

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

Prof. Monia Renzi (BIO/07)

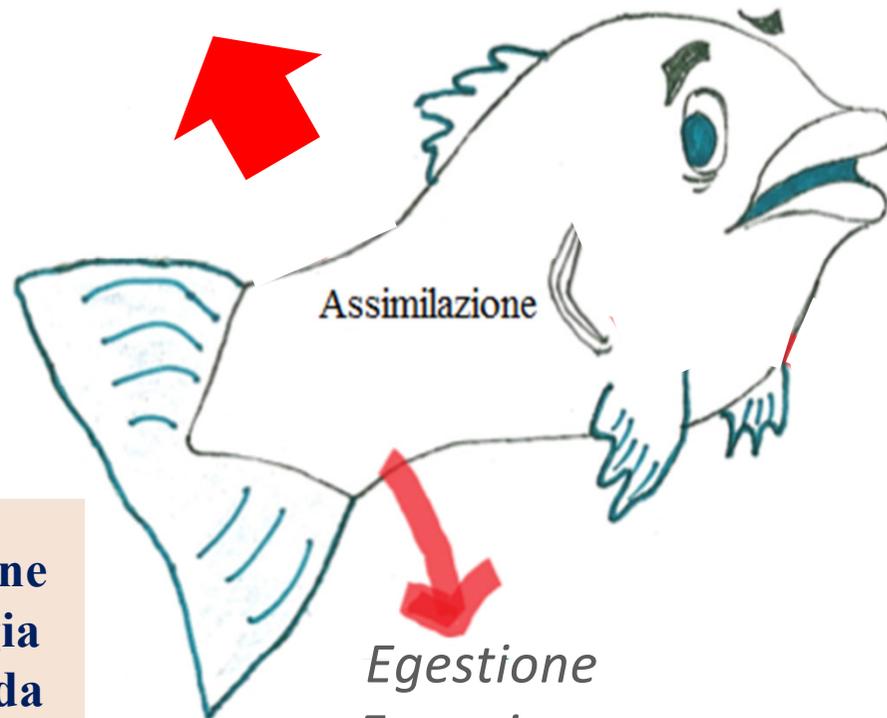
mrenzi@units.it

III anno – I Semestre

PRODUZIONE SECONDARIA

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

**Produzione
Crescita e riproduzione**



Ingestione

Assimilazione

*Egestione
Escrezione
Respirazione*

**Ripartizione
dell'energia
assorbita da
un produttore
secondario**

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

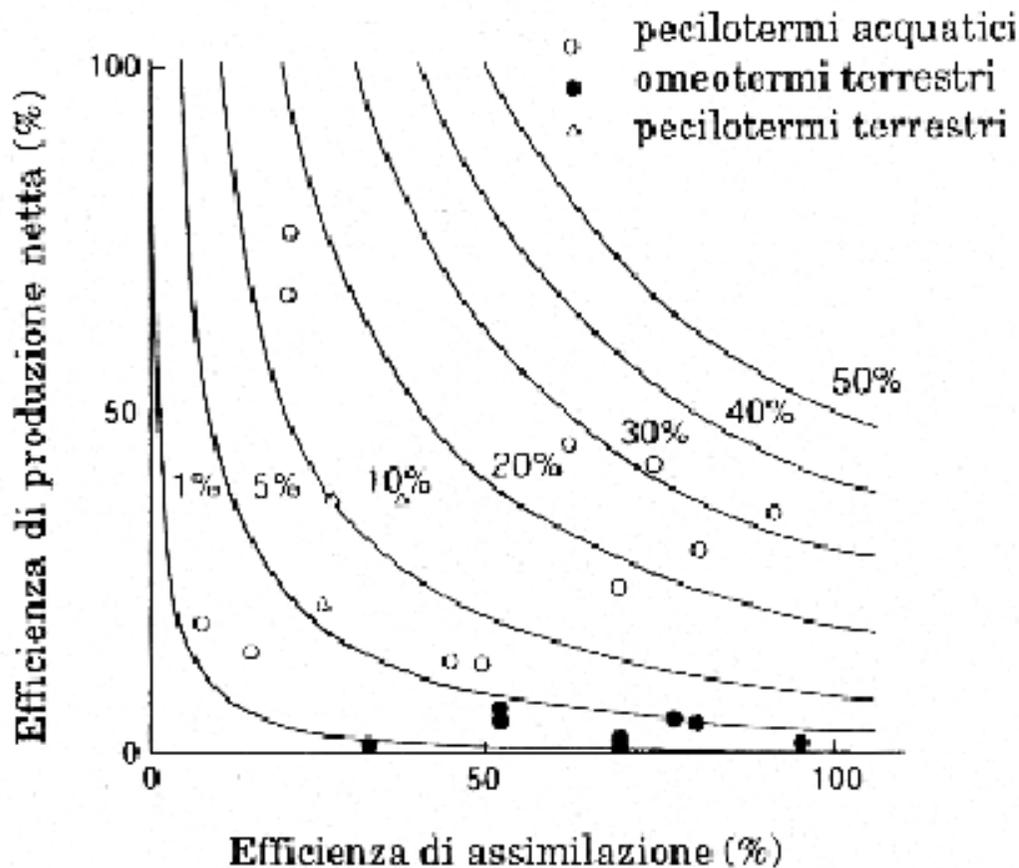
Efficienza di assimilazione = Produzione secondaria lorda
(assimilazione)

Ingestione

Efficienza produzione netta = Produzione secondaria netta
Produzione secondaria lorda

Efficienze di assimilazione (eAss), di produzione netta (eN) e di produzione lorda (eL) per diversi animali in relazione alla loro dieta e alla loro fisiologia (Ricklefs, 1979).

Relazione tra efficienza di assimilazione e efficienza di produzione netta



Specie	Habitat	Dieta	Efficienze (%)		
			e _{ASS}	e _N	e _L
Pecilotermini acquatici					
<i>Megalops cyprinoides</i> (pesce)	Acque dolci	Pesci	92	35	32
Leucisco (pesce)		Invertebrati		7	
<i>Nanavax</i> (gasteropode predatore)	Intertidale	Invertebrati	62	45	28
Lasca (pesce)		Piante		7	
<i>Modiolus demissus</i> (mollusco)	Paludi salate	Fitoplankton		30	
<i>Hyallolella azteca</i> (anfipode)	Laghi	Alghe	15	15	2.3
<i>Ferrissia rivularis</i> (patella di fiume)	Acque correnti	Alghe	8	19	1.5
<i>Tegula funebris</i> (gasteropode)	Intertidale	Alghe	70	24	17
Nematodi	Paludi salate	Detrito		25	
<i>Littorina irrorata</i> (gasteropode)	Paludi salate	Detrito	45	14	6.3
<i>Calospecta dives</i> (moscerino)	Sorgenti	Detrito		25	
<i>Scrobicularia plana</i> (bivalve)	Piani tidali	Fitoplankton	61	21	13
Pecilotermini terrestri					
Formica	Campi	Semi		0.3	
Cavalletta delle paludi	Paludi salate	<i>Spartina</i>	27	37	10
<i>Melanoplus</i> (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		
Omeotermini 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 (<i>Lepus</i>)	Cespugli del deserto	Vegetazione	52	5.5	2.9
Coniglio coda di cotone (<i>Sylvilagus</i>)	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	3 0.48

APPROCCIO FUNZIONALISTICO ALLO STUDIO DEGLI ECOSISTEMI (ODUM, 1959)

Secondo questo approccio non sono rilevanti le specie ma le funzioni che ricoprono nell'ecosistema; due diversi punti di vista:

•Studio dei Flussi di energia.

I vari organismi della comunità sono visti come comparti che accumulano energia e trasformano energia.

I produttori primari, ricevono energia solare, la fissano con la fotosintesi, la passano agli erbivori, gli eterotrofi, ricevono 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 funzionamento ininterrotto di un ecosistema.**

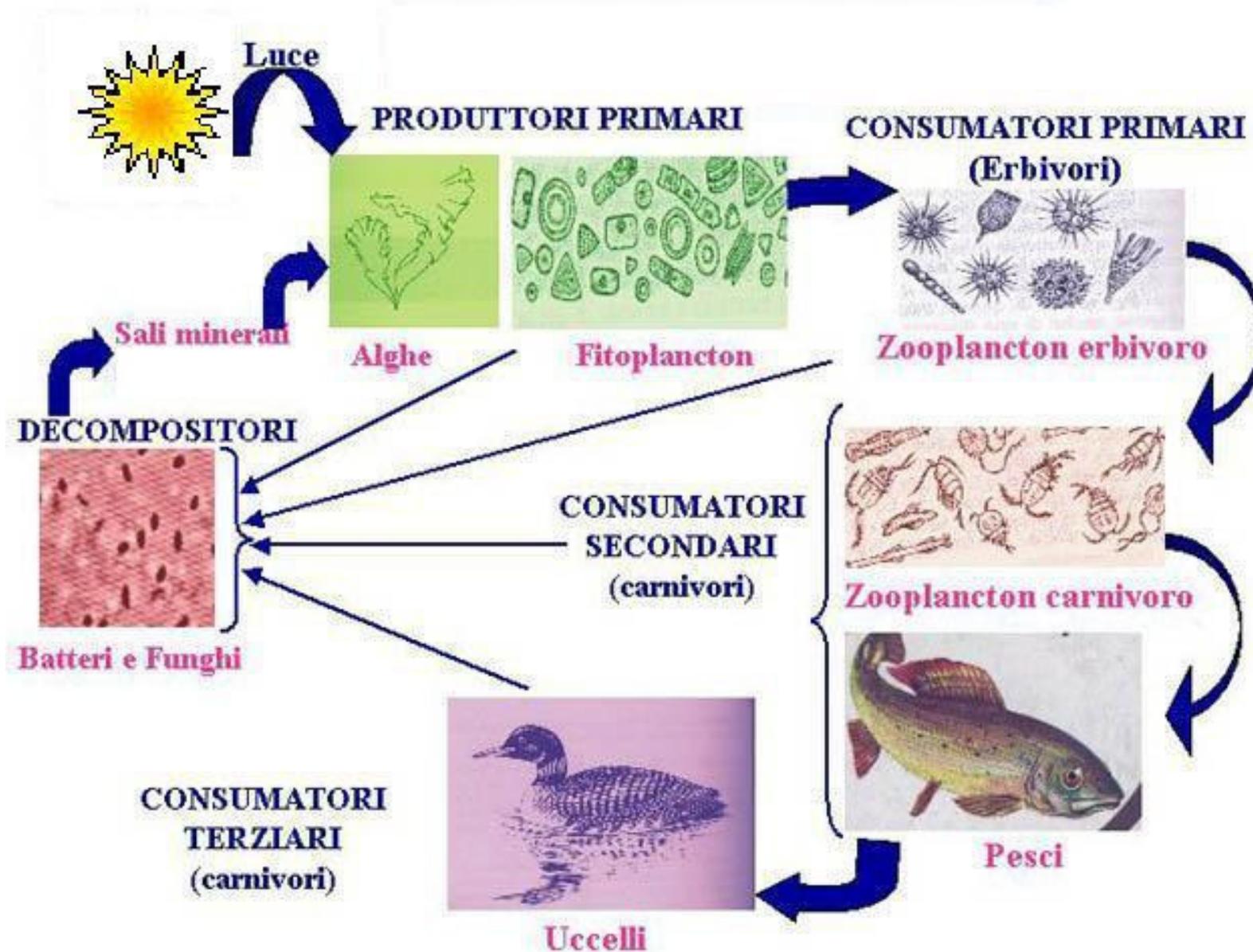
•Flussi di materia.

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

Esistono due tipi fondamentali di catene alimentari:

Catena alimentare di pascolo:

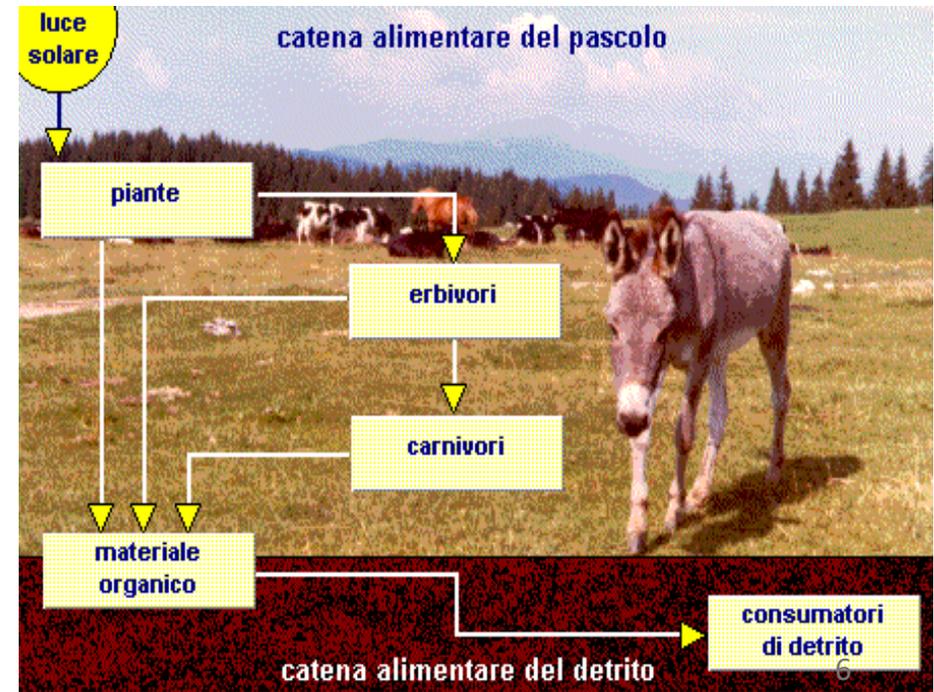


Catena alimentare di detrito:

