

# Ecologia

Anno Accademico 2023-24

Docente:

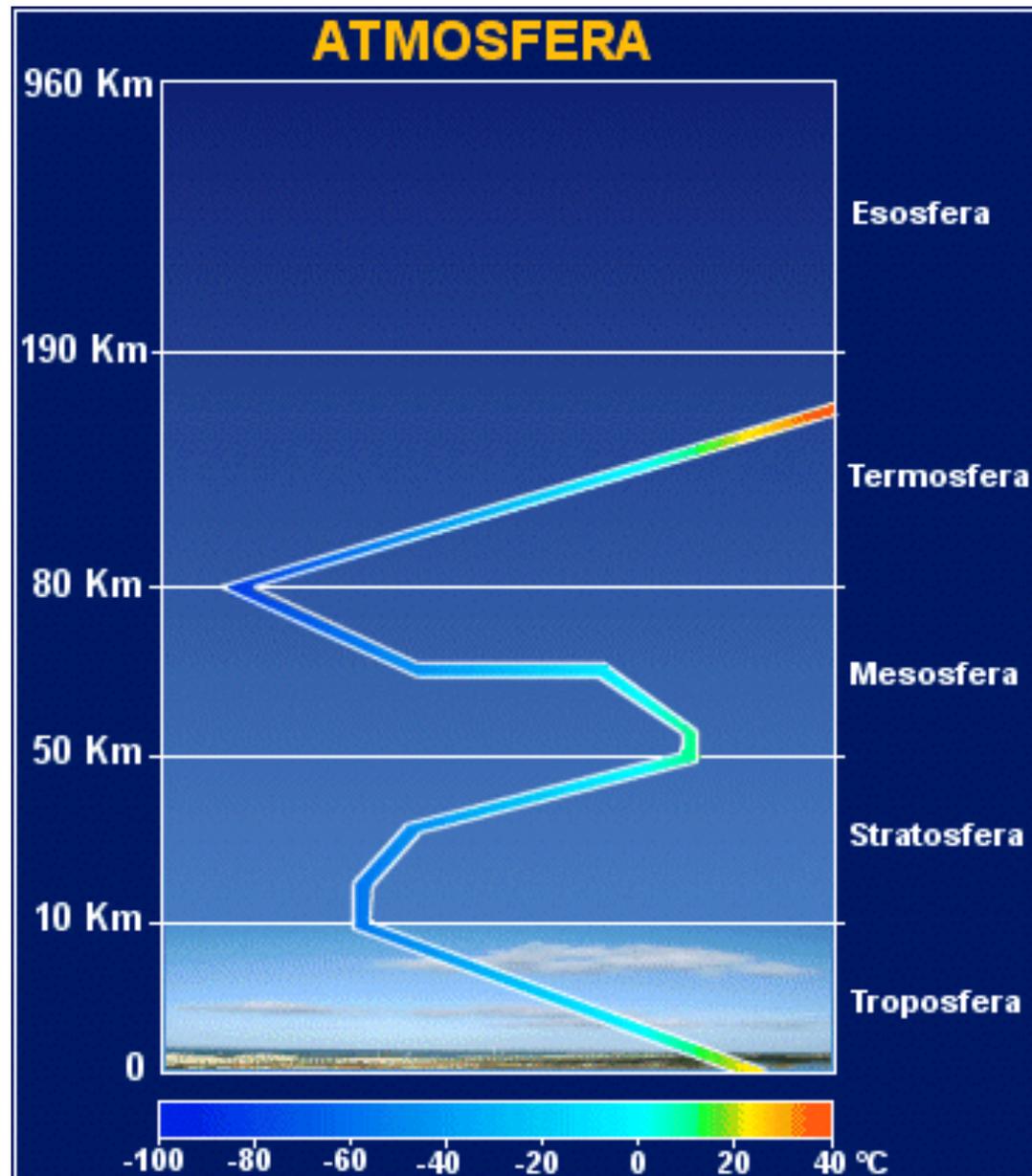
Prof. Stefano Martellos

[martelst@units.it](mailto:martelst@units.it)

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



# L'atmosfera



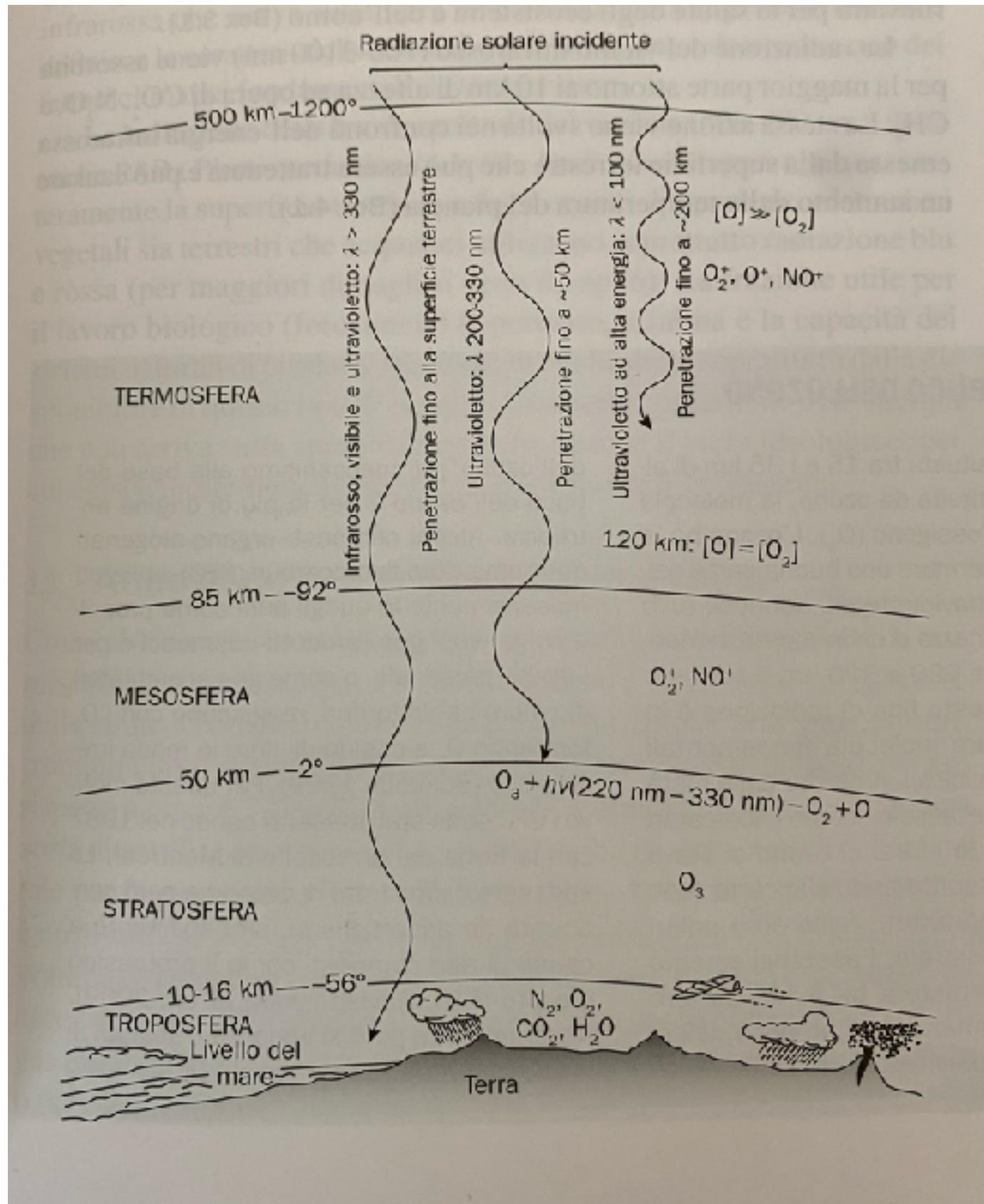
**Troposfera:** si estende da terra fino a: 6-8 Km ai poli e 16-18 Km all'equatore. E' riscaldata principalmente dalla radiazione termica terrestre. Qui si verificano tutti i fenomeni atmosferici (fronti, nubi, temporali, ecc.)

**Stratosfera:** spessa circa 40 Km. In essa vi è la massima concentrazione di ozono.

**Mesosfera:** spessa circa 30 Km. Qui la radiazione solare non è filtrata. Contiene circa l'1% della massa totale dell'atmosfera.

**Termosfera o ionosfera:** spessa circa 110 Km. La temperatura è elevata, ma non influenza il clima terrestre. E' nella ionosfera che si verificano le aurore boreali.

**Esosfera:** Pressione praticamente nulla. Vi si mescolano particelle di provenienza terrestre con altre di provenienza extraterrestre.



# Effetto serra

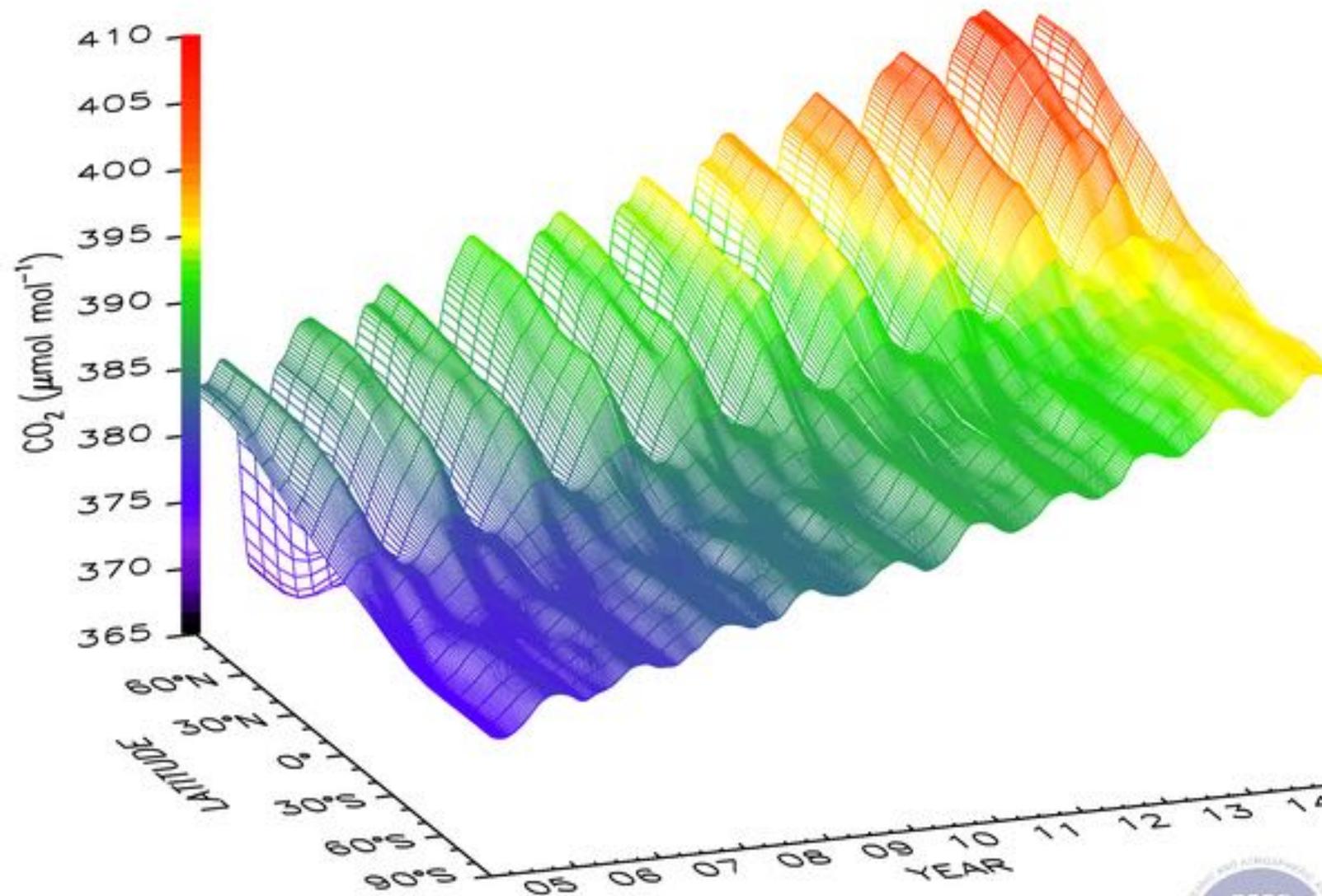


L'effetto serra è il risultato della presenza di una atmosfera attorno ad un pianeta. L'atmosfera assorbe parte dei raggi infrarossi emessi dal suolo del pianeta, che viene riscaldato dalla radiazione ricevuta dalla stella.

La Terra, come qualunque corpo caldo, emette una radiazione elettromagnetica la cui lunghezza d'onda è correlata alla temperatura del pianeta. Alla attuale temperatura della terra, circa 287 gradi Kelvin (14°C), l'emissione ha una lunghezza d'onda di circa 10 micrometri, e ricade quindi nell'infrarosso.

# Global Distribution of Atmospheric Carbon Dioxide

NOAA ESRL Carbon Cycle

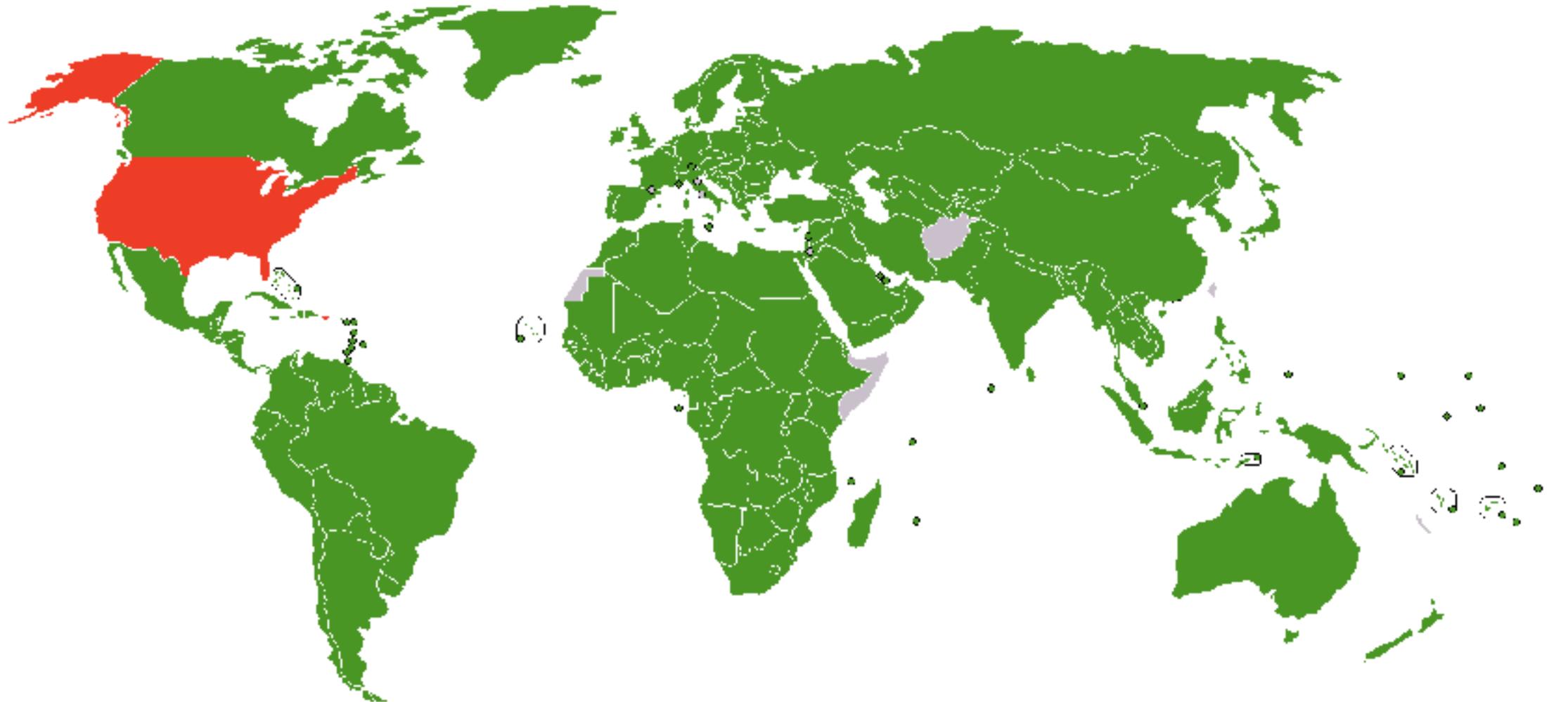


Three-dimensional representation of the latitudinal distribution of atmospheric carbon dioxide in the marine boundary layer. Data from the Carbon Cycle cooperative air sampling network were used. The surface represents data smoothed in time and latitude. Contact: Dr. Pieter Tans and Dr. Ed Dlugokencky, NOAA ESRL Carbon Cycle, Boulder, Colorado, (303) 497-6678, pieter.tans@noaa.gov, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/>.



May 2015

# Il protocollo di Kyoto



Mappa dei paesi aderenti al protocollo di Kyoto. In verde i firmatari, in grigio i paesi che non hanno ancora deciso di aderire, in rosso quelli che non intendono aderire.

Un primo tentativo di limitare l'alterazione climatica indotta dall'uomo è il Protocollo di Kyoto (1997).

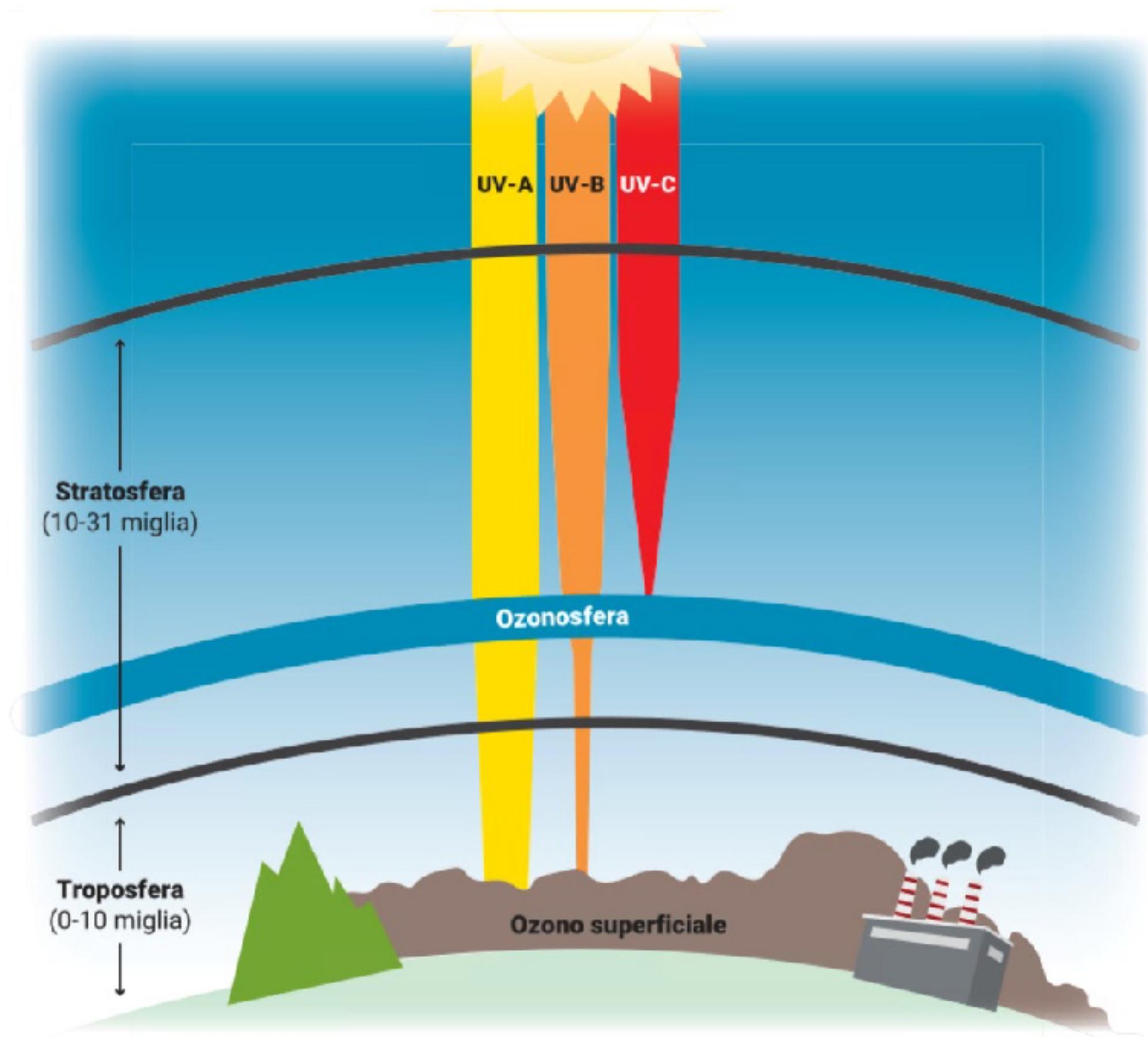
Alcuni paesi hanno deciso di non aderire. In particolare gli Stati Uniti hanno deciso di ritirare la firma inizialmente apposta al Protocollo da parte del presidente Clinton, inizialmente citando studi in cui si metteva in dubbio la responsabilità delle attività antropiche, poi, nel 2005, sostenendo che l'economia americana non sarebbe pronta ad effettuare la transizione verso un minore impatto ambientale.

Il protocollo di Kyoto, tra le altre cose, prevede il meccanismo definito “emissions trading”, ovvero mercato delle emissioni. Nell'Annex I del protocollo, ad ogni paese è stata assegnata una quota massima di emissioni. I paesi virtuosi, ovvero quelli che non raggiungono questo limite, possono “vendere” la differenza tra quanto emesso ed il massimo previsto ai paesi “non virtuosi”.

La **direttiva 2003/87/CE** istituisce un sistema di scambio di quote di emissione all'interno della Comunità Europea. Qualsiasi impianto che emetta gas serra deve avere una apposita autorizzazione, con un massimo di emissione possibile, e deve essere in grado di permettere la verifica di quanto emesso. In caso di superamento della quota concessa, l'impianto viene multato di 100 euro per tonnellata di gas serra eccedente.

Altre critiche al Trattato di Kyoto, su cui si basano alcuni paesi non aderenti, sono che si pone come obiettivo la diminuzione del 6% di anidride carbonica in atmosfera, mentre per annullare l'effetto delle emissioni umane bisognerebbe ridurlo del 60%.

