

Ecologia

Anno Accademico 2023-24

Docente:

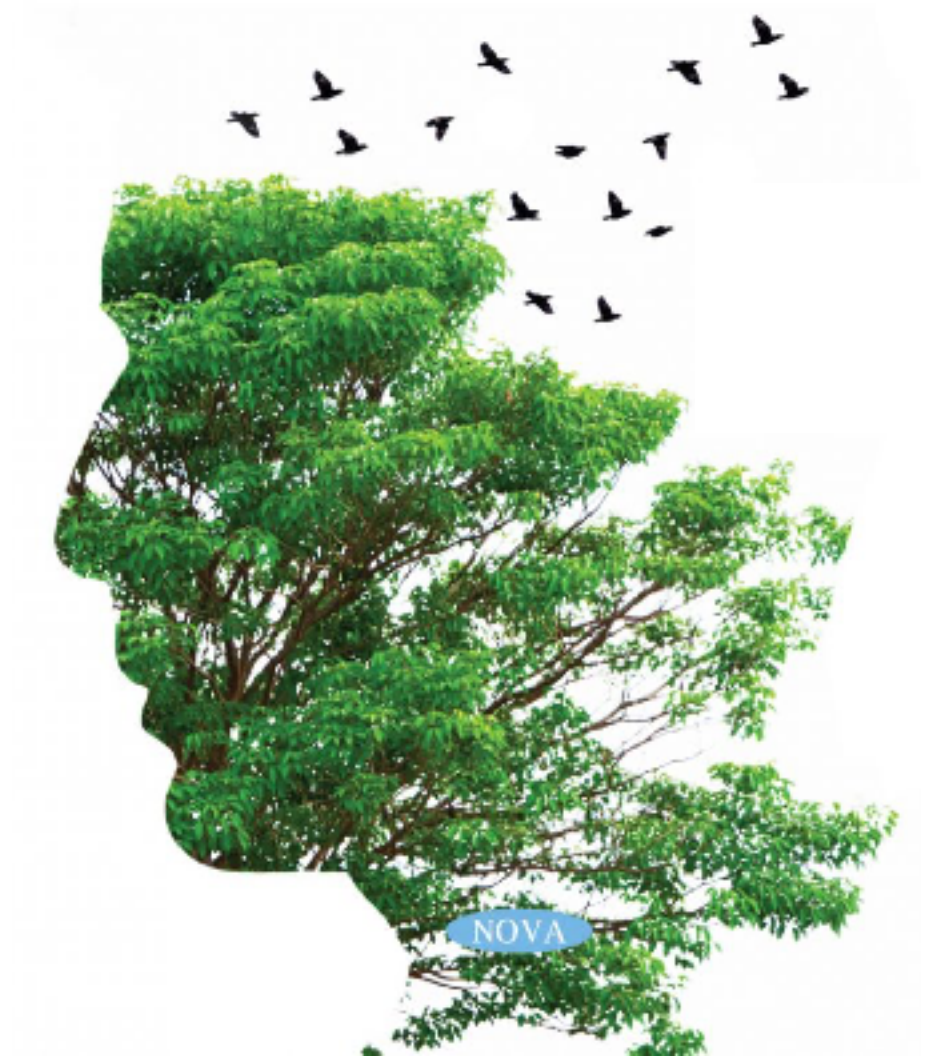
Prof. Stefano Martellos

martelst@units.it

(<http://dryades.units.it/SM>)



ECOSYSTEM SERVICES



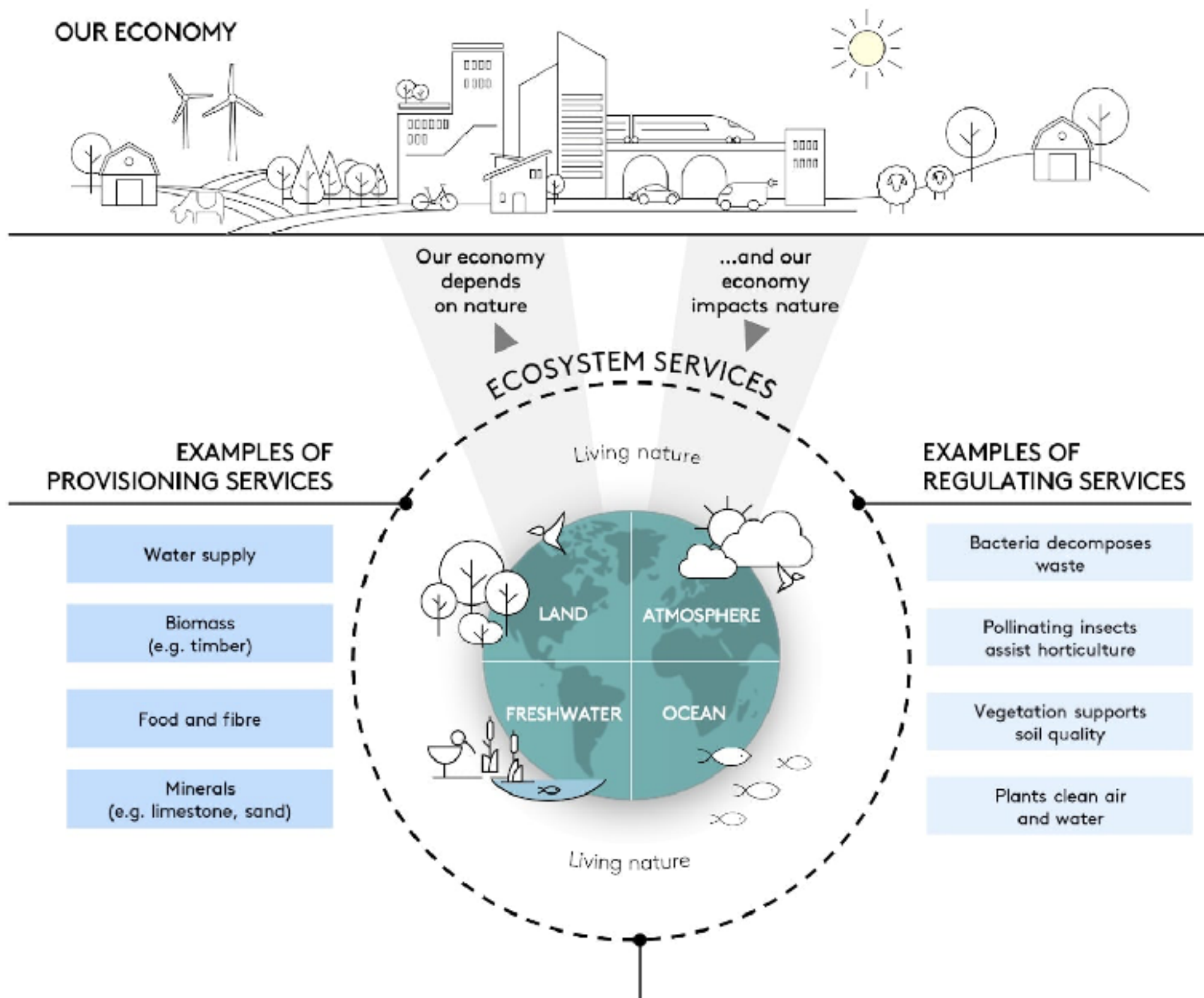


Una delle difficoltà principali nel valutare in modo diverso lo sviluppo economico è stimare il “prezzo” delle risorse e dei servizi naturali. Se l'economia di mercato riesca a dare un prezzo alle materie prima, difficilmente riesce a darlo al riciclaggio dei rifiuti che l'ecosistema compie continuamente. Ancora più difficile è la stima del valore di altri tipi di “servizi”, come il piacere di una gita in montagna o di una giornata al mare. Questi servizi dipendono direttamente dalla qualità dell'ambiente, e possono essere stimati solo indirettamente.

TABELLA 12.3 Valore annuo stimato dei servizi ecologici

SERVIZI ECOSISTEMICI	VALORE (migliaia di miliardi di dollari USA)
Formazione del suolo (pedogenesi)	17.1
Ricreazione	3.0
Riciclo dei nutrienti	2.3
Regolazione e approvvigionamento dell'acqua	2.3
Regolazione del clima (temperatura e precipitazioni)	1.8
Habitat	1.4
Protezione dalle inondazioni e dalle tempeste	1.1
Produzione di alimenti e materie prime	0.8
Risorse genetiche	0.8
Mantenimento del bilancio dei gas atmosferici	0.7
Impollinazione	0.4
Tutti gli altri servizi	1.6
Valore totale dei servizi ecosistemici	33.3

Fonte: tratto, con adattamenti, da: R. Costanza, *et al.*, *The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital*, «Nature», **387** (1997).



Cultural services are another type of ecosystem services, contributing to a range of cultural benefits (e.g. the recreational supply of a nearby intact forest for residents).

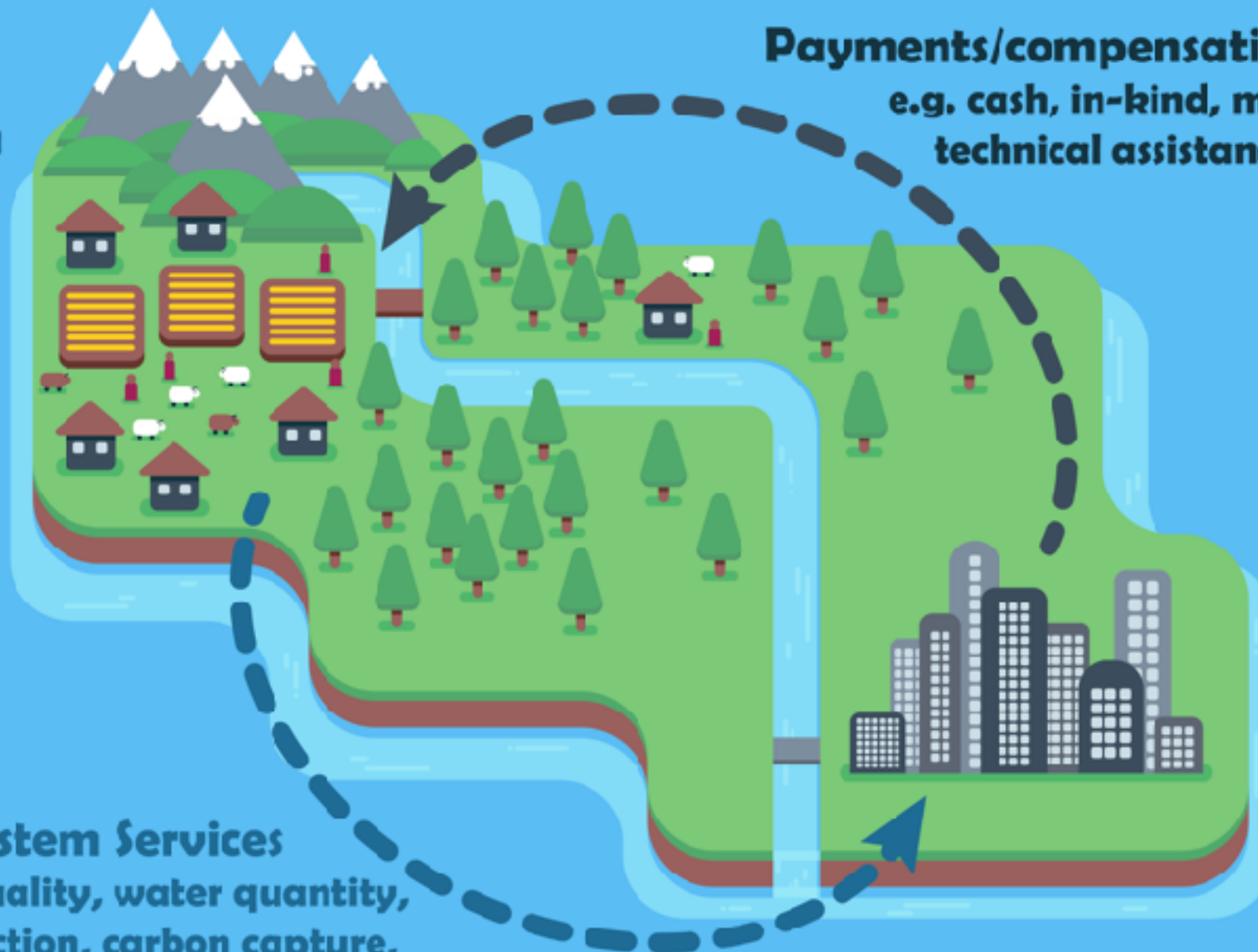
**Payment
of ecosystem services?**

**Upstream
ecosystem
service
providers**

Payments/compensation/incentives
e.g. cash, in-kind, materials,
technical assistance, etc.

Ecosystem Services
e.g. Water quality, water quantity,
erosion reduction, carbon capture,
habitat conservation, etc.

**Downstream
ecosystem
service
users**



Water Funds

Water Funds unite public, private, and civil society stakeholders around the common goal of contributing to water security through nature-based solutions and sustainable watershed management.

Incentives

Cash, technical assistance, materials



Conservazione dell'ambiente

I problemi di conservazione delle risorse naturali sono stati posti in evidenza già diversi secoli fa, ed addirittura da Platone. Tuttavia, solo nel secolo scorso la conservazione dell'ambiente diventa un problema compreso a livello globale.

1962 – **Rachel Carson** pubblica *Silent spring*

1981 – **James Lovelock** pubblica *Gaia: A new look at life on Earth*

Rachel Carson

- Wrote "*Silent Spring*"
- Biologist, ecologist, Writer
- Protested the use of chemicals, Pesticides in the environment for farming, etc.
- Resulted in the Water Quality Act
- Triggered the Modern Environmental Movement





“We spray our elms and the following springs are silent of robin song, not because we sprayed the robins directly but because the poison traveled, step by step, through the now familiar elm leaf-earthworm- robin cycle.”

James Lovelock
GAIA

*A New Look at
Life on Earth*

*With a
new Preface
by the
Author*

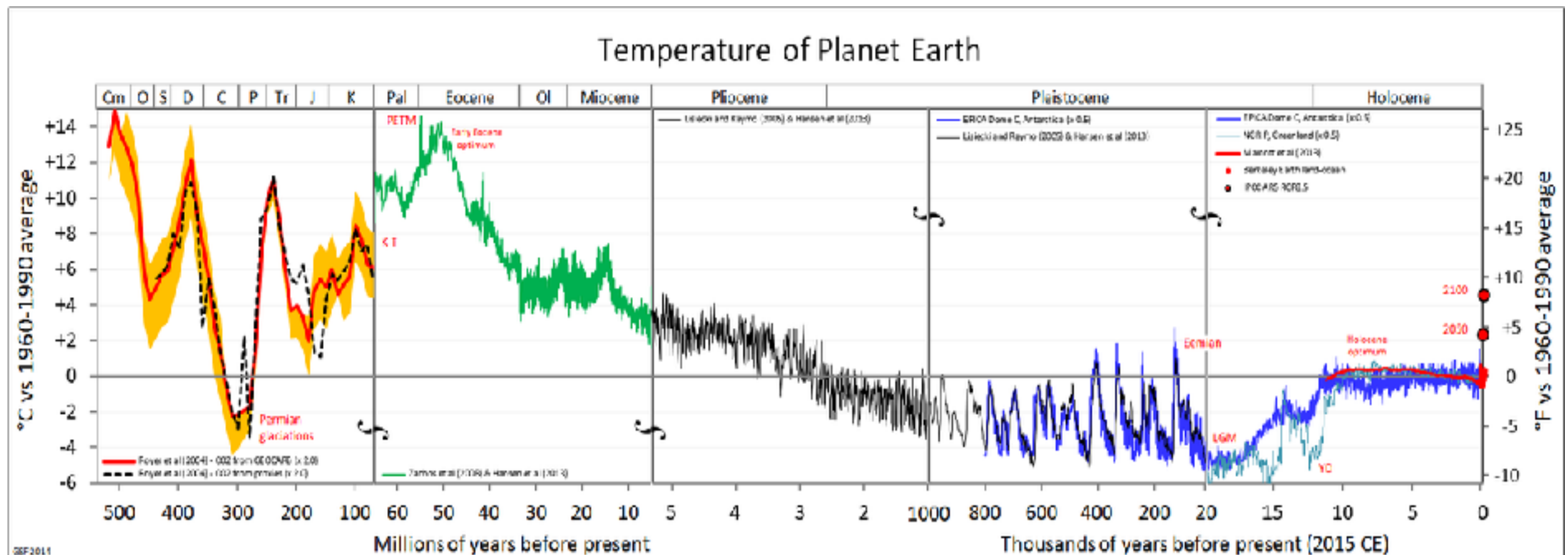


Ipotesi Gaia: *[Gaia is] a complex entity involving the Earth's biosphere, atmosphere, oceans and soil; the totality constituting a feedback or cybernetic system which seeks an optimal physical and chemical environment for life on this planet.*

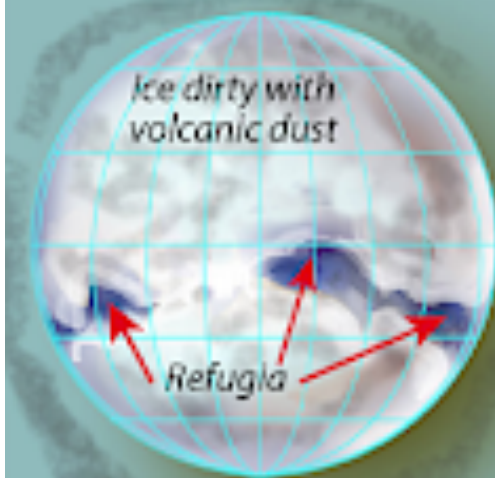
[Gaia è] una entità complessa che comprende la biosfera, l'atmosfera, gli oceani e le terre emerse del pianeta; l'insieme costituisce un sistema cibernetico che tende ad un ambiente fisico e chimico ottimale per la vita sul pianeta.

Secondo Lovelock, Gaia evolve e tende verso uno stato ottimale per la sopravvivenza della vita in quanto biosfera, idrosfera, geosfera e atmosfera formano un complesso sistema cibernetico, in cui i viventi operano inconsciamente. La conseguenza è un sistema di controllo globale di temperatura, salinità dei mari, e composizione dell'atmosfera.

Ad esempio, dalla formazione del pianeta, l'energia emessa dal sole è aumentata di circa il 25-30%, ma la temperatura sulla superficie del pianeta è rimasta, soprattutto negli ultimi 500 milioni di anni, relativamente costante, seppure con le oscillazioni delle glaciazioni. Tuttavia, eventi estremi di cali di temperatura, come quelli avvenuti nei periodi Huroniano (2,3-2 milioni di anni fa), Surtiano (ca. 700 milioni di anni fa) e Marinoano (ca. 630 milioni di anni fa), che hanno prodotto l'effetto definito “snowball earth” sembrano essere delle prove contro questa ipotesi.

