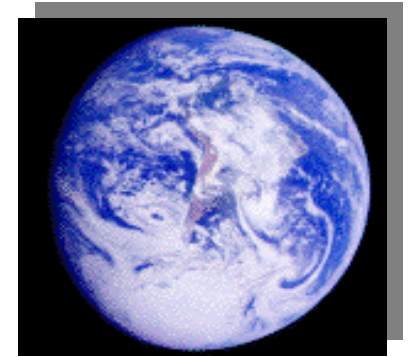


# ***CHIMICA DELLE ACQUE***

## **Idrosfera**

Il sistema di tutta l'acqua che circonda il pianeta terra.



**L'acqua dell'idrosfera, stimata in  $1.36 \cdot 10^9$  Km<sup>3</sup>, è distribuita in modo estremamente disomogeneo:**

**Oceani  $\approx$  97%**

**Acqua dolce  $\approx$  3 %**

L'acqua dolce è ripartita in: calotte polari, acque superficiali, sotterranee, acqua contenuta negli esseri viventi e vapore acqueo presente nell'atmosfera.



# Componenti della matrice acqua

## ACQUE

(fiumi, laghi, paludi, estuari, mari, oceani)

Le specie e i materiali disciolti variano sensibilmente a seconda dell'ambiente acquatico considerato

### Soluti:

- costituenti maggiori (concentrazione > 1 mg/l);
- costituenti minori (concentrazione < 1 mg/l);
- gas disciolti (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etc...)
- **sali disciolti;**
- nutrienti (N, P);
- sostanza organica (DOM - *dissolved organic matter*).

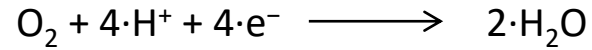
### Materiale particellato:

- Silicati e alluminosilicati;
- Carbonati di calcio;
- Ossidi e idrossidi (es. di Fe e Mn);
- sostanza organica (SOM - *suspended organic matter*).

# Ossido-riduzioni in acqua

L'ossigeno disciolto in acqua è una specie ossidante che si riduce per dare prodotti diversi a seconda dell'acidità delle acque:

in **ACQUE ACIDE**



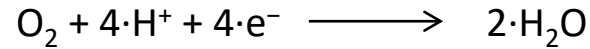
in **ACQUE BASICHE**



# Ossido-riduzioni in acqua

L'ossigeno disciolto in acqua è una specie ossidante che si riduce per dare prodotti diversi a seconda dell'acidità delle acque:

in **ACQUE ACIDE**



in **ACQUE BASICHE**

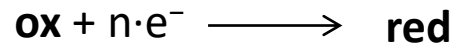


Oltre alle specie organiche, l'O<sub>2</sub> ossida l'azoto ammoniacale a nitrato, più facilmente assimilabile dalle alghe:



# Equazione di NERNST

Definisce il potenziale di elettrodo (o di riduzione) per ogni coppia redox riferita ad un potenziale di elettrodo standard (con elettrodo di H<sub>2</sub> come riferimento E<sup>0</sup>=0). L'unità di misura è il Volt.



$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]} = E^0 + \frac{0.059}{n} \cdot \log \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]}$$

R = costante dei gas

T = temperatura

F = costante di Faraday

n = numero di elettroni coinvolti

Il potenziale di riduzione standard E<sup>0</sup> è il potenziale di una coppia redox ad un elettrodo, riferito all'elettrodo standard a idrogeno (a cui viene assegnato un potenziale E<sup>0</sup> = 0.00 V) e misurato in condizioni standard: alla temperatura di 298 K, alla pressione di 1 bar, e alla concentrazione di reagenti e prodotti della reazione pari a 1 M (a rigore a attività unitaria).

# Scala pE

In analogia con  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$  si calcola

$$\text{pE} = -\log[\text{a}_{\text{e}^-}]$$

L'equazione di Nernst si può quindi esprimere come:

$$\text{pE} = \text{pE}^0 + \frac{1}{n} \cdot \log \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]}$$

Analogamente a come la concentrazione di ioni idrogeno determina l'acidità o il pH di una soluzione acquosa, la tendenza al trasferimento di elettroni tra una specie chimica e un elettrodo determina il potenziale redox di una coppia di elettrodi. Come il pH, il potenziale redox rappresenta la facilità con cui gli elettroni vengono trasferiti da o verso le specie in soluzione.

# Scala pE

In analogia con  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$  si calcola

$$\text{pE} = -\log[\text{a}_{\text{e}^-}]$$

L'equazione di Nernst si può quindi esprimere come:

$$\text{pE} = \text{pE}^0 + \frac{1}{n} \cdot \log \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]}$$

Più alto è il valore di pE, più la reazione è spostata verso destra.

Analogamente a come la concentrazione di ioni idrogeno determina l'acidità o il pH di una soluzione acquosa, la tendenza al trasferimento di elettroni tra una specie chimica e un elettrodo determina il potenziale redox di una coppia di elettrodi. Come il pH, il potenziale redox rappresenta la facilità con cui gli elettroni vengono trasferiti da o verso le specie in soluzione.