# Lo strato di ozono



L'ozono è prodotto mediante la seguente reazione:



La radiazione ultravioletta proveniente dal sole scinde la molecola di ozono in una molecola di ossigeno ed un atomo di ossigeno:



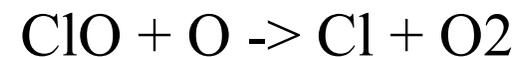
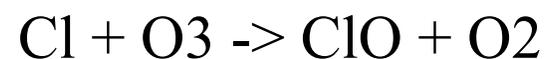
In assenza di radiazione solare l'ossigeno monoatomico, altamente reattivo, reagisce con le molecole di ozono dando due molecole di ossigeno:



La quantità di ozono presente nella stratosfera rimane costante solo se queste reazioni fotochimiche sono in perfetto equilibrio tra di loro.

Esistono tuttavia diverse molecole che possono perturbare questo equilibrio, come i clorofluorocarburi (CFC), i bromurati e gli ossidi di azoto.

Anche le molecole di CFC reagiscono alla presenza di raggi ultravioletti liberando atomi di cloro:



Gli atomi di cloro reagiscono con l'ozono formando ossigeno e monossido di cloro, che si combina a sua volta con ossigeno monoatomico per formare ossigeno biatomico e ancora cloro.

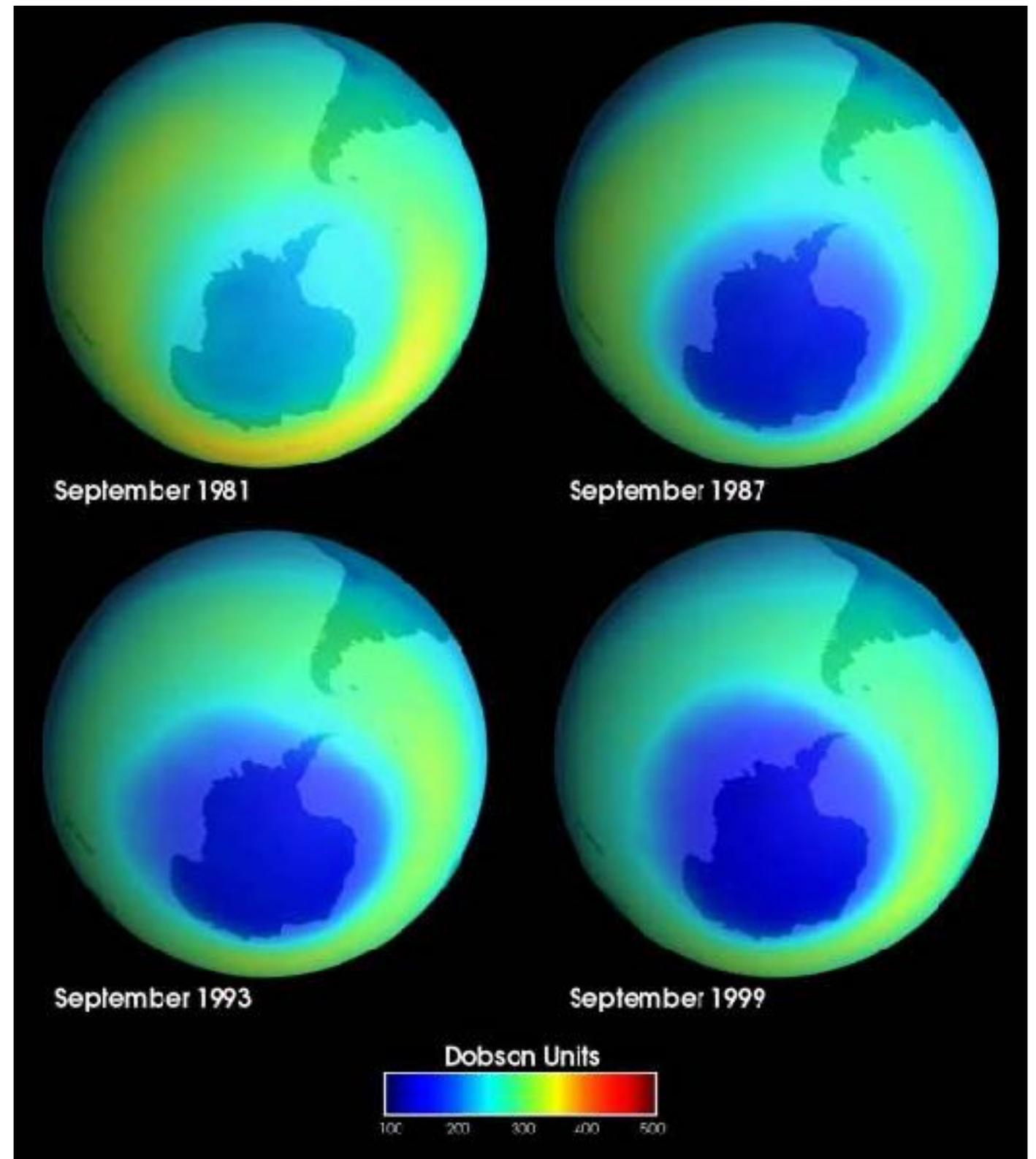
Questo ciclo di reazioni interferisce con il ciclo dell'ozono.

Si stima che un singolo atomo di cloro possa distruggere 100.000 molecole di ozono prima di combinarsi con altre sostanze, come il metano, e tornare nella troposfera.

Nel 1974 gli scienziati notarono un assottigliamento dello strato di ozono sopra il continente antartico. Questo processo è continuato negli anni ed ha portato a parlare, nel 1984, di **buco nell'ozono**.

Nel 1991 il buco nello strato di ozono si è espanso fino ad includere il sud dell'Argentina, con gravi conseguenze per la salute di uomini ed animali (tumori della pelle, cecità).

Ricercatori della NASA e di altre agenzie hanno sviluppato un nuovo strumento - un modello matematico computerizzato - per predire la tempistica del recupero del buco di ozono. Il modello riproduce accuratamente l'area del buco di ozono nella stratosfera Antartica negli ultimi 27 anni. Usando il modello, i ricercatori predicono che il buco di ozono scomparirà nel 2068, non nel 2050 come si ritiene comunemente.



La **Convenzione di Vienna**, nel 1985, fu un primo passo verso la soluzione del problema del buco nell'ozono. In questa Convenzione gli stati partecipanti stabilirono di dare un grande impulso alla ricerca scientifica sulle minacce allo strato di ozono, cercando così di proporre adeguate soluzioni in tempi ragionevolmente brevi, e disponendo l'attuazione di interventi immediati ove necessario.

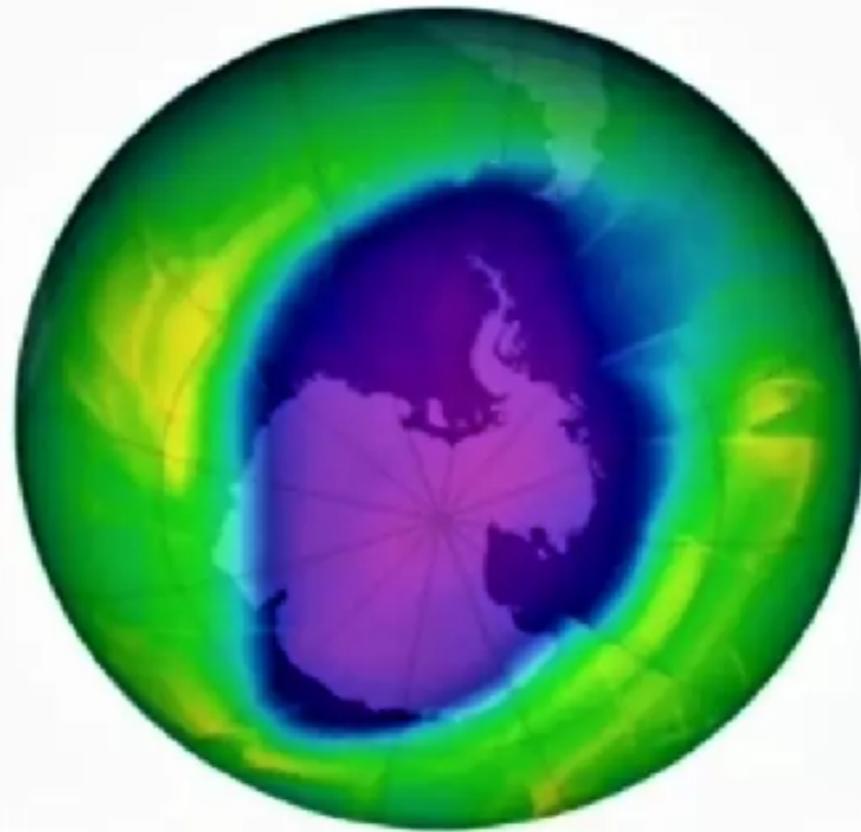
Il **Protocollo di Montreal**, in attuazione della Convenzione di Vienna ha stabilito nel 1987 gli obiettivi e le misure per la riduzione delle produzioni e degli usi delle sostanze pericolose per la fascia di ozono stratosferico.

Il Protocollo stabilisce i termini di scadenza entro cui le Parti firmatarie si impegnano a contenere i livelli di produzione e di consumo delle sostanze dannose (Clorofluorocarburi, tetracloruro di carbonio, 1,1,1 tricloroetano, Halons, idroclorofluorocarburi, Bromuro di Metile), e disciplina gli scambi commerciali, la comunicazione dei dati di monitoraggio, l'attività di ricerca, lo scambio di informazioni e l'assistenza tecnica.

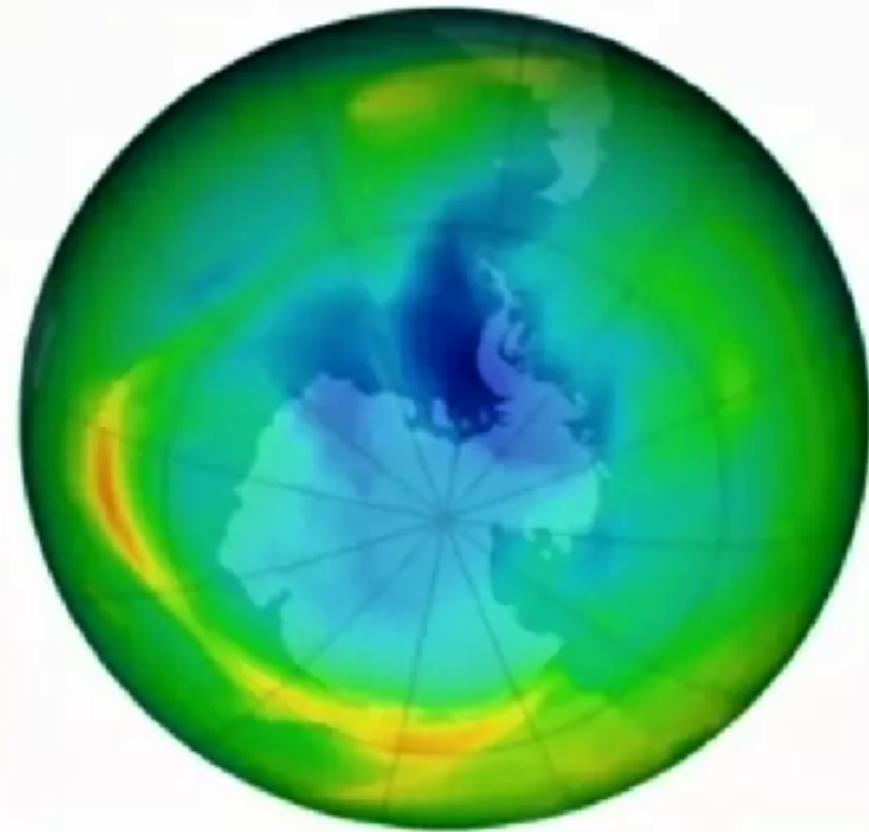
Rispetto ai termini di scadenza sul contenimento dei livelli di produzione e di consumo delle sostanze dannose, i paesi in via di sviluppo (PVS) godono, rispetto ai Paesi industrializzati, di un allungamento dei tempi, chiamato "periodo di grazia" di dieci anni.

La Conferenza delle Parti del Protocollo di Montreal si riunisce ogni anno al fine di valutare la validità e l'efficacia delle misure di controllo imposte dal Protocollo, aggiornare le norme di applicazione e quindi, dove necessario, apportare modifiche al Trattato attraverso decisioni, aggiustamenti ed emendamenti. Tali lavori vengono svolti dalle due sessioni preparatorie alla Conferenza, chiamate "Open Ended Working Group" (OEWG) che si riuniscono generalmente in Giugno, a Ginevra, e a ridosso della Conferenza delle Parti stessa generalmente ospitata da un Paese firmatario.

1980



2022



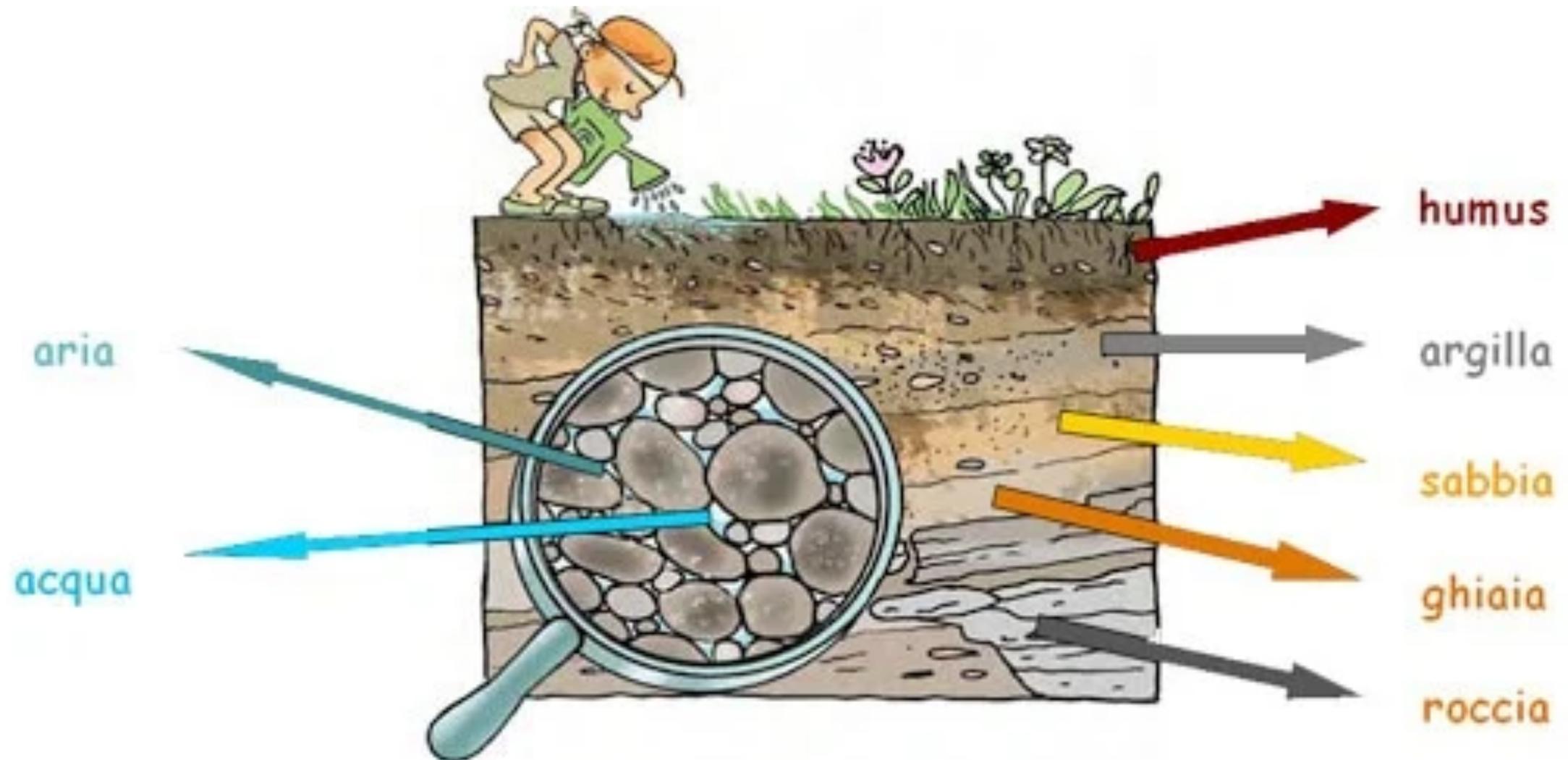
Grazie alle regole del Protocollo di Montreal, nel 2000 la produzione di CFC è scesa dal suo massimo di un milione di tonnellate (1988) a meno di 100.000 tonnellate, grazie anche all'introduzione degli idroclorofluorocarburi (HCFC) che non contengono atomi di bromo o di cloro. Tale riduzione ha permesso la drastica diminuzione del buco nell'ozono, che sarà probabilmente completamente chiuso entro il 2070.

**Ma prima di parlare dei cicli sedimentari....**

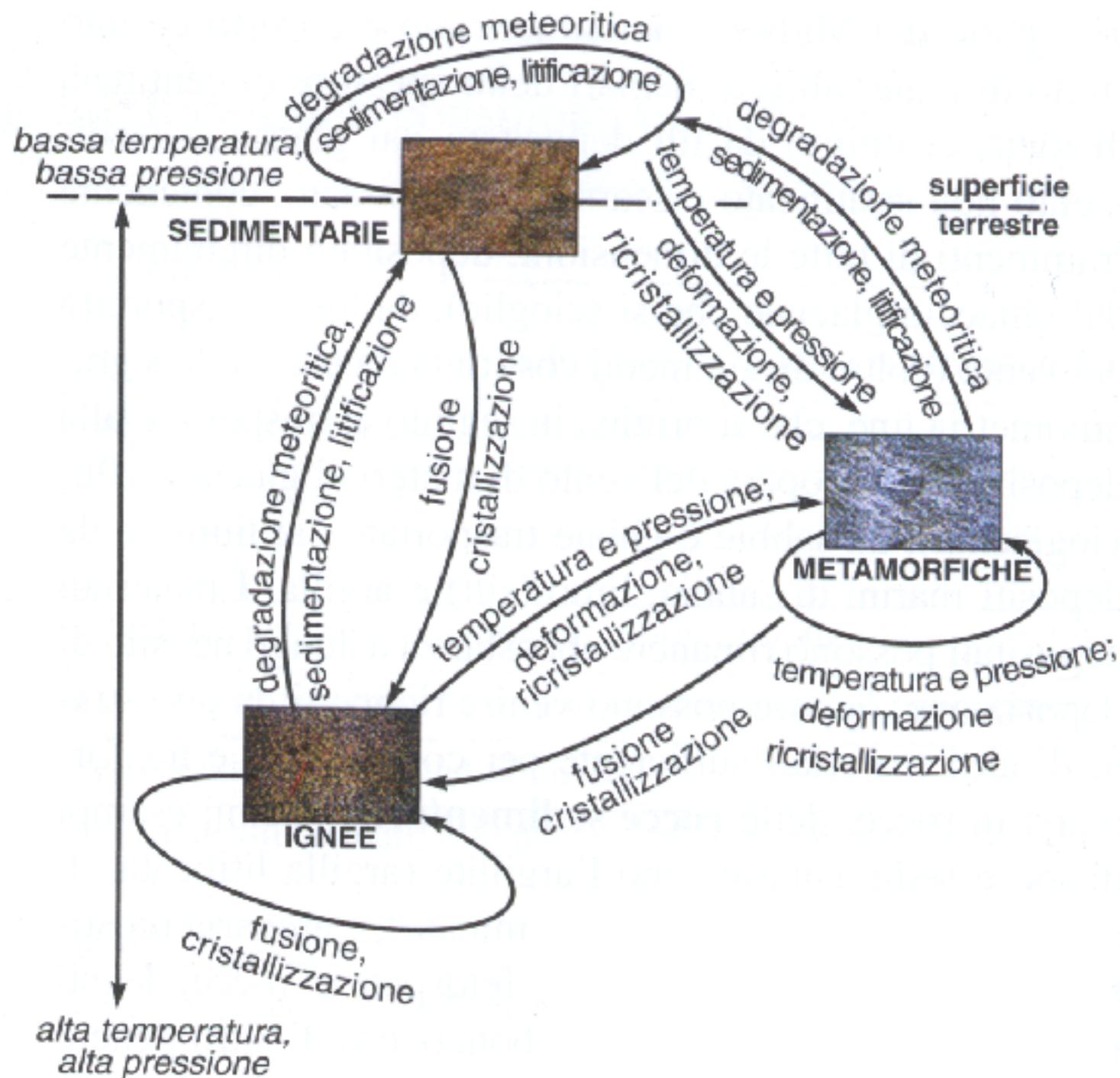
**...parliamo del suolo**



Il suolo è un “ambiente” estremamente complesso, che non siamo abituati a percepire. Ospita una elevata biodiversità, ed è sede di processi fondamentali per la sopravvivenza del biota epigeo.