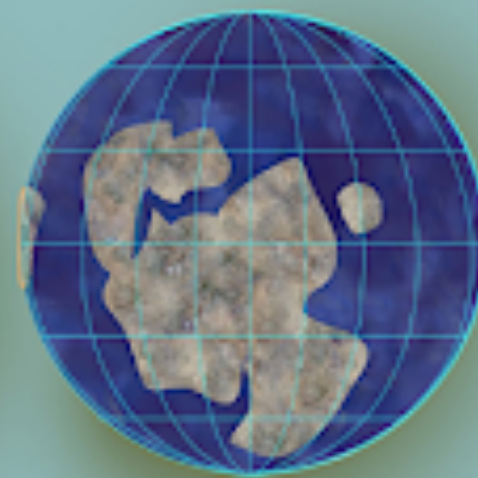


Dynamic Snowball: two long-lived glaciations



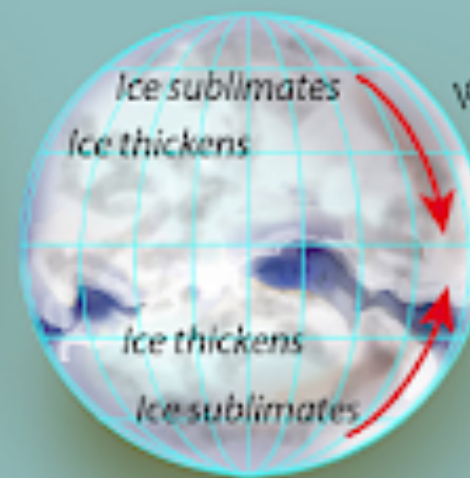
Lots of ash in air from volcanic eruption cools Earth

716.5 MYA

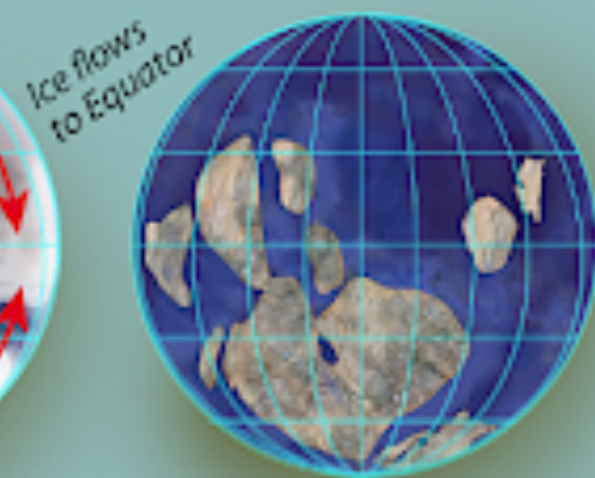


Ice-free hot-house

670 MYA

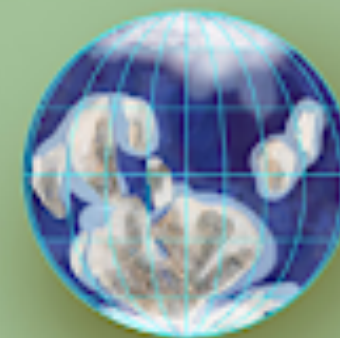
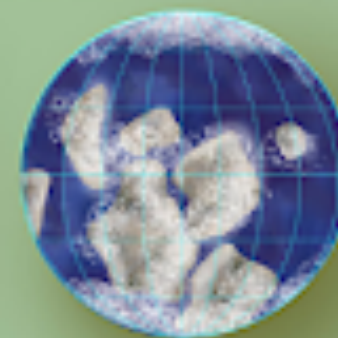
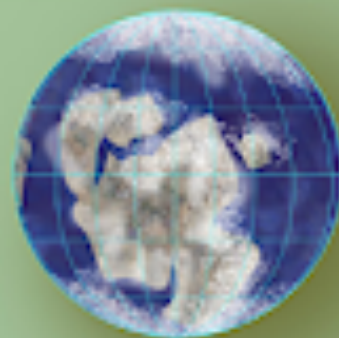
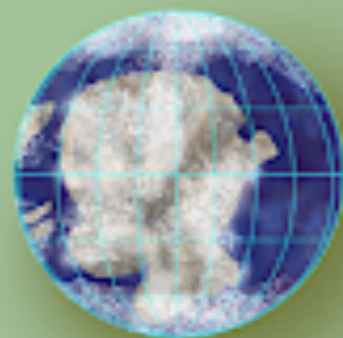


635 MYA



Ice-free hot-house

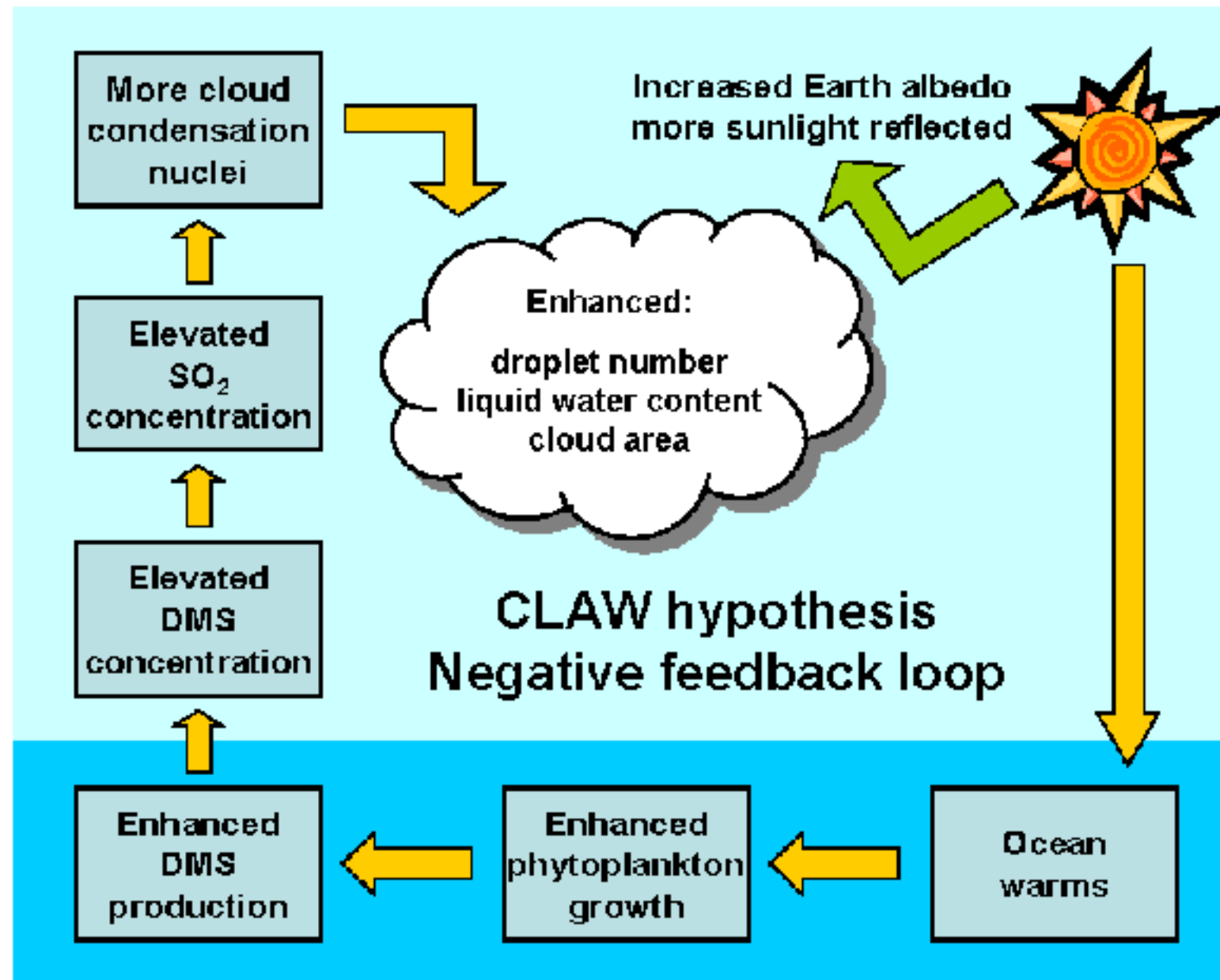
630 MYA

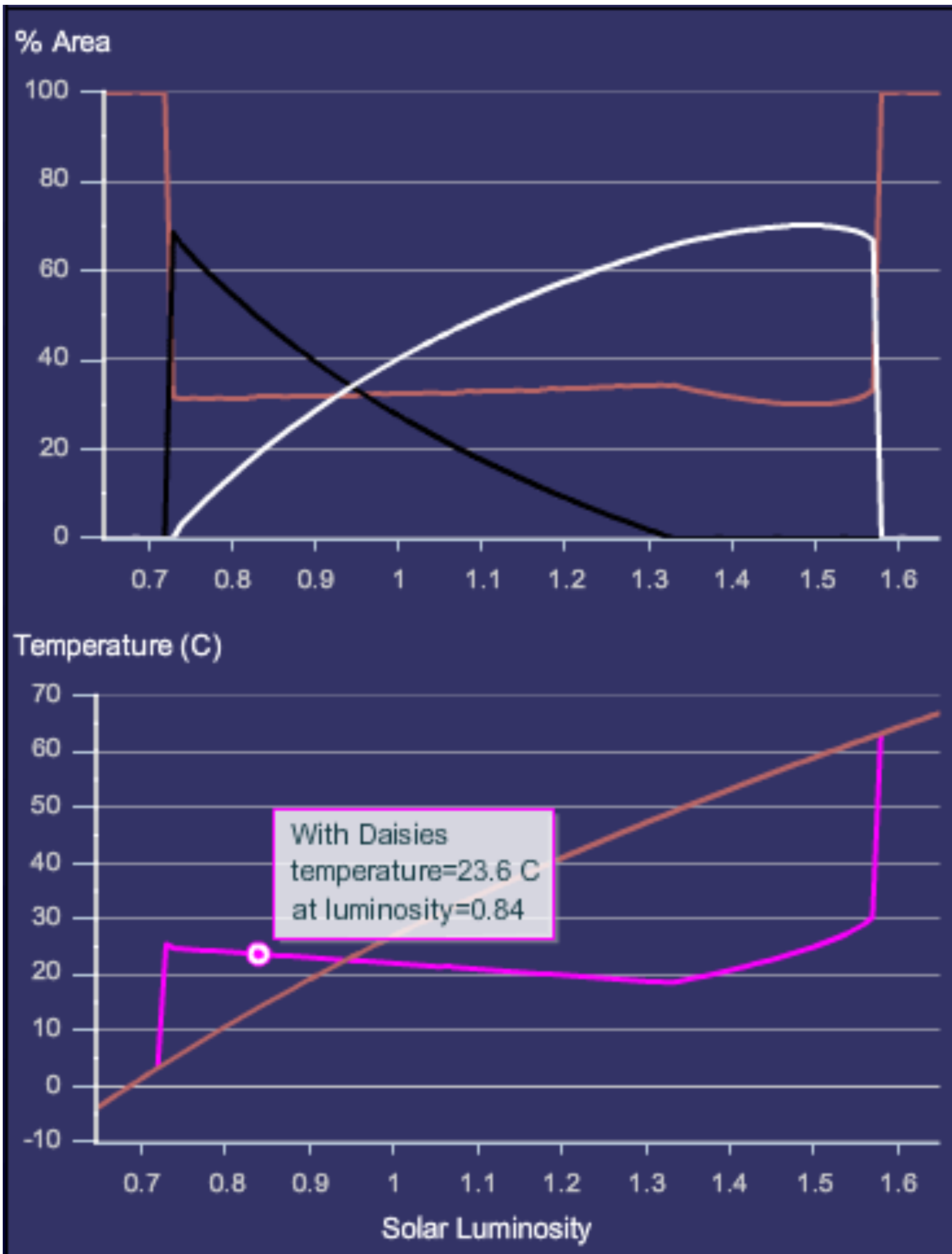


Another theory: glaciations patchy, short

L'ipotesi CLAW

Secondo questa ipotesi un sistema a feedback mantiene più o meno stabile la temperatura sul pianeta, grazie all'opera di organismi metanogeni.



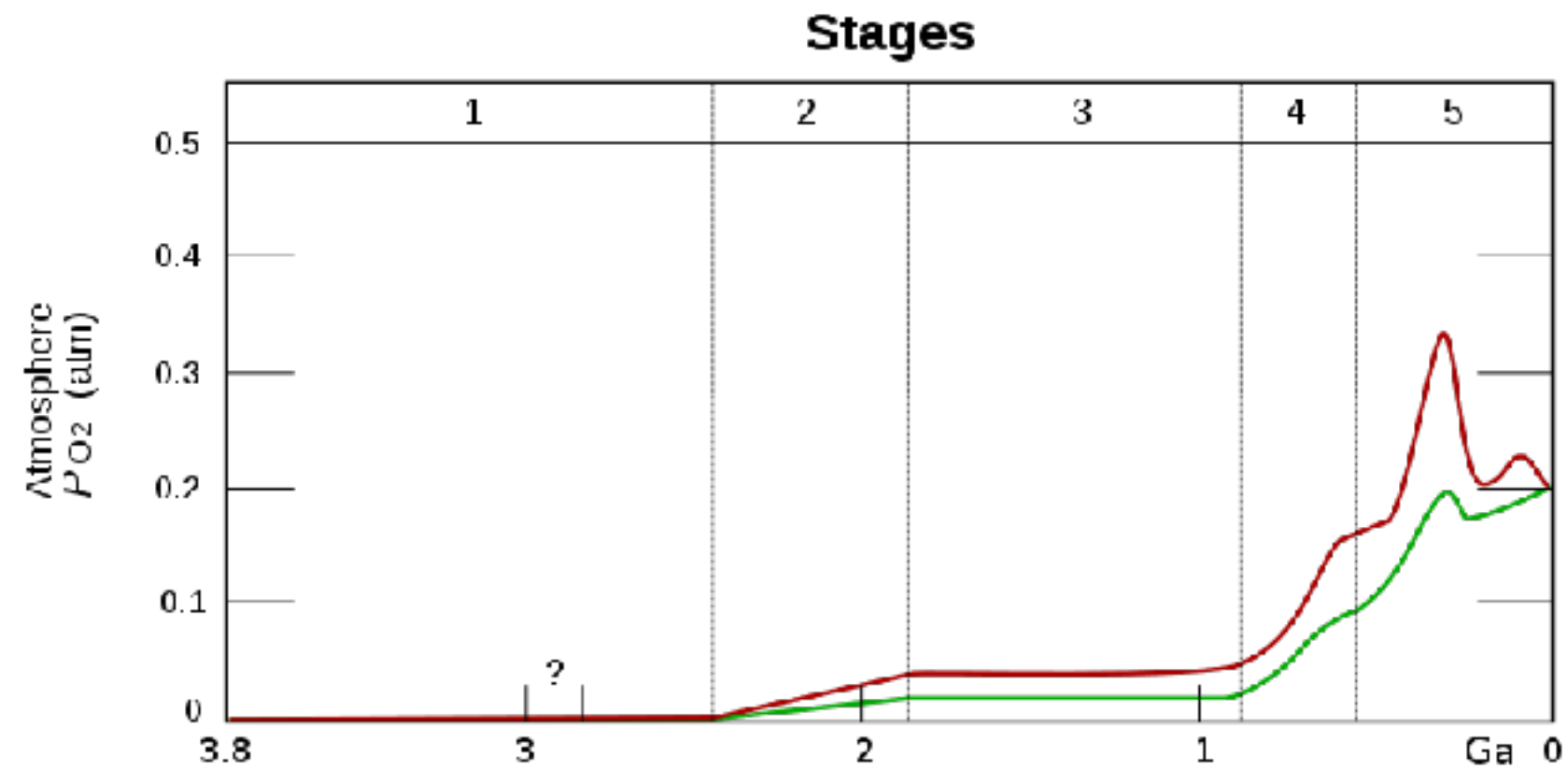


Daisyworld è una simulazione computerizzata sviluppata da Lovelock e Watson nel 1983. Nella simulazione si ipotizza che un pianeta popolato da due varietà di margherite, una bianca ed una nera, orbiti attorno ad una stella con emissione variabile.

La simulazione vuole dimostrare come la vita regoli la temperatura del pianeta in un sistema cibernetico, permettendo il perdurare della vita stessa.

Modelli più evoluti hanno introdotto popolazioni di altri organismi, predatori, decompositori, andando a simulare una elevata diversità biologica, e dimostrando che all'aumentare della biodiversità la capacità di autoregolazione del sistema aumenta.

Anche la quantità di ossigeno in atmosfera, sin dalla sua comparsa, è tenuta più o meno costante dall'opera dei viventi.

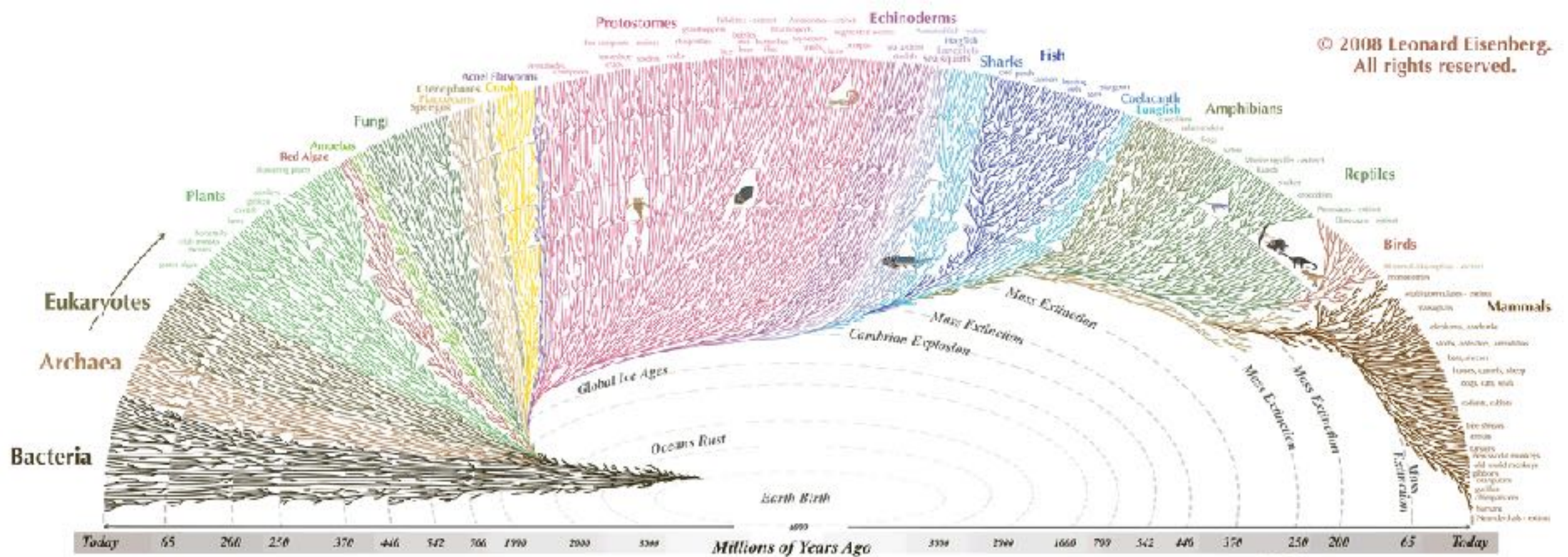


La vita

Il concetto di vita ci è apparentemente chiaro. Tuttavia non esiste una comune ed accettata definizione di vita. Solitamente gli scienziati definiscono vivo un oggetto che:

- presenta omeostasi, ovvero regola l'ambiente interno rispetto a quello esterno
- è organizzato, composto da una o più cellule
- ha un metabolismo, tramite il quale produce energia per mantenere bassa la propria entropia
- cresce, almeno durante un periodo della propria vita
- è in grado di adattarsi all'ambiente, tramite processi evolutivi
- risponde agli stimoli
- è in grado di riprodursi

