

# Ecologia

Anno Accademico 2023-24

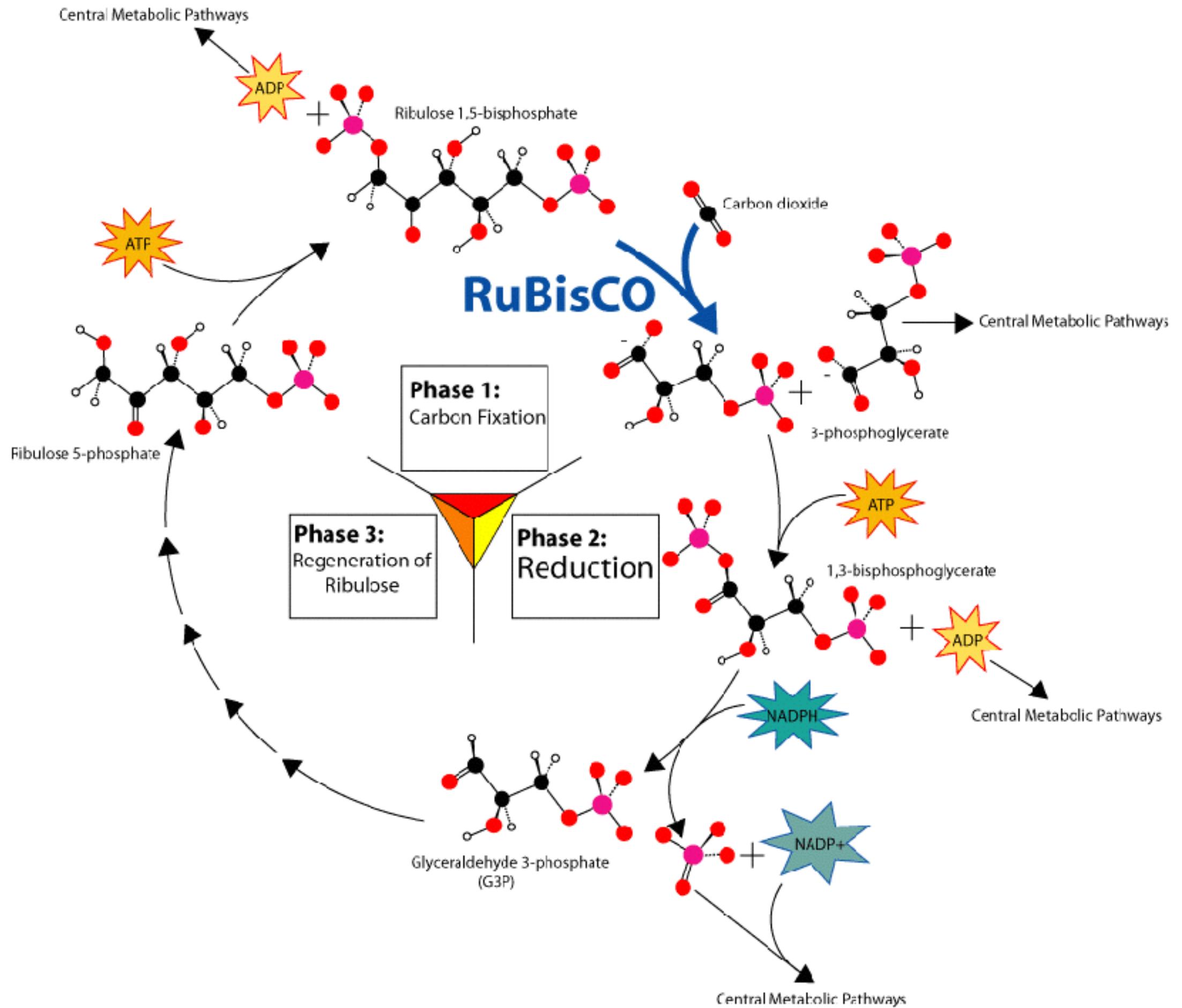
Docente:

Prof. Stefano Martellos

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

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





# Fotorespirazione



La RuBisCO, enzima fondamentale per la fissazione dell'anidride carbonica, ha però anche la capacità di **ossigenare** la molecola di RuDp. Come risultato, questa si scinde in una molecola di PGA ed una di **fosfoglicolato**. Il fosfoglicolato non entra nel ciclo di Calvin, che in questo modo non riesce a ricostruire tutte le molecole di RuDP di partenza, e che devono essere ricostruite tramite un processo diverso, con conseguente spreco di energia. Questo fenomeno è detto fotorespirazione. La fotorespirazione avviene sempre, ma ha maggiore probabilità di verificarsi in ambienti caldi. A temperature elevate gli stomi si chiudono per impedire un'eccessiva perdita di acqua, e di conseguenza causando un aumento della concentrazione dell'ossigeno liberato dalla fotosintesi stessa, che compete con la  $\text{CO}_2$  per il sito di legame della RuBisCO.

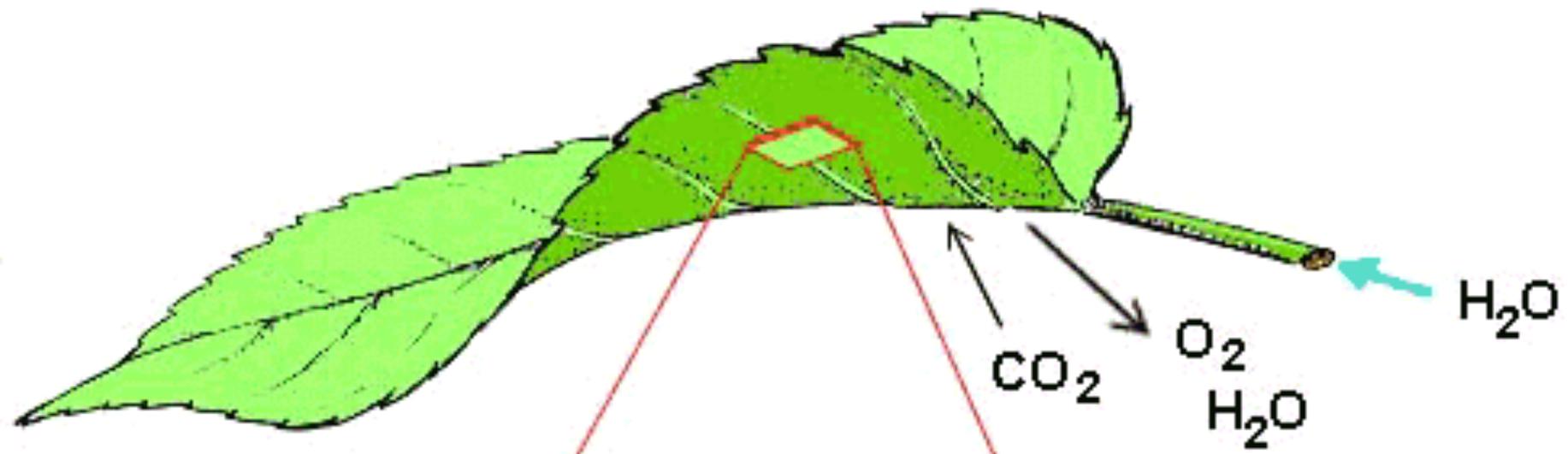
Tuttavia, non è solo “colpa” della temperatura.

O meglio, la temperatura non agisce esclusivamente da sola, e solo direttamente sulla solubilità dei gas.

Conta anche l'acqua.

Sul pianeta il clima varia molto, specialmente in senso latitudinale dall'equatore ai poli. Abbiamo climi che variano da caldi e aridi, in particolare nei deserti, ai climi tropicali, caldi ma con abbondanza d'acqua, ai climi temperati, come il nostro, ove raramente hanno eventi di eccessiva aridità, a climi continentali freddi come quelli del nord Europa.

La disponibilità idrica, combinata con la temperatura, è un'altro fattore importante per l'equilibrio tra fotorespirazione e ciclo di Calvin.



**NERVATURA  
CON TESSUTI  
LEGNOSO  
E CRIBROSO**

**MESOFILLO  
A PALIZZATA**

**MESOFILLO  
SPUGNOSO**

**CUTICOLA**

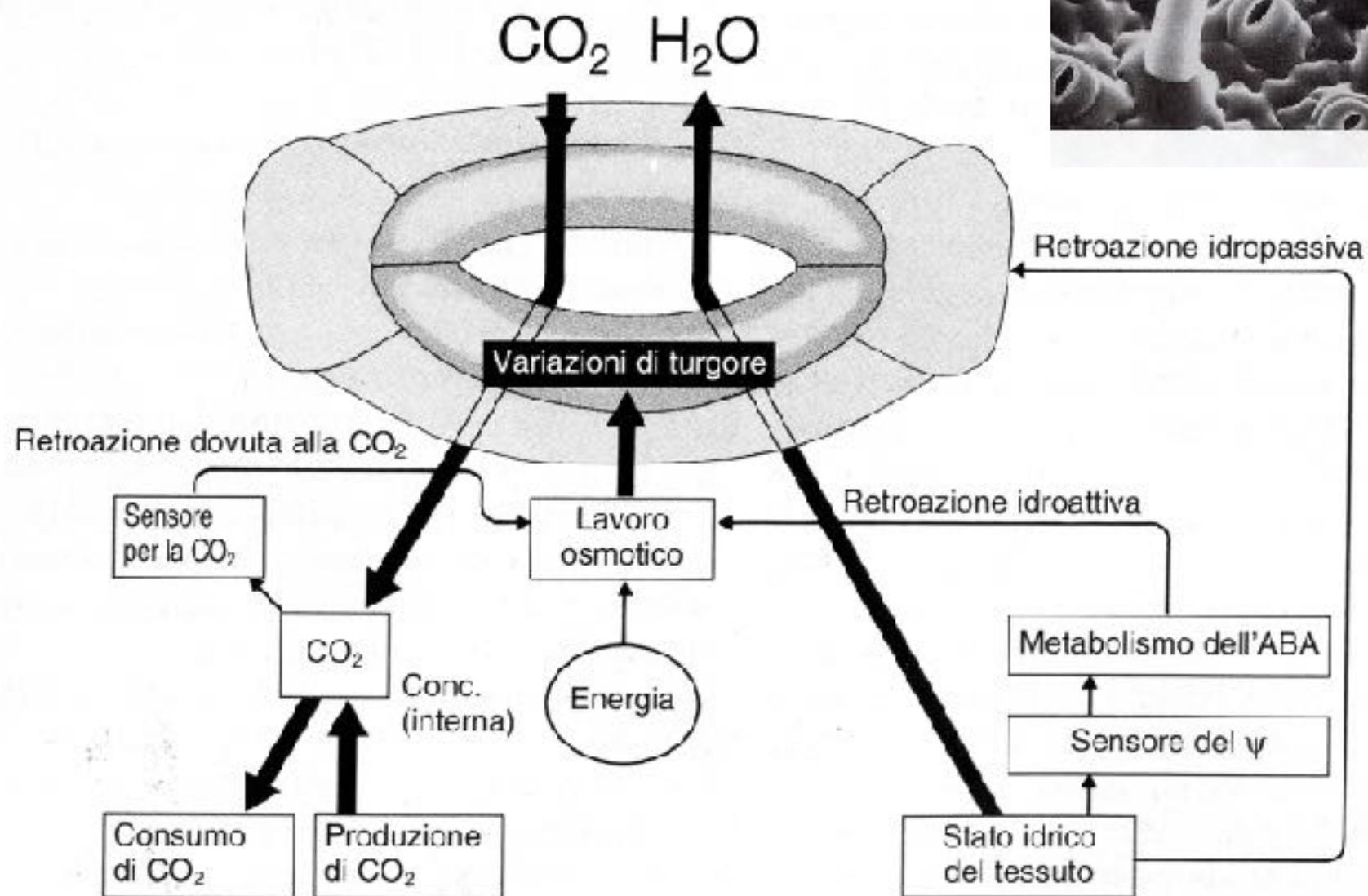
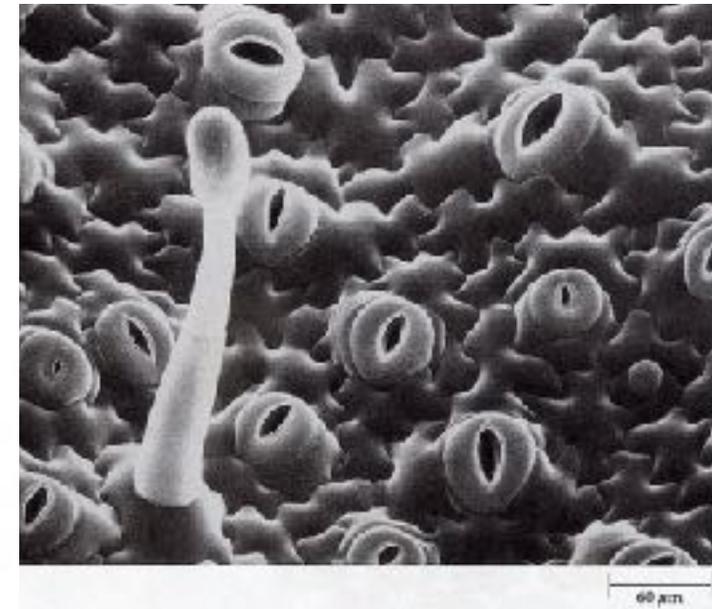
**STOMI**

**CUTICOLA**

**EPIDERMIDE  
SUPERIORE**

**EPIDERMIDE  
INFERIORE**

# Gli stomi



Modello di sistema di retroazione che interviene nel controllo dei movimenti di apertura degli stomi. I sensori per la concentrazione di  $\text{CO}_2$  e per il potenziale idrico fogliare ( $\psi$ ) sono situati nelle cellule stomatiche. ABA: acido abscissico (da RASCHKE).

Le piante si trovano costrette a gestire anche la quantità d'acqua che hanno a disposizione.

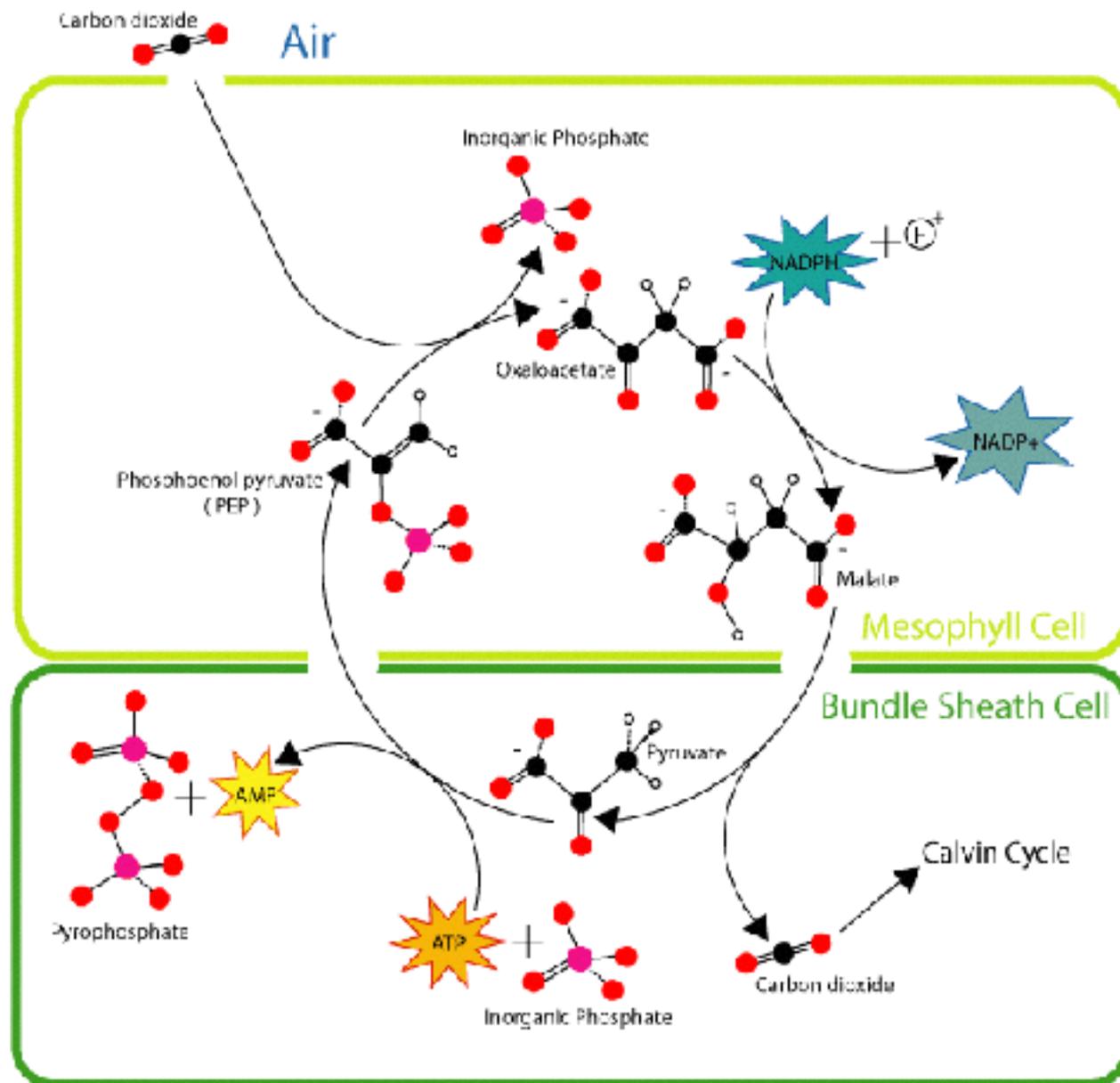
Se vi è abbondanza d'acqua, tenere gli stomi aperti anche a alte temperature non è un grosso problema, visto che le perdite possono essere compensate facilmente.

Tuttavia, in condizioni di scarsa disponibilità idrica o comunque quando l'evapotraspirazione non riesce a essere compensata, le piante si trovano costrette a chiudere gli stomi durante porzioni del giorno, o per l'intera giornata, per evitare perdite letali di acqua.

Tuttavia, la fotosintesi non si ferma, causando un aumento della concentrazione dell'ossigeno, e una diminuzione della concentrazione di anidride carbonica. A stomi chiusi non vi è ricambio dell'aria arricchita di ossigeno della foglia, con conseguente incremento della fotorespirazione, e consumo di energia per ripristinare gli intermedi di reazione del ciclo di Calvin.

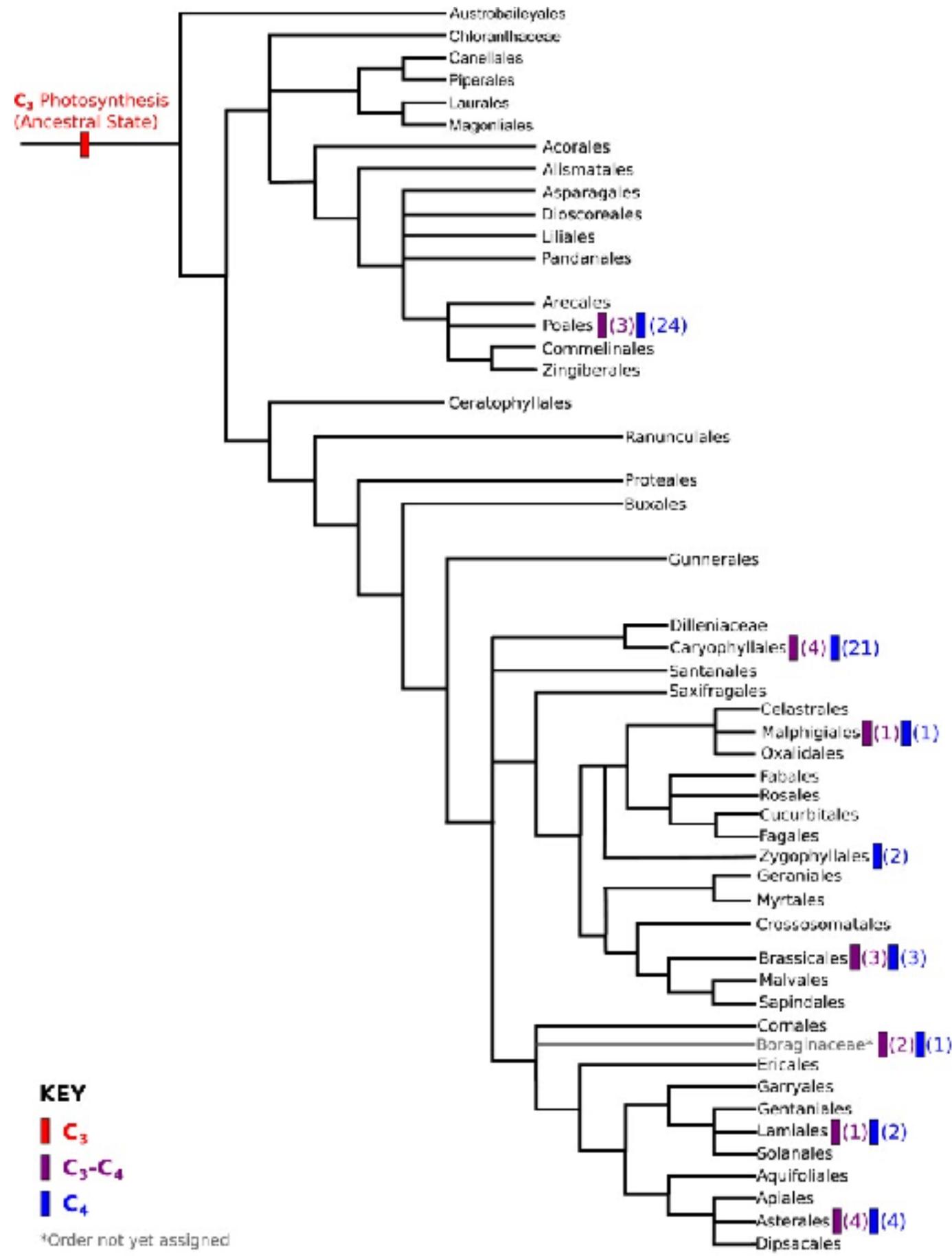
Per questo, in alcuni gruppi di piante si sono evoluti metabolismi additivi al ciclo di Calvin, detto **C3**. Questi sono i metabolismi **C4** e **CAM**.

## Piante C4



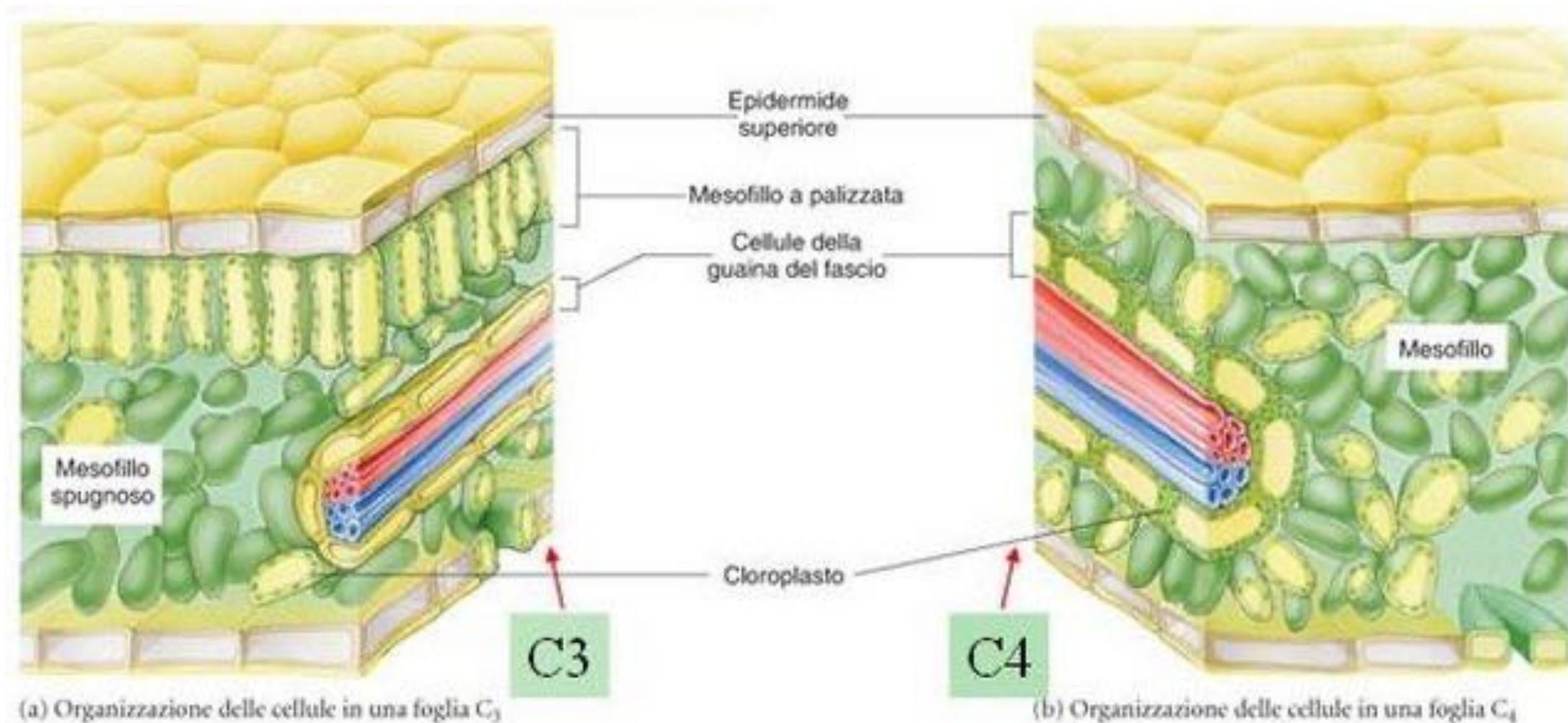
Per ovviare al problema della fotorespirazione in ambienti molto caldi, si è evoluto un gruppo di piante detto C4. Questo nome deriva dal fatto che in queste piante la CO<sub>2</sub> viene fissata prima in molecole a quattro atomi di carbonio, per poi entrare nel ciclo di Calvin.