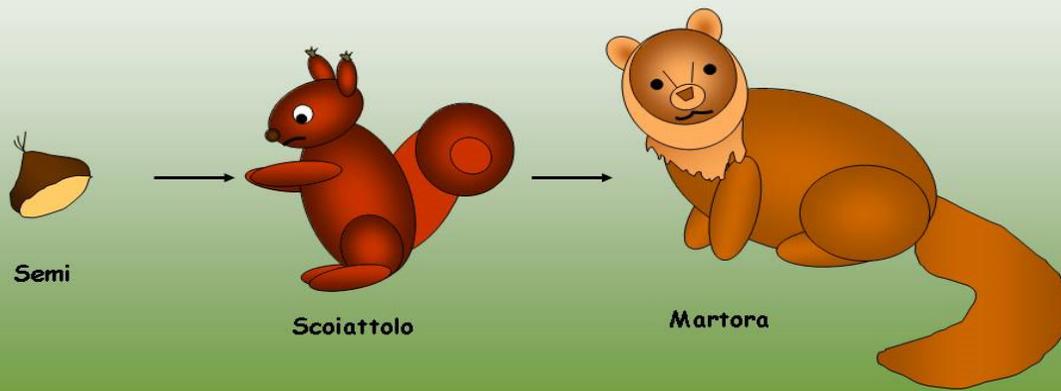


Catena alimentare

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

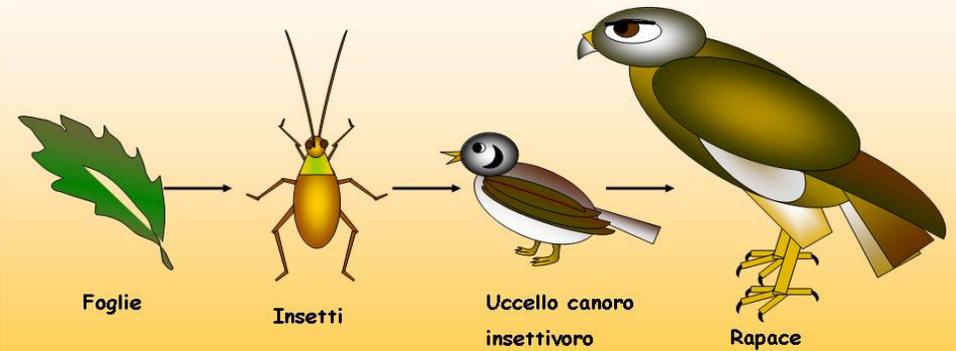


Catena alimentare: semi, scoiattolo, martora.



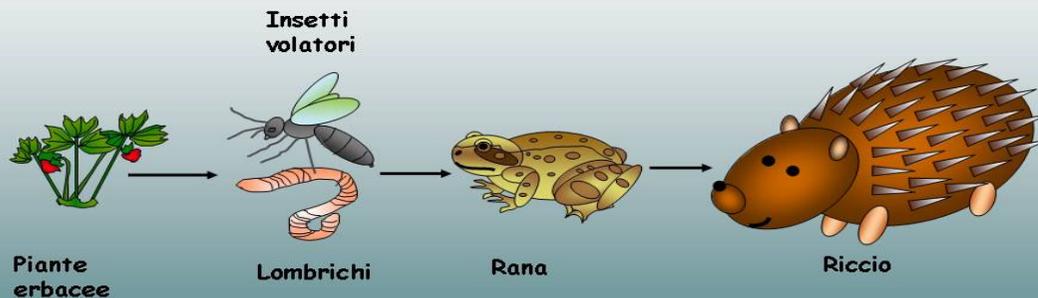
La castagna fa parte del primo livello trofico cioè quello dei produttori, lo scoiattolo che la mangia è un consumatore primario (secondo livello trofico), la martora che preda lo scoiattolo è il consumatore secondario (terzo livello trofico).

Catena alimentare: foglia, insetti, uccello canoro insettivoro, rapace.



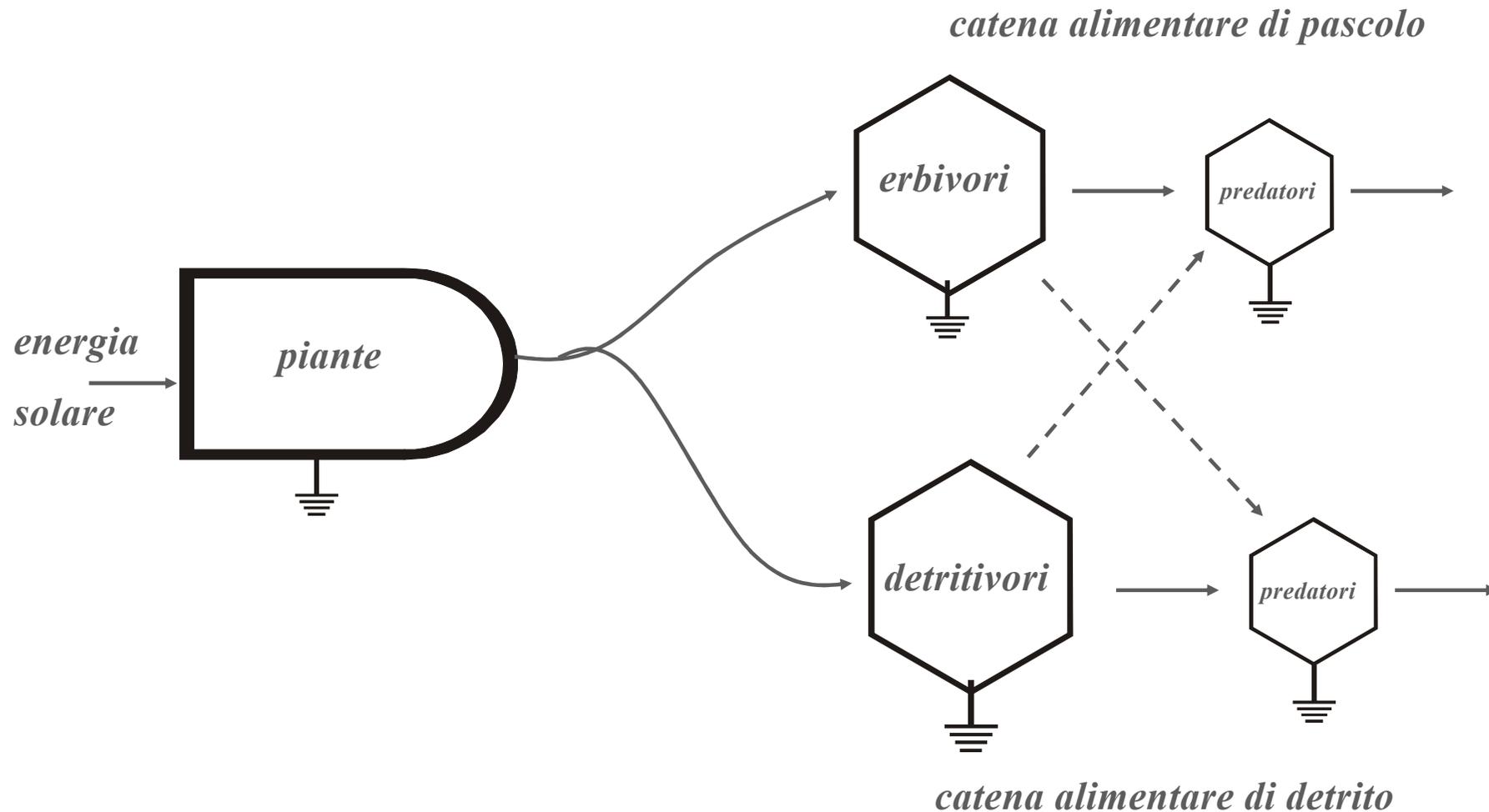
Le foglie sono i produttori (primo livello trofico), l'insetto che si nutre delle foglie è il consumatore primario (secondo livello trofico), l'uccello insettivoro è il consumatore secondario (terzo livello trofico) e il rapace che preda l'uccello insettivoro è il consumatore terziario (quarto livello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

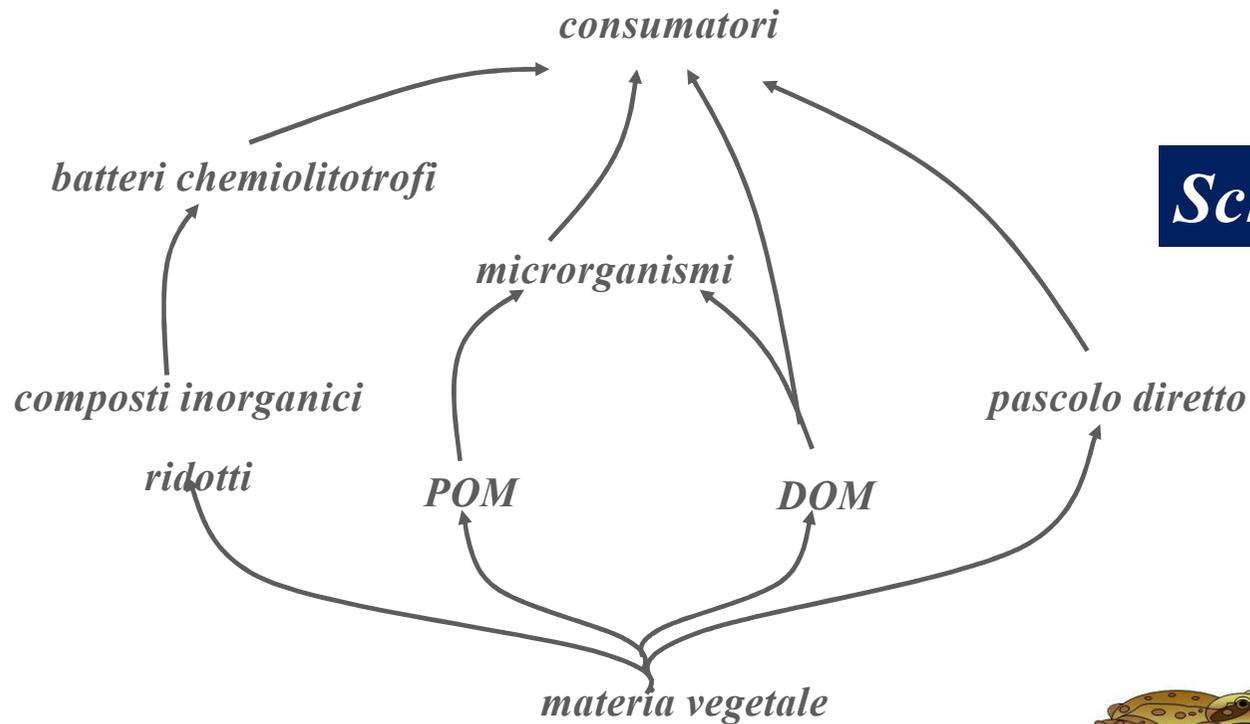
Catena alimentare: piante erbacee, insetti volatori e lombrichi, rana, riccio.



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).

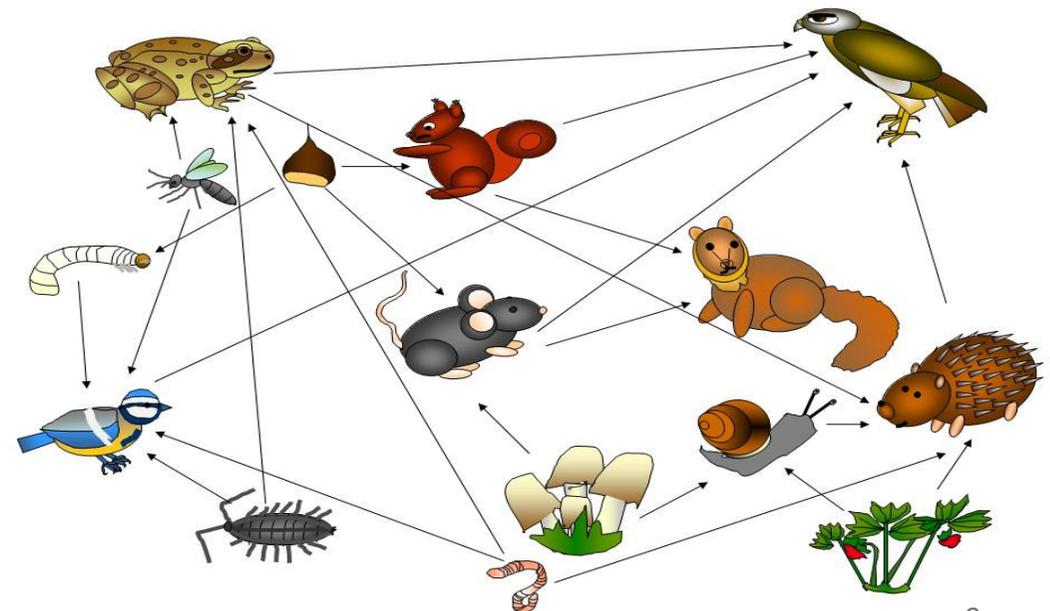
La catena alimentare di pascolo e la catena alimentare di detrito non sono entità separate, bensì intimamente unite nella rete alimentare, come mostra questo modello di flusso energetico a forma di Y.

