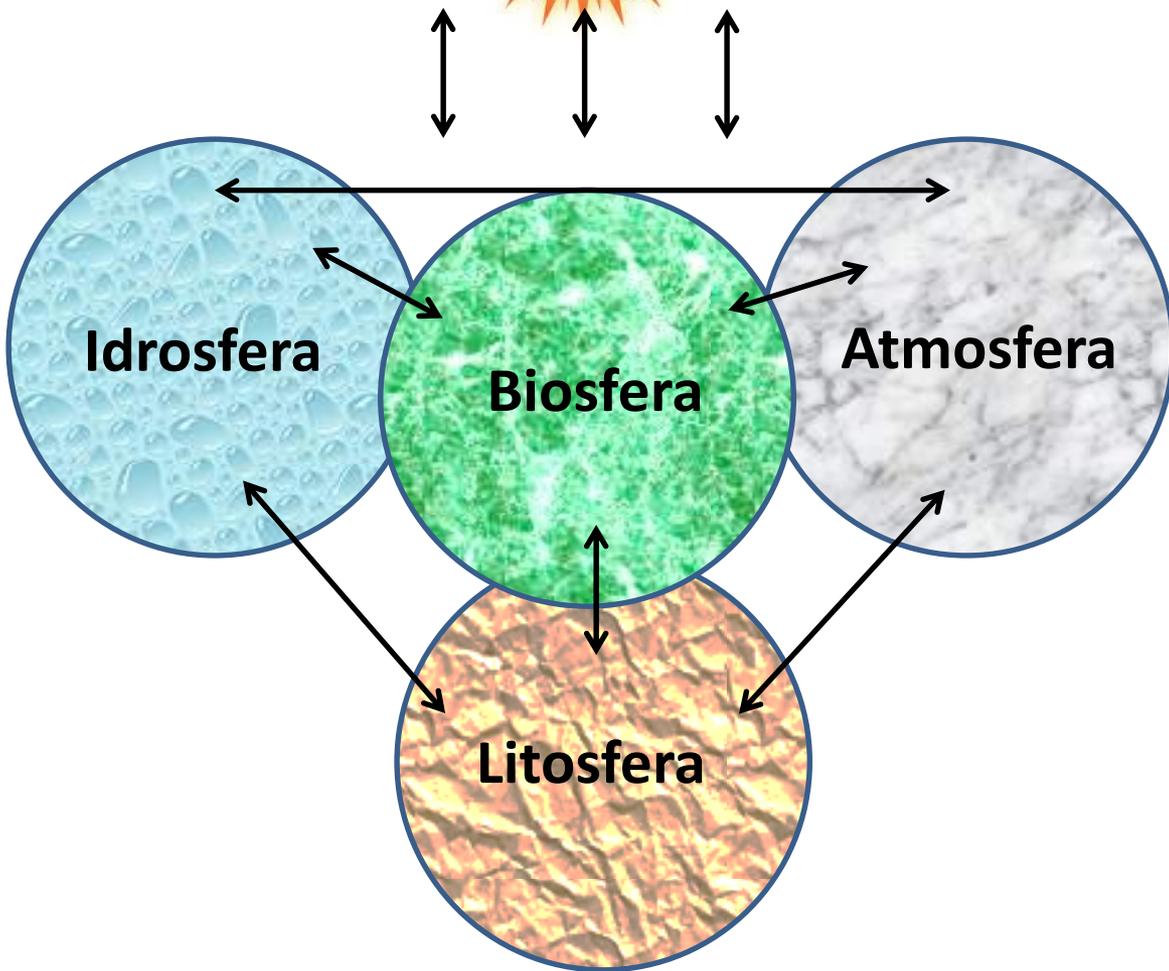


# Biosfera



**Energia Solare**



# 1.1 Biosfera

```
graph TD; A[1.1 Biosfera] --> B[Flussi di energia]; A --> C[Ciclo della materia]; B --> D["APERTO, sempre rinnovato, arriva dal Sole e passa attraverso tutti i livelli biologici ed i fattori ambientali, permettendo la vita come la conosciamo."]; C --> E["CHIUSO, la quantità di materia presente sulla Terra è sostanzialmente stabile, non soggetta a continue immissioni. Gli elementi si combinano in composti che vengono degradati e ricomposti."];
```

## Flussi di energia

**APERTO**, sempre rinnovato, arriva dal Sole e passa attraverso tutti i livelli biologici ed i fattori ambientali, permettendo la vita come la conosciamo.

## Ciclo della materia

**CHIUSO**, la quantità di materia presente sulla Terra è sostanzialmente stabile, non soggetta a continue immissioni. Gli elementi si combinano in composti che vengono degradati e ricomposti.

# 1.1 Biosfera

In sintesi è

- quella parte della Terra in cui esiste la vita e nella quale organismi viventi e ambiente fisico sono strettamente interconnessi e si evolvono influenzandosi reciprocamente (Vernadsky, 1929).
- un sistema termodinamico che scambia Energia con l'Esterno e Materia solo con l'Interno della Terra (cicli biogeochimici), poiché gli apporti esterni sono quantitativamente limitati (caduta di meteore e meteoriti).

## 2. Cicli biogeochimici

*«Percorso seguito da un determinato elemento chimico all'interno dell'Ecosfera, caratterizzato dal passaggio dalla materia inorganica a quella vivente e viceversa».*

... dove i **processi biologici** cambiano lo stato di ossidazione (redox) degli elementi influenzandone in maniera significativa la mobilità all'interno dei cicli.

**L'uomo**, a sua volta, è in grado di condizionare i cicli con effetti equiparabili a tutti i processi biologici nel loro complesso.

## 2. Cicli biogeochimici

I cicli degli elementi (**ciclo dei nutrienti**) variano a seconda dei loro «serbatoi» principali, dei flussi in gioco e delle interazioni con la biosfera.

### Serbatoi globali (*reservoir o pool*)



**pool di scambio**, labile, di dimensioni ridotte, in cui l'elemento è immediatamente disponibile per gli organismi e gli scambi sono molto più attivi.



**pool di riserva** è abiotico, grande e stabile, dove l'elemento non è subito disponibile e gli scambi con l'ambiente sono poco attivi. Può essere **gassoso o sedimentario**.