# Minerali e rocce

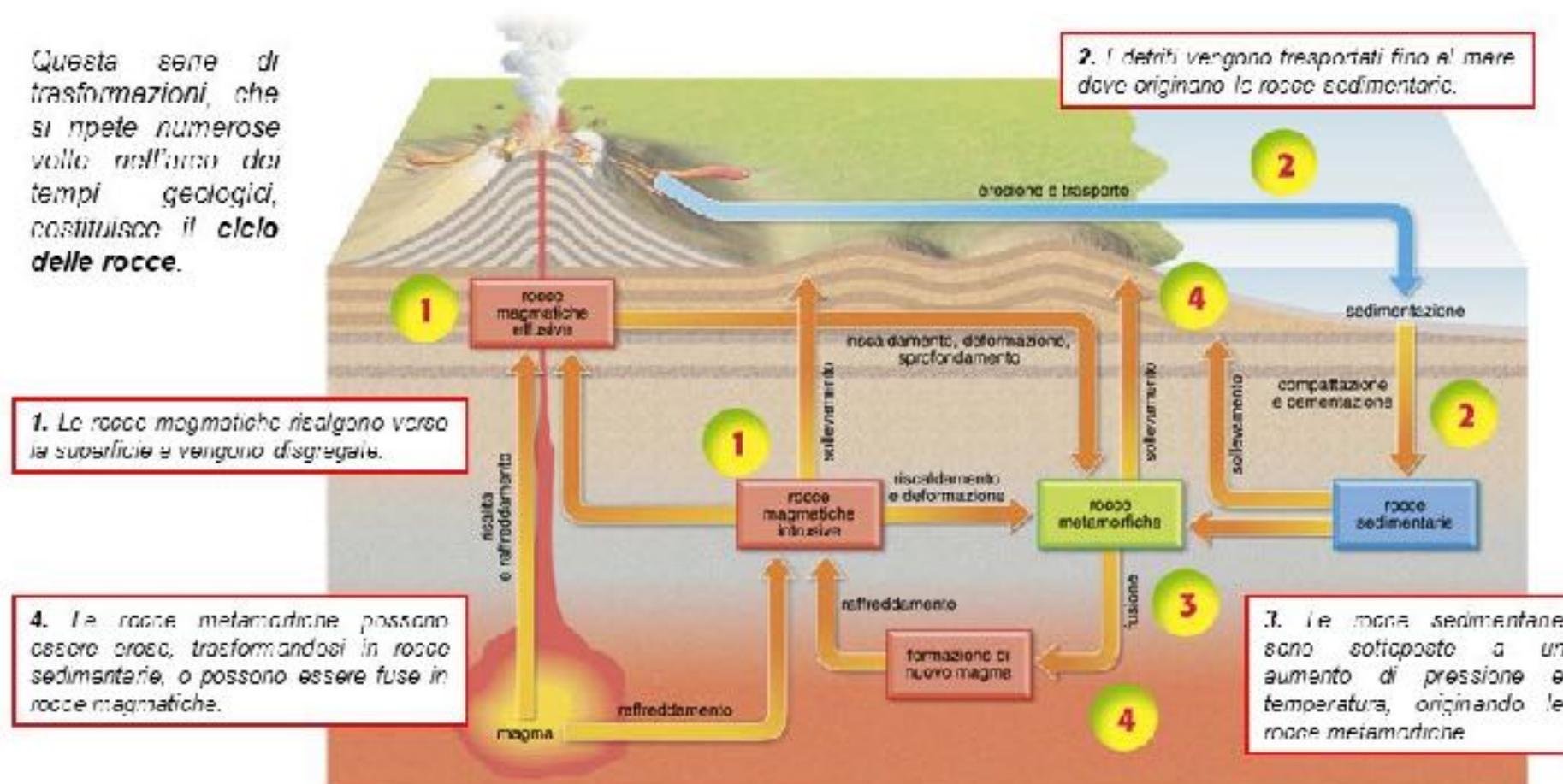


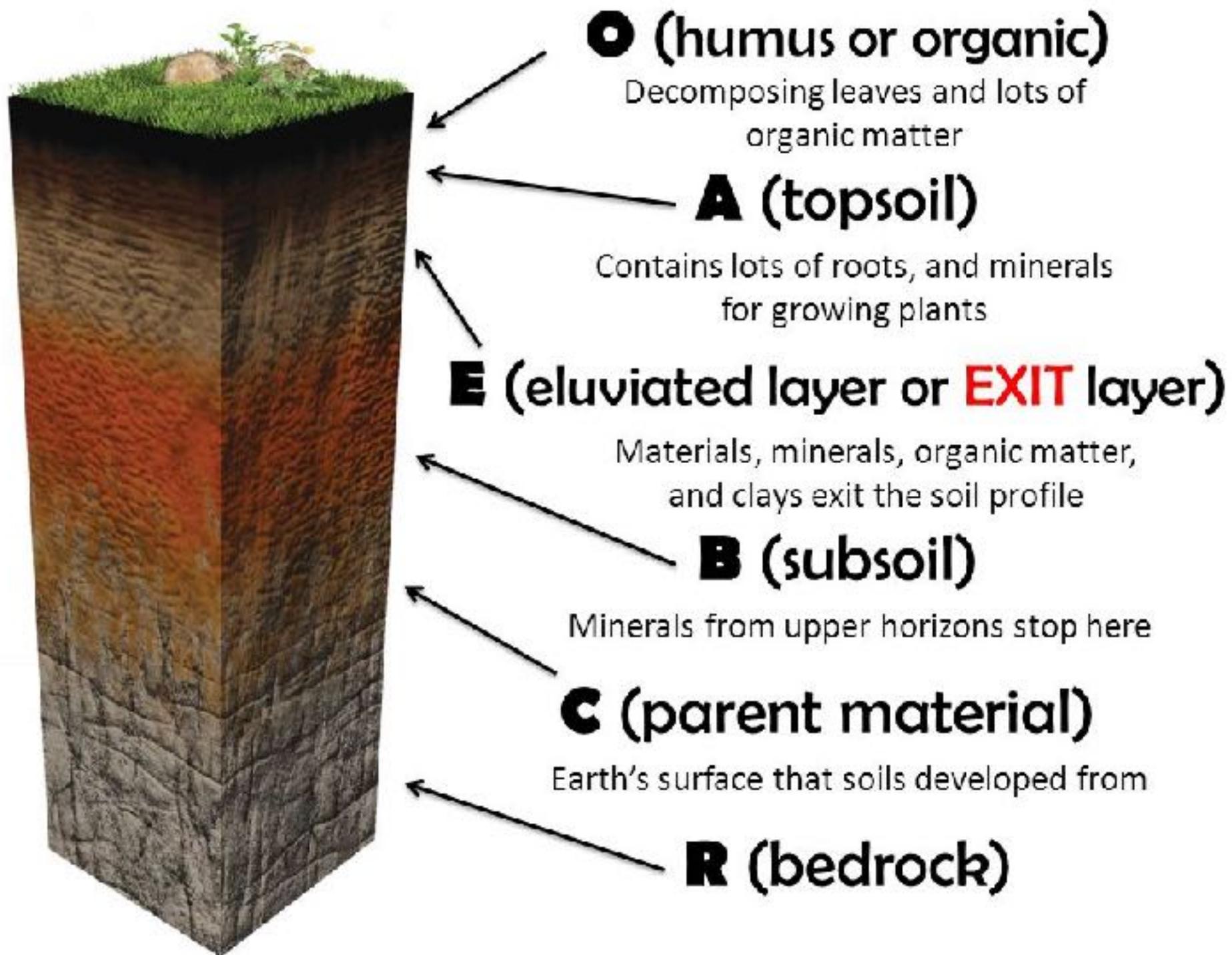
**Minerale:** sostanza naturale inorganica solida con composizione chimica definita ed una struttura interna cristallina regolare

**Roccia:** sostanza solida costituita da un unico minerale (roccia omogenea o semplice) o più comunemente da un aggregato di minerali (roccia eterogenea o composta) che forma masse aventi la stessa composizione, la stessa struttura e la stessa origine

A causa dei processi **esogeni** (originati dall'energia solare) ed **endogeni** (originati dal calore della Terra) i vari tipi di rocce nel corso del tempo si trasformano continuamente le une nelle altre.

Questa serie di trasformazioni, che si ripete numerose volte nell'arco dei tempi geologici, costituisce il **ciclo delle rocce**.





Orizzonte O: è lo strato più superficiale, formato da materiale organico fresco o parzialmente decomposto. È comune nelle foreste e generalmente assente nelle steppe e nelle praterie. In questo strato ci vivono organismi come batteri, funghi e insetti, mentre la componente inorganica è quasi assente;

Orizzonte A: è chiamato anche topsoil, ed è la zona di massima attività biologica. Il suo colore è generalmente scuro ed ha una tessitura grossolana. In questo strato abbonda l'humus, un complesso di sostanze derivate dalla decomposizione di resti organici animali e vegetali, ricco in elementi essenziali per la crescita delle piante come azoto, zolfo, fosforo e ferro;

Orizzonte E: è uno strato di colore chiaro, ricco di sabbia e particolato sciolto;

Orizzonte B: è chiamato anche subsoil, ed è uno strato di accumulo dei materiali rimossi dagli orizzonti superiori. È ricco di minerali argillosi, ferro e alluminio e povero di sostanza organica;

Orizzonte C: è ricco di regolite – roccia madre frammentata – ed è privo di sostanza organica. Le radici vegetali non raggiungono questo strato, ma si fermano ad orizzonti più superficiali;

Orizzonte R: è lo strato di roccia madre.

Il suolo è una risorsa complessa, essenziale e limitata: limitata perché, sebbene si generi in continuazione, il suo tasso di formazione è molto lento.

Stimare la durata della formazione del suolo è molto complesso perché la risposta dipende da numerosi fattori. Tuttavia, si stima che per dar vita a un pollice di suolo (2.5 cm circa) ci vogliano almeno 100 anni.

Il suolo come altri ecosistemi, fornisce una serie di servizi ecosistemici, tra cui: supporto fisico inteso come base produttiva per alimentazione umana e animale;

- deposito di materie prime (rocce, sabbie, ghiaia, minerali);
- mantenimento dell'assetto territoriale;
- stabilità dei versanti;
- habitat per organismi che vivono all'interno del suolo e sulla sua superficie;
- patrimonio storico e culturale.

Il suolo richiede però relativamente poco tempo per il suo deterioramento (fondamentalmente per cause antropiche), ed è inoltre soggetto a inquinamento, subsidenza (abbassamento del suolo), rischio idrogeologico (frane, alluvioni, valanghe), vulcanico e sismico.

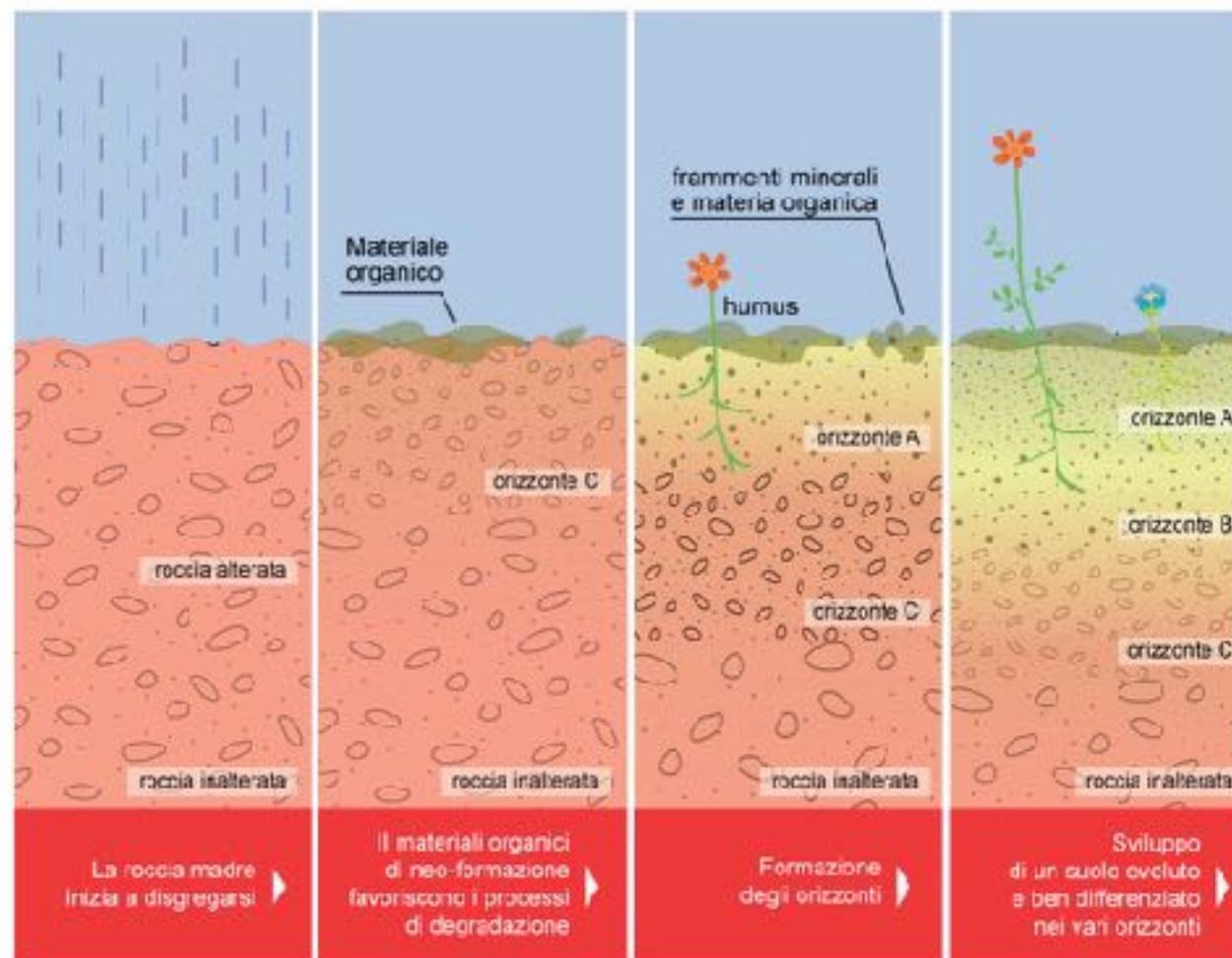
Per questi motivi la tutela del suolo e il suo ripristino è parte del Goal 15 – Vita sulla Terra – dell'Agenda Europea 2030 per lo Sviluppo Sostenibile.

# PEDOGENESI

## (Evoluzione del suolo)

La formazione del suolo è frutto di lunghi processi (pedogenesi) che prevedono, in generale, l'alterazione (cioè la trasformazione) dei composti inorganici (minerali e rocce) e dei composti organici (piante e animali morti o sostanze da loro rilasciate, come foglie ed escrementi) presenti nella zona, la loro deposizione e la successiva formazione di nuovi minerali e nuove molecole organiche (<http://www.en.scuola.net/argomento/suolo/formazione-di-un-suolo/la-pedogenesi/>).

Possibile evoluzione di un suolo con la formazione di diversi orizzonti



- Orizzonte A: zona ricca di materia organica
- Orizzonte B: zona ricca di argilla, idrossidi di ferro, carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ )
- Orizzonte C: roccia madre parzialmente destrutturata e decomposta

La **pedogenesi** è la sequenza di eventi che porta alla formazione del suolo maturo. Tre sono i tipi di alterazione coinvolti nel processo pedogenetico:

**Alterazione fisica:** fratture da dilatazione termica e da rilassamento, e dovute alla penetrazione di acqua che congelando amplia le fratture. Questo tipo di alterazione è più attiva in ambienti con frequenti sbalzi di temperatura. La roccia viene disgregata fino a dimensioni di 2-5 micrometri, aumentando la superficie di attacco per l'alterazione chimica.

**Alterazione chimica:** ossidazione e di riduzione che riducono o aumentano la mobilità di diversi elementi; dissoluzione di sali come cloruri e solfati, che vengono asportati dal suolo; decarbonatazione delle rocce calcaree, da carbonato di calcio (insolubile) a bicarbonato di calcio (solubile), con accumulo di impurezze silicate; idrolisi, con attacco ai reticoli cristallini da parte degli ioni idrogeno. Le particelle del suolo si riducono fino a meno di 2 micrometri.

**Alterazione biologica:** dovuta agli organismi che si sviluppano sul substrato, modificandolo sia fisicamente che chimicamente che con la deposizione di lettiera e formazione di humus.

Più il suolo è immaturo, ovvero presenta un profilo scarsamente differenziato, con una limitata componente organica, più le sue caratteristiche dipendono da quelle della roccia madre.

## Degradazione fisica

L'effetto di vento, pioggia e cambiamenti di temperatura agisce, in tempi relativamente lunghi, sulla roccia, disgregandola in parti con granulometria sempre più fine, fino ad arrivare alle dimensioni della sabbia (granuli, quasi sempre composti da un solo minerale, con dimensioni dell'ordine di frazioni di millimetro).

Le modalità di degradazione fisica sono principalmente:

- azione gelo-disgelo (creazione di pressione interna dovuta alla formazione di cristalli di ghiaccio);
- effetto salsedine (creazione di pressione interna dovuta alla formazione di strutture cristalline organizzate);
- attività organica (azione meccanica di organismi viventi come piante e lombrichi).

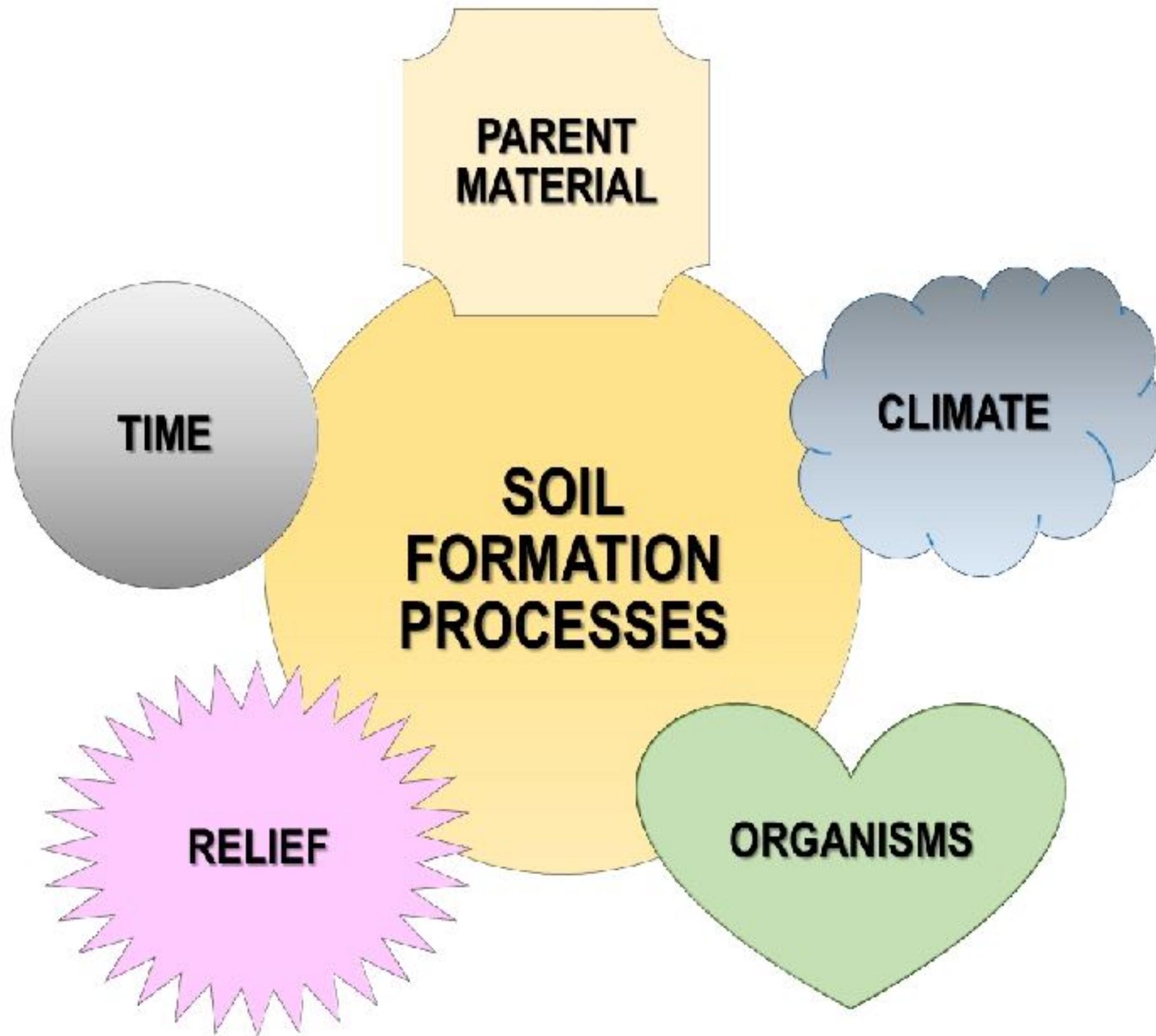
Questi processi portano a un incremento del rapporto superficie/volume della massa rocciosa, favorendo così l'alterazione chimica.

## Alterazione chimica

L'alterazione chimica dei minerali porta al cambiamento o alla distruzione della loro struttura cristallina e alla perdita di elementi.

L'acqua ha un ruolo fondamentale in questi processi. Essi sono:

- **Ossidazione e riduzione:** agiscono sulla solubilità e quindi sulla mobilità di alcuni elementi. Alcuni fra gli elementi chimici più importanti nella pedogenesi hanno dinamiche molto influenzate dal loro stato ossidativo. Ad esempio il ferro, in condizioni riducenti (suolo saturato d'acqua), si riduce a ione  $Fe^{2+}$  e diventa parzialmente solubile in acqua. In ambiente ossidante (limitata disponibilità d'acqua), il ferro ritorna nella forma  $Fe^{3+}$ , meno solubile, e precipita.
- **Solubilizzazione:** l'acqua, resa lievemente acida per la presenza di acidi organici deboli e anidride carbonica, ha un potente effetto solubilizzante, che favorisce il trasferimento di sostanze da un orizzonte all'altro. Essendo molto mobile nel profilo pedologico, l'acqua causa quindi asportazione di grandi quantità di ioni e loro successiva rideposizione.
- **Idratazione:** consiste nell'incorporazione di molecole di acqua nel reticolo di un minerale; la disidratazione, invece, si verifica quando, in condizioni di aridità, la forte evaporazione provoca l'espulsione di acqua.
- **Idrolisi:** potente fattore di alterazione, specialmente in ambienti caldi e umidi. Il processo idrolitico comporta la liberazione della silice e delle basi; a seconda delle condizioni climatiche, queste possono essere poi dilavate (desilicizzazione), oppure dare origine ad argille e idrossidi di ferro, alluminio e manganese.
- **Chelazione:** alterazione chimica causata da alcune tipologie di composti organici (acidi organici, fenoli). Tali composti attaccano i minerali, estraendone degli ioni metallici formando dei composti organo-metallici chiamati chelati; questi ioni possono poi subire una traslocazione, ad opera dell'acqua circolante, verso le parti più basse del profilo.



# Fattori che influenzano la pedogenesi

## Roccia madre

La struttura e la composizione del suolo possono dipendere anche fortemente dalla roccia madre, in particolare nei climi temperati. Qui a litologia diversa corrispondono suoli diversi. Se la roccia madre è ricca in carbonati, ad esempio, la mineralizzazione dell'humus verà rallentata e limitata.

Il tipo di roccia madre influenza anche I tempi della pedogenesi. Rocce di origine piroclastica solitamente si alterano in tempi molto più brevi di rocce come I calcari duri.

Solo in climi estremi, come nelle tundre e nei deserti, il risultato della pedogenesi è pressocchè indipendente dalla roccia madre, ed è influenzato quasi esclusivametine dal clima.

Inoltre, quando la pedogenesi produce suoli molto profondi, si genera una relativa indipendenza dalla roccia madre, a causa della grande distanza che la separa dagli orizzonti superficiali del suolo stesso.