Nel ciclo C4 la CO<sub>2</sub> si lega al fosfoenolpiruvato (PEP) formando ossalacetato, che viene poi convertito in malato. Questa parte avviene nelle **cellule del mesofillo fogliare**, nelle quali avviene anche la fotolisi dell'acqua, con produzione di ossigeno. Il malato viene poi trasportato nelle **cellule della guaina del fascio**, ove la CO<sub>2</sub> viene liberata ed entra nel ciclo di Calvin, e si riforma il PEP. I cloroplasti di queste cellule presentano il solo fotosistema primario, e non il secondario (responsabile della fotolisi dell'acqua e della liberazione di O<sub>2</sub>).

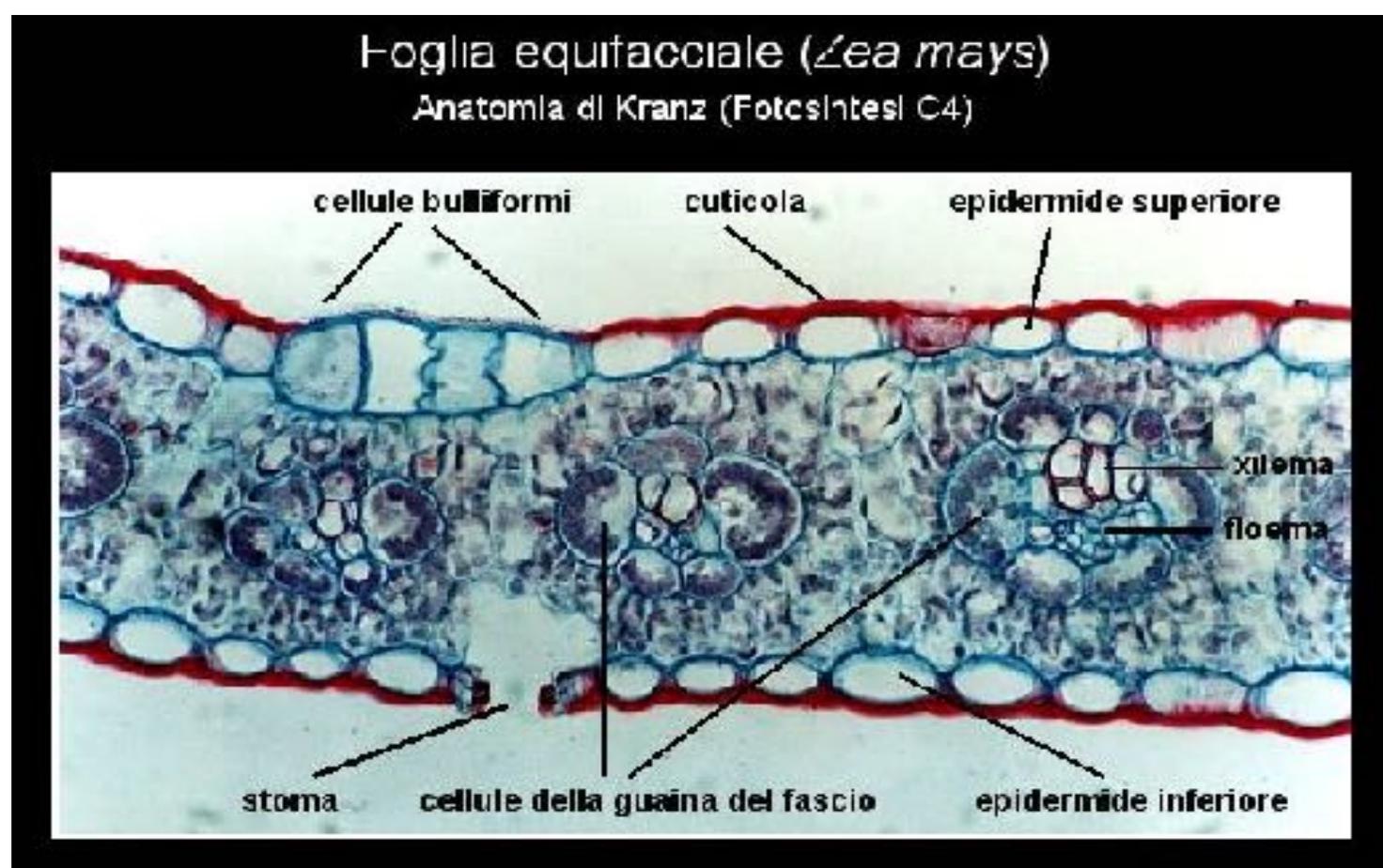
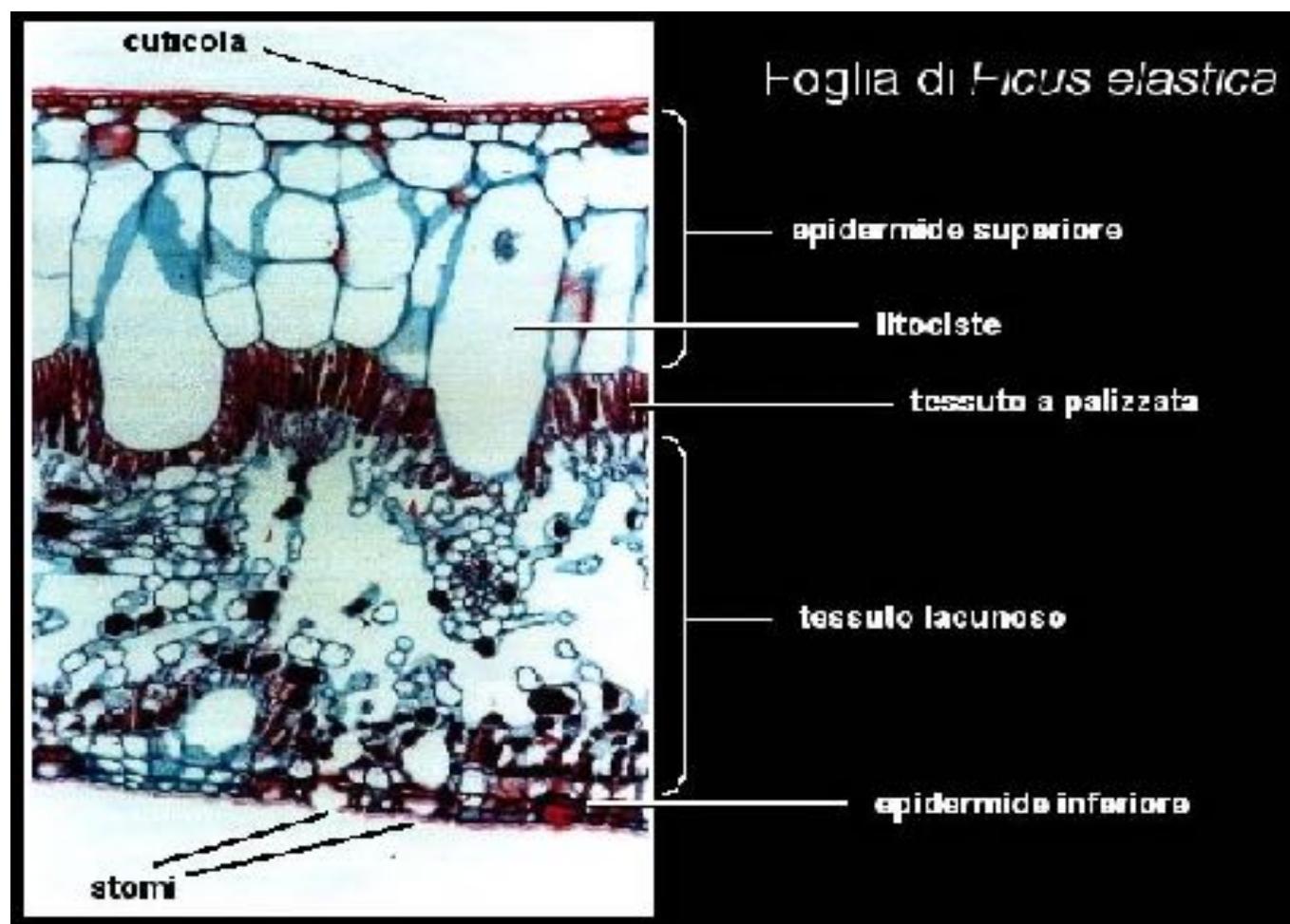


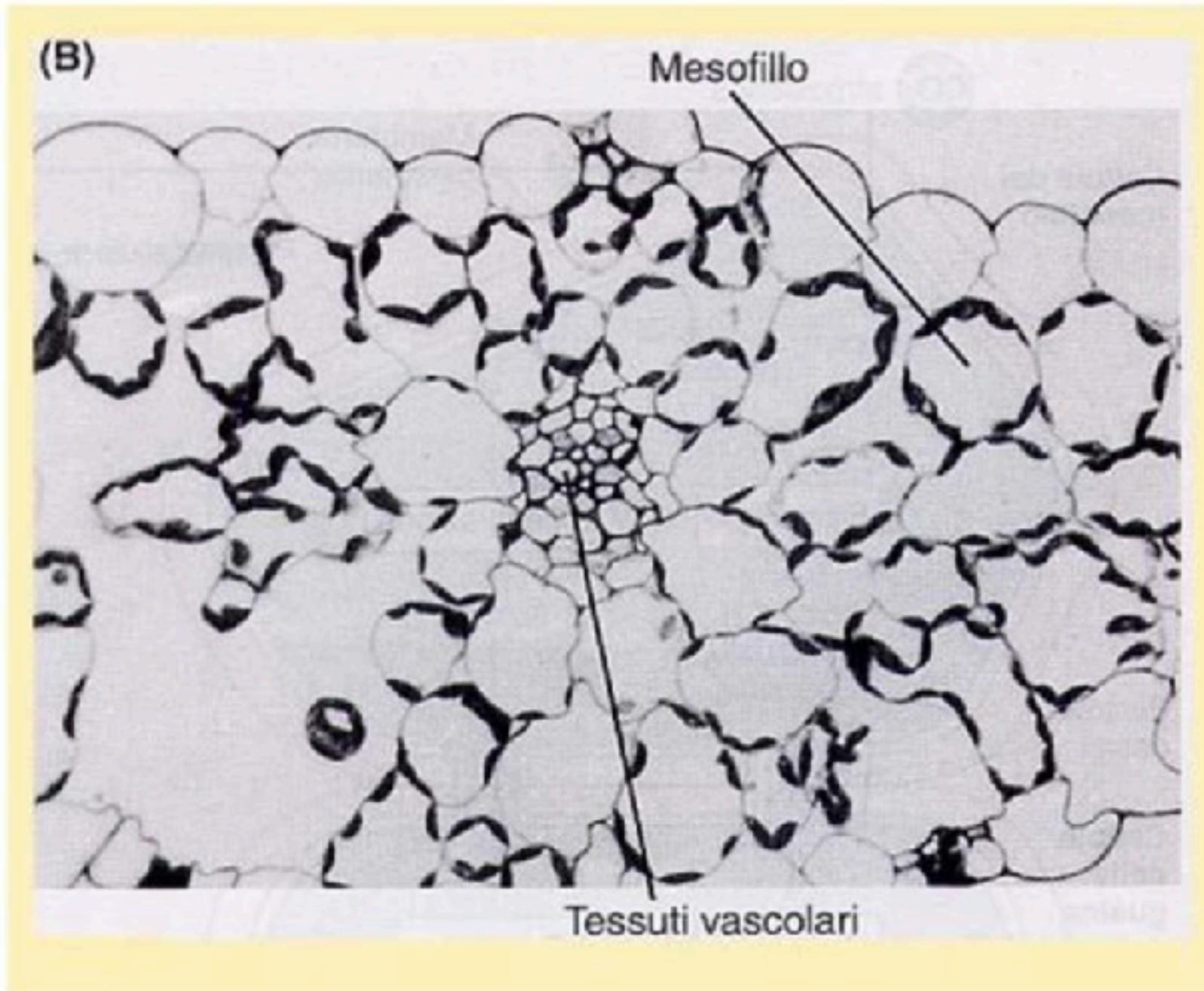
**KEY**  
 ■ C<sub>3</sub>  
 ■ C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>  
 ■ C<sub>4</sub>

\*Order not yet assigned

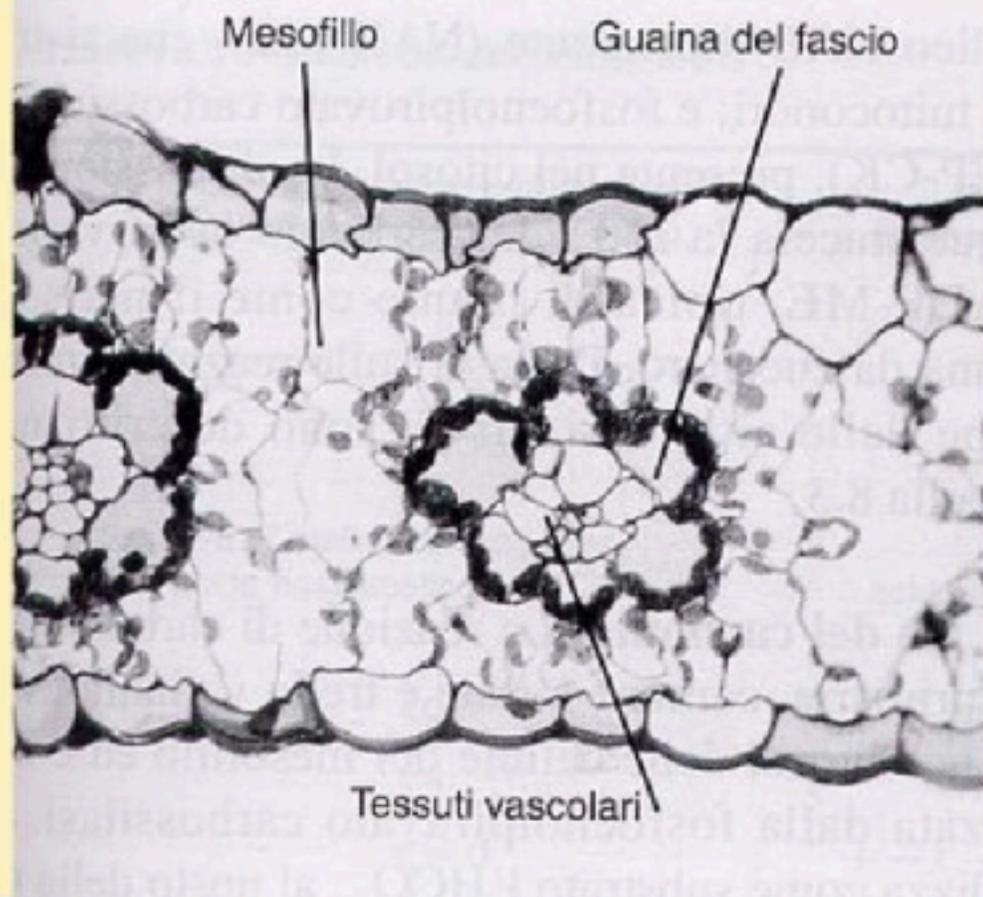


In conseguenza di questa **separazione spaziale** dell'uptake della CO<sub>2</sub> dal ciclo di Calvin, **la RuBisCO viene fatta lavorare in un ambiente ove la concentrazione della CO<sub>2</sub> è mantenuta forzatamente elevata**. Inoltre, grazie all'efficienza del sistema di cattura della CO<sub>2</sub>, il grado di apertura degli stomi necessario per il suo assorbimento è inferiore alle piante C<sub>3</sub>, con conseguente ridotta perdita d'acqua.





