

**ZANICHELLI**

Fabio Fanti

# Biologia, microbiologia e tecnologie di controllo ambientale

# Le acque

# Le acque potabili e le acque reflue

# Caratteristiche dell'ambiente acquatico /1

La **molecola d'acqua** è una **molecola polare**: ogni molecola può formare con quelle vicine al massimo **quattro legami a idrogeno** che esercitano una notevole forza di attrazione intermolecolare.

Ne derivano importanti **proprietà chimico-fisiche**:

- Elevato punto di ebollizione
- Densità variabile in relazione alla temperatura (max a +4° C)
- Tensione superficiale
- Elevato calore specifico
- Azione solvente

# Caratteristiche dell'ambiente acquatico /2

Gli ambienti delle **acque dolci e marine** differiscono tra loro per salinità, temperatura media, profondità e quantità di nutrienti.

La **durezza totale dell'acqua** è data dalla somma di:

- **Durezza temporanea:** dovuta alla presenza di bicarbonati di calcio  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e di magnesio  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , sali solubili in acqua a temperatura ambiente che precipitano se l'acqua viene portata all'ebollizione
- **Durezza permanente:** dovuta alla presenza dei solfati di calcio e magnesio che rimangono in soluzione anche dopo l'ebollizione

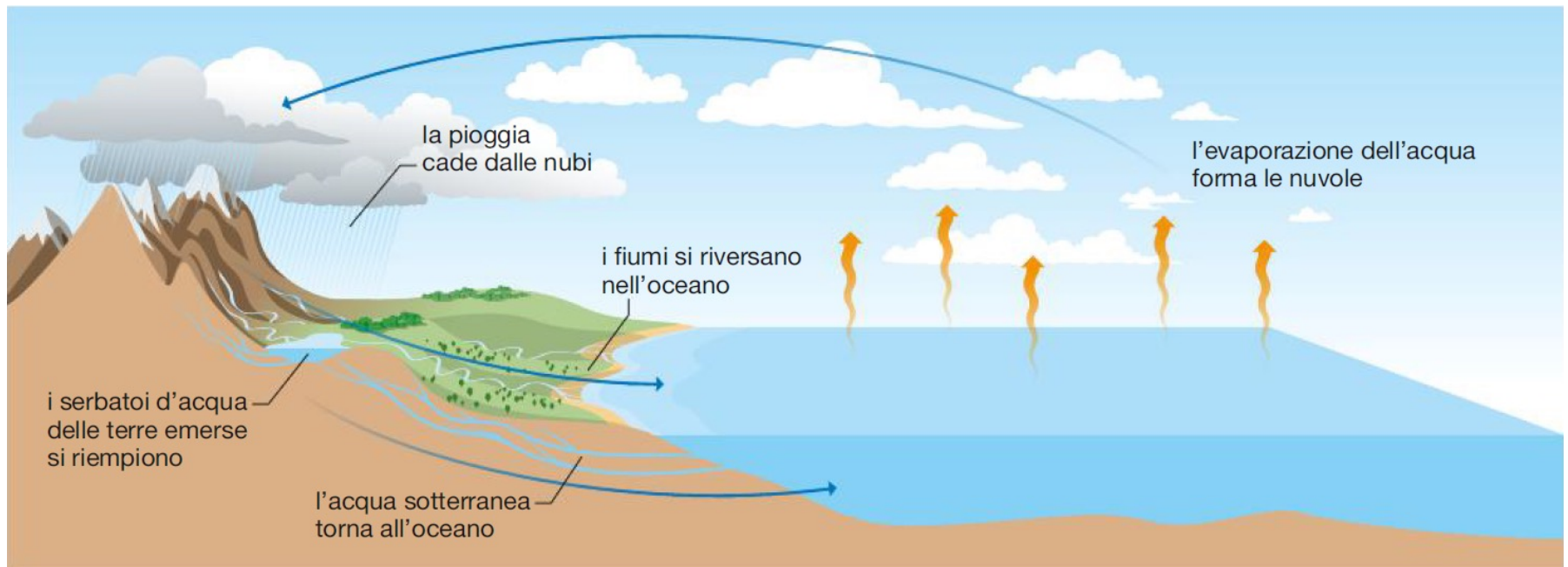
# Caratteristiche dell'ambiente acquatico /3

**Distribuzione della componente biotica** nell'ambiente acquatico:

- Fino alla profondità a cui arriva la luce (**zona fotica**) possono sopravvivere organismi produttori
- Dove la luce non può penetrare (**zona afotica**) vivono esclusivamente organismi consumatori
- In profondità (**zona bentonica**) si trovano depositi di detriti organici e forme viventi adattate ad un ambiente privo di luce e sottoposto a pressioni elevate

# Il ciclo biogeochimico dell'acqua /1

L'acqua occupa la maggior parte della superficie della Terra (circa il 70%): vi si trova allo stato liquido, solido e di vapore.