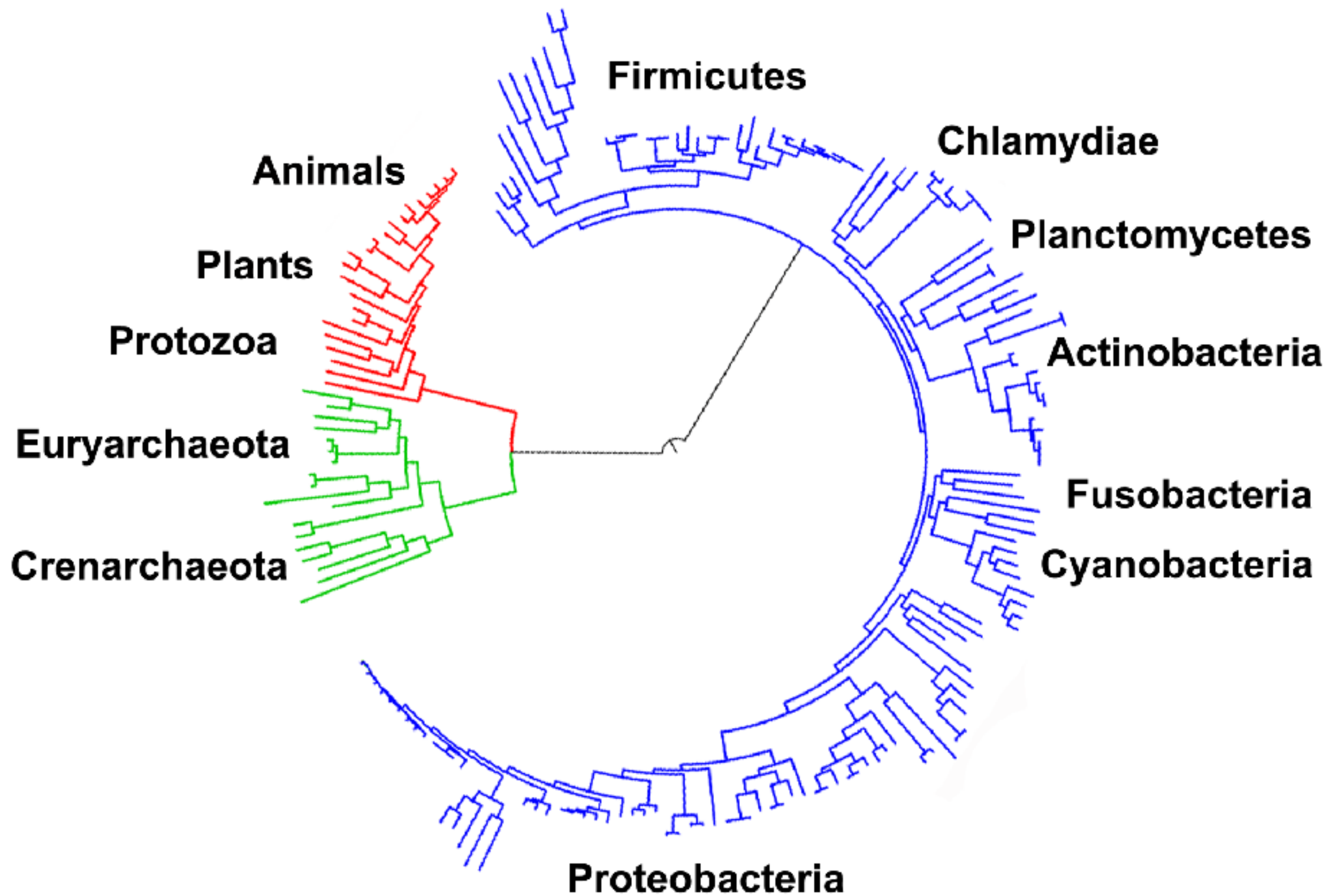
Questa definizione è tuttavia lungi dall'essere sufficiente. Esistono organismi che mandano di una o più di queste caratteristiche, ma devono essere comunque definiti vivi. Alcuni esempi sono le api operaie non si riproducono, ma sono indubbiamente vive, ed i muli, ibridi sterili, ma che sono anch'essi vivi. Esistono batteri, come la clamidia, che non possono utilizzare indipendentemente molti processi biochimici, e dipendono necessariamente da un ospite per questo. Virus e prioni sono casi a parte, e sono spesso considerati come semplici unità replicative, anziché come organismi viventi. Tuttavia, possono essere definiti come non viventi, al pari di una pietra? Un'altra definizione (detta "sistemica") di vita dice che gli oggetti viventi sono autoorganizzati ed autopoietici, ovvero si producono da soli. Esistono poi ancora molte altre definizioni, più o meno complesse, e più o meno soddisfacenti.

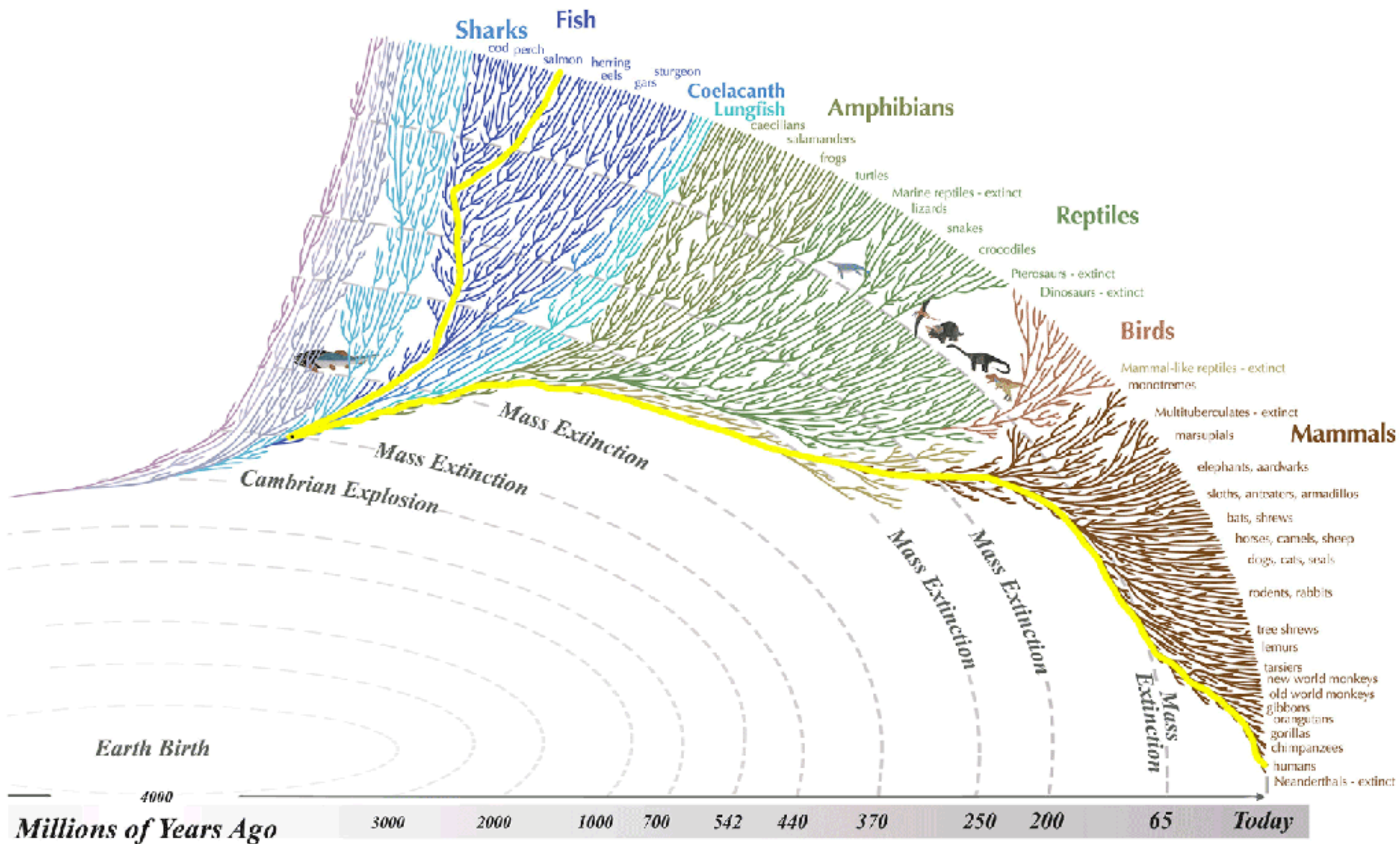


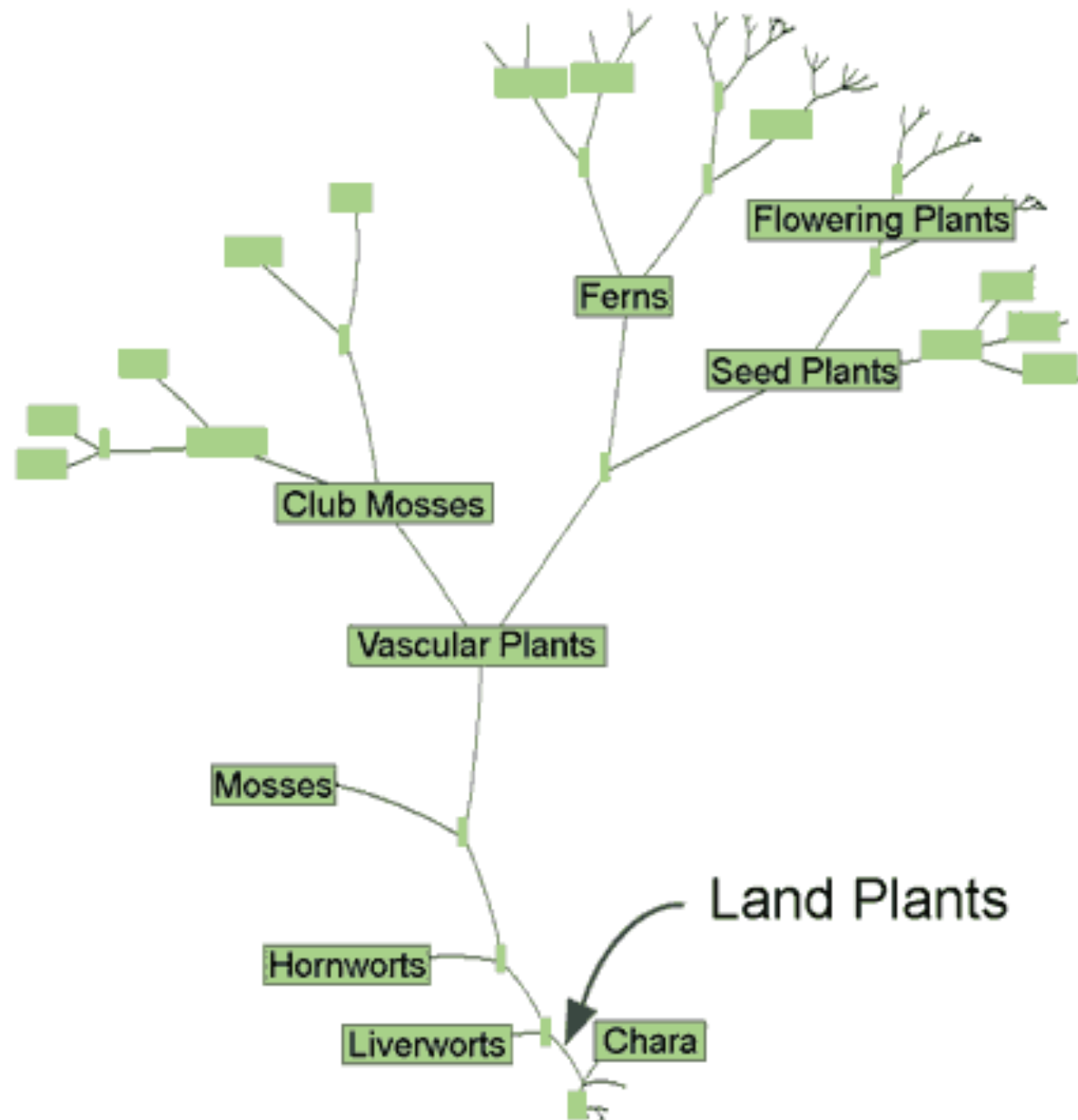
All the major and many of the minor living branches of life are shown on this diagram, but only a few of those that have gone extinct are shown. Example: Dinosaurs = extinct



© 2008 Leonard Eisenberg. All rights reserved. www.eisenberg.com





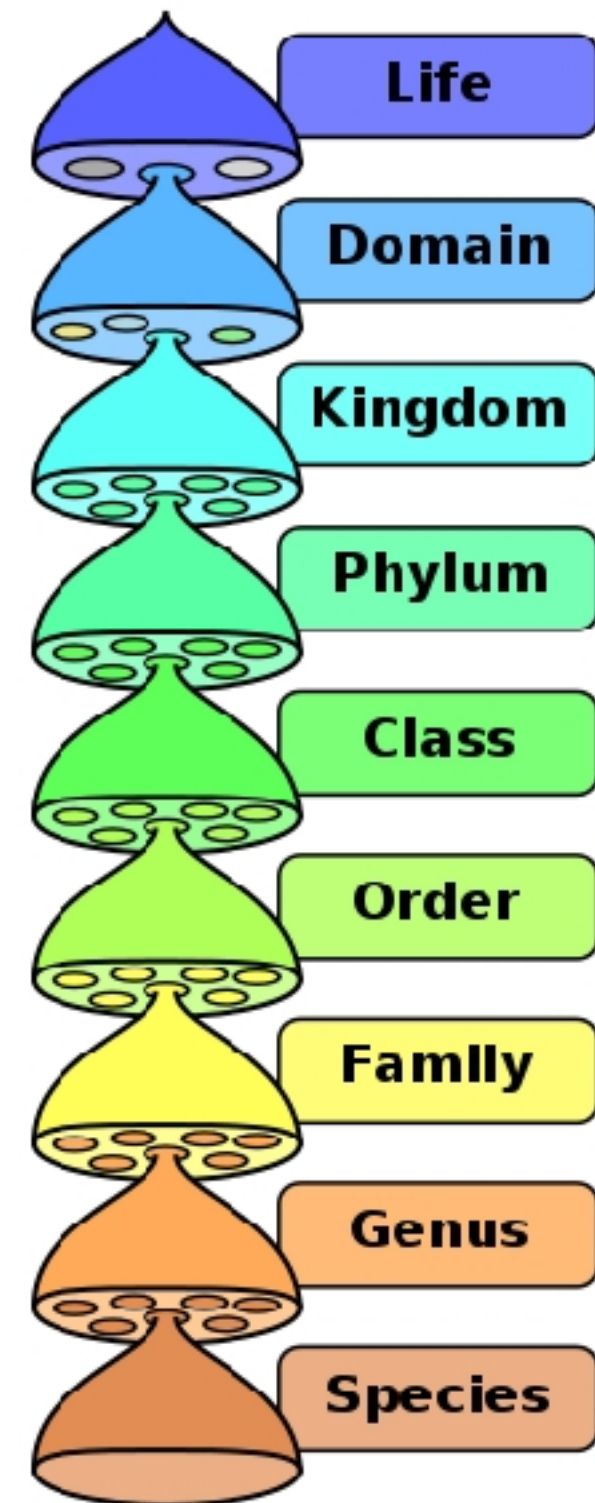


La specie

Il concetto di specie è evoluto con lo sviluppo delle conoscenze biologiche. Tuttavia resta ancora aperta la questione se la specie esista realmente, indipendentemente dall'osservatore.

La teoria di Darwin ci dice che, contrariamente a quanto si credeva precedentemente, i viventi non sono immutabili, ma sono in continuo cambiamento, o evoluzione. Quando viene descritta una specie, si delimita una porzione del "continuum evolutivo". A tale entità viene dato un nome, che, dalla pubblicazione dell'opera "Sistema Naturae" di Linneo, nel 1735, in poi, è costituito da un binomio latino, la cui prima parola definisce il genere e la seconda la specie.

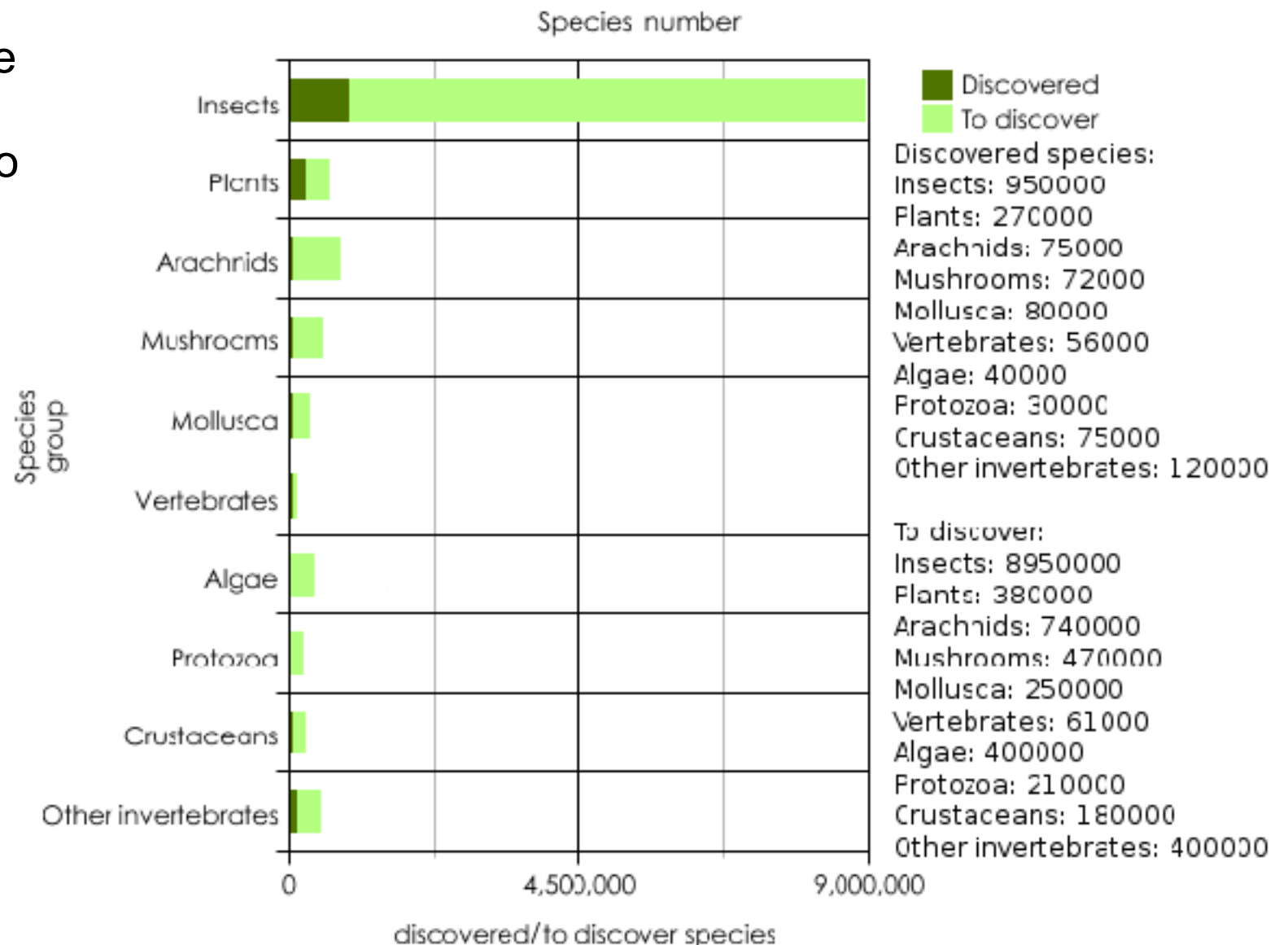
La classificazione biologica definisce diversi ranghi tassonomici, con la specie come ultimo livello. Linneo definì solo 2 regni, animali e piante. Con il progredire delle conoscenze, vennero definiti nuovi regni, fino ai sei attualmente accettati: Eubacteria, Archebacteria, Protista, Fungi, Plantae, Animalia.



