

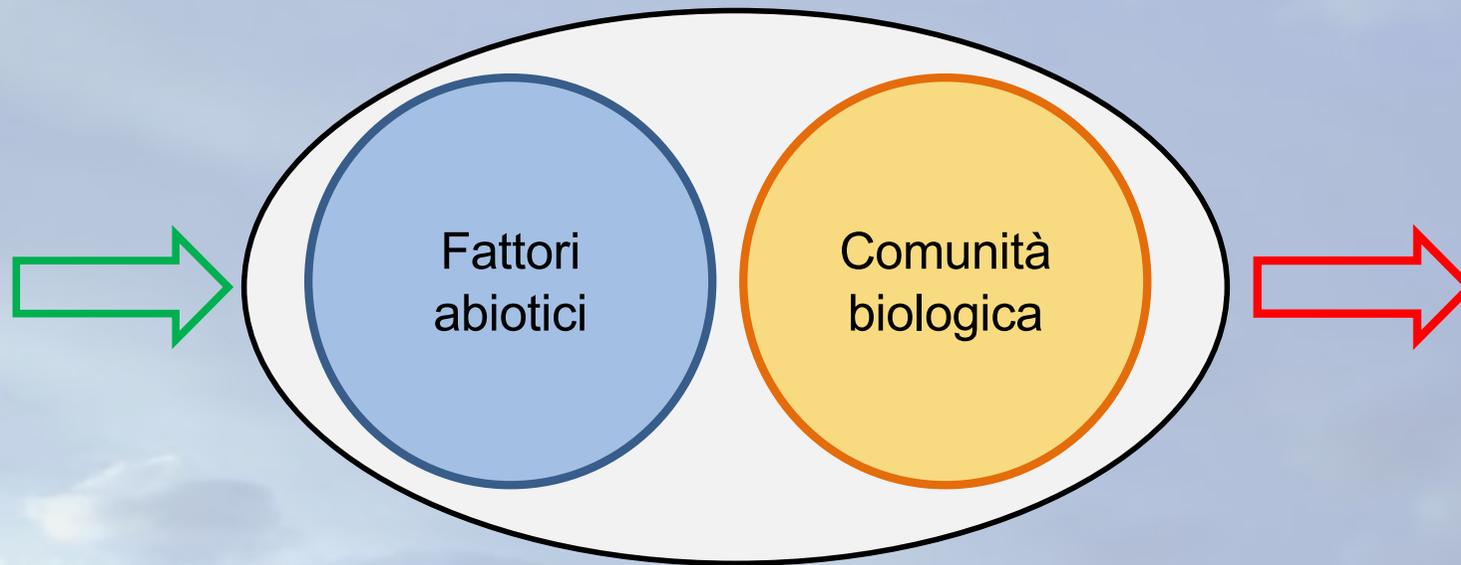
Università degli Studi di Trieste – a.a. 2022-2023
Corso di Studio in Scienze e Tecnologie per L'ambiente e la Natura

213SM – Ecologia
213SM-3 – Ecologia Generale

**ECOSISTEMI E PROPRIETA'
EMERGENTI**

Prof. Stanislao Bevilacqua (sbevilacqua@units.it)

Ecosistemi



L'ecosistema è costituito dall'insieme di tutti i fattori ambientali abiotici e dalla comunità biologica. Gli ecosistemi sono sistemi aperti, con scambio di materia ed energia con l'esterno.

I processi principali dell'ecosistema sono tre:

- Le relazioni trofiche
- Cicli della materia (es. nutrienti, materia organica)
- Flusso di energia

Proprietà emergenti

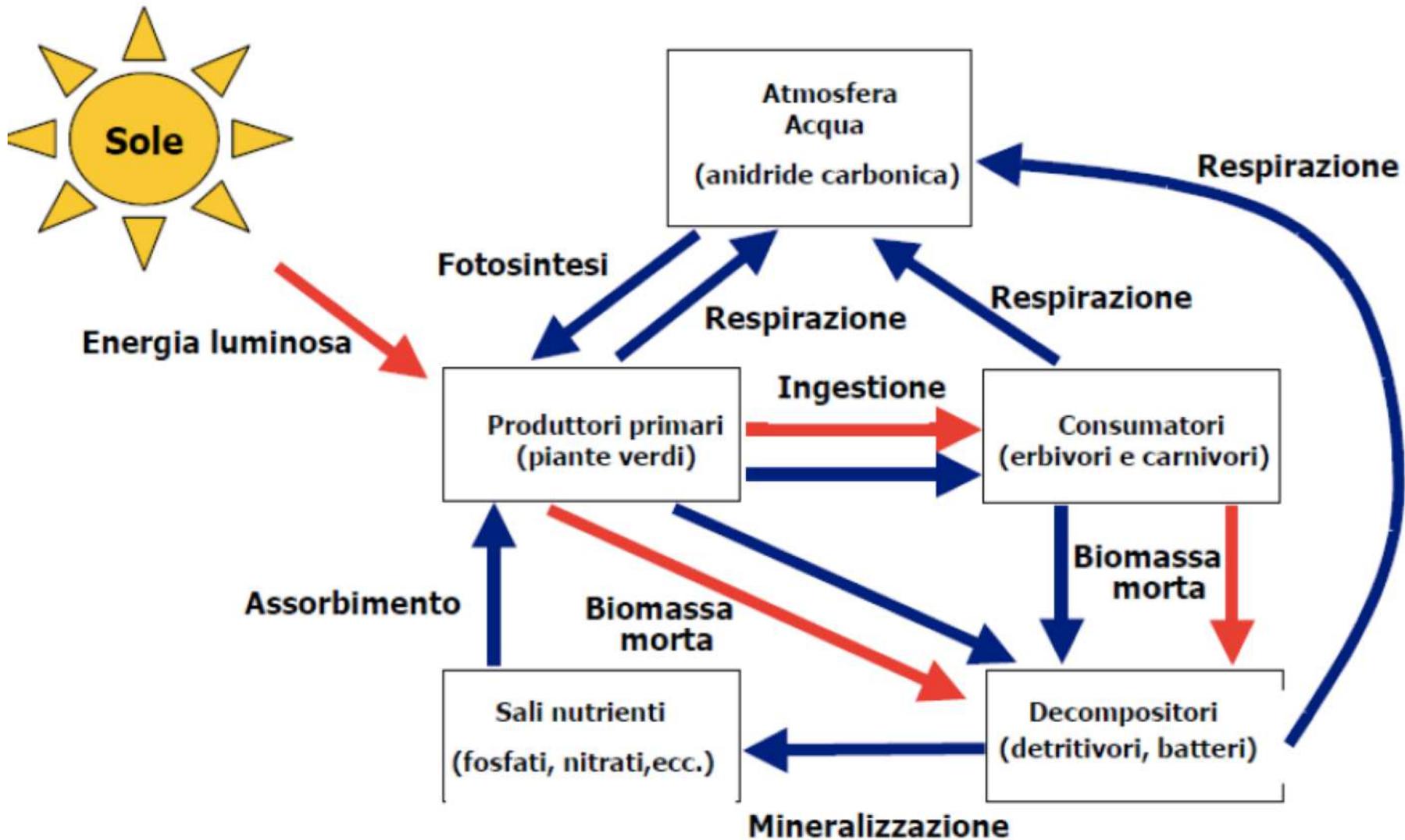
Come tutti i sistemi complessi, gli ecosistemi rappresentano unità strutturali e funzionali il cui comportamento non è scomponibile come mera somma delle parti.



Esistono degli aspetti del sistema che sono una conseguenza diretta della sua complessità, come ad esempio la capacità di autoregolarsi, di auto-organizzarsi, di rispondere alle perturbazioni cercando di auto-preservarsi.

Queste caratteristiche possedute dall'ecosistema in quanto sistema complesso e organizzato prendono il nome di **proprietà emergenti**, che derivano dall'integrazione delle varie componenti. Anche la produzione di materia, il suo riciclo, e tutto il funzionamento degli ecosistemi esiste come caratteristica emergente, diversa dalla somma dei singoli contributi.

L'ecosistema



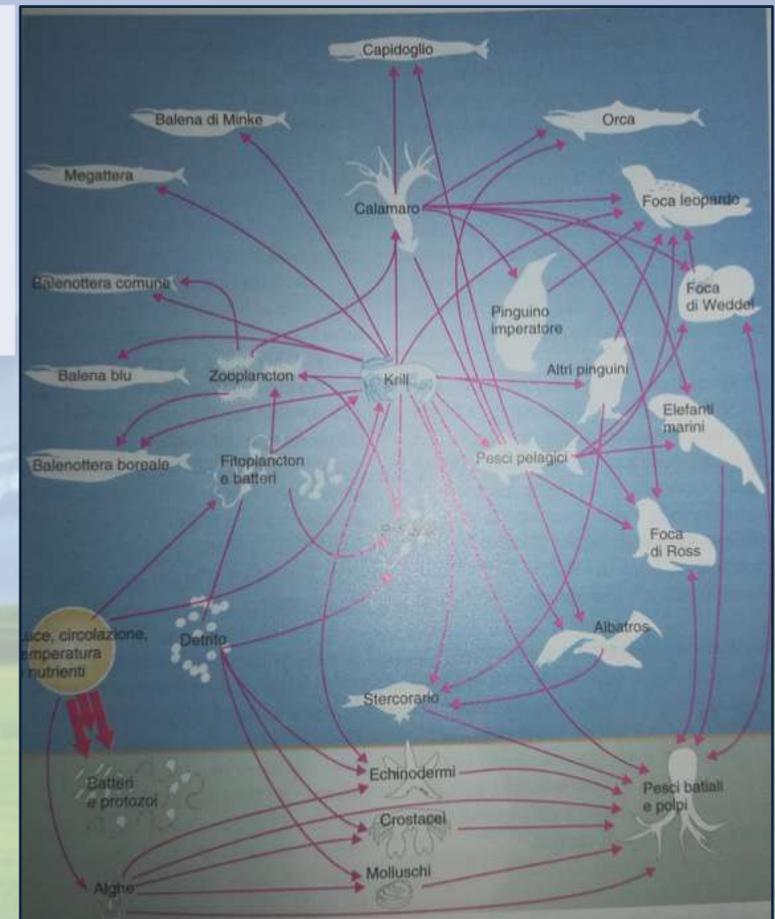
Energia e materia nell'ecosistema si trasferiscono tramite le reti alimentari o la catena del detrito

Le reti trofiche

Una catena trofica è l'insieme delle relazioni alimentari tra un consumatore, la sua preda, e così via fino ai produttori primari. È un concetto molto semplificato, spesso non completamente applicabile dato che i vari consumatori possono avere più risorse (prede) a cui attingere. Inoltre, a volte non vi è separazione tra gli organismi nell'utilizzo delle risorse.