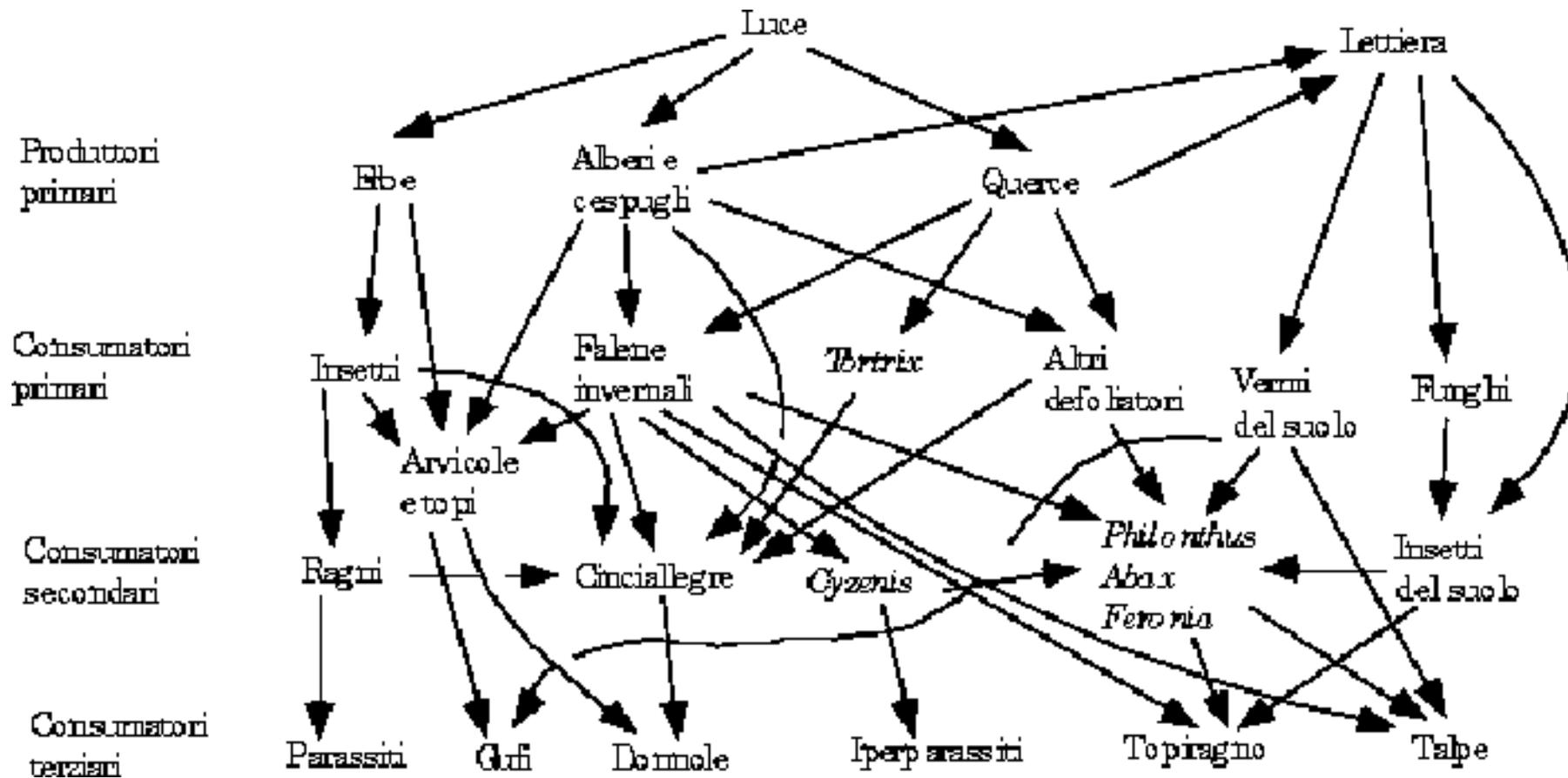




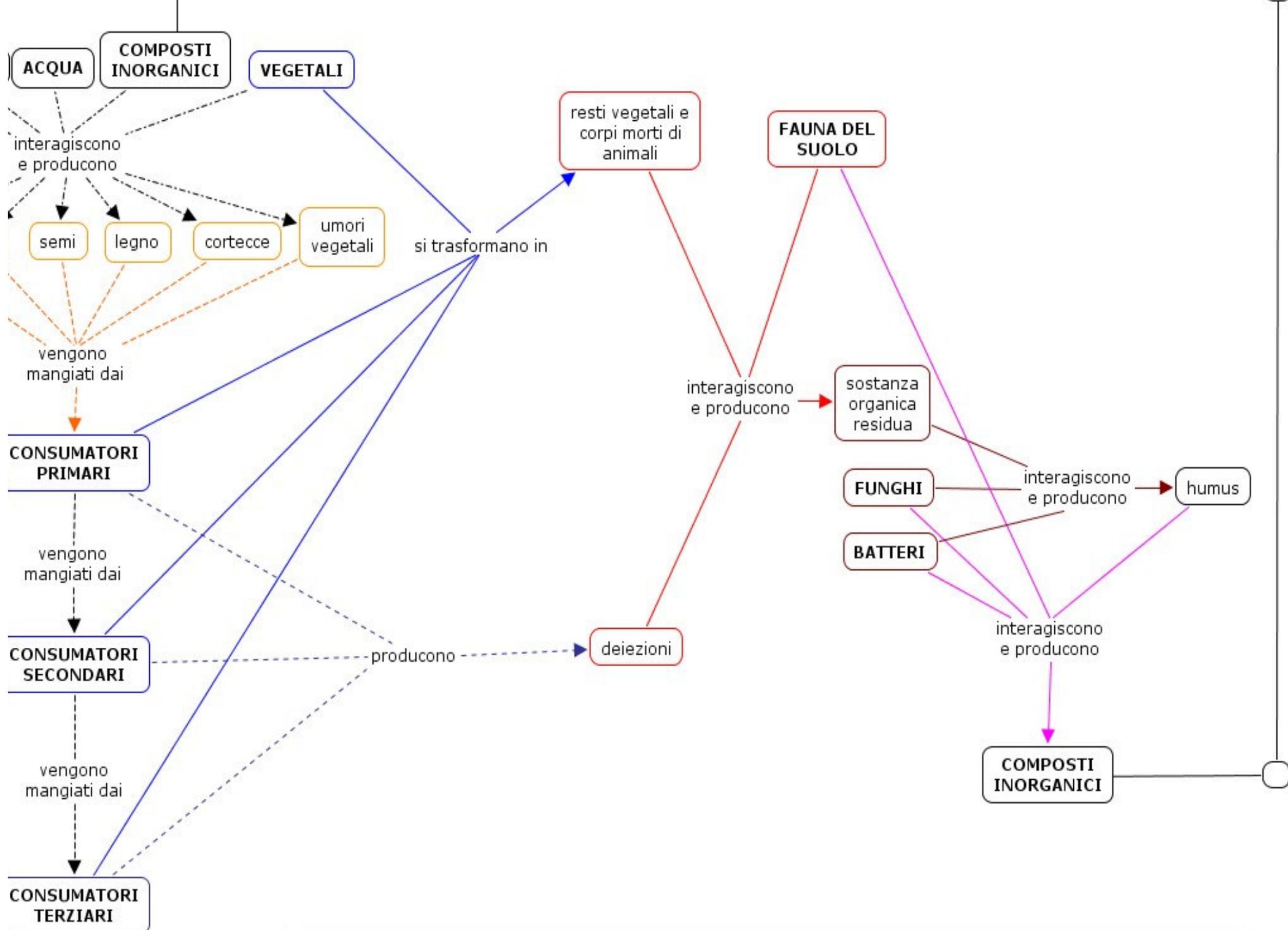
Schema di rete alimentare

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.



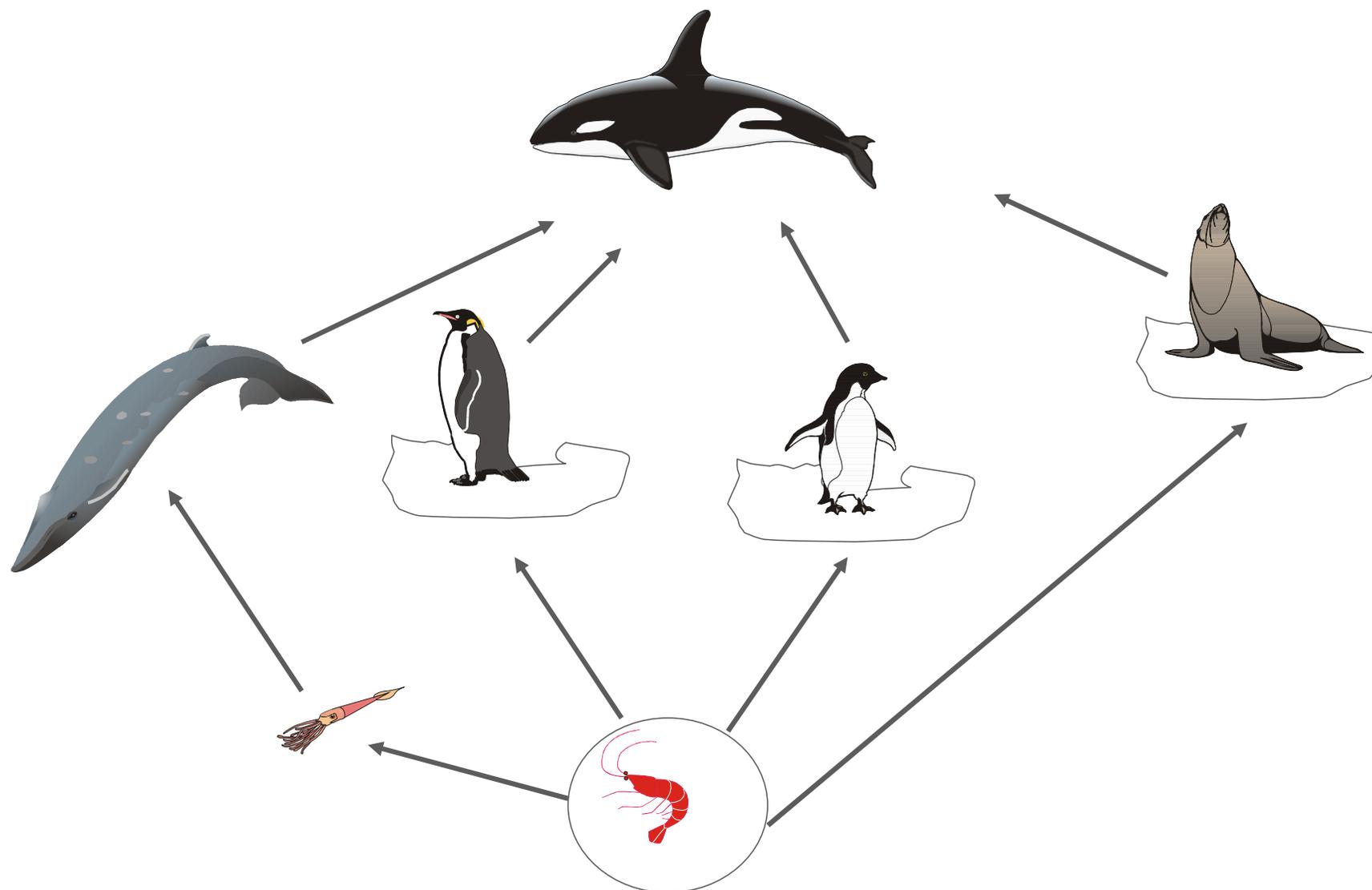


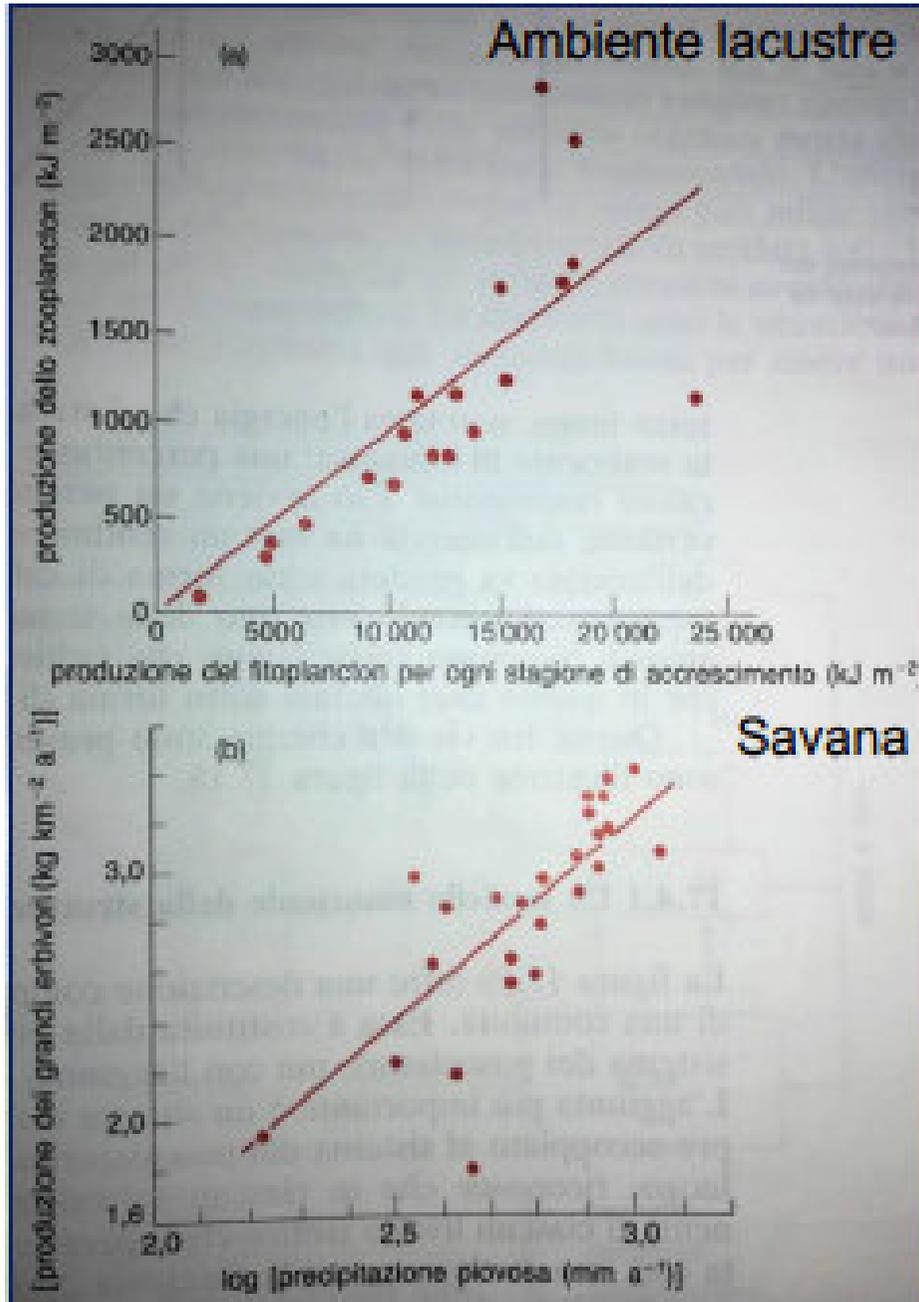
Rete trofica semplificata per la foresta di Wytham Woods in Inghilterra ([Varley, 1970](#)).