***Avena sativa* (C3)**



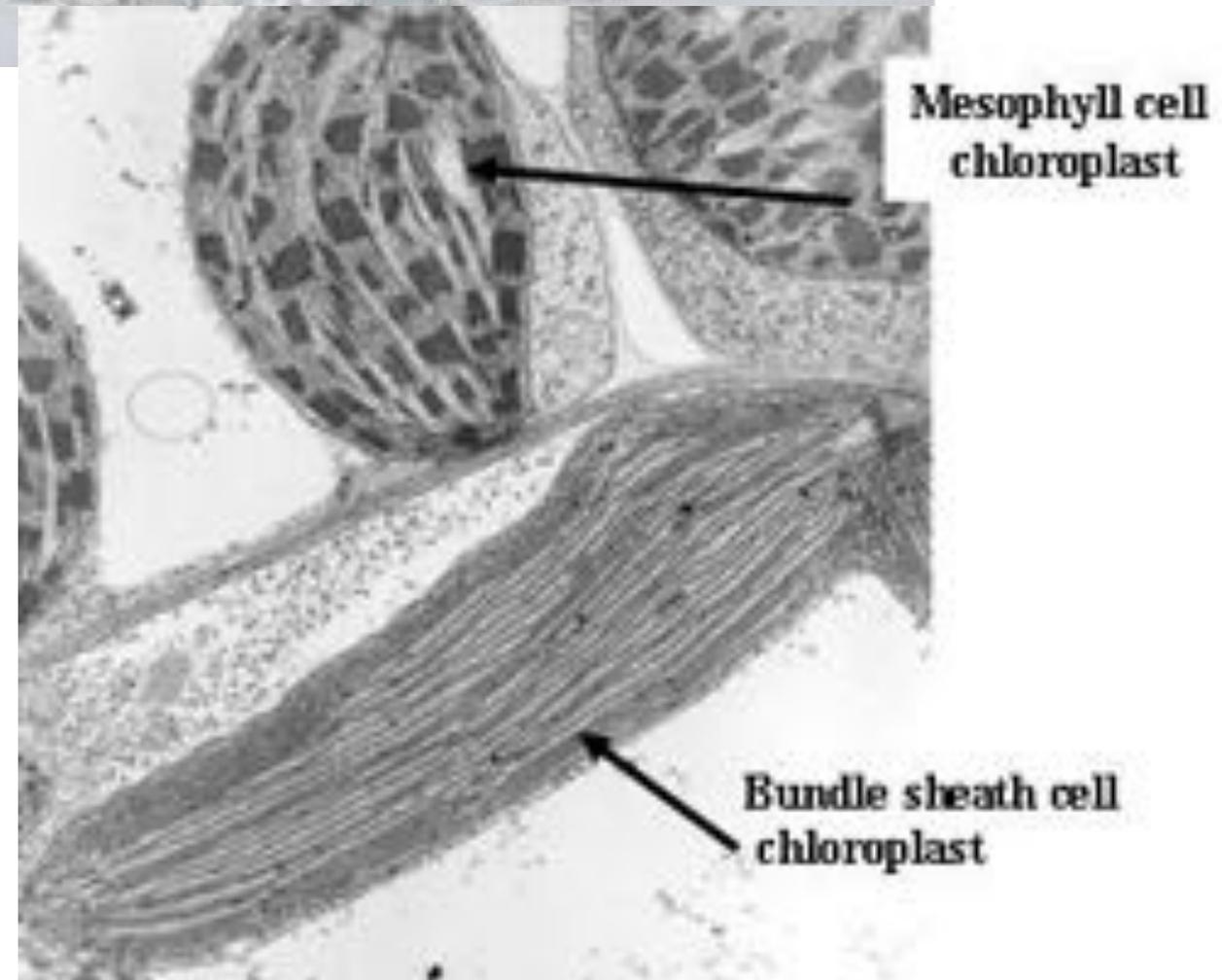
*Zea mays* (C4)  
monocotiledone

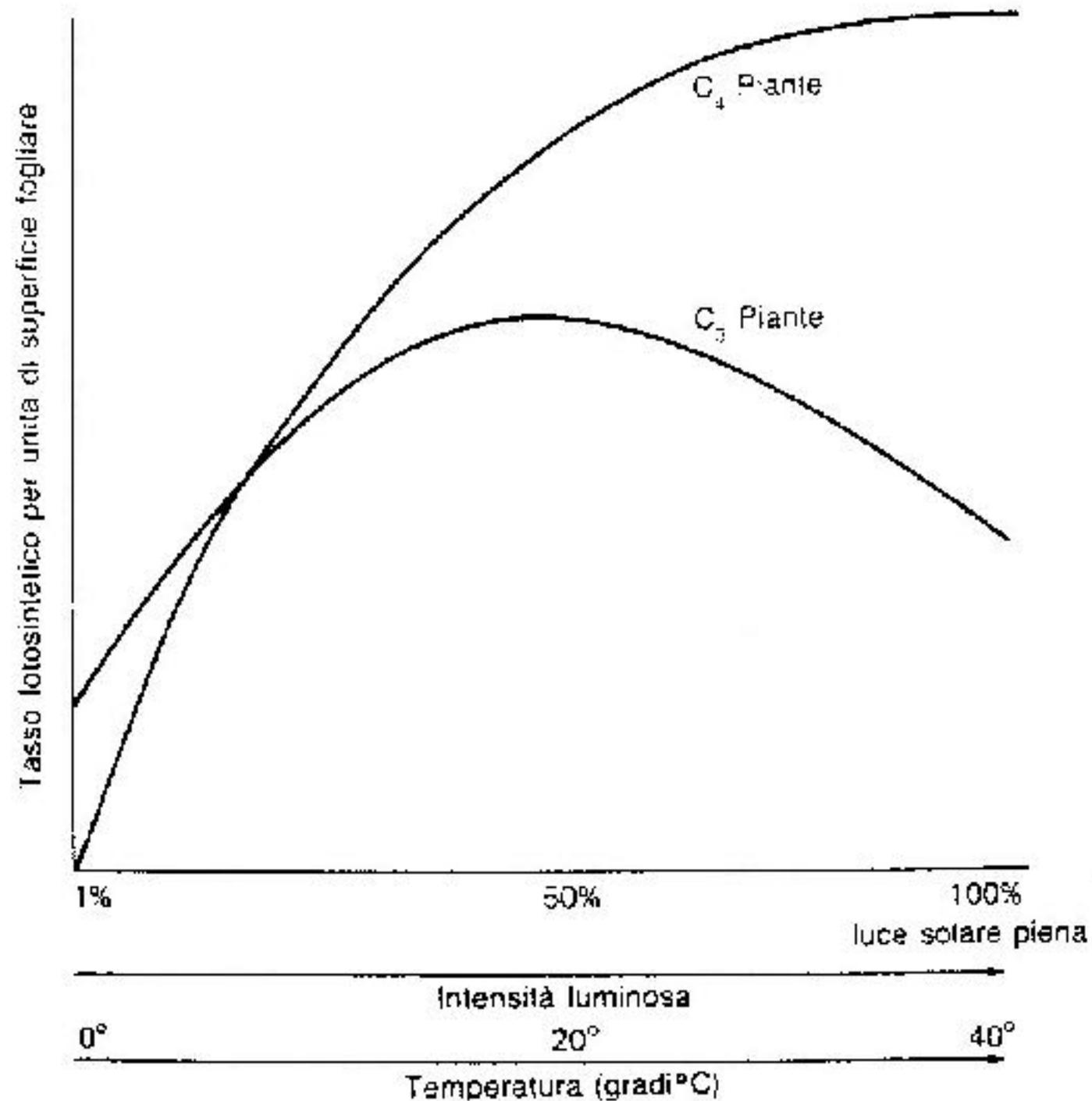


*Gomphrena* (C4)  
dicotiledone



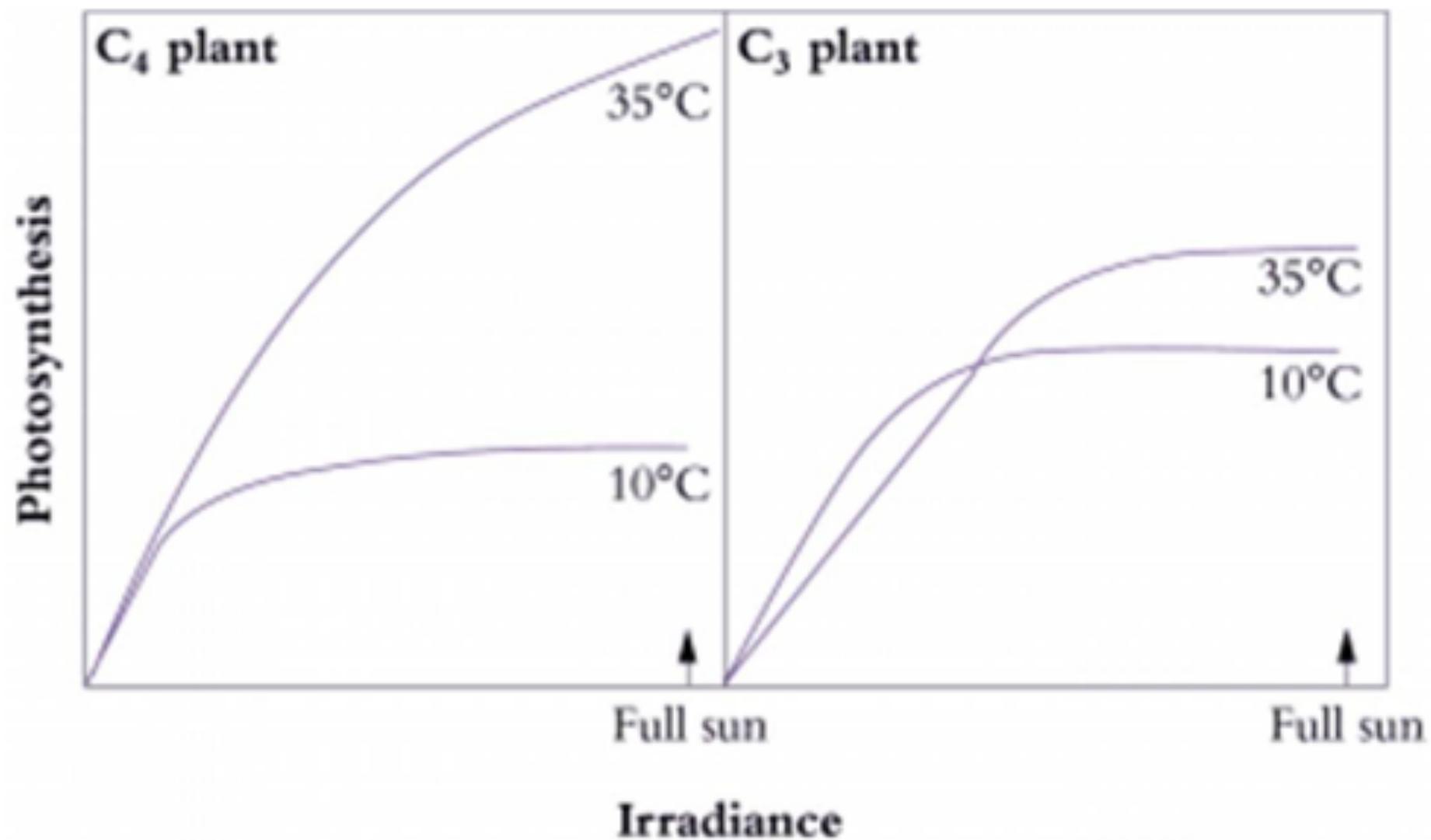
Le cellule della guaina del fascio contengono (spesso) cloroplasti senza grana e pieni di granuli d'amido. Questi cloroplasti non contengono il fotosistema II (questo è localizzato nei tilacoidi dei grana, che qui mancano).



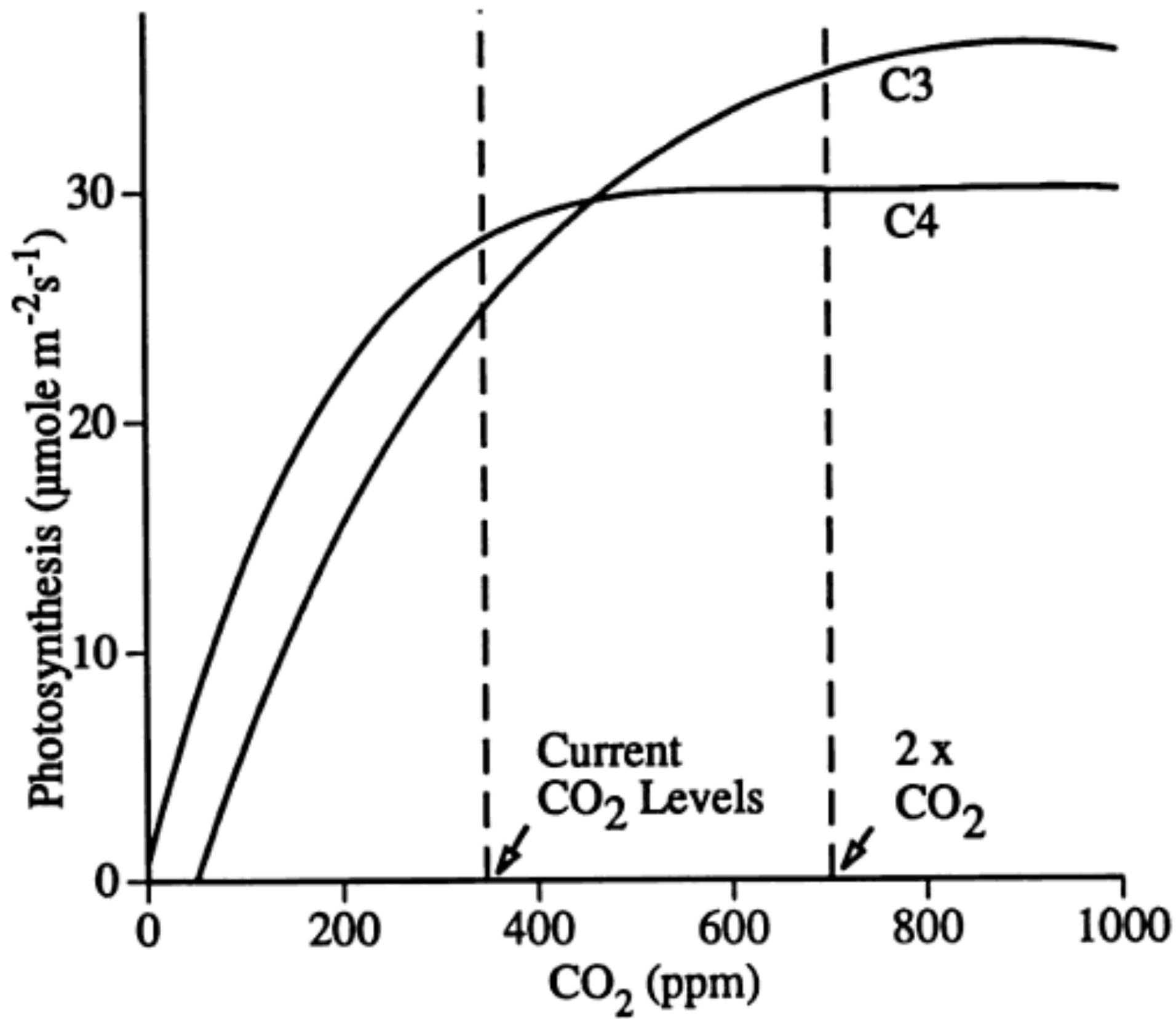


Le piante C<sub>4</sub> tipicamente vivono in ambienti molto caldi, e sono concentrate principalmente ai tropici. Si sono evolute nell'Oligocene, e costituiscono circa il 5% della biomassa vegetale. Tuttavia sono responsabili di circa il 30% del totale del carbonio fissato sul pianeta. In queste piante il tasso di fotosintesi per unità fogliare è massimo attorno ai 40°, mentre per la piante C<sub>3</sub> è massimo a circa 20°.

A temperature elevate le piante C4 sono molto più performanti delle C3. Queste sono invece più efficienti a basse temperature.



# **Effetto del cambiamento climatico sulle piante C3 e C4**



Diversi studi hanno messo in evidenza che un aumento della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera favorisce maggiormente le piante C3 rispetto alle C4. Questo avviene come conseguenza della presenza stessa dei metabolismi di trasporto della anidride carbonica, che oltre una certa soglia raggiungono una velocità massima, che non può essere superata.

Quindi, considerato che un aumento di temperatura favorisce le C4, e un aumento di CO<sub>2</sub> favorisce le C3, quale potrebbe essere lo scenario futuro?

Obiettivamente difficile fare ipotesi, anche se l'aumento della CO<sub>2</sub> in atmosfera è stato enorme, circa il 30% negli ultimi 50 anni.

Tuttavia, i ricercatori scommettono molto sull'efficienza del metabolismo C4.....

## Riso.... C4?

Il riso (*Oryza sativa*, con tutte le sue varietà coltivate) è una pianta C3.

Tuttavia, essendo il riso la principale fonte di calorie per una enorme fetta della popolazione mondiale, un aumento della produttività per ettaro conseguente a una aumentata efficienza fotosintetica sarebbe una panacea per la fame nel mondo. Attualmente in Asia circa 600 milioni di persone sono a rischio malnutrizione, e la popolazione totale dell'Asia è destinata a aumentare di circa 1,5 miliardi da qui al 2050.

Per questo motivo, i ricercatori stanno analizzando la possibilità di indurre in un cultivar di riso delle modificazioni che portino a una anatomia Kranz, e all'evoluzione di un metabolismo C4, che nelle condizioni ottimali rende le piante fotosinteticamente più efficienti di circa il 50% (un miglioramento della produttività per ettaro sufficiente a risolvere i problemi alimentari dell'Asia da qui al 2050).

*Oryza sativa* L.  
Poaceae



## Piante CAM

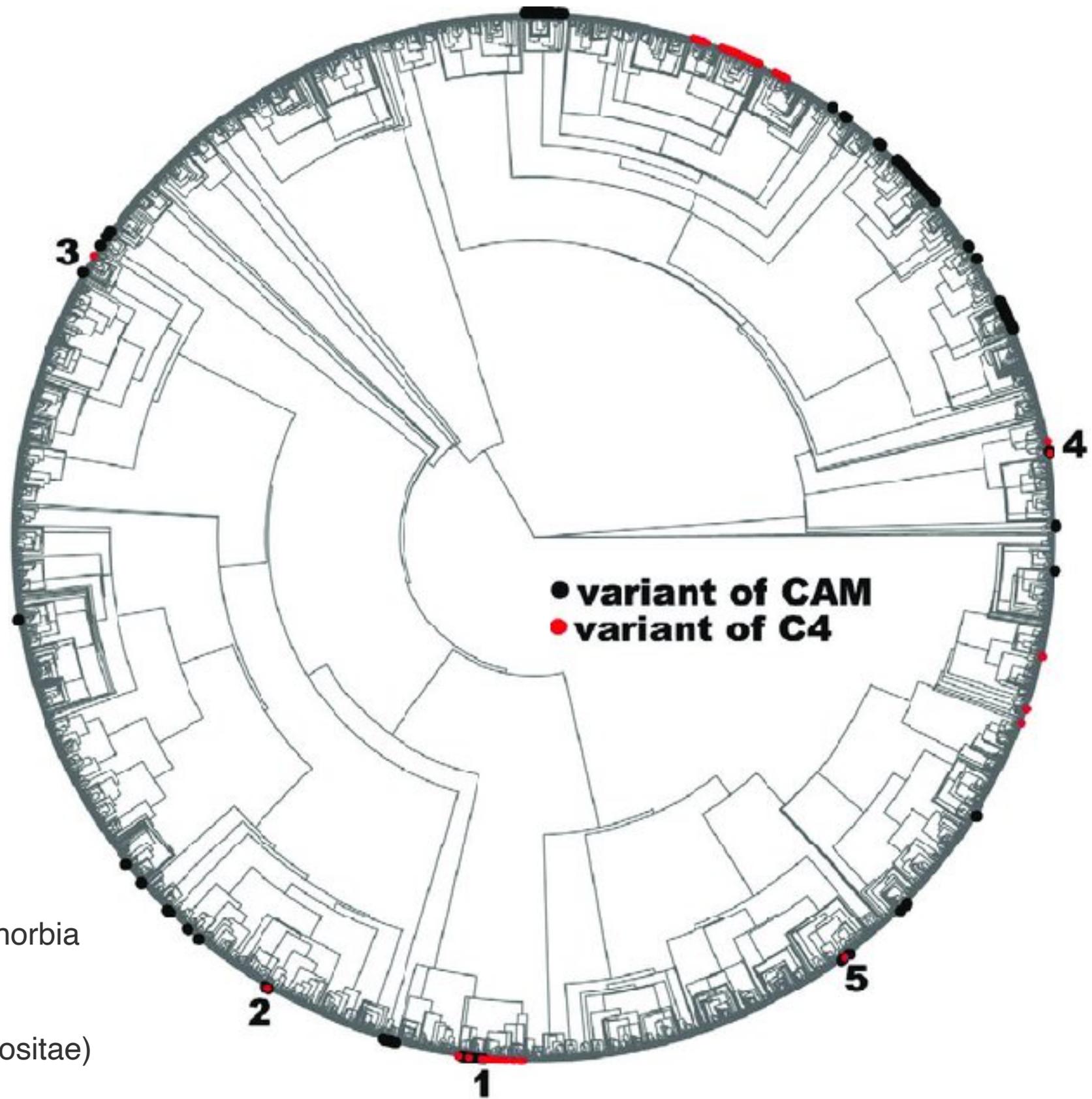
Il termine **CAM** significa **Crassulacean acid metabolism**.

In queste piante vi è una **separazione temporale** tra cattura della CO<sub>2</sub> e sua fissazione nel ciclo di Calvin. Queste piante, che vivono in ambienti molto caldi e solitamente aridi, come i deserti, aprono gli stomi solo durante la notte, quando le temperature sono basse e, di conseguenza, la perdita d'acqua è minima. La CO<sub>2</sub> viene conservata sotto forma di **malato**, come avviene nelle piante C<sub>4</sub>, che viene accumulato nei vacuoli. Durante il giorno, a stomi chiusi, il malato viene scisso e la CO<sub>2</sub> liberata. La sua concentrazione viene mantenuta quindi elevata, e la fotorespirazione è ridotta al minimo. Il principale beneficio che queste piante hanno da questa separazione temporale sta nella ridotta perdita d'acqua per traspirazione. Le piante C<sub>3</sub> perdono in questo modo circa il 97% dell'acqua che assorbono tramite l'apparato radicale. Piante CAM come il cactus o l'agave, che vivono in climi caldi ed aridi, non possono permettersi queste perdite. Queste piante spesso mostrano altri adattamenti a condizioni estreme di aridità, come spesse cuticole, foglie con ridotto rapporto superficie/volume, ecc.

Queste piante succulente, come i cactus, ed epifite, come certe orchidee e bromeliacee. Tuttavia questo tipo di metabolismo si è probabilmente evoluto diverse volte in diversi gruppi di piante sottoposti alla stessa pressione selettiva (evoluzione convergente), non solo nelle angiosperme, ma anche in alcune gimnosperme, muschi e felci.

Tabella 10.6 - *Tipi di fissazione del carbonio*

	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	CAM
Carbossilazione	RuBP carbossilasi	RuBP carbossilasi	RuBP carbossilasi
Metabolismo aggiuntivo	Nessuno	Trasferimento di CO <sub>2</sub>	Immagazzinamento di CO <sub>2</sub>
Carbossilasi aggiuntiva	Nessuna	PEP carbossilasi	PEP carbossilasi
Fotorespirazione	Alta	Bassa	Moderata
Stomi aperti	Di giorno	Di giorno	Di notte



- (1) Caryophyllales
- (2) Chamaesyce/Euphorbia
- (3) Brassicales
- (4) Hydrocharitaceae
- (5) Asteroideae (Compositae)

Tra le piante CAM più note troviamo:

- le tipiche piante succulente della famiglia delle **Crassulaceae**, adattate a vivere in ambienti aridi, anche di casa nostra;
- le **Cactacee**;
- piante epifite (es. **Bromeliaceae**) delle foreste tropicali, tra cui qualche felce, e la mitica *Welwitschia*.

Si noti che mentre le C4 sono tutte angiosperme, le CAM sono anche gimnosperme, isoete e felci

*Sedum album* L.  
Crassulaceae



*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.  
Cactaceae



*Ananas comosus* (L.) Merr.  
Bromeliaceae



*Welwitschia mirabilis* Hook.f.  
Welwitschiaceae



Le piante CAM separano nettamente nel tempo il momento dell'entrata della  $\text{CO}_2$  nella foglia da quello della sua fissazione nel ciclo di Calvin.

Il funzionamento è relativamente semplice:

**Di notte** esse aprono gli stomi, fanno entrare la  $\text{CO}_2$  e la fissano in modo analogo alle  $\text{C}_4$  formando acidi organici a 4 atomi di C (tipicamente acido malico).

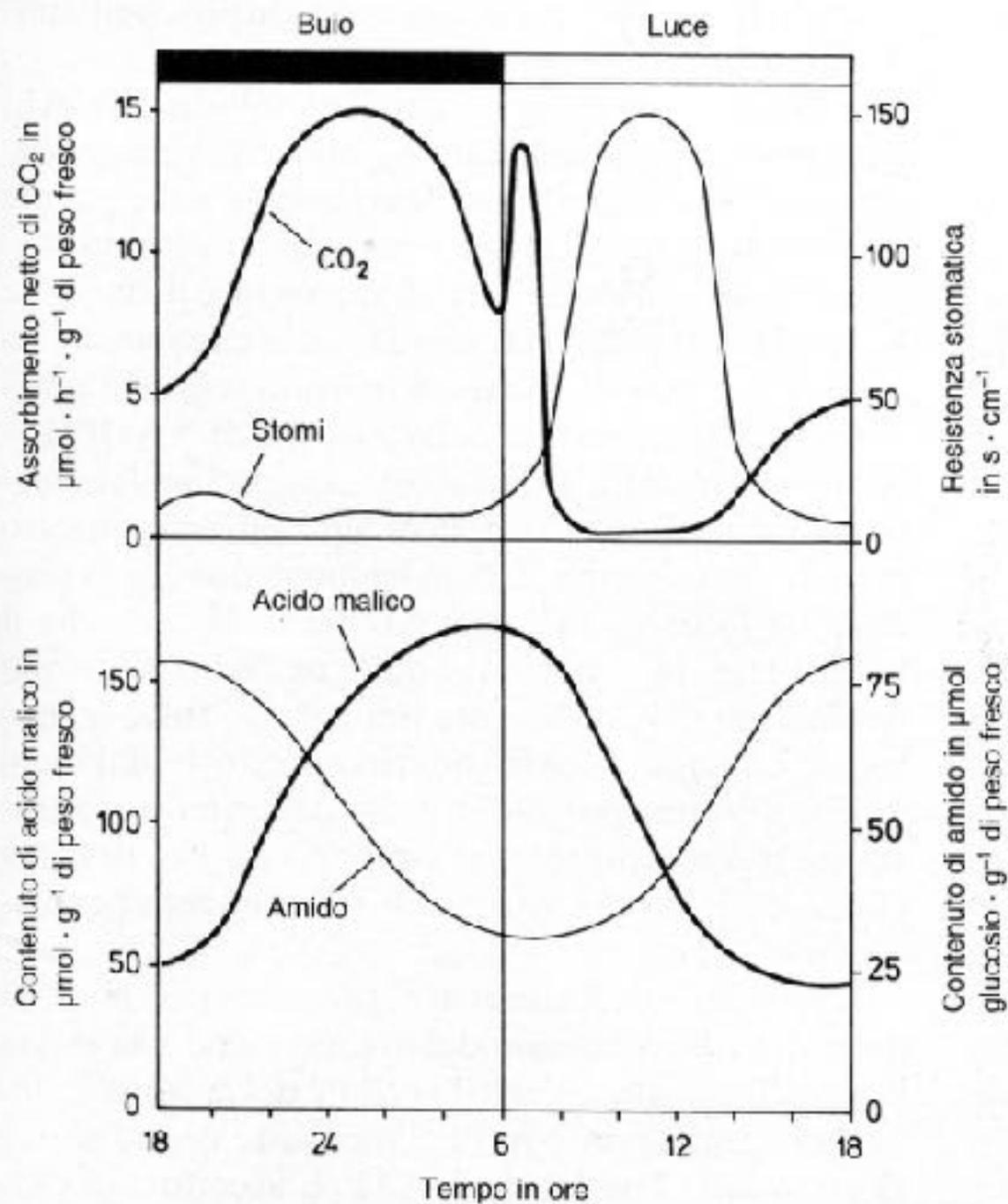
**Di giorno** esse tengono gli stomi chiusi (tanto ormai la  $\text{CO}_2$  è stata assorbita e immobilizzata negli acidi organici) e decarbossilano gli acidi generati durante la notte liberando nuovamente la  $\text{CO}_2$ . Questa viene ora fissata normalmente attraverso la RuBisCO nel ciclo di Calvin.

Nei periodi aridi, questa variante della fotosintesi normale consente alle piante CAM di tenere gli stomi aperti solo di notte quando la temperatura è più bassa e chiuderli di giorno quando il pericolo di andare in deficit d'acqua sarebbe maggiore.

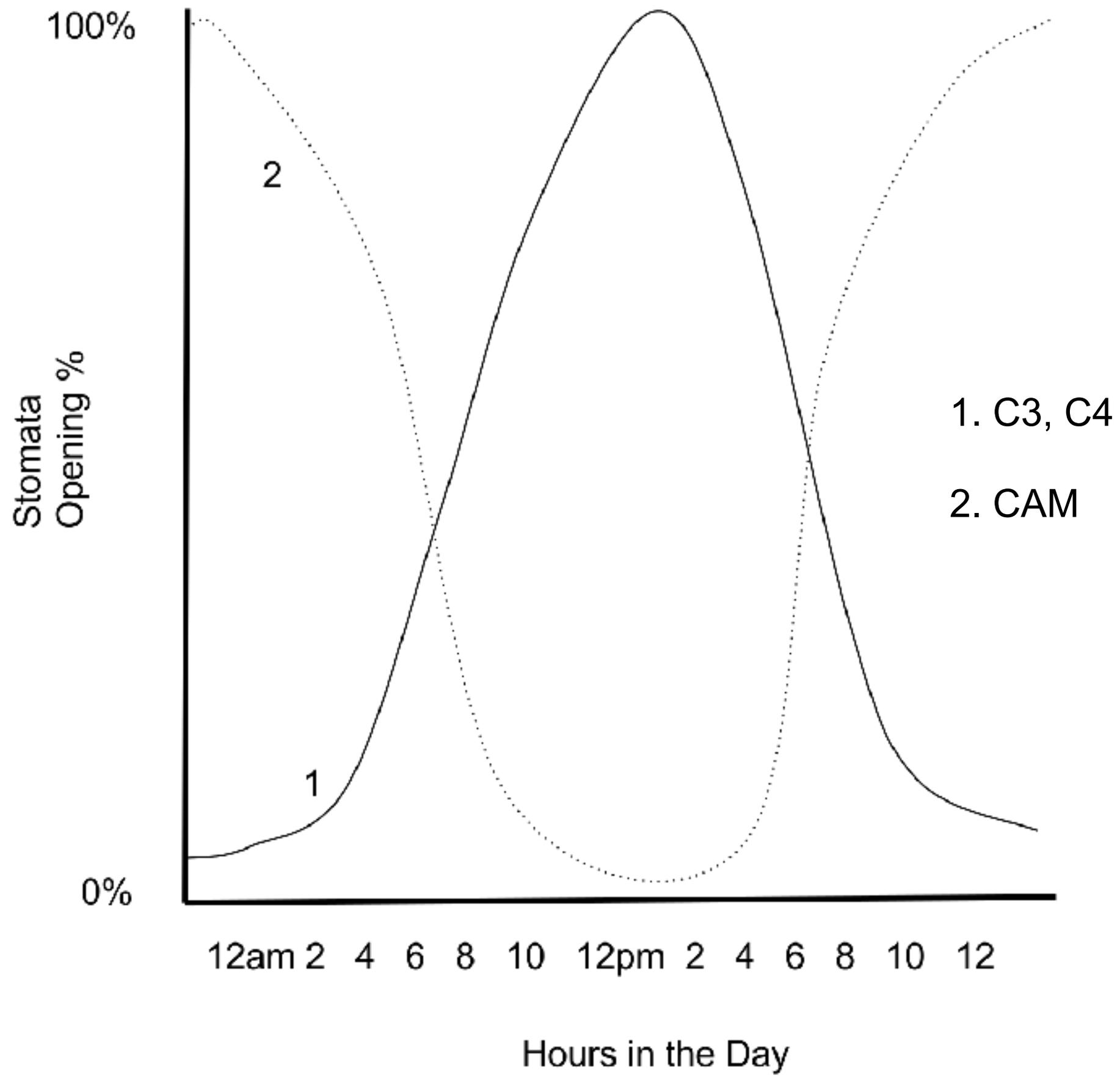
La “politica” fotosintetica delle CAM cerca di ottenere un risparmio d'acqua attraverso una fissazione provvisoria della  $\text{CO}_2$ .