All'interno di un ecosistema è più corretto parlare di rete trofica, intendendo l'insieme delle interazioni alimentari tra gli organismi che fanno parte della componente biologica.

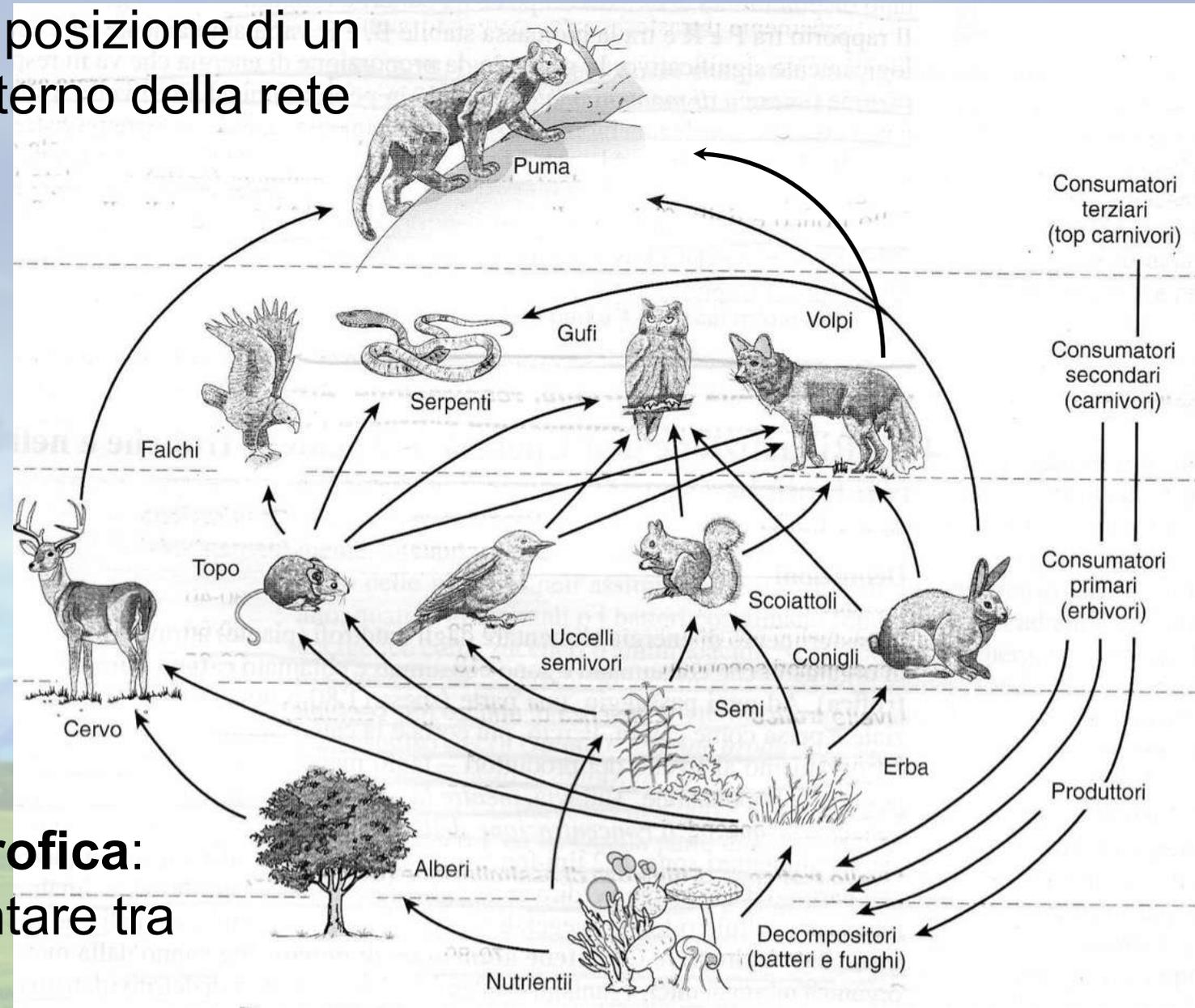


Le reti trofiche

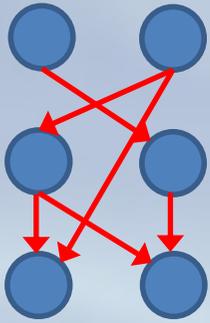
Livello trofico: posizione di un organismo all'interno della rete trofica.

In generale identificato dal numero di passaggi necessari perché l'energia giunga dalla fonte primaria.

Connessione trofica: relazione alimentare tra organismi.

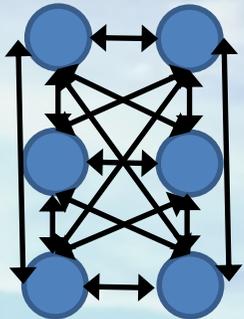


Caratteristiche delle reti trofiche



Numero di specie (S) (es. = 6)

Numero di connessioni (L): il numero totale di interazioni trofiche all'interno della rete (es. = 6).



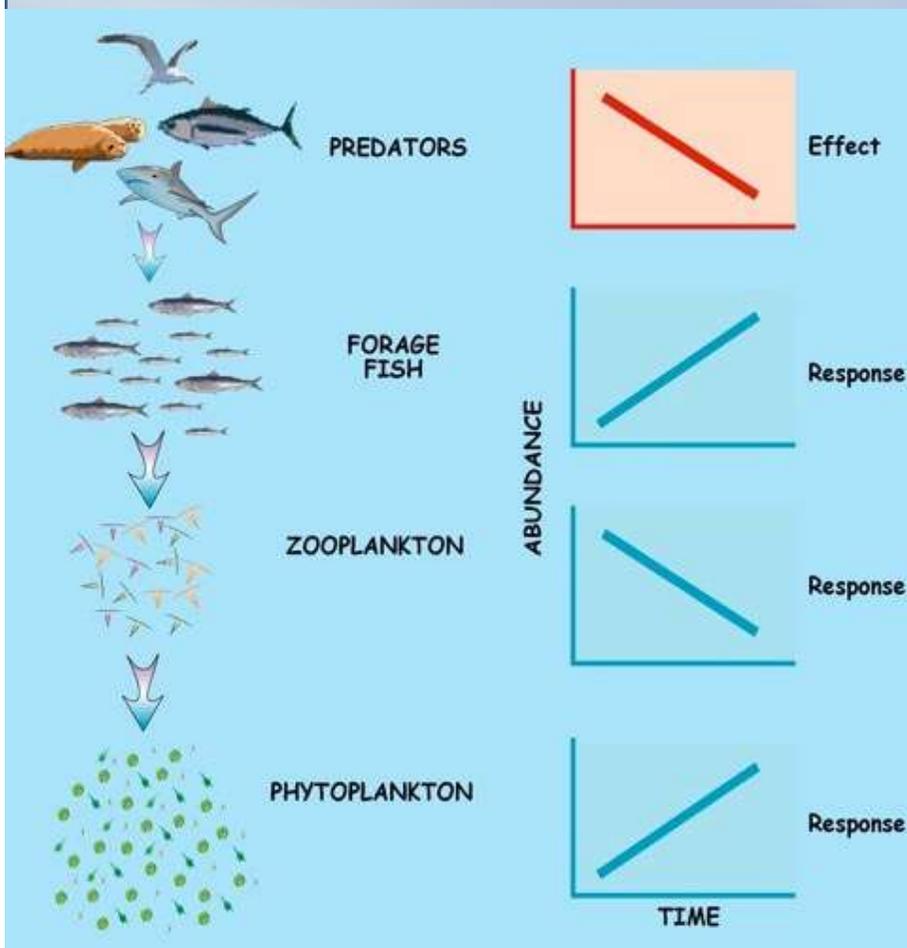
Connettanza: rapporto tra connessioni reali e connessioni possibili. Calcolato come $C = L/S(S-1)$

Linkage density: numero medio di connessioni per specie. Calcolato come $D = L/S$

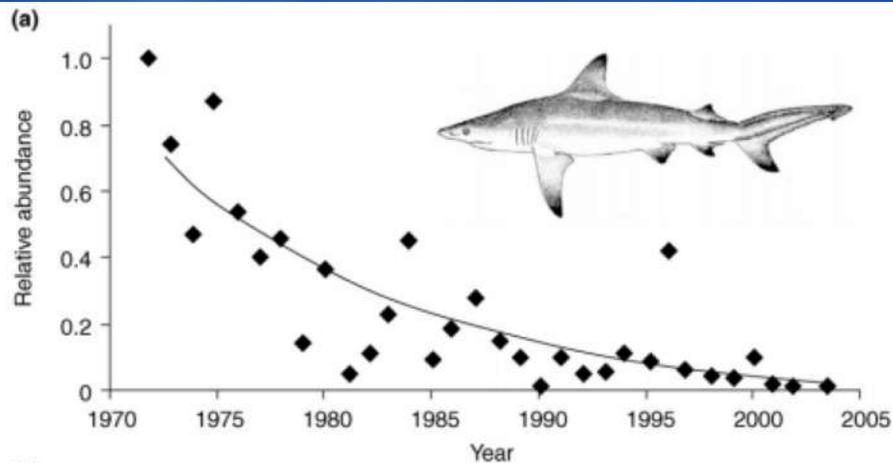
L'insieme di queste caratteristiche definiscono la complessità delle reti trofiche

Controllo top-down

Il meccanismo di controllo top-down coinvolge un predatore apicale o comunque un consumatore di un livello trofico elevato che con l'attività predatoria è in grado di controllare le densità di popolazione delle sue prede.