RETE PER IL TRASFERIMENTO DELL'ENERGIA NELL'AMBIENTE DEL BOSCO

Schema di alcuni aspetti della catena alimentare dell'Oceano Antartico

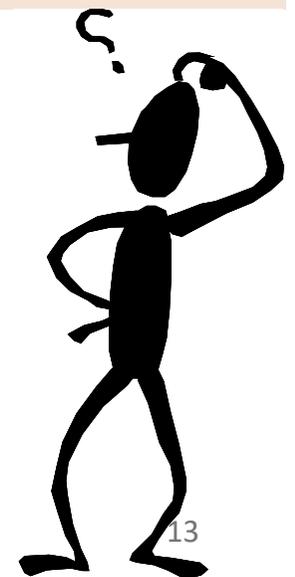




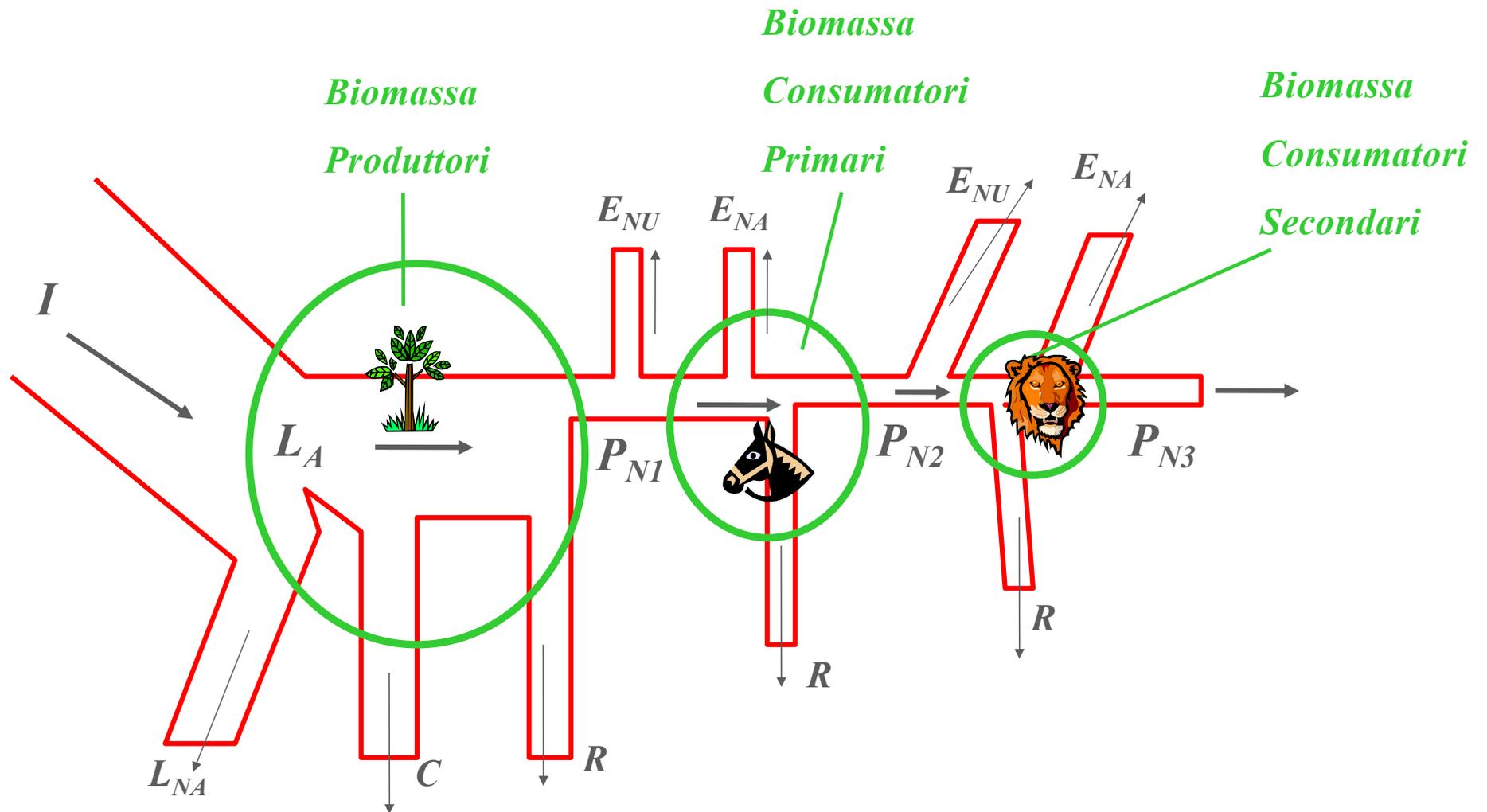
La produttività primaria rappresenta il passo fondamentale per la produzione di materia organica. Tale materia è poi consumata dagli erbivori. Produttività primaria e produttività secondaria degli erbivori sono relazionati e questi ultimi sono strettamente dipendenti dai primi.

Infatti sono correlate ma con una differenza...

... dove finisce la materia (energia) prodotta dal primo livello che non passa al secondo?



Trasferimento dell'energia attraverso livelli trofici successivi



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.

... dove finisce la materia (energia) prodotta dal primo livello che non passa al secondo?

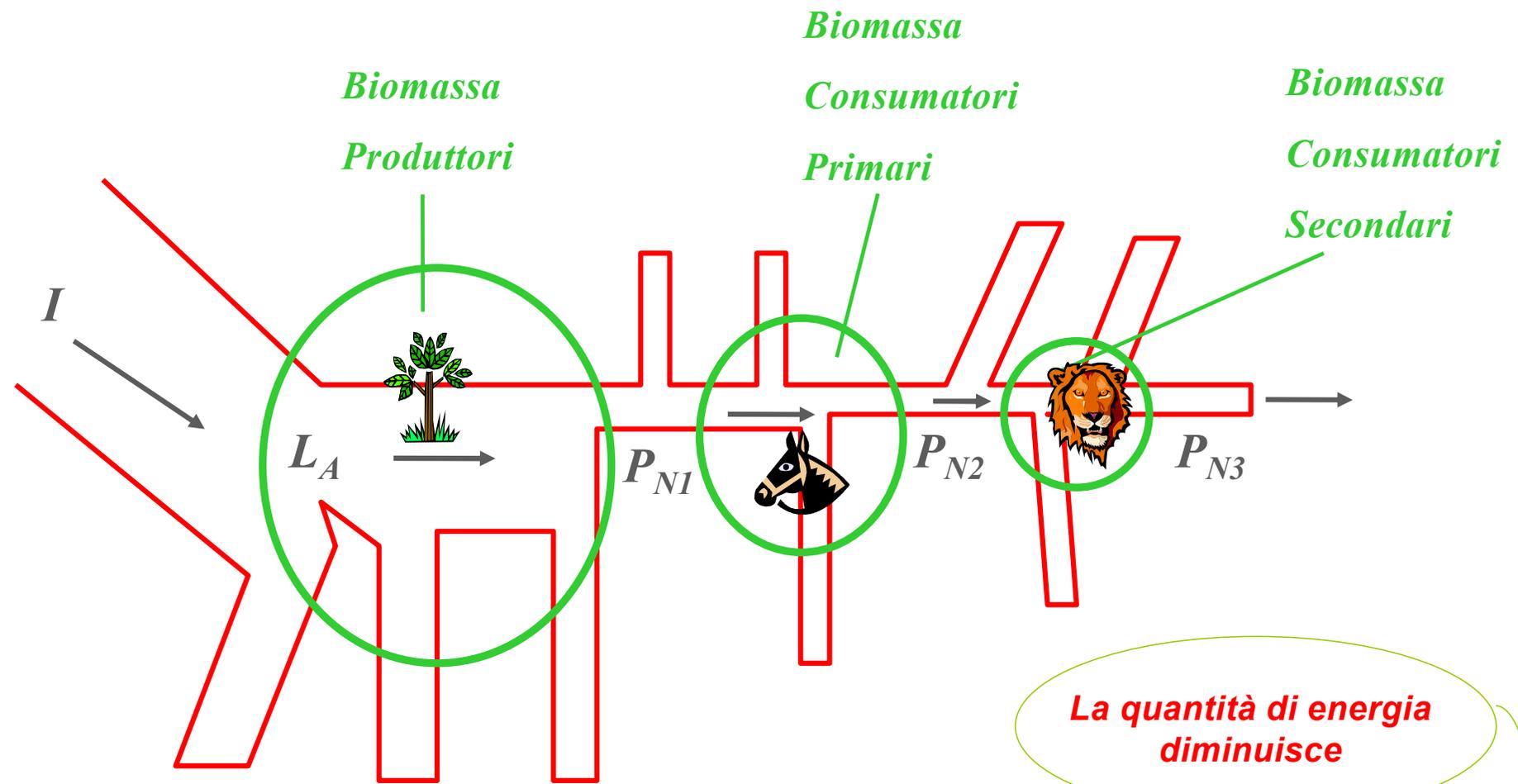


- ❖ Non tutta la biomassa proveniente dal livello trofico precedente entra nel successivo.

Una grande parte entra direttamente nel comparto del detrito.

- ❖ Non tutta la biomassa che entra in un livello viene assimilata e resa disponibile per formare nuova biomassa, **una parte importante forma le escrezioni biologiche** (detrito).
- ❖ L'energia assimilata non è tutta disponibile per formare altra biomassa. Parte si perde in forma di calore. Questo perché gli organismi compiono lavoro il che degrada energia chimica in energia termica inutilizzabile e perché **l'efficienza dei passaggi di livello non è 100%** (secondo principio della termodinamica).

Trasferimento dell'energia attraverso livelli trofici successivi



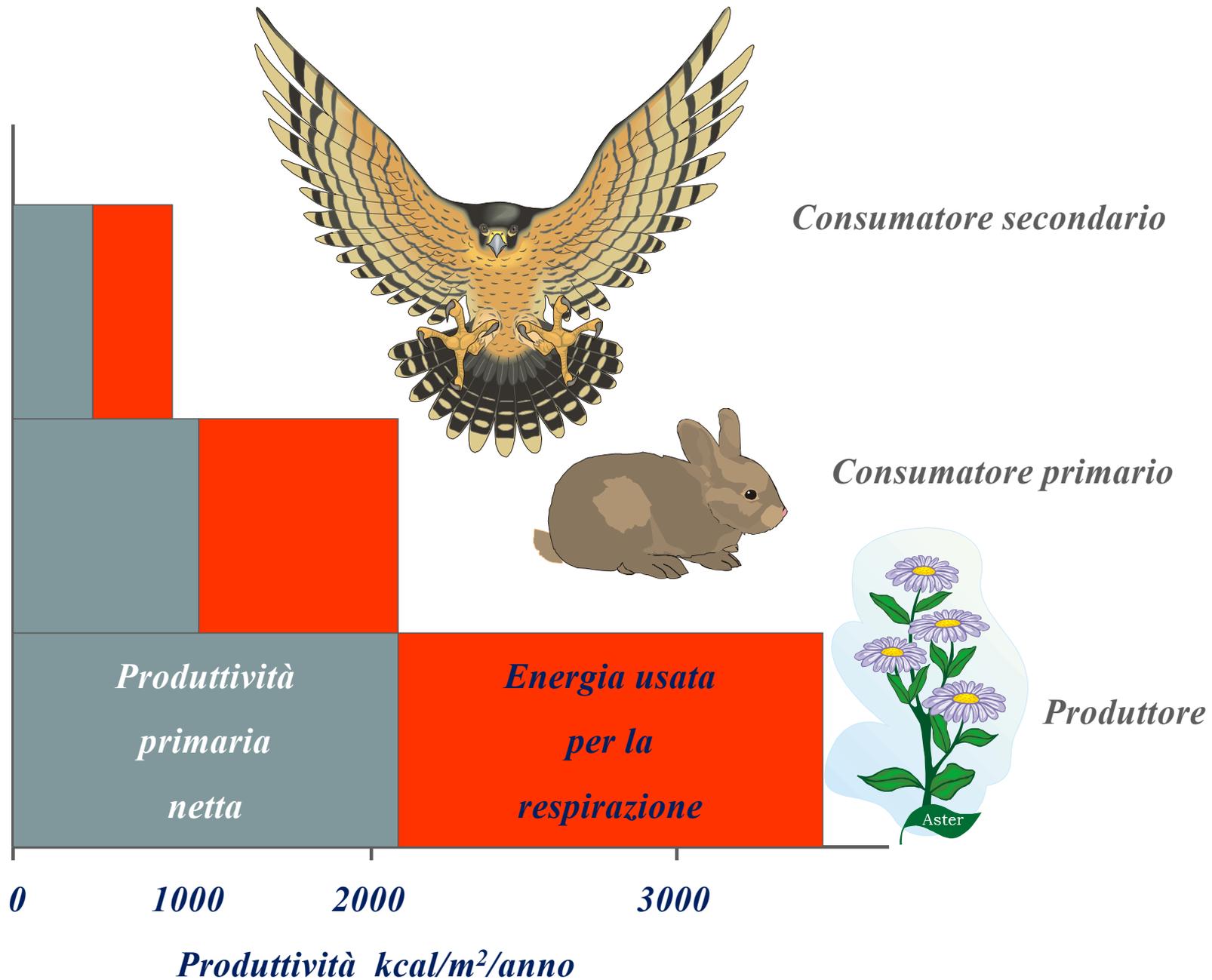
La quantità di energia diminuisce

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

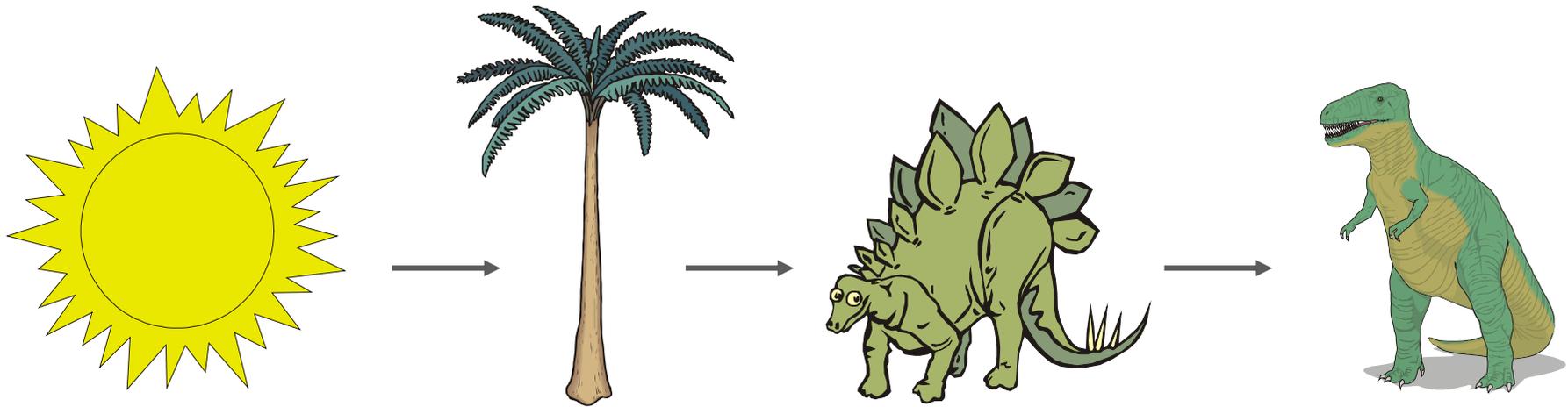
Resa energetica $\rightarrow 1\% \rightarrow 10\% \rightarrow 20\%$