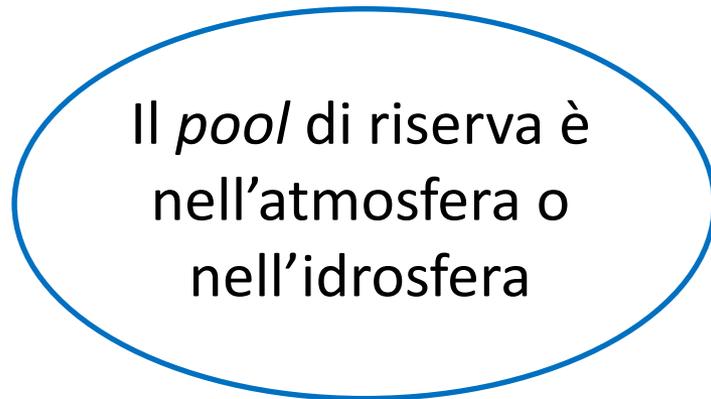
## 2. Cicli biogeochimici

*pool* di riserva:



**Tipo gassoso**

**Tipo sedimentario**



Es. Ciclo dell'Azoto

Es. Ciclo del Fosforo

## 2. Cicli biogeochimici

Azoto

7

**N**

14.001

Fosforo

15

**P**

30.974

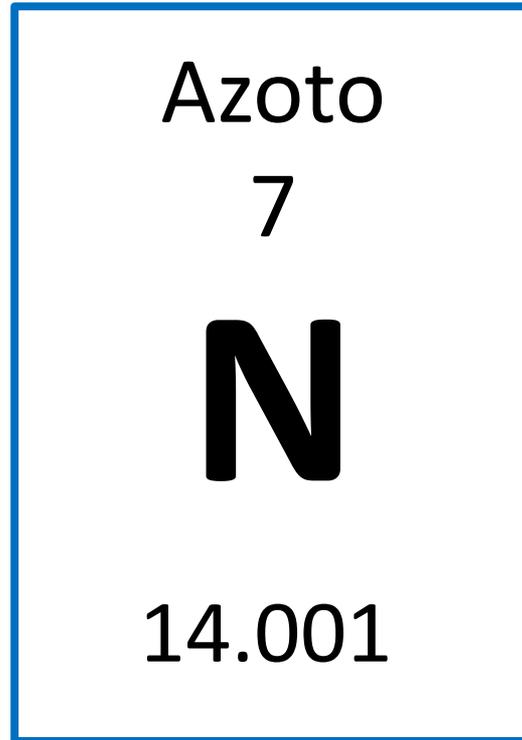
Carbonio

6

**C**

12.011

# 2.1 Ciclo dell'Azoto



## 2.1 Ciclo dell'Azoto

L'**azoto** ( $N_2$ ) è l'elemento più abbondante presente nell'atmosfera (circa 78%). Se come gas non è respirabile molti dei composti in cui è presente sono **indispensabili per i viventi** (aminoacidi, proteine, DNA, RNA, ATP etc.).

Assieme a carbonio (C) e fosforo (P) costituisce i mattoni essenziali per la costruzione di strutture organiche fondamentali come le proteine. Inoltre, l'**azoto** è un **elemento nutritivo essenziale e limitante** per le piante e gli organismi marini autotrofi.

## 2.1 Ciclo dell'Azoto

Il ciclo dell'azoto è un **ciclo biogeochimico** che si svolge tra suolo, atmosfera e biosfera, ma viene definito **gassoso** perché il deposito maggiore di azoto è l'atmosfera.

La gran parte degli organismi viventi **non può utilizzarlo direttamente, deve prima essere fissato da organismi specializzati** o tramite processi di tipo industriale.

## 2.1 Ciclo dell'Azoto

**Le forme principali di azoto** e i comparti prevalenti sono:

$N_2$  = azoto elementare (atmosfera)

$NH_4^+$  = ione ammonio (pedo e idrosfera)

$NH_3$  = ammoniaca (pedo e idrosfera)

$NO_2^-$  = ione nitrito (pedo e idrosfera)

$NO_3^-$  = ione nitrato (pedo e idrosfera)

N organico (bio, pedo, idrosfera)

# 2.1 Ciclo dell'Azoto

**Le principali reazioni** che regolano il ciclo dell'azoto sono:

Azoto-fissazione = batteri

Assimilazione e biosintesi = (piante e animali)

Decomposizione = (batteri e funghi)

Nitrificazione = (batteri)

Ammonificazione = (batteri)

Denitrificazione = (batteri)

# 1. Azoto-fissazione 1/4

L'**azoto-fissazione** è il processo attraverso il quale l'**azoto molecolare** ( $N_2$ ) presente in atmosfera viene convertito in **ione ammonio** ( $NH_4^+$ ) o ammoniaca ( $NH_3$ ).

La chiave della bio-fissazione è l'enzima *nitrogenasi* che catalizza la scissione della molecola  $N_2$  in due atomi (N) ed è molto dispendiosa in termini energetici poiché molta energia è richiesta per rompere il triplo legame.



# 1. Azoto-fissazione 2/4

La reazione è operata dai **batteri diazotrofi** dei generi *Clostridium* e *Azotobacter*, batteri (in simbiosi azotofissatrice) dei generi *Frankia* e 6 generi di **batteri rizobiali**: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium* e *Allorhizobium*.

Grande importanza rivestono poi i **cianobatteri** dei generi *Anabaena*, *Nostoc*, *Calothrix* (aerobi), *Oscillatoria* e *Plectonema* (anaerobi).

# 1. Azoto-fissazione 3/4

Anche se una buona parte del processo viene **svolta da microorganismi** sia marini che, soprattutto, terrestri **e, in minima parte anche per via inorganica** attraverso fenomeni ionizzanti (**radiazione cosmiche o i fulmini**)...

... la maggiore fonte planetaria di azoto-fissazione, però, è rappresentata dai processi di **tipo industriale** per la produzione di **fertilizzanti** per uso agricolo.



# 1. Azoto-fissazione 4/4



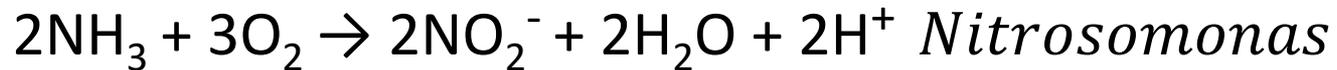
La produzione di **fertilizzanti** di sintesi ha permesso uno sviluppo incredibile dell'**agricoltura intensiva**.