Il più noto concetto di specie la definisce come un insieme di individui capaci di riprodursi e di dare prole fertile (concetto di specie biologico, BSC). Questo concetto di specie si applica bene solo ad alcuni organismi, in particolare animali superiori. Risulta però inutile in tutti i gruppi di organismi che non si riproducono sessualmente. Un altro concetto di specie particolarmente importante è il concetto di specie filogenetico (PSC). Secondo questo approccio una specie è un insieme di individui che hanno un antenato in comune, ovvero rappresentano una linea evolutiva che ha mantenuto la sua integrità rispetto ad altre linee evolutive nello spazio e nel tempo.

Anche questa definizione, tuttavia, risulta inapplicabile in molti casi, come nel caso del trasferimento orizzontale di geni (HGT) che si verifica in molte popolazioni batteriche.

Negli ultimi anni sono stati definiti diversi altri concetti di specie, ma nessuno di essi risolve completamente il problema, risultando inapplicabile in alcuni casi. Alcuni scienziati pensano che una definizione univoca non possa essere formulata, e suggeriscono con un certo pragmatismo di usare un diverso concetto di specie a seconda del gruppo di organismi con cui si lavora.



specie: insieme di individui che incrociandosi tra loro generano potenzialmente una prole illimitatamente feconda (concetto di specie biologica, difficilmente applicabile a certi gruppi di organismi).

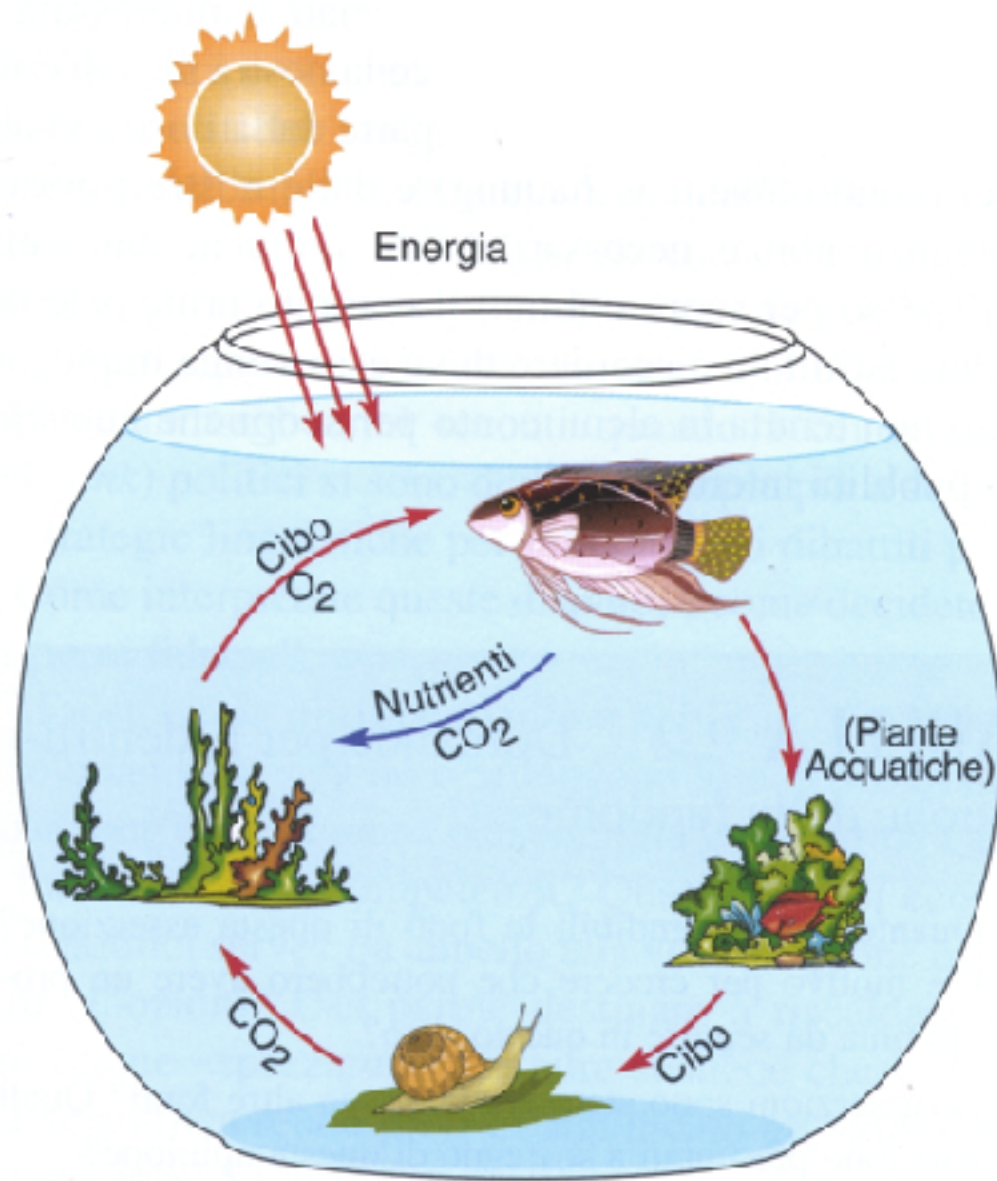
popolazione: insieme di individui appartenenti alla stessa specie che vivono in una determinata area

comunità (biocenosi): insieme delle popolazioni che occupano una determinata area

biosfera: insieme dei viventi presenti sull'intero pianeta.

sistema: insieme di componenti interdipendenti che regolarmente interagiscono e formanti un tutt'uno

ecosistema (biogeocenosi): una unità che include tutti gli organismi che vivono insieme in una data area, interagenti con l'ambiente fisico, in modo tale che un flusso di energia porta ad una ben definita struttura biotica ed a una ciclizzazione dei materiali tra viventi e non viventi all'interno del sistema. Il termine **ecosistema** venne coniato nel 1935 da Sir Arthur Tansley.



(a) Un sistema semplice

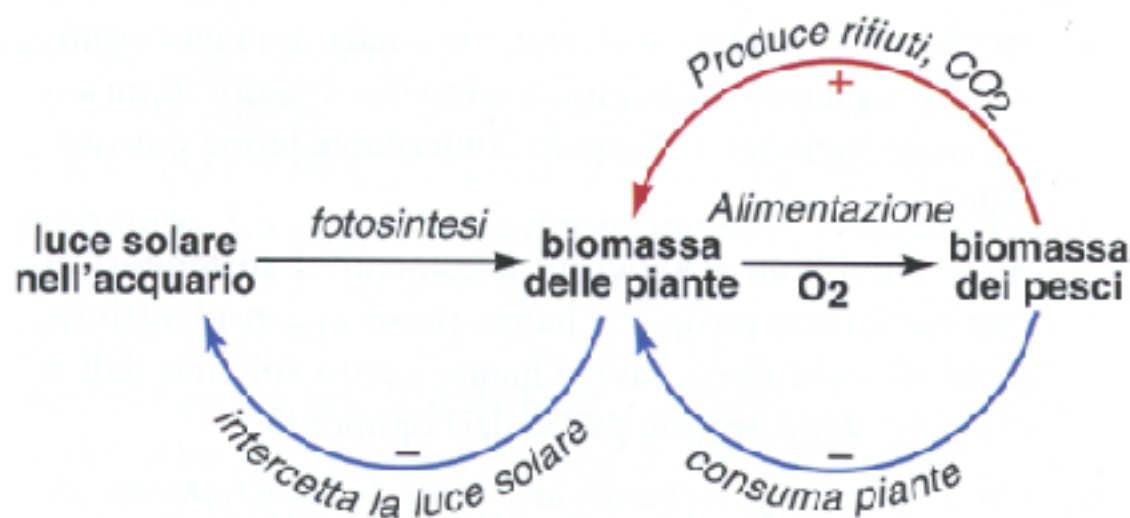
Livelli di organizzazione gerarchica in ecologia.

L'ecologia si focalizza su sistemi che stanno al di sopra del livello di organismo.

Questi sono:

- popolazione
- comunità
- ecosistema
- bioma
- ecosfera

L'ecosistema è il primo livello della gerarchia ecologica che è completo, in quanto comprende sia la componente biotica che quella abiotica, e le interazioni che si instaurano tra le due.



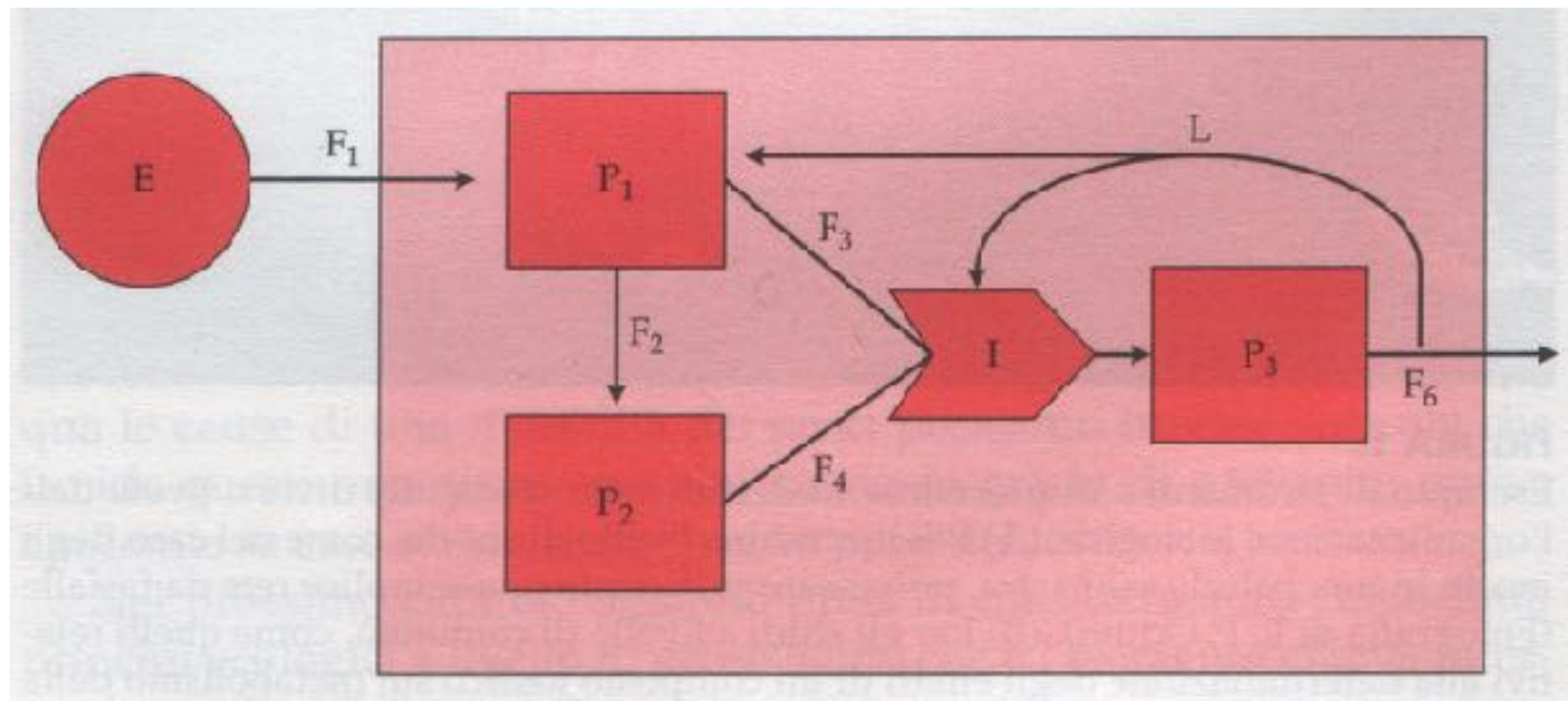
(b) Anelli di retroazione

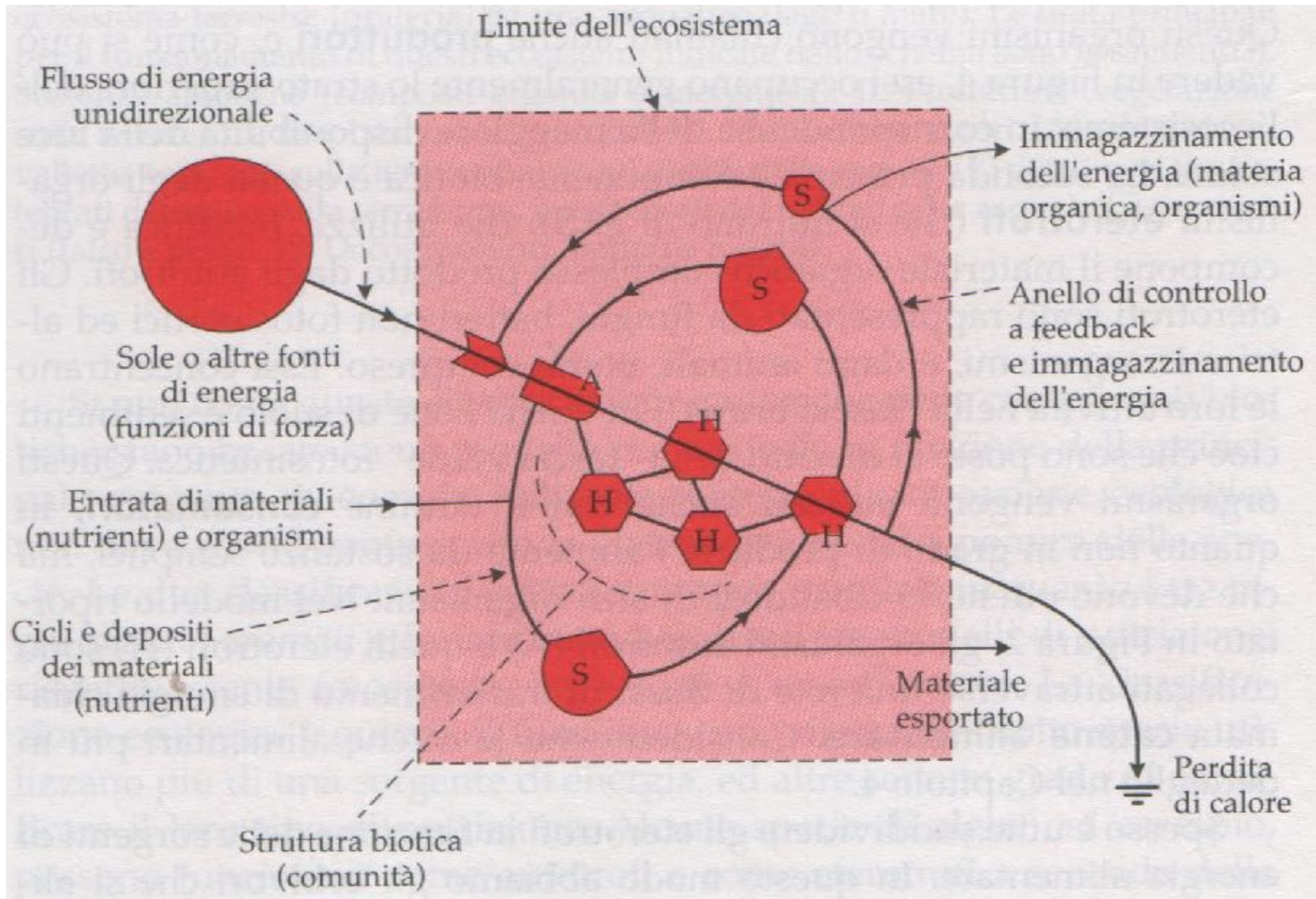
Modelli

Un sistema può essere rappresentato tramite un modello, ovvero una versione semplificata degli eventi reali.

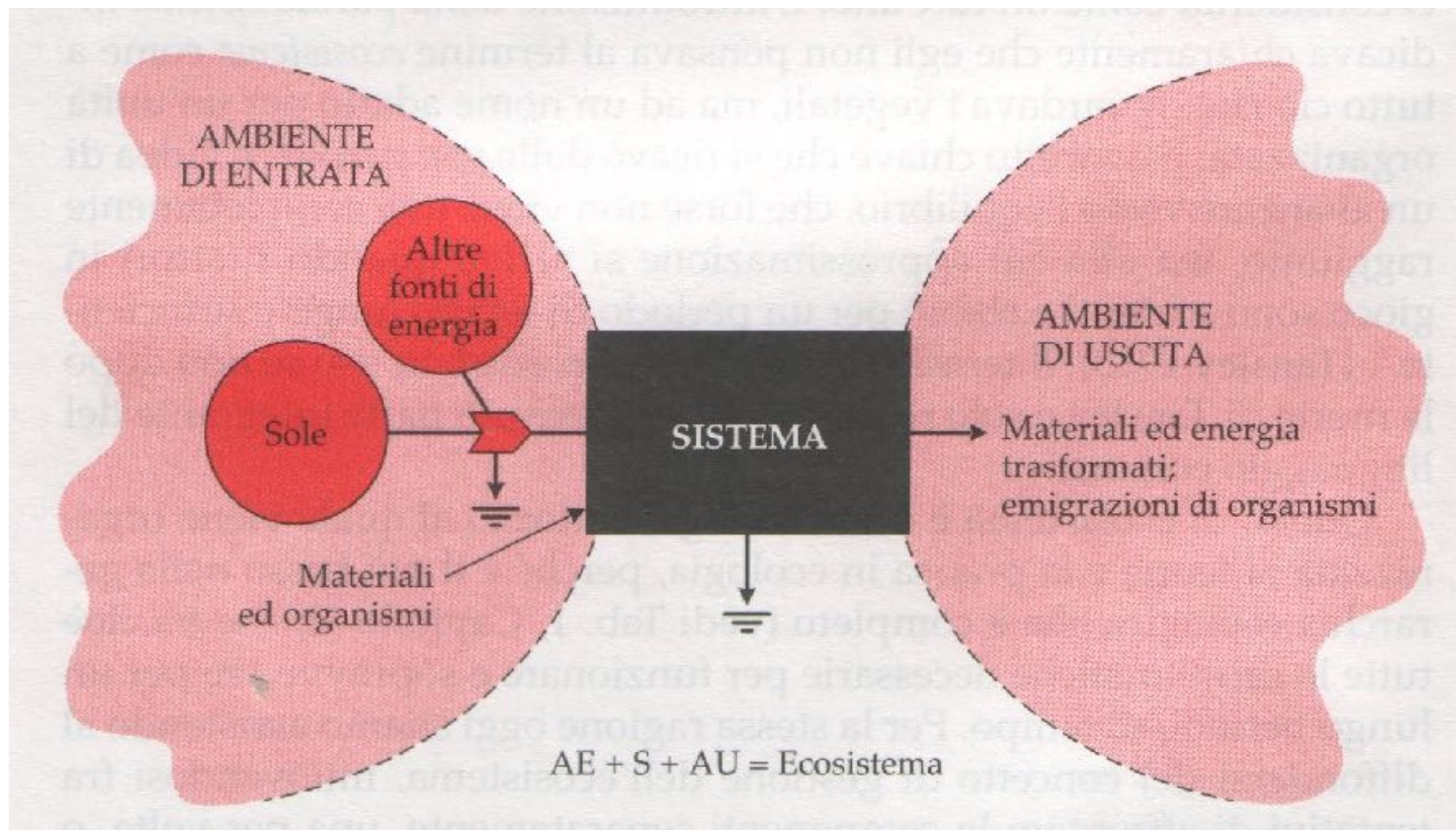
Nella sua versione formale un modello ecologico deve avere almeno le seguenti componenti:

- Proprietà (P)
- Forze (E)
- Vie di flusso (F)
- Interazioni (I)
- Anelli di feedback (L)





Gli ecosistemi sono sistemi aperti, e grande importanza ha lo studio degli ambienti d'entrata e di uscita.