# Scala pE

In analogia con  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$  si calcola

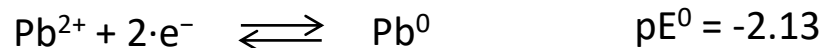
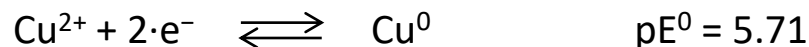
$$\text{pE} = -\log[\text{a}_{\text{e}^-}]$$

L'equazione di Nernst si può quindi esprimere come:

$$\text{pE} = \text{pE}^0 + \frac{1}{n} \cdot \log \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]}$$

Più alto è il valore di pE, più la reazione è spostata verso destra.

Esempio:



Analogamente a come la concentrazione di ioni idrogeno determina l'acidità o il pH di una soluzione acquosa, la tendenza al trasferimento di elettroni tra una specie chimica e un elettrodo determina il potenziale redox di una coppia di elettrodi. Come il pH, il potenziale redox rappresenta la facilità con cui gli elettroni vengono trasferiti da o verso le specie in soluzione.



# Scala pE

In analogia con  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$  si calcola

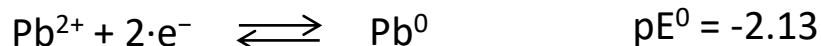
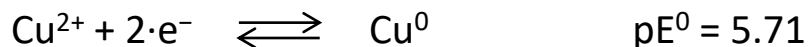
$$\text{pE} = -\log[\text{a}_{\text{e}^-}]$$

L'equazione di Nernst si può quindi esprimere come:

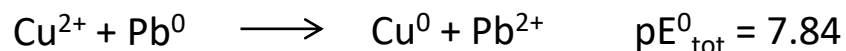
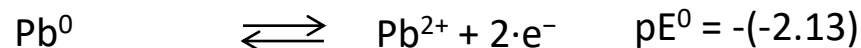
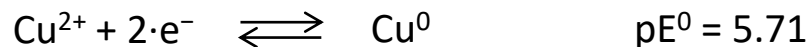
$$\text{pE} = \text{pE}^0 + \frac{1}{n} \cdot \log \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]}$$

Più alto è il valore di pE, più la reazione è spostata verso destra.

Esempio:



Quindi avviene:



Analogamente a come la concentrazione di ioni idrogeno determina l'acidità o il pH di una soluzione acquosa, la tendenza al trasferimento di elettroni tra una specie chimica e un elettrodo determina il potenziale redox di una coppia di elettrodi. Come il pH, il potenziale redox rappresenta la facilità con cui gli elettroni vengono trasferiti da o verso le specie in soluzione.

# Scala pE

In analogia con  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$  si calcola

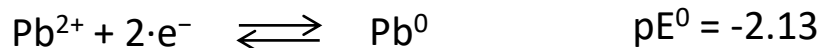
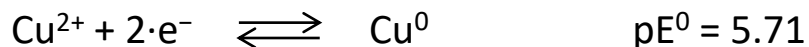
$$\text{pE} = -\log[a_{e^-}]$$

L'equazione di Nernst si può quindi esprimere come:

$$\text{pE} = \text{pE}^0 + \frac{1}{n} \cdot \log \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]}$$

Più alto è il valore di pE, più la reazione è spostata verso destra.

Esempio:



Quindi avviene:

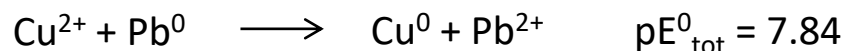
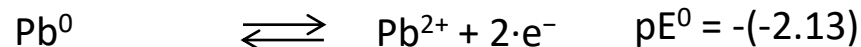
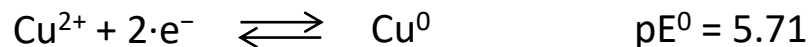


Table 4.1.  $\text{pE}^0$  Values of Redox Reactions Important in Natural Waters (at 25°C)

Reaction	$\text{pE}^0$	$\text{pE}^0(\text{W})^1$
(1) $1/4\text{O}_2(\text{g}) + \text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/2\text{H}_2\text{O}$	+20.75	+13.75
(2) $1/5\text{NO}_3^- + 6/5\text{H}^+ + e^- \leftrightarrow 1/10\text{N}_2 + 3/5\text{H}_2\text{O}$	+21.05	+12.65
(3) $1/2\text{MnO}_2 + 1/2\text{HCO}_3^-(10^{-3}) + 3/2\text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/2\text{MnCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}$	—	+8.5 <sup>2</sup>
(4) $1/2\text{NO}_3^- + \text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/2\text{NO}_2^- + 1/2\text{H}_2\text{O}$	+14.15	+7.15
(5) $1/8\text{NO}_3^- + 5/4\text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/8\text{NH}_4^+ + 3/8\text{H}_2\text{O}$	+14.90	+6.15
(6) $1/6\text{NO}_2^- + 4/3\text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/6\text{NH}_4^+ + 1/3\text{H}_2\text{O}$	+15.14	+5.82
(7) $1/2\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/2\text{CH}_4(\text{g}) + 1/2\text{H}_2\text{O}$	+9.88	+2.88
(8) $1/4\text{CH}_2\text{O} + \text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/4\text{CH}_4(\text{g}) + 1/4\text{H}_2\text{O}$	+6.94	-0.06
(9) $\text{FeOOH}(\text{g}) + \text{HCO}_3^-(10^{-3}) + 2\text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow \text{FeCO}_3(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}$	—	-1.67 <sup>2</sup>
(10) $1/2\text{CH}_2\text{O} + \text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/2\text{CH}_3\text{OH}$	+3.99	-3.01
(11) $1/6\text{SO}_4^{2-} + 4/3\text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/6\text{S}(\text{s}) + 2/3\text{H}_2\text{O}$	+6.03	-3.30
(12) $1/8\text{SO}_4^{2-} + 5/4\text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/8\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 1/2\text{H}_2\text{O}$	+5.75	-3.50
(13) $1/8\text{SO}_4^{2-} + 5/4\text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/8\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 1/2\text{H}_2\text{O}$	+4.13	-3.75
(14) $1/2\text{S} + \text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/2\text{H}_2\text{S}$	+2.89	-4.11
(15) $1/8\text{CO}_2 + \text{H}^+ + e^- \leftrightarrow 1/8\text{CH}_4 + 1/4\text{H}_2\text{O}$	+2.87	-4.13
(16) $1/6\text{N}_2 + 4/3\text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/3\text{NH}_4^+$	+4.68	-4.65
(17) $\text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/2\text{H}_2(\text{g})$	0.00	-7.00
(18) $1/4\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}^+(\text{W}) + e^- \leftrightarrow 1/4\text{CH}_2\text{O} + 1/4\text{H}_2\text{O}$	-1.20	-8.20