## Il clima

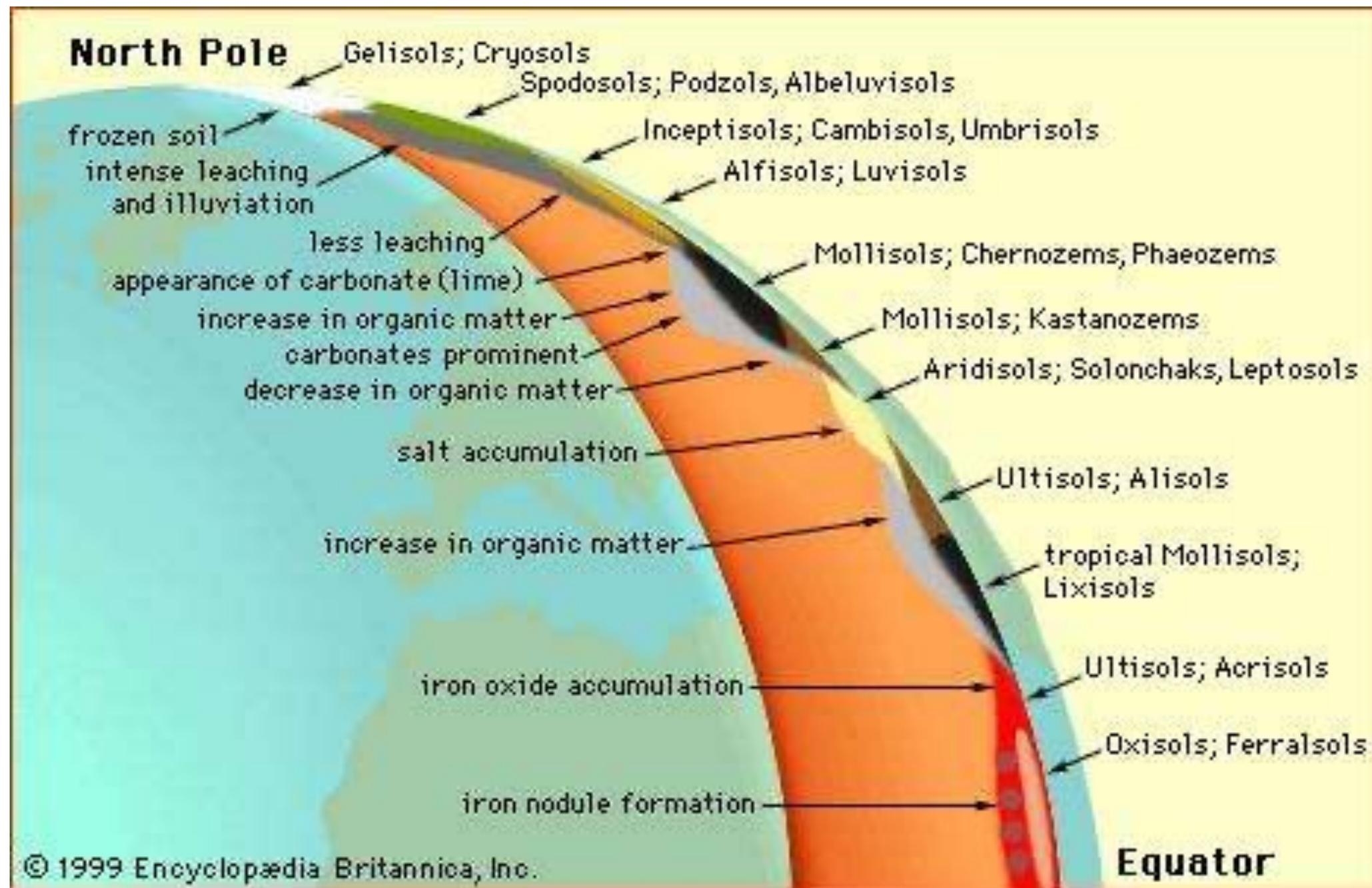
Il clima influenza gli altri fattori pedogenetici, e ha un impatto diretto sull'intensità della pedogenesi, massima nelle zone calde e umide equatoriali e da minima a nulla in zone molto aride e fredde.

Esiste una corrispondenza tra caratteristiche climatiche e tipologie dei suoli (**zonalità**).

La zonalità dipende linearmente dalla latitudine, ed ha origine dalle dinamiche dei componenti del suolo (ferro e silice) che risultano dall'alterazione dei minerali primari. Alle alte latitudini (clima umido e freddo) si ha una evapotraspirazione molto bassa. Il ferro permane allo stato ridotto, causando tinte grigie, derivanti dai colori dei minerali primari e della sostanza organica. Al diminuire della latitudine, e con il conseguente aumento delle temperature, si instaurano condizioni più favorevoli all'ossidazione e cristallizzazione del ferro, dapprima come goethite, che colora i terreni di marrone, successivamente come ematite, che dona ai suoli una tinta rossa. Dunque, procedendo dai Poli all'Equatore si ha passaggio da suoli grigi a suoli marroni e, infine, rossi.

La zonalità non è ovviamente l'unico fattore, specialmente nei climi intermedi, ove i molti fattori pedogenetici concorrono a formare il suolo. Ad esempio, in condizioni di clima temperato freddo, su substrato siliceo si sviluppa un suolo podzolico sotto vegetazione prevalente a conifere, mentre su substrati calcarei si instaura una vegetazione decidua o mista latifoglie/conifere e un suolo bruno.

I paleosuoli sono un caso particolare di suoli extrazonali, formati in ere geologiche precedenti, quando il clima era diverso, come ad esempio le terre rosse del Carso.



**Fascia subtropicale e tropicale:** precipitazioni elevate ed alte temperature influenzano la pedogenesi. I suoli sono caratterizzati da una rapida mineralizzazione della sostanza organica, e dall'accumulo di ossidi di ferro, che danno a questi suoli un caratteristico colore rosso (terre rosse). Nelle zone equatoriali l'accumulo di ossidi di ferro ed alluminio avviene nell'orizzonte B. In seguito al taglio delle foreste l'orizzonte A viene eliminato dallo scorrimento superficiale delle acque, con affioramento dell'orizzonte B, durissimo ed impenetrabile ad aratri e radici (corazza lateritica o carapace).

**Predeserto e deserto:** in queste zone le piogge sono scarse (100-150 mm/anno). La vegetazione è rada e xerofila, ed i suoli hanno un tenore in humus di 1-3%. L'alterazione chimica è pressoché assente, mentre vi sono forti alterazioni fisiche per gli sbalzi di temperatura tra giorno e notte. Importante è l'azione erosiva del vento.

**Zona delle steppe:** le steppe erbose (Ucraina, Romania, Ungheria, Ohio) sono caratterizzate da suoli ad altissima fertilità (terre nere). L'alterazione chimica è limitata al periodo estivo, quando le temperature sono più elevate. Il suolo è poco evoluto, con un orizzonte A particolarmente sviluppato (fino ad un metro di spessore).

**Fascia temperata:** il clima è mite e moderatamente umido. I suoli tipici sono le terre brune. In Italia sono ampiamente diffusi, dall'area mediterranea al piano montano, con caratteristiche diverse a seconda della natura del substrato litologico e delle condizioni climatiche locali.

**Fascia boreale:** suoli di tipo podsol con un orizzonte A ricco in humus molto acido, derivante dalla lettiera di conifere ed ericacee, che si decompone lentamente per il freddo ed la copertura nevosa che permane per circa 6 mesi. In Italia questi suoli si possono incontrare nell'arco alpino, sotto le foreste di conifere, e sporadicamente sugli Appennini.

**Regione artica:** la pedogenesi è fortemente limitata dal freddo, (temperature medie annue  $< 0$  gradi). Prevalge la disgregazione fisica della roccia. Alterazione chimica e l'attività biologica sono fortemente limitate. Il terreno, al di sotto della superficie, è permanentemente ghiacciato (permafrost). La seppur limitata vita vegetale può formare, a causa dei lentissimi ritmi di decomposizione, un forte accumulo di materia organica.

## **Gli organismi viventi**

I viventi, e ovviamente i vegetali in particolare, possono condizionare in diversi modi la pedogenesi.

Essi hanno un'azione diretta in quanto prelevano dal suolo nutrienti, e lo arricchiscono di materia organica, oltre a alterarlo fisicamente.

Le piante in particolare hanno anche una importante azione indiretta, che si esplicita nelle modificazioni al bilancio idrico e allo stato termico, e la protezione dall'erosione eolica e idrica.

Inoltre, la pedofauna trasforma residui organici freschi in sostanza organica decomponibile (animali detritivori) e composti umici. Inoltre, in particolare i lombrichi hanno un ruolo rilevante nel rimescolamento meccanico.

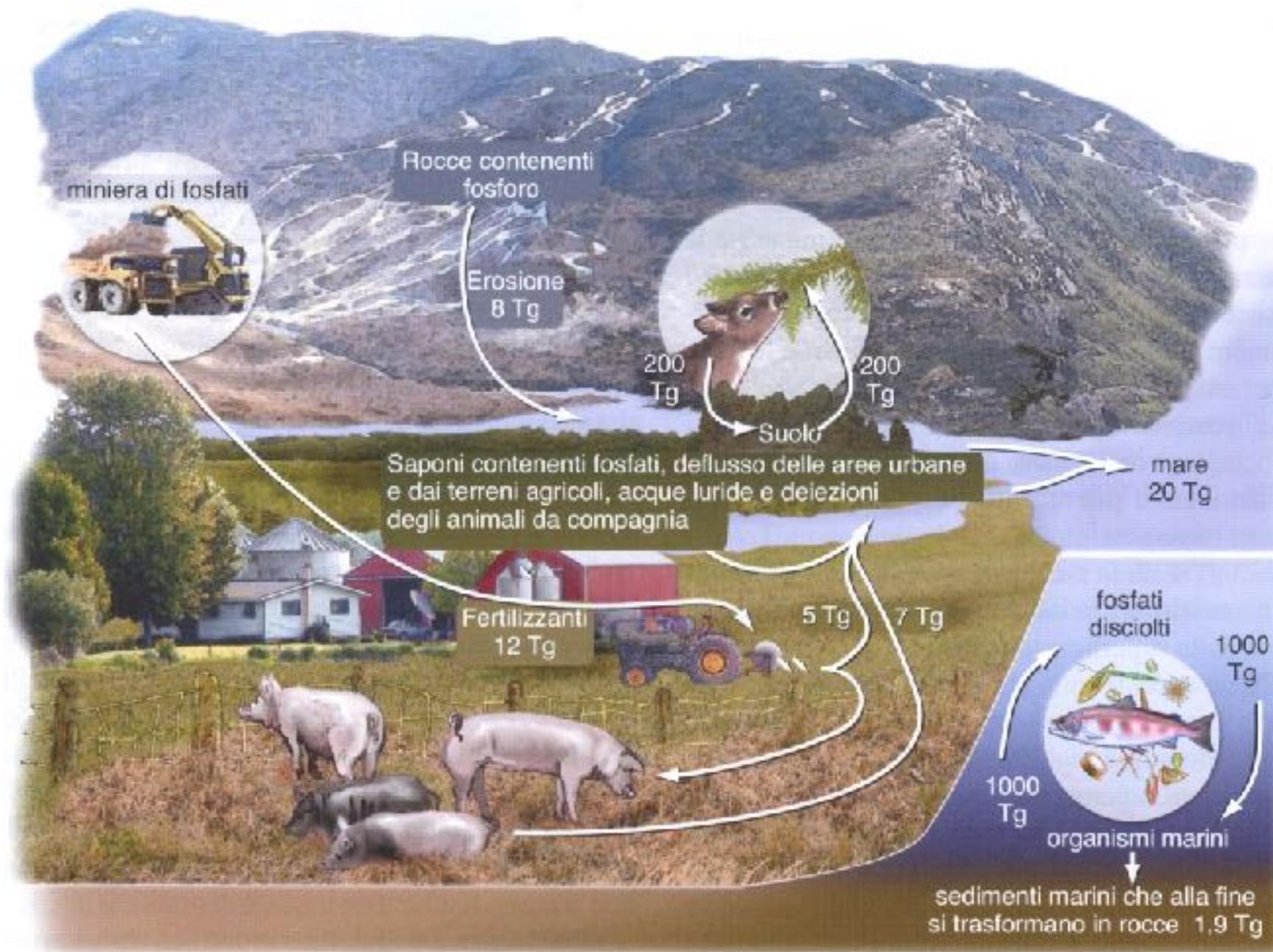
Funghi e batteri riciclano e trasformano la materia organica, integrando l'attività della pedofauna come organismi decompositori.

Il suolo e i suoi orizzonti si possono classificare in base a proprietà chimiche, fisiche e biologiche.

Tra queste il colore è la più evidente. Il colore del suolo dipende dalla presenza di ossidi metallici e materia organica. I suoli riflettono la natura della roccia madre e la presenza di alcune sostanze: quelli giallo-rossastri indicano la presenza di ossidi di ferro, quello nero-bruni un elevato contenuto di humus (indice di fertilità) e quelli grigio-blu un drenaggio scarso e una forte presenza di acqua.

Un'altra proprietà è quella della tessitura o granulometria. Questa indica la dimensione delle particelle e influenza direttamente la quantità di acqua e aria che un suolo può contenere. Più il suolo sarà formato da particelle piccole, più sarà compatto e privo di spazi vuoti; questo a sua volta porterà ad una maggiore idratazione perché l'acqua resterà "attaccata" alle particelle per capillarità. Al contrario, più grandi saranno le particelle, maggiore sarà l'aerazione minore l'idratazione.

# Il ciclo del fosforo



Pool di riserva: crosta terrestre

Il fosforo è presente negli acidi nucleici e nelle molecole ad alta energia (ATP e NADPH, per esempio). La sua carenza è uno dei principali fattori limitanti alla produttività di un ecosistema. Il ciclo è nel suo complesso estremamente lento, e pesantemente influenzato dall'uso umano (in particolare nell'agricoltura), uso che comporta anche l'eutrofizzazione di corsi d'acqua, laghi ed acque costiere, spesso con una conseguente distruzione della rete trofica di questi ecosistemi.

La maggior parte del fosforo utilizzato dagli esseri viventi deriva dalle rocce fosfatiche (ovvero rocce che derivano dall'accumulo delle ossa dei vertebrati e dal guano, accumulo di escrementi di uccelli marini).

Per effetto degli agenti atmosferici e dell'azione erosiva delle piogge, il fosforo si diffonde nei suoli. Qui, solubilizzando il fosfato di calcio, la microflora assimila il fosforo organicandolo e rendendolo adatto all'assorbimento da parte dei vegetali autotrofi.

Attraverso la catena alimentare il fosforo viene poi assorbito dagli animali che lo restituiscono al terreno sotto forma di rifiuti organici.

Ad opera di batteri, noti con il nome di fosfobatteri, il fosforo contenuto nei detriti viene quindi mineralizzato con produzione di ioni fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

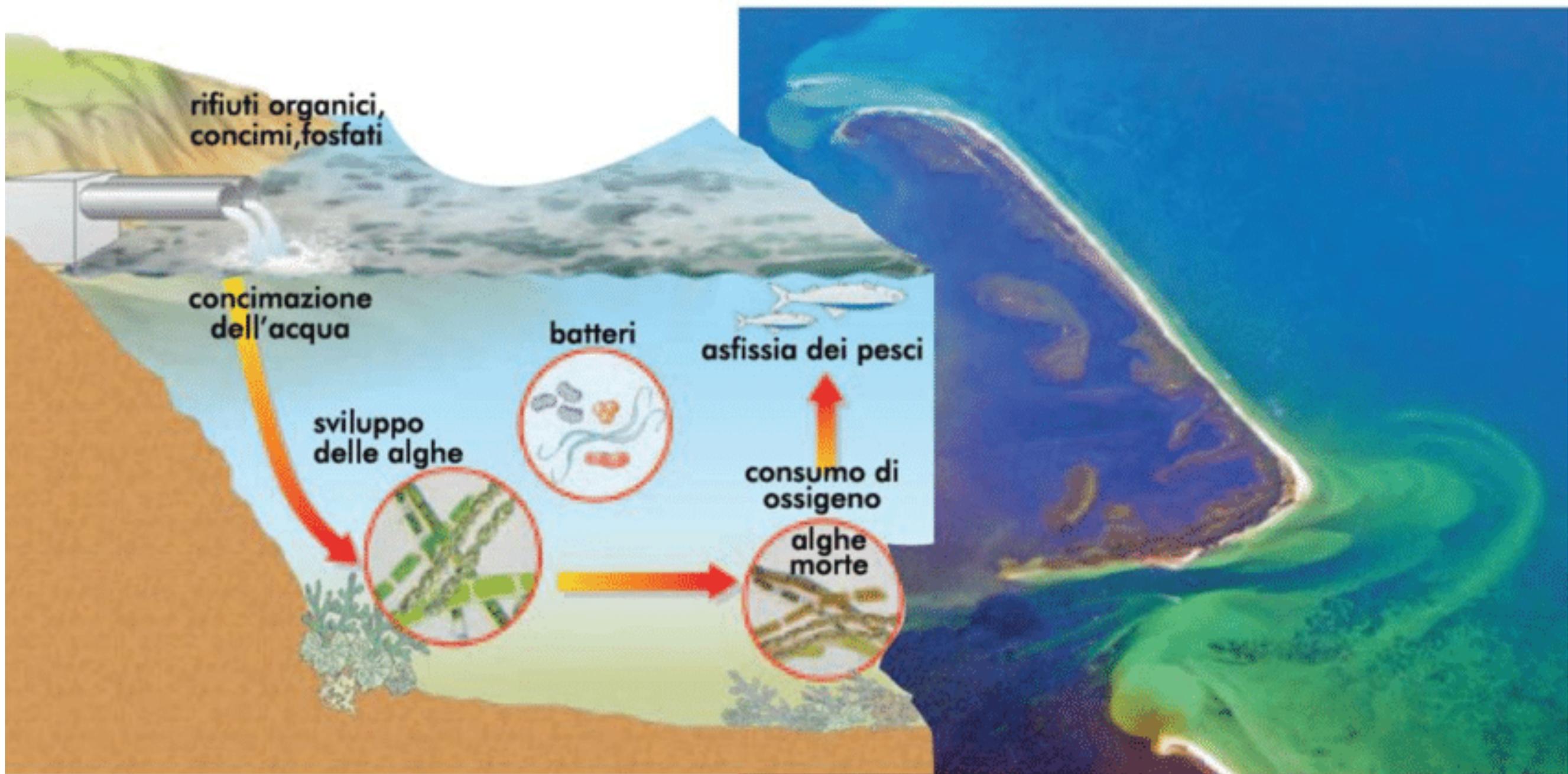
Parte degli ioni fosfato così prodotti vengono immediatamente riutilizzati dai produttori mentre un'altra parte viene invece trasformata in composti poco solubili che si accumulano nel terreno e che diventano non più disponibili per gli esseri viventi.

La maggior parte del fosforo contenuto nelle rocce per mezzo degli agenti atmosferici viene portata ai mari dove sedimenta sul fondo degli oceani.

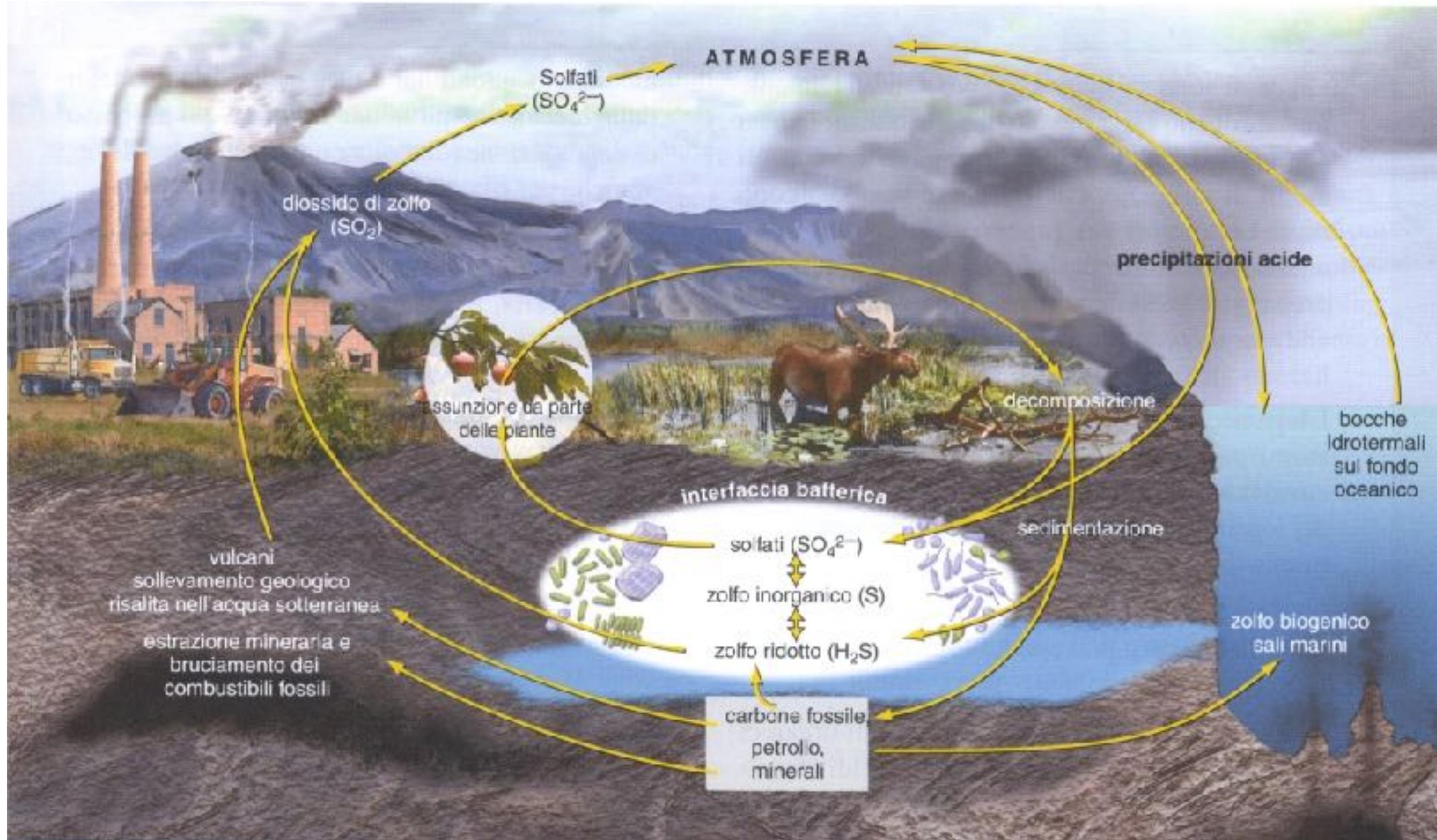
Una parte di esso viene utilizzata dal plancton e dai pesci. Attraverso la catena alimentare quindi i fosfati passano dai pesci agli uccelli che li restituiscono all'ambiente terrestre per mezzo del guano.