La qualità dell'energia aumenta

Produttività nei livelli trofici



QUALITÀ E QUANTITÀ DELLA ENERGIA NEL PASSAGGIO ATTRAVERSO TRE LIVELLI TROFICI SUCCESSIVI



Quantità: 1.000.000



10.000



1000



200

Qualità: 1



100



1000

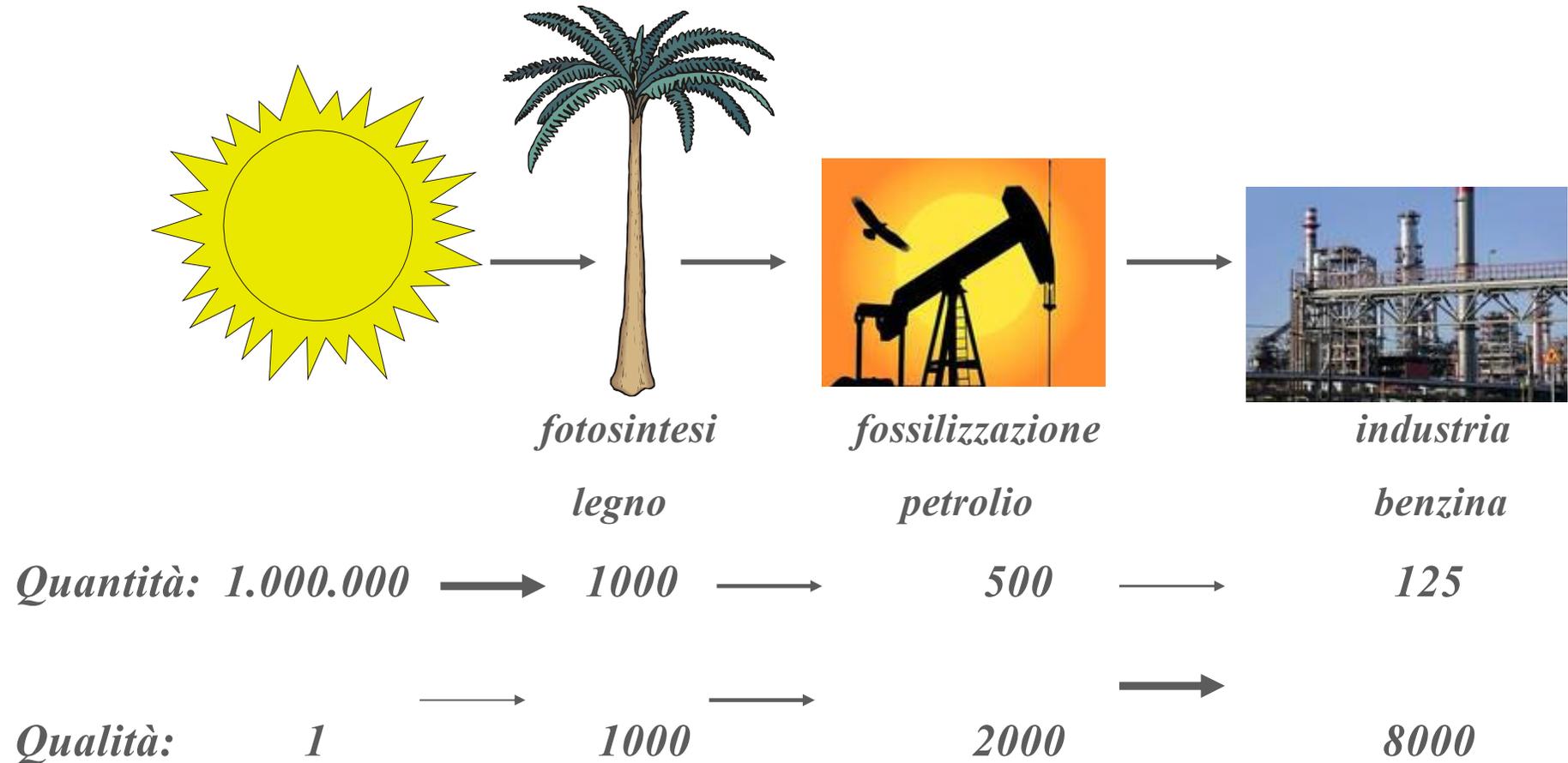


20.000

Concentrazione dell'energia

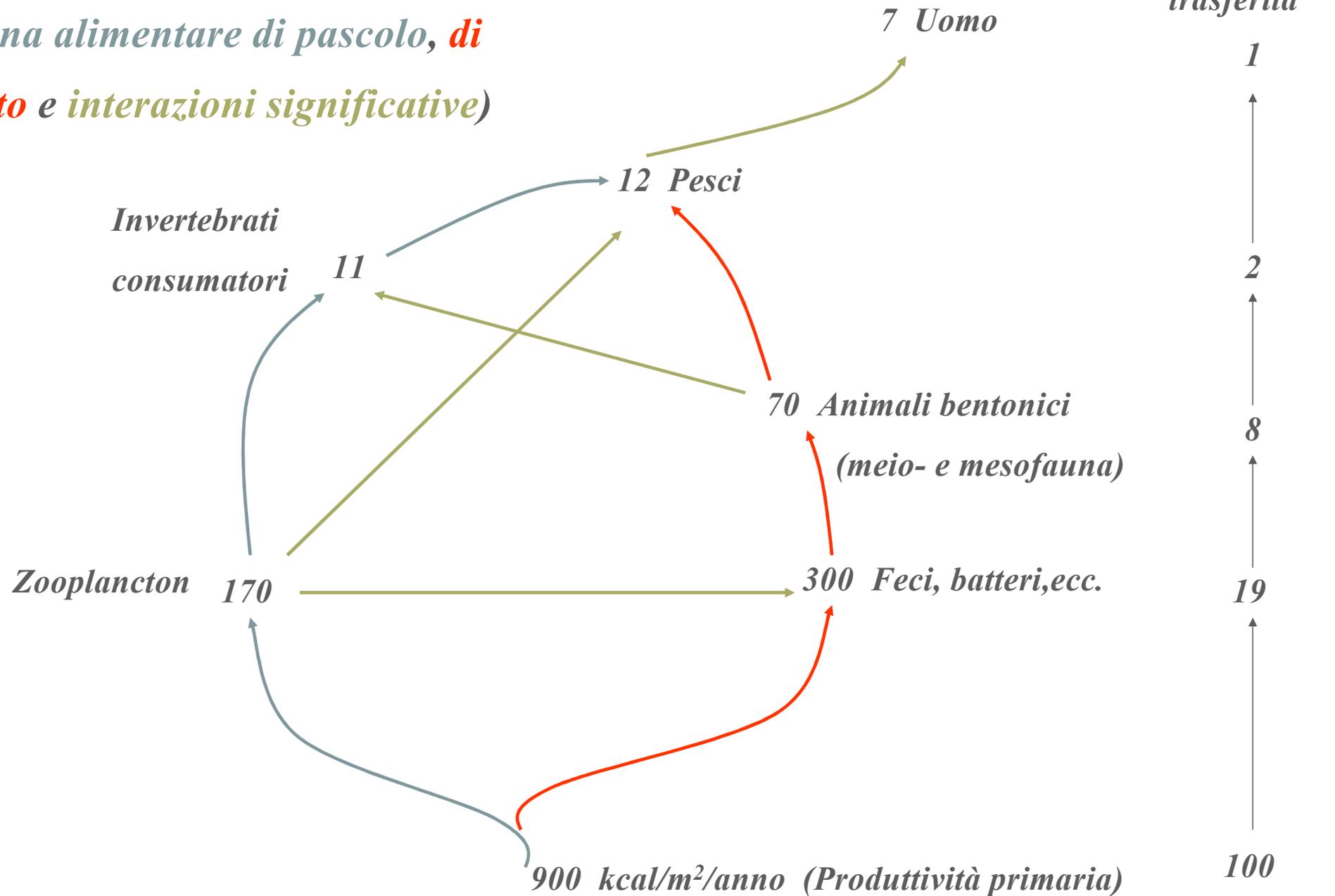
L'energia utilizzata e dispersa in una catena alimentare di trasformazioni successive, cambia forma diventando sempre più concentrata. In parole povere, nella catena alimentare diminuisce la quantità dell'energia, ma aumenta la sua "qualità".

QUALITÀ E QUANTITÀ DELLA ENERGIA NEL PASSAGGIO ATTRAVERSO TRE PROCESSI DI CONVERSIONE



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.

Rete alimentare del Mar del Nord
 (catena alimentare di pascolo, **di**
detrito e interazioni significative)





A causa delle perdite energetiche il numero di livelli trofici è limitato.

In molti sistemi terrestri non sono presenti più di 4-5 livelli.

Negli ecosistemi marini il numero di livelli può arrivare a 6-7.

La differenza è dovuta alla grande quantità di biomassa refrattaria presente sulla Terra che si ripercuote sul trasferimento energetico ai livelli superiori.

La maggior parte degli organismi marini ha basso dispendio energetico per la regolazione della temperatura corporea (ectotermi).

Il movimento in acqua è più agevole rispetto all'ambiente terrestre, il consumo per gli spostamenti è minore.

In mare i produttori primari (fitoplancton) producono biomassa più facilmente disponibile per gli erbivori consentendo un trasferimento maggiore ai livelli superiori

Il fitoplancton ha turnover molto elevato con tanta biomassa in grado di produrre altra biomassa al contrario delle piante terrestri che sono caratterizzate da larga percentuale di necromassa

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.

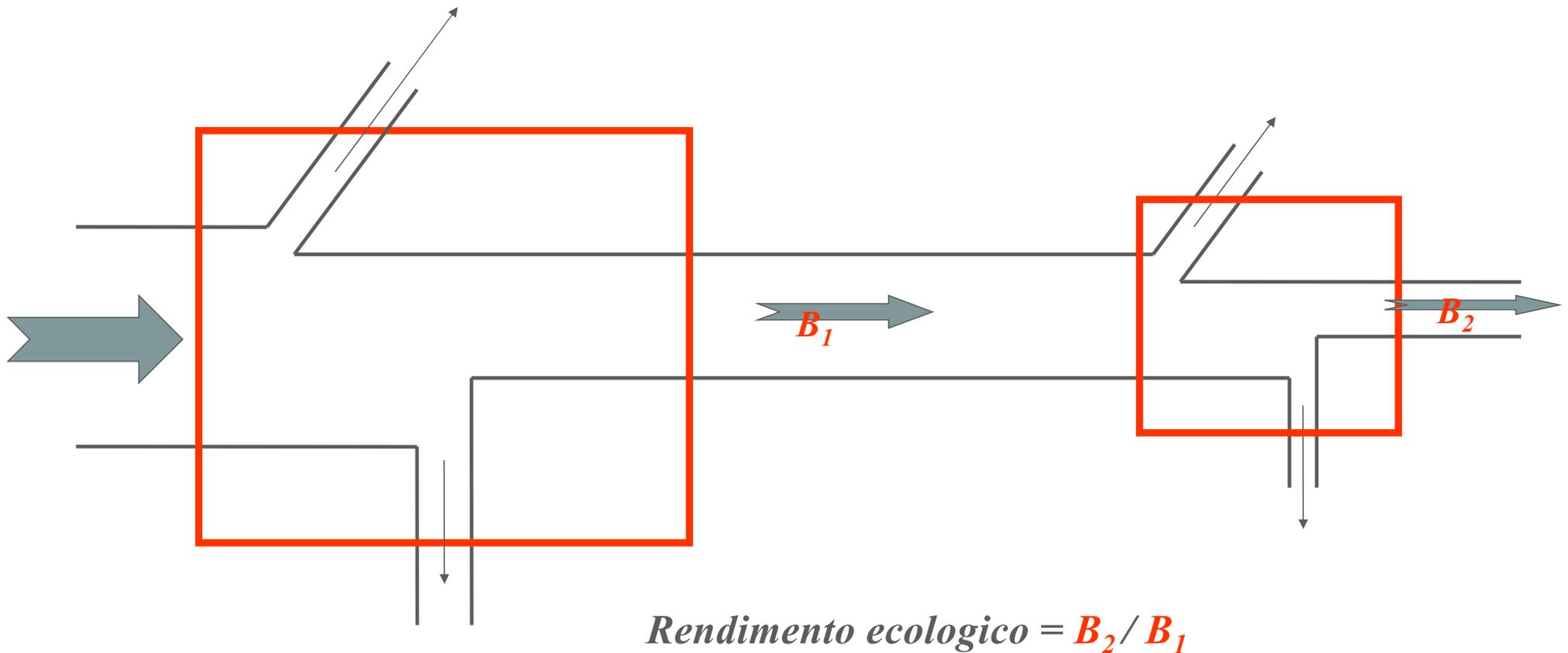
Per questa misura è stata proposto il termine eMergia (eMergy), definita come l'energia disponibile già utilizzata direttamente o indirettamente per creare un servizio o un prodotto.