<sup>1</sup> (W) indicates  $a_{\text{H}^+} = 1.00 \times 10^{-7} \text{ M}$  and  $\text{pE}^0(\text{W})$  is a  $\text{pE}^0$  at  $a_{\text{H}^+} = 1.00 \times 10^{-7} \text{ M}$ .

<sup>2</sup> These data correspond to  $a_{\text{HCO}_3^-} = 1.00 \times 10^{-3} \text{ M}$  rather than unity and so are not exactly  $\text{pE}^0(\text{W})$ ; they represent typical aquatic conditions more exactly than  $\text{pE}^0$  values do.

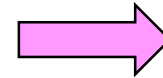
# Attività ossidante e riducente nelle acque

- Valori **bassi di pE** indicano che gli elettroni sono facilmente disponibili nelle sostanze disciolte in acqua per cui il corpo idrico è **altamente riducente** in natura.
- Valori **alti di pE** indicano che le principali sostanze disciolte sono **agenti ossidanti**, per cui si ha scarsa disponibilità di elettroni per i processi di riduzione.

# Attività ossidante e riducente nelle acque

- Valori **bassi di pE** indicano che gli elettroni sono facilmente disponibili nelle sostanze disciolte in acqua per cui il corpo idrico è **altamente riducente** in natura.
- Valori **alti di pE** indicano che le principali sostanze disciolte sono **agenti ossidanti**, per cui si ha scarsa disponibilità di elettroni per i processi di riduzione.

In **acque poco profonde** e in movimento (fiumi, torrenti) avviene un rifornimento continuo di  $O_2$

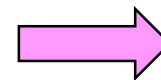


ALTI VALORI di  
pE

# Attività ossidante e riducente nelle acque

- Valori **bassi di pE** indicano che gli elettroni sono facilmente disponibili nelle sostanze disciolte in acqua per cui il corpo idrico è **altamente riducente** in natura.
- Valori **alti di pE** indicano che le principali sostanze disciolte sono **agenti ossidanti**, per cui si ha scarsa disponibilità di elettroni per i processi di riduzione.

In **acque poco profonde** e in movimento (fiumi, torrenti) avviene un rifornimento continuo di  $O_2$



ALTI VALORI di pE

In **acque stratificate**:

- in prossimità della superficie ci sono condizioni ossidanti per la presenza di concentrazioni più alte di  $O_2$  (alto valore di pE - AEROBIOSI);
- in profondità ci sono condizioni riducenti (basso valore di pE - ANAEROBIOSI)

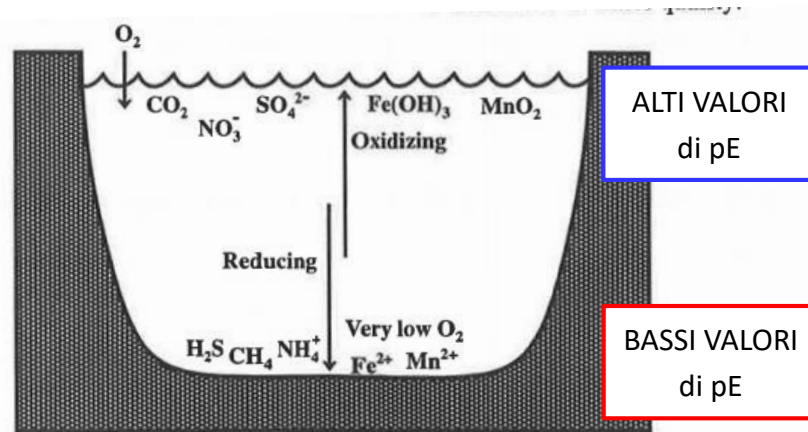
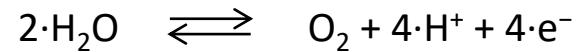


Figure 4.1. Predominance of various chemical species in a stratified body of water that has a high oxygen concentration (oxidizing, high pE) near the surface and a low oxygen concentration (reducing, low pE) near the bottom.