Tuttavia la quantità di fosforo che dal mare ritorna all'ambiente terrestre è notevolmente inferiore alla quantità che sedimenta sul fondo degli oceani.

# Azoto, fosforo e eutrofizzazione



# Il ciclo dello zolfo



Pool di riserva: crosta terrestre

Lo zolfo, a differenza del fosforo, viene emesso anche sotto forma gassosa dalla crosta terrestre. Di conseguenza il suo ciclo è meno rallentato rispetto a quello del fosforo. La quantità di zolfo in atmosfera è fondamentale nel determinare l'acidità delle piogge ed il loro influsso sugli ecosistemi. L'emissione antropica conseguente all'uso dei combustibili fossili, ed in particolare del carbone, tende ad aumentare l'acidità delle piogge, oltre a nuocere alla salute umana.

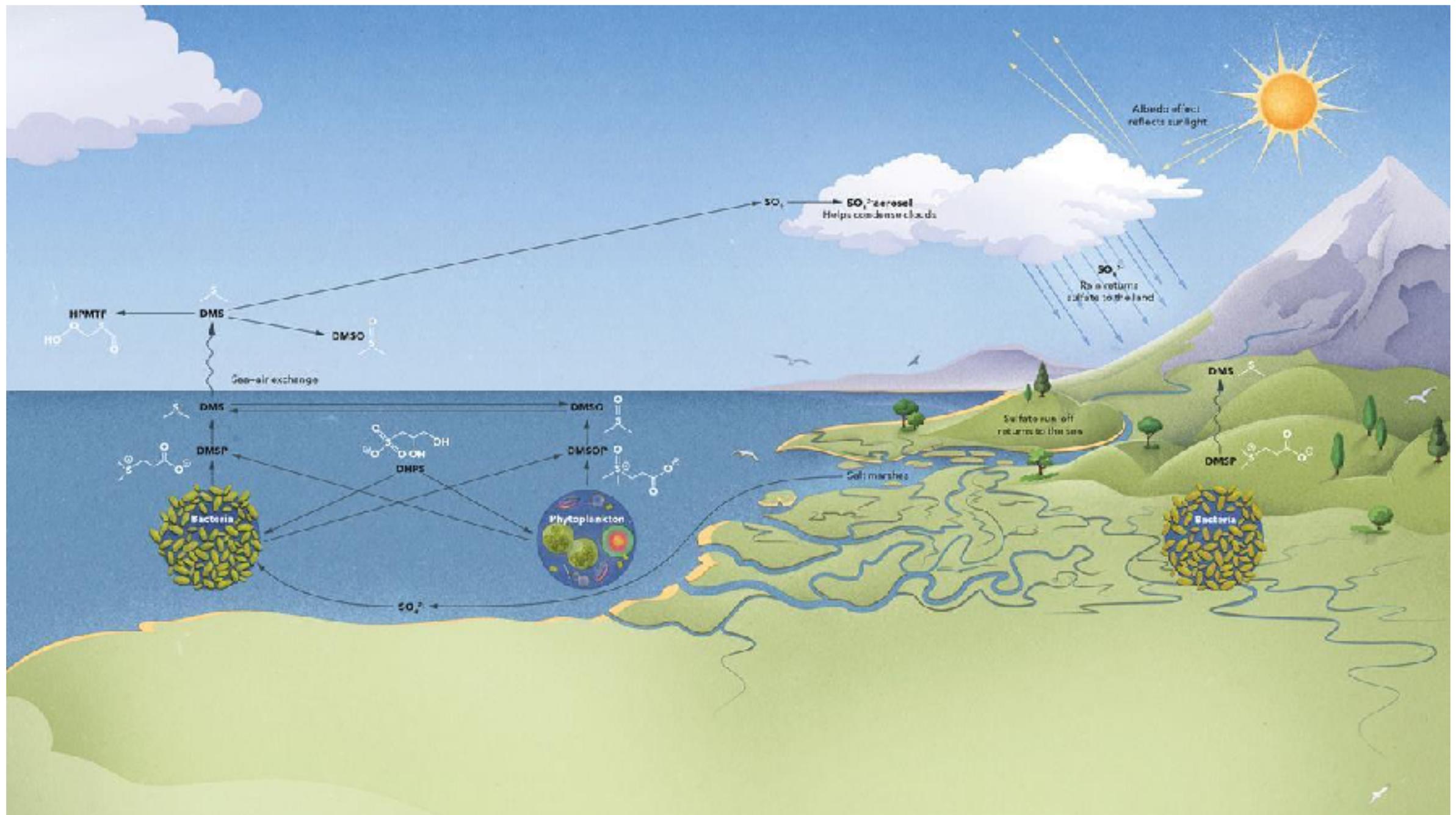
Parte del ciclo dello zolfo non è ben compreso, in particolare come vengano prodotte e utilizzate piccole molecole di organo-zolfo negli oceani. Uno dei motivi principali del rinnovato interesse per il ciclo dello zolfo è la sua influenza sul clima, dovuta alle emissioni oceaniche di dimetilsolfuro (DMS).

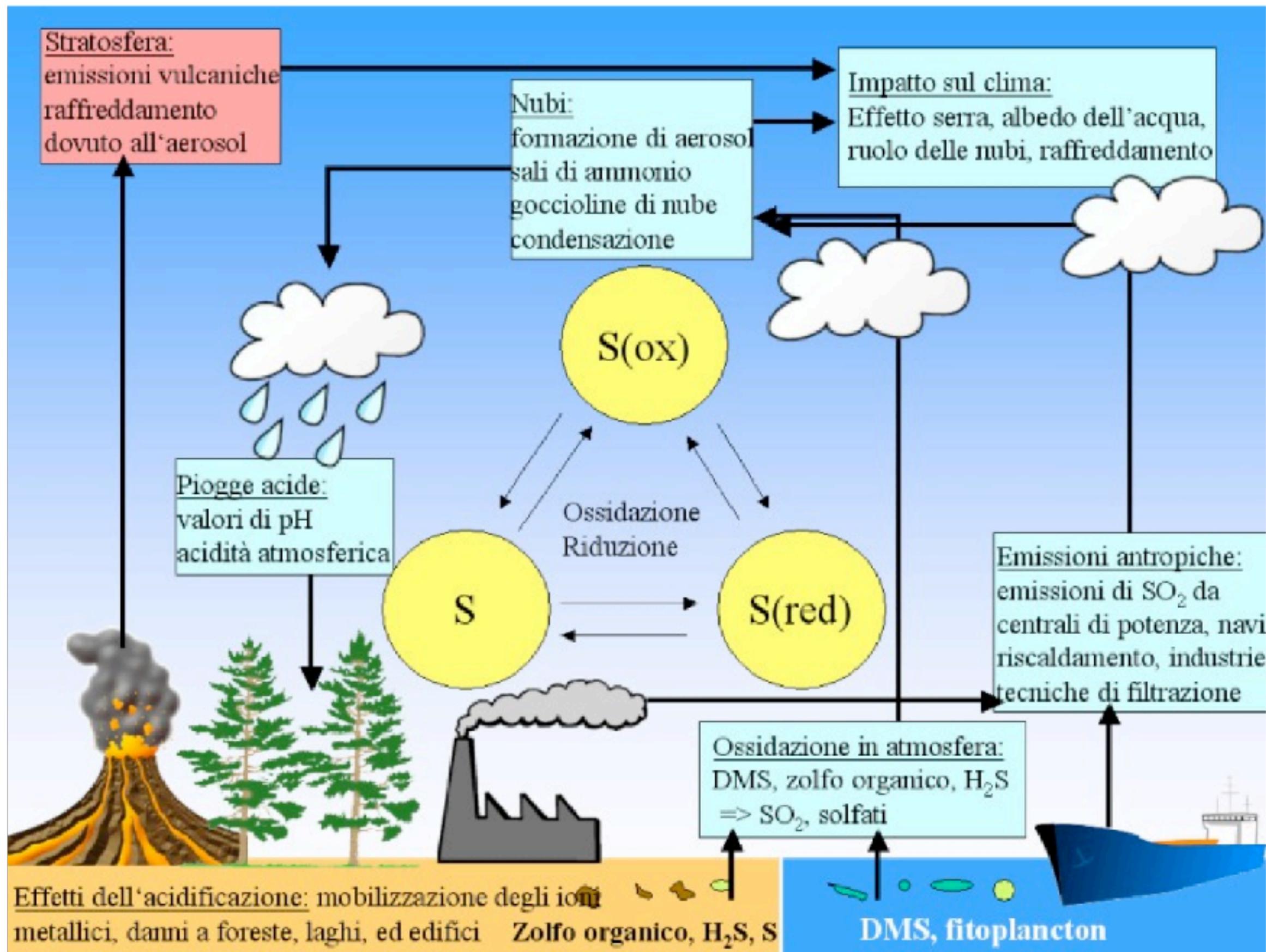
Una volta si pensava che lo zolfo fosse rilasciato da alghe marine e microbi come idrogeno solforato, ma ora sappiamo che circa 300 milioni di tonnellate di DMS vengono rilasciate dagli oceani ogni anno. L'odore dell'oceano che tutti conosciamo è caratterizzato da livelli molto bassi di DMS.

È stato lo scienziato ambientale britannico James Lovelock a proporre l'idea che il DMS potrebbe essere un fattore importante nella regolazione del clima.

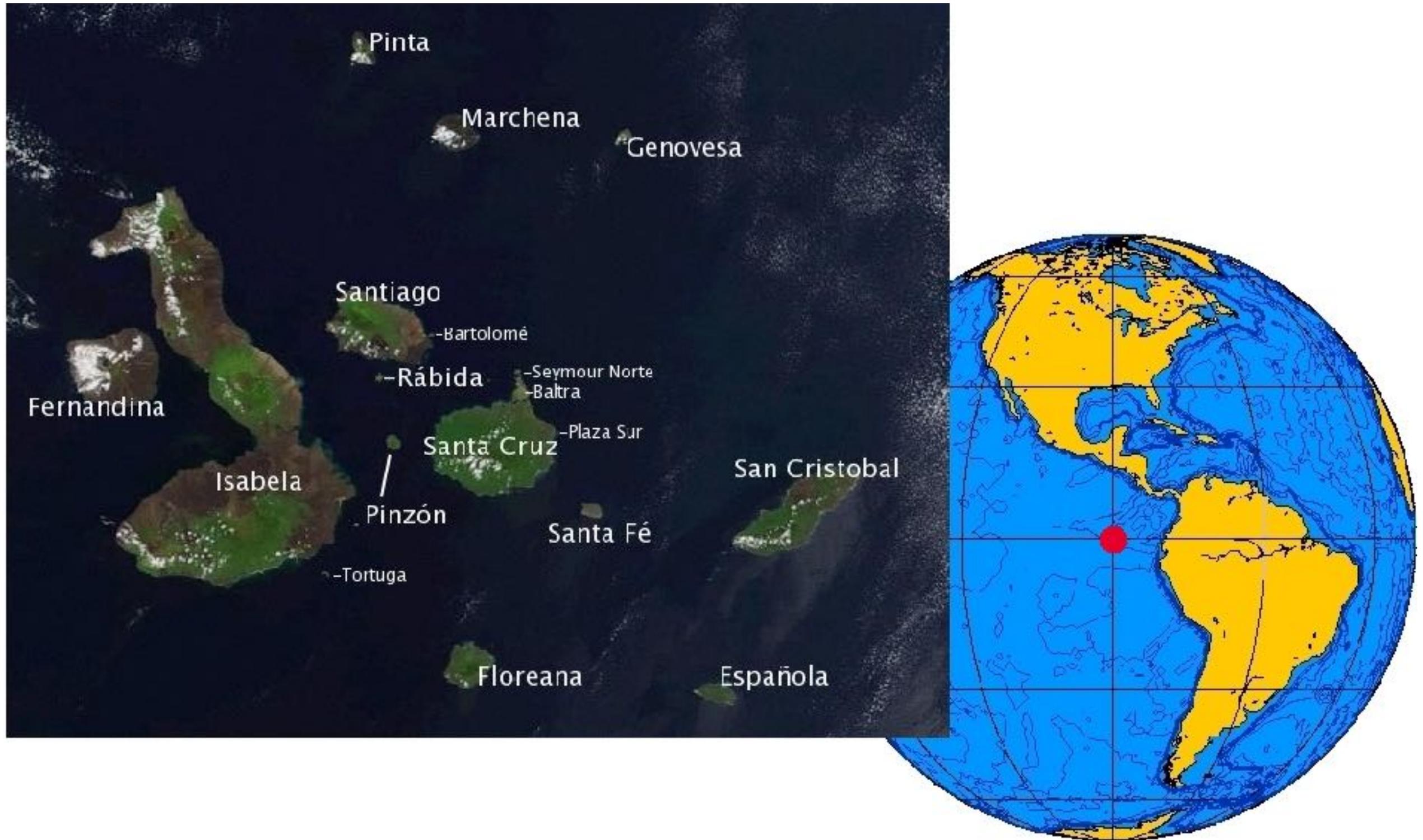
Lovelock è noto per aver proposto l'ipotesi secondo cui la vita sulla Terra agiva di concerto come un sistema complesso tipo un organismo. Nel 1987 suggerì che incoraggiando la formazione di nubi, il DMS agisse da termostato terrestre e prevenisse il surriscaldamento, conosciuta come "ipotesi CLAW".

I prodotti di ossidazione del DMS, come l'anidride solforosa e altri composti [solfati] possono eventualmente formare nuove particelle di aerosol. Le particelle portano alla nucleazione del vapore acqueo, formando nuvole e provocando una maggiore riflessione delle radiazioni per effetto dell'albedo. Ciò potrebbe quindi compensare alcuni degli impatti del riscaldamento dei gas serra. Il DMS viene poi ossidato e riciclato tramite l'acqua piovana.

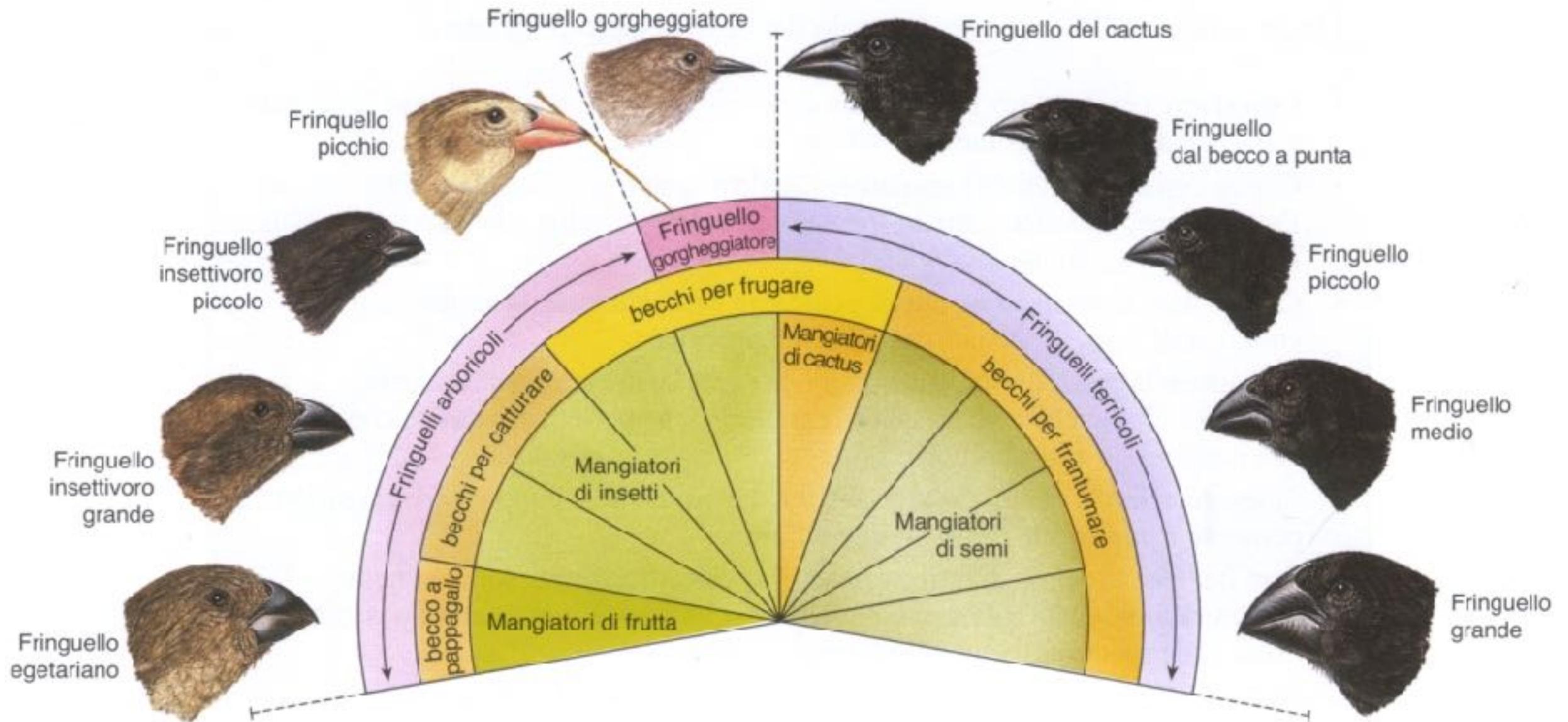




# Evoluzione e speciazione



La teoria dell'evoluzione ad opera della selezione naturale fu formulata per la prima volta nel libro: *On the origins of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle of life* (Charles Darwin, 1859).



Darwin ipotizzò che la **selezione naturale** porti alla evoluzione solo se si verificano determinati presupposti:

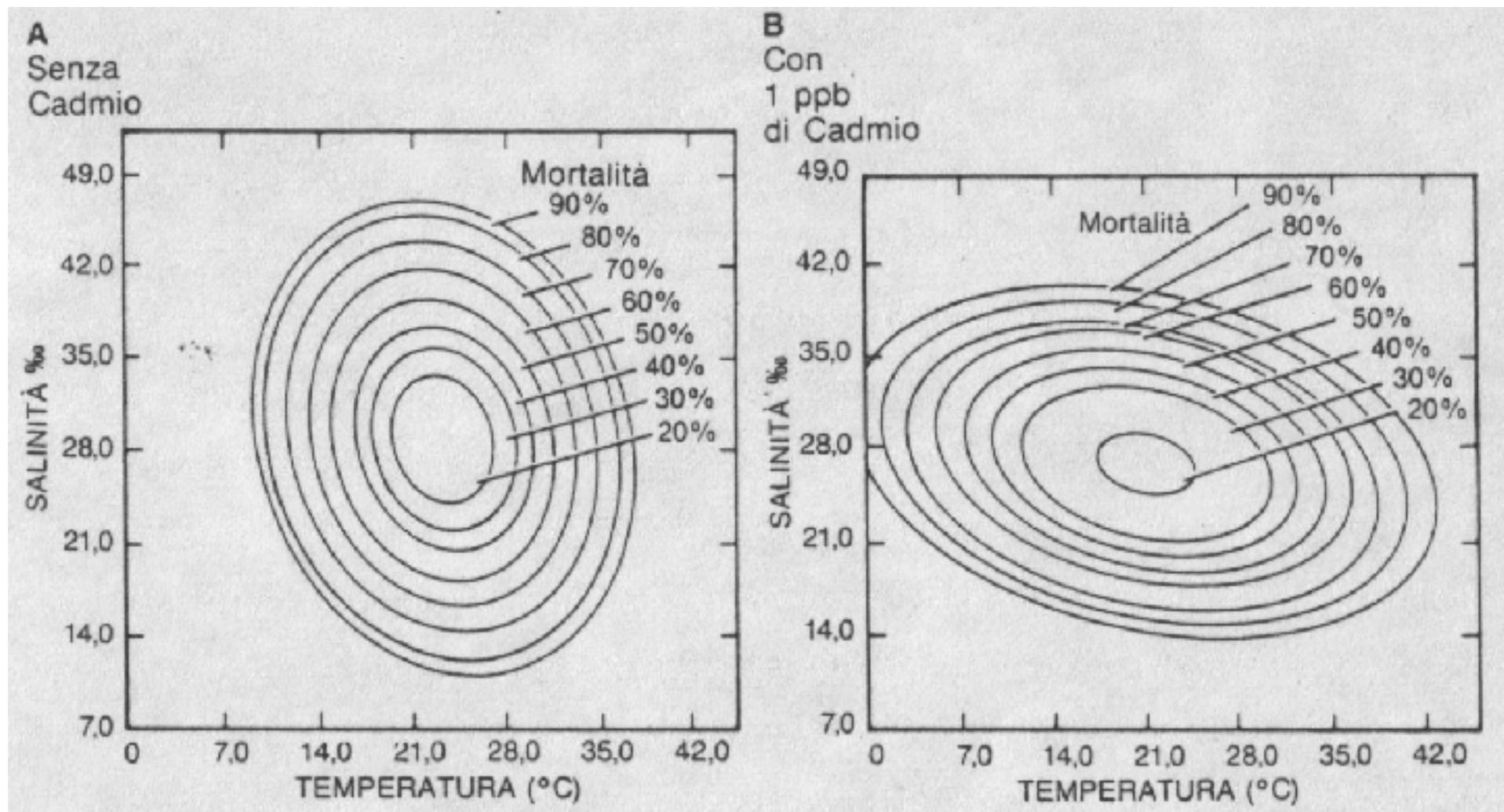
1. in una popolazione devono essere presenti differenti caratteri o proprietà
2. questi caratteri devono influenzare il successo riproduttivo
3. i caratteri devono essere genetici (cioè ereditabili)
4. una qualche pressione selettiva deve favorire in modo differenziale questi caratteri

La chiamò selezione naturale in contrapposizione alla **selezione artificiale** che ogni giorno gli allevatori ed i coltivatori fanno per modificare a nostro vantaggio animali e vegetali di interessa commerciale

Una **mutazione** è una variazione nel patrimonio genetico di un organismo. Si tratta solitamente di variazioni puntiformi di una singola base, solitamente dovute ad errori nel processo di duplicazione del DNA all'atto della divisione cellulare, o di ricombinazione nella divisione meiotica (**crossing over**). Solo le mutazioni che cambiano il corredo genetico delle cellule deputate alla riproduzione sono efficaci dal punto di vista evolutivo. La maggior parte delle mutazioni si ritiene siano dannose o neutrali. Solo una piccolissima parte ha effetti positivi sulla **fitness** dell'organismo che le porta.