Nelle piante CAM la pre-fissazione e la fissazione vera e propria avvengono in un solo tipo cellulare, ma in due momenti diversi, la notte e il giorno.





Andamento di alcuni tipici fenomeni del metabolismo degli acidi carbossilici nelle *Crassulaceae* durante il ciclo notte-giorno. In alto: assorbimento netto di CO<sub>2</sub> nelle foglie e resistenza stomatica alla diffusione. In basso: contenuto in acido malico e in amido nelle foglie. I valori indicati corrispondono a valori medi che possono variare molto secondo le specie e le condizioni esterne.



Due aspetti chiave del metabolismo CAM:

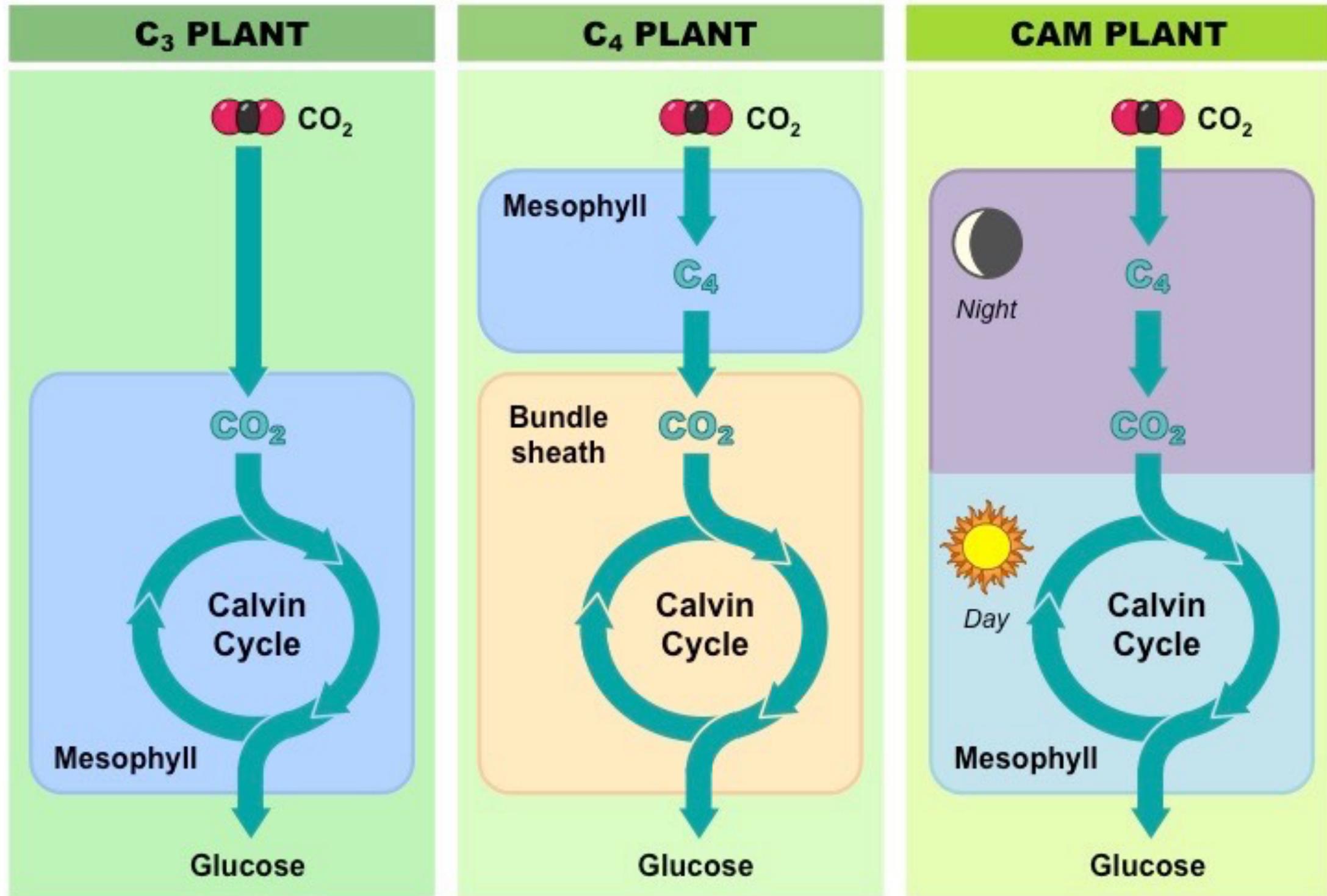
- (i) L'apertura degli stomi è regolata (anche) dalla concentrazione parziale interna della  $\text{CO}_2$ , che dipende da questa attività enzimatica particolare. Di notte gli stomi stanno aperti per il forte consumo della  $\text{CO}_2$  interna per opera della PEP-carbossilasi, di giorno stanno chiusi perché c'è  $\text{CO}_2$  a sufficienza.
- (ii) L'elevata concentrazione di malato a livello vacuolare di notte determina un incremento della pressione osmotica, che si accompagna di conseguenza ad una aumentata efficienza di assorbimento radicale: la pianta riesce a recuperare più acqua, proprio quando l'ambiente offre eventuali fenomeni di condensa sulla superficie del terreno.

# Metabolismo fotosintetico e consumo d'acqua.

Alcuni dati riguardanti l'economia dell'acqua e del carbonio nel corso della fotosintesi delle piante C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> e CAM (da C. BLACK). Il quoziente di traspirazione indica quanti g d'acqua vengono perduti quando viene assorbito dall'atmosfera e assimilato mediante la fotosintesi 1 g di carbonio.

	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	CAM
Quoziente di traspirazione in g H <sub>2</sub> O · g <sup>-1</sup> di C	Da 450 a 950	Da 250 a 350	Da 18 a 100 (per la fissazione di CO <sub>2</sub> durante la notte) Da 150 a 600 (per la fissazione di CO <sub>2</sub> durante il giorno)
Velocità massima della fotosintesi netta in mg CO <sub>2</sub> · m <sup>-2</sup> di sup. fogliare · s <sup>-1</sup>	Da 0,41 a 1,10	Da 1,1 a 2,2	Da 0,027 a 0,360
Velocità massima dell'aumento di sostanza secca in g · m <sup>-2</sup> di sup. fogliare · d <sup>-1</sup>	Da 50 a 200	Da 400 a 500	Da 1,5 a 1,8

# Ricapitolando, quindi....



## Decomposizione (catabolismo)

La decomposizione in senso lato si può definire come “ogni ossidazione biologica che produce energia”.

Esistono tre diversi tipi di decomposizione:

**Respirazione aerobica** (accettore di elettroni è l'ossigeno gassoso)

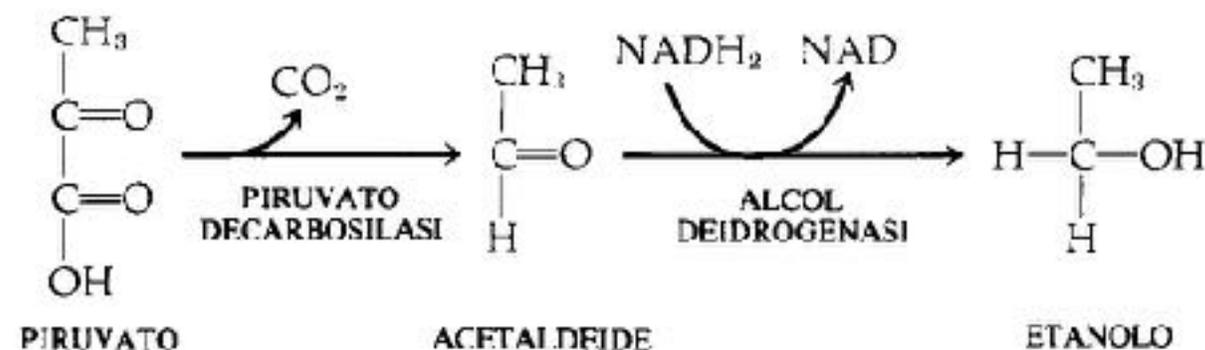
Inverso della fotosintesi. Processo tramite cui la materia organica è decomposta a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O con liberazione di energia.

**Respirazione anaerobica** (accettore di elettroni è un altro composto inorganico)

Organismi anaerobi obbligati e facoltativi. Un esempio sono i batteri *desulfovibrio*, che riducono SO<sub>4</sub> a H<sub>2</sub>S nei sedimenti profondi e nelle acque prive di ossigeno. L'H<sub>2</sub>S sale in superficie dove può essere usato dai batteri fotosintetici.

**Fermentazione** (accettore di elettroni è un composto organico)

Esempio: la fermentazione alcolica, che produce etanolo. Si tratta di reazioni che hanno una resa energetica molto inferiore alla respirazione.



# Produttività

**Produttività:** quantità di biomassa prodotta in una data area in un dato intervallo di tempo

**Produttività primaria:** velocità con la quale l'energia raggiante viene trasformata dalla attività fotosintetica e chemosintetica degli organismi produttori in sostanza organiche.

**Produttività primaria lorda:** velocità totale di foto e chemosintesi (fotosintesi totale o assimilazione totale)

**Produttività primaria netta:** velocità di immagazzinamento della materia organica prodotta al netto di quella utilizzata per la respirazione dei produttori (assimilazione netta)

**Produttività netta della comunità:** la velocità di immagazzinamento della materia organica non utilizzata dagli eterotrofi

**Produttività secondaria:** velocità di immagazzinamento dell'energia a livello degli eterotrofi

# 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:

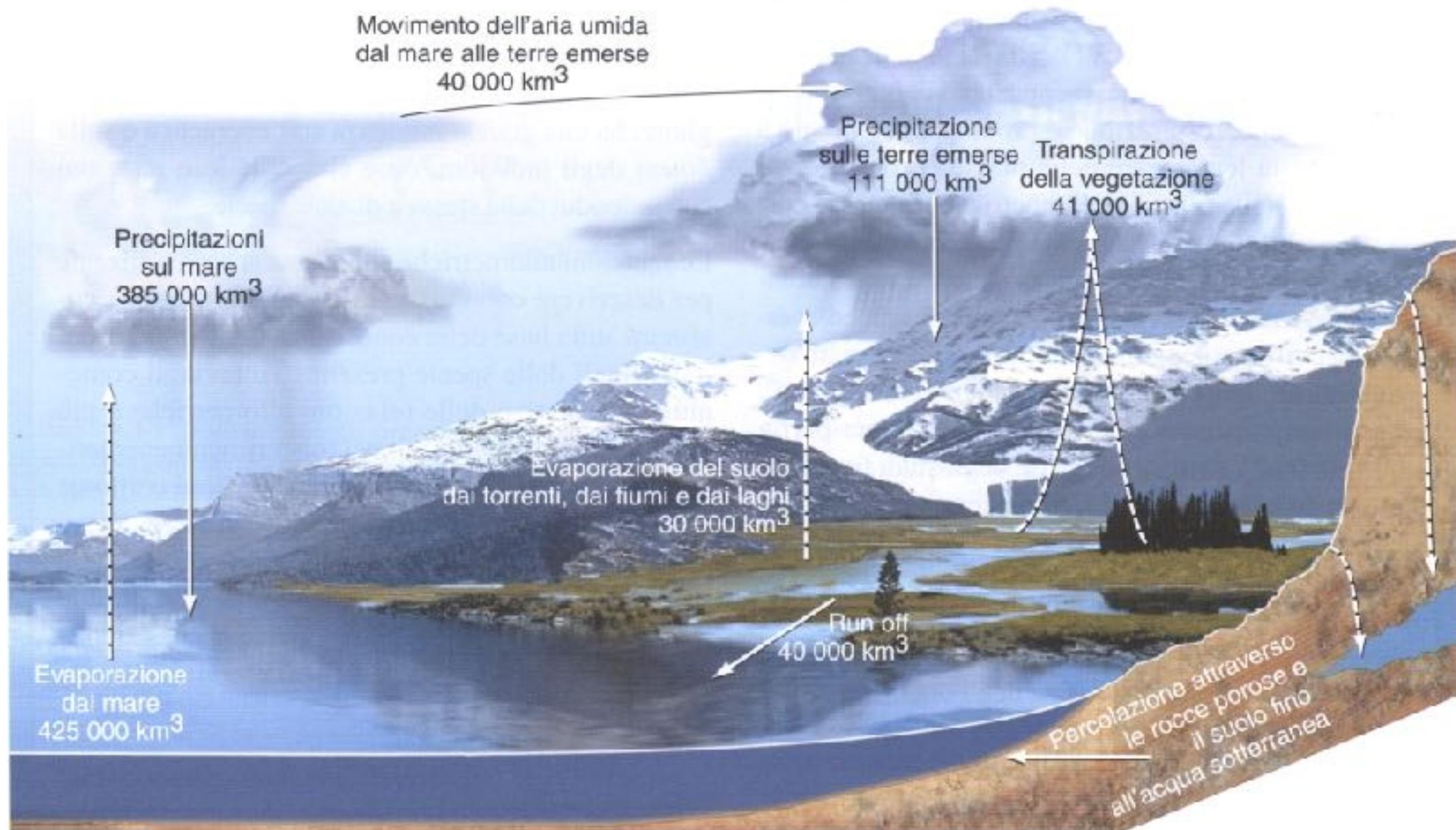
***gassosi*** - il pool di riserva è l'atmosfera o l'idrosfera. Tra questi vi sono:

- 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

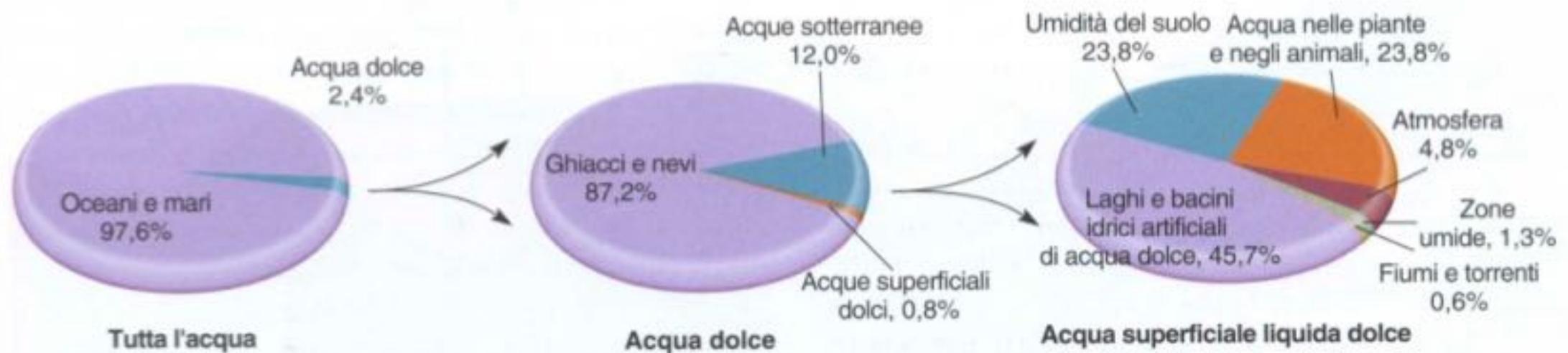


Pool di riserva: Oceani, mari ed acque dolci, oltre ai ghiacciai

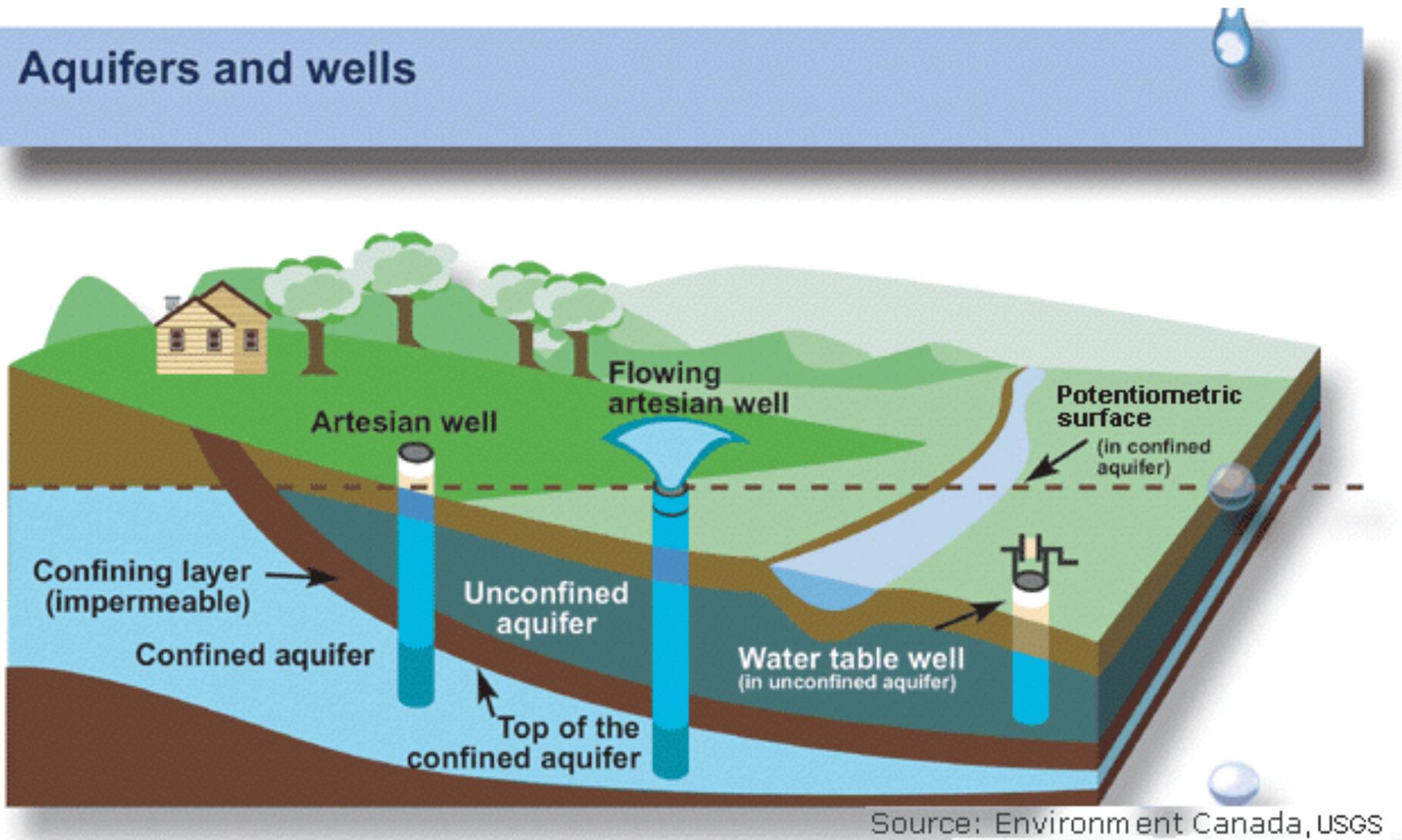
L'acqua passa dal pool di riserva all'atmosfera per l'evaporazione dai mari (90%) e per evapotraspirazione dalle piante (10%)

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

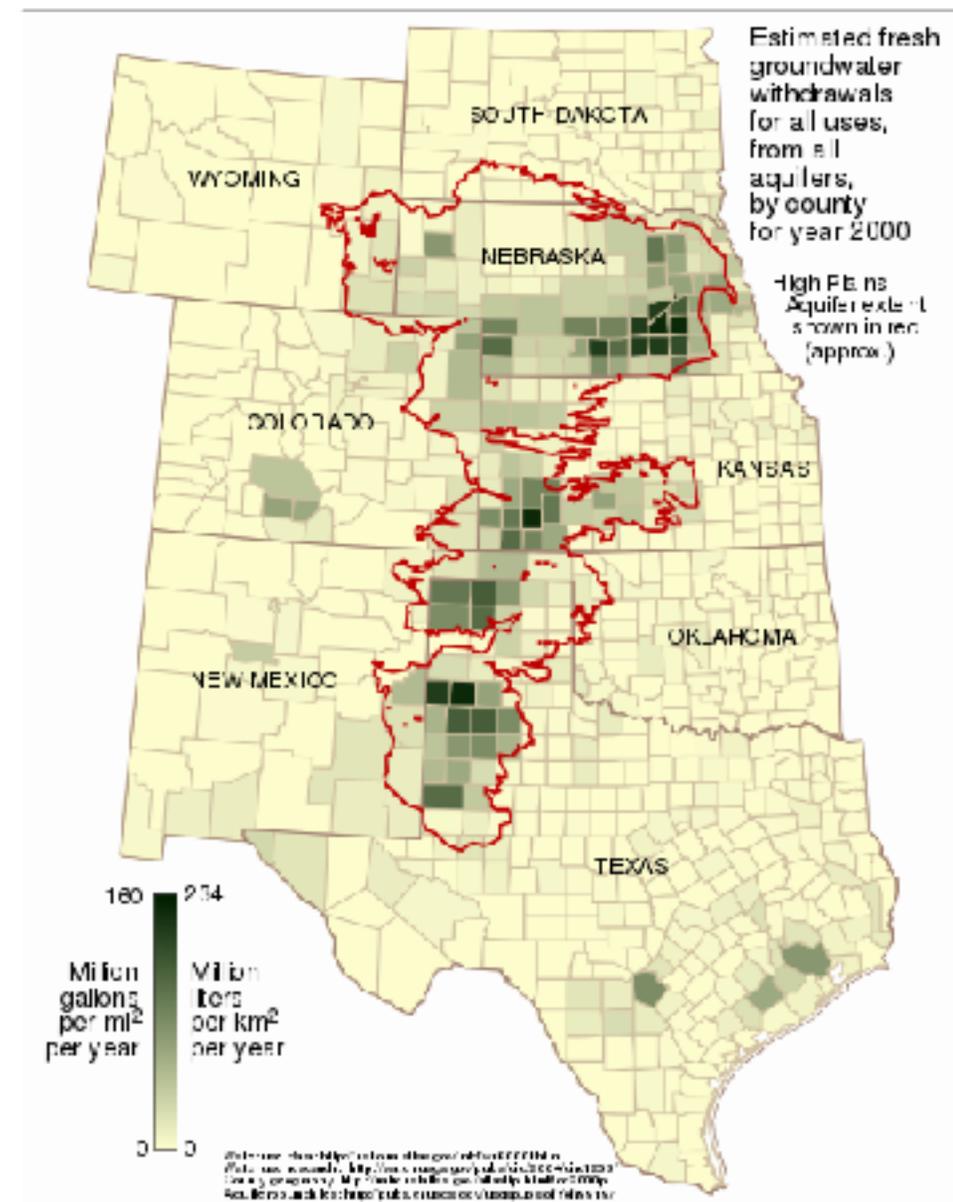
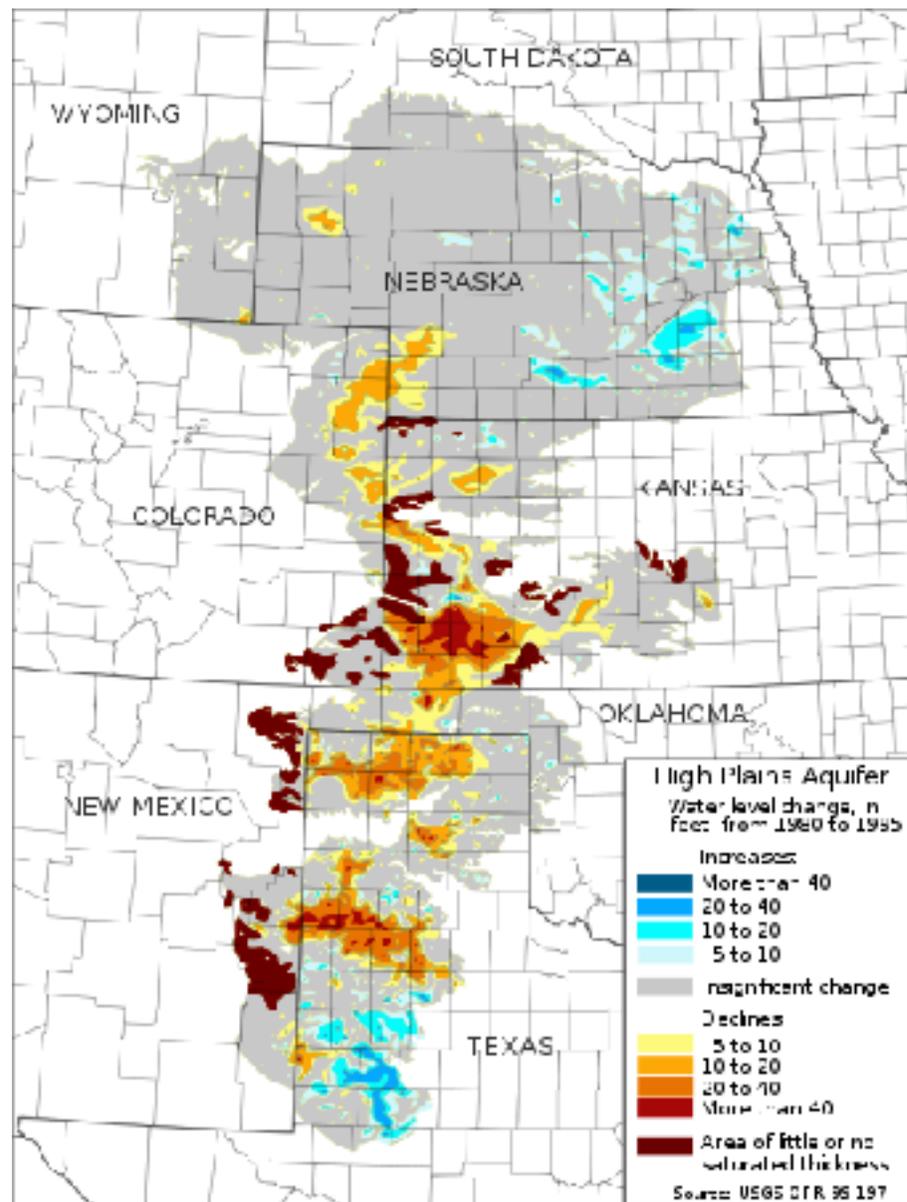
Di tutta l'acqua del pianeta, meno dello 0,02% è disponibile per gli esseri viventi.