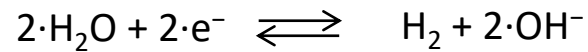
# Limiti di pE nelle acque

Ci sono limiti pH-dipendenti per i valori di pE a cui l'acqua è termodinamicamente stabile.

L'acqua può essere ossidata:



o ridotta:

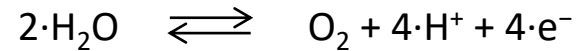


Queste due reazioni determinano i limiti del valore di pE nelle acque.

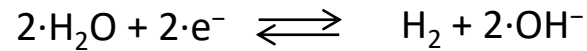
# Limiti di pE nelle acque

Ci sono limiti pH-dipendenti per i valori di pE a cui l'acqua è termodinamicamente stabile.

L'acqua può essere ossidata:



o ridotta:



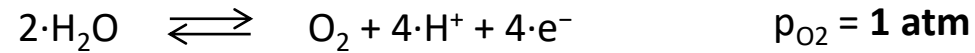
Queste due reazioni determinano i limiti del valore di pE nelle acque.

Per valori relativamente alti di pE (ambiente ossidante) il valore di pE è limitato dalla prima semi-reazione.

Per valori di pE relativamente bassi (ambiente riducente) il valore di pE è limitato dalla seconda semi-reazione.

# Limiti di pE nelle acque (2)

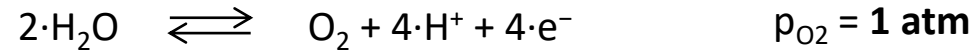
La condizione in cui dall'ossidazione dell'acqua si ottiene O<sub>2</sub> alla pressione parziale di 1 atm può essere considerata la **condizione limite di ossidazione** nelle acque:



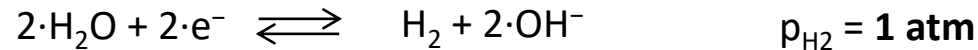


# Limiti di pE nelle acque (2)

La condizione in cui dall'ossidazione dell'acqua si ottiene O<sub>2</sub> alla pressione parziale di 1 atm può essere considerata la **condizione limite di ossidazione** nelle acque:



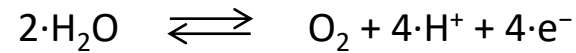
mentre la condizione in cui dalla riduzione dell'acqua si ottiene H<sub>2</sub> alla pressione parziale di 1 atm può essere considerata **la condizione limite di riduzione** nelle acque:



queste sono condizioni limite che permettono di determinare i limiti di stabilità dell'acqua.

# Dipendenza pE-pH

Scrivendo il seguente equilibrio:



in modo inverso e considerando la partecipazione di un solo elettrone con  $p_{\text{O}_2} = 1$ , si ottiene:

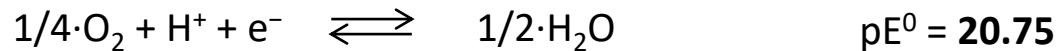
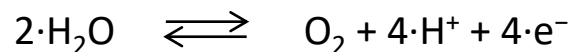


Table 4.1.  $pE^0$  Values of Redox Reactions Important in Natural Waters (at 25°C)

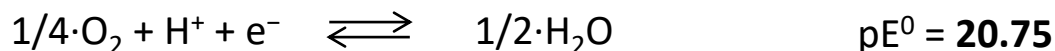
Reaction	$pE^0$	$pE^0(\text{W})^1$
(1) $1/4 \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}^+(\text{W}) + \text{e}^- \leftarrow \rightarrow 1/2 \text{H}_2\text{O}$	+20.75	+13.75

# Dipendenza pE-pH

Scrivendo il seguente equilibrio:



in modo inverso e considerando la partecipazione di un solo elettrone con  $p_{\text{O}_2} = 1$ , si ottiene:

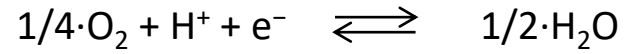


Reaction	$pE^0$	$pE^0(\text{W})^1$
(1) $1/4 \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}^+(\text{W}) + \text{e}^- \leftarrow \rightarrow 1/2 \text{H}_2\text{O}$	+20.75	+13.75

Questa equazione definisce il limite ossidante **pH dipendente** dell'acqua.

Ad uno specifico pH, valori di **pE maggiori** di quelli ottenuti dalla reazione sopra **non possono esistere per un acqua in equilibrio con l'atmosfera soprastante**.

# Dipendenza pE-pH (2)



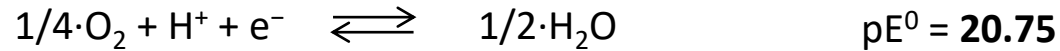
$$pE^0 = \mathbf{20.75}$$

$$pE = pE^0 + 1/n \cdot \log(p_{\text{O}_2}^{1/4} \cdot [\text{H}^+])$$

$$p_{\text{O}_2} = \mathbf{1 \text{ atm}}$$

$$n = \mathbf{1 \text{ elettrone}}$$

# Dipendenza pE-pH (2)



$$\text{pE} = \text{pE}^0 + 1/n \cdot \log(\text{p}_{\text{O}_2}^{1/4} \cdot [\text{H}^+])$$

$$\text{p}_{\text{O}_2} = \mathbf{1 \text{ atm}}$$

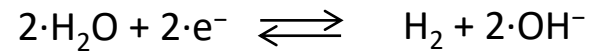
$$n = \mathbf{1 \text{ elettrone}}$$

$$\text{pE} = 20.75 - \text{pH}$$

Questa equazione determina il **valore massimo di pE** riscontrabile in un'acqua ad un determinato pH.