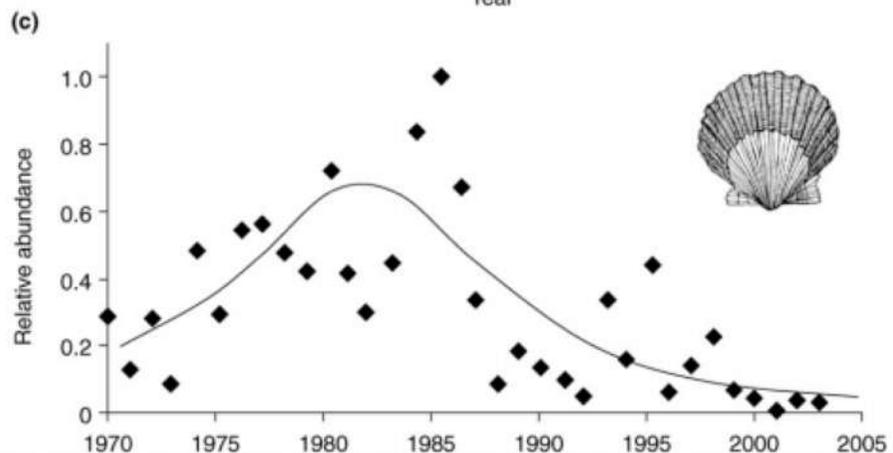
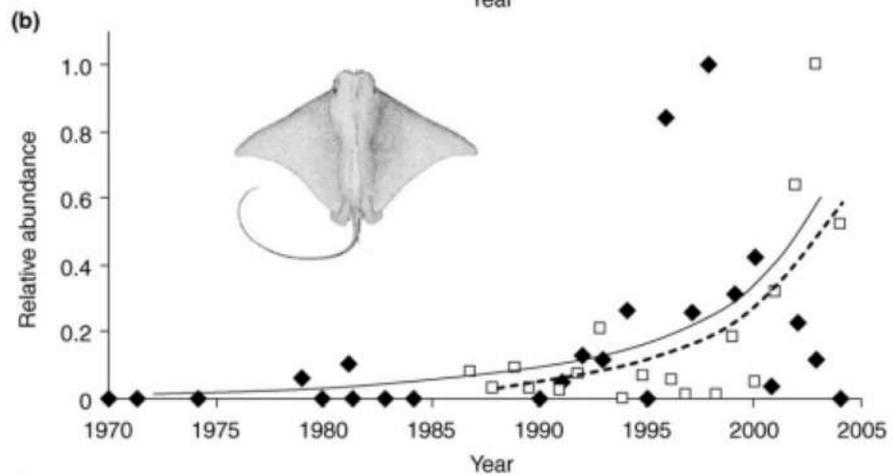


Cascade trofiche



Carcharhinus limbatus

Rhinoptera bonasus

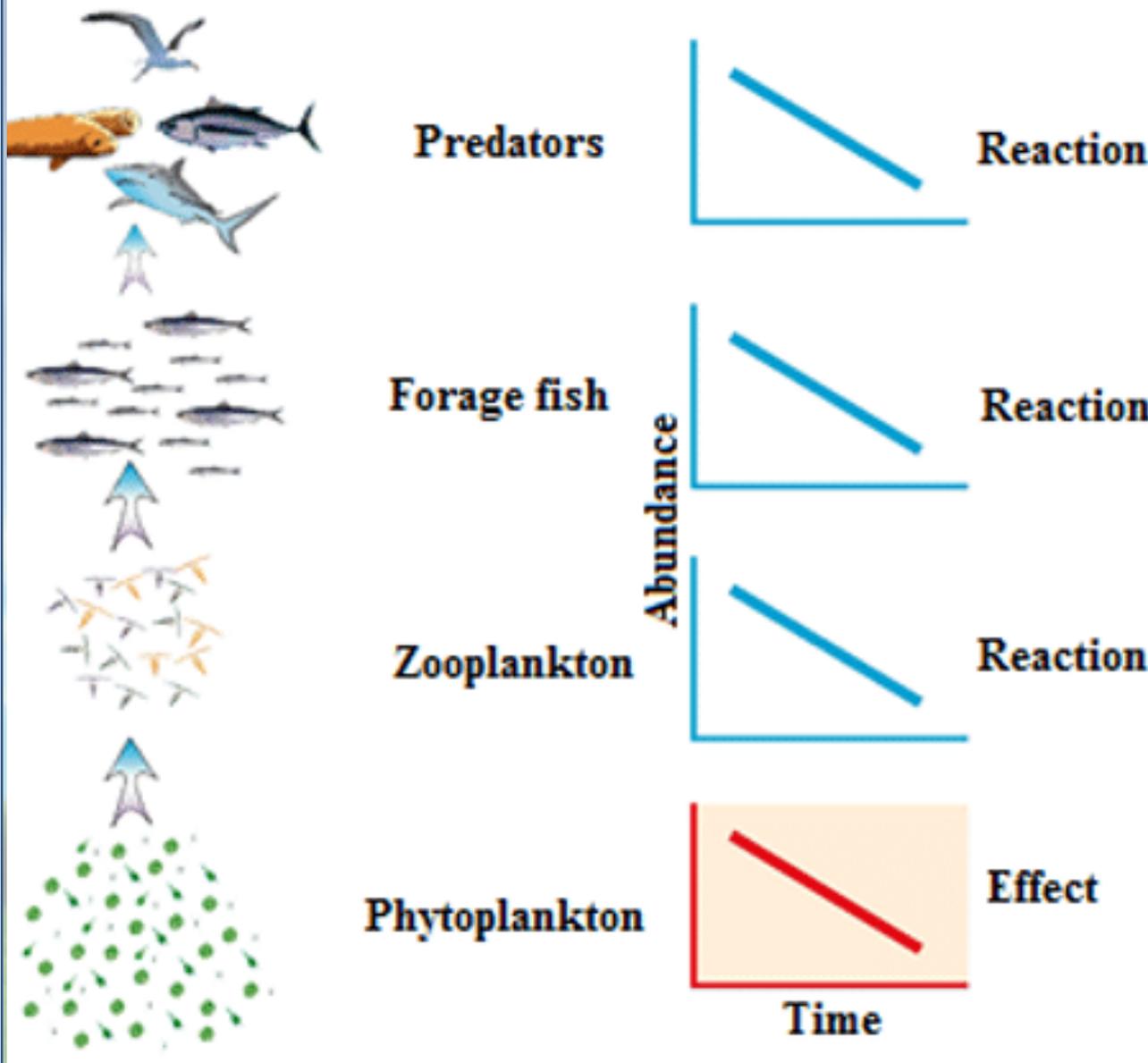


Agropecten irradians

Le cascate trofiche avvengono quando intervengono dei cambiamenti nelle densità dei predatori apicali che svolgono un controllo di tipo top-down si ripercuotono lungo la rete trofica, a volte causando cambiamenti drastici nell'ecosistema.

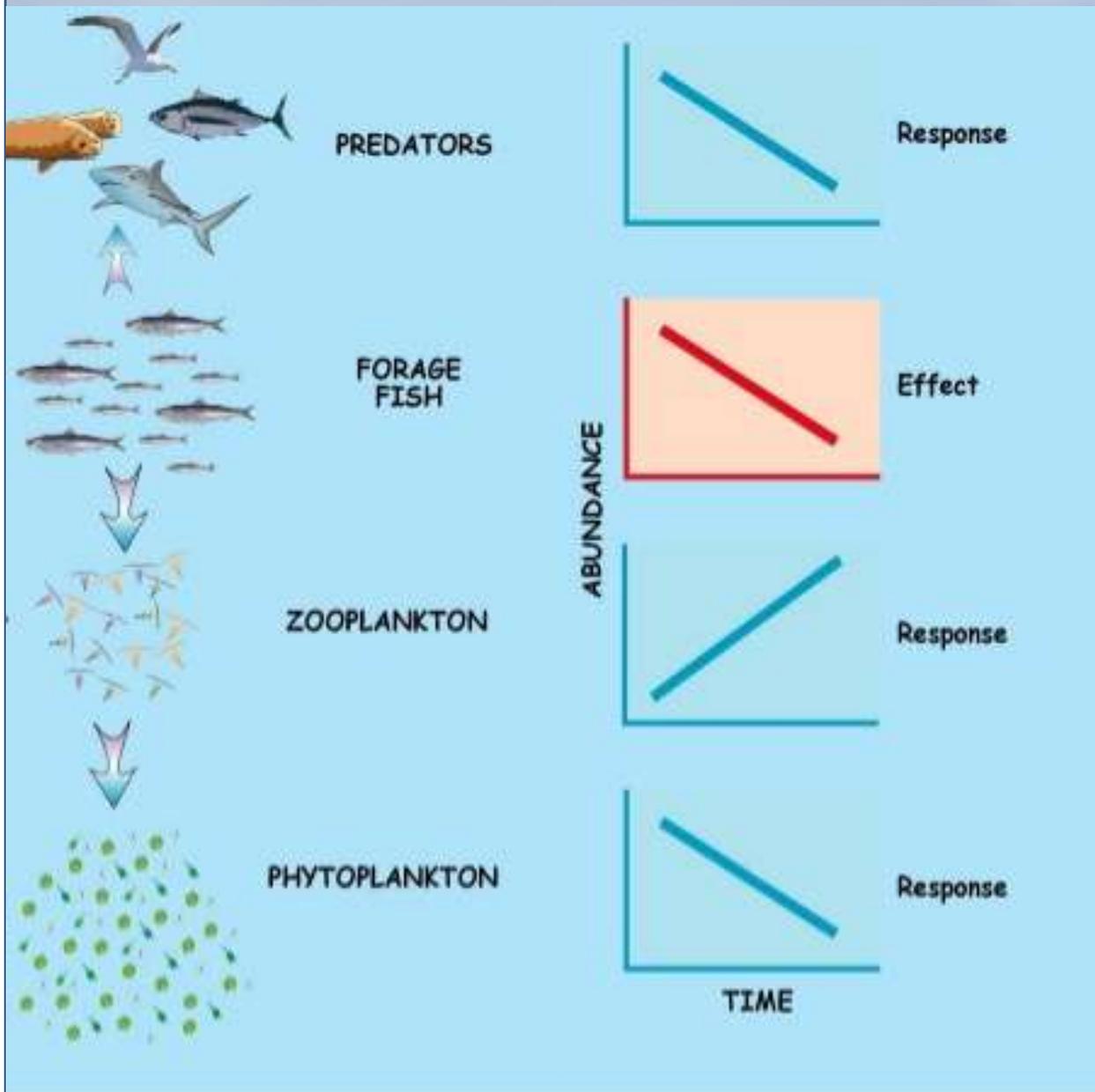


Effetti bottom-up



Nel controllo bottom-up, il cambiamento interviene ai livelli trofici più bassi spesso mediato da cambiamenti ambientali, come ad esempio l'apporto di nutrienti, che si riflette dal basso verso l'alto nella rete trofica.

Controllo wasp-waist



Nel controllo wasp-waist, il cambiamento interviene ad un livello trofico intermedio. Spesso riguarda le ripercussioni dell'aumento o diminuzione di una specie che monopolizza (o quasi) l'intero livello. L'effetto ha caratteristiche intermedie tra b-u e t-d, in quanto si propaga sia ai livelli inferiori che superiori.