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".

MODELLO DI FLUSSO DI ENERGIA ATTRAVERSO DUE LIVELLI TROFICI

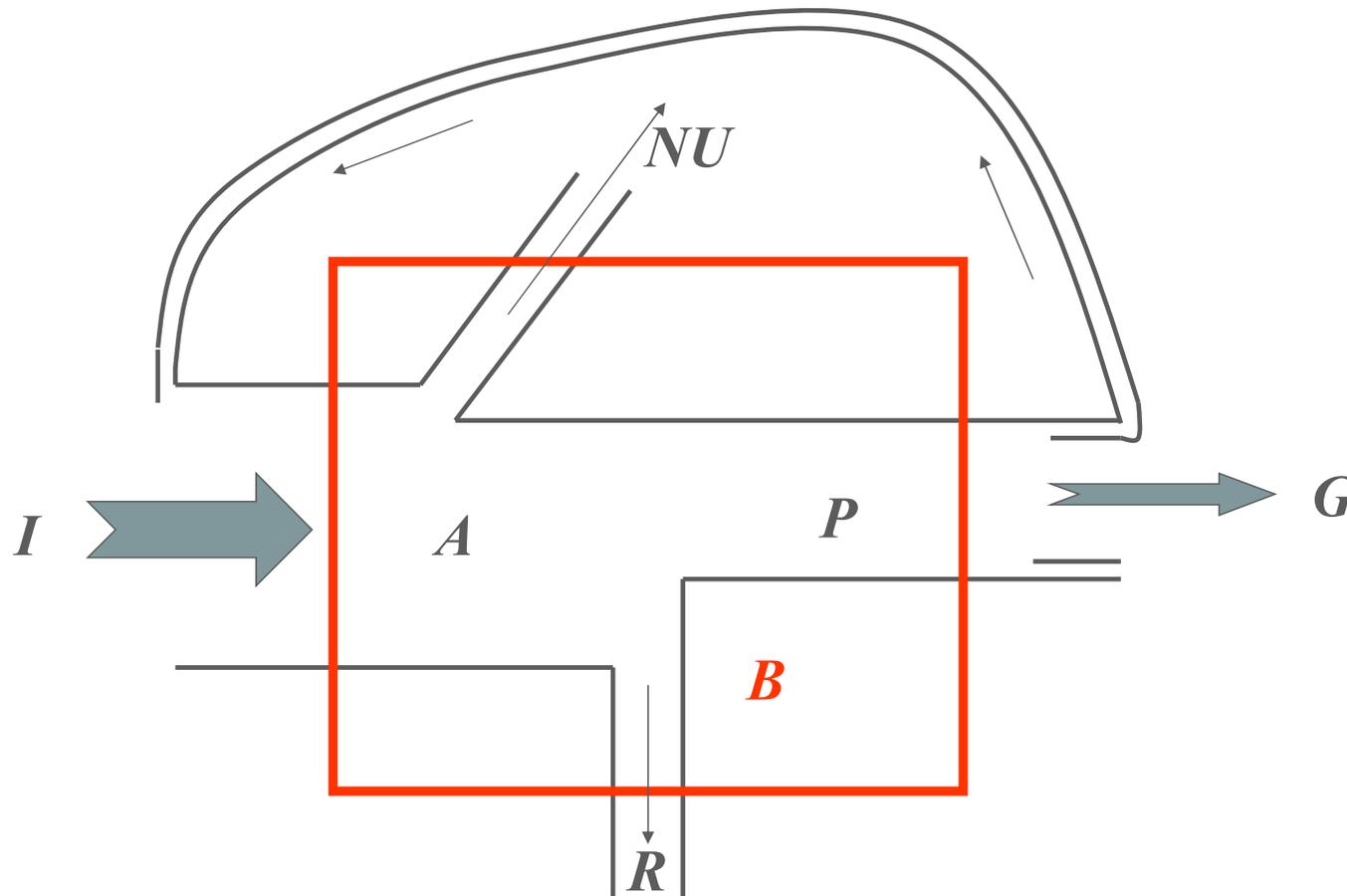


Rendimento ecologico (o efficienza ecologica): è il rapporto tra la biomassa incorporata da un livello trofico di consumatori e la biomassa del livello trofico delle loro prede.

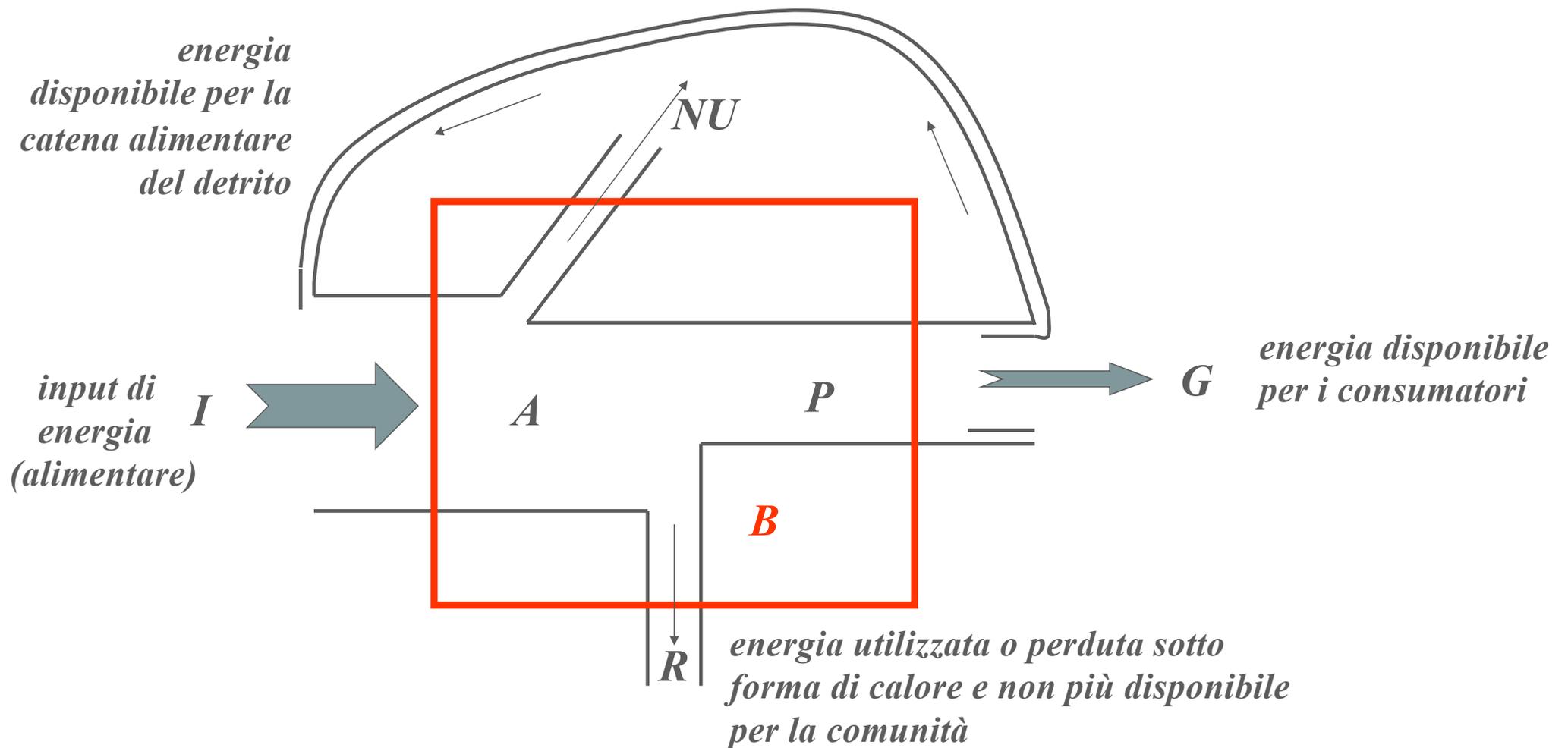
LIVELLO TROFICO

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).



Ripartizione dell'energia all'interno di un livello trofico

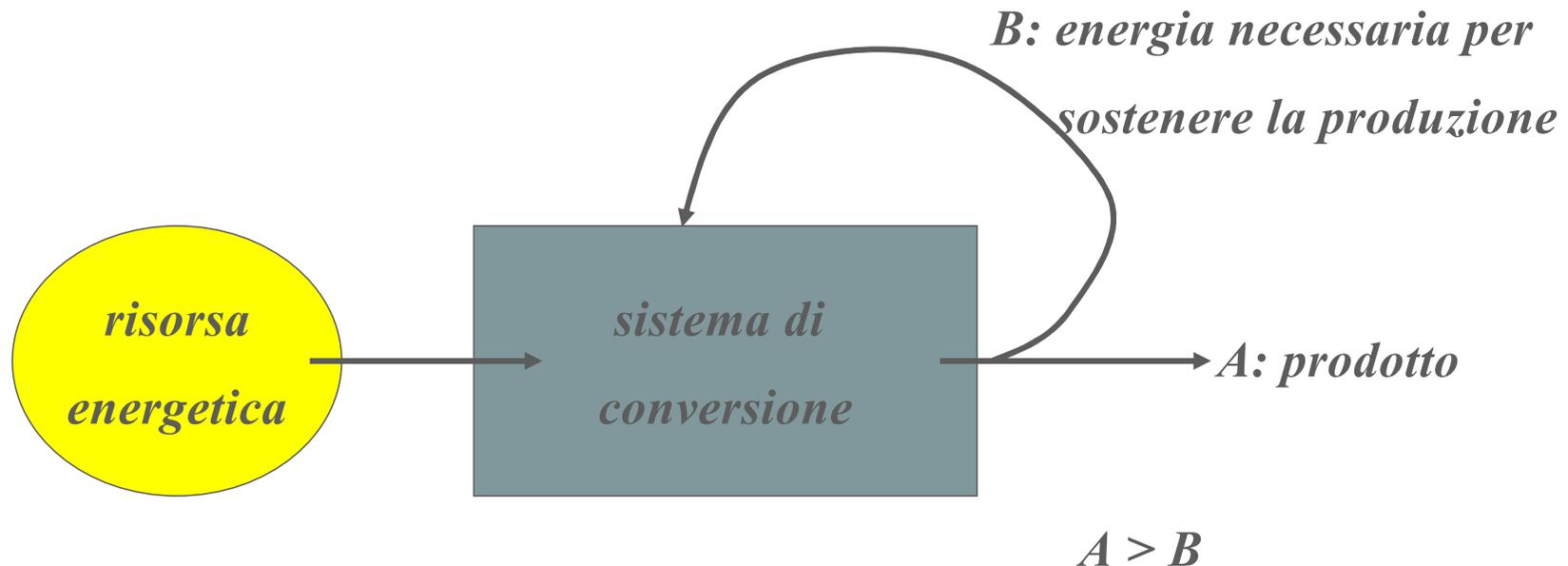


I: input di energia. A: energia assimilata. P: produzione. R: respirazione.

B: biomassa. G: accrescimento. NU: energia non utilizzata.

A/I = efficienza di assimilazione

Energia netta



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.