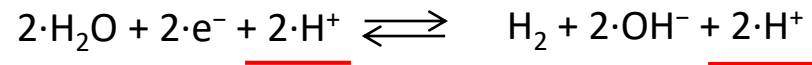
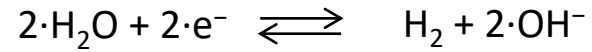
# Dipendenza pE-pH (3)

Analogamente si determina il limite minimo:



# Dipendenza pE-pH (3)

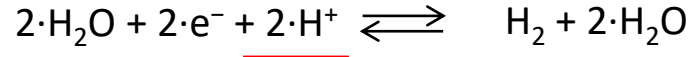
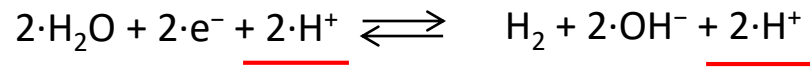
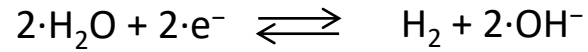
Analogamente si determina il limite minimo:



N.B: interessa rappresentare la dipendenza dal pH, non dal pOH!

# Dipendenza pE-pH (3)

Analogamente si determina il limite minimo:

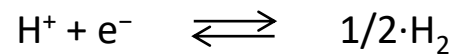
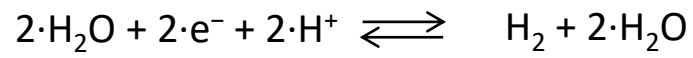
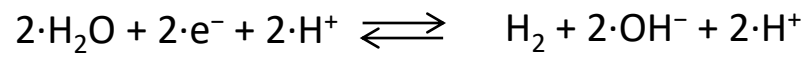
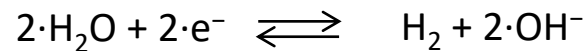


N.B: interessa rappresentare la dipendenza dal pH, non dal pOH!



# Dipendenza pE-pH (3)

Analogamente si determina il limite minimo:

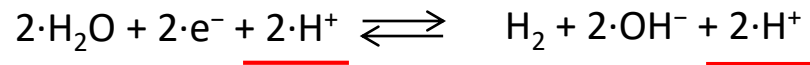
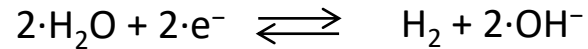


N.B: interessa rappresentare la dipendenza dal pH, non dal pOH!

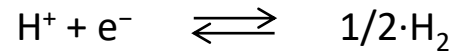
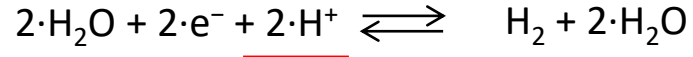
$$\text{pE}^0 = \mathbf{0.00}$$

# Dipendenza pE-pH (3)

Analogamente si determina il limite minimo:



N.B: interessa rappresentare la dipendenza dal pH, non dal pOH!



$$pE^0 = \mathbf{0.00}$$

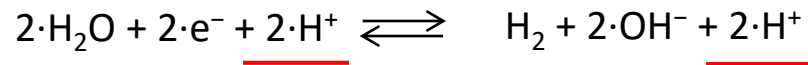
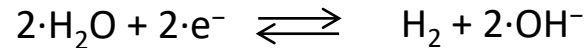
$$pE = pE^0 + \frac{1}{n} \cdot \log \frac{p_{\text{H}_2}^{1/2}}{[\text{H}^+]}$$

$$p_{\text{H}_2} = \mathbf{1 \text{ atm}}$$

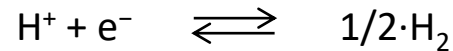
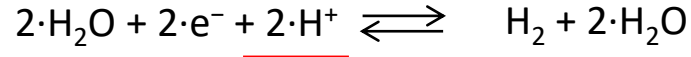
$$n = \mathbf{1 \text{ elettrone}}$$

# Dipendenza pE-pH (3)

Analogamente si determina il limite minimo:



N.B: interessa rappresentare la dipendenza dal pH, non dal pOH!