Principio delle proprietà emergenti

Quando dei componenti si combinano per produrre un più grande insieme funzionale, ne emergono nuove proprietà che non erano presenti al livello immediatamente precedente.

Una proprietà emergente di un livello ecologico si forma dalla interazione funzionale tra le componenti del livello stesso

Proprietà collettive: sommatoria degli effetti delle singole componenti.

Primo Principio delle proprietà emergenti

Proprietà emergente $\neq \sum$ proprietà delle singole parti



Nuova proprietà sviluppata dalla combinazione di una o più componenti gerarchiche
Esempi Combinazione di atomi, Combinazione di cellule, tessuti, organi,
Combinazioni di popolazioni

Secondo Principio delle proprietà emergenti

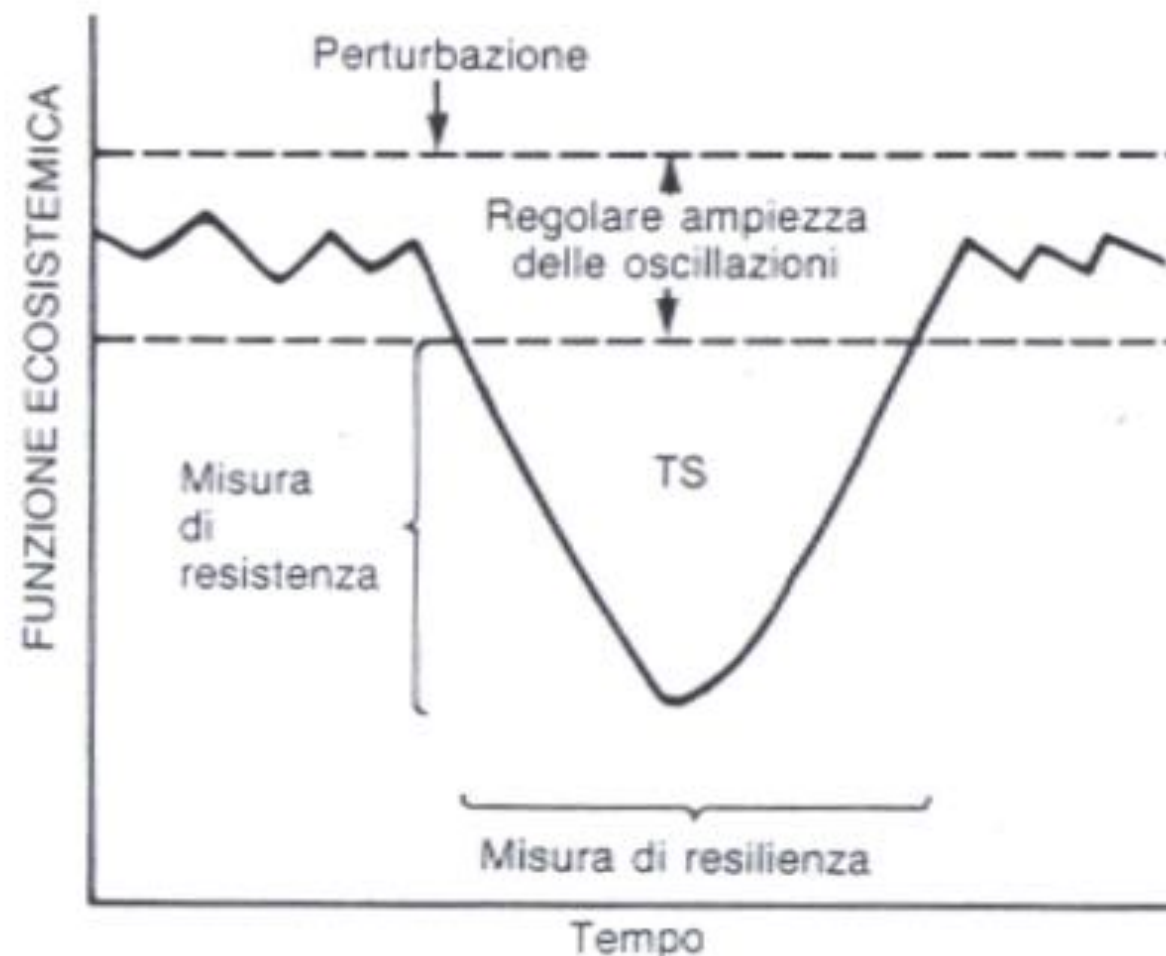
Proprietà collettive $= \sum$ effetti singole componenti

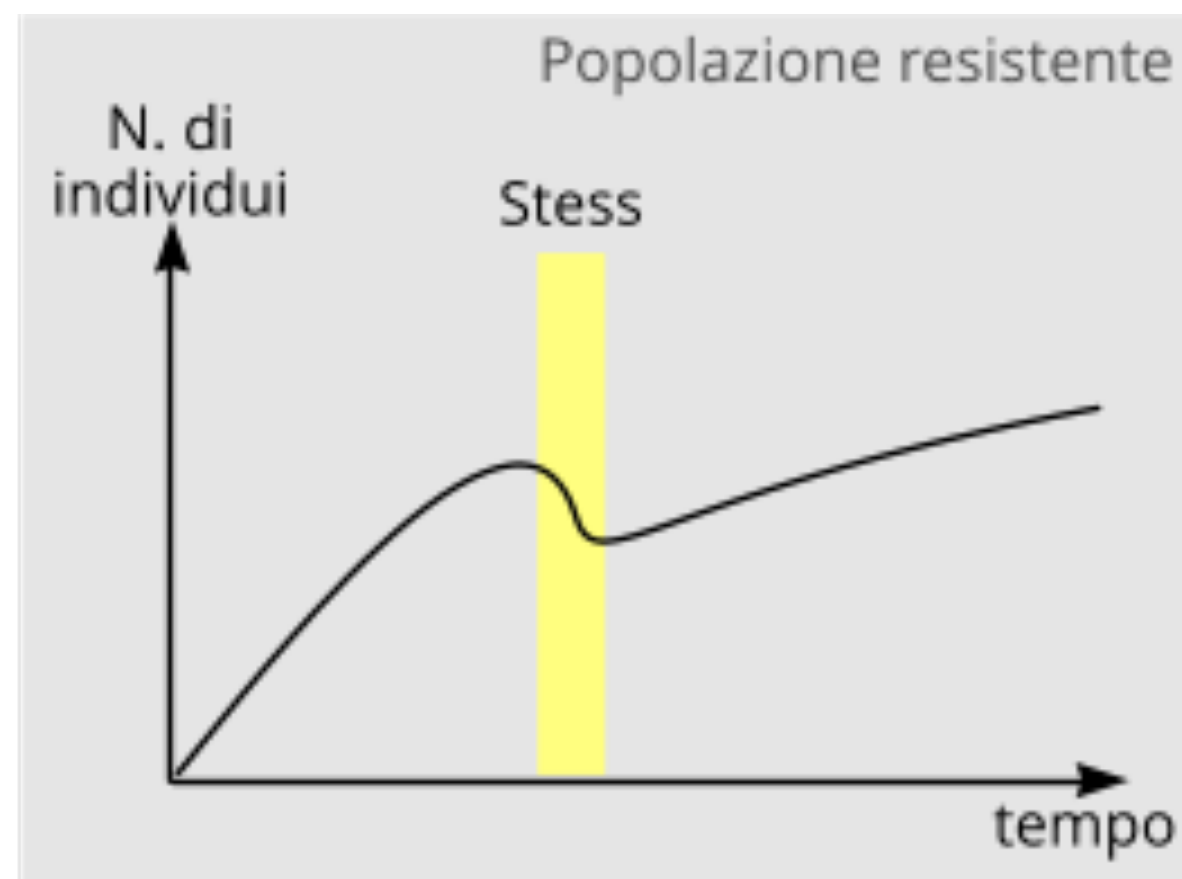
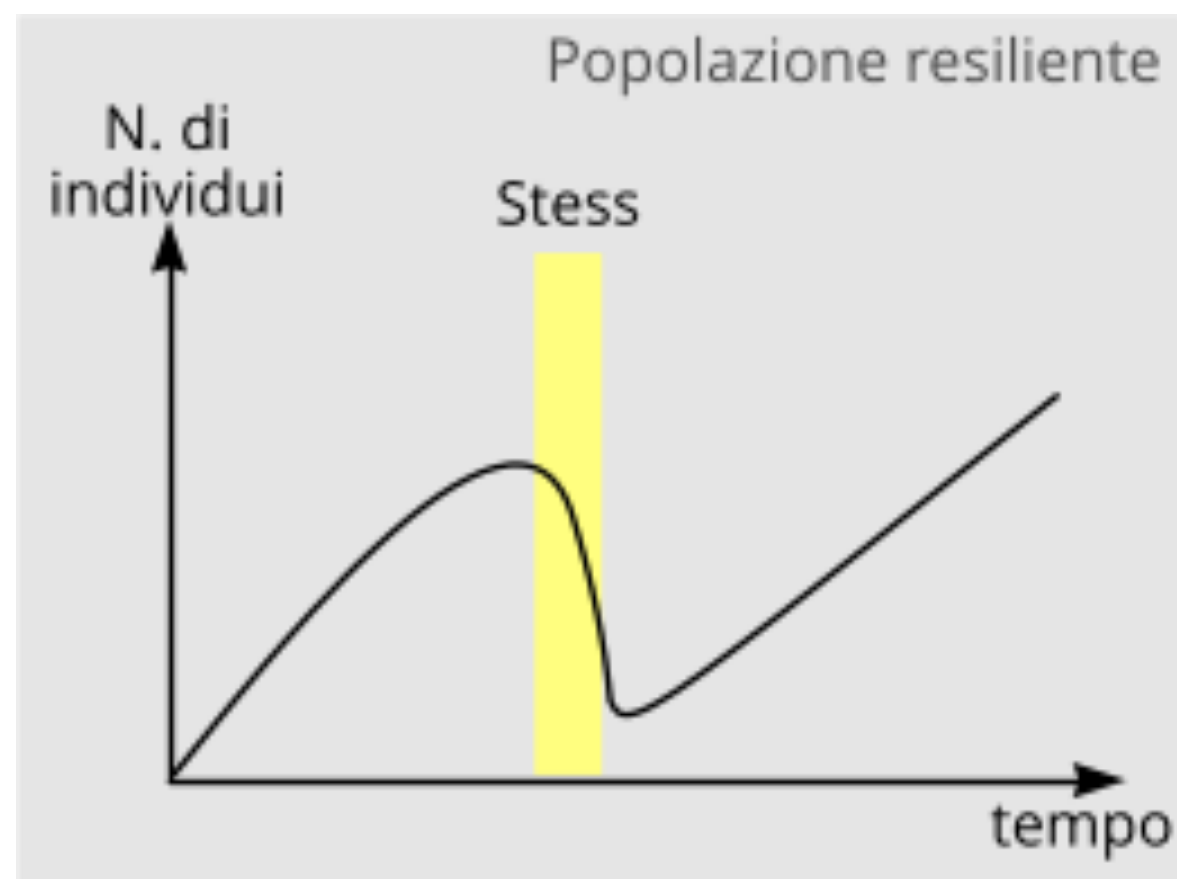
Esempi: Tasso di nascite, Consumo di energia

Due proprietà emergenti degli ecosistemi sono resistenza e resilienza.

Resistenza: capacità di un ecosistema di resistere ad una perturbazione. Un sistema è più resistente di un altro se richiede una maggiore intensità di perturbazione per discostarsi da uno stato di equilibrio

Resilienza: capacità di un ecosistema di ripristinare il precedente equilibrio dopo che una perturbazione lo ha modificato. Un sistema è più resiliente di un altro se recupera più velocemente lo stato di equilibrio





Esempi di ecosistemi

Esempi di ecosistemi	
Stagno	Prato
Piante con radici solo in acque poco profonde, componenti minori dell'ecosistema fitoplancton (phyto=pianta; plankton=galleggiante) uniformemente distribuito fino a dove arriva la luce	Piante con radici dominanti Crittogame terrestri come componenti minori dell'ecosistema
Erbivori palinctonici e bentonici Insetti e pesci Detritivori	Erbivori di taglie diverse (dagli insetti ai grossi ruminanti) Insetti, ragni, uccelli e mammiferi
Batteri, flagellati e funghi nell'interfaccia fango/acqua	Batteri, flagellati e funghi nell'interfaccia suolo/lettiera
Fotosintesi lorda: 5 gr / metro quadro / giorno	
Peso secco = 5 gr /metro quadro	Peso secco = 500 gr /metro quadro
Turnover=1 Tempo di turnover= 1 giorno	Turnover=0,01 Tempo di turnover= 100 giorni

Turnover = rapporto tra ciò che entra o esce ed il contenuto

Tempo di turnover = $1 / \text{turnover}$

Ecosistemi eterotrofi

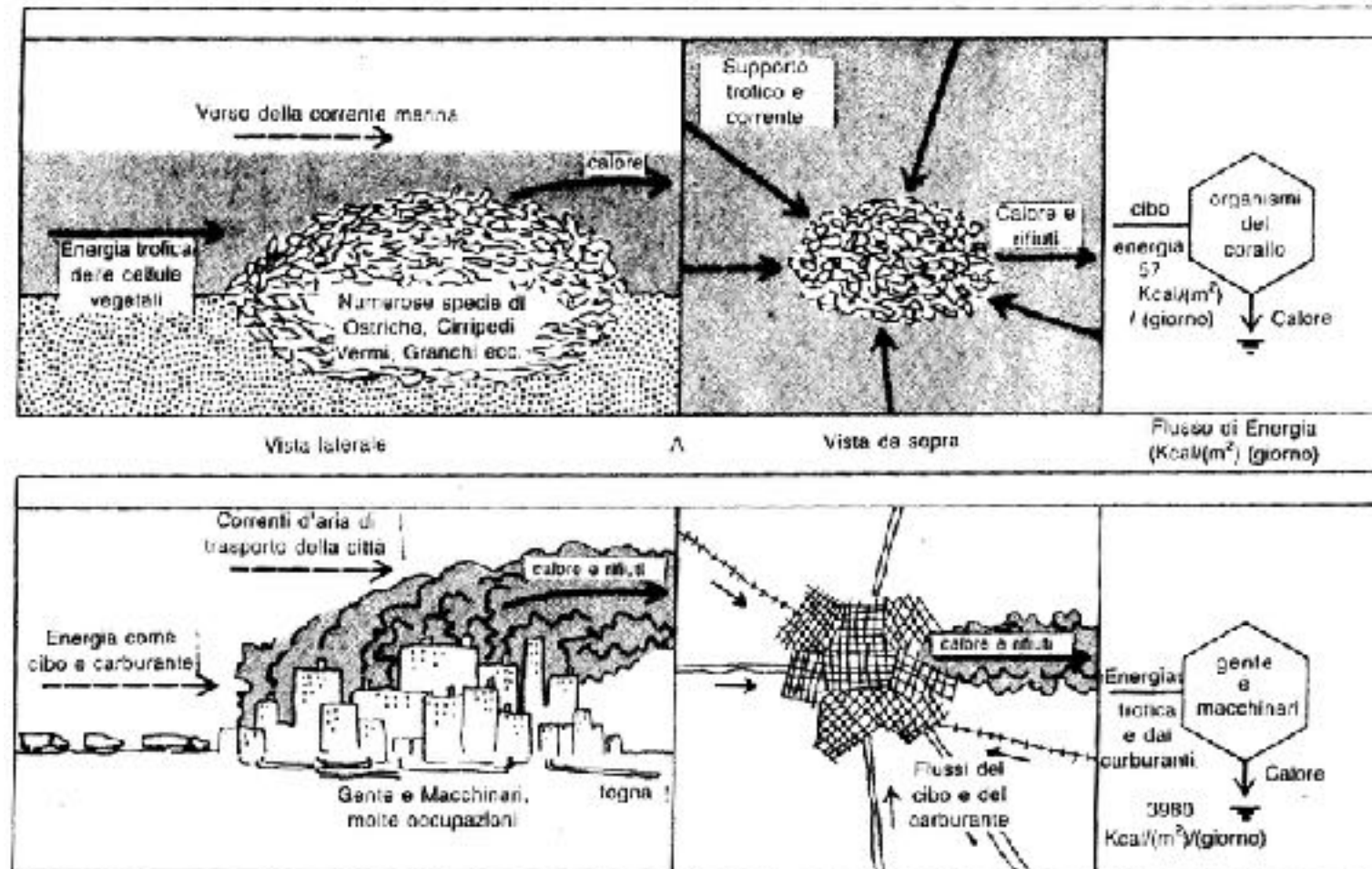


Tabella 2-4 Confronto fra un bosco residenziale e uno naturale tra loro adiacenti nel Madison, Wisconsin*

	Foresta naturale	Foresta urbana
Numero di specie d'alberi	10	75
Numero di specie di arbusti	20	74
Biomassa vegetale (peso secco medio senza le radici)	27 kg/m ²	10 kg/m ²
Produzione netta totale annua	812 gm/m ²	719 gm/m ²
Produzione netta (escludendo il 30% dell'area senza vegetazione nelle zone residenziali)	812 gm/m ²	1027 gm/m ²
Fertilizzanti aggiunti	0	120 lb/acro
Esportazione annuale di materia organica	0	497 gm/m ²
Acqua di irrigazione	0	Molta (quantità ignota)

* Dati non pubblicati da "Produzione Primaria Terrestre di Ecosistemi urbani e naturali confinanti", da G.J. Lafron, Grant Cottam, e Orin L. Loucks, 1973.