Biomassa

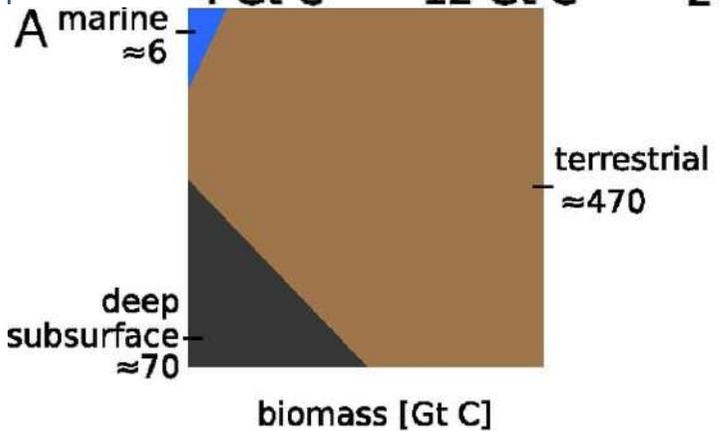
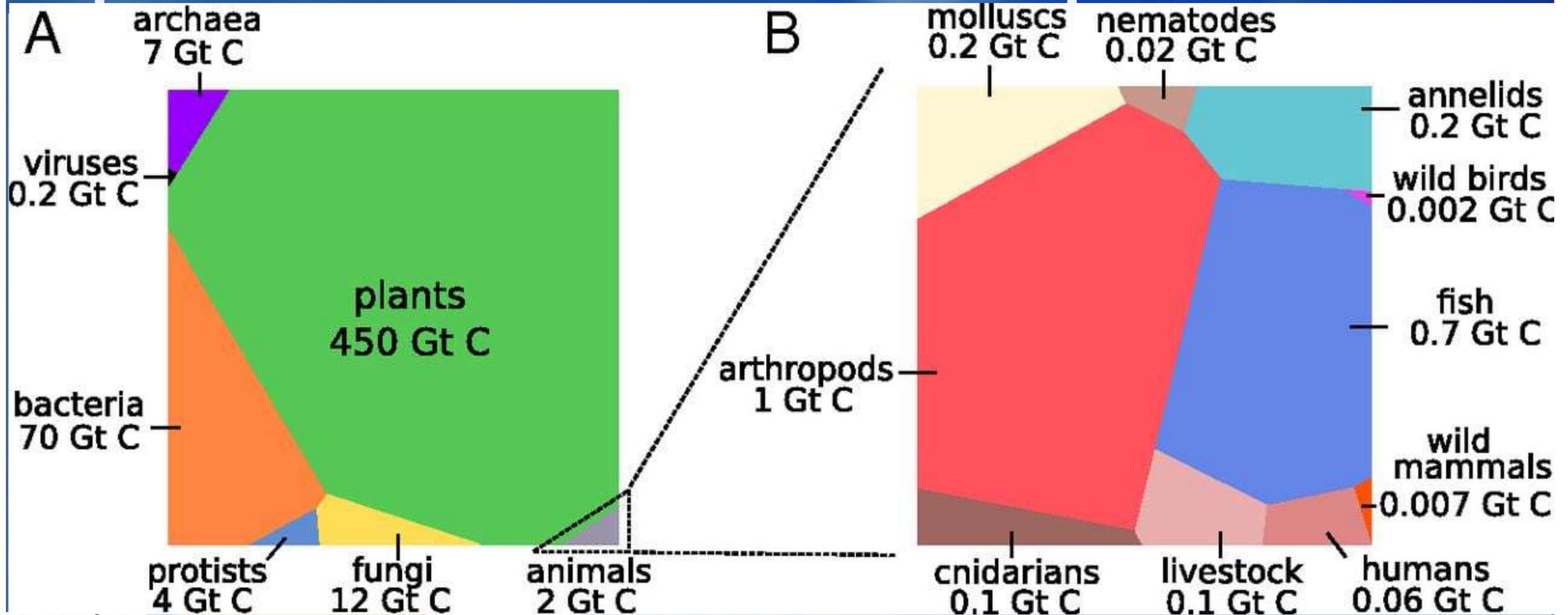
Tutti gli organismi necessitano di materia ed energia per costruire la propria struttura e svolgere le attività che ne garantiscono l'esistenza e la sopravvivenza.

La massa degli organismi per unità di superficie (o di volume) ne costituisce la **biomassa**. Generalmente misurata come sostanza organica secca per unità di superficie.

Per biomassa si intende quella che costituisce tutte le parti dell'organismo, comprese quelle morte (**necromassa**) se in connessione con l'organismo stesso (cessando di essere considerate quando la connessione si interrompe, divenendo detrito).



Ripartizione della biomassa sul pianeta



Biomassa sulla Terra ≈550 Gt C
 ≈450 Gt C piante (soprattutto terrestri)
 ≈70 Gt C (batteri)
 ≈12 Gt C (funghi)
 ≈2 Gt C (animali)
 (Bar-on et al. 2018)



Produttività

La **produttività primaria** è la velocità, per unità di superficie, con cui viene prodotta la biomassa da parte dei produttori primari. Può essere quindi espressa come energia o massa di sostanza organica prodotta per unità di superficie e di tempo. Distinguiamo:

Produttività primaria lorda (PPL): la quantità di biomassa totale prodotta attraverso i processi di sintetizzazione (e.g. fotosintesi) in un dato intervallo di tempo, per unità di superficie.

Respirazione (R): la quantità di biomassa impiegata per il mantenimento dell'organismo, e per lo svolgimento delle sue attività vitali, in un dato intervallo di tempo, per unità di superficie.

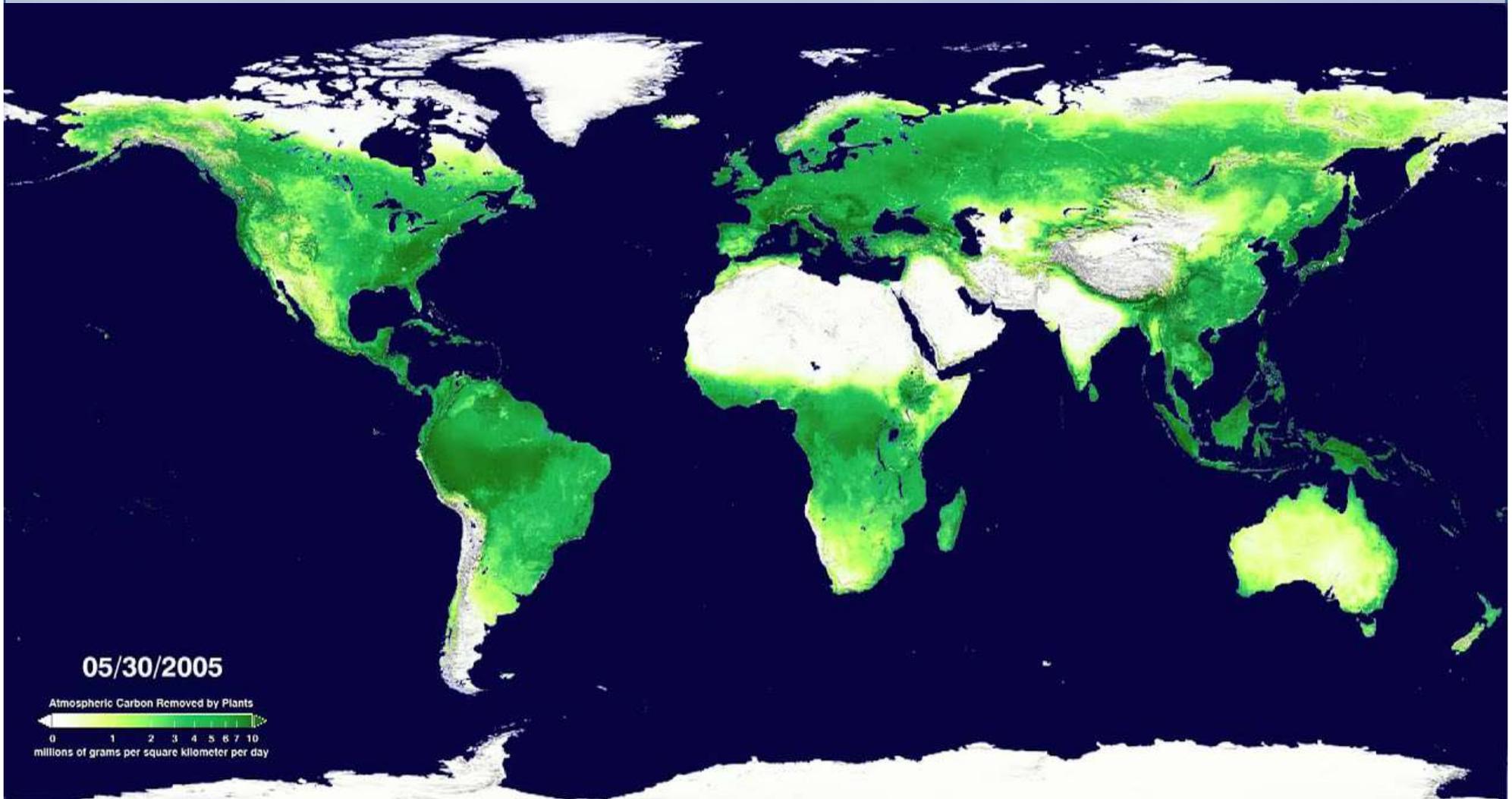
Produttività primaria netta (PPN): la biomassa prodotta in un dato intervallo di tempo, al netto della respirazione, per unità di superficie.