Gli organismi hanno un massimo ed un minimo ecologico per ogni fattore. Questi due estremi costituiscono i **limiti di tolleranza** dell'organismo per il fattore in oggetto. Gli organismi possono avere un ampio intervallo di tolleranza per un fattore ed un intervallo più limitato per un altro fattore. Gli organismi con intervalli di tolleranza ampi per tutti i fattori sono i più diffusi. Una specie in condizioni non ottimali per un fattore ecologico può vedersi ridurre i limiti di tolleranza anche per altri fattori. Spesso in natura gli organismi vivono al di fuori dell'intervallo ottimale di uno o più fattori, se uno o più altri fattori hanno importanza maggiore. Il momento della riproduzione è critico; in questa fase della vita degli organismi i fattori ambientali divengono particolarmente limitanti. Ad esempio, alcuni paschi del genere *Cyprinodon* presenti nelle sorgenti calde del deserto del Sonora, hanno una tolleranza per la temperatura che va da 0 a 42 gradi. Questa ampia tolleranza si riduce nelle uova e negli individui giovani a un range 20-36.



L'intervallo di tolleranza per un fattore può essere modificato dalla variazione di un altro fattore. Nei due grafici è espresso l'intervallo di tolleranza per temperatura e salinità delle larve del granchio violinista (*Uca pugilator*). Il primo grafico rappresenta la situazione in natura, il secondo come questa varia con l'aggiunta di Cadmio, metallo tossico per questa specie anche a basse concentrazioni in particolare per le larve. Il prefisso **steno** viene in ecologia usato come sinonimo di “stretto”, mentre il prefisso **eur** viene usato come sinonimo di “ampio”. Un organismo stenotermo è quindi un organismo con uno stretto limite di tolleranza per la temperatura, mentre un organismo euritermo ha un ampio limite di tolleranza per la temperatura. All'interno dell'intervallo di tolleranza di un organismo per un fattore si individua l'**optimum**, che è il punto più alto della curva di tolleranza e rappresenta il valore del fattore in oggetto al quale l'attività dell'organismo, al pari degli altri fattori, è massima.

Gli organismi si adattano e modificano l'ambiente fisico per ridurre gli effetti limitanti dei diversi fattori ambientali; questo fenomeno viene detto **compensazione di fattori**, ed è osservabile sia a livello di specie che a livello di comunità. Specie con areali piuttosto estesi sviluppano spesso popolazioni adattate localmente che si definiscono **ecotipi**, con valori di tolleranza ed ottimali adattati alle ecologiche condizioni locali. Si tratta di sottopopolazioni che sono geneticamente adattate a specifiche condizioni ecologiche. Il concetto di ecotipo è strettamente correlato a quello di **morfotipo**, indicatore di **polimorfismo genetico** all'interno di una specie. Ad esempio, i puma melanici sono circa il 6% della popolazione totale, e sono interfecondi con quelli non melanici. Ecotipi e morfotipi possono essere visti come potenziali precursori di nuove specie.



In una comunità specie con diversi valori ottimali e diverse risposte alle variazioni di temperatura mettono a punto adattamenti ed acclimatazioni reciproche che rendono capace la comunità di compensare gli sbalzi di temperatura.

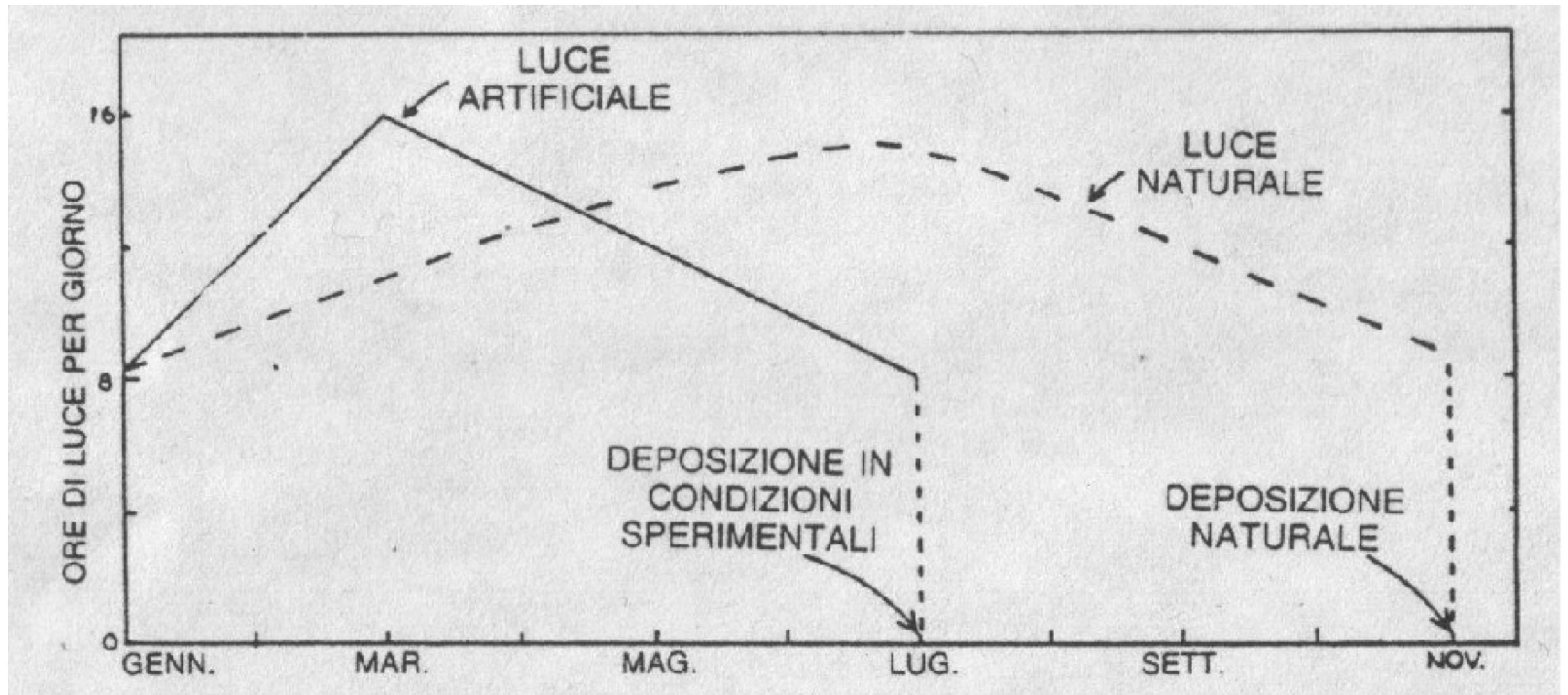
Questo avviene perché nel momento in cui una variazione di temperatura riduce le performance di una specie, si liberano risorse che possono essere sfruttate da un'altra specie.

I fattori ambientali non sono necessariamente solo fattori limitanti in senso negativo, ma possono essere anche fattori di regolazione in senso positivo.

Un fattore importante nello stimolare la regolazione dell'attività degli organismi è il **fotoperiodo**, ovvero la durata del periodo di luce giornaliero.

Le variazioni stagionali del fotoperiodo sono minime all'equatore e aumentano spostandosi verso i poli. Inoltre il fotoperiodo è sempre lo stesso per una data stagione e località.

Il fotoperiodo è un timer importante che innesca svariate risposte fisiologiche negli animali e nelle piante.



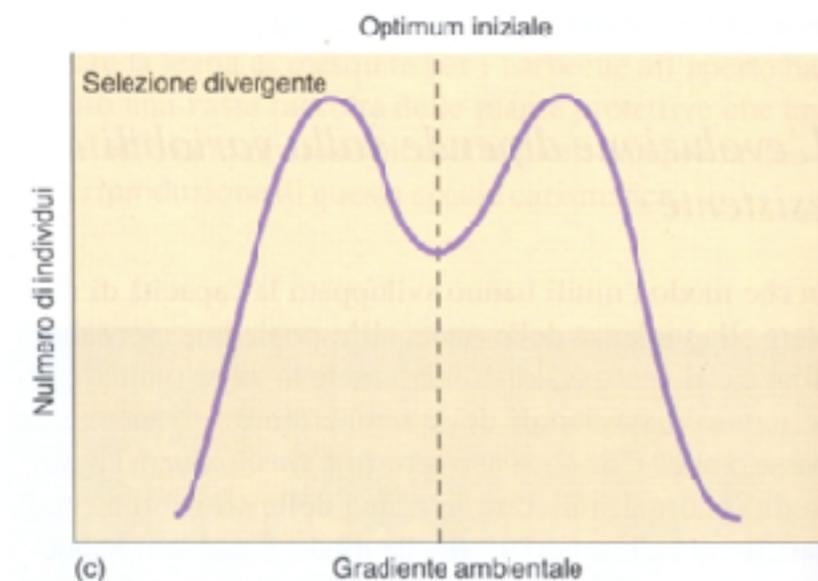
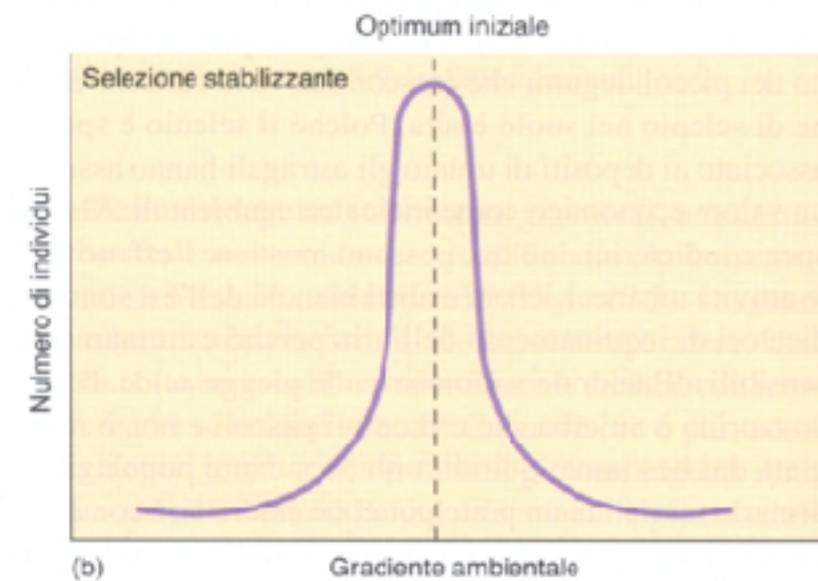
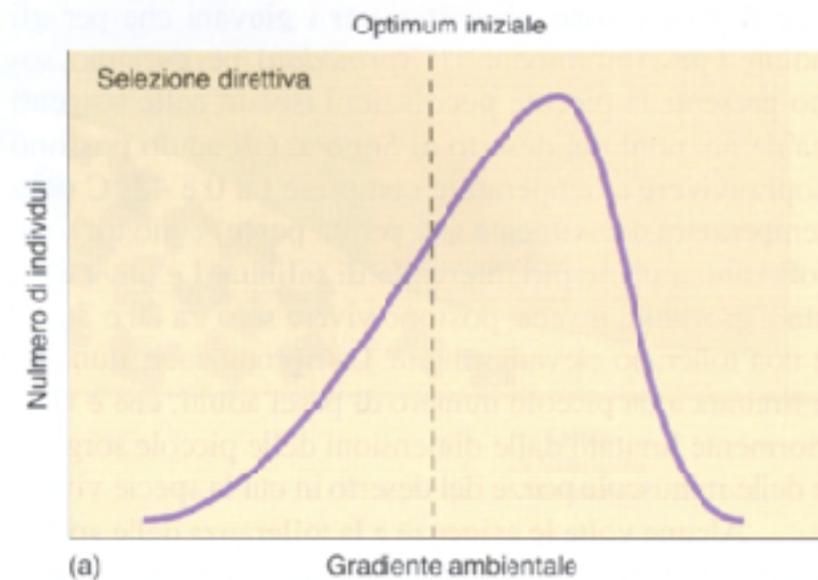
La variazione del **fotoperiodo**, ad esempio, tramite luce artificiale provoca la deposizione prematura delle uova da parte della trota.

L'**orologio biologico** è un meccanismo fisiologico di misurazione del tempo. Esso consente agli organismi di anticipare le variazioni giornaliere, stagionali, tidali e di altro genere, in modo da essere pronti a rispondere alle mutate condizioni ambientali.

Vi è una stretta connessione tra orologio biologico e fotoperiodo, in quanto il primo tende ad autoregolarsi costantemente sul secondo.

La selezione naturale non ha il solo effetto di estirpare dalla popolazione gli individui inidonei. La pressione selettiva ha tre effetti:

- 1. direzionale**, che modifica i caratteri medi della popolazione producendo un nuovo optimum per uno o più fattori ambientali. Queste modifiche possono portare alla evoluzione di una specie in una nuova specie (**Anagenesi**).
- 2. stabilizzante**, che elimina gli estremi di una popolazione rendendo i suoi membri più simili tra di loro.
- 3. differenziante**, separando una popolazione in due gruppi con differente optimum lungo uno o più gradienti ambientali. In questo caso da una specie se ne possono formare due diverse (**Cladogenesi**). La divergenza da un comune antenato a dare specie diverse è detta **evoluzione radiativa**.



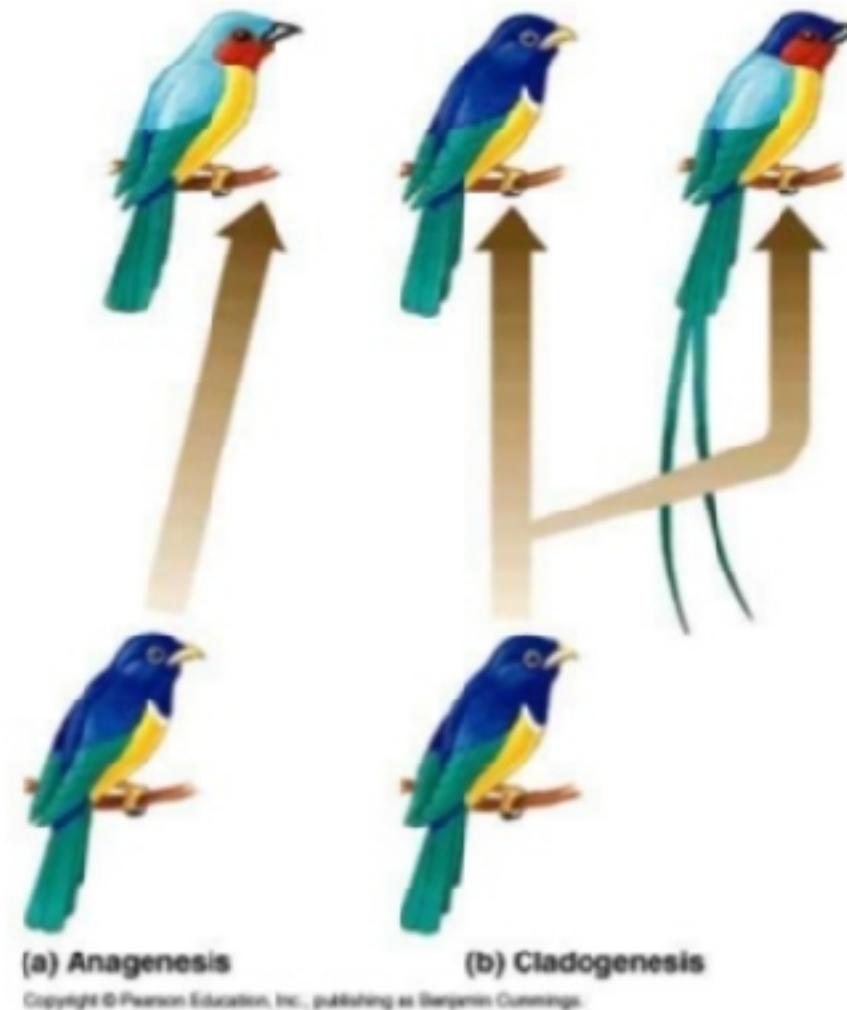
# Two Patterns of Speciation

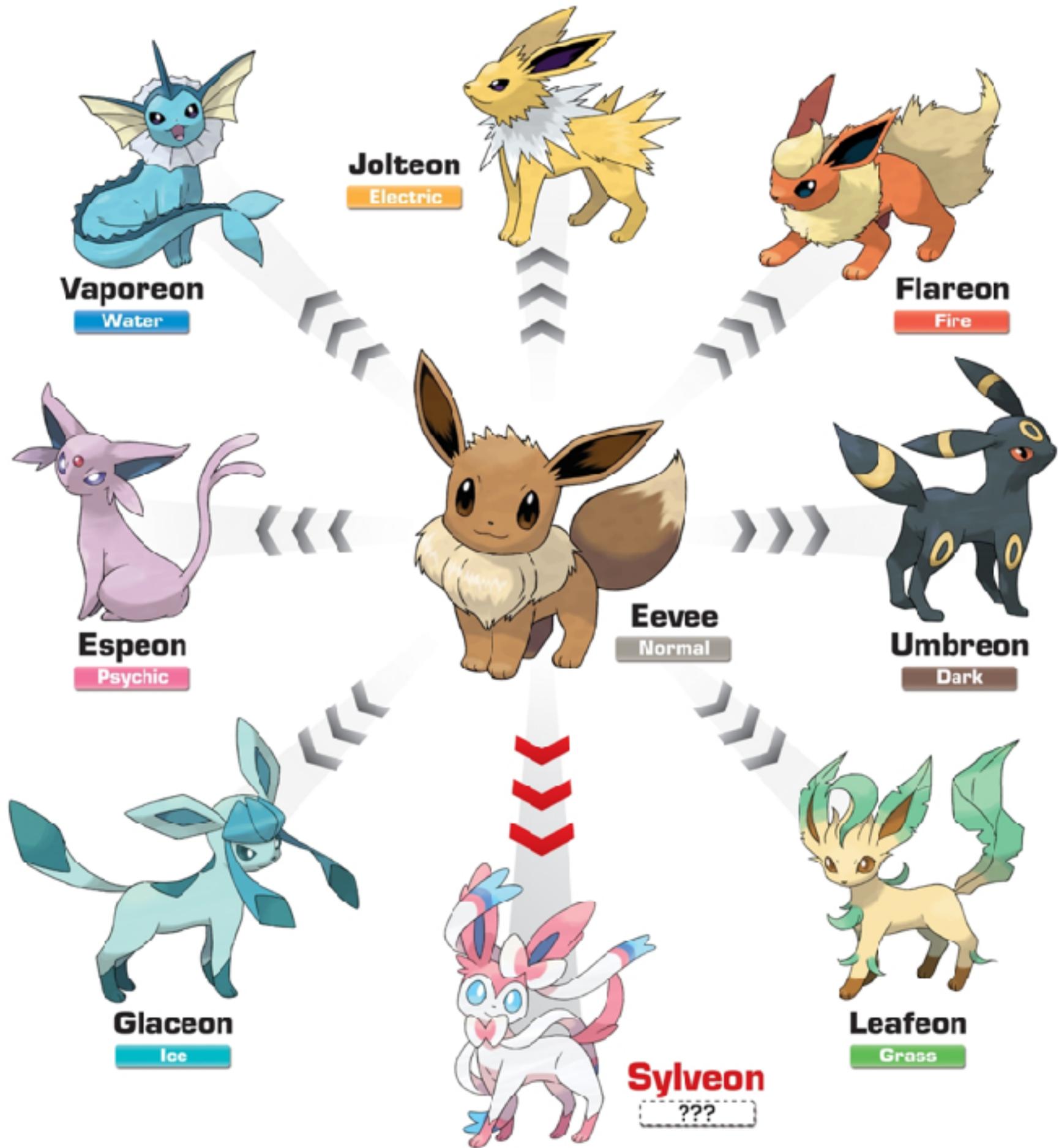
## 1. Gradualism (Anagenesis)

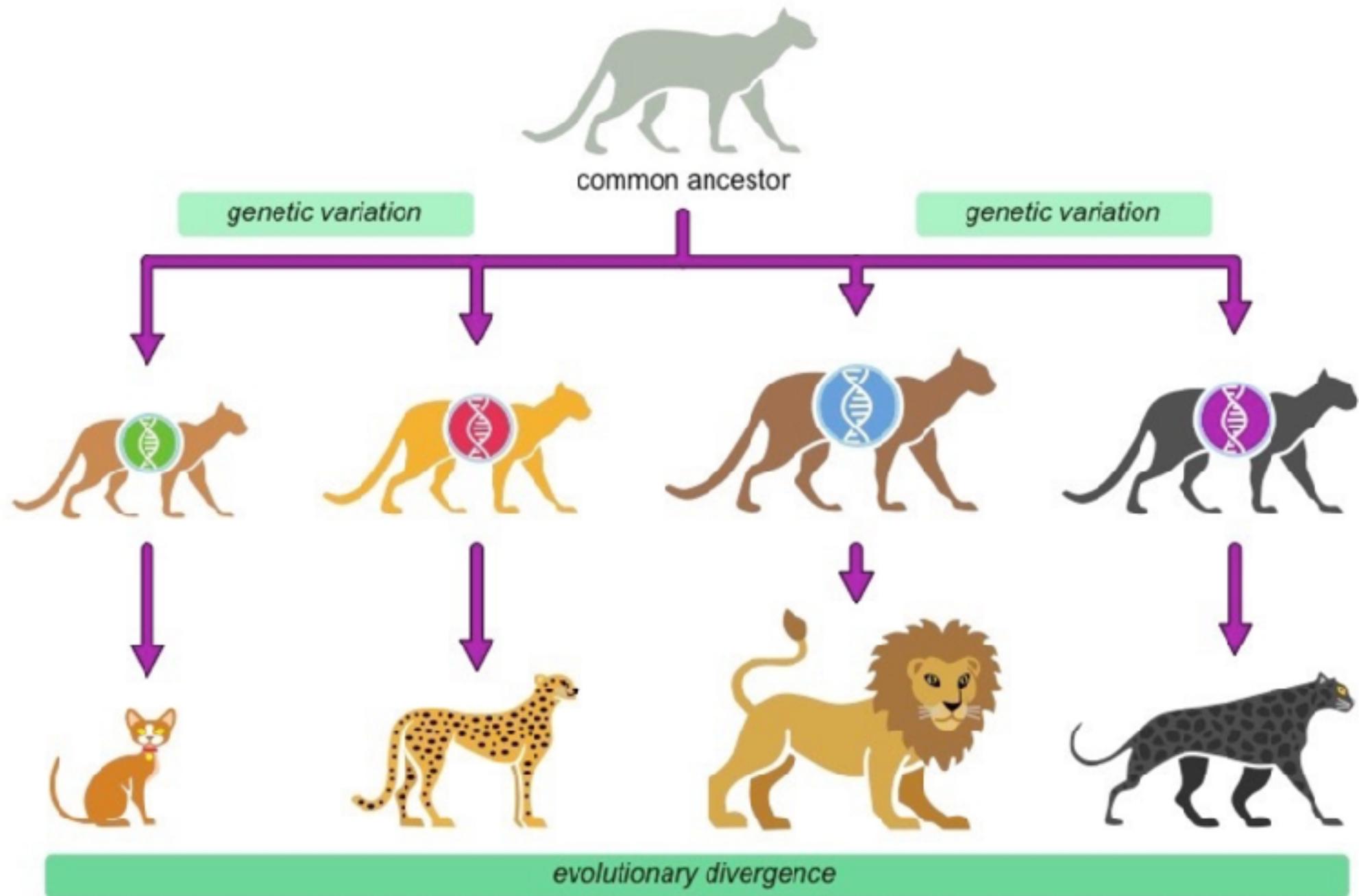
A slow, gradual accumulation of heritable changes (adaptations) in a population, due to many small episodes of natural selection. So, one species changes slowly, step-by-step, until it looks so different that we call it a new species.