Agroecosistemi

Si distinguono dagli ecosistemi naturali o seminaturali per tre caratteristiche:

ricevono energia sussidiaria

hanno una biodiversità fortemente ridotta

piante ed animali sono controllati dalla selezione artificiale

Si possono dividere gli agroecosistemi in due categorie:

a) Agricoltura pre-industriale (60% circa delle terre coltivate)

sistemi pastorali (savane e praterie)

agricoltura a rotazione (foreste tropicali)

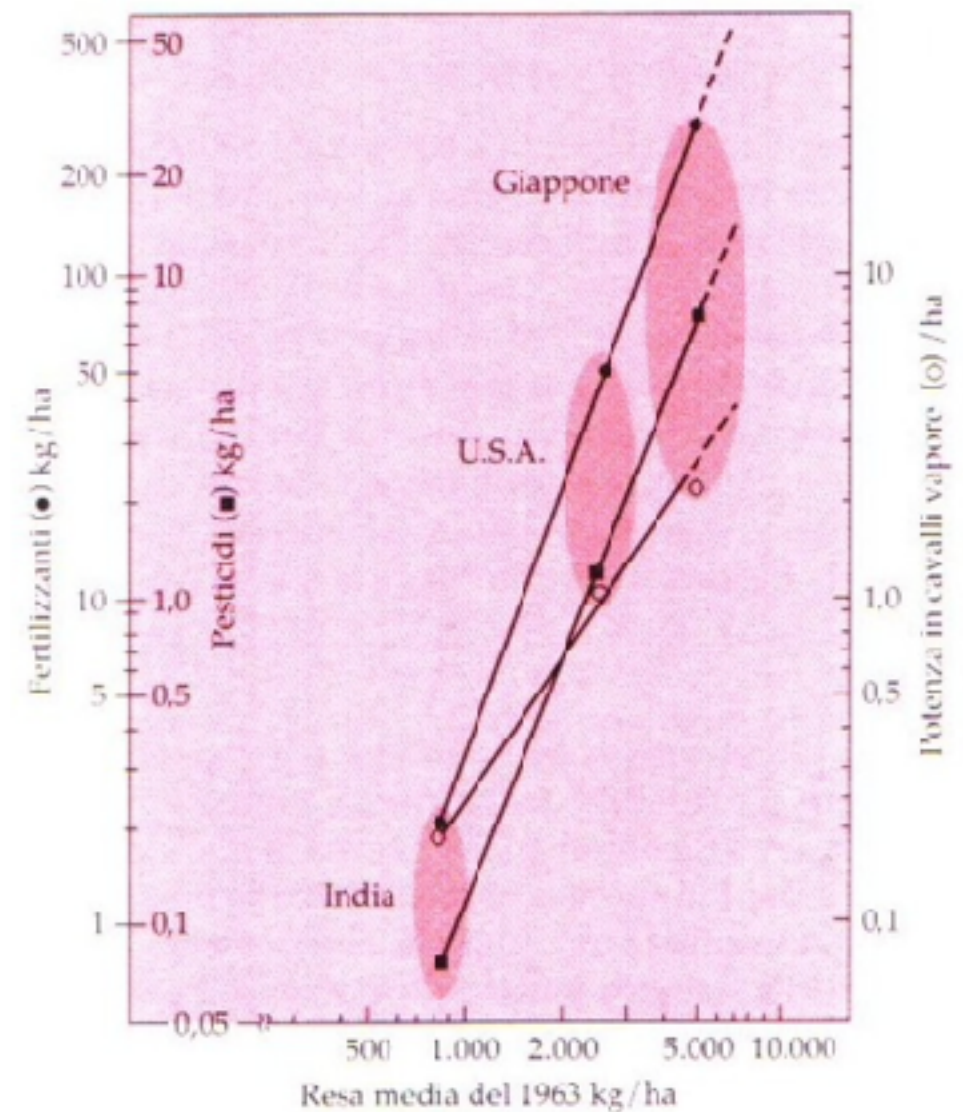
irrigazione ed allagamento (sud-est asiatico)

b) Agricoltura meccanizzata intensiva (40% circa)

Le terre coltivabili sono circa il 30% di quelle emerse.

Di queste un terzo è produttivo, due terzi è a pascolo.

Energia sussidiaria: ogni risorsa energetica che riduca il costo di automantenimento di un ecosistema e quindi aumenta la quantità di energia disponibile per la produttività



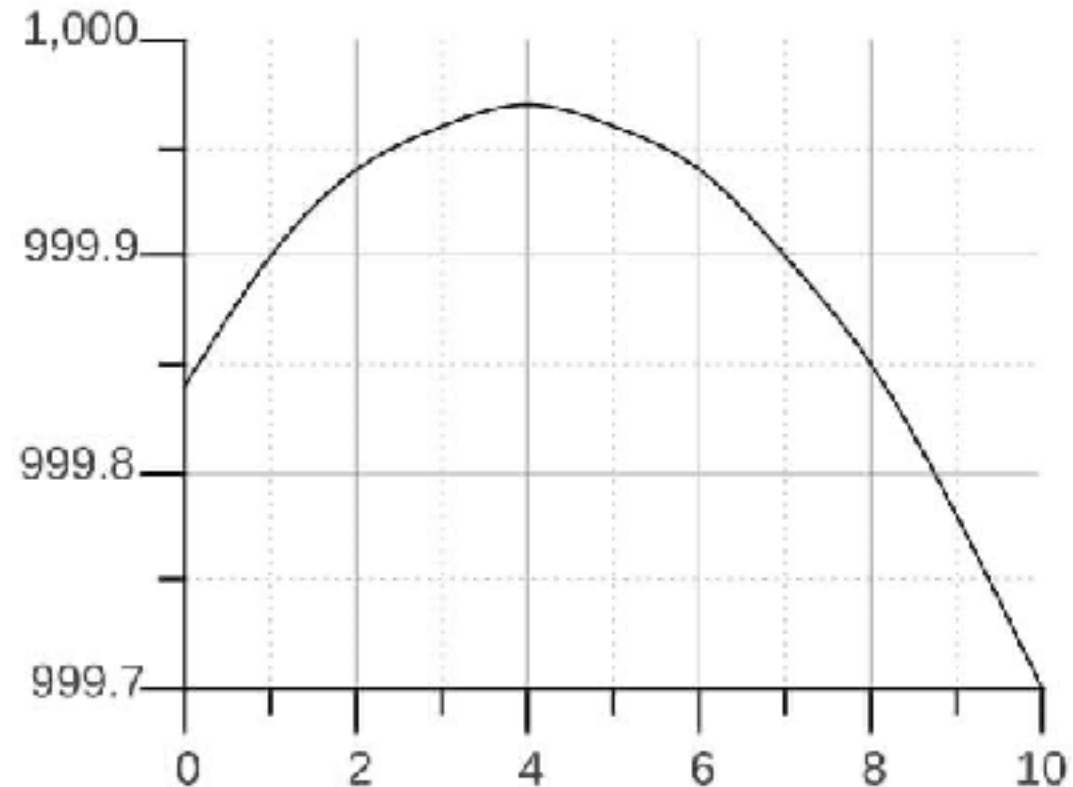
Le componenti abiotiche degli ecosistemi: materia e energia

L'acqua e le sue proprietà

L'acqua ha una funzione fondamentale nella regolazione del bilancio termico degli ecosistemi.

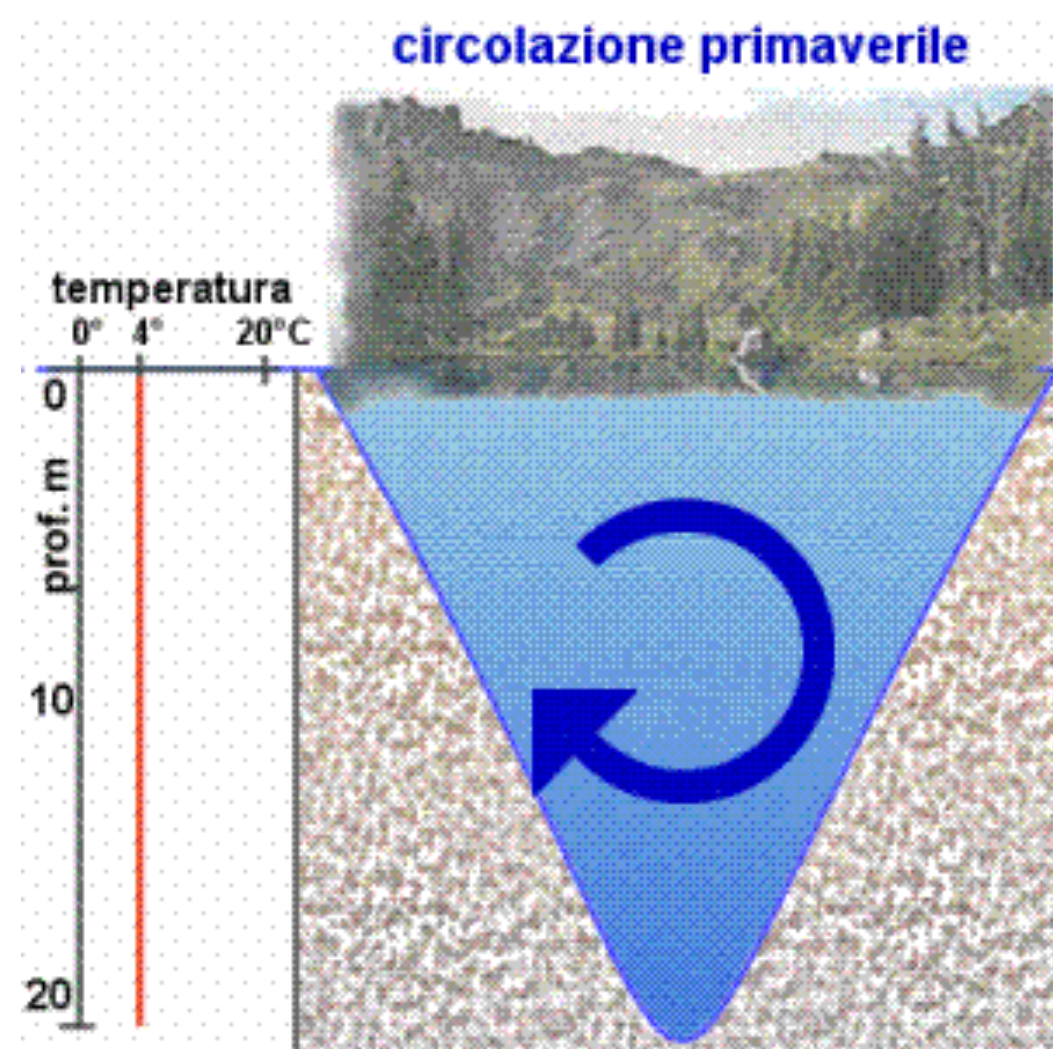
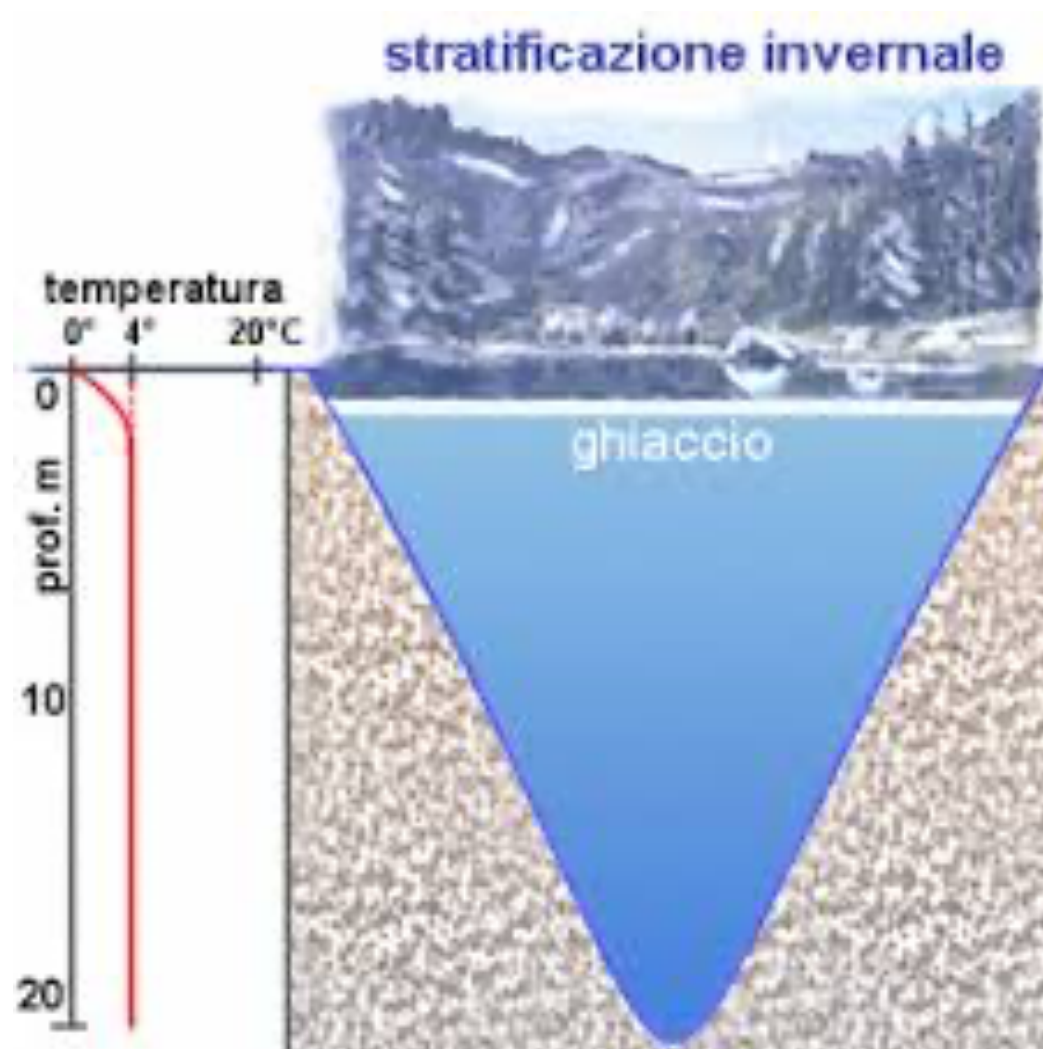
Sul pianeta l'acqua è presente in tre stati, solido, liquido e gassoso. Il 23% circa dell'energia solare è dissipata nel ciclo idrologico.

La densità dell'acqua poi dipende dalla temperatura.



Questo ha conseguenze importanti nella regolazione della temperatura nelle acque continentali. Lo strato di ghiaccio che si forma negli specchi d'acqua dolce sta in superficie per la sua ridotta densità, e al contempo fa da isolante per l'acqua sottostante, che permane a una temperatura di circa 4-6 gradi per tutto l'inverno.

Allo scioglimento del ghiaccio, l'acqua superficiale aumenta di densità, e si rimescola con quella profonda, favorendo la sua ossigenazione e la circolazione dei nutrienti.



L'acqua è un buon solvente

Chimicamente l'acqua è un buon **solvente**. Le proprietà solventi dell'acqua sono essenziali per gli esseri viventi, dal momento che consentono lo svolgersi delle complesse reazioni chimiche che costituiscono le basi della vita stessa (ad esempio, quelle che avvengono nel sangue o nel citoplasma della cellula).

Un **solvente** è un liquido che scioglie un soluto solido, liquido o gassoso, dando luogo ad una soluzione.



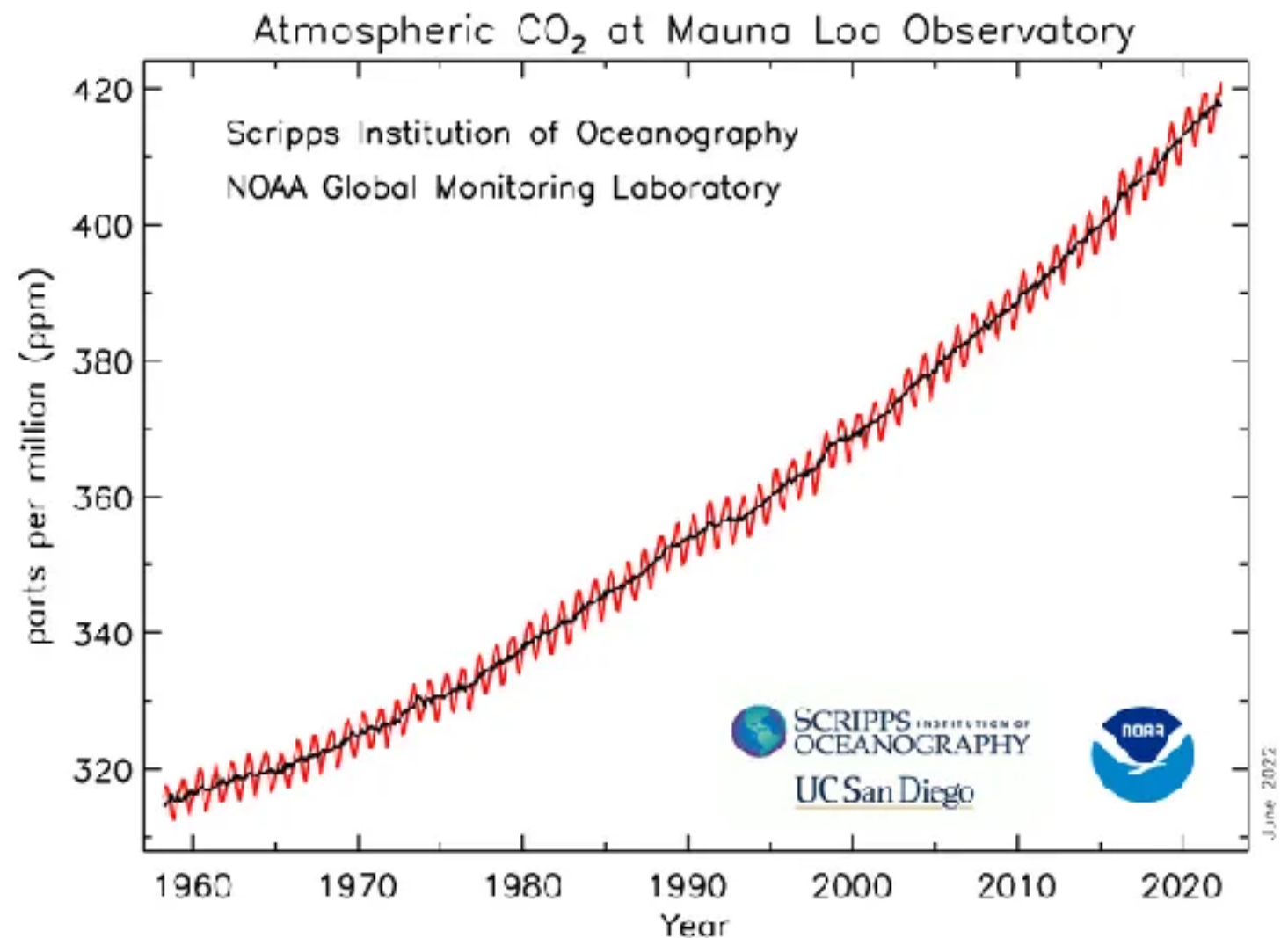
Grazie al suo potere solvente, l'acqua ha in soluzione diverse sostanze, tra cui l'anidride carbonica, che in acqua diventa acido carbonico, un acido debole (H_2CO_3).

La CO_2 , che in atmosfera è (oggi) 420 parti per milione circa, si scioglie nel vapor acqueo, e fa sì che le piogge siano debolmente acide.

Tale acidità era debole nel periodo pre-industriale, quando la CO_2 era circa 280 parti per milione, con un pH di 5,4-5,8.

L'acqua che scorre sulla superficie terrestre, a seconda del substrato, si arricchisce di diversi sali, e funge quindi da *carrier*.

Nell'acqua marina il contenuto di sali disciolti è di circa 35 grammi per litro.



Cicli Biogeochimici

Il **ciclo biogeochimico** è il percorso seguito da un determinato elemento chimico nella biosfera. Gli organismi viventi scambiano tra di loro e con l'ambiente esterno diversi elementi chimici in diverse forme, secondo processi ben definiti.