$$\text{PPN} = \text{PPL} - \text{R}$$

Produttività primaria dei principali ecosistemi

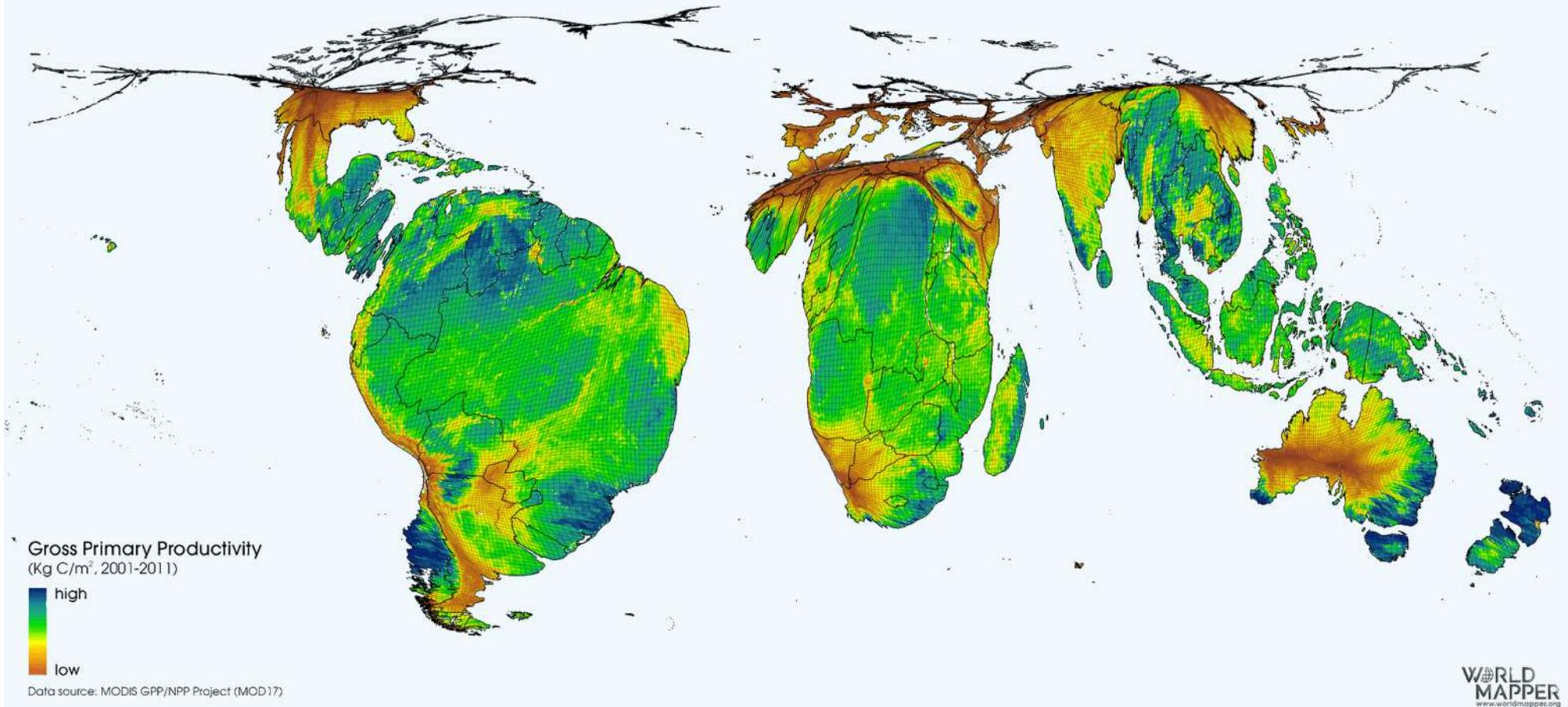
Tipo di ecosistema	Area (10 ⁶ km ²)	Produttività primaria netta riferita all'unità di area (g m ⁻² o t km ⁻²)		Produttività primaria netta mondiale 10 ⁹ t	Biomassa riferita all'unità di area (kg m ⁻²)		Biomassa mondiale (10 ⁹ t)
		intervallo	valore medio		intervallo	valore medio	
		normale	normale		normale	normale	
foresta pluviale tropicale	17,0	1000÷3500	2200	37,4	6÷80	45	765
foresta stagionale tropicale	7,5	1000÷250	1600	12,0	6÷60	35	260
foresta sempreverde temperata	5,0	600÷2500	1300	6,5	6÷200	35	175
foresta caducifolia temperata	7,0	600÷2500	1200	8,4	6÷60	30	210
foresta boreale	12,0	400÷2000	800	9,6	6÷40	20	240
foresta rada e boscaglia	8,5	250÷1200	700	6,0	2÷20	6	50
savana	15,0	200÷2000	900	13,5	0,2÷15	4	60
prateria temperata	9,0	200÷1500	600	5,4	0,2÷5	1,6	14
tundra ed ecosistema alpino	8,0	10÷400	140	1,1	0,1÷3	0,6	5
boscaglia deserticola e semideserticola	18,0	10÷250	90	1,6	0,1÷4	0,7	13
deserto estremo, roccia, sabbia e ghiaccio	24,0	0÷10	3	0,07	0÷0,2	0,02	0,5
terre coltivate	14,0	100÷3500	650	9,1	0,4÷12	1	14
palude e acquitrino	2,0	800÷3500	2000	4,0	3÷50	15	30
lago e corso d'acqua	2,0	100÷150	250	0,5	0÷0,1	0,02	0,05
totale continentale	149		773	115		12,3	1837
mare aperto	332,0	2÷400	125	41,5	0÷0,005	0,003	1,0
zone di risalita (<i>upwelling</i>)	0,4	400÷1000	500	0,2	0,005÷0,1	0,02	0,008
piattaforma continentale	26,6	200÷600	360	9,6	0,001÷0,04	0,01	0,27
letti e scogliere algali	0,6	500÷4000	2500	1,6	0,04÷4	2	1,2
estuari	1,4	200÷3500	1500	2,1	0,001÷6	1	1,4
totale marino	361		152	55,0		0,01	3,9
totale generale	510		333	170		3,6	1841

Produttività primaria globale (terra)



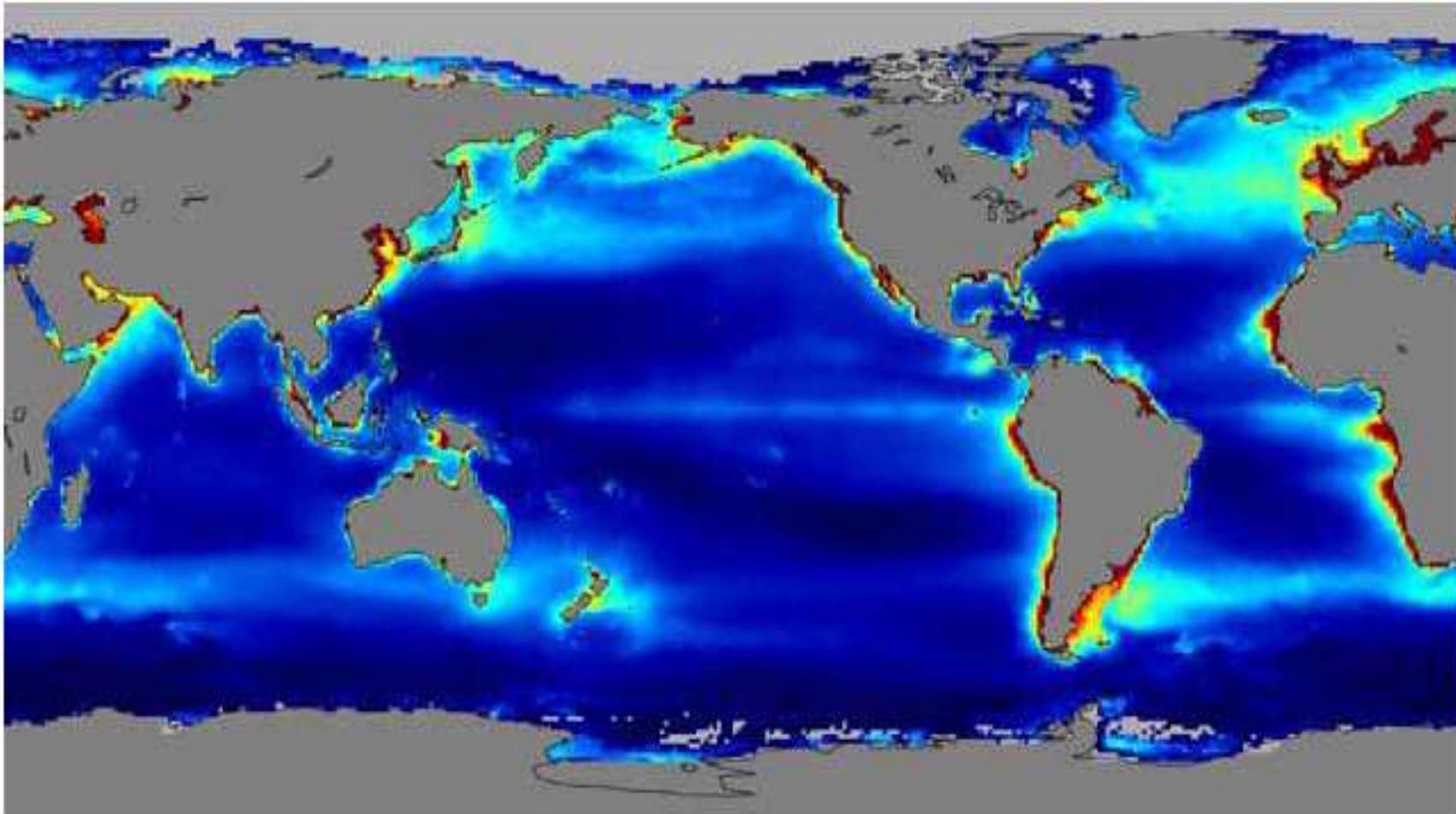
Produttività primaria (variazione stagionale)

January



https://worldmapper.org/wp-content/uploads/2018/07/Animation_Grid_GrossPrimaryProductivity_2001to2011.gif

Produttività primaria dei principali ecosistemi



Net Primary Productivity (grams Carbon per m² per year)