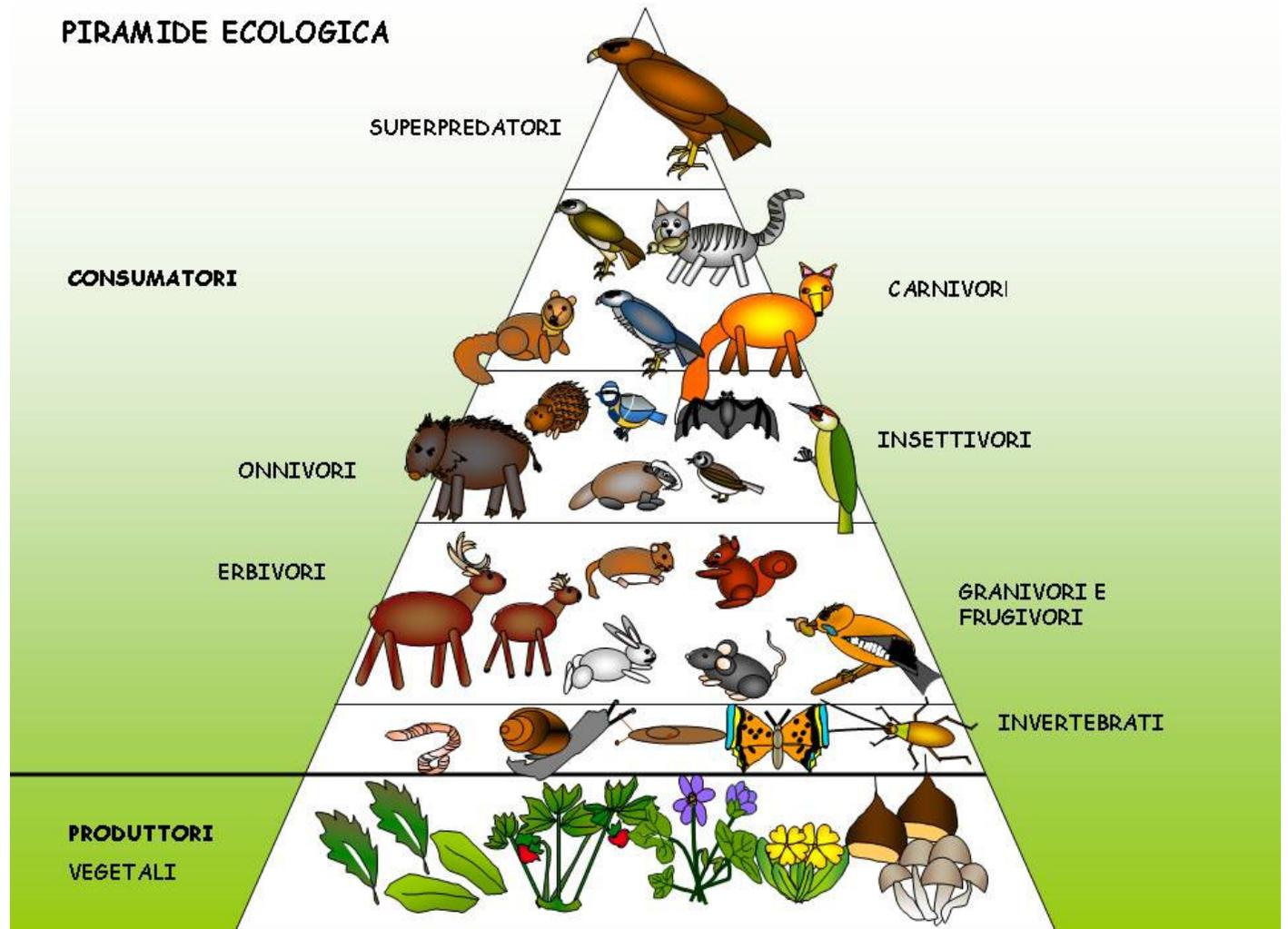
- **Rendimento di consumo**

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

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

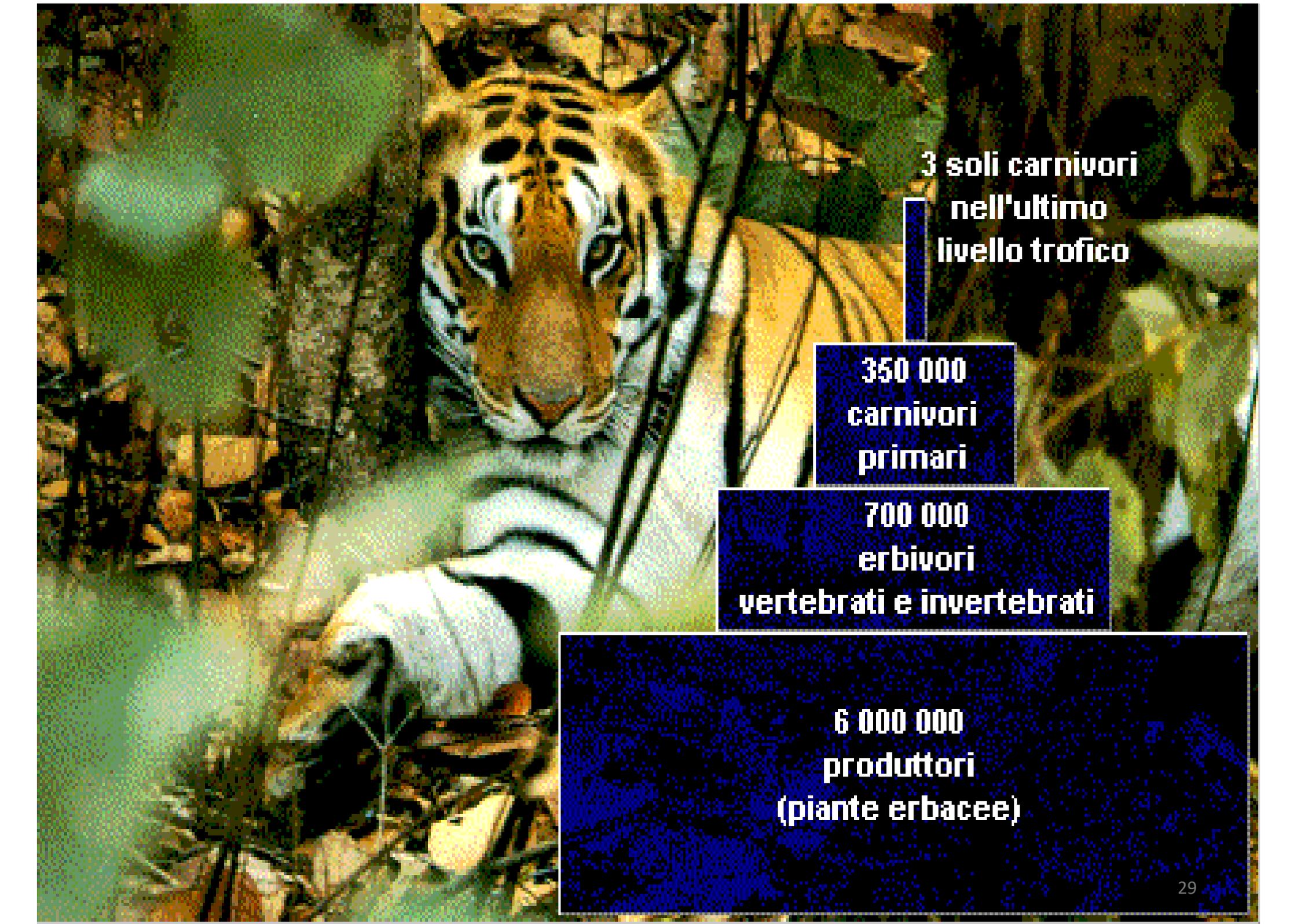
In generale è basso in ambienti forestali (5%), moderato in ambienti di pascolo (25%) e più alto in ambienti acquatici dominati da fitoplancton (50%). Per i carnivori può variare (minimo 5%).

Il resto non viene consumato e prima o poi entra nella catena del detrito.



La struttura trofica di un ecosistema può essere descritta graficamente mediante le **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.**



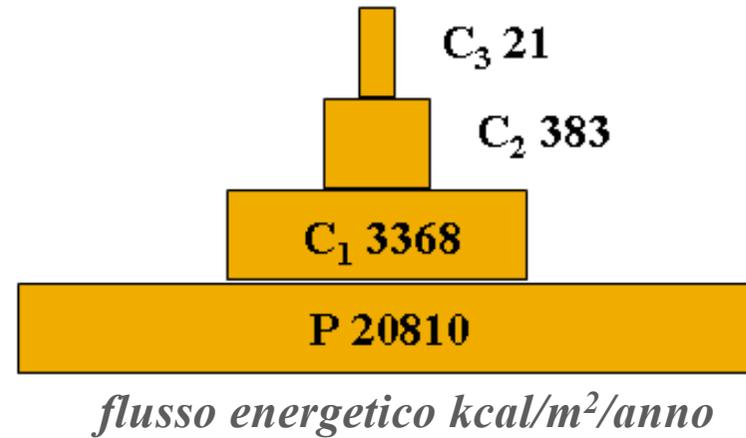
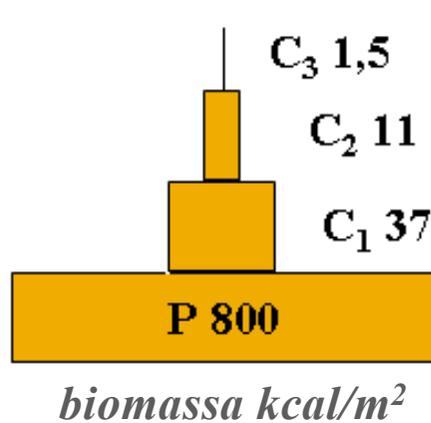
**3 soli carnivori
nell'ultimo
livello trofico**

**350 000
carnivori
primari**

**700 000
erbivori
vertebrati e invertebrati**

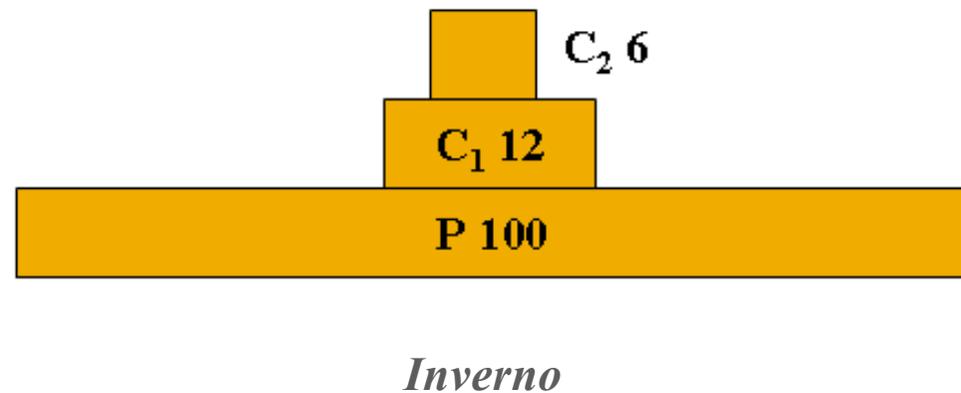
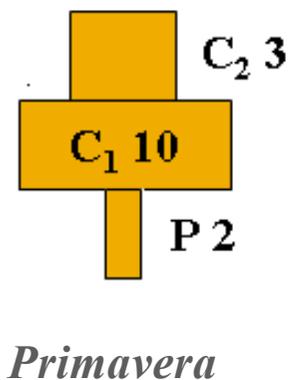
**6 000 000
produttori
(piante erbacee)**

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



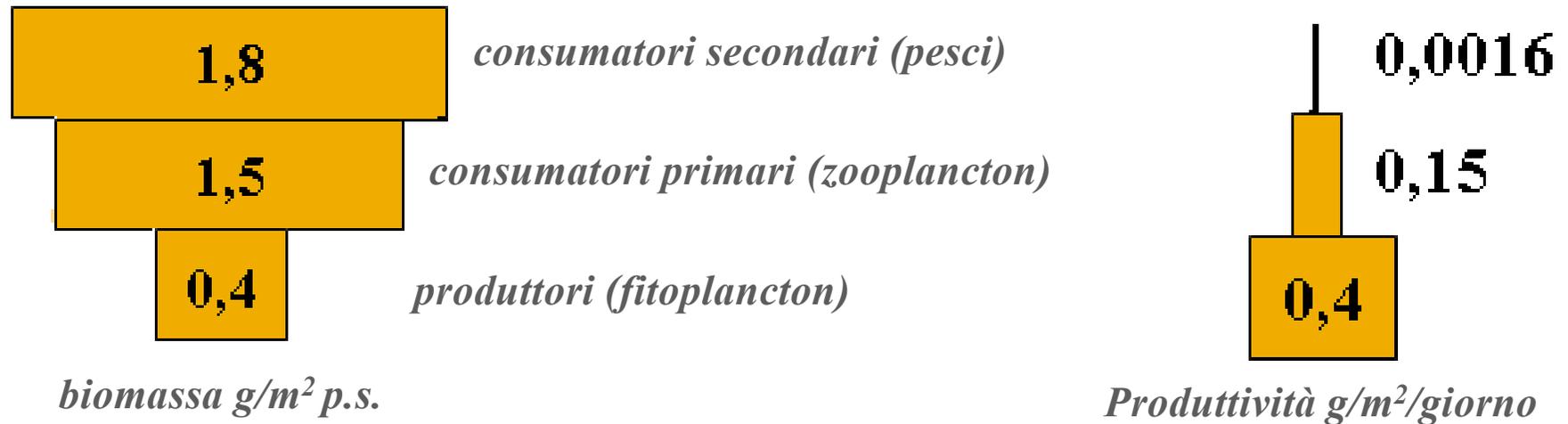
Variazioni stagionali nelle piramidi di biomassa in un lago italiano

biomassa kcal/m²



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/m² 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).

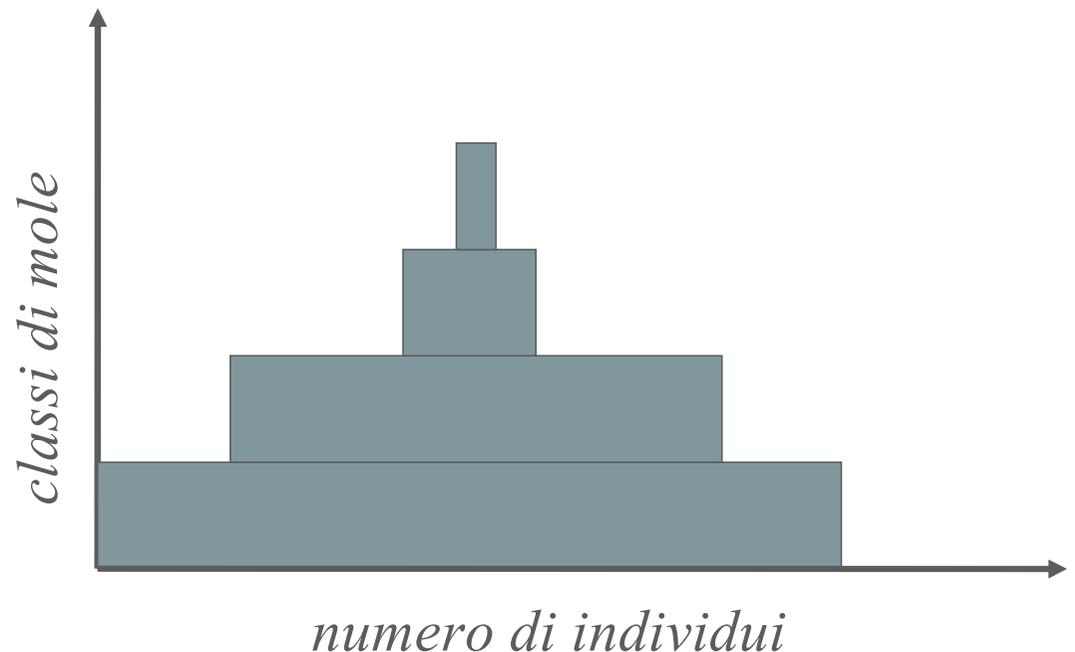
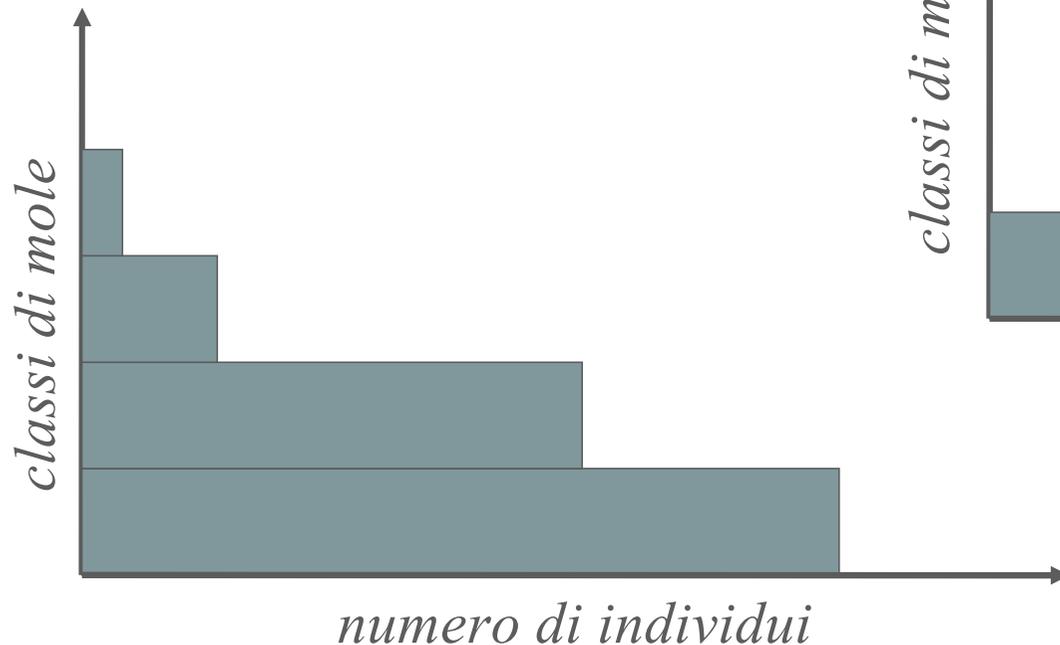
Queste piramidi rovesciate sono comuni nelle aree marine ad elevata produttività.