In ogni ciclo è possibile distinguere due comparti:

- un ***pool di riserva***, generalmente abiotico, grande e stabile, dove l'elemento non è immediatamente disponibile per gli organismi e gli scambi sono poco attivi.
- un ***pool di scambio***, labile, di dimensioni ridotte ma circolante attivamente, in cui l'elemento è disponibile per gli organismi e gli scambi tra questi e l'ambiente sono molto più attivi.

In base alla localizzazione del pool di riserva, i cicli biogeochimici vengono distinti in:

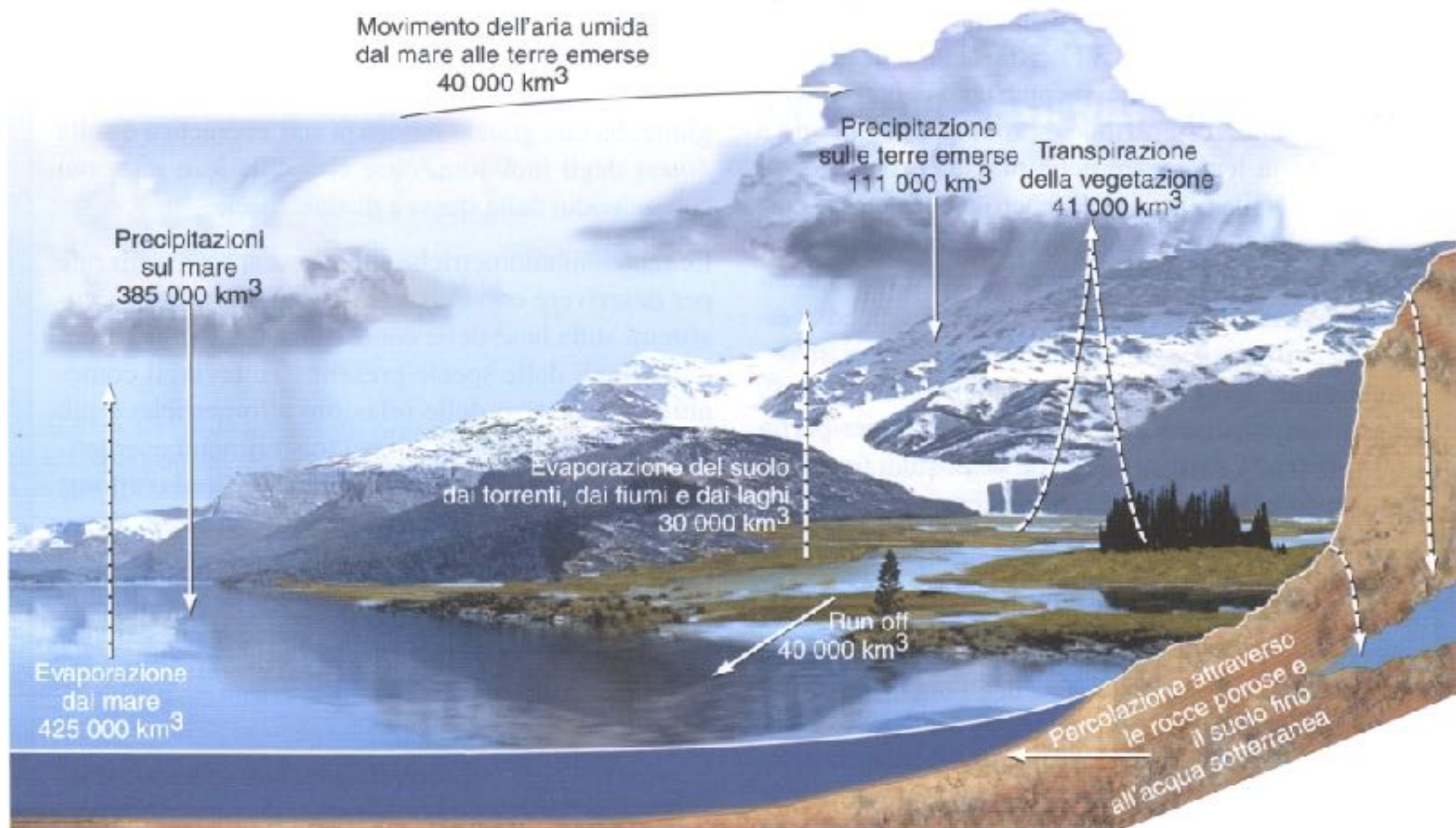
gassosi - il pool di riserva è l'atmosfera o l'idrosfera. Tra questi vi sono:

- il ciclo dell'acqua
- il ciclo dell'azoto
- il ciclo del carbonio

sedimentari - l'elemento è presente in una riserva localizzata nella litosfera. Tra questi vi sono:

- il ciclo del fosforo
- il ciclo dello zolfo

Il ciclo dell'acqua

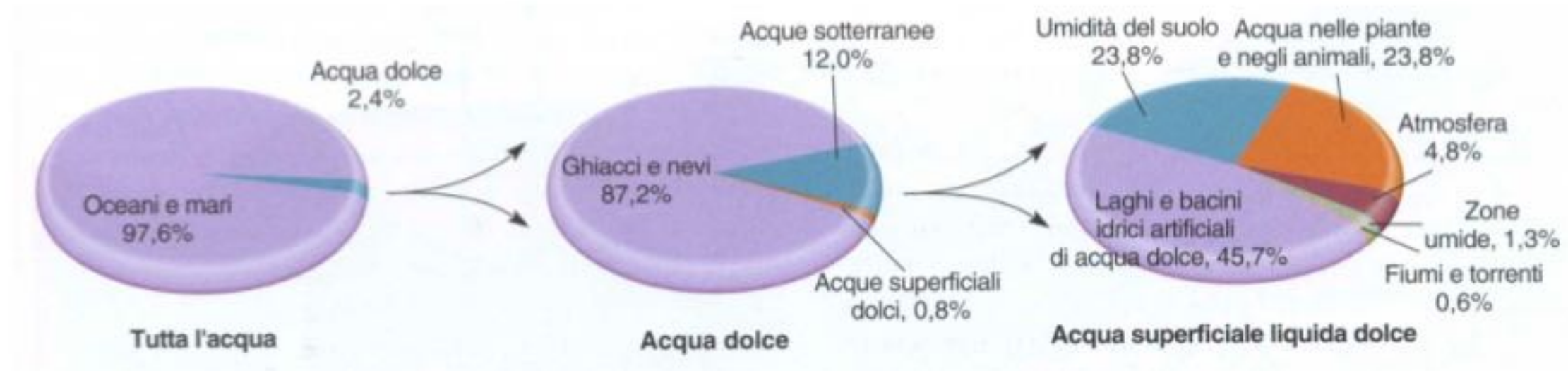


Pool di riserva: Oceani, mari ed acque dolci, oltre ai ghiacciai

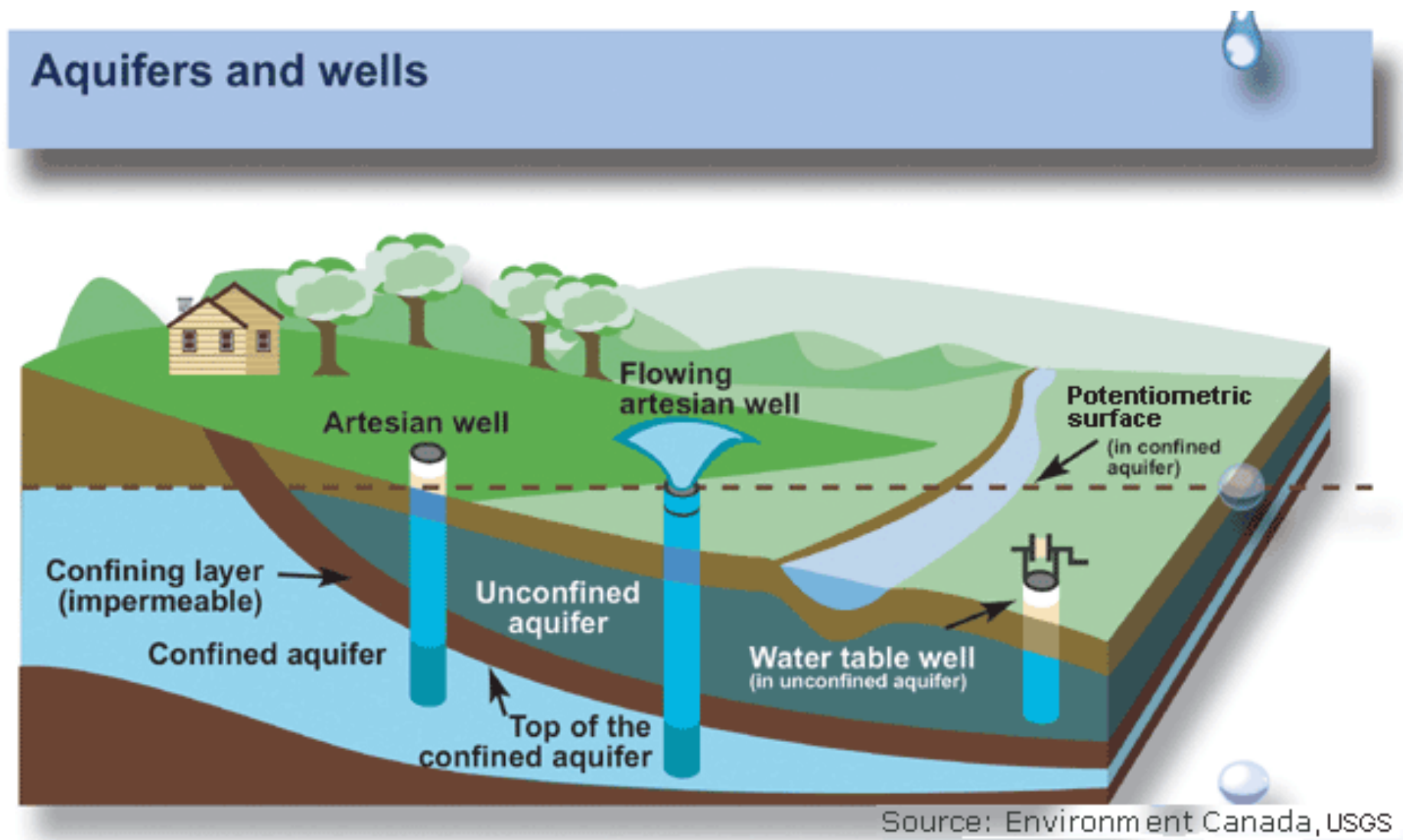
L'acqua passa dal pool di riserva all'atmosfera per l'evaporazione dai mari (90%) e per evapotraspirazione dalle piante (10%)

Il ciclo dell'acqua è fortemente alterato dagli usi umani.

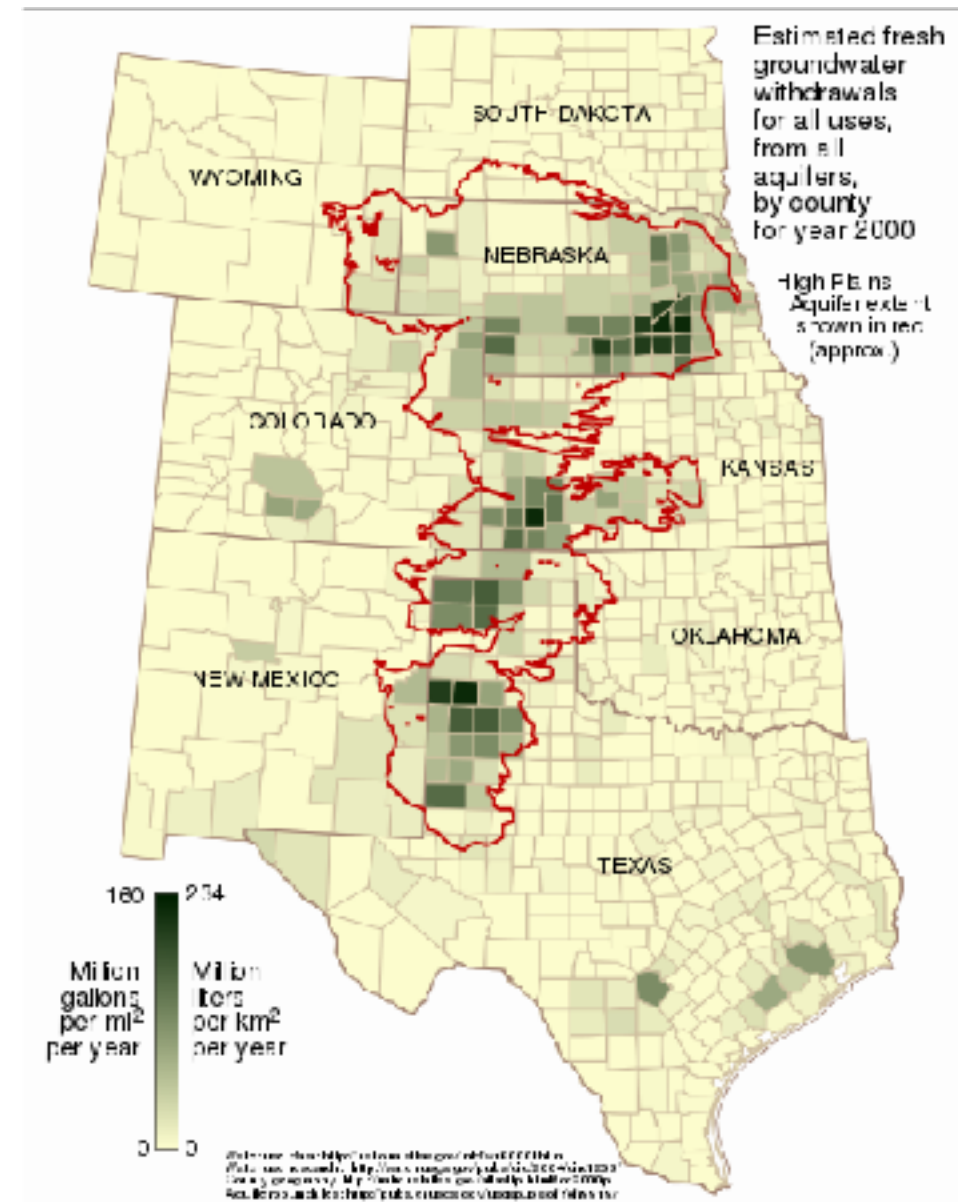
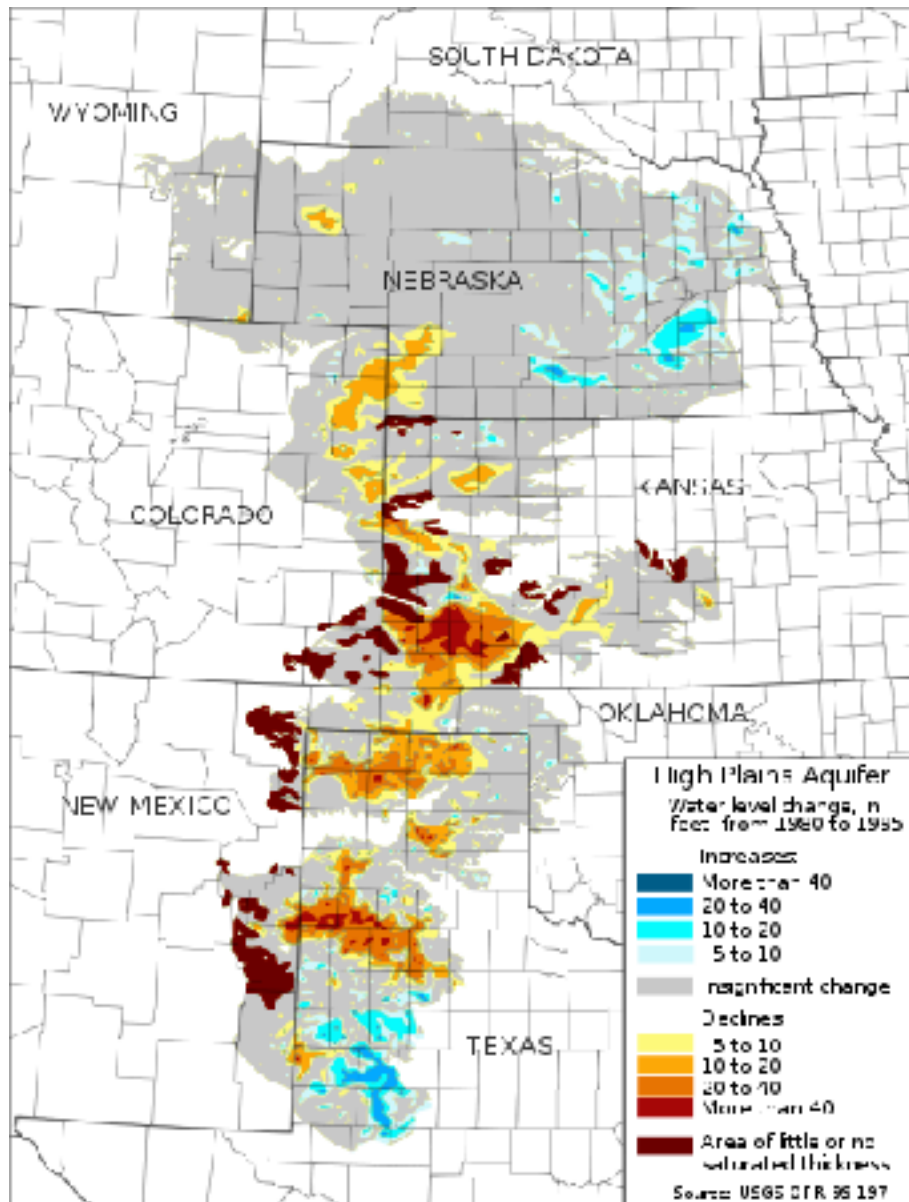
Di tutta l'acqua del pianeta, meno dello 0,02% è disponibile per gli esseri viventi.



Acquifero: uno strato sotterraneo di roccia permeabile o materiali non consolidati (ghiaie, sabbie) che si permea d'acqua. Gli acquiferi hanno una velocità di ricarica spesso molto limitata, che viene ulteriormente influenzata dall'impatto antropico in vari modi (cementificazione, compattamento dei suoli, ecc.), e contengono spesso quella che può essere definita acqua fossile, in quanto accumulatasi probabilmente nel momento in cui i ghiacciai dell'ultima glaciazione si sono ritirati.