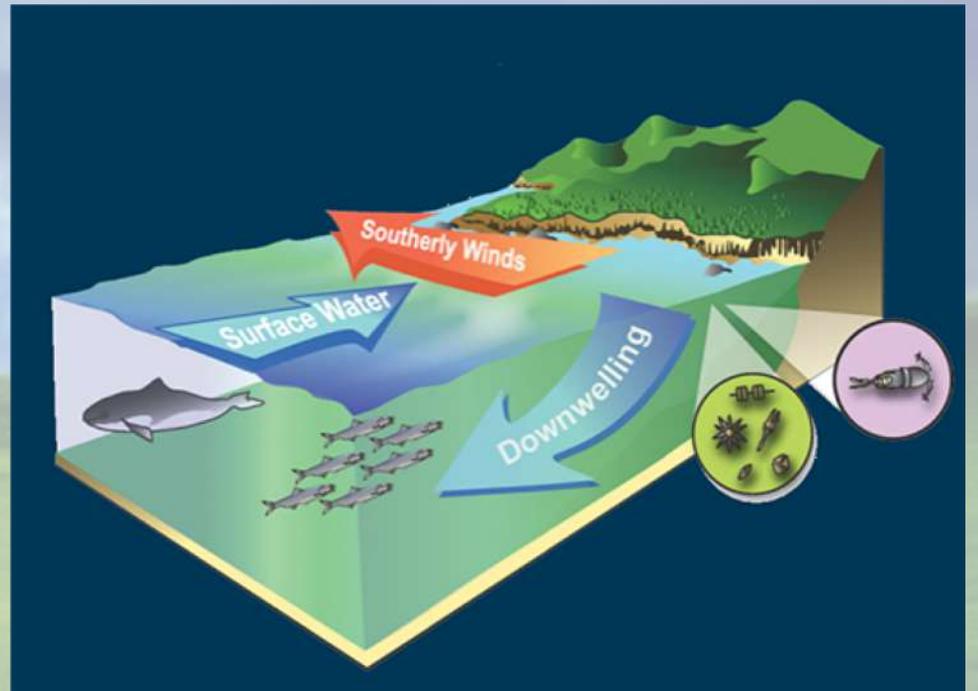
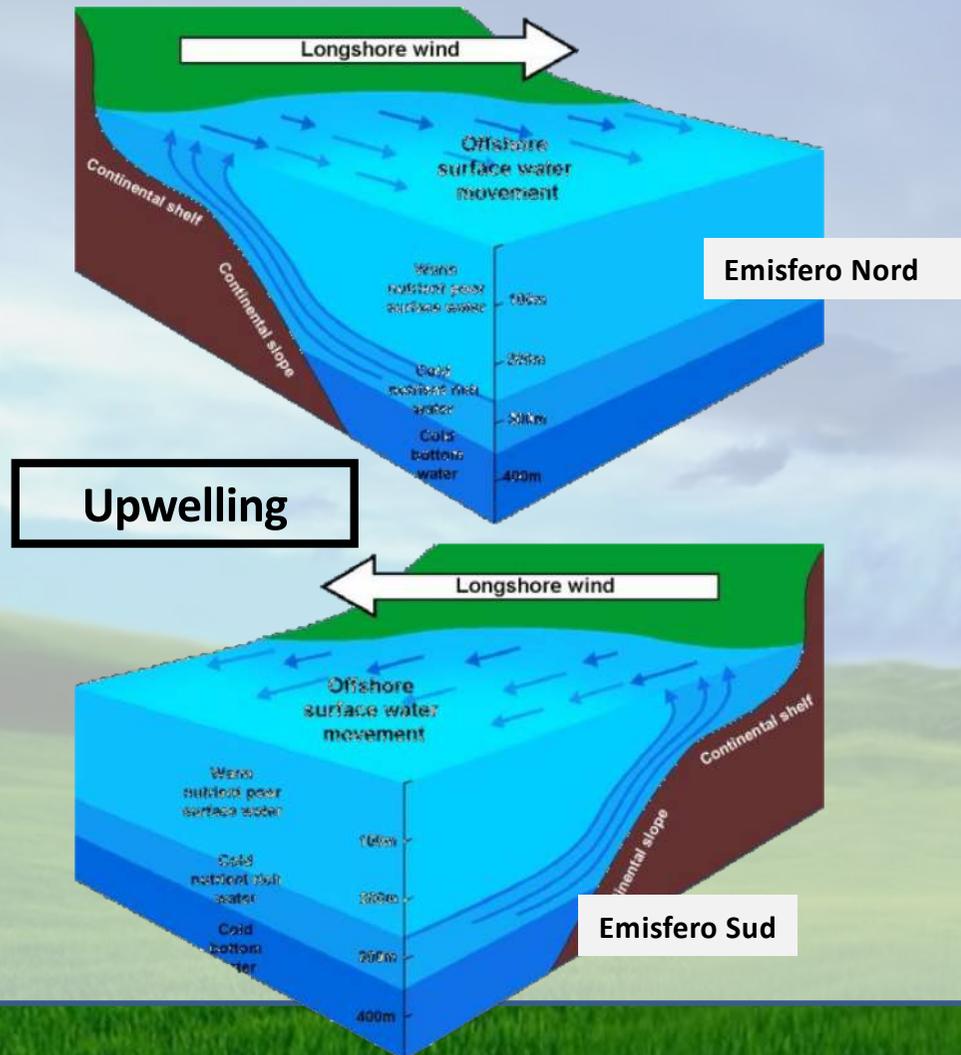


Upwelling

Il vento sposta le masse d'acqua nella sua stessa direzione. La forza di Coriolis data dal movimento antiorario di rotazione terrestre imprime uno spostamento delle masse in movimento verso destra (EN) o sinistra (ES) rispetto alla direzione del vento.

Si origina, quindi, un movimento della massa d'acqua che può portare alla risalita di masse d'acqua dal fondo, o di discesa.

Downwelling



Differenze tra ambienti terrestri e marini



1841 Gt

170 Gt km⁻² a⁻¹



1837 Gt

115 Gt km⁻² a⁻¹



3.9 Gt

55 Gt km⁻² a⁻¹

Biomassa

Produttività

Sulle terre emerse la biomassa dei produttori primari è maggiore rispetto a quella presente nei mari e negli oceani.

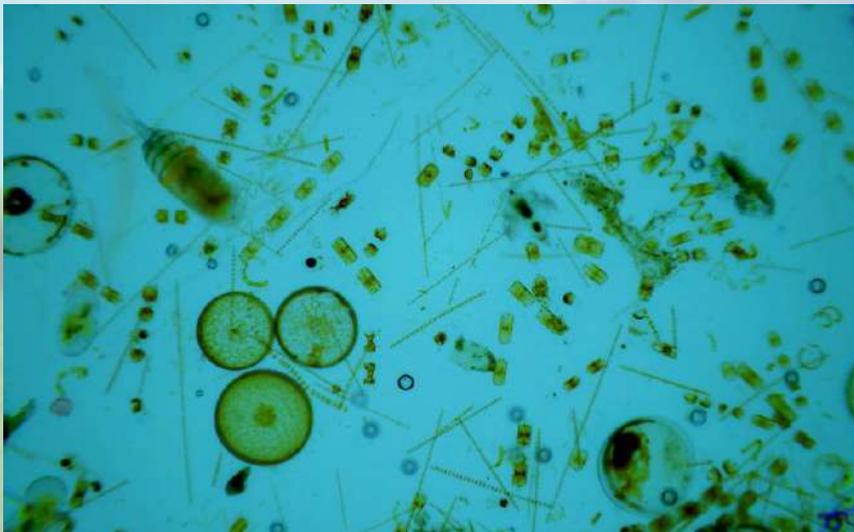
Il **30%** delle terre emerse e il **90%** dei mari e oceani producono **<440 g m⁻² a⁻¹**

La produttività netta dei mari e oceani è circa 1/3 di quella totale del pianeta

Negli oceani, una piccola biomassa produce quasi la metà di quel che produce la terra emersa.

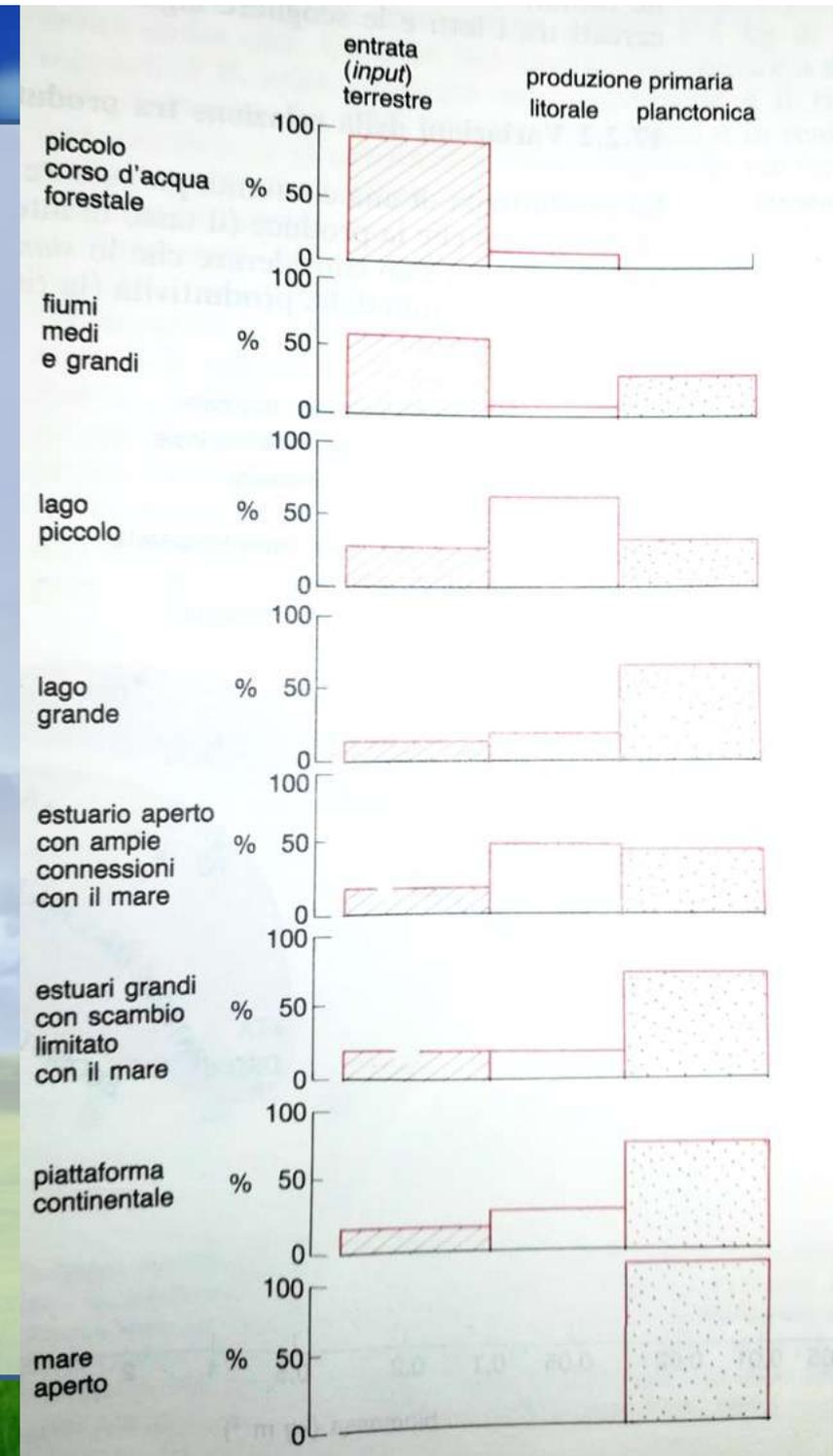
Differenze tra ambienti terrestri e marini

Questa sproporzione è dovuta principalmente alle caratteristiche che distinguono i produttori primari tra ambiente terrestre e ambiente marino. Negli ecosistemi marini, il fitoplancton è il principale responsabile della produzione fotosintetica, mentre a terra sono le piante a produrre quasi tutta la biomassa. Il fitoplancton è costituito da organismi microscopici fotosintetizzanti in cui tutta la biomassa è attiva. Al contrario, nelle piante, una parte cospicua della biomassa è *necromassa*, che non partecipa al processo produttivo.