$$pE^0 = \mathbf{0.00}$$

$$pE = pE^0 + \frac{1}{n} \cdot \log \frac{p_{\text{H}_2}^{1/2}}{[\text{H}^+]}$$

$$p_{\text{H}_2} = \mathbf{1 \text{ atm}}$$

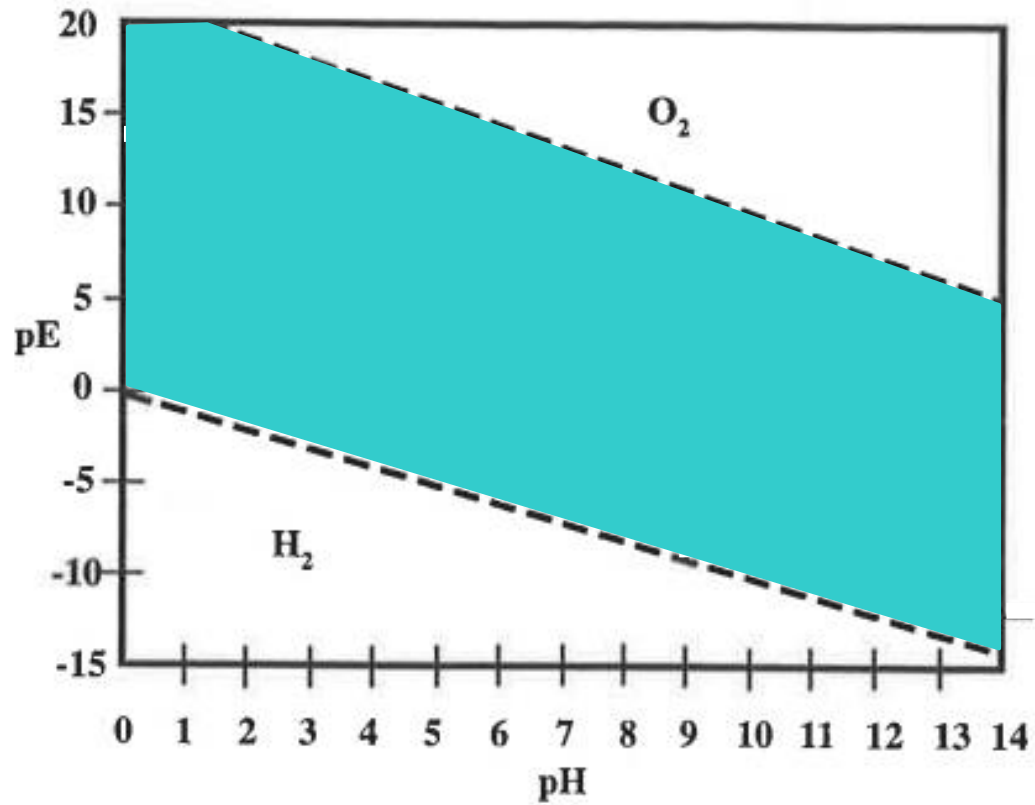
$$n = \mathbf{1 \text{ elettrone}}$$

$$pE = - pH$$

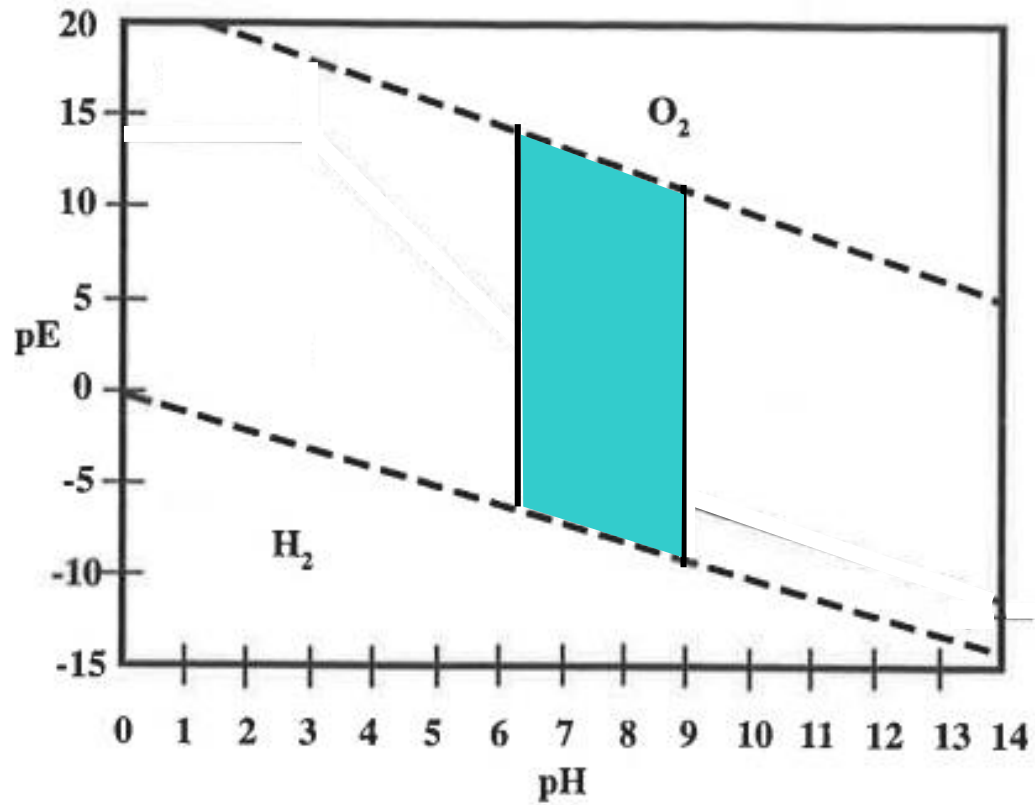
Esempio: per acque neutre a pH =7.0 l'intervallo di pE va da -7.0 a 13.75.