**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.



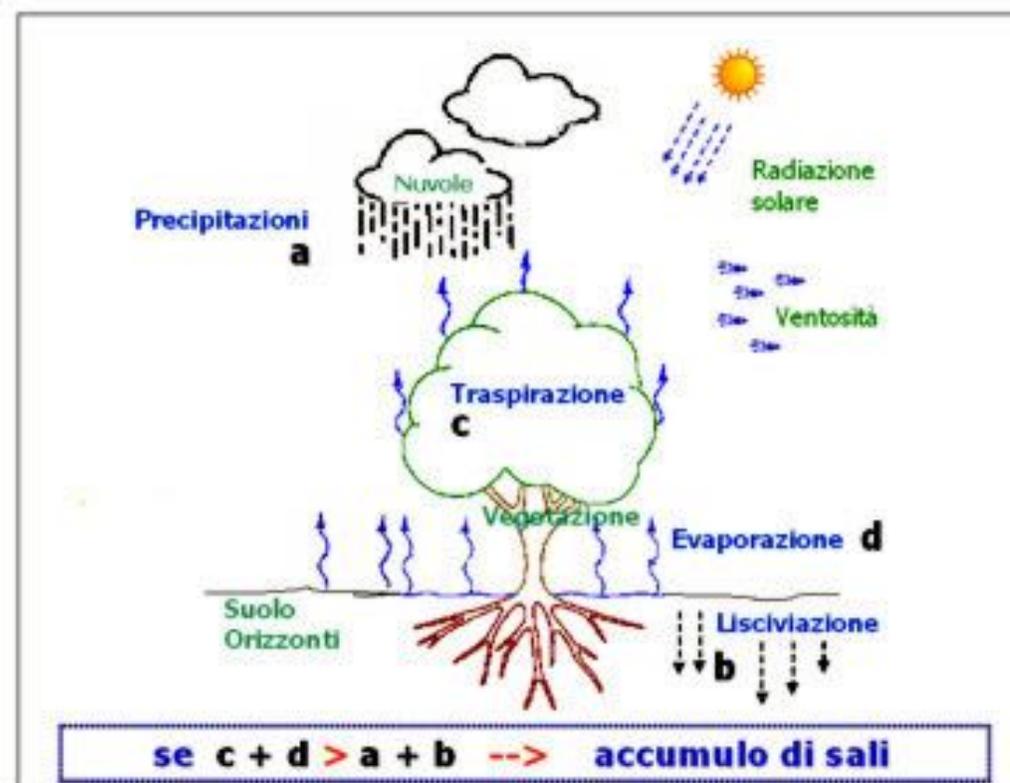
L'acquifero di Ogallala, negli USA, è un esempio emblematico di come l'uso scorretto delle risorse possa, a lungo andare, trasformarsi in catastrofe. Questo acquifero, che sostiene gli usi umani di diversi stati dell'unione, ed in particolare gli usi agricoli, si sta esaurendo, visto che la velocità 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).

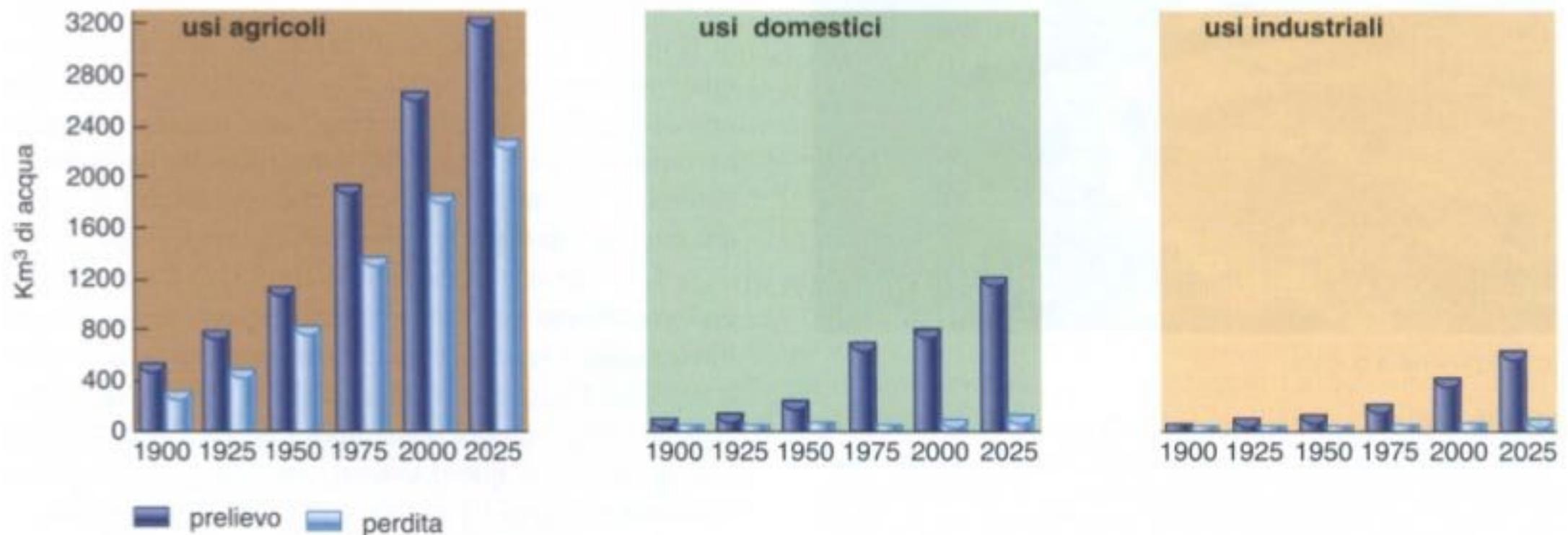


Il termine **salinizzazione** indica il processo di accumulo dei sali nel suolo. Le piante possono risentire negativamente della presenza di livelli crescenti di sali negli strati superficiali del suolo. Nei climi asciutti, il continuo accumulo di sali può determinare anche fenomeni di desertificazione. 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'ingressione dell'acqua marina.

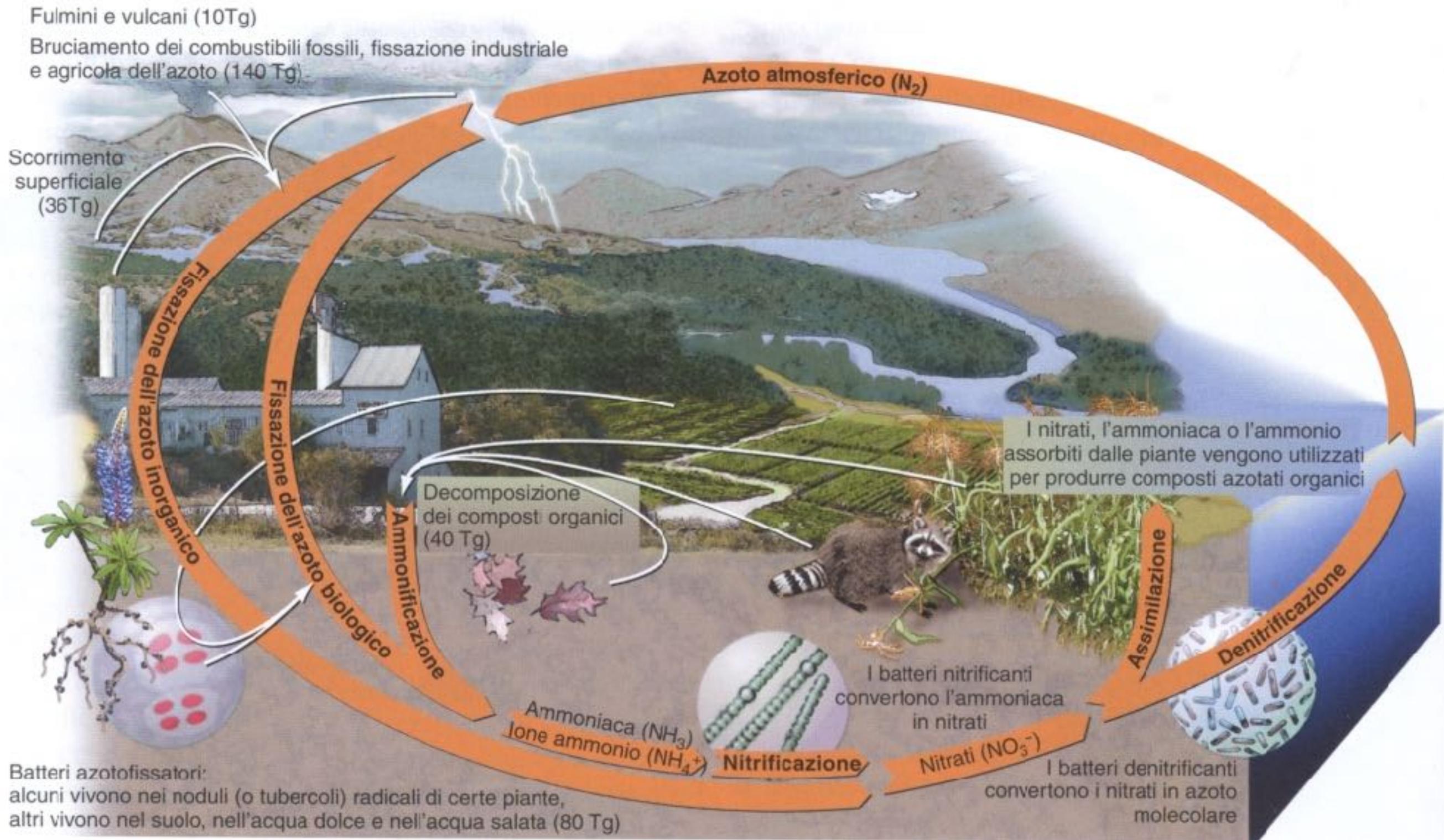




### **La direttiva 2000/60/CE (direttiva acque)**

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.

# Il ciclo dell'azoto



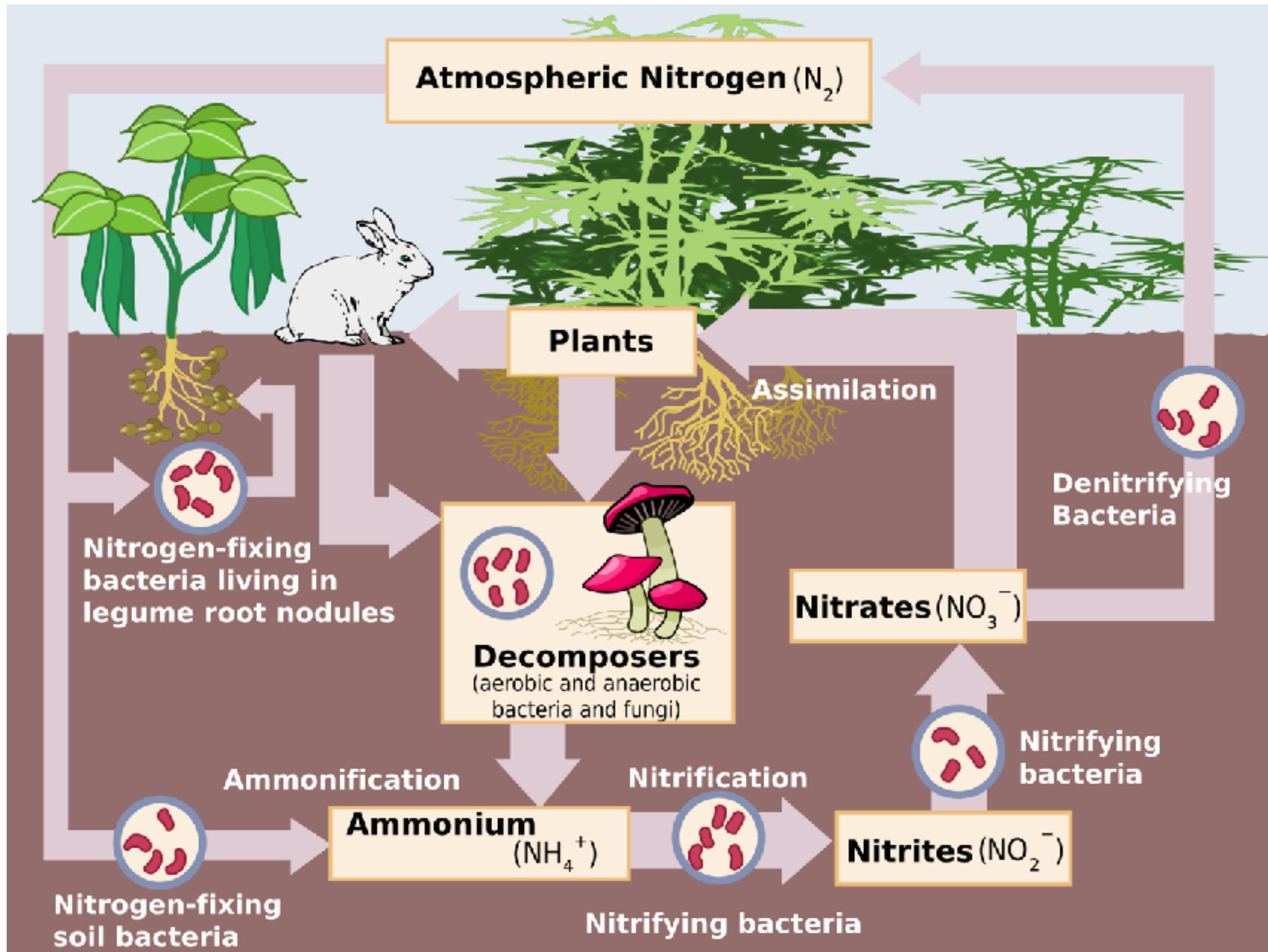
Pool di riserva: atmosfera

**Azotofissazione:** Prima tappa del ciclo, nella quale l'azoto atmosferico viene convertito in ammoniaca. Il 90% dell'azoto viene fissato da:

**batteri liberi** (*Clostridium*, anaerobio obbligato, e *Azotobacter*, aerobio), che sono **autotrofi facoltativi per l'azoto**, ovvero lo fissano solo in casi di carenza di azoto, e consumano l'azoto già fissato se presente, visto l'alto costo energetico della fissazione. L'ammoniaca poi viene nitrificata dai batteri nitrificanti presenti nel suolo, ed in questa forma viene utilizzata dalle piante.

**batteri simbiotici** di determinate piante (le leguminose, le specie del genere *Cycas*, ecc.). Nella simbiosi questi organismi ricavano nutrienti dalle piante in cambio di azoto fissato. Tra questi *Rhizobium*, pur essendo in simbiosi con le Leguminose, è un autotrofo facoltativo per l'azoto e quindi, sebbene riesca a fissare fino a 100 mg di questo elemento per grammo secco di nodulo radicale, preferisce, quando è possibile, ricavarlo da altre fonti

Un restante 10% viene fissato dall'azione dei fulmini nei temporali, che ossidano l'azoto atmosferico in nitrati, che con la pioggia raggiungono il suolo. L'efficienza del processo di fissazione varia dal 1% negli organismi liberi (100 grammi di glucosio, circa 400 Kcal, per fissare 1 grammo di azoto) al 10% negli organismi simbiotici delle leguminose (10 g di glucosio, 40 Kcal, per 1 g di azoto). Il ciclo “termina” con la denitrificazione, ad opera di altri batteri, che liberano azoto molecolare per produrre energia.

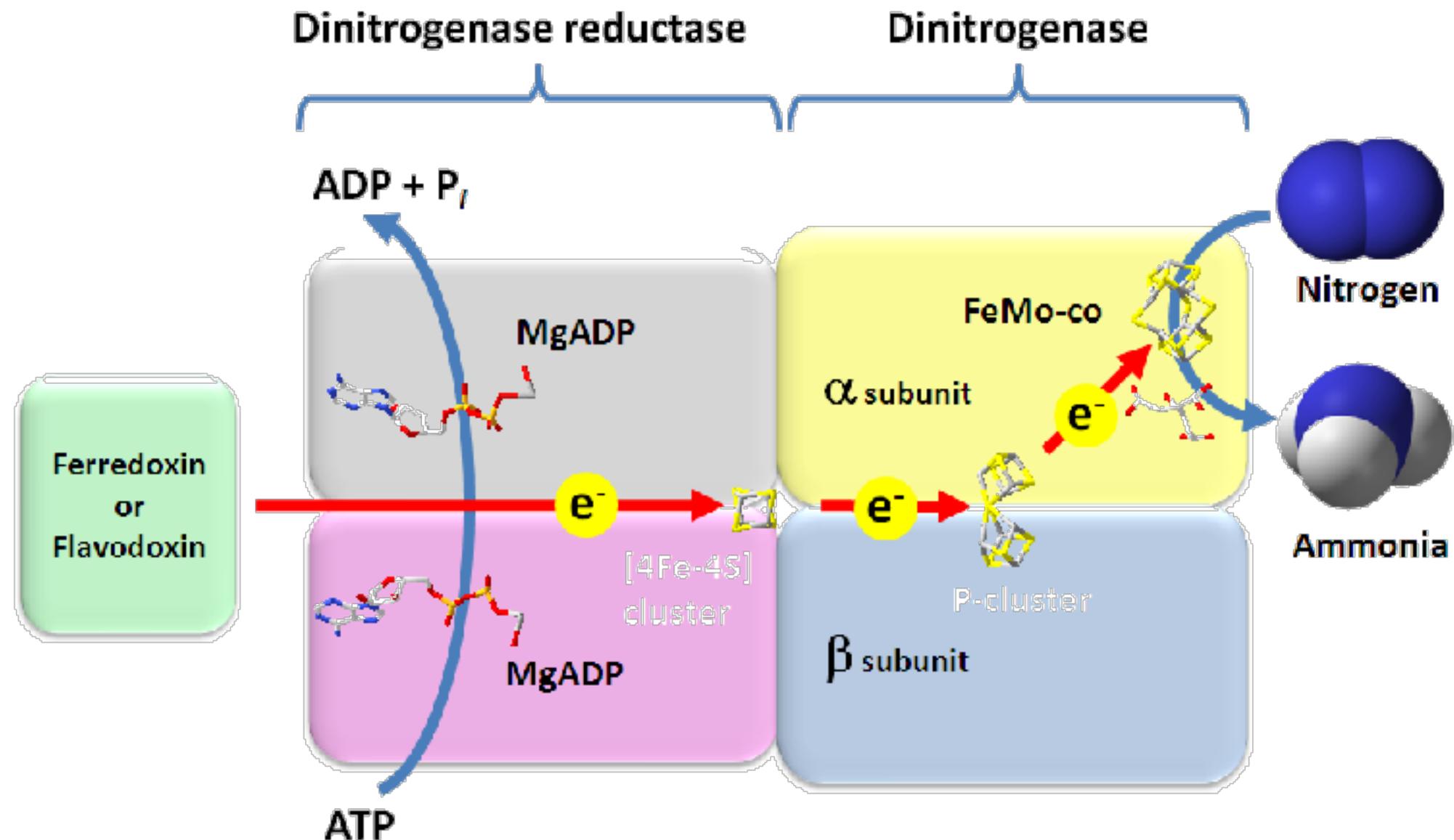


Gli organismi azotofissatori sono in grado di sintetizzare un tipo di enzimi detti nitrogenasi. la struttura delle nitrogenasi varia tra batteri diversi, ma la loro funzione è la stessa, ovvero quella di ridurre gli atomi presenti nella molecola di azoto a ammoniaca.