## 2. Branching (Cladogenesis)

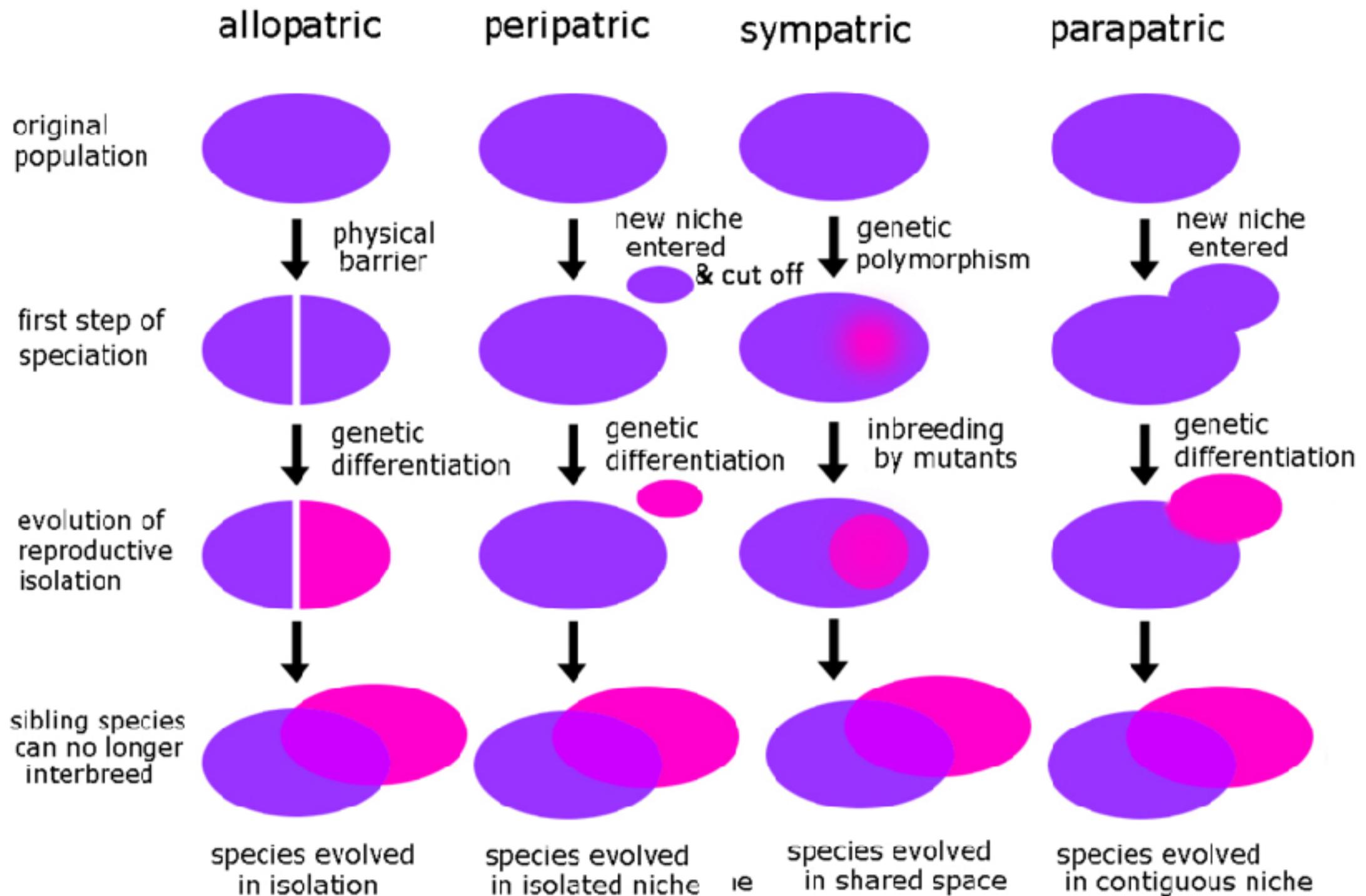
A more rapid splitting of one or more new species from an original species that may or may not continue to exist. So one species branches into two or more new ones. This process is the basis for all biological diversity.







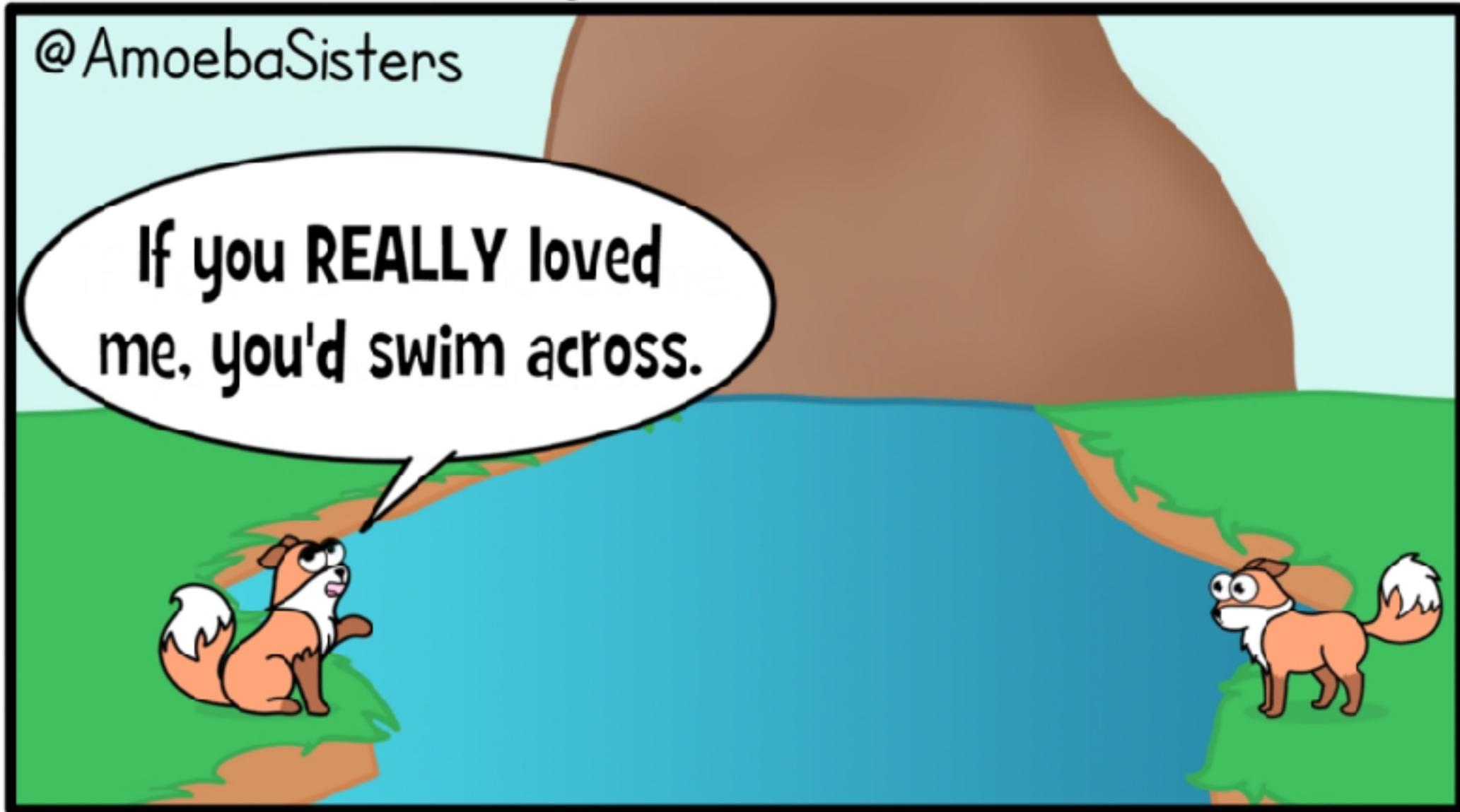
La speciazione avviene per **isolamento riproduttivo**, ovvero l'impossibilità tra due popolazioni di avere un flusso di geni tra di loro. Esistono diversi tipi di isolamento riproduttivo.

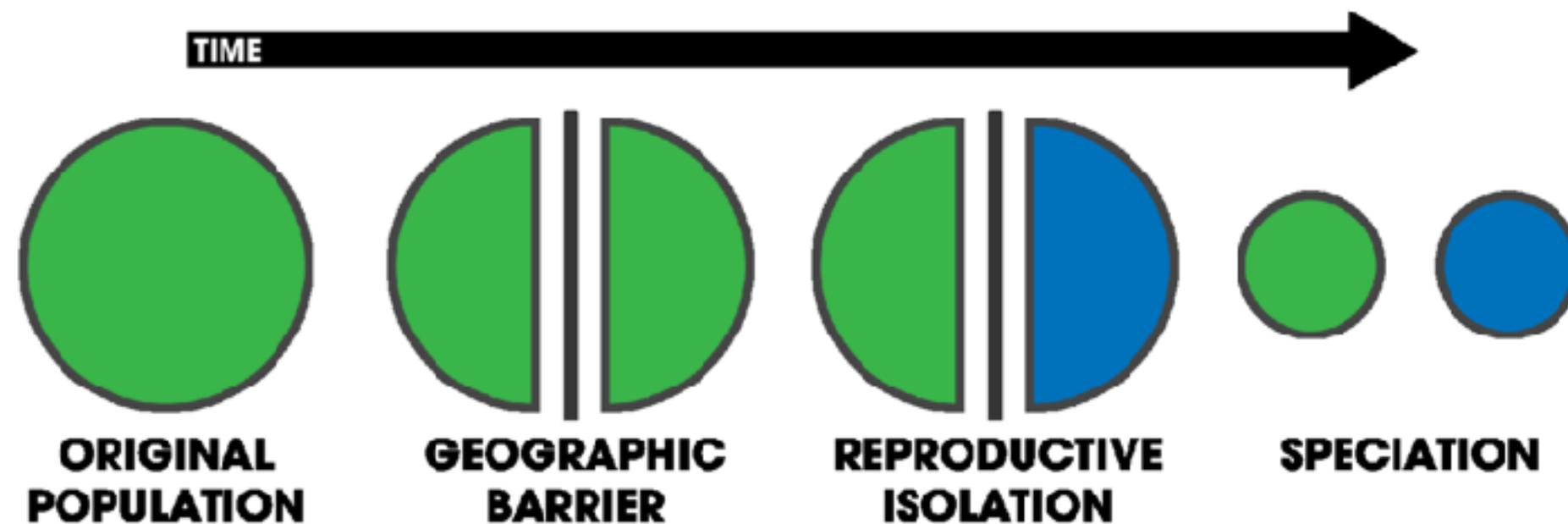


# Geographic Isolation

@AmoebaSisters

If you **REALLY** loved me, you'd swim across.

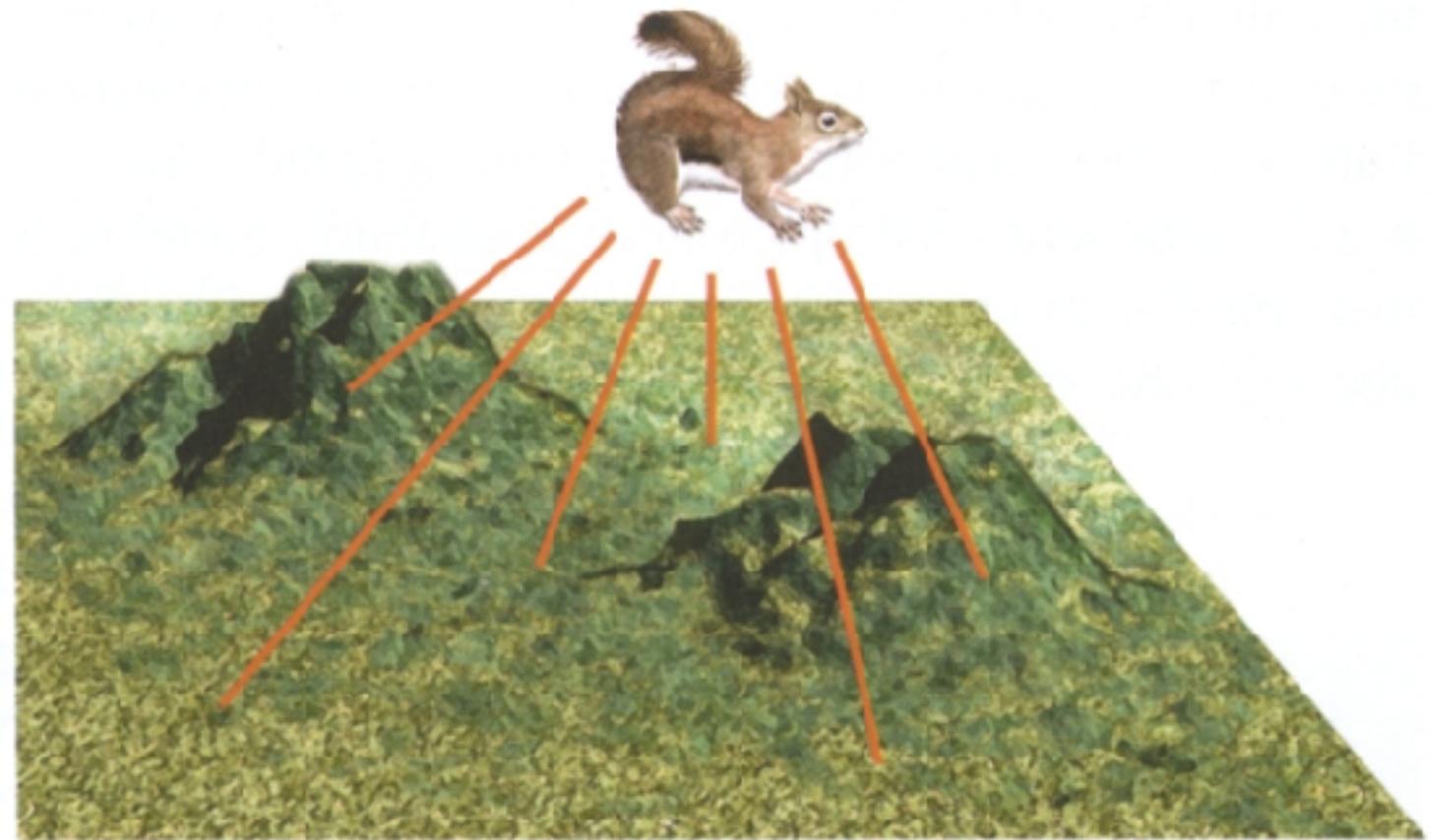




La speciazione **allopatrica** prevede un **isolamento geografico**, che può essere dovuto a diversi fattori. Il risultato è che una popolazione si divide in due sottopopolazioni, che, se ne hanno il tempo, evolvono separatamente (essendo precluso lo scambio di materiale genetico), dando origine a due specie diverse. Se le due specie vengono successivamente di nuovo a contatto, non vi può essere più scambio di geni, in quanto sono per definizione reciprocamente non interfeconde.

La speciazione del genere *Tamiasciurus*, o scoiattolo rosso nord-americano, è un caso di speciazione per isolamento geografico, peraltro ancora in atto.

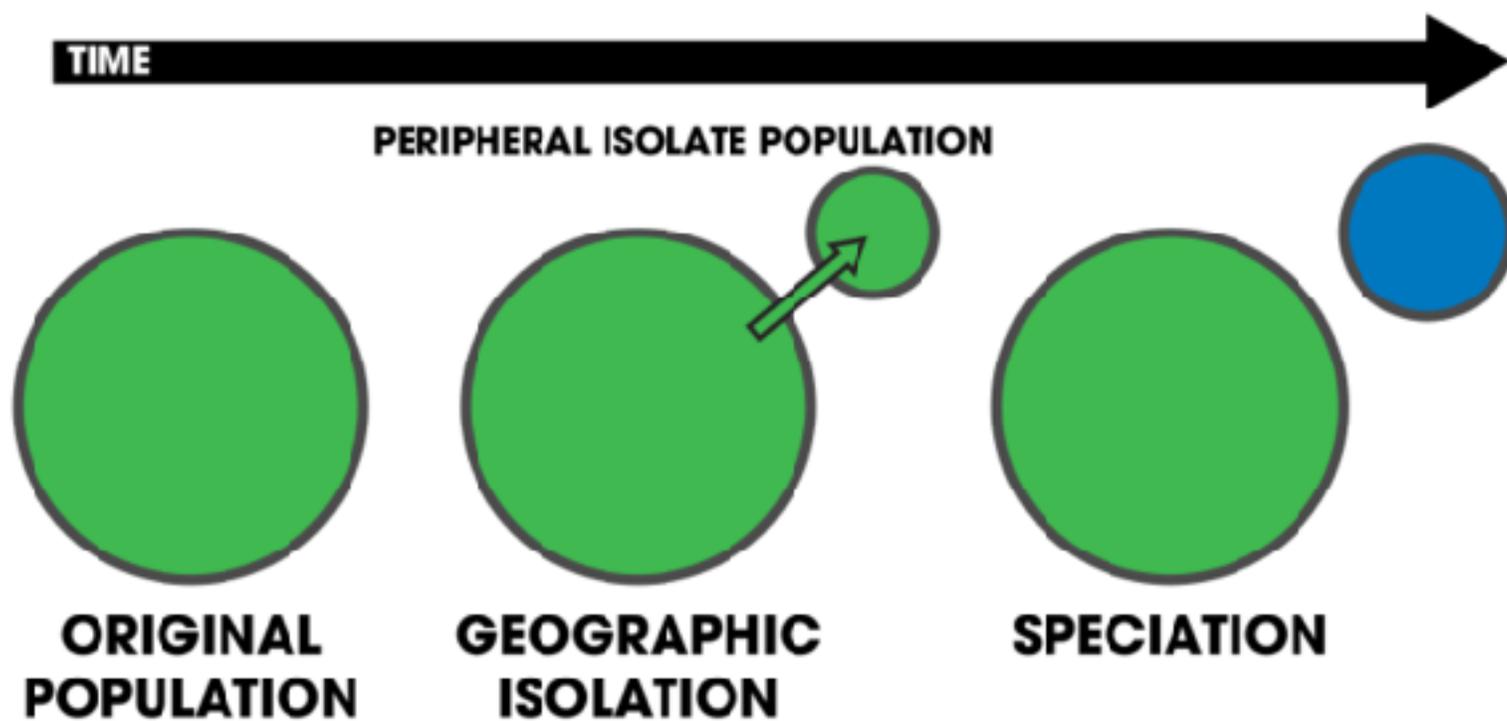
Alla fine dell'ultima glaciazione, le foreste di conifere, che ricoprivano i fondovalle di molte aree del Nord America, sono scomparse, creando quindi un gap tra le diverse montagne, ove le foreste permanevano. L'effetto di questo isolamento è di tre specie e un numero elevato di sottospecie, alcune delle quali dibattute da diversi autori come vere e proprie specie.