# Diagrammi pE-pH

(d. di Pourbaix)



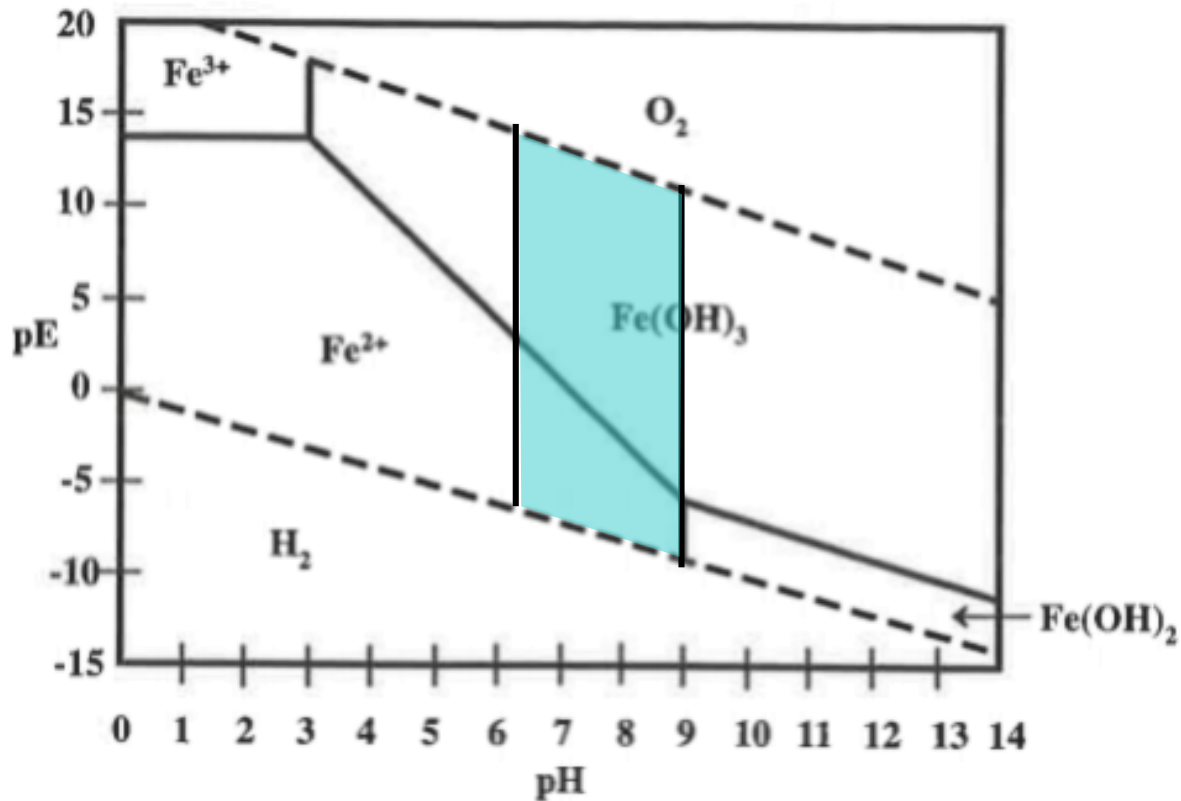
# Diagrammi pE-pH



Intervallo di pH delle acque naturali: 6.5-9

# Diagrammi pE-pH per specie metalliche

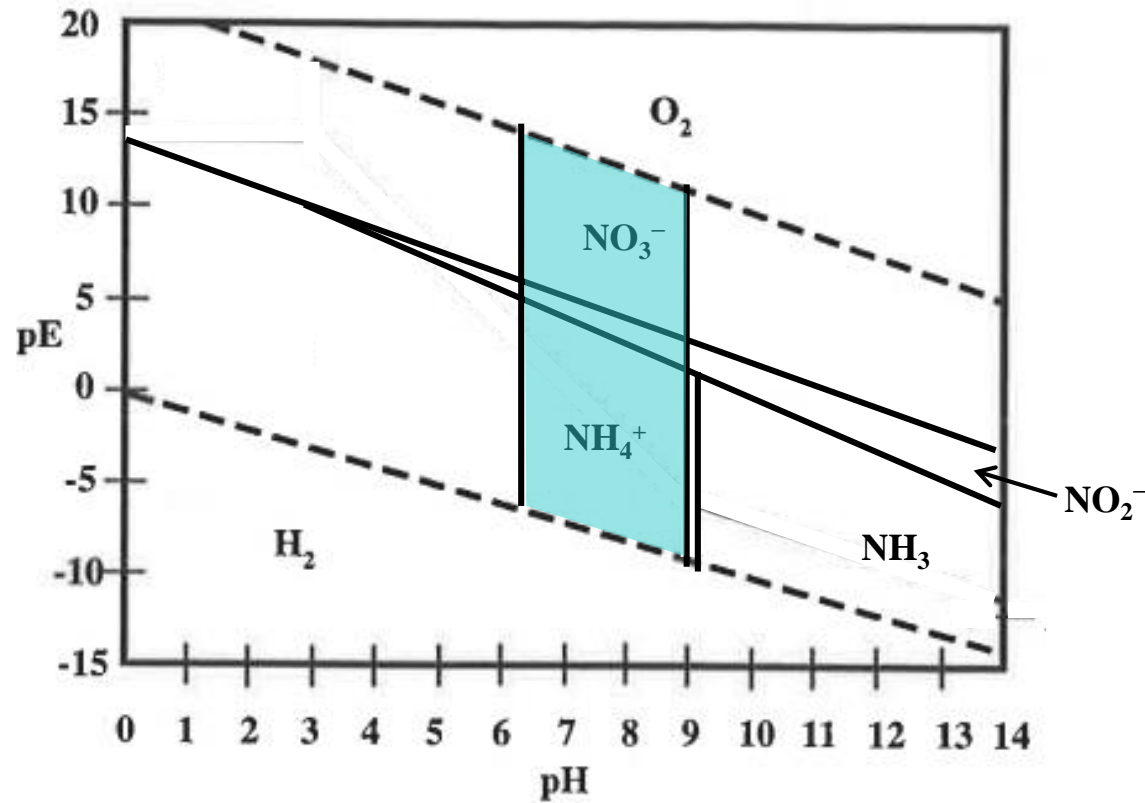
Da grafici di questo tipo è possibile individuare, per ogni metallo, la specie chimica presente, in funzione del pH e del pE di uno specifico corpo idrico.