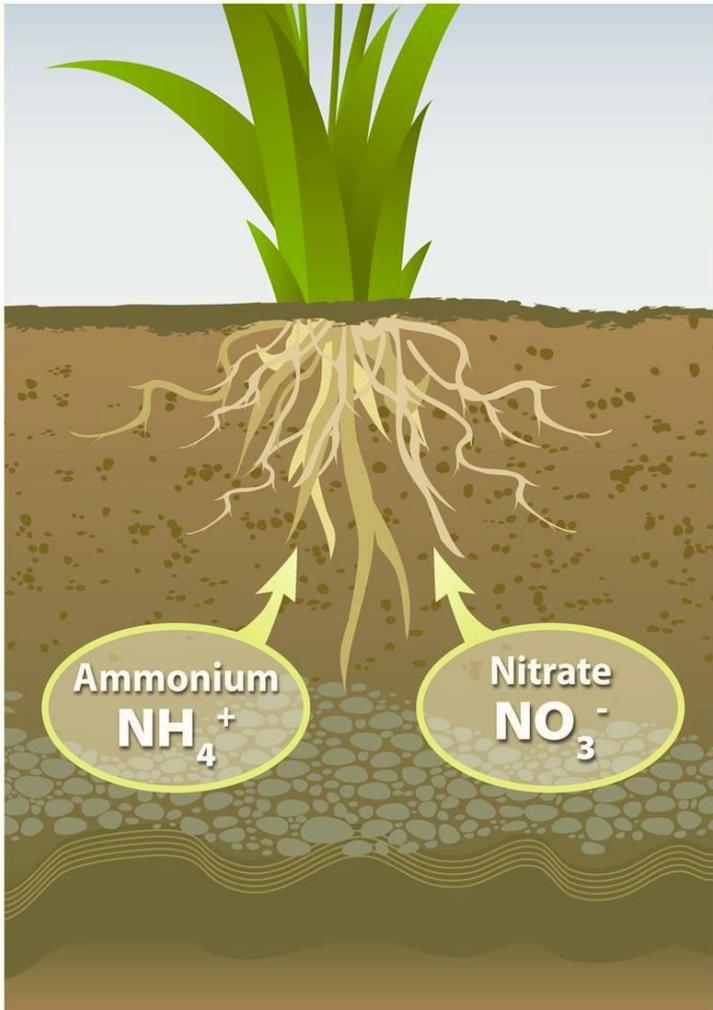
L'immissione di enormi quantità di azoto nell'idrosfera tramite il dilavamento dei suoli agricoli può causare fenomeni di **eutrofizzazione**.

## 2. Nitrificazione 1/2

Batteri appartenenti ai generi *Nitrosomonas*, *Nitrocystis*, *Nitrospira* convertono lo ione ammonio e l'ammoniaca in nitrito e il nitrito in nitrato (nitratazione):



## 2. Nitrificazione 2/2



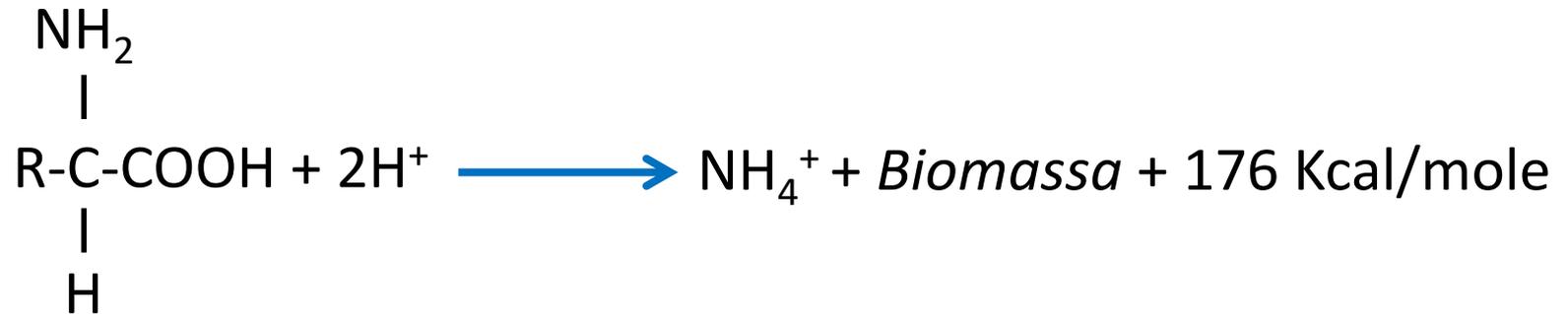
**Assorbimento radicale** di  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  da parte delle piante.

Preferenzialmente assimilano  $\text{NO}_3^-$  perché  $\text{NH}_4^+$  ha una **mobilità inferiore** a causa della carica positiva che lo «intrappola» nelle particelle di argilla caricate negativamente.

Dopo la morte delle piante la **decomposizione della sostanza organica** rimette in circolo  $\text{NH}_4^+$  (**AMMONIFICAZIONE**).

# 3. Ammonificazione

Nella **degradazione dei composti azotati organici** (proteine), ad opera di batteri e funghi, porta alla formazione di  $\text{NH}_4^+$ :



Una parte di  $\text{NH}_4^+$  prodotto viene incorporato nelle nuove cellule per quanto necessita alla crescita mentre l'eccesso viene rilasciato come  $\text{NH}_4^+$  (*Deaminazione*).

# 4. Denitrificazione

**Riduzione di nitrati e nitriti** e produzione finale di monossido di azoto (NO), ossido di diazoto (**N<sub>2</sub>O**) e azoto molecolare (N<sub>2</sub>) **completano il ciclo dell'azoto:**