1. Popolazione singola

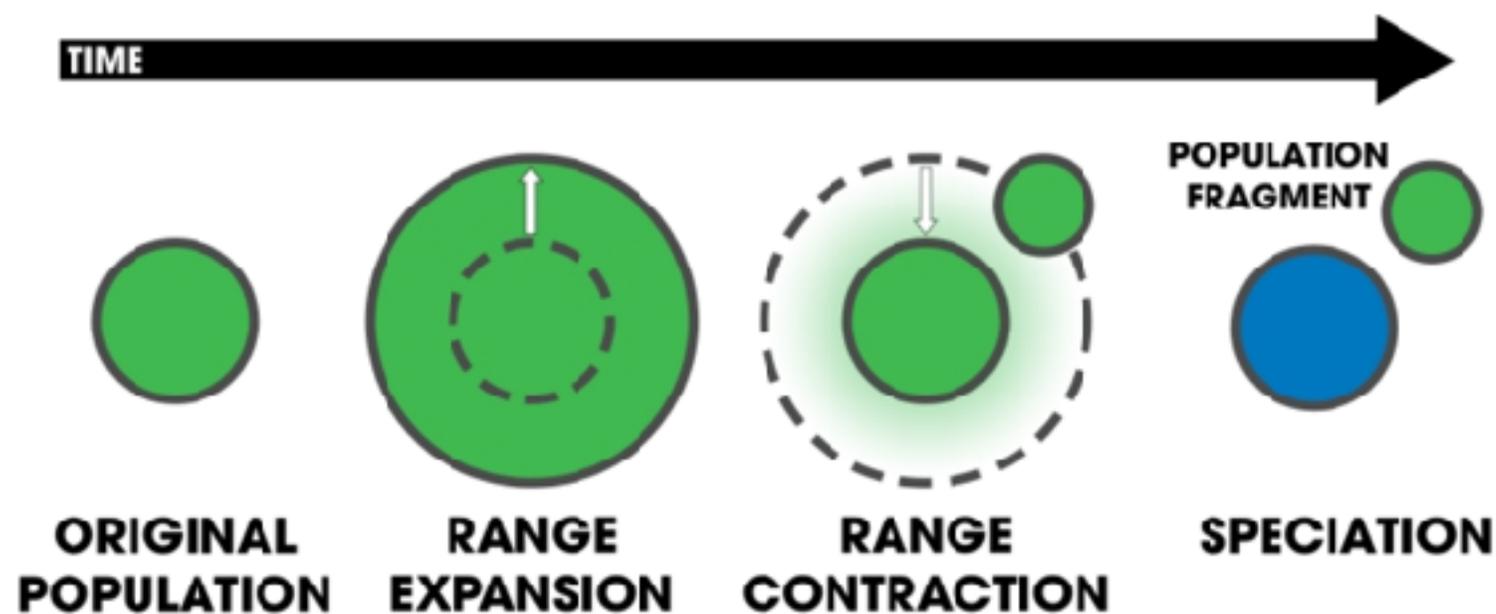


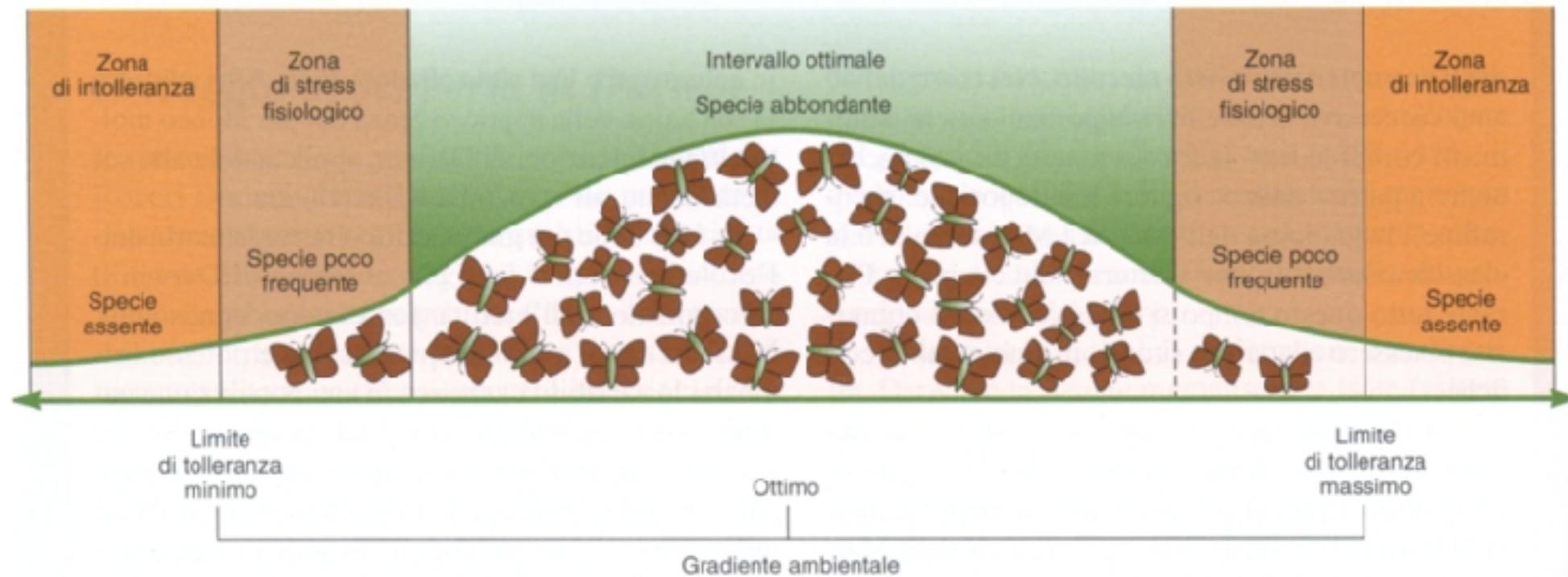
2. Popolazioni isolate geograficamente



La speciazione **peripatrica** è un caso speciale di speciazione allopatrica.

In questo caso, una sottopopolazione periferica rimane isolata dalla popolazione principale, e quindi evolve separatamente. Questa separazione può avvenire o per spostamento di alcuni individui della popolazione principale in un'area disgiunta dall'areale principale di distribuzione (come l'occupazione di un nuovo territorio disponibile), o per espansione e contrazione del range di distribuzione della popolazione principale.





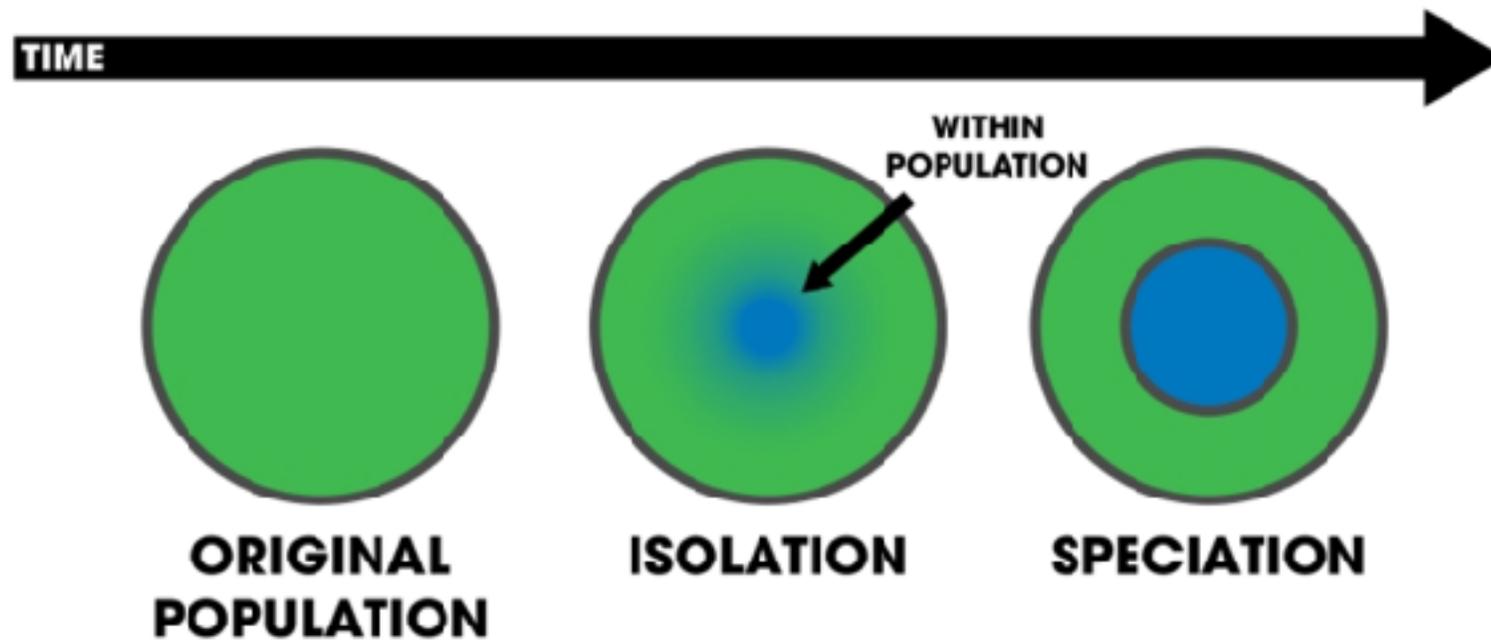
Gli organismi hanno un massimo ed un minimo ecologico per ogni fattore. Questi due estremi costituiscono i **limiti di tolleranza** dell'organismo per il fattore in oggetto. Gli organismi possono avere un ampio intervallo di tolleranza per un fattore ed un intervallo più limitato per un altro fattore. Gli organismi con intervalli di tolleranza ampi per tutti i fattori sono i più diffusi. Una specie in condizioni non ottimali per un fattore ecologico può vedersi ridurre i limiti di tolleranza anche per altri fattori. Spesso in natura gli organismi vivono al di fuori dell'intervallo ottimale di uno o più fattori, se uno o più altri fattori hanno importanza maggiore. Il momento della riproduzione è critico; in questa fase della vita degli organismi i fattori ambientali divengono particolarmente limitanti. Ad esempio, alcuni paschi del genere *Cyprinodon* presenti nelle sorgenti calde del deserto del Sonora, hanno una tolleranza per la temperatura che va da 0 a 42 gradi. Questa ampia tolleranza si riduce nelle uova e negli individui giovani a un range 20-36.

**Legge di Liebig o del minimo:** in condizioni di equilibrio stazionario le sostanze essenziali disponibili in quantità vicinissime al minimo tendono a divenire limitanti.

questa legge è applicabile solo ed esclusivamente in condizioni di equilibrio stazionario, cioè quando il flusso in entrata di energia e materiali bilancia quello in uscita



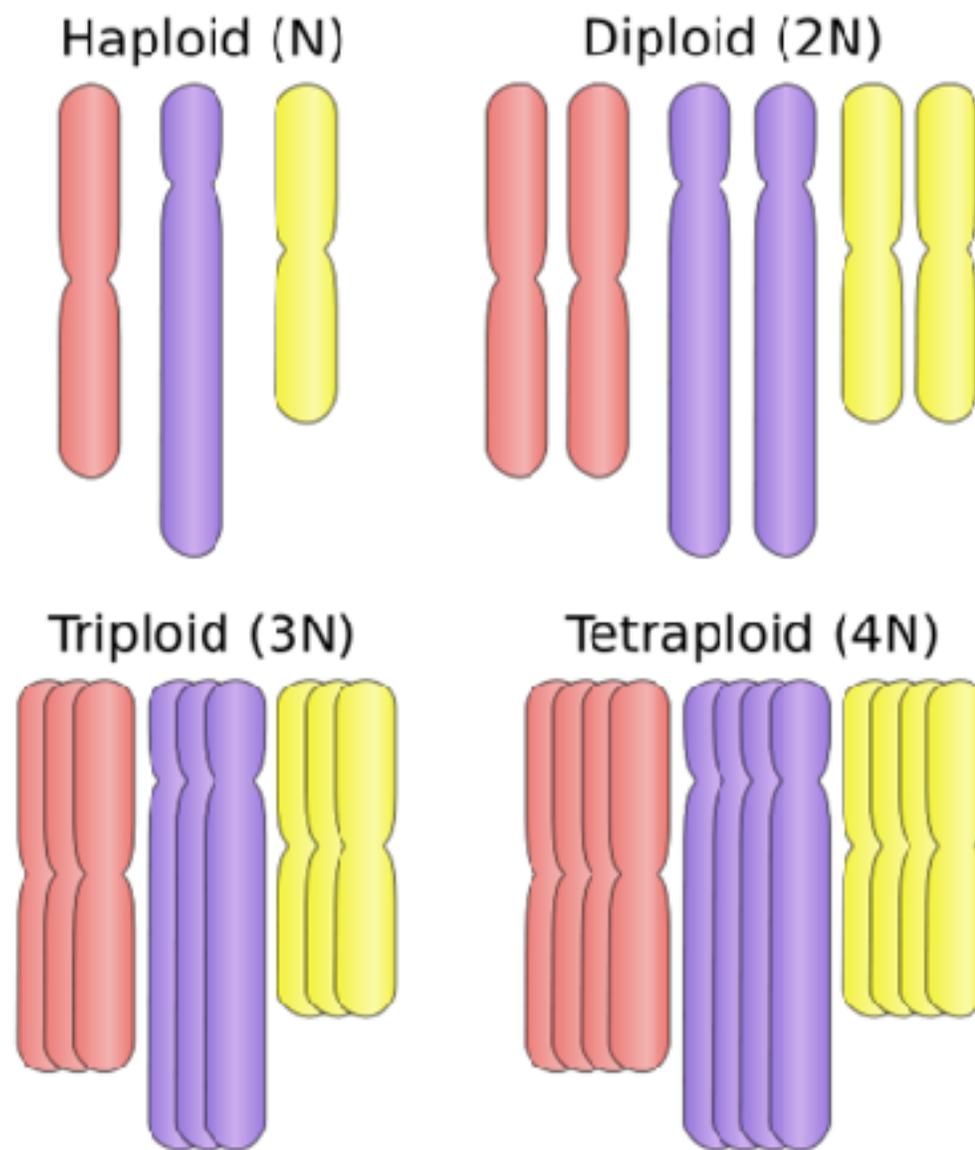
Un interessante esempio è dato dalla speciazione del cane delle praterie *Cynomys mexicanus* (a sinistra), che deriva per speciazione peripatrica dalla specie *Cynomys ludovicianus* (a destra). Questa, diffusa nel Nord America, ha avuto una notevole espansione del suo range verso sud nel corso dei passati eventi glaciali, per poi subire una successiva contrazione verso nord. Questo ha permesso la formazione di una nuova specie a partire da popolazioni rimaste isolate nella parte meridionale dell'areale.



La speciazione **simpatica** prevede un isolamento non geografico di due o più sottopopolazioni. Questo tipo di isolamento può avvenire per la creazione di un qualche tipo di barriera riproduttiva, per:

- isolamento comportamentale;
- isolamento meccanico;
- isolamento temporale (anisocronia);
- isolamento ecologico;
- poliploidia (nelle piante)

Alcune di queste forme di isolamento possono concorrere, o agire separatamente.



Nel caso delle piante, il più comune meccanismo di speciazione simpatica è la poliploidia, in cui gli individui poliploidi sono presenti nello stesso range distribuzionale della popolazione originale, ma non sono in grado di scambiare con questa materiale genetico.



I ciclidi dei grandi laghi africani, che includono il lago Vittoria e il lago Tanganica, tra i più grandi al mondo, sono un altro esempio di speciazione simpatica.

Questi grandi laghi si sono formati in un periodo relativamente recente, circa 15000 anni fa. Da allora, l'evoluzione ha portato allo sviluppo di circa 1500 specie di ciclidi, che, assieme a tutti gli altri pesci dell'area, costituiscono il 10% circa della biodiversità ittica mondiale.

Si ritiene che da una specie originale, che colonizzò i laghi all'epoca della loro formazione, la disponibilità di nicchie diverse abbia portato, per isolamento ecologico, alla varietà enorme di forme oggi esistenti.

Questa ricca diversità viene mantenuta dalla selezione sessuale operata dalle femmine, che scelgono solo i maschi che presentano attributi della loro specie, e non quelli di altre specie. Livrea e canto (i ciclidi emettono dei suoni che fanno parte del rituale per l'accoppiamento) sono i caratteri che le femmine usano per scegliere. La scelta da parte della femmina è fondamentale, visto che è suo lo sforzo principale in termini di investimento energetico verso la prole.



Un interessante esempio di speciazione simpatica in atto ci viene dalle Galapagos, e per la precisione dalla popolazione di *Geospiza fortis* (fringuello terricolo medio) presente sull'isola di Santa Cruz.

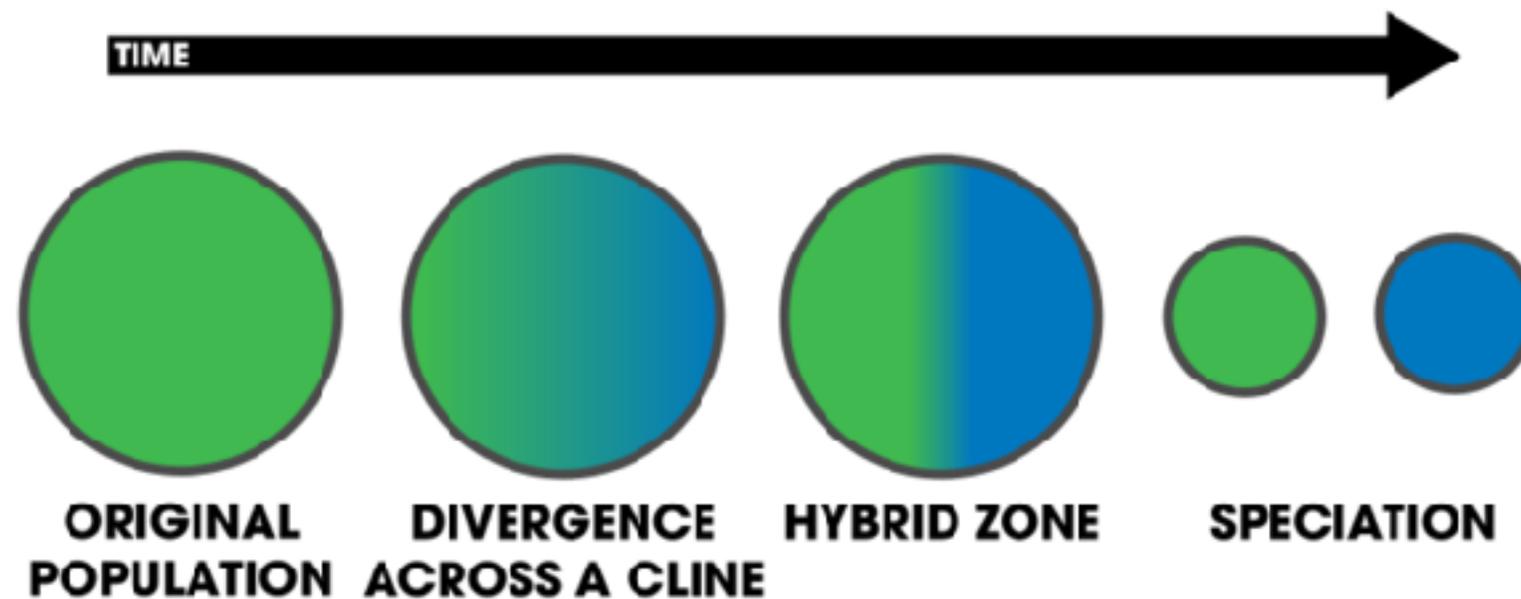
Questa specie, adattata a nutrirsi di semi piccoli e molli, a causa di una carestia negli anni settanta ha visto alcuni individui adattarsi a mangiare semi più grandi e duri, con la comparsa di un fenotipo dal becco più grande e robusto. La mutata morfologia del becco ha avuto però conseguenze anche sul tono del canto, necessario per attirare le femmine per la riproduzione. Questo sta quindi separando due popolazioni che vivono nella stessa area, e potrebbe portare a un fenomeno di speciazione.



Un caso di formazione di criptospecie per allocronia ci viene dall'uccello delle tempeste di Castro, *Oceanodroma castro* (Harcourt , 1851). Questa specie, vive sulle isole rocciose dell'Atlantico e del Pacifico.

In diversi arcipelaghi, tra cui le azzorre, diversi individui di questa specie si alternano nell'uso dei nidi in stagioni diverse. Si è anche notato che queste due sottopopolazioni

Possono anche avere canti leggermente diversi, e diversi periodi di muta. Recenti analisi genetiche hanno dimostrato che almeno in alcuni casi, le due sottopopolazioni non scambiano geni tra di loro da diverso tempo, supportando quindi l'idea di un fenomeno di speciazione per allocronia in atto.



La speciazione **parapatrica** è un fenomeno controverso tra i ricercatori. In questo caso, una specie presenta un cline, ovvero una continua variazione di uno o più caratteri lungo un gradiente ecologico. Questa variabilità continua può produrre una nuova specie quando a) la riproduzione avviene in modo non casuale, e b) il flusso genico avviene in modo disuguale.

Questo fenomeno è difficile da identificare in natura. Sembra particolarmente frequente negli ambienti marini, ove vere e proprie barriere geografiche difficilmente esistono. Le salpe e i pesci della famiglia dei Mormyridae (pesci elefante) sono considerati esempi classici di speciazione parapatrica.

## •Estinzione

Per ogni specie vi è un momento di nascita (**speciazione**) ed uno di morte (**estinzione**). Si stima che circa il 98% delle specie comparse sul pianeta nel corso delle ere sia estinta.

L'esplosione di biodiversità del Cambriano non è continuata ininterrottamente. La biodiversità del pianeta ha avuto degli alti e bassi, a causa di diverse estinzioni di massa.

Ci sono giunte prove di 5 **estinzioni di massa**.

periodo	causa	effetti
435 <u>mln</u> di anni fa (fine del Ordoviciano)	Glaciazione prolungata	Abbassamento livello dei mari con riduzione degli ecosistemi marini, e conseguente estinzione principalmente di organismi che vivevano in questi ecosistemi; poco interessati i vegetali terrestri che si stavano evolvendo in quel periodo. Perdita stimata della biodiversità: 85%
360 <u>mln</u> di anni fa (fine del periodo Devoniano)	Glaciazione o impatto di un asteroide	Vennero interessate decine di migliaia di specie marine, più diverse specie di pteridofite e <u>spermatofite</u> terrestri, che si erano appena evolute.

<p>240 <u>mln</u> di anni fa (fine del Permiano)</p>	<p>Impatto di una grossa meteorite o eruzioni vulcaniche</p>	<p>Segna la fine dell'era Paleozoica. Scompaiono principalmente gli animali marini (trilobiti, <u>placodermi</u>) e tutte le specie arboree allora evolutesi. Si suppone che l'impatto di un grosso meteorite abbia prima oscurato il sole sollevando immense quantità di polveri, uccidendo così gran parte degli autotrofi <u>fotosintetizzanti</u>. In seguito la decomposizione di tanta massa organica avrebbe provocato un effetto serra per diverse migliaia, se non milioni, di anni. Esiste come prova un cratere di 120 Km di diametro in Australia. Perdita stimata della biodiversità: 85%-95%</p>
<p>200 <u>mln</u> di anni fa (fine del Triassico)</p>	<p>Sconosciuta</p>	<p>Le principali vittime furono gli anfibi ed i primi rettili. Questa estinzione aprì la strada alla evoluzione dei dinosauri. La perdita stimata di biodiversità fu del 75% delle specie</p>
<p>65 <u>mln</u> di anni fa (fine dell'era Mesozoica)</p>	<p>Impatto di uno o più asteroidi</p>	<p>Scomparsa dei dinosauri e di molte altre specie vegetali ed animali. Esiste un cratere di 195 Km di diametro nello <u>yucatan</u>. Inoltre sono stati trovate tracce insolitamente abbondanti di iridio nelle rocce di quel periodo nei pressi di Gubbio. Perdita stimata di biodiversità: 75%</p>

Si definisce il **Tasso di Estinzione Normale** come il numero di estinzioni per milione di specie per anno. Questo tasso viene di solito stimato per classi o categorie di specie. Per gli invertebrati marini va ad esempio da 0,1 ad 1

$$\text{TEN} = E / MS / Y$$

Il periodo di sopravvivenza medio di una specie varia da 1 a 10 milioni di anni.

Si prevede una **sesta estinzione di massa**, causata dalla pressione antropica sull'ambiente.

Questa eventuale estinzione sarebbe diversa dalle altre per:

Velocità di estinzione: attualmente 0,5% delle specie totali / anno

Numero di specie minacciate: circa 2/3 del totale, che oggi è molto superiore rispetto al passato

Tipologia di specie minacciate: tutte, in particolare a causa della distruzione degli hot-spots della biodiversità planetaria

Cause di una ipotetica sesta estinzione di massa:

- Accelerazione della crescita demografica
- Aumentato sfruttamento agricolo del suolo
- Sostituzione di specie autoctone con specie alloctone
- Frammentazione e distruzione degli areali