Input di sostanza organica

Negli ambienti acquatici l'apporto alloctono di sostanza organica è fondamentale per l'energetica delle comunità che vi abitano. Mentre a terra la sostanza è prodotta *in situ* principalmente dalle piante, nelle aree costiere dalle alghe, fanerogame e dal fitoplancton, e in mare aperto soprattutto da quest'ultimo, specialmente nei corsi d'acqua dolce e nei sistemi marini profondi, molta della sostanza organica è di origine alloctona. I piccoli corsi d'acqua, ad esempio, risiedono sostanzialmente su questo tipo di apporto.

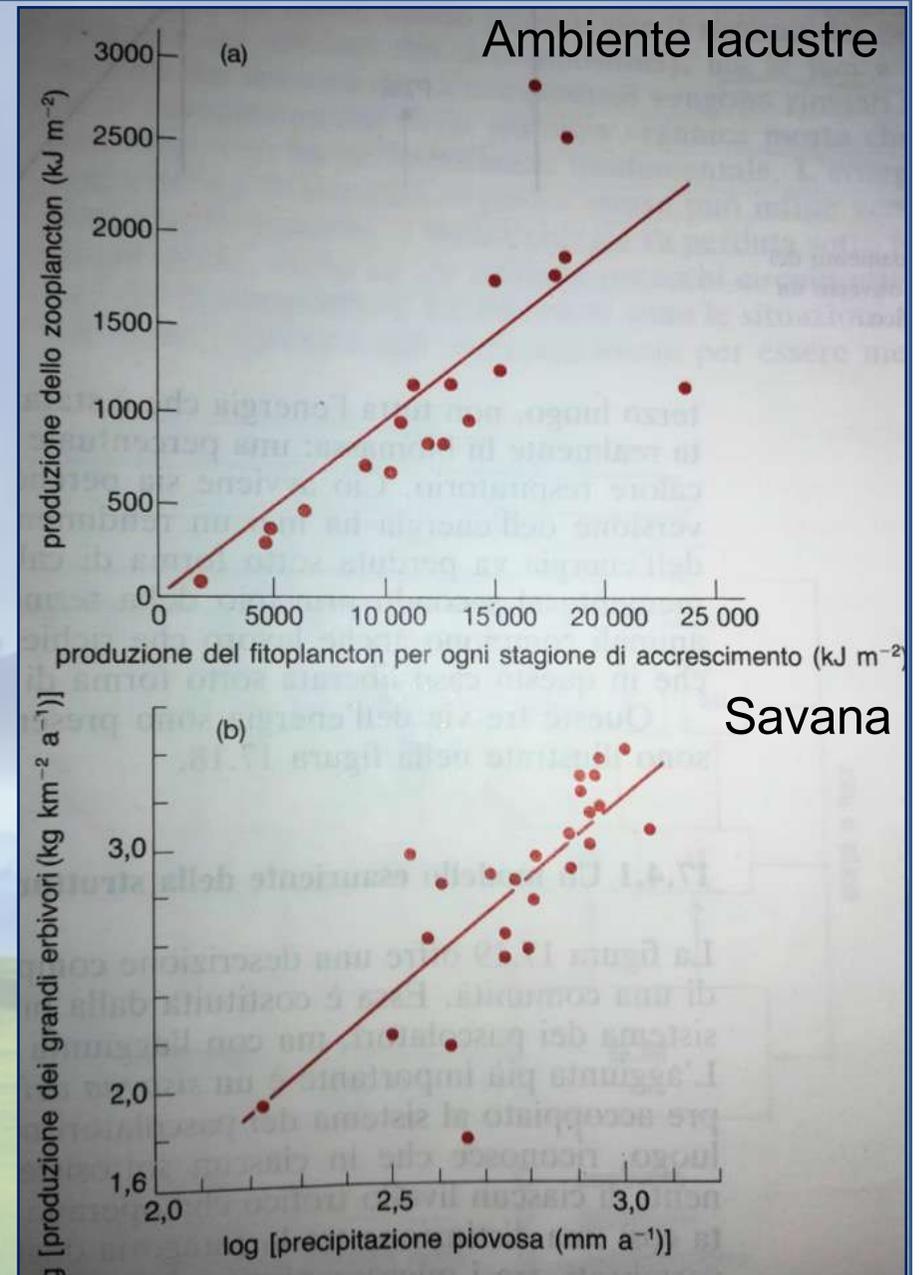


Produttività secondaria

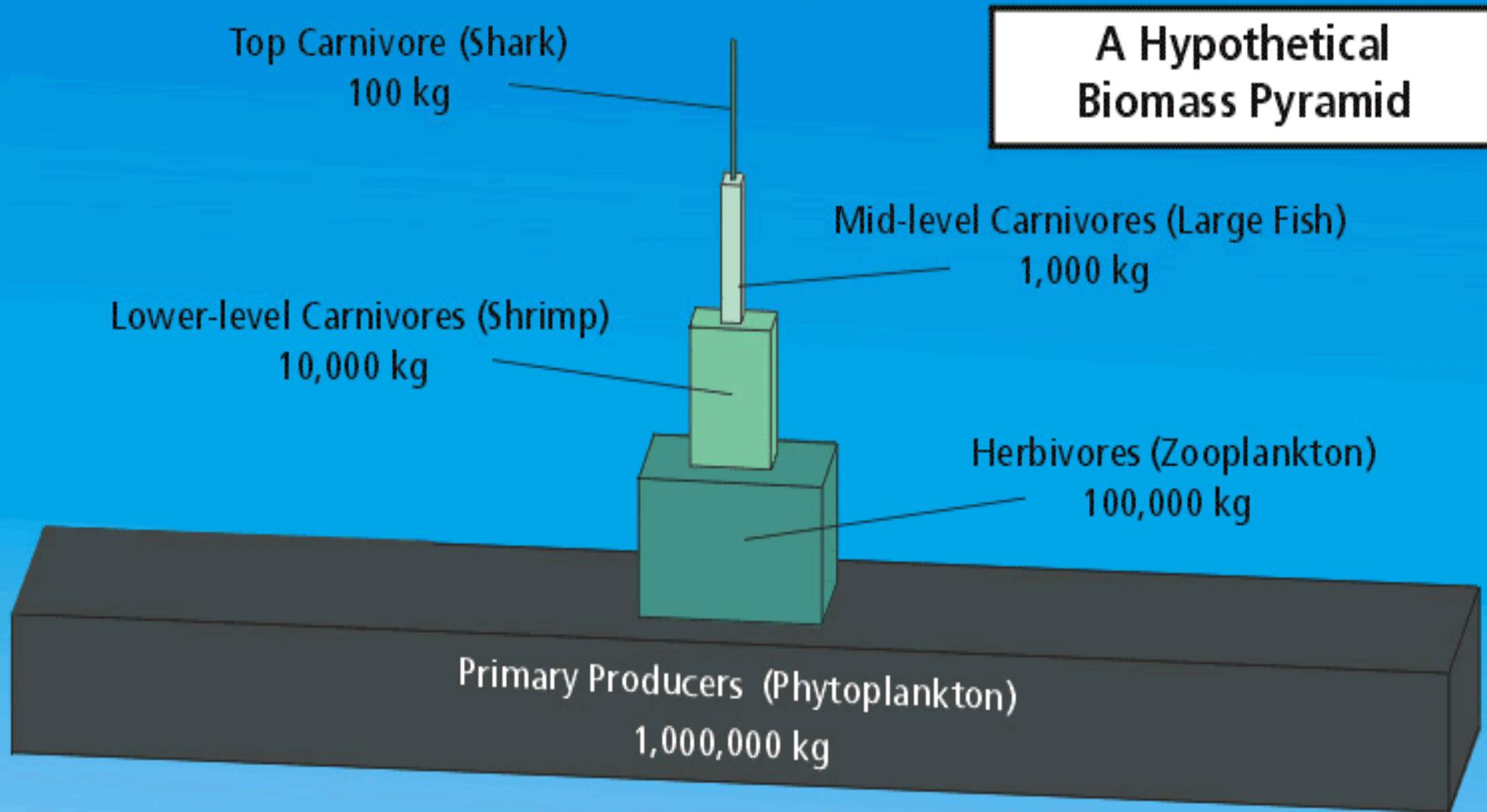
La produttività secondaria è la velocità di produzione di nuova biomassa da parte degli organismi eterotrofi.

Le piante (o le alghe) rappresentano il primo livello trofico nella maggior parte delle reti. La funzione produttiva primaria rappresenta quindi il passo basilare per la produzione di materia organica. Tale materia viene poi consumata dagli erbivori. La produttività di questi, quindi dipende strettamente dalla produttività primaria.

Ed infatti sono strettamente correlate. Con una differenza sostanziale...dov'è finita tutta la materia (e quindi l'energia) mancante?

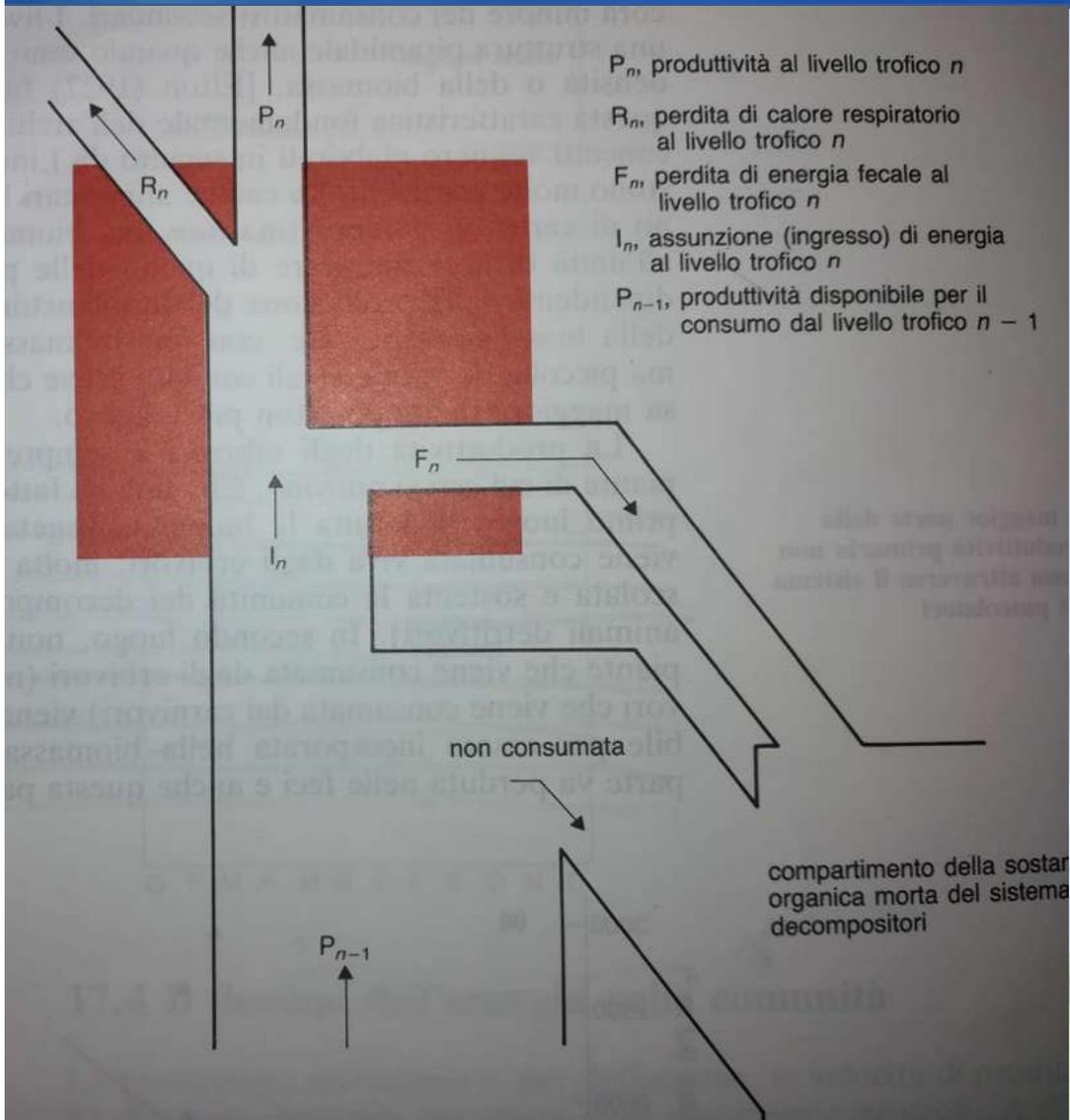


La piramide ecologica



I sistemi ecologici possono presentare un andamento piramidale delle densità e della biomassa, e anche dell'energia.

Il flusso di materia ed energia



- Non tutta la biomassa proveniente dal livello trofico sottostante viene consumata. Larga parte entra direttamente nel comparto del detrito.
- Non tutta la biomassa che entra in un dato livello (viene consumata effettivamente) viene assimilata, e quindi resa disponibile per creare nuova biomassa (feci --> detrito).
- L'energia assimilata non è tutta disponibile per creare biomassa. Parte dell'energia si perde come calore, sia perché in ogni passaggio non si ha un'efficienza del 100% (secondo principio della termodinamica), sia perché gli organismi compiono lavoro, il che degrada l'energia da una forma utilizzabile ad una inutilizzabile (calore).

Alla fine, solo una piccola parte della biomassa in entrata nel livello viene incorporata nella biomassa e resa disponibile al livello successivo.

Rendimento di consumo

La porzione di produzione netta che passa da un livello all'altro, quindi, dipende da quanto efficiente è il trasferimento, e cioè a quanto ammonta il (i) rendimento di consumo, di (ii) assimilazione e di (iii) produzione.

Il rendimento di consumo è la percentuale di produzione totale netta dal livello $n-1$ che viene consumata dal livello n .

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

Ad esempio, la % di produzione netta delle piante che viene ingerita dagli erbivori. O quella degli erbivori ingerita dai carnivori.

In generale, per gli erbivori, essa è bassa in ambienti forestali (5%), moderata in ambienti di pascolo, come praterie (25%), e più alta in ambienti acquatici dominati dal fitoplancton (50%). Per i carnivori può variare (5%-100%).

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

Rendimento di assimilazione

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

$$RA_n = (A_n / I_n) \cdot 100$$

In generale, essa è bassa per gli erbivori, detritivori e microbivori (20-50%) e alta per i carnivori (80%). Questo soprattutto a causa della componente strutturale complessa della materia vegetale (lignina, cellulose) scarsamente gestibile metabolicamente. I rendimenti degli erbivori possono essere abbastanza alti nel caso dei granivori e frugivori (60-70%).

Il resto non viene assimilato ed entra nella catena del detrito sotto forma di feci.

Rendimento di produzione

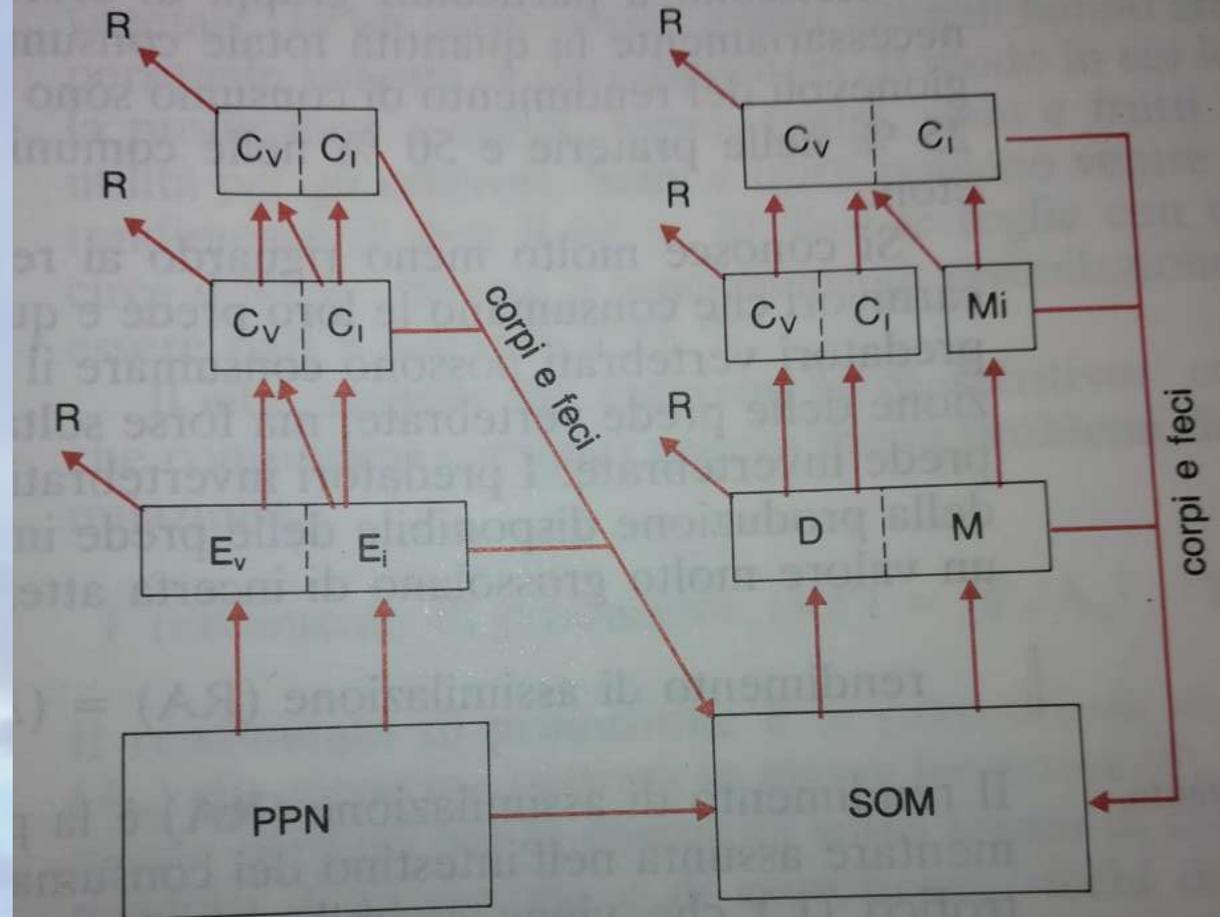
Il rendimento di produzione è la percentuale di energia (o biomassa) assimilata dagli organismi che viene incorporata in nuova biomassa nel livello n .

$$RP_n = (P_n / A_n) \cdot 100$$

In generale, essa è relativamente alta per gli invertebrati (30-40%), bassa per i vertebrati ectotermi (5%) e bassissima per i vertebrati endotermi (1-2%). Questo soprattutto a causa della notevole quantità di energia spesa per la termoregolazione. Il resto viene perduto irrimediabilmente come calore respiratorio (perdite nei processi metabolici, movimento, termoregolazione, ecc.).

Modello energetico

Possiamo quindi identificare l'insieme delle vie di trasferimento energetico all'interno dell'ecosistema, che è composto da due tronconi principali, la via di trasferimento attraverso i livelli trofici e la via del detrito. Entrambe sono connesse tra loro dal processo di mineralizzazione e dalla predazione sul comparto dei detritivori e microbivori. La via del detrito ha però un'importante caratteristica. La materia di scarto o morta rientra alla base della via, ad eccezione di esporto altrove o immagazzinamento dovuto a condizioni particolari (es. forme fossili).



Differenze tra terra e mare

A causa delle perdite energetiche **il numero di livelli trofici è necessariamente limitato**. In molti sistemi **terrestri** non ci sono più di **4-5** livelli. Negli ecosistemi **marini** il numero di livelli può arrivare a **6-7**. Questa disparità è legata ancora una volta alla presenza in ambiente terrestre di una notevole biomassa refrattaria, non facilmente utilizzabile dagli erbivori, il che si ripercuote sul trasferimento energetico ai livelli superiori.

In mare, invece, (1) i produttori primari (fitoplancton) producono biomassa più facilmente disponibile per gli erbivori, consentendo un trasferimento maggiore verso i livelli superiori. Inoltre, (2) il fitoplancton ha tempi di turnover molto elevati con molta della biomassa in grado di produrre altra biomassa, al contrario delle (3) piante nelle quali molta della loro struttura è rappresentata da necromassa.

(4) La maggior parte degli organismi marini è ectoterma, con un basso dispendio energetico per la termoregolazione.

Infine, (5) il movimento in acqua è più agevole rispetto all'ambiente terrestre, riducendo i consumi energetici per gli spostamenti.