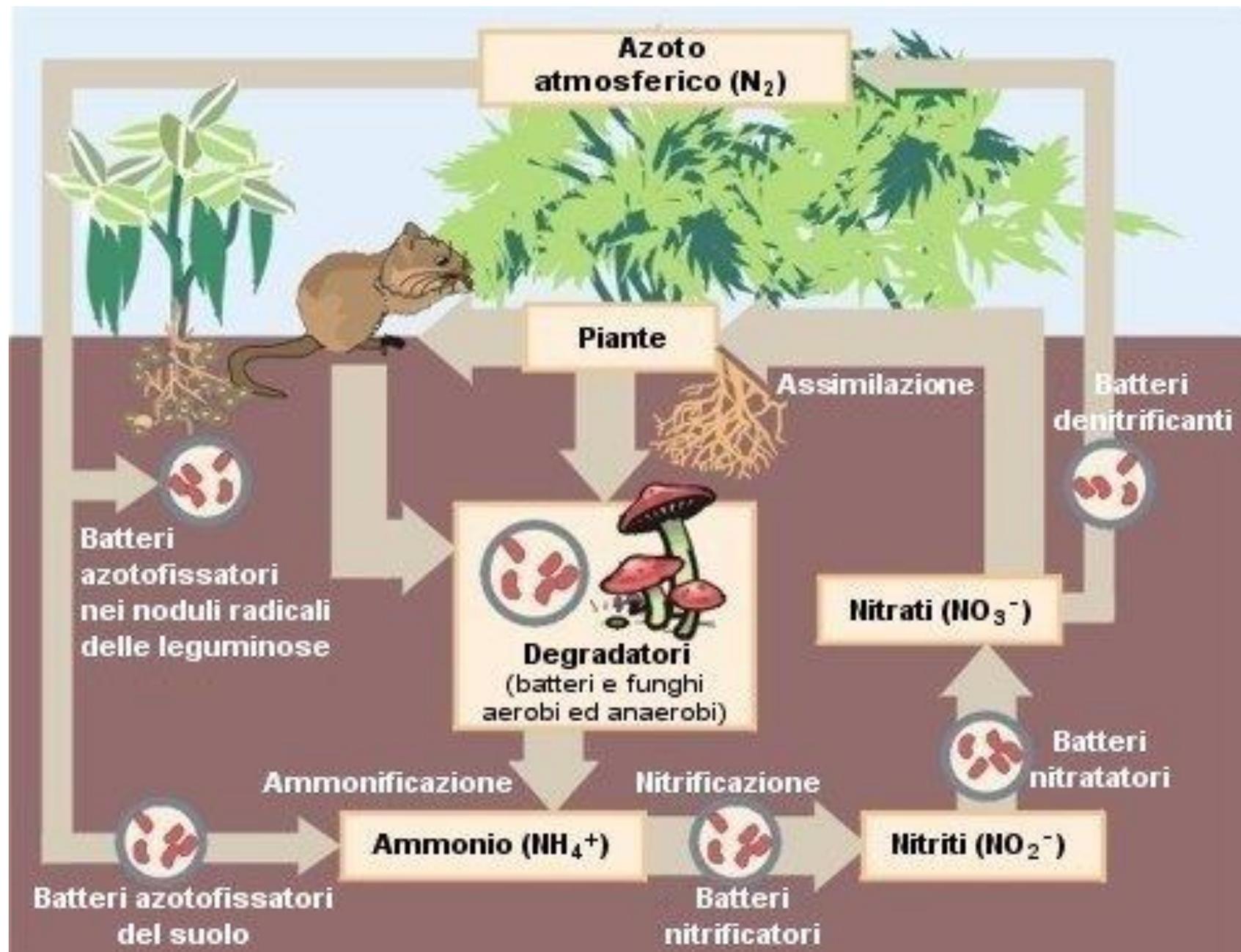


Batteri anaerobi eterotrofi facoltativi (come *Paracoccus denitrificans* e varie specie di *Pseudomonas*) utilizzano la sostanza organica come elettrone-donatore (si ossida).

## 4. Denitrificazione

L'ossido di diazoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ) è un **potente gas serra**, più efficace della  $\text{CO}_2$ .

È sostanzialmente inerte nella troposfera, ma nella stratosfera reagisce con l'ossigeno monoatomico ( $\text{O}\bullet$ ) e produce monossido di azoto ( $\text{NO}$ ) che innesca la **distruzione catalitica dell'ozono** ( $\text{O}_3$ ).

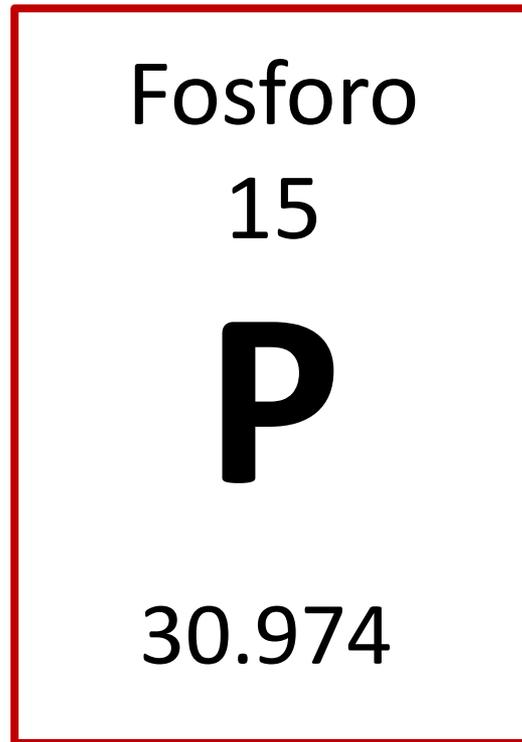


# Ciclo dell'Azoto

## Reazioni chimiche

- **AZOTO-FISSAZIONE** è il processo attraverso il quale l'**azoto molecolare** ( $N_2$ ) presente in atmosfera viene convertito in **ammonio** ( $NH_4^+$ ) o **ammoniaca** ( $NH_3$ ).
- **NITRIFICAZIONE** è una reazione svolta da alcuni microorganismi capaci di ossidare lo **ione ammonio** ( $NH_4^+$ ) in **nitrito** ( $NO_2^-$ ) e il nitrito in **nitrate** ( $NO_3^-$ ).
- **AMMONIFICAZIONE** è il processo di conversione dell'azoto organico (es. aminoacidi) in  $NH_4^+$ . Questo processo è caratteristico della **decomposizione della sostanza organica**.
- **DENITRIFICAZIONE** indica la riduzione di **nitriti e nitrati** in composti gassosi: **azoto molecolare** ( $N_2$ ), **ossido di diazoto** ( $N_2O$ ) e monossido di azoto ( $NO$ ).

## 2.2 Ciclo del Fosforo



## 2.2 Ciclo del Fosforo

Il Fosforo (P) è un **elemento raro** nella biosfera ma è anche **essenziale** nella chimica della vita:

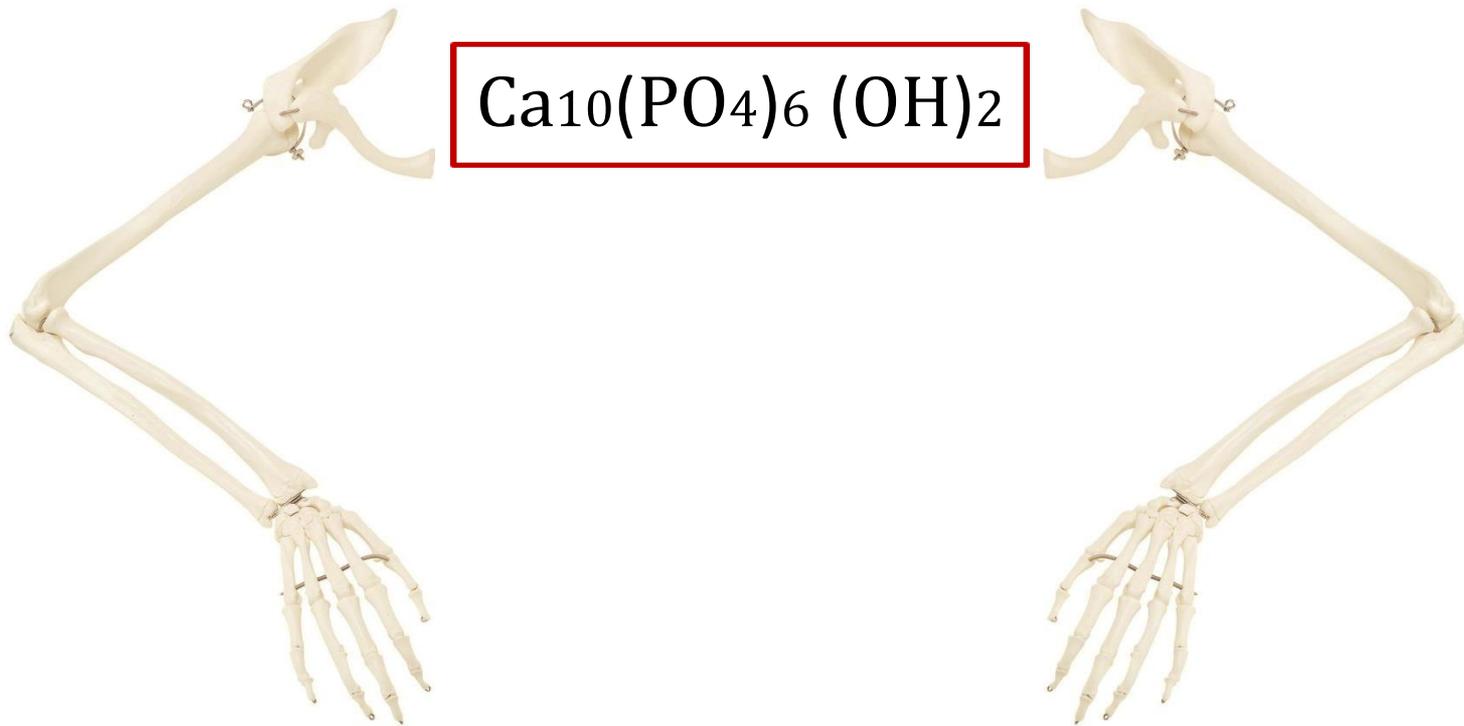


Mezzo per il  
trasferimento di energia  
(ATP e ADP)

Componente delle  
membrane biologiche  
e del DNA

Fa parte dei **legami fosfodiesterici** che legano i nucleotidi nelle catene di DNA e RNA, mentre il **ciclo dell'ADP/ATP** fornisce l'energia necessaria alla sintesi di molecole organiche complesse.

## 2.2 Ciclo del Fosforo



Il fosforo è relativamente abbondante nei vertebrati perché è un costituente dell'**idrossiapatite** che costituisce quasi il 60% delle ossa ed il 70% dei denti.



## 2.2 Ciclo del Fosforo

Il **ciclo biogeochimico** avviene tra litosfera, idrosfera e biosfera e non implica nessuna fase gassosa, anzi trovandosi per lo più allo stato solido, soprattutto **idrosfera e biosfera** sono coinvolte.

È pertanto un **ciclo** di tipo **sedimentario** poiché il **pool di riserva** è costituito quasi esclusivamente da **rocce fosfatiche**:

- solo quando riemergono per eventi geologici, il fosforo può entrare in circolazione per azione erosiva atmosferica o per solubilizzazione dei fosfati.



## 2.2 Ciclo del Fosforo

Immagazzinato in gran parte nelle **apatiti cristali**:



dove  $X = \text{F}$  nelle **fluoroapatiti**,  $\text{OH}$  nelle **idrossiapatiti**,  $\text{Cl}$  nelle **cloroapatiti**.

L'alterazione delle apatiti rilascia fosfati solubili ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) che possono, in tal forma, essere assimilati dagli organismi vegetali dato che il **P** come elemento è generalmente un **nutriente limitante**.

## 2.2 Ciclo del Fosforo

Tuttavia, solo una piccola frazione di ione  $\text{PO}_4^{-3}$  è disponibile nel suolo; disponibilità che inoltre varia anche a seconda del pH.

- **“in forma solubile”**, se presente come ione fosfato nella soluzione del suolo;
- **“*pool* labile”**, se come ione fosfato viene trattenuto sui colloidi del suolo in equilibrio con le acque interstiziali;
- **“*pool* di riserva”**, se presente in forma insolubile e solo molto lentamente può essere rilasciato nel “*pool* labile” (Es. Apatiti, fosfati di ferro e di alluminio e composti organici del fosforo).

## 2.2 Ciclo del Fosforo

A seconda del pH del suolo, il P può essere più o meno disponibile:

- **pH acido (< 3-5):** composti insolubili con Fe ed Al
- **pH neutro:** maggiore disponibilità e si idrolizzano facilmente
- **pH basico:** composti insolubili con Ca.

A **pH > 5** la solubilità di questi fosfati aumenta e raggiunge il massimo a **pH 6.5**.

## 2.2 Ciclo del Fosforo

- Il P presente nel suolo deriva dalla degradazione di rocce fosfatice (es. *apatite*  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 (\text{X})_2$ );
- Nel suolo forma ioni fosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), molto stabili, sedimenta e può venir reso disponibile per gli organismi viventi da diversi funghi e batteri che lo trasformano nella sua forma più solubile, lo «organico».
- Parte dei  $\text{PO}_4^{-3}$  presenti nel terreno viene dilavata dalle piogge e portata al mare dove viene utilizzata parzialmente da alghe e organismi marini. Parte del  $\text{PO}_4^{-3}$  che arriva al mare ritorna alla terra come escrementi o sedimenta nella zona litorale o nel mare.

## 2.2 Ciclo del Fosforo

Negli ambienti marini e terrestri il **riciclo dell'elemento avviene molto rapidamente grazie alla degradazione** della sostanza organica da parte dei batteri.

**Non esistono** per il fosforo processi simili all'azoto-fissazione che mobilizzino l'elemento né input sostanziali dall'atmosfera.

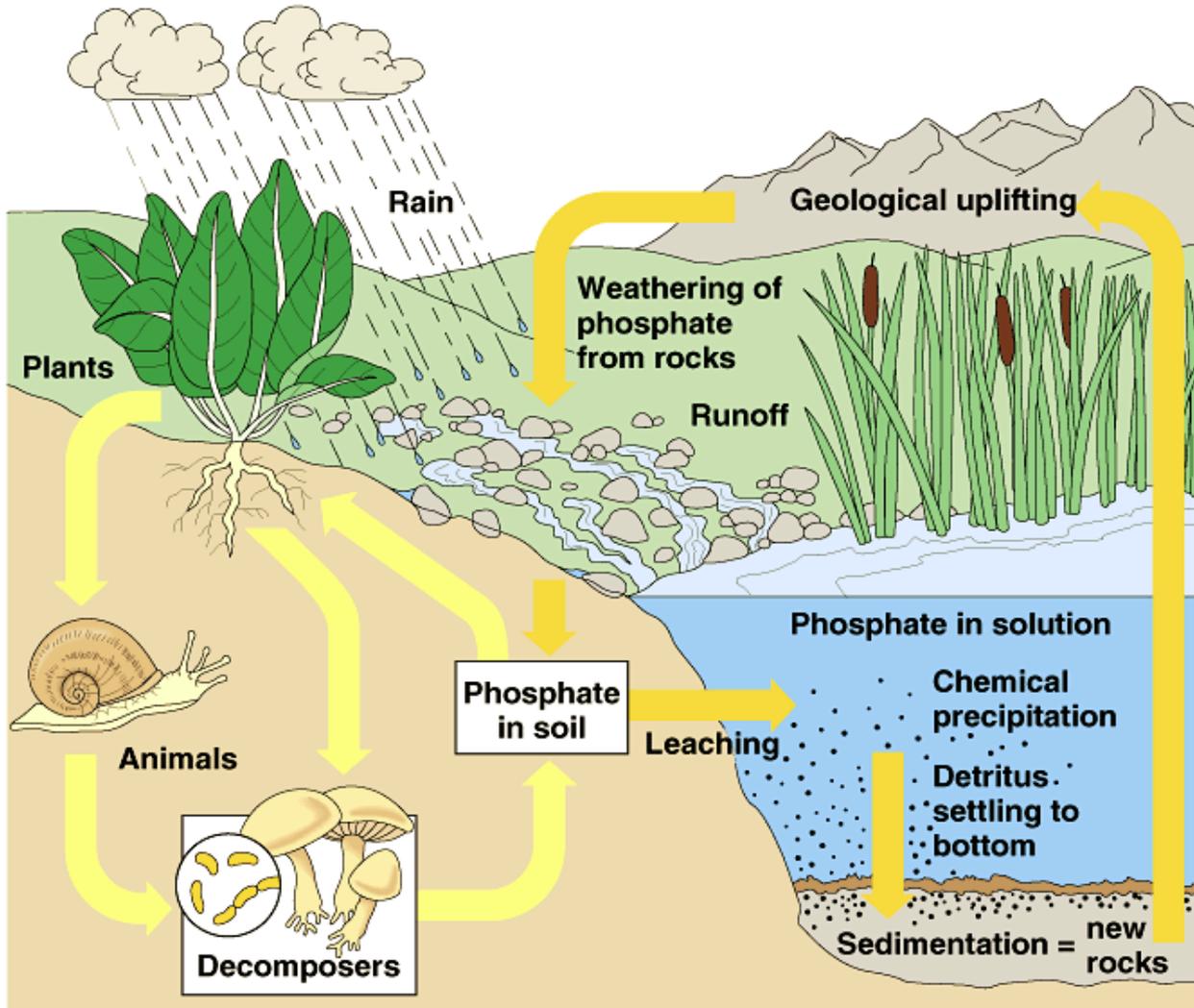
La perdita di fosforo può essere compensata solo dagli apporti provenienti dall'**alterazione dei minerali...**

## 2.2 Ciclo del Fosforo

...oppure dall'uomo tramite l'uso dei **fertilizzanti** e gli scarichi di **reflui** non trattati.

Un eccessivo apporto di nutrienti, in particolare fosfati, in un ambiente acquatico viene indicato con il termine **eutrofizzazione**.

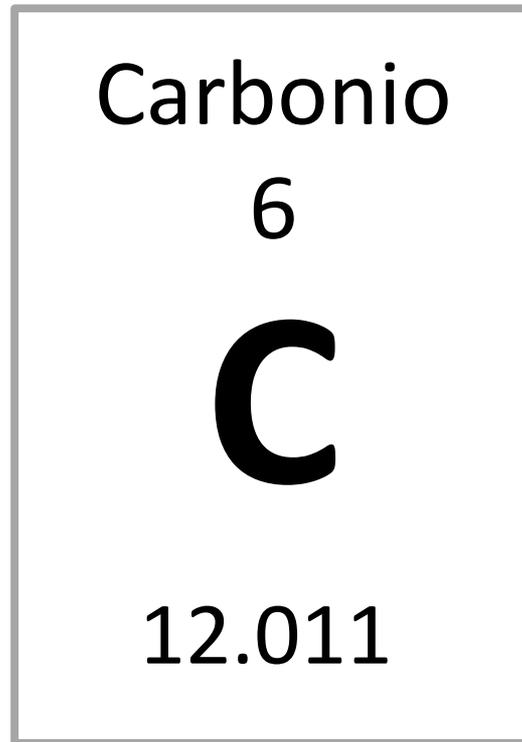
## 2.2 Ciclo del Fosforo



Può rimanere intrappolato nei sedimenti per tempi molto lunghi.

Carenza di P sia in ecosistemi terrestri che specialmente marini poiché limita la fotosintesi e la produttività primaria.

## 2.3 Ciclo del Carbonio



## 2.3 Ciclo del Carbonio

L'elemento carbonio (C) è uno dei componenti essenziali della materia vivente:

- costituisce buona parte della massa solida degli organismi vegetali ed animali;
- si trova combinato con l'ossigeno sotto forma di anidride carbonica, uno dei minori ma cruciali costituenti dell'atmosfera terrestre;
- si trova anche nelle rocce come carbonato.

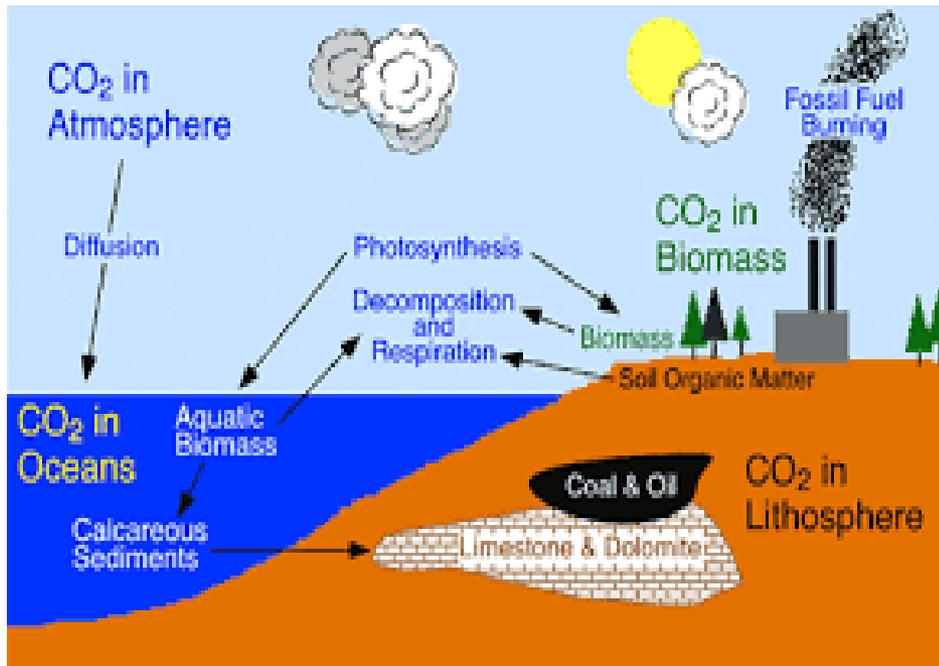
## 2.3 Ciclo del Carbonio

Opera su diverse scale temporali e coinvolge atmosfera, idrosfera, litosfera e biosfera.

- Su **scala temporale biologica** (breve,  $10^2$  -  $10^3$  anni), riciclo dei nutrienti e un deposito temporaneo di sostanza organica (oceano-atmosfera-organismi vivi e morti).
- Su **scala temporale geologica** (lunga,  $10^7$  anni) il C è rilasciato nell'oceano in seguito al degrado di rocce carbonatiche (es. i calcari). Il C ritorna a questa riserva con la deposizione di sedimenti.

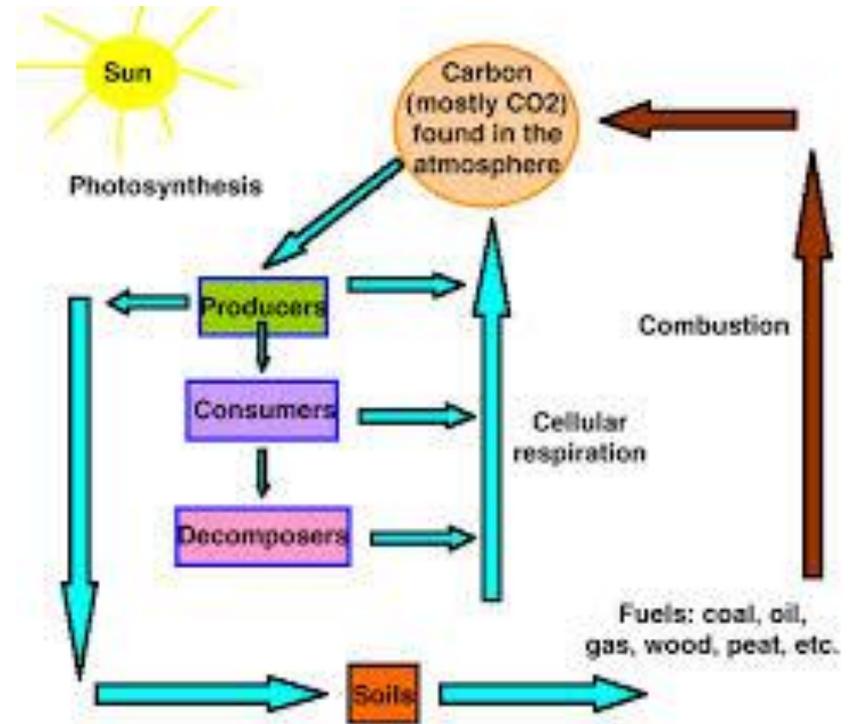
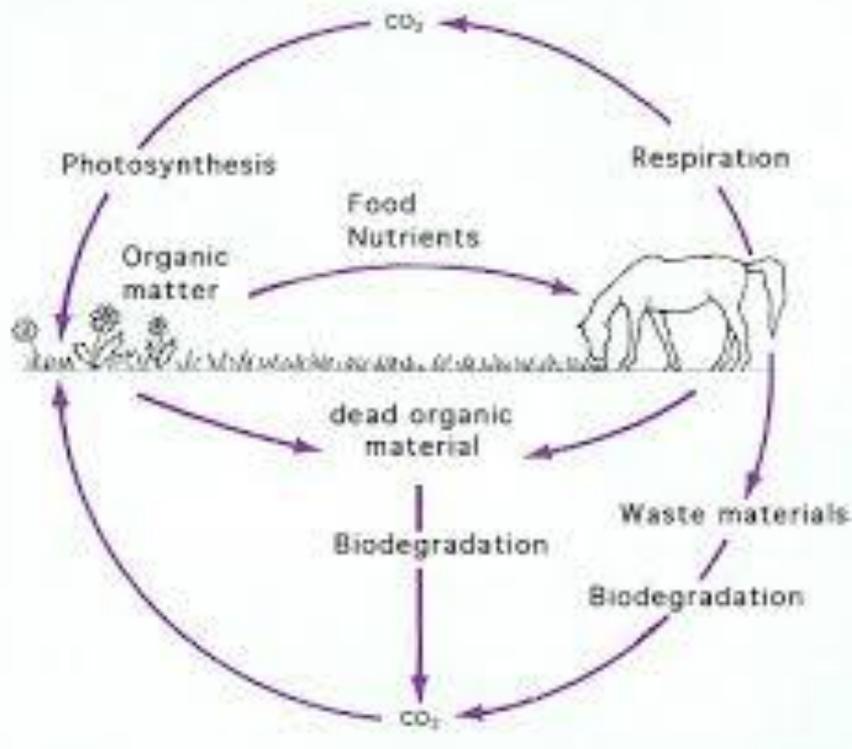
## 2.3 Ciclo del Carbonio

Questa separazione è stata fortemente alterata dalla combustione dei combustibili fossili che rilascia  $\text{CO}_2$  in atmosfera aumentando così la capacità termica dell'atmosfera (effetto serra).



Il *pool* di riserva è gassoso poiché rappresentato dagli **oceani**, anche se, in buona parte, si conserva anche negli strati profondi della **litosfera** (combustibili fossili e sedimenti carboniosi).

# CICLO BIOLÓGICO DEL CARBONIO



# Fotosintesi clorofilliana

Processo biochimico attraverso il quale gli **organismi fotoautotrofi** sono in grado di sintetizzare composti organici a partire dall'acqua e dall'anidride carbonica, utilizzando come fonte di energia la radiazione solare compresa nello spettro della luce visibile (~400-750 nm):



**Per mezzo della fotosintesi la CO<sub>2</sub> viene sequestrata dall'atmosfera e fissata nella biomassa vegetale.**

# Respirazione aerobica

Il processo inverso alla fotosintesi è la **respirazione aerobica**:



È una **reazione di «combustione»**, ovvero una redox esotermica che comporta l'ossidazione del carbonio (il **combustibile**) e la riduzione dell'ossigeno (il **comburente**) con formazione di  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e calore.

La respirazione permette agli **organismi eterotrofi** di ricavare energia consumando la sostanza organica prodotta dagli **organismi autotrofi**.

# Respirazione aerobica



Nei **suoli** la respirazione eterotrofa è operata dagli **organismi decompositori** (batteri, funghi e invertebrati) che si nutrono del detrito organico. Il rilascio di  $CO_2$  da parte dei suoli viene indicato con il termine «**respirazione dei suoli**».

# Decomposizione anaerobica e fossilizzazione

Il **bilancio** fra fotosintesi e respirazione si chiuderebbe in pareggio se non intervenissero i processi di:

- **Decomposizione (o Respirazione) anaerobica**
- **Fossilizzazione** della sostanza organica

Questi processi **sottraggono la sostanza organica** ai processi ossidativi.

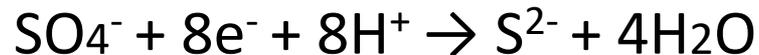
# Respirazione anaerobica

L'agente ossidante (elettron-accettore) che sostituisce l'ossigeno nella reazione redox di riduzione del carbonio può essere di diverso tipo, a seconda del metabolismo batterico:

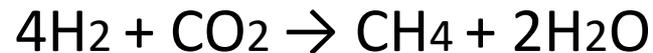
## Denitrificazione



## Solfato-riduzione



## Metanogenesi



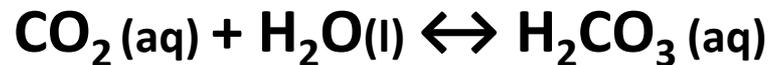


# **CICLO GEOCHIMICO DEL CARBONIO**

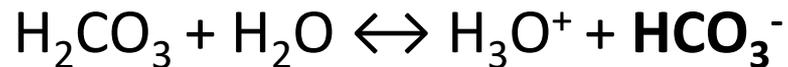


# 1. Formazione dell' Acido Carbonico

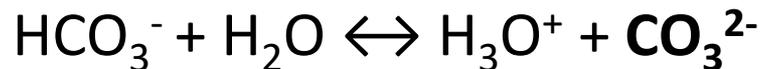
1. L'**anidride carbonica** (P atm) è moderatamente solubile in acqua, dove forma una soluzione discretamente acida, grazie alla formazione di **acido carbonico**, un acido debole:



L'acido carbonico si dissocia in ioni idronio e **bicarbonato**:

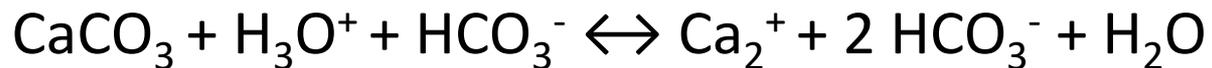


Lo ione bicarbonato subisce una seconda dissociazione per formare ione idronio e ione **carbonato**:



## 2. Alterazione delle rocce carbonatiche e silicatiche

2. Gli ioni idronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) (derivanti dalla dissociazione dell'acido carbonico) alterano i **carbonati** (**dissoluzione dei carbonati**)



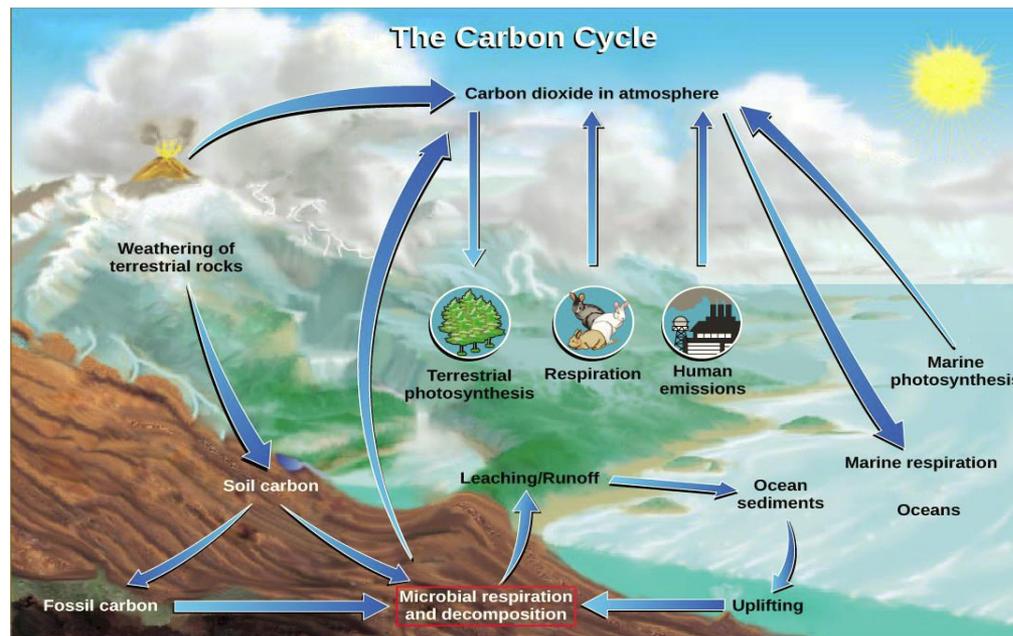
Per i **silicati**, una tipica reazione di alterazione è subita dall'ortoclasio, un silicato ricco di potassio (rocce ignee):



L'alterazione dei silicati origina materiali argillosi e silice (illite, clorite, caolinite, montmorillonite, laterite, bauxite).

### 3. Dissoluzione dei carbonati

3. Gli ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{CO}_3^{2-}$  (formati dalla dissoluzione dei carbonati) e gli ioni  $\text{K}^+$  e la  $\text{SiO}_2$  (prodotti dall'alterazione dei silicati) diventano parte del **carico disciolto** nelle acque superficiali e possono muoversi verso l'oceano.



## 4. Deposizione dei carbonati

4. La **precipitazione** (o sedimentazione) del **carbonato di calcio** avviene soprattutto negli oceani:



e può essere **diretta** oppure **mediata da organismi viventi**

Avviene per **precipitazione chimica**, quando il prodotto di solubilità degli ioni calcio e carbonato raggiunge la saturazione.

Accelerato da diversi organismi marini (molluschi, plancton) che costruiscono il proprio scheletro o guscio con calcite o aragonite (**biomineralizzazione**).



# CICLO GEOCHIMICO DEL CARBONIO

In sintesi:

1. La **CO<sub>2</sub>** presente in atmosfera si **solubilizza** nell'acqua piovana con formazione dell'acido carbonico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).
2. L' **H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** altera i minerali **carbonatici** e **silicatici liberando ioni** bicarbonato, ioni calcio e ioni silice che passano in soluzione.
3. Questi soluti vengono **trasportati** dai fiumi fino **agli oceani** dove gli organismi li incorporano in **gusci e scheletri**, formando **CaCO<sub>3</sub>** e liberando **CO<sub>2</sub>**.



# Conclusione

Il **mare** gioca un ruolo principale nel **sequestro di carbonio** (*pool* di riserva) ed è un **tampone della CO<sub>2</sub>** atmosferica (equilibrio).

**Tuttavia**, il continuo incremento dell'uso di combustibili fossili associato ad un minor sequestro di questo gas da parte della cintura verde del nostro Pianeta può causare un continuo innalzamento della CO<sub>2</sub> nell'atmosfera (gas serra), non più tamponata da mari e oceani, che contribuirà ad aumentare il riscaldamento globale.