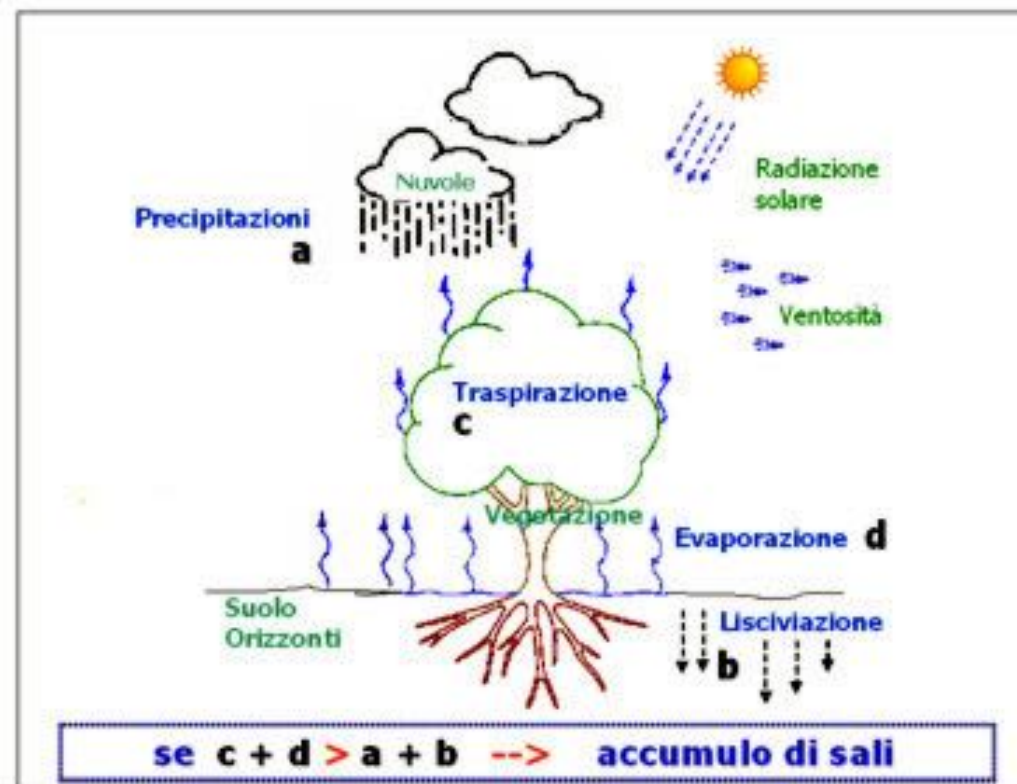
L'acquifero di Ogallala, negli USA, è un esempio emblematico di come l'uso scorretto delle risorse possa, a lungo andare, trasformarsi in catastrofe. Questo acquifero, che sostiene gli usi umani di diversi stati dell'unione, ed in particolare gli usi agricoli, si sta esaurendo, visto che la velocità di ricarica è molto più lenta del consumo (ca. 28 Km cubi/anno nel 2000, con una perdita media di 1,5 metri di profondità all'anno).

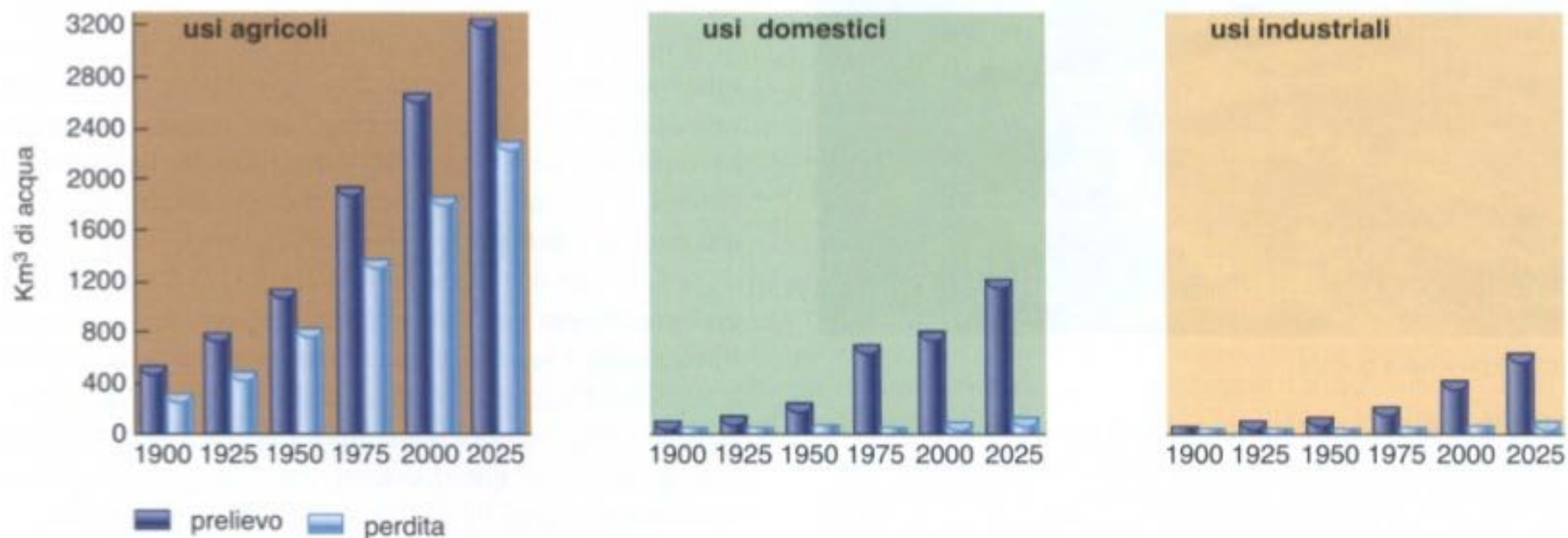


Il termine **salinizzazione** indica il processo di accumulo dei sali nel suolo. Le piante possono risentire negativamente della presenza di livelli crescenti di sali negli strati superficiali del suolo. Nei climi asciutti, il continuo accumulo di sali può determinare anche fenomeni di desertificazione. Fondamentalmente, la salinizzazione di un suolo si verifica dove l'equilibrio fra apporti meteorici, o irrigazione, ed evaporazione è a favore dell'evapotraspirazione.

Possiamo descrivere tre processi principali che causano la salinizzazione:

1. l'innalzamento del livello delle falde acquifere. L'acqua, per risalita capillare, viene assorbita dalla superficie e qui evapora, a causa della radiazione solare, lasciando depositi di sale.
2. l'accumulo di sali per irrigazione. Frequente nelle aree coltivate in cui l'irrigazione è associata ad elevati tassi di evaporazione e terreni argillosi. In questo contesto la lisciviazione risulta ostacolata e gli ioni del sodio, del magnesio e del calcio si accumulano sulla superficie del suolo.
3. l'intrusione dell'acqua marina nelle falde idriche. Si sta diffondendo lungo le zone costiere mediterranee, in cui il sovra-sfruttamento delle risorse idriche causa l'abbassamento dei livelli delle falde acquifere e l'ingresso dell'acqua marina.



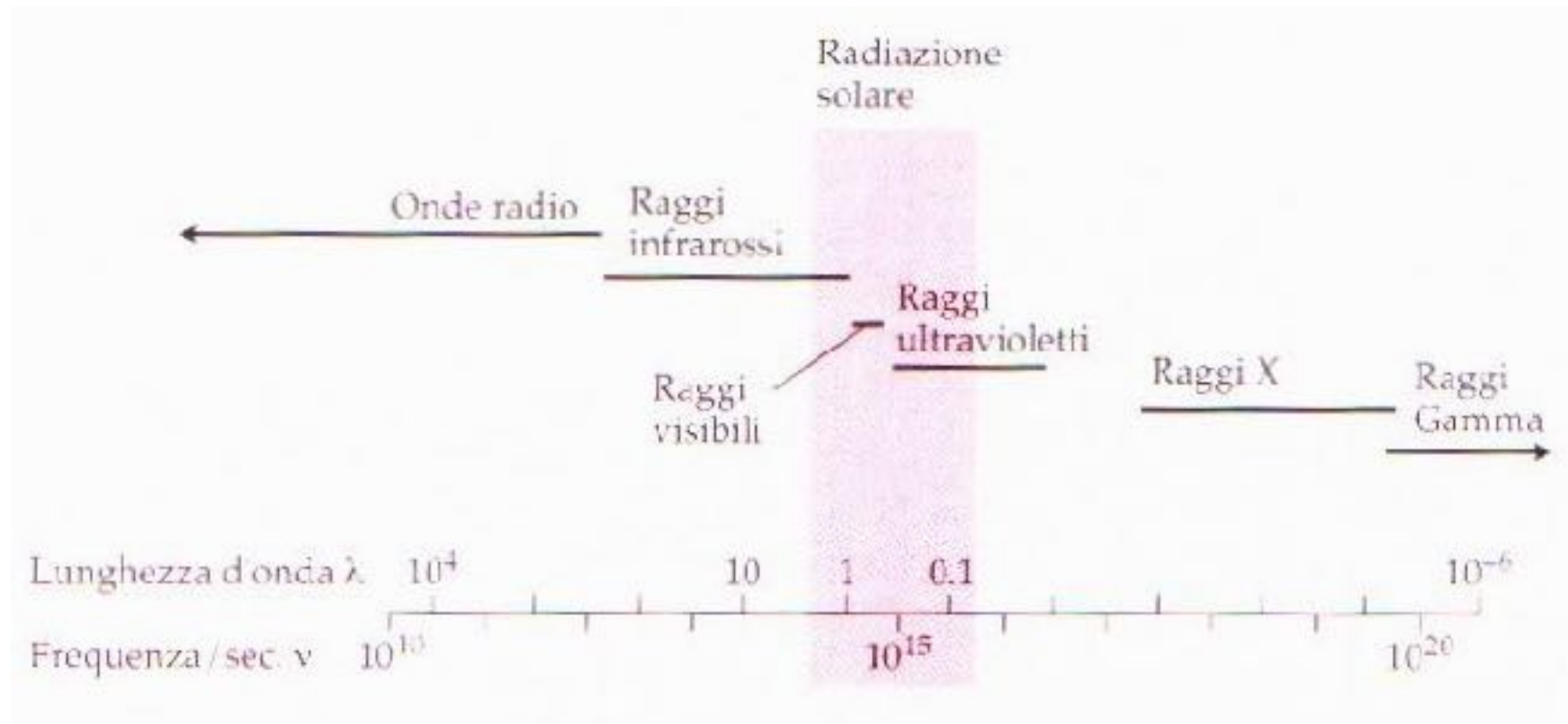


La direttiva 2000/60/CE (direttiva acque)

Gli obiettivi di questa direttiva, assieme ad altre emanate dalla Comunità Europea, sono la salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità ambientale ed un uso accorto delle risorse naturali, anche con l'attribuzione dei costi dell'inquinamento a chi lo produce. Nello specifico la direttiva mira ad una riduzione progressiva delle emissioni inquinanti in acqua, fino a raggiungere, se possibile, una concentrazione di sostanze nocive simile a quella “naturale”. Tra gli aspetti particolarmente innovativi di questa direttiva vi sono la tutela dell'intero bacino idrografico, e non più di entità idriche separate dal contesto ecologico di appartenenza. In secondo luogo viene introdotta la necessità di un costante monitoraggio dello stato di salute delle acque.

L'energia

Ecosistemi ed energia

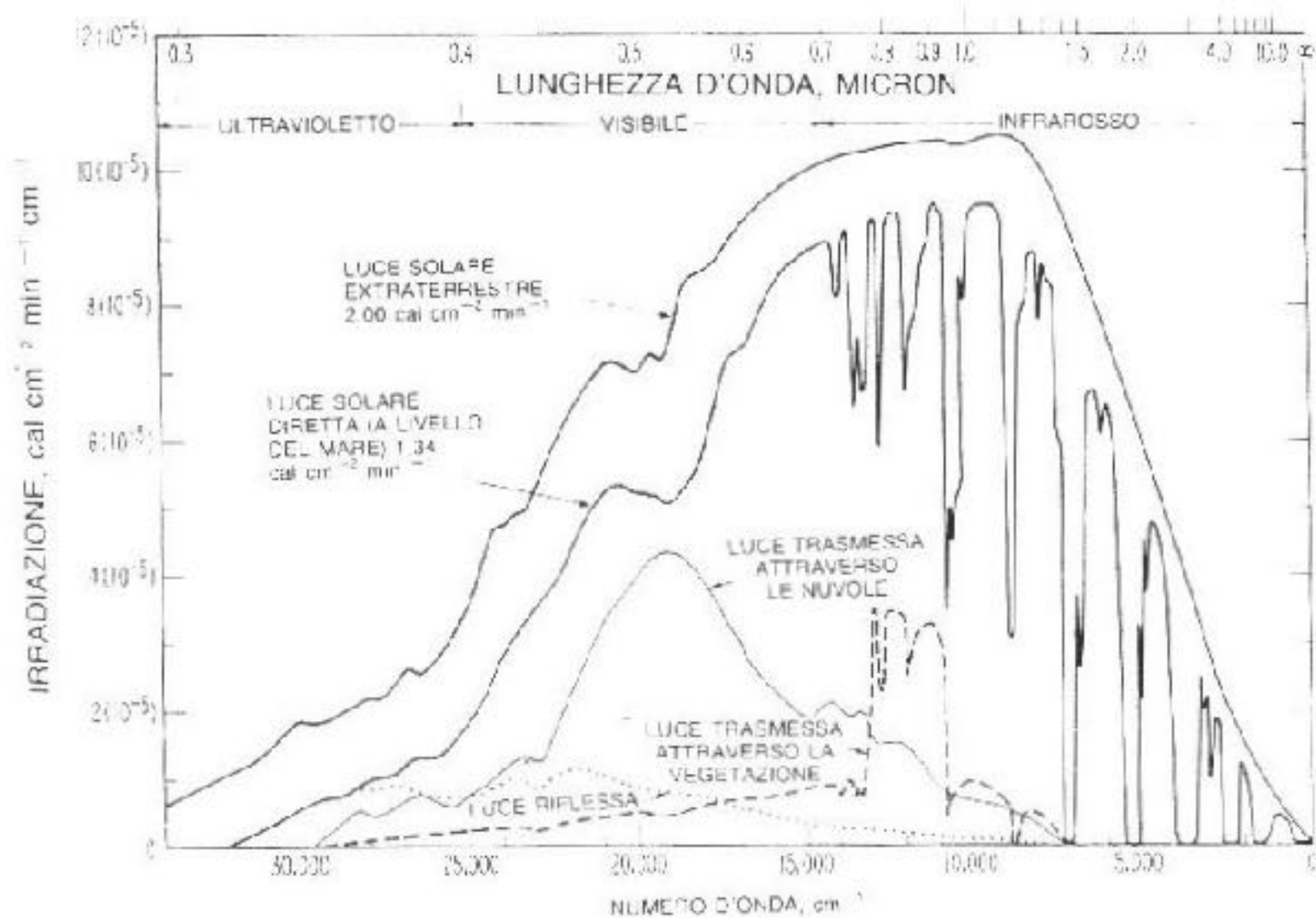


Della radiazione solare che raggiunge il pianeta, solo il 67% raggiunge veramente la superficie terrestre. In particolare gran parte dei raggi ultravioletti vengono bloccati dallo strato di **ozono**. La radiazione che arriva alla superficie terrestre è costituita per il 10% da radiazione ultravioletta, per il 45% da radiazione infrarossa e per il 45% da radiazione visibile.

	Per cento
Riflessa	30
Conversione diretta in calore	46
Evaporazione, precipitazione	23
Vento, onde e correnti	0,2
Fotosintesi	0,8
Energia delle maree - circa 0,0017 per cento dell'energia solare	
Calore terrestre - circa 0,5 per cento dell'energia solare	

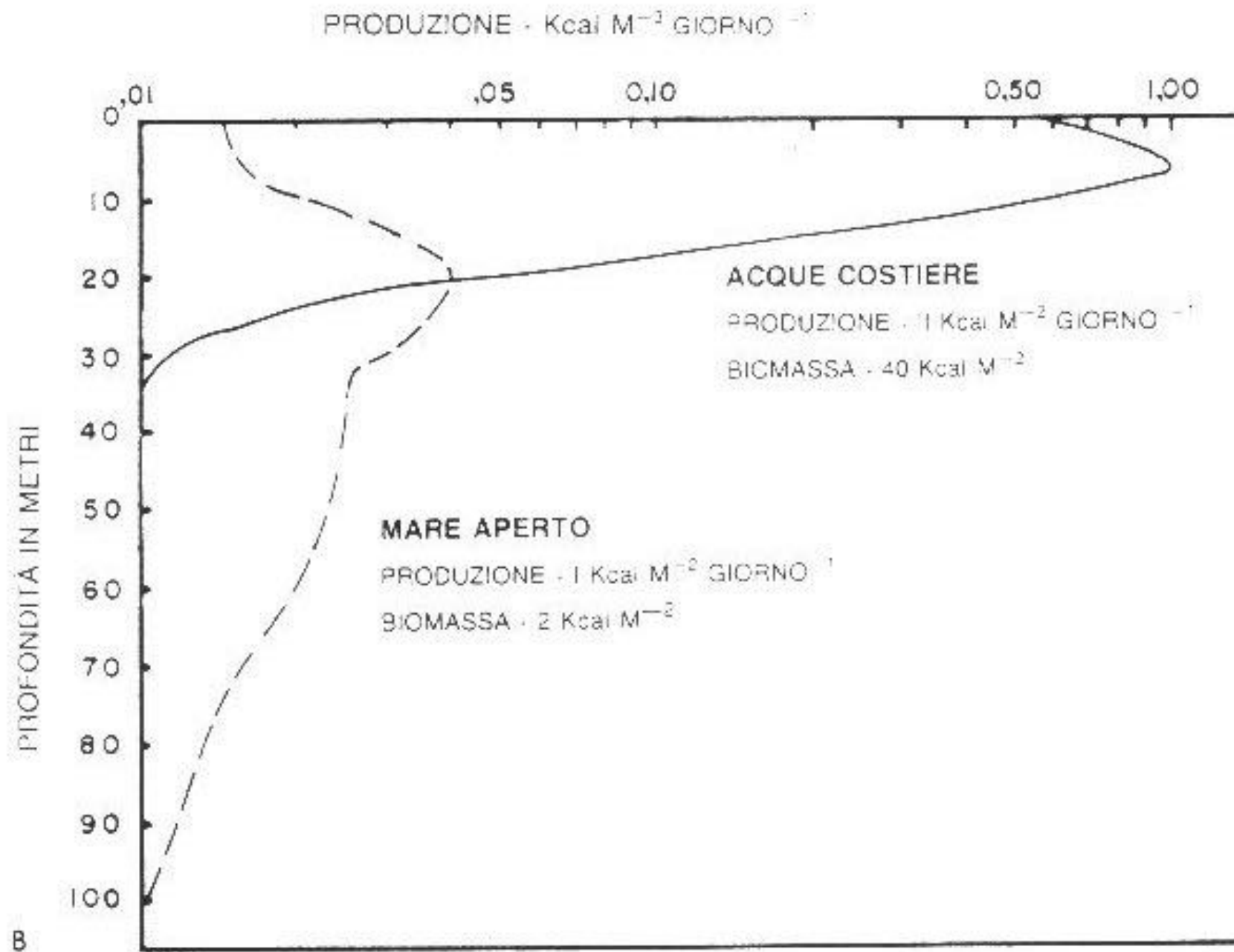
* Secondo Hulbert, 1971

Il calore disperso è energia “inutile” per la biosintesi, ma estremamente utile per i flussi di materia nella ecosfera. Infatti governa il ciclo idrologico ed i regimi climatici.



La radiazione visibile in particolare è quella che meno viene assorbita dalle nubi e dall'acqua. Le piante si sono adattate ad usare questa parte dello spettro per la fotosintesi.

La vegetazione assorbe fortemente il rosso, il blu ed il lontano infrarosso, molto meno il verde e pochissimo il vicino infrarosso, radiazioni che sono in gran parte riflesse. Queste caratteristiche sono sfruttate nelle tecniche di telerilevamento (Remote Sensing).



La radiazione visibile riesce ad arrivare fino a circa 100 metri di profondità nelle acque più limpide, in mare aperto, consentendo quindi la presenza di organismi fotosintetizzanti anche a queste profondità.