Le linee continue del diagramma indicano le combinazioni di valori di pE e pH per cui le concentrazioni delle due specie indicate su ambo i lati della linea sono uguali.

# Diagrammi pE-pH per specie non metalliche

Da grafici di questo tipo è possibile individuare la specie chimica presente, anche per specie non metalliche pH-dipendenti.



Le linee continue del diagramma indicano le combinazioni di valori di pE e pH per cui le concentrazioni delle due specie indicate su ambo i lati della linea sono uguali.

# Specie chimiche comunemente presenti nelle acque

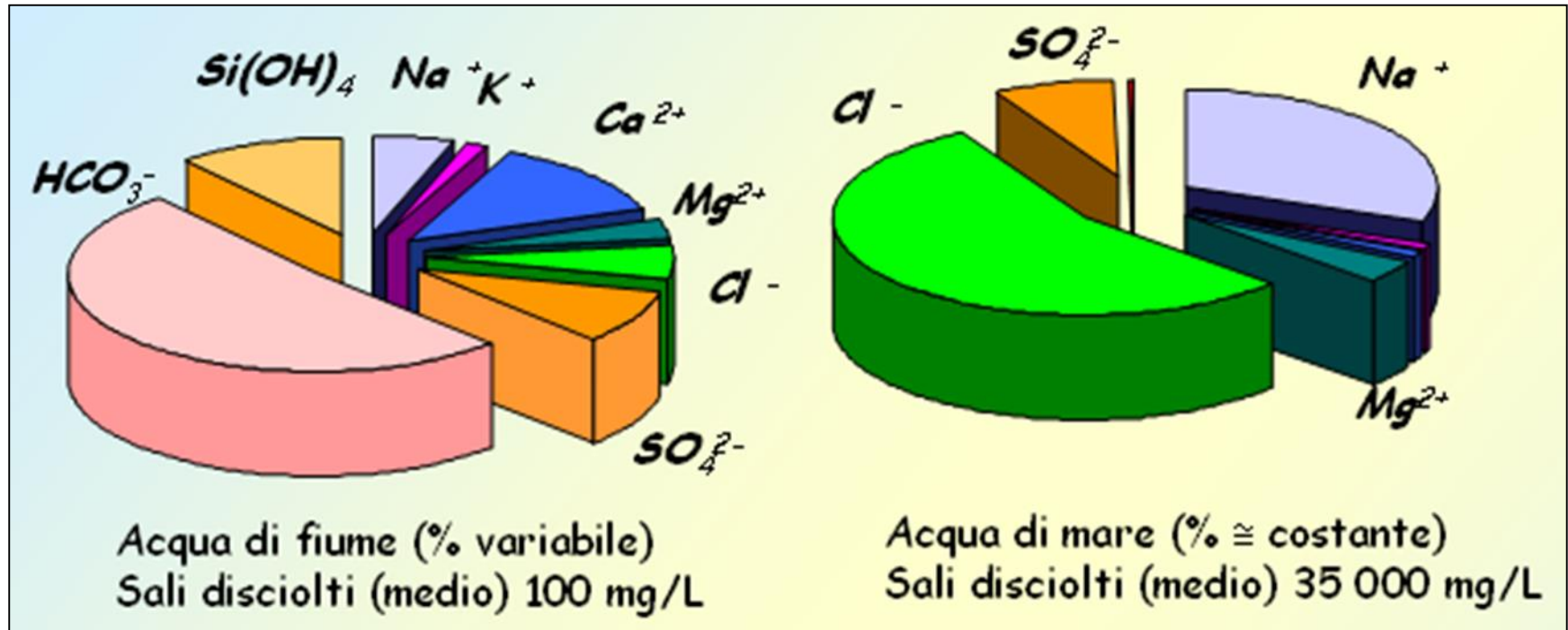
<i>Sostanza</i>	<i>Fonte</i>	<i>Comportamento ed importanza in acqua</i>
Alluminio	Minerali contenenti Al	A pH < 4.0 si trova come $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ; a $4.5 < \text{pH} < 6.5$ perde $\text{H}^+$ ; forma polimeri con ponti idrossidici; precipita come <i>gibbsite</i> ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ); a pH < 10 è anfotero e forma $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ; forma forti complessi con $\text{F}^-$ ; precipita con ioni silicio e ortofosfato.
Cloruro, Cl	Minerali, inquinamento	Relativamente inerte in acqua; innocuo a basse conc.; a