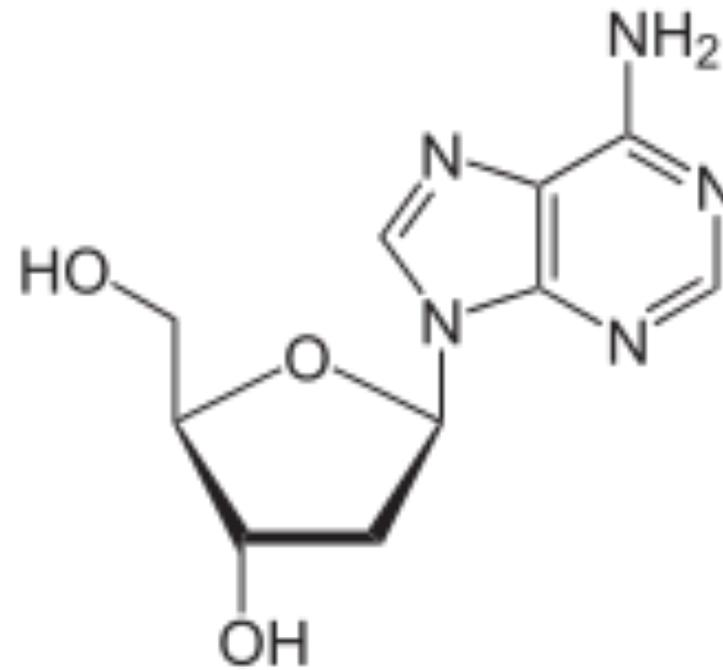
Esistono tre tipi di nitrogenasi:

- Nitrogenasi con molibdeno
- Nitrogenasi con vanadio
- Nitrogenasi ferrosa

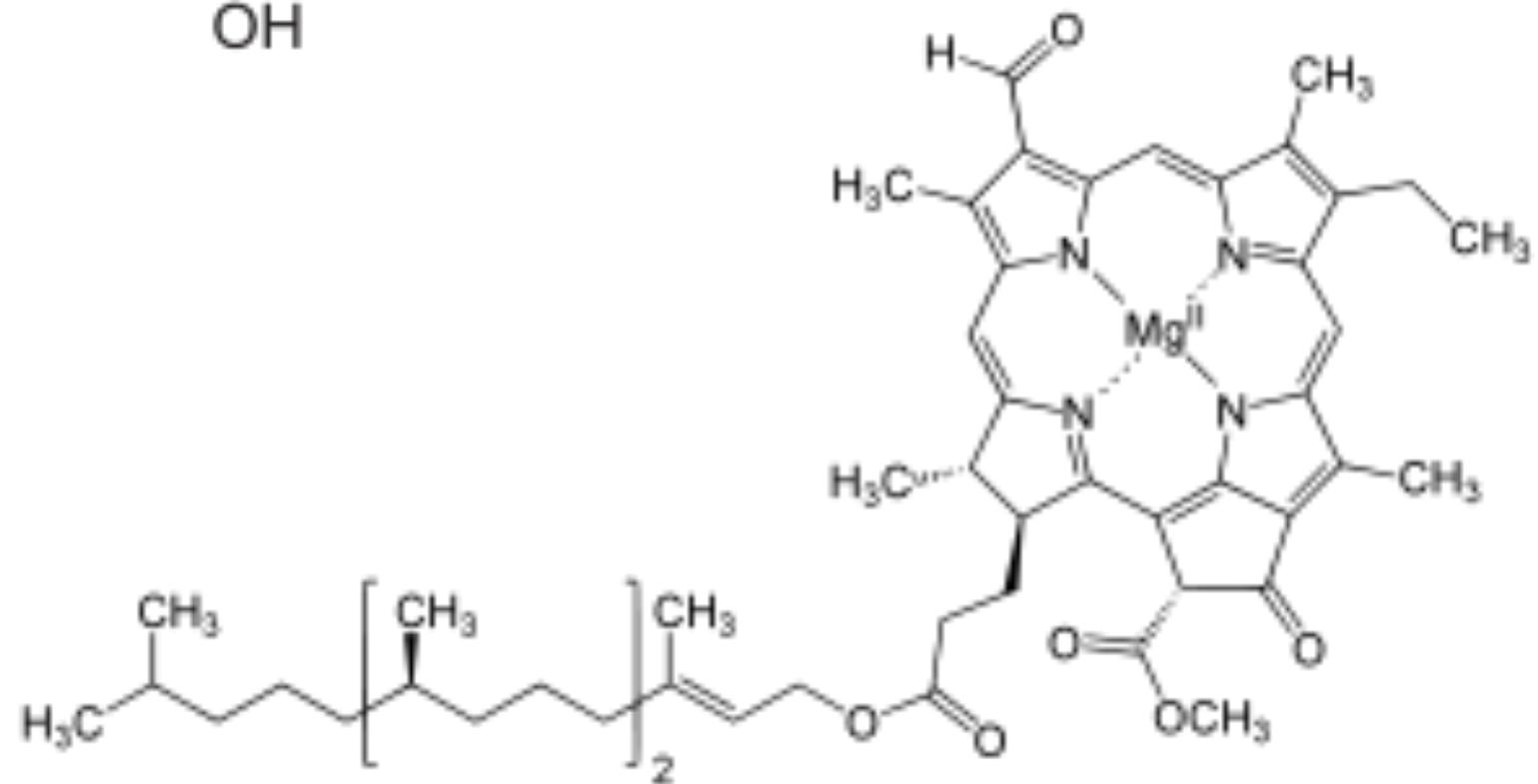
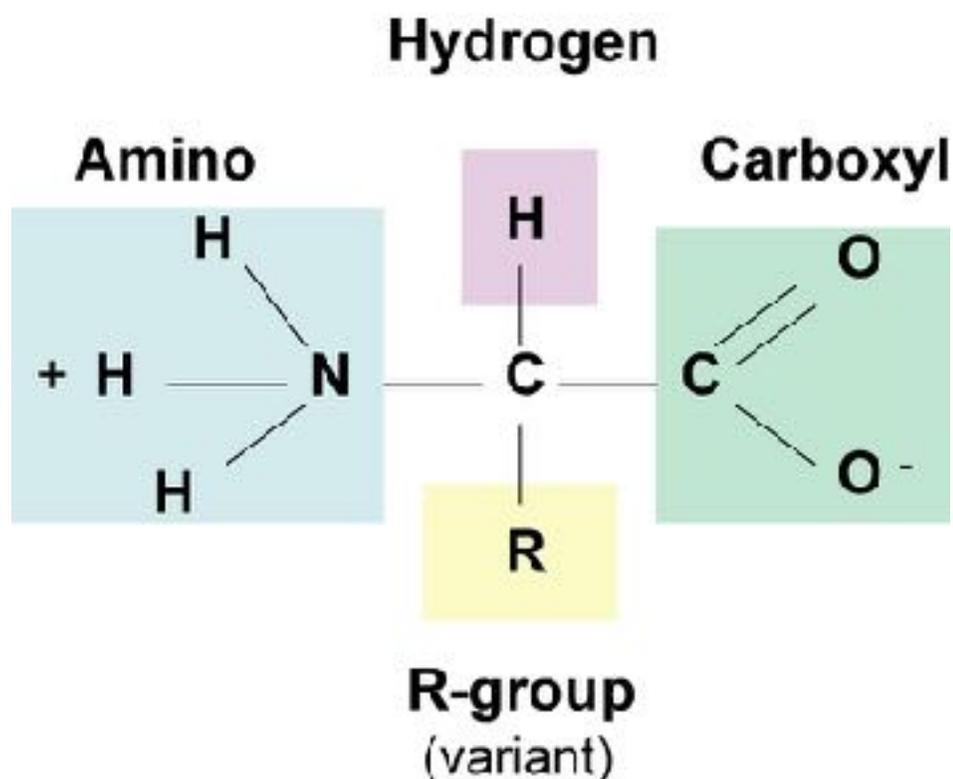
Tutti e tre i tipi di nitrogenasi sono composti da due subunità.



Le piante possono assorbire azoto in forma di ammonio o nitrato. nel secondo caso, prima di utilizzarlo, lo convertono in nitrito, e poi in ammonio. in questa forma può essere utilizzato per costruire amminoacidi, basi azotate e molecole di clorofilla.



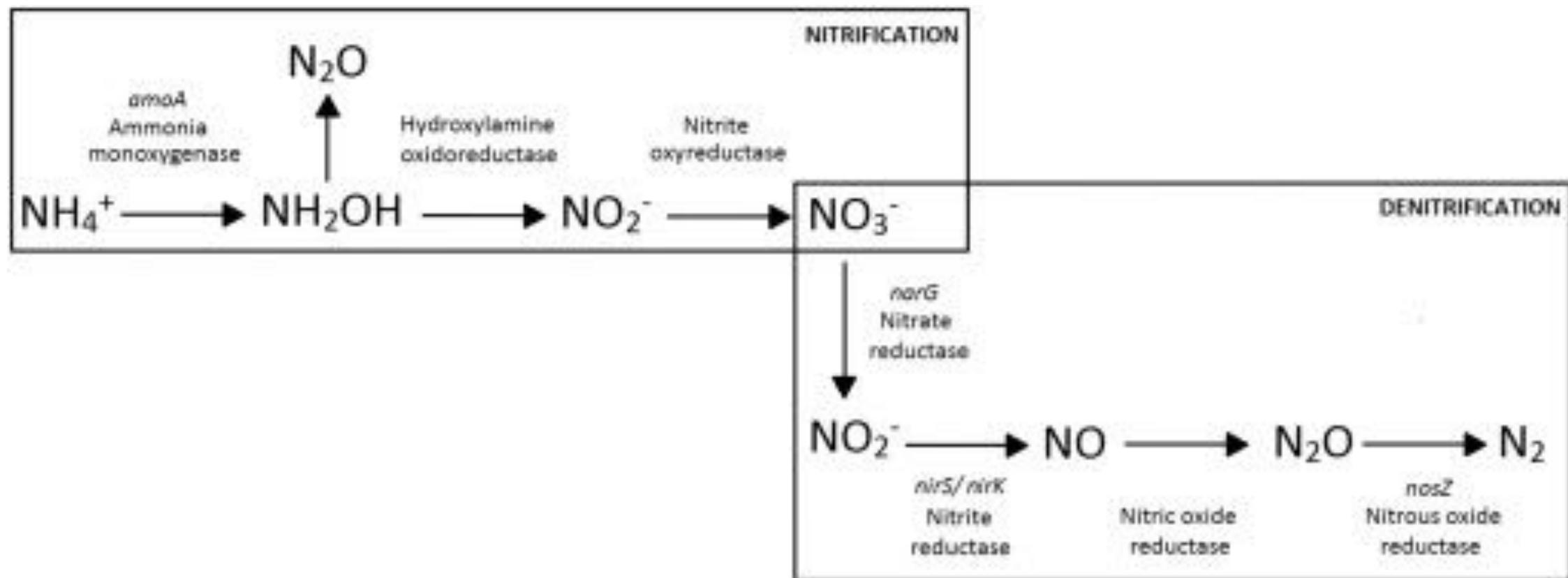
## Amino Acid Structure



Quando una pianta o un animale muore, l'azoto organico viene convertito in ammonio da parte dei batteri o funghi decompositori. questo processo si chiama mineralizzazione.

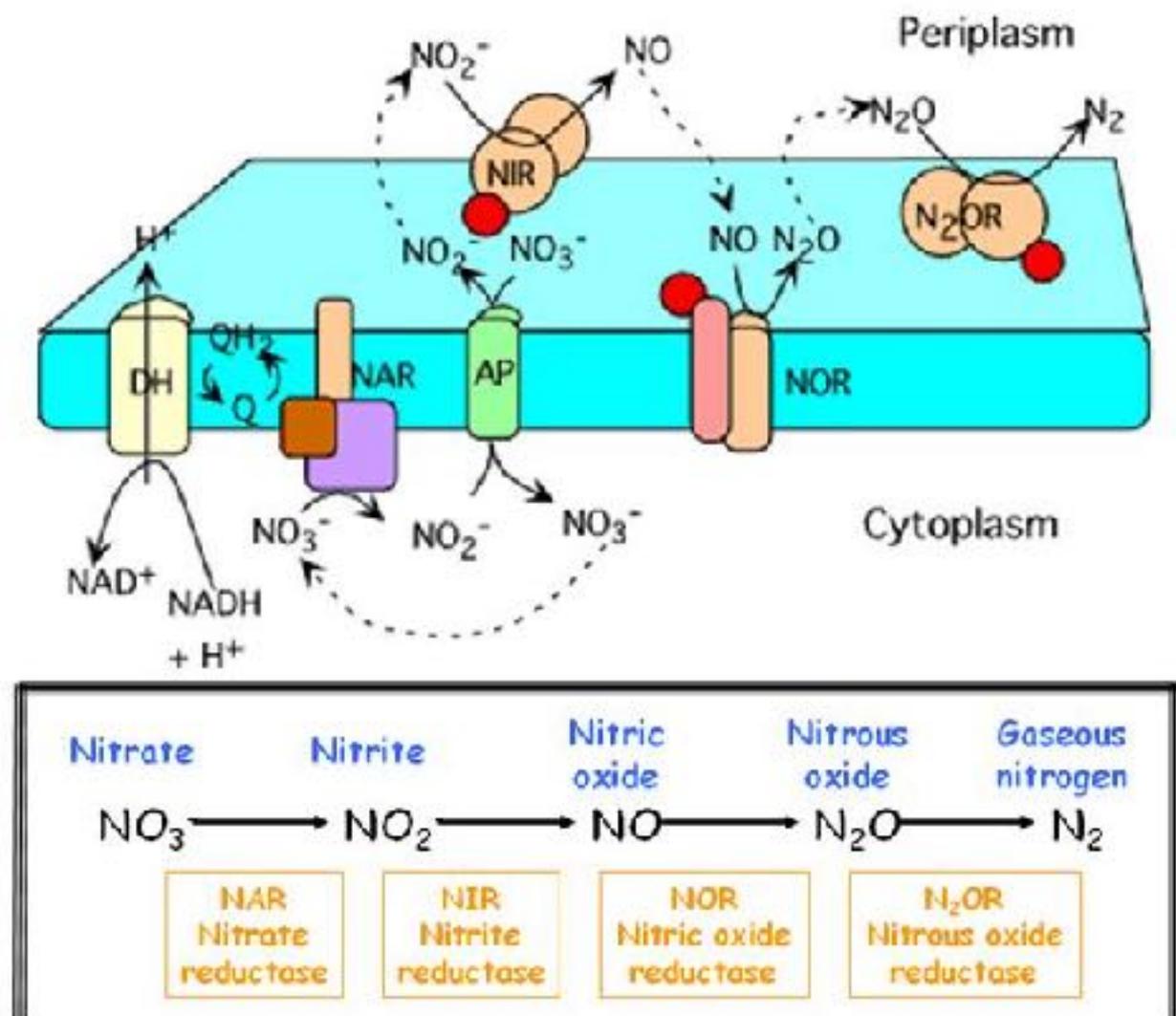
L'ammonio può quindi essere facilmente riassorbito dalle radici delle piante. In alternativa, entrano in gioco i batteri nitrificanti, che convertono l'ammonio in nitriti e poi in nitrati, con due processi di ossidazione.

La prima ossidazione è a carico principalmente di batteri e archeobatteri. La seconda viene svolta principalmente da batteri dei generi *Nitrobacter* e *Nitrospira*.

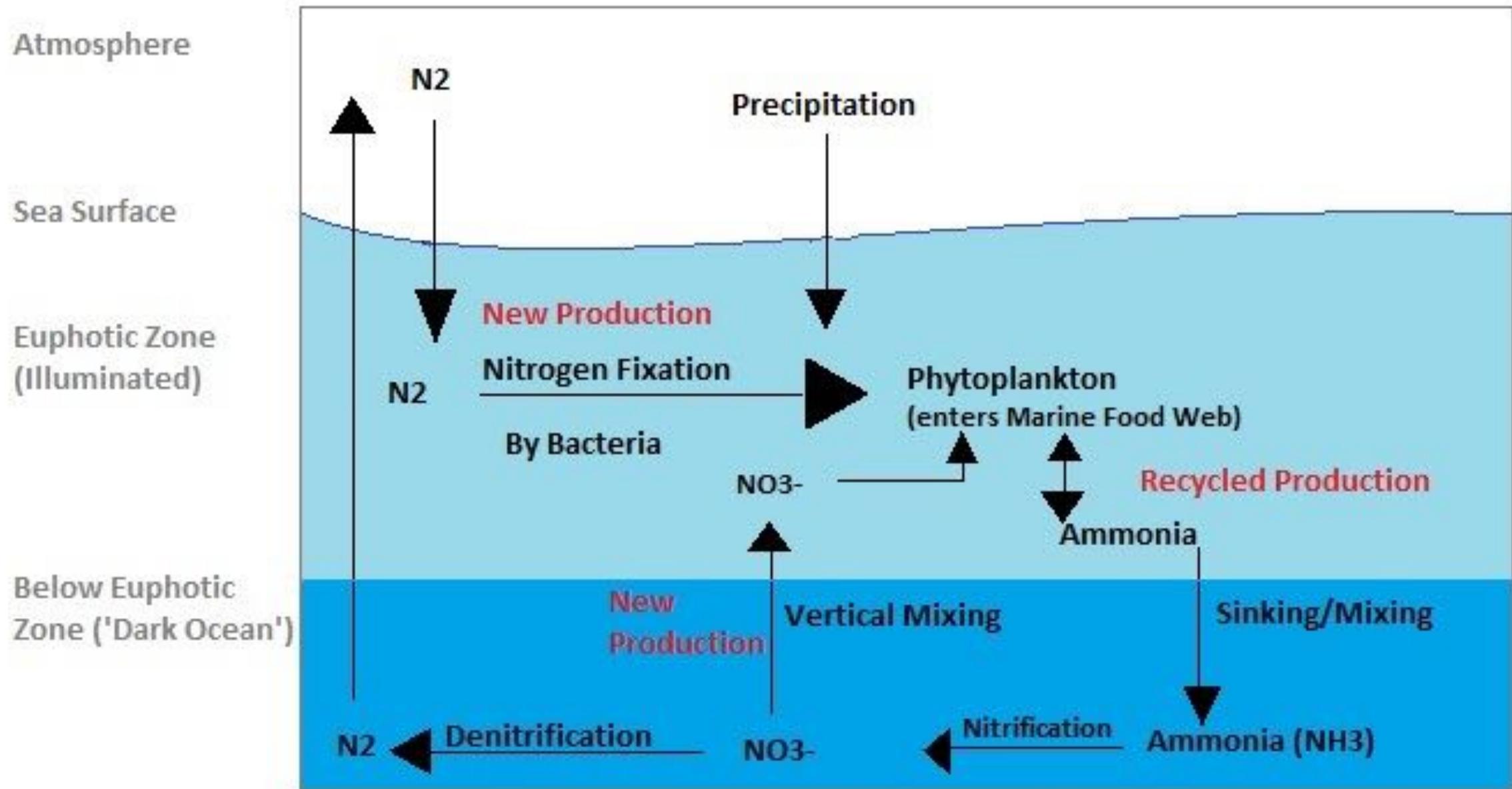


La denitrificazione è l'ultimo passaggio del ciclo, e restituisce l'azoto all'atmosfera in forma molecolare.

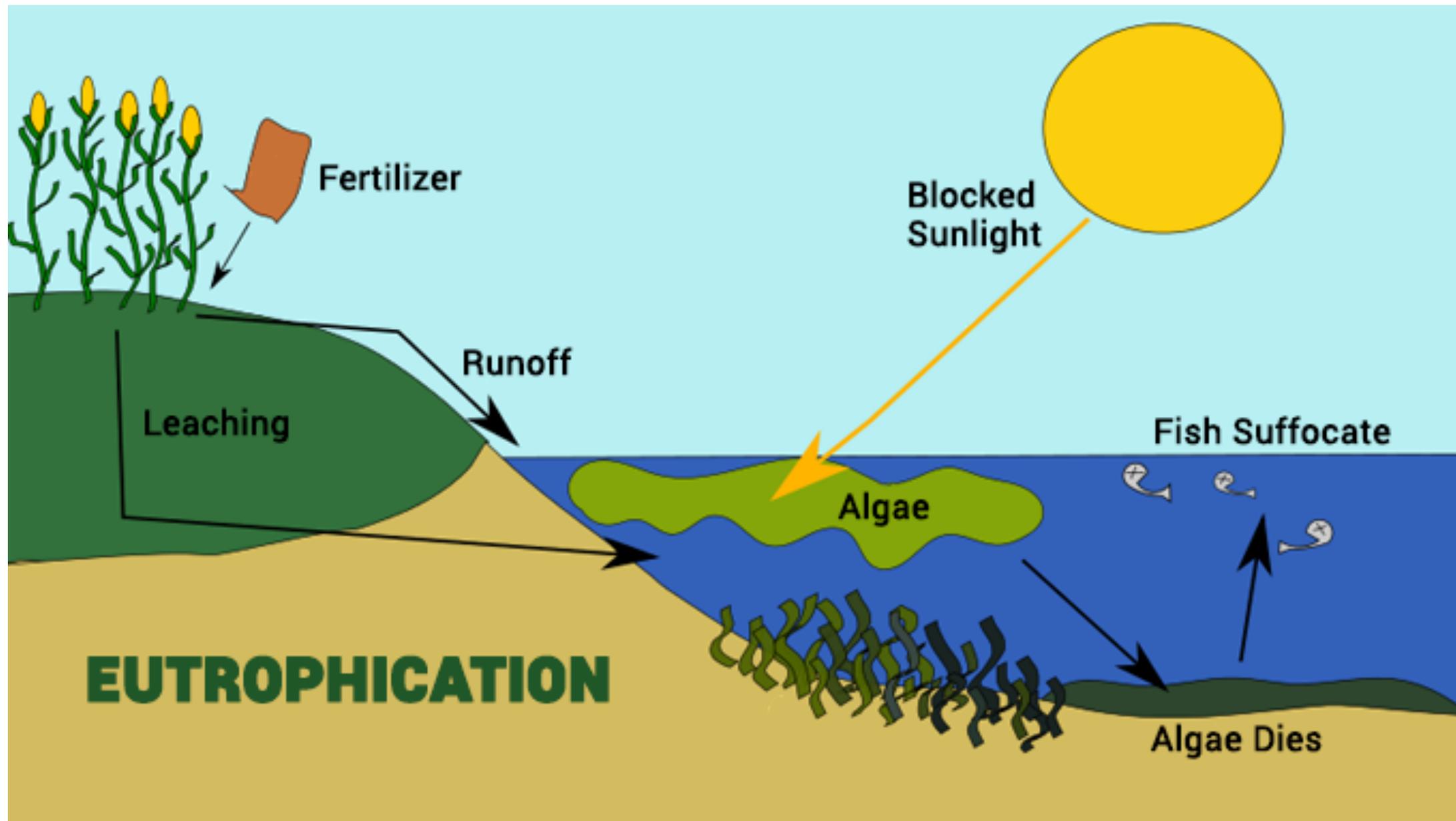
I batteri che praticano questo processo usano i nitrati come accettori di elettroni al posto dell'ossigeno nella respirazione in condizioni anaerobiche. L'azoto viene quindi ridotto, e successivamente liberato in atmosfera. I batteri capaci di questi processi, principalmente *Clostridium* e *Pseudomonas*, sono anaerobi facoltativi, e possono quindi attivare questa catena metabolica in assenza di ossigeno.



# Il ciclo dell'azoto in ambiente marino



# Effetti dello sbilanciamento del ciclo dell'azoto: eutrofizzazione



# Effetti dello sbilanciamento del ciclo dell'azoto: ozono troposferico

## Tropospheric Ozone ( $O_3$ )

Tropospheric Ozone ( $O_3$ ) is a major air and climate pollutant. It causes warming and is a highly reactive oxidant, harmful to crop production and human health.  $O_3$  is known as a 'secondary' pollutant because it is **not emitted directly**, but instead forms when precursor gases react in the presence of sunlight.