MODELLI DI FLUSSO DELL'ENERGIA NELL'ECOSISTEMA

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.

Elton descrisse questo fenomeno con quella che viene chiamata piramide dei numeri.

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





L'osservazione che vedeva i predatori significativamente più grandi delle loro prede era facilmente concepibile; Elton spiegava questo con il principio della dimensione del cibo, che postulava che un predatore per catturare la preda doveva essere più forte e più grande di essa.

Nella definizione dei modelli di flusso energetico occorre infatti considerare accanto ai parametri fisici anche quelli biologici, come ad esempio le interazioni fra le specie e fra gli organismi o gli adattamenti; tali parametri influiscono notevolmente sulla capacità di sfruttamento della energia disponibile da parte di una popolazione, o più in generale di un livello trofico.

In effetti 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.



Strutturazione delle comunità in base alle dimensioni corporee, nei rapporti preda-predatore.

Oggi questo principio è anche oggetto di vignette.

BODY size

Considerare la variabilità in taglia può essere importante quando si vuole avere una descrizione energetica della natura perché le richieste energetiche (R) degli individui dipendono dalle loro dimensioni corporee (M) secondo relazioni dette allometriche $R = aM^b$, dove il valore dell'esponente b tende a variare in un intervallo ristretto intorno a $b = 0.75$; ne deriva che il numero degli individui (N) che può essere soddisfatto da una data quantità di energia varia con le dimensioni individuali secondo un modello inverso $R = aN^{-b}$.

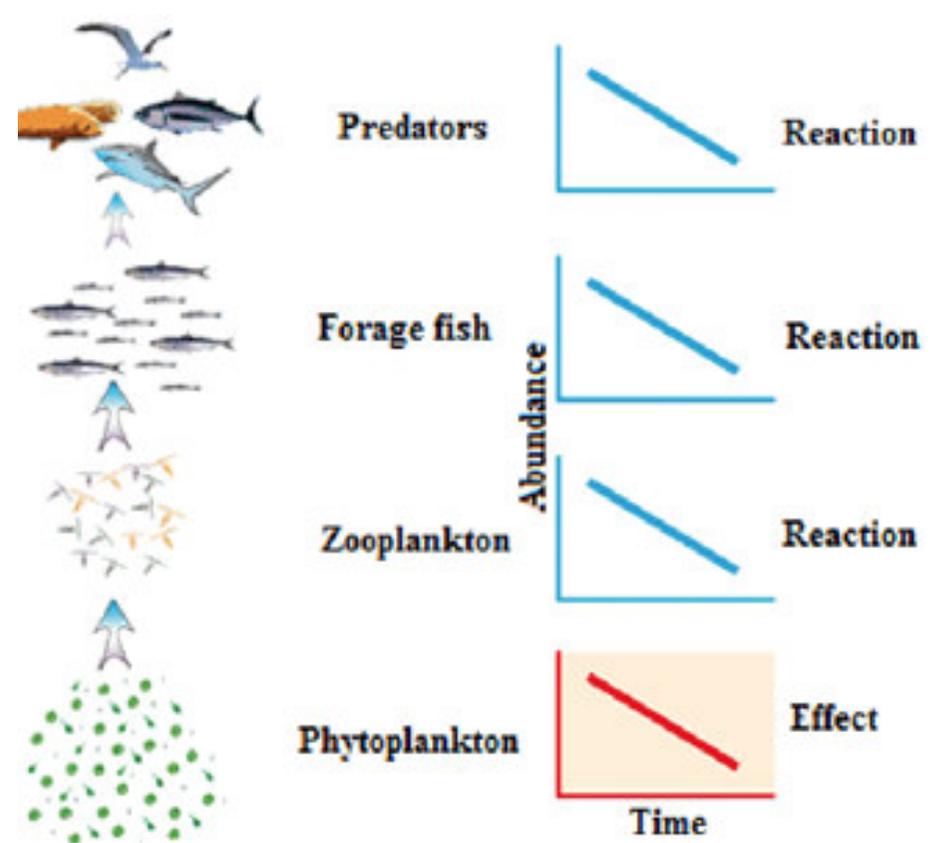
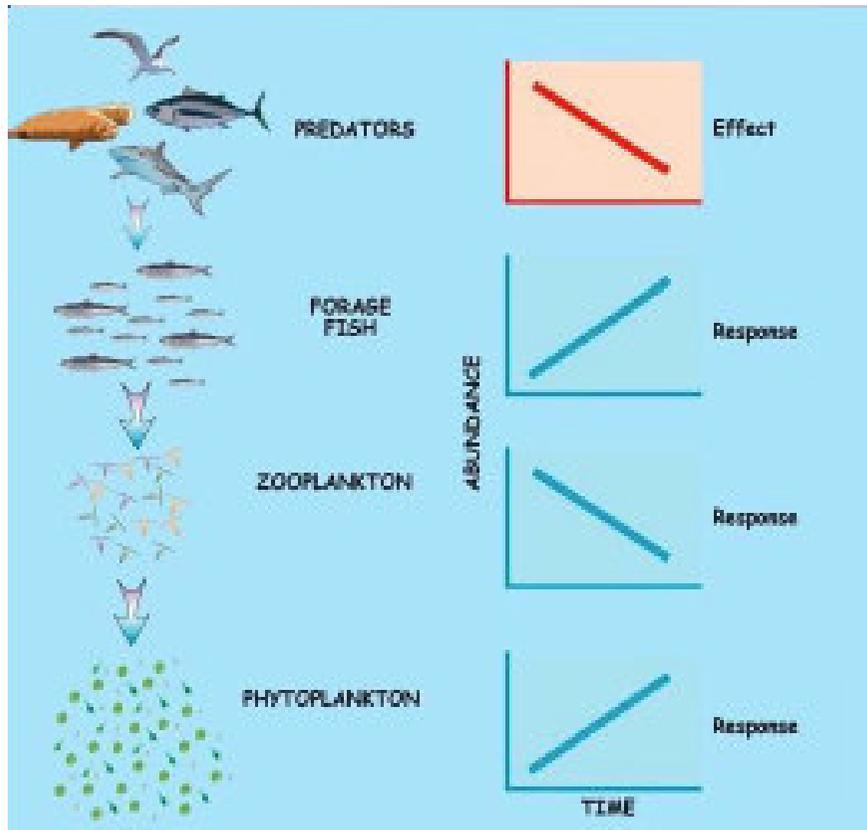
Le relazioni tra dimensioni individuali, richieste energetiche degli individui e disponibilità di risorse possono chiaramente influenzare il modo in cui le specie interagiscono e l'intensità di tali interazioni.

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

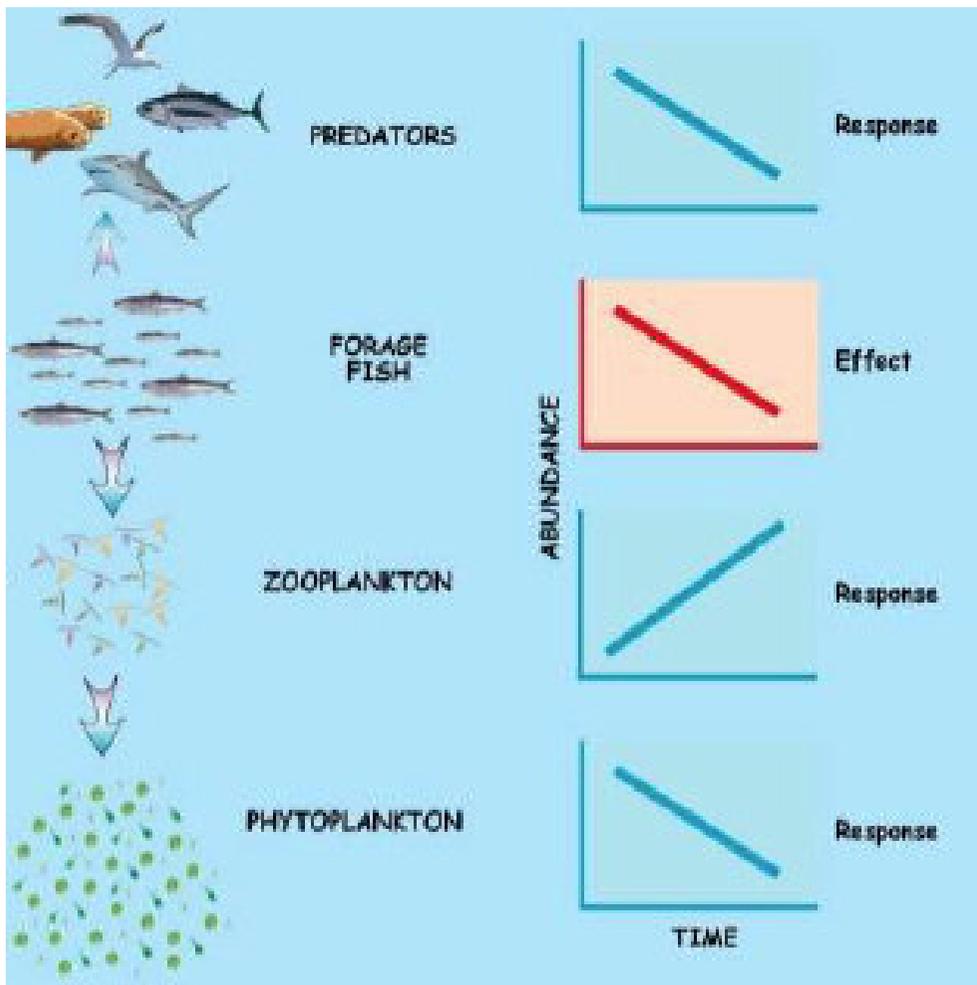


TOP-DOWN

Il predatore apicale controlla la densità della popolazione delle sue prede

BOTTOM - UP

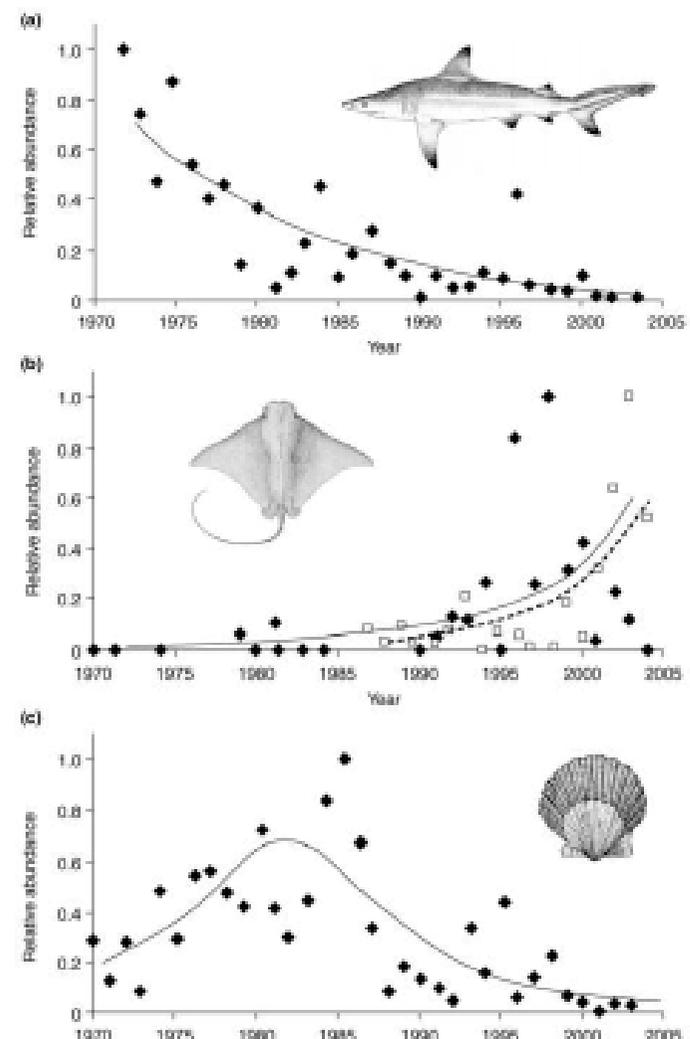
Il cambiamento avviene ai livelli trofici più bassi spesso a seguito di cambiamenti ambientali (es. apporto di nutrienti) e si riflette dal basso in alto nella rete trofica



Wasp - Waist

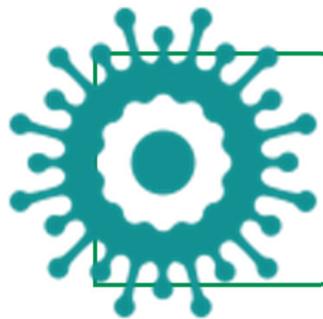
Il cambiamento avviene al livello trofico intermedio (es. aumento di una specie che diventa monopolizzante il livello per esplosione demografica).

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



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.



DOMANDE??