni), e si propaga dal basso verso l'alto lungo tutta la rete trofica. È quindi la disponibilità di risorse ed energia alla base a limitare la densità dei livelli superiori.

Meccanismi di controllo

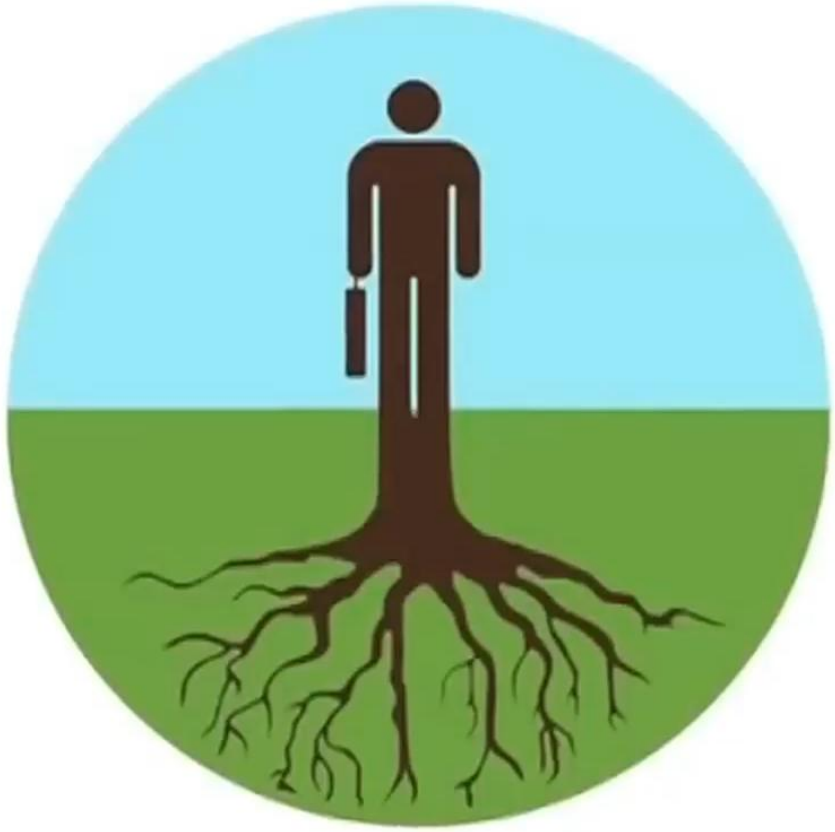


Wasp - Waist

Il cambiamento avviene al livello trofico intermedio (es. aumento di una specie che diventa monopolizzante il livello per esplosione demografica).

L'effetto si ripercuote sia in alto che in basso ed ha caratteristiche intermedie tra i controlli top-down e bottom-up.

Meccanismi di controllo: l’esempio di Yellowstone



https://www.youtube.com/watch?v=bnN8f3Hcp9k&t=19s

Meccanismi di controllo: l’esempio dei laghi d’alta quota



- Ecosistemi oligotrofici
- Reti trofiche corte, semplificate
- Assenza di predatori vertebrati nectonici
- Posizioni apicali della rete trofica occupate da invertebrati predatori





Cascata trofica: l'esempio dei laghi d'alta quota



- Introduzione di un salmonide per fini alieutici (es: *Salvelinus fontinalis*)
- Aggiunta di un nuovo livello trofico apicale



Cascata trofica: l'esempio dei laghi d'alta quota



1- TOP-DOWN

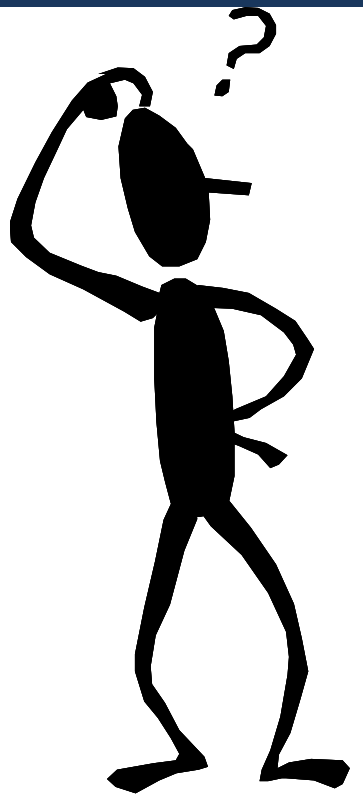
- Nuovo Predatore Apicale (senza competitori)
- Scomparsa di alcune specie di invertebrati, a favore di altre
- Alterazione delle catene di pascolo/detrito
- **Cascata trofica sia nel comparto pelagico che bentonico-litorale**

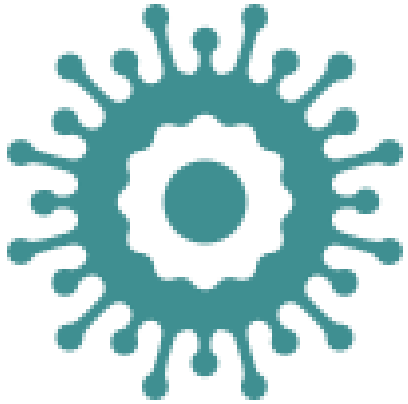
2- BOTTOM – UP (retroazione)

- Escrezione e rilascio di nutrienti (azoto e fosforo)
- «Pompaggio» nutrienti disciolti verso la colonna d'acqua
- crescita del fitoplancton

3- Cascata trans-ecosistemica

- Diminuzione degli insetti adulti e degli anfibi che riescono a metamorfosare
- Diminuzione di risorse trofiche per predatori terrestri (uccelli insettivori, anfibi adulti…)





- **DOMANDE??**