**LIFETIME IN ATMOSPHERE**  
Weeks

Stratosphere 60km  
Troposphere 10km

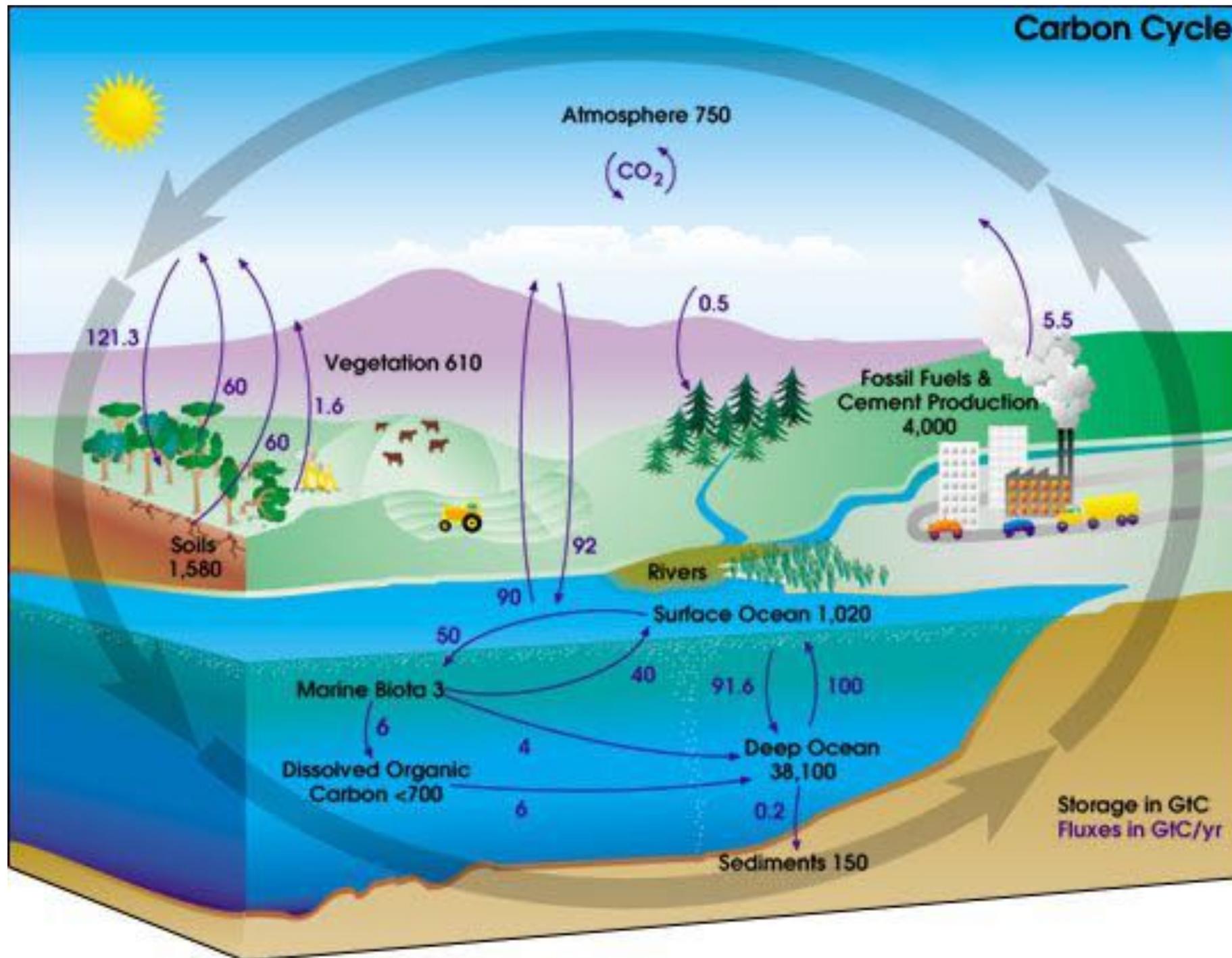
**IMPACTS**

- $O_3$  precursors can be carried round the globe, making it a transboundary pollution problem
- Tropospheric  $O_3$  warms the atmosphere
- $O_3$  damages plants and affects agricultural production:
  - Reducing photosynthesis
  - Reducing the plants ability to sequester carbon
  - Reducing health and productivity of crops
- $O_3$  air pollution causes over 150 thousand premature deaths every year, and millions more chronic diseases, particularly in children and the elderly

**PRECUSOR GAS SOURCES**

©CAC

# Il ciclo del carbonio



Pool di riserva: Acque, sedimenti organici e depositi di combustibili fossili

Il carbonio in atmosfera si trova principalmente in due forme: **anidride carbonica** (CO<sub>2</sub>) e **metano** (CH<sub>4</sub>). Il metano, è un gas serra molto più efficace dell'anidride carbonica, ma la sua concentrazione rispetto a questa è infinitesimale.

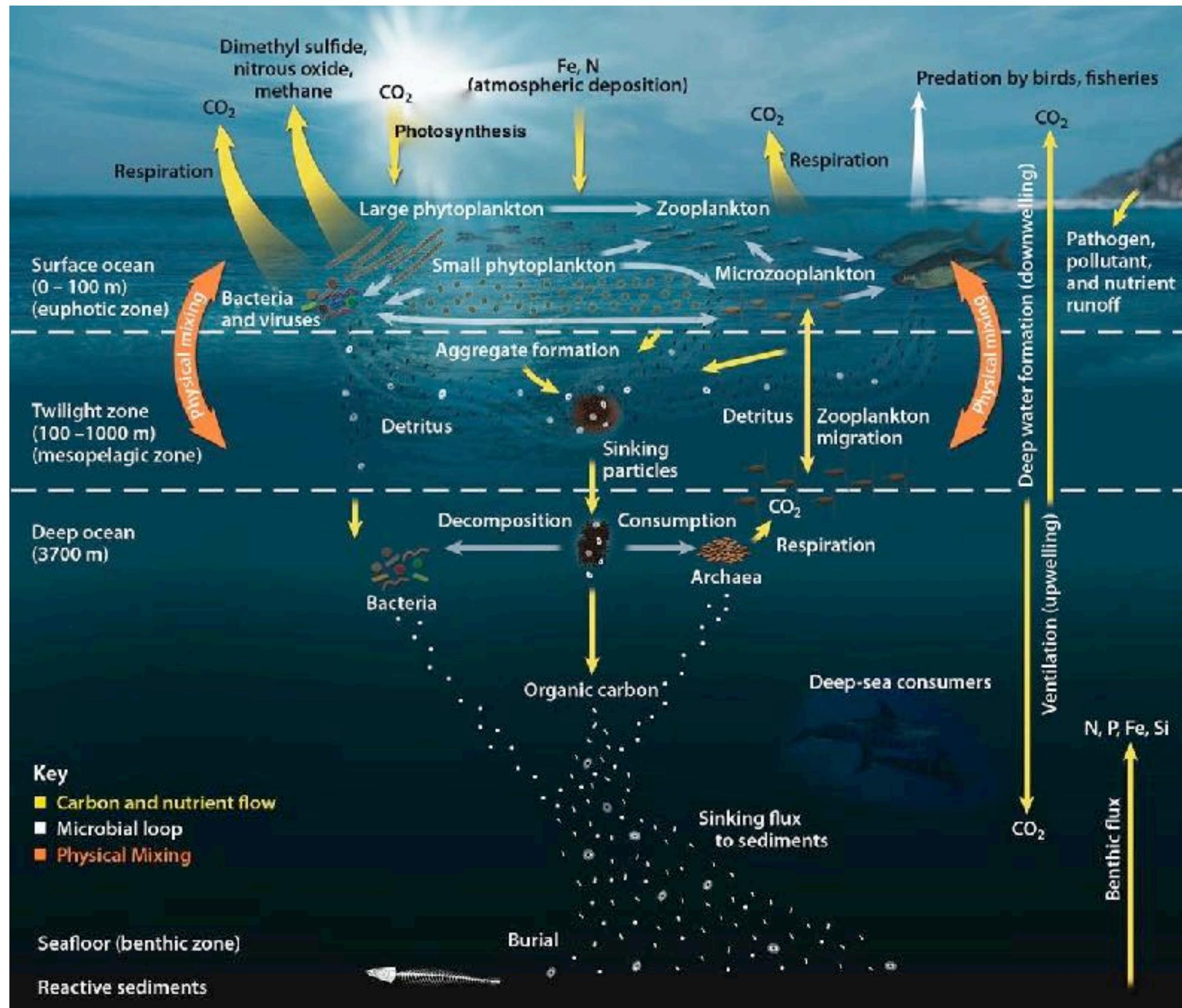
La **rimozione** dall'atmosfera avviene principalmente per fotosintesi e per dissoluzione nei corpi idrici.

L'**immissione** in atmosfera avviene principalmente per respirazione, liberazione dai corpi idrici e per uso dei combustibili fossili.

I mari contengono circa 38 GigaTonnellate (miliardi di tonnellate) di carbonio, su circa 40 Gt di carbonio totale “attivo”.

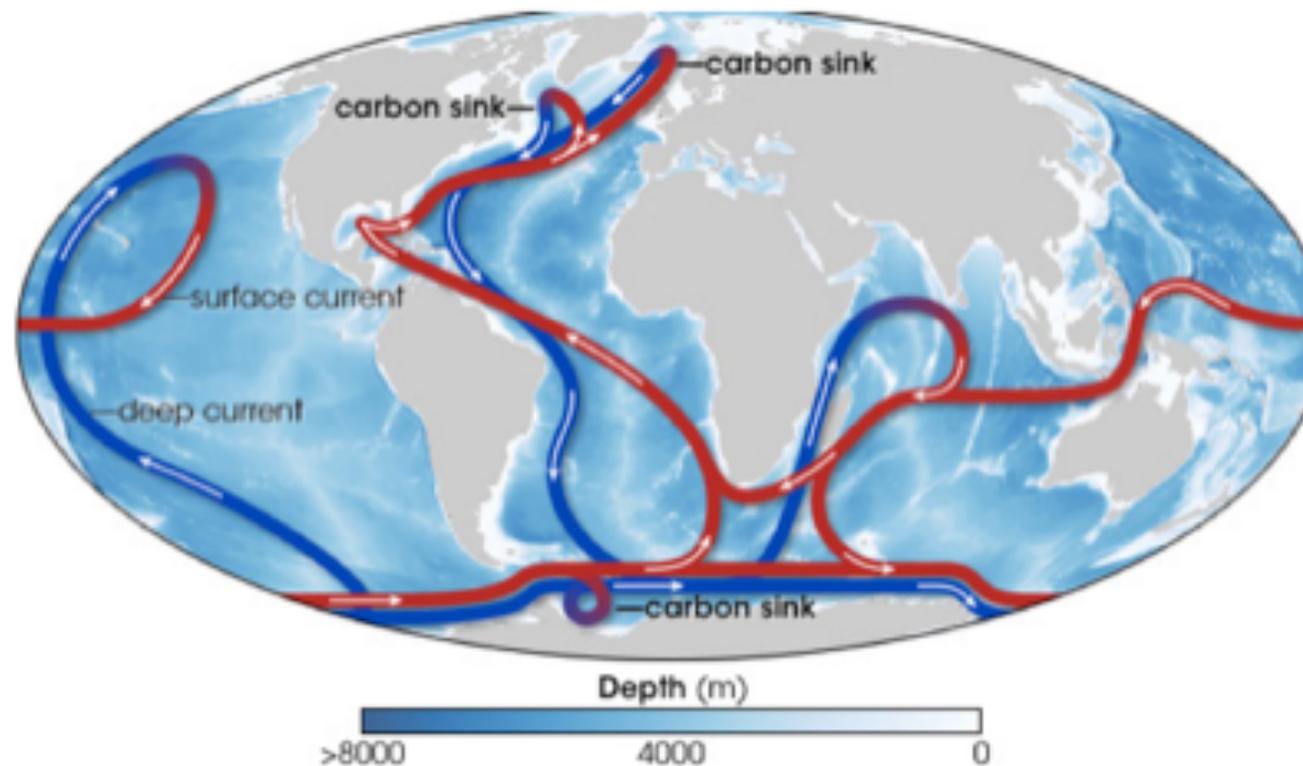
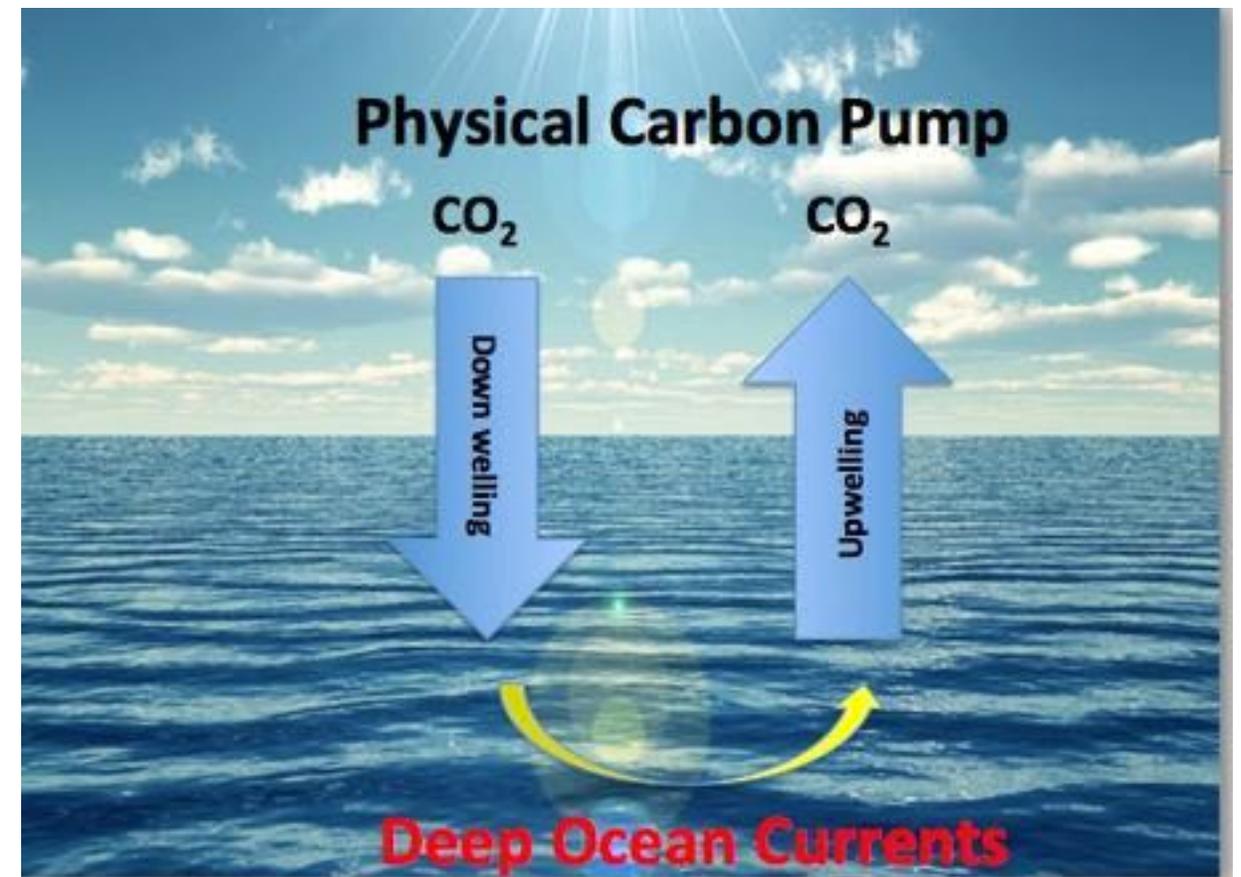
Il carbonio, una volta dissolto nelle acque di superficie, può circolare tramite tre meccanismi:

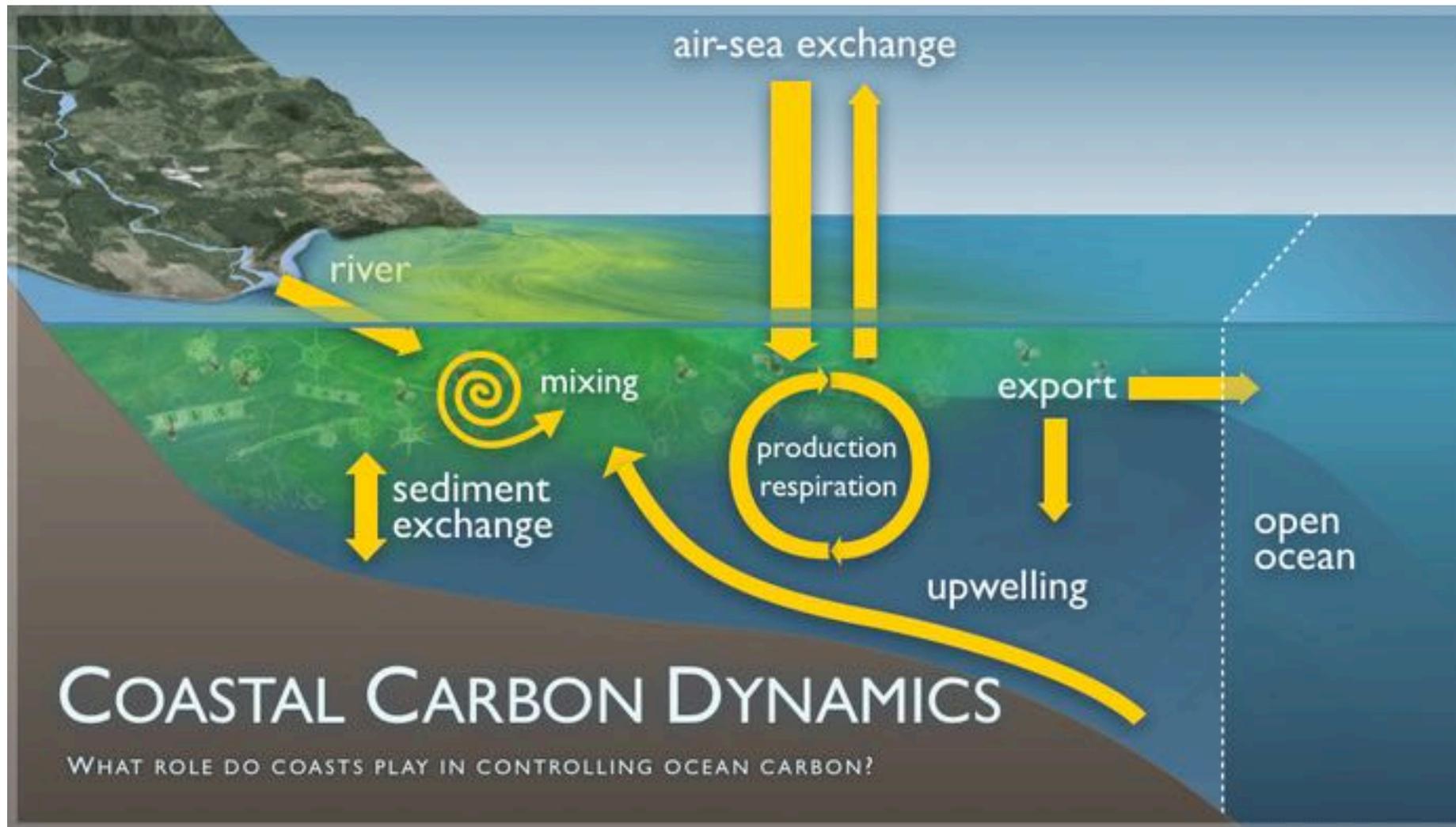
- pompa fisica
- pompa biologica
- pompa dello ione carbonato



Il *downwelling* porta l'anidride carbonica disciolto nell'acqua verso gli strati profondi, più freddi, dove questo viene trattenuto.

L'*upwelling*, che avviene principalmente lungo le coste, porta acqua fredda in superficie, riscaldandola, e, a causa dell'aumento dell'energia cinetica derivante dal riscaldamento, rilasciando parte dell'anidride carbonica disciolta.

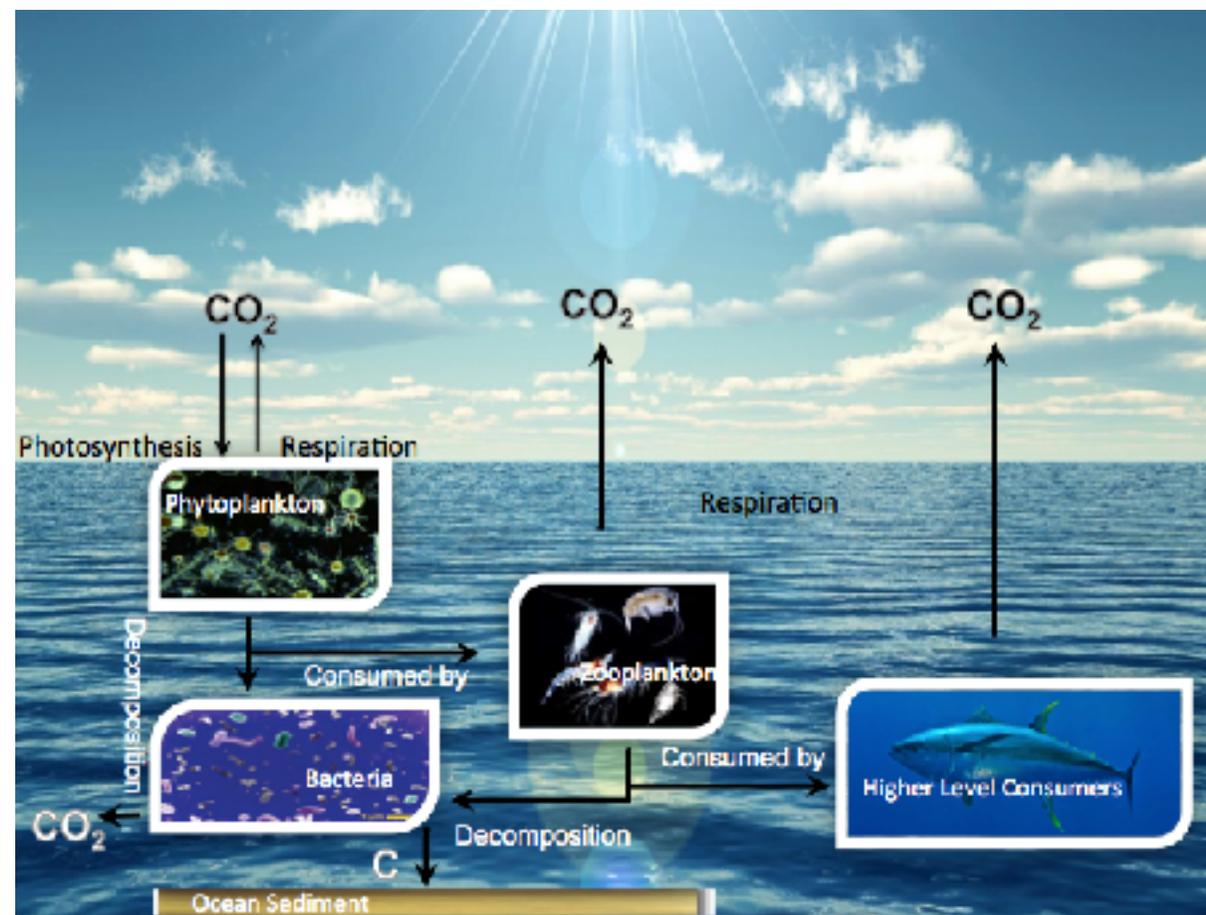




La pompa biologica del carbonio coinvolge la rete trofica marina.

Il primo attore è il **fitoplancton**, che, tramite la fotosintesi, nell'area eufotica, organica il carbonio, rendendolo disponibile per gli eterotrofi marini.

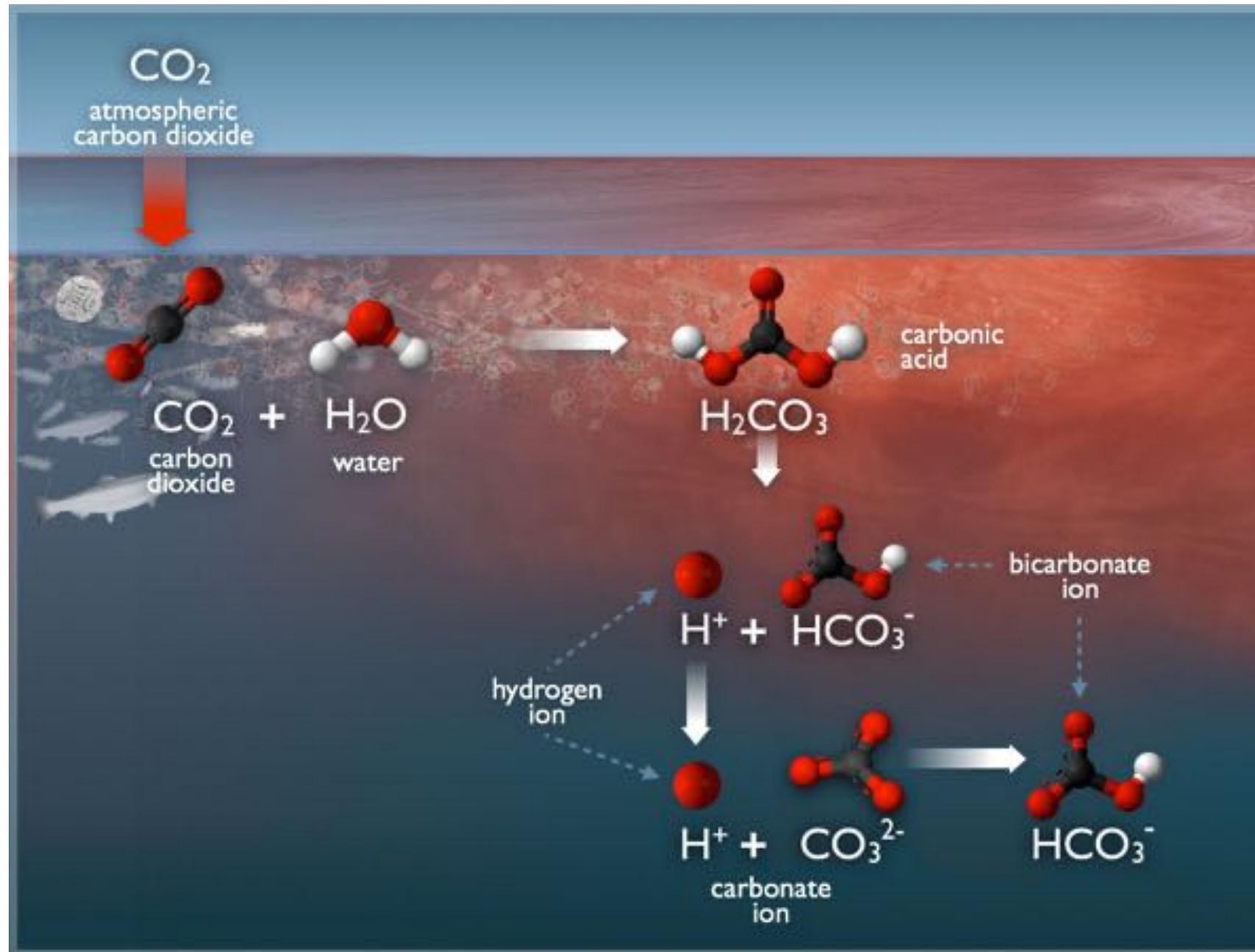
Al pari della pompa biologica in ambiente terrestre, il ciclo del carbonio in acqua si basa sulla sequenza fotosintesi, respirazione, decomposizione.



La pompa biologica ha un ruolo fondamentale in:

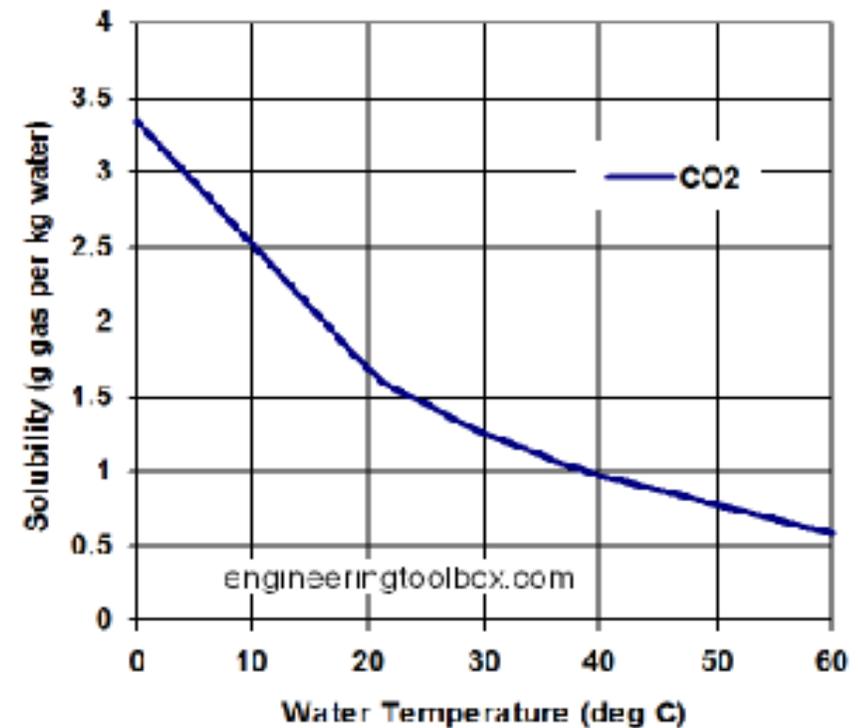
1. trasformare l'anidride carbonica in altri composti contenenti carbonio
2. far circolare il carbonio negli oceani
3. far sì che almeno una parte del carbonio si depositi nei sedimenti profondi.

Delle circa 50 Gt annue che circolano nella pompa biologica marina, solo una piccola frazione (tra l'uno e il 15 per cento, a seconda delle condizioni ambientali) raggiunge i sedimenti. Il resto circola nella rete trofica, e viene restituito all'atmosfera.



Altro meccanismo fondamentale è la pompa dello ione bicarbonato. L'anidride carbonica si combina con molecole d'acqua secondo una reazione reversibile, il cui equilibrio è governato dalla salinità e dalla temperatura.

La Solubilità dell'anidride carbonica è direttamente dipendente dalla temperatura. Temperature elevate dell'acqua riducono notevolmente la quantità di anidride carbonica disciolta.

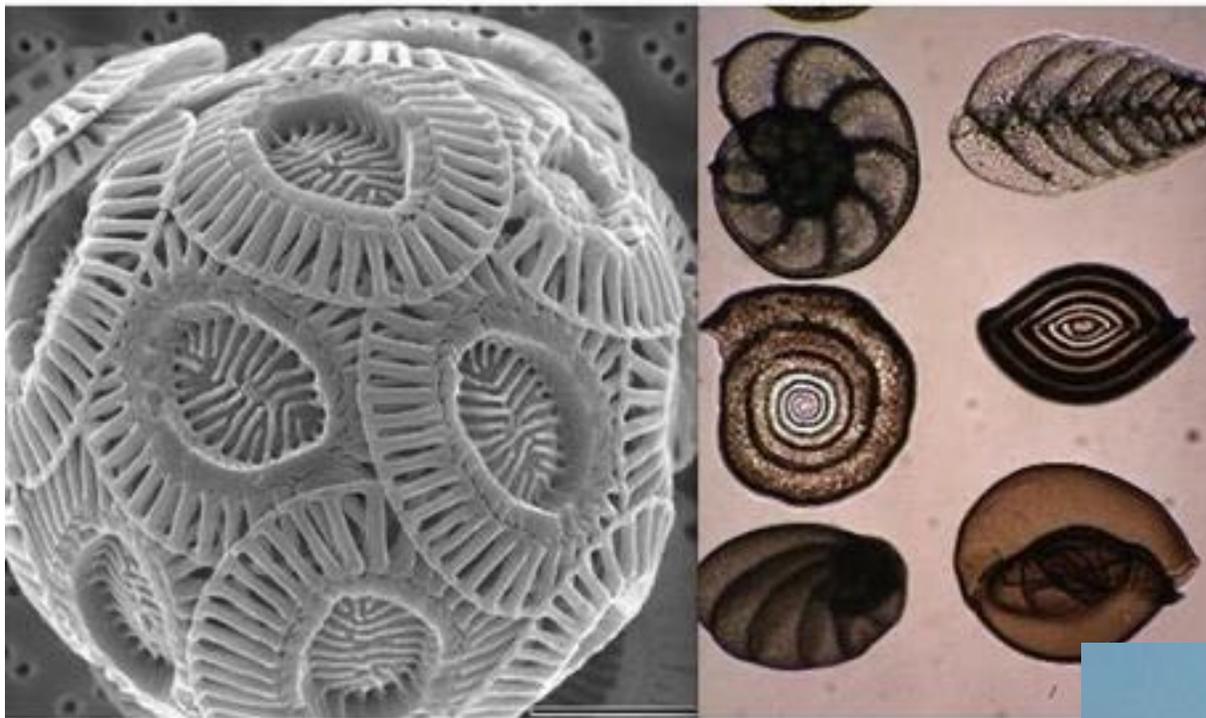


Inoltre, l'alcalinità del mare influenza direttamente l'equilibrio tra anidride carbonica, ione bicarbonato e ione carbonato.

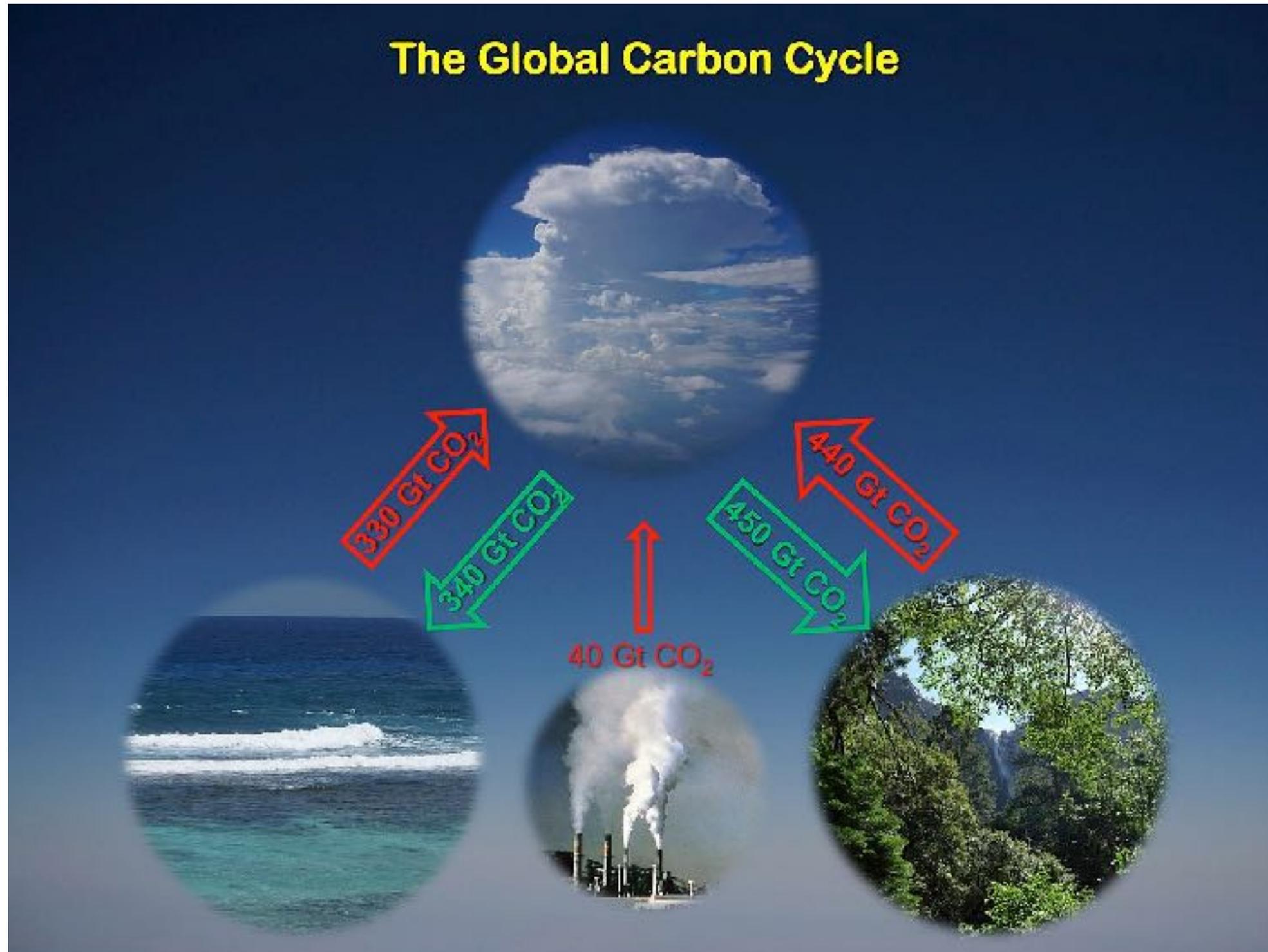
In mare il bilanciamento tra ioni positivi (come  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) e negativi (come  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$ ) è normalmente leggermente a favore delle cariche positive, stimolando per compensazione l'equilibrio verso lo ione bicarbonato e lo ione carbonato.

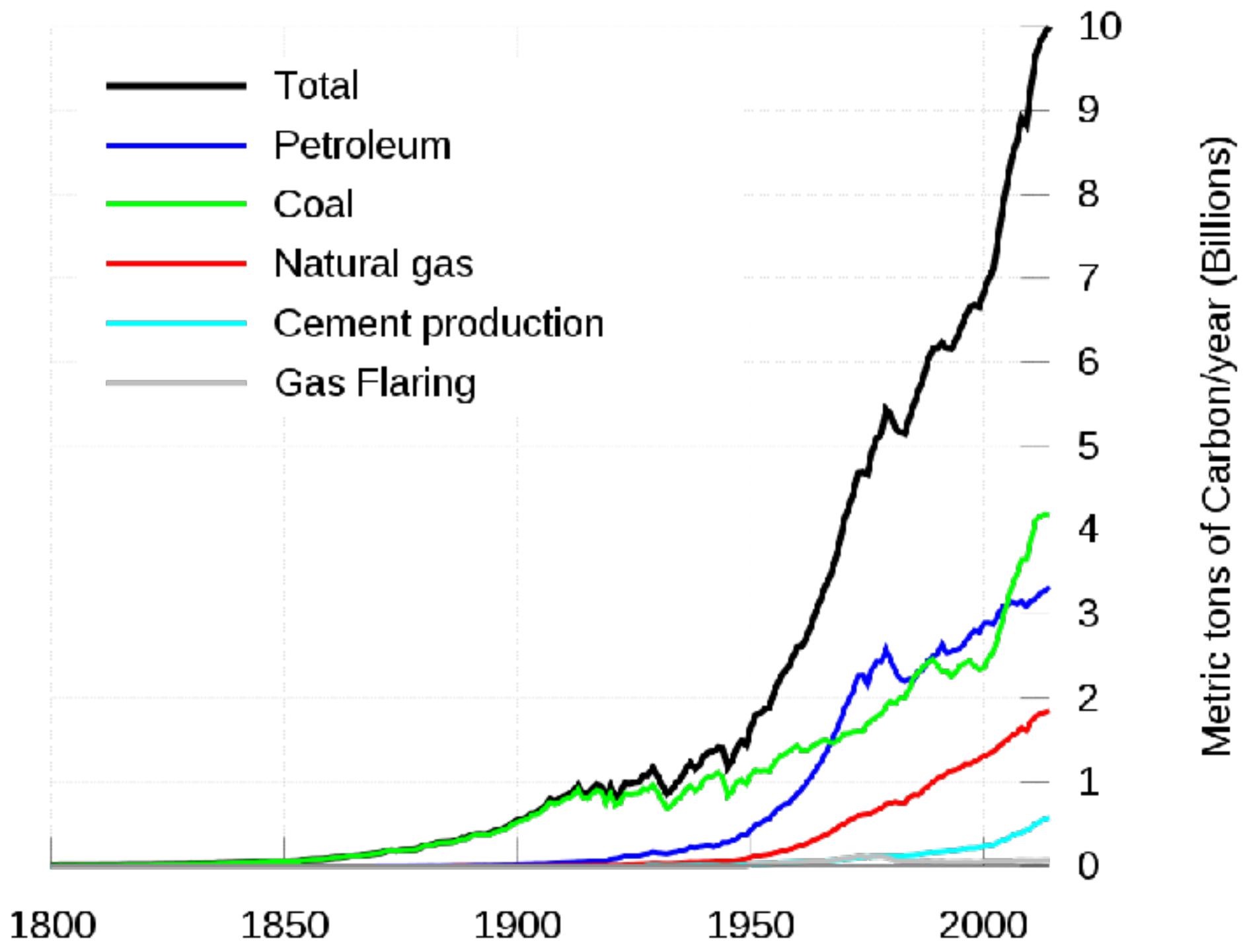
Gli organismi che producono esoscheletri di carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) favoriscono il deposito sui fondali del carbonio. Nella storia geologica del pianeta, questi organismi hanno prodotto i depositi di calcare, che costituiscono circa l'ottanta per cento del carbonio nella litosfera.

Il restante 20% circa è un insieme di residui organici a vari stadi di degradazione, tra cui anche il carbone, il petrolio e i gas naturali.



# The Global Carbon Cycle





# 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.

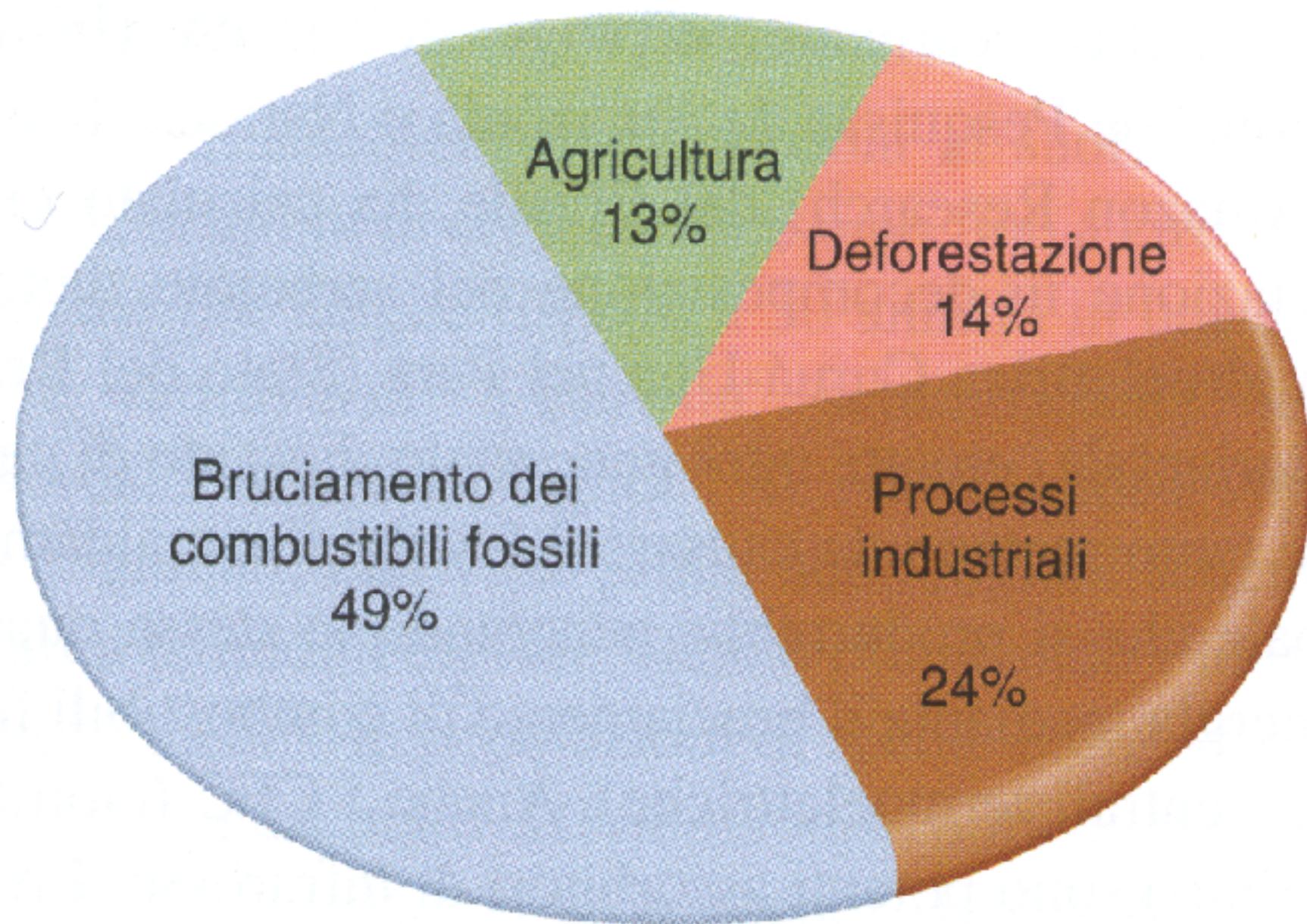
La Terra, come qualunque corpo caldo, emette una radiazione elettromagnetica la cui lunghezza d'onda è correlata alla temperatura del pianeta. Alla attuale temperatura della terra, circa 287 gradi Kelvin (14°C), l'emissione ha una lunghezza d'onda di circa 10 micrometri, e ricade quindi nell'infrarosso.

L'effetto serra ha consentito lo sviluppo della vita sulla terra, mantenendone al temperatura al di sopra del punto di congelamento dell'acqua anche quando il sole emetteva circa il 70% della radiazione attuale. In quella situazione, verificatasi circa 3,5 miliardi di anni fa, la temperatura del pianeta sarebbe stata di circa  $-40^{\circ}\text{C}$ . La temperatura in realtà era molto maggiore grazie alla presenza di concentrazioni di  $\text{CO}_2$  in atmosfera molto maggiori delle attuali, e del conseguente effetto serra.

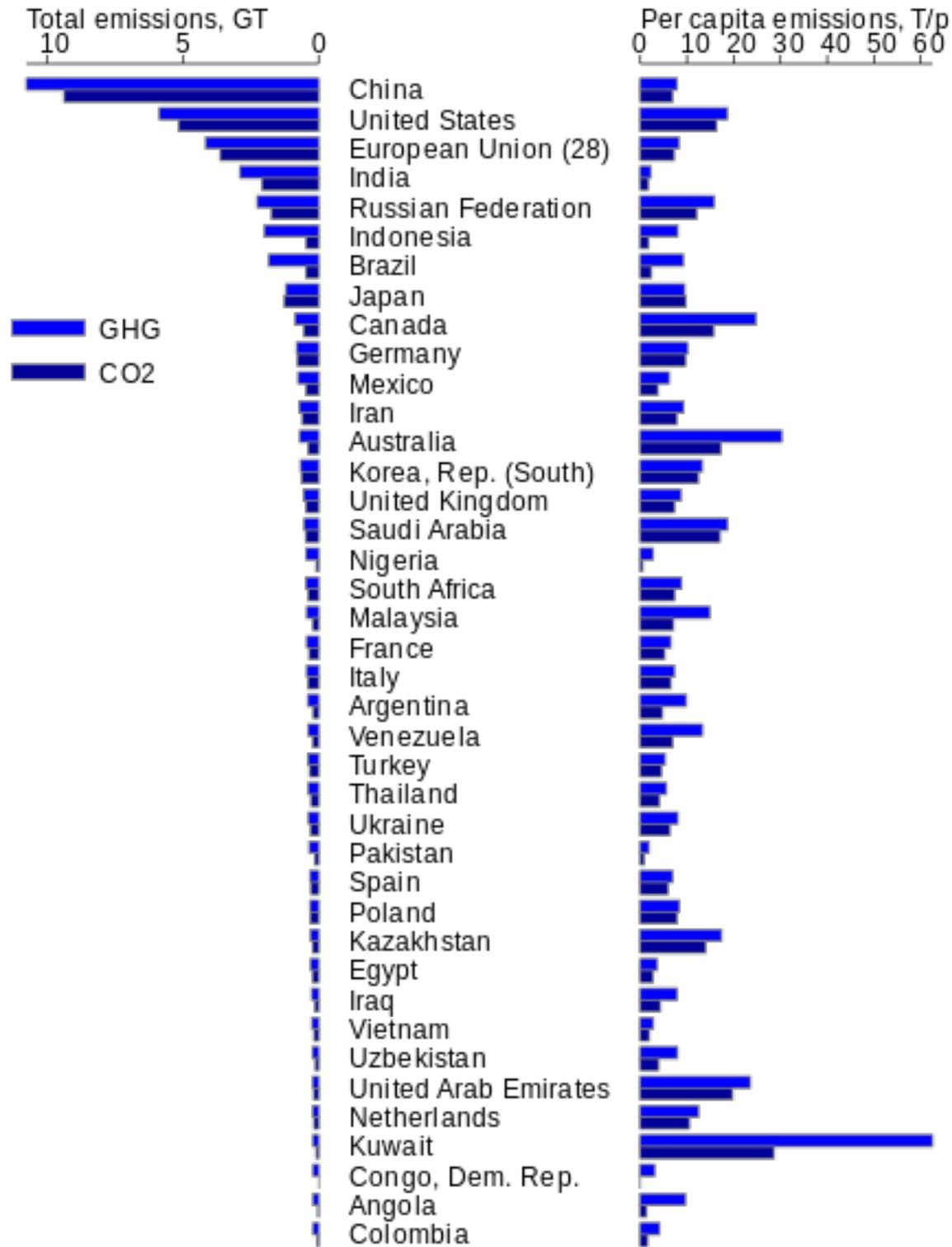
I principali gas serra sono:  
anidride carbonica( $\text{CO}_2$ ),  
metano ( $\text{CH}_4$ ),  
ossido di azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ),  
ozono ( $\text{O}_3$ ),  
clorofluorocarburi (CFC),  
esafloruro di zolfo ( $\text{SF}_6$ ),  
vapore acqueo.

**TABELLA 4.3** Percentuale di riscaldamento globale causata da quattro gas serra

Gas	Percentuale
diossido di carbonio ( $\text{CO}_2$ )	64
metano ( $\text{CH}_4$ )	19
clorofluorocarburi (CFC)	11
monossido di diazoto ( $\text{N}_2\text{O}$ )	6
esafloruro di zolfo ( $\text{SF}_6$ )	0,4



### Total Greenhouse and CO2 emissions 2012



Cumulative energy related carbon dioxide emissions between 1850-2006