# Il ciclo biogeochimico dell'acqua /2

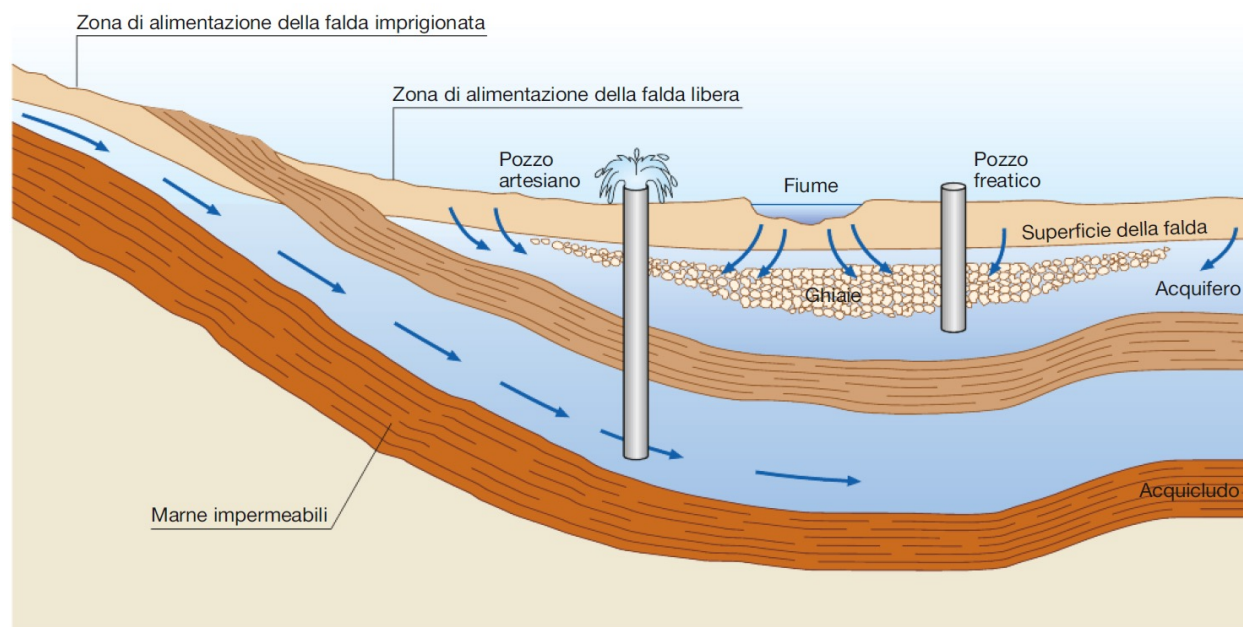
1. Le **acque meteoriche** derivano dalla condensazione del vapore acqueo presente nelle nubi, che precipita sulla terra sotto forma di pioggia, neve e grandine
2. Le **acque superficiali** sono quelle litosferiche: dolci di laghi e fiumi, salate di mari e oceani.
3. Le **acque sotterranee** si originano da quelle meteoriche che penetrano nel sottosuolo con le precipitazioni. Danno origine alle falde acquifere, che si distinguono in:
  - **freatiche o superficiali**
  - **artesiane o profonde**



# Il ciclo biogeochimico dell'acqua /3

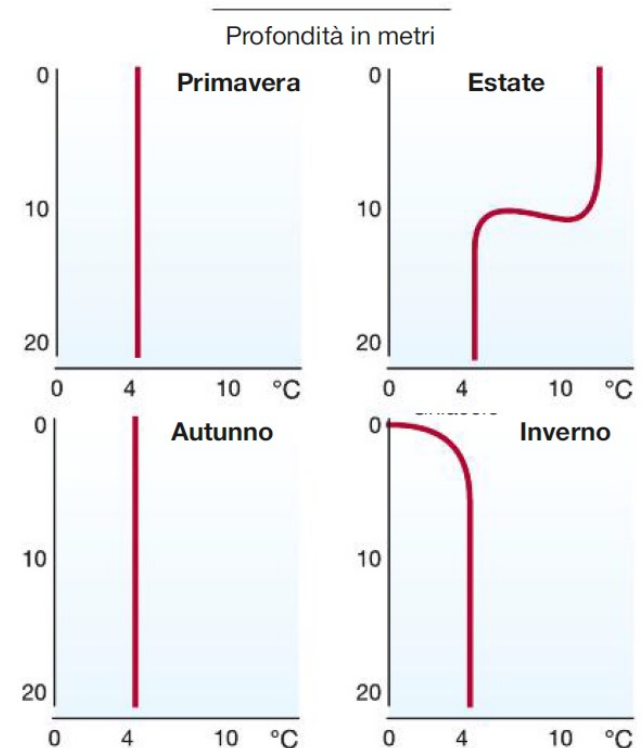
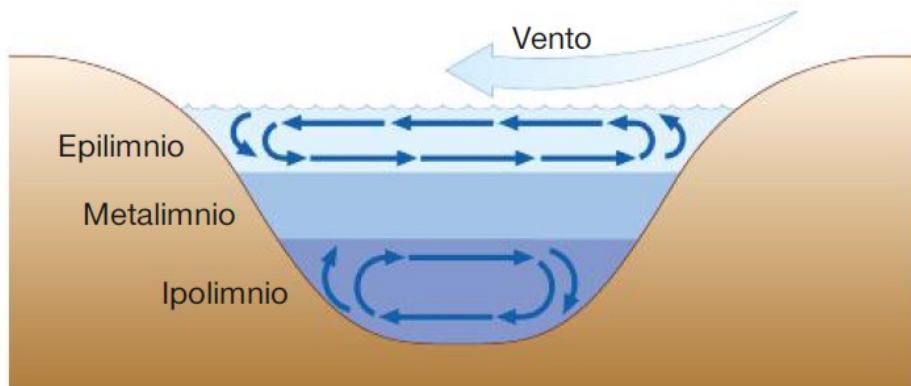
Le acque di falda possono:

- sgorgare spontaneamente formando una **sorgente**
- essere captate per mezzo di **pozzi freatici** (perforano lo strato di terreno superiore) o di **pozzi artesiani** (raggiungono la falda situata in profondità fra i due strati impermeabili che la racchiudono)



# La stratificazione nei mari e nei laghi temperati

Nei mari e nei laghi si assiste a una **stratificazione** delle masse d'acqua, legata principalmente alle **variazioni stagionali della temperatura**.

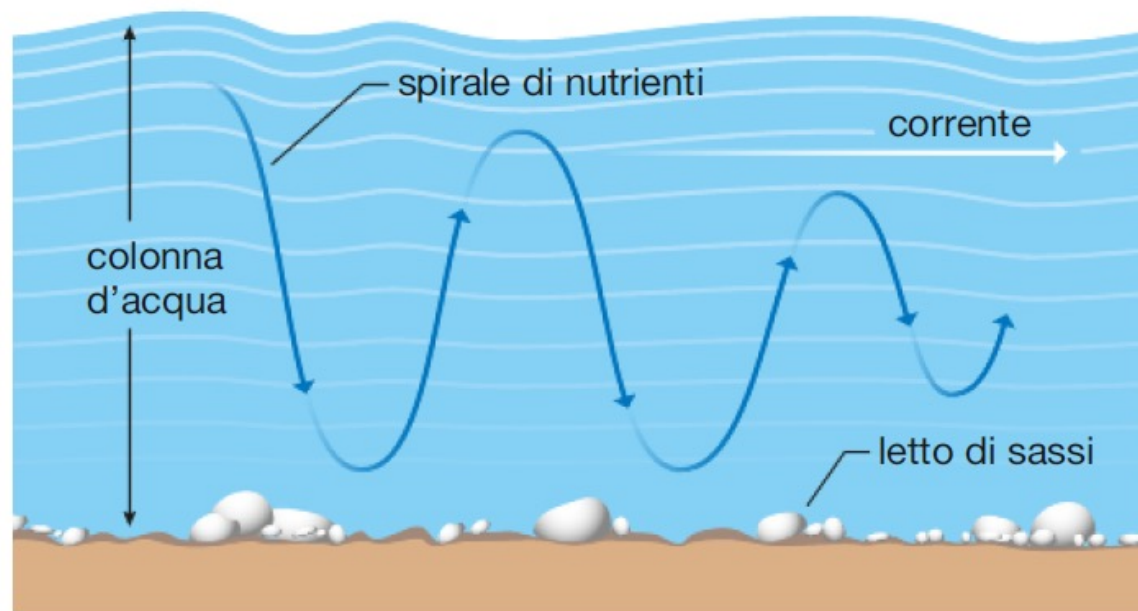


Variazioni termiche in un lago temperato

# Microrganismi nelle acque dolci /1

**Acque correnti (habitat lotici):** i microrganismi sono adesi alla superficie dei ciottoli che ricoprono il fondo e formano una sottile pellicola biologica chiamata **periphiton**.

Lo scorrere della corrente non offre una ricca disponibilità di nutrienti, per cui nel fiume si crea la cosiddetta **spirale dei nutrienti**.

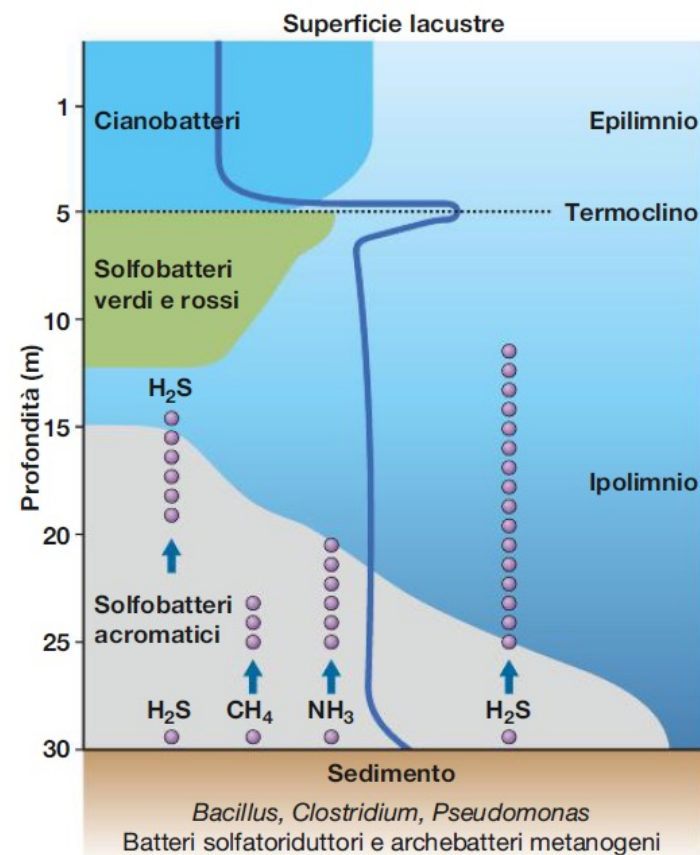


Andamento a spirale del flusso di nutrienti in un fiume

# Microrganismi nelle acque dolci /2

**Acque stagnanti (habitat lentic):** la biodiversità microbica dipende da:

- Disponibilità di nutrienti organici e inorganici: si distinguono **laghi eutrofici** (poco profondi) e **laghi oligotrofici** (molto profondi)
- Concentrazione di ossigeno
- Temperatura
- Luce: si distinguono **zona litoranea** (luce fino al fondo), **zona limnetica** (luce fino alla profondità di compensazione) e **zona profonda** (luce insufficiente)



Stratificazione delle acque e distribuzione dei principali gruppi batterici in un lago temperato

# Microrganismi nelle acque dolci /3

**Bacini lacustri:** la comunità microbica che popola il sottile strato di interfaccia fra idrosfera e atmosfera forma il **neuston**, un biofilm a elevata tensione superficiale dello spessore variabile tra 1 e 10  $\mu\text{m}$ . Per la forte irradiazione solare è ricco di produttori primari e consumatori.

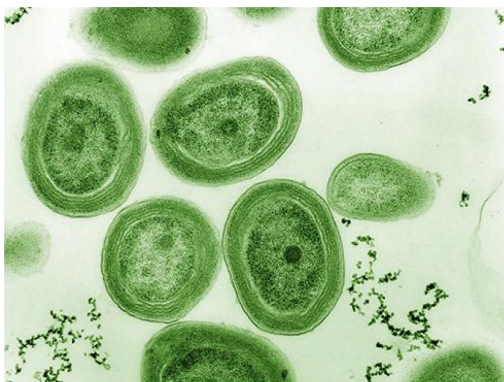


# Microrganismi nelle acque marine /1

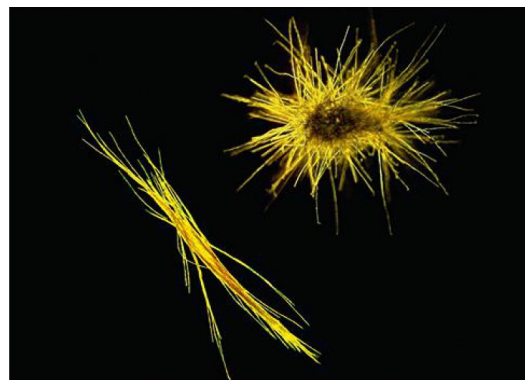
Rispetto alle acque dolci, le acque del **mare aperto** sono caratterizzate da:

- **nutrienti inorganici scarsi** (tranne l'ossigeno)
- **temperature** mediamente **più basse** e con meno variazioni stagionali
- **numero di microrganismi inferiore** di circa 10 volte

Sono abitate da un'ampia varietà di microrganismi procarioti ed eucarioti, di dimensioni molto piccole.



*Prochlorococcus*



*Trichodesmium*

# Microrganismi nelle acque marine /2

I **sedimenti marini poco profondi** sono popolati soprattutto da microrganismi solfato riduttori; quelli **abissali** da comunità di *Archaea*.

I microrganismi colonizzano anche le **bocche dei camini idrotermali**: fenditure della crosta oceanica da cui fuoriesce il magma vulcanico.

I getti bollenti ad alta pressione (fumarole nere) generano strutture chiamate «camini» da cui i fluidi idrotermali escono direttamente in acqua a temperature elevatissime.



Camino idrotermale

# Il controllo microbiologico delle acque potabili

Il controllo microbiologico delle acque destinate al consumo umano si pone l'obiettivo di **evitare la diffusione di malattie infettive** sostenute da microrganismi patogeni, di cui deve essere garantita l'assenza.

I microrganismi di riferimento nel controllo microbiologico delle acque potabili sono gli **indicatori di inquinamento fecale**. Comprendono:

- **Coliformi**
- ***Escherichia coli***
- **Enterococchi fecali**
- **Spore di clostridi solfito-riduttori**



# Ciclo naturale e ciclo integrato dell'acqua

L'acqua ha un **ciclo naturale**, in cui le **acque meteoriche, superficiali e sotterranee** circolano continuamente fra atmosfera, oceani, mari, fiumi, laghi e sottosuolo.

Il **ciclo integrato dell'acqua** ha l'obiettivo di garantire la disponibilità del bene primario «acqua potabile» e la possibilità del suo riutilizzo dopo l'uso, restituendola all'ambiente depurata.



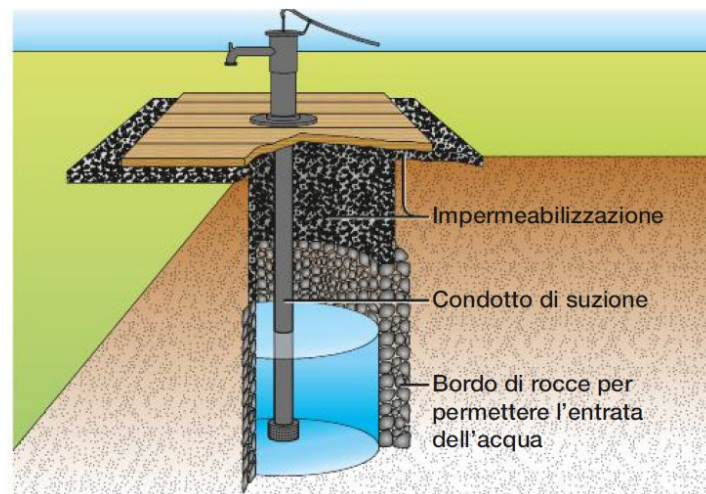
# Le riserve naturali di acqua e la loro captazione

La captazione può avvenire da acque di **sorgente**, acque **superficiali** o acque di **falda**.

**Captazione delle acque telluriche di falda o di sorgente:** le acque di falda sono sotterranee; possono fuoriuscire spontaneamente dal terreno formando le **sorgenti** oppure devono essere prelevate tramite **pozzi**.



Captazione di una sorgente



Pozzo con pompa manuale

# Captazione da corsi d'acqua e da bacini lacustri

I sistemi in uso per la captazione da corsi d'acqua possono essere di dimensioni piccole (**pompe**) o grandi (opera di presa).

L'**opera di presa** è fornita di:

- **Griglie** che trattengono il materiale grossolano
- **Paratoie** per regolare il flusso della corrente
- **Dissabbiatori** per rallentare la velocità e permettere una prima sedimentazione di sabbie e solidi in sospensione



Opera di presa di un corso d'acqua

# Adduzione delle acque, potabilizzazione e distribuzione /1

L' **adduzione** è il trasporto delle acque captate da sorgenti, falde, corsi d'acqua o bacini lacustri fino ai serbatoi terminali, da cui viene distribuita agli utilizzatori finali.

Le opere e le reti di adduzione e di **distribuzione** costituiscono nel loro complesso l'**acquedotto**.



# Adduzione delle acque, potabilizzazione e distribuzione /2

## La potabilizzazione delle acque:

- per quelle di origine profonda (di falda o sorgente) si ricorre a un sistema di filtrazione-disinfezione
- le acque dolci superficiali (acque grezze) devono essere sottoposte a trattamenti chimico-fisici spinti

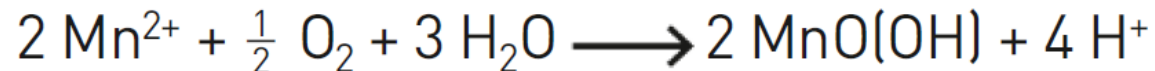
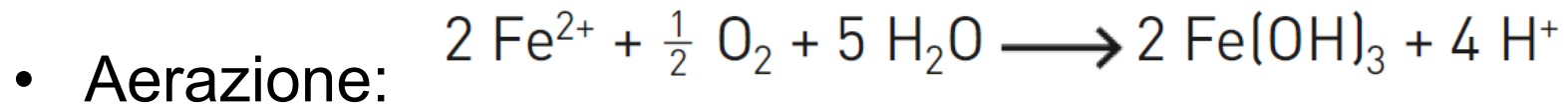


# Potabilizzazione delle acque telluriche di falda o sorgente /1

**Ferro e manganese:** ioni metallici all'origine di sapori sgradevoli e di possibili interferenze con i trattamenti di potabilizzazione

## Trattamenti di rimozione:

- Impiego di resine a scambio ionico



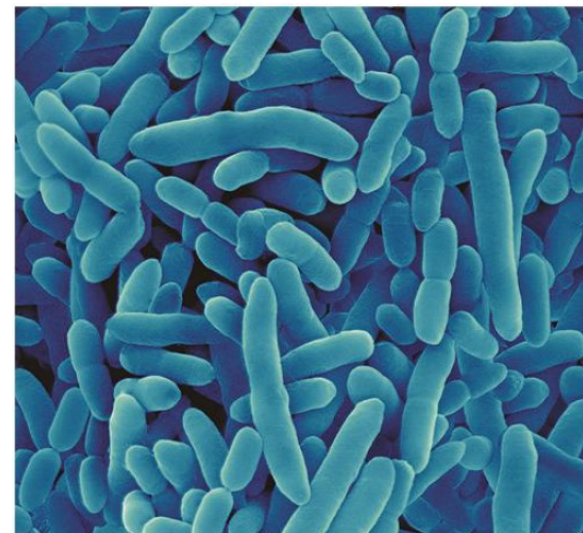
- Impiego di polifosfati per impedirne la precipitazione
- Ossidazione con cloro o ozono e filtrazione su letti di sabbia con biossido di manganese come catalizzatore

# Potabilizzazione delle acque telluriche di falda o sorgente /2

**Ammoniaca:** lo ione ammonio  $\text{NH}_4^+$  deriva da deiezioni umane e animali, dal metabolismo proteico, dalla degradazione naturale di vegetali

## Trattamenti di rimozione:

- I metodi chimici prevedono l'impiego di ipoclorito di sodio e la successiva eliminazione delle clorammine formatesi con la filtrazione su carboni attivi
- La rimozione biologica consiste nella sua nitrificazione ad opera di batteri nitrosanti e nitrificanti



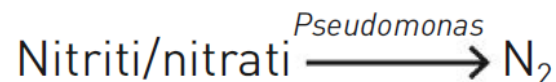
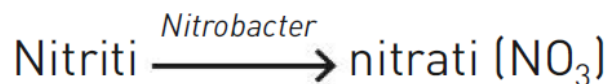
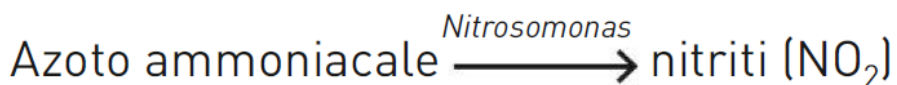
*Nitrobacter* al microscopio elettronico

# Potabilizzazione delle acque telluriche di falda o sorgente /3

**Nitriti e nitrati:** possono derivare da processi naturali o da fertilizzanti azotati.

I nitrati vengono ridotti in nitriti per opera dei batteri intestinali; i nitriti trasformano l'emoglobina in metaemoglobina, che non è più in grado di trasportare e scambiare ossigeno nei tessuti.

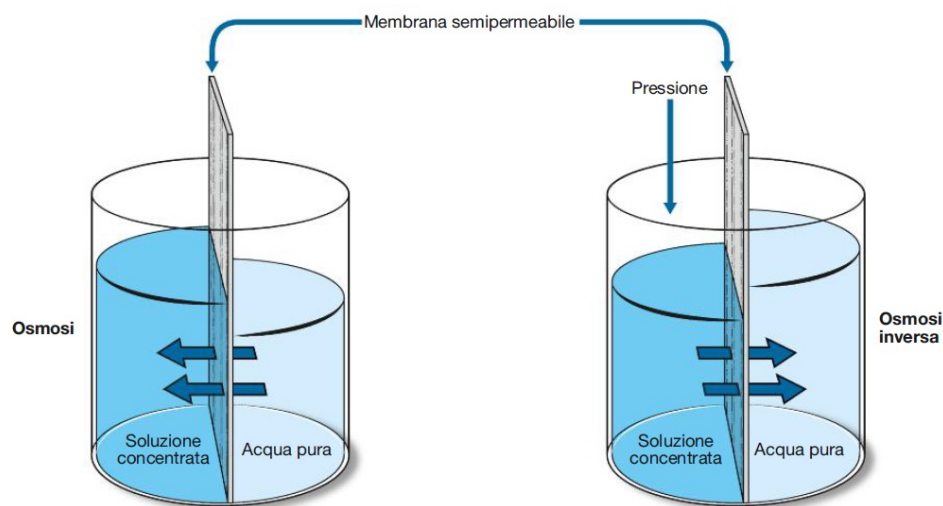
La **rimozione biologica** è effettuata con l'impiego di microrganismi denitrificanti che trasformano i nitrati in azoto molecolare gassoso.





# Potabilizzazione delle acque telluriche di falda o sorgente /4

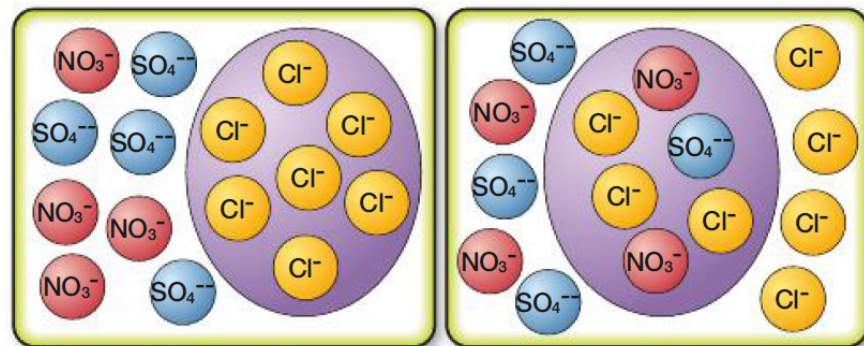
**Trattamenti chimici:** per eliminare gran parte di ioni, molecole, microrganismi vengono utilizzati processi di osmosi inversa, scambio ionico e carboni attivi.



Osmosi e osmosi inversa



Resine a scambio ionico



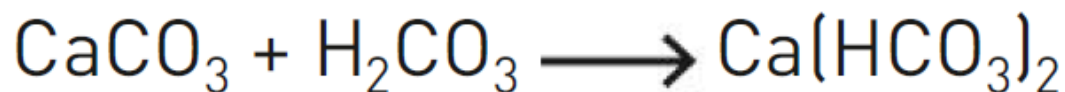
Scambio ionico

# Potabilizzazione delle acque telluriche di falda o sorgente /5

**Correzione della durezza:** si ottiene con l'aggiunta di calce o soda o con l'impiego di resine a scambio ionico.

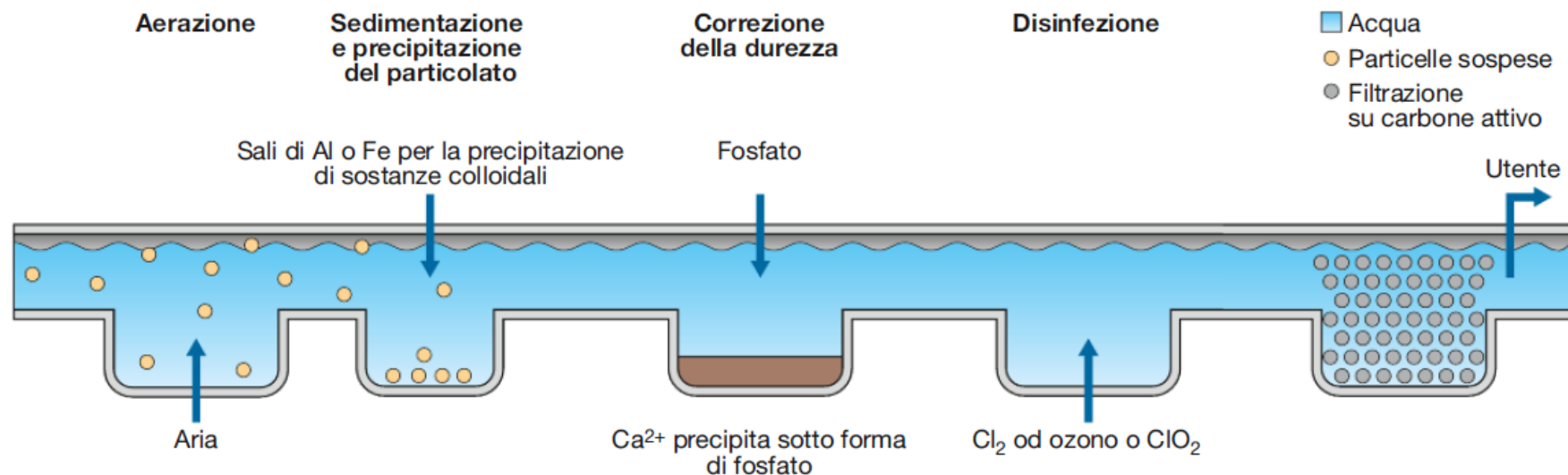
**Arsenico nell'acqua:** può avere origine naturale (dilavamento delle rocce) oppure antropica (inquinamento).  
Si elimina con processi di osmosi inversa.

**Neutralizzazione:** la «stabilità» dell'acqua è determinata dall'equilibrio della reazione (dipende dal pH):



# Potabilizzazione delle acque dolci superficiali /1

Un **processo di potabilizzazione delle acque superficiali** ha l'obiettivo di rimuovere il materiale particolato e le sostanze disciolte, i composti chimici indesiderati o nocivi, eliminare batteri patogeni e virus.



# Potabilizzazione delle acque dolci superficiali /2

Uno **schema generico** prevede diverse fasi:

1. Grigliatura
2. Sedimentazione primaria
3. Chiariflocculazione
4. Sedimentazione secondaria
5. Filtrazione su letto di sabbia
6. Disinfezione
7. Filtrazione su carboni attivi
8. Microfiltrazione o osmosi inversa

# Desalinizzazione dell'acqua di mare

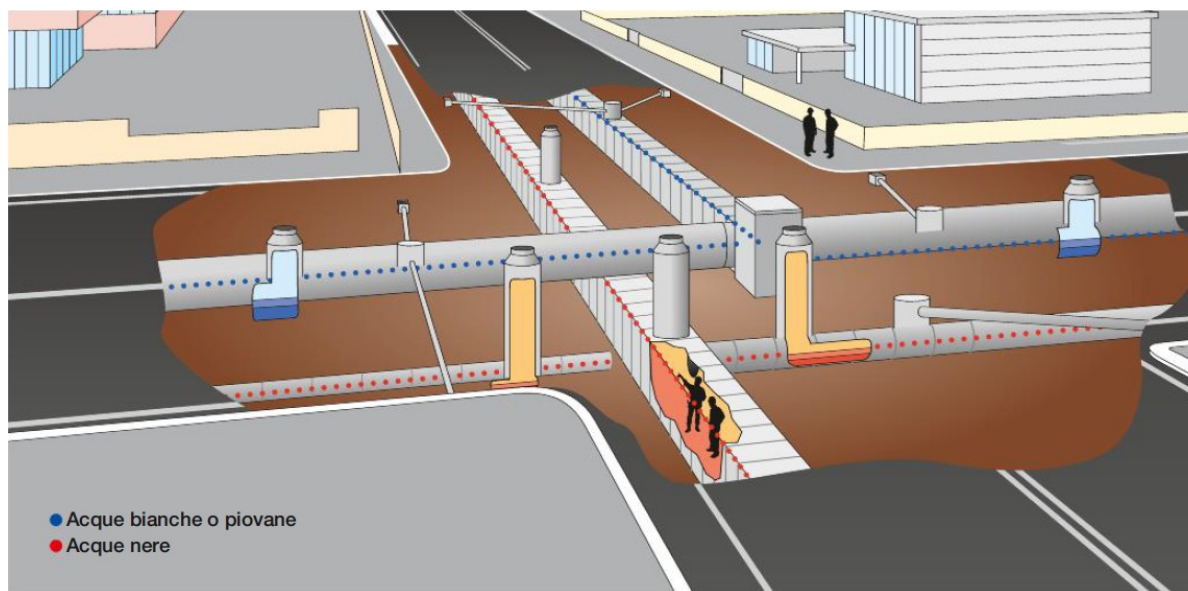
La **desalinizzazione** permette di eliminare dall'acqua di mare i sali presenti, residui chimici e microrganismi.

- **Distillazione:** consiste nel riscaldare l'acqua fino allo sviluppo di vapore, che poi condensa e viene raccolto
- **Osmosi inversa:** membrane semipermeabili che fanno passare l'acqua dalla soluzione più concentrata a quella meno concentrata, impedendo il passaggio di batteri, sali, pirogeni e residui di sostanze chimiche
- **Elettrodialisi:** allontana i sali dall'acqua utilizzando il fenomeno della migrazione ionica attraverso membrane immerse in un campo elettrico
- **Processo a scambio ionico:** utilizza resine cationiche e anioniche per la rimozione degli ioni  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$

# Le acque reflue o acque di rifiuto /1

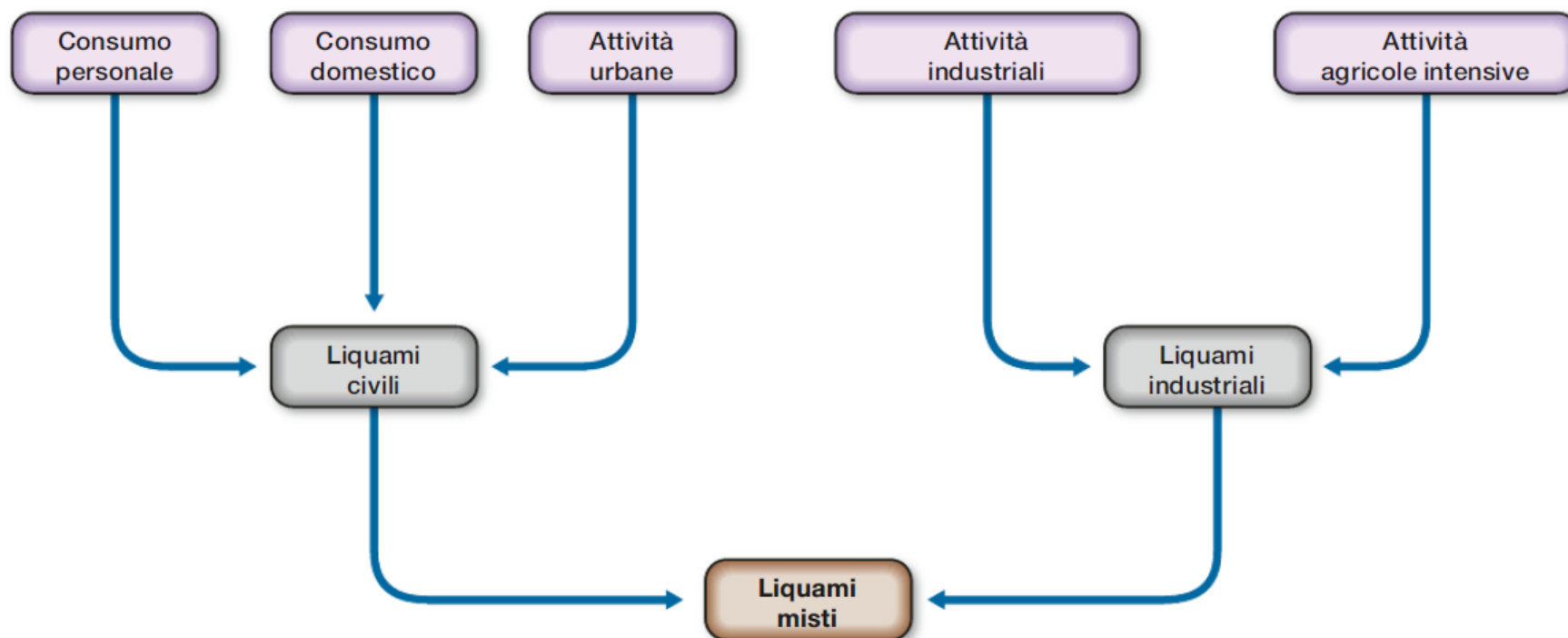
Sono definite **acque reflue** quelle che sono convogliate agli impianti di depurazione e provengono da abitazioni isolate, agglomerati urbani o insediamenti industriali.

- **Acque piovane o bianche** di origine meteorica
- **Acque nere** provenienti dagli scarichi delle abitazioni
- **Acque di rifiuto industriale**



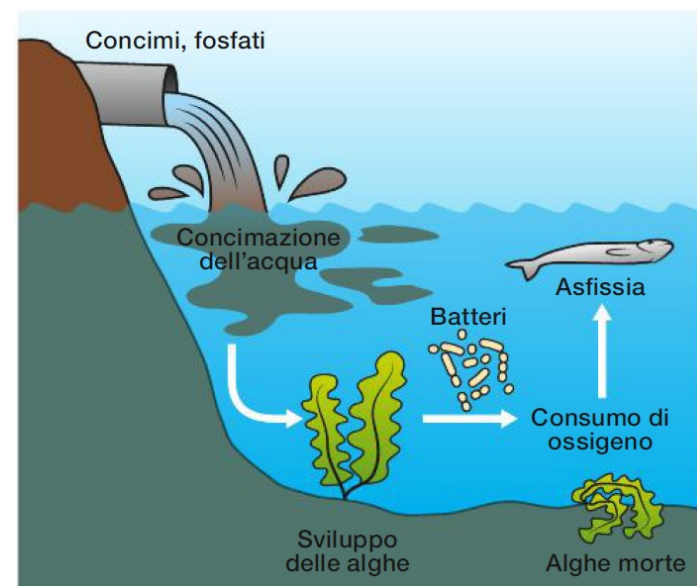
# Le acque reflue o acque di rifiuto /2

La composizione delle acque di rifiuto è estremamente varia, con una molteplicità di sostanze disciolte o colloidali e in sospensione, di natura organica e inorganica.



# La naturale capacità di autodepurazione delle acque

L'immissione nelle acque di reflui contenenti nitrati e fosfati di origine agricola (fertilizzanti) causa l'innesco di fenomeni di **eutrofizzazione**: l'abbondante disponibilità di questi nutrienti, le alte temperature estive e la lunga durata dell'illuminazione diurna favoriscono un'abnorme **proliferazione di alghe e cianobatteri**.





# Indicatori di inquinamento organico e biodegradabilità

- **BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)**: quantità di ossigeno richiesta per l'ossidazione biologica
- **COD (*Chemical Oxygen Demand*)**: quantità di ossigeno necessaria per l'ossidazione chimica
- **TOD (*Total Oxygen Demand*)**: quantità di ossigeno impiegata per la combustione della sostanza organica
- **TOC (*Total Organic Carbon*)**: quantità di carbonio residuo dopo la combustione della sostanza organica
- **TSC (*Total Solid Content*)**: contenuto totale dei solidi sospesi o filtrabili dopo evaporazione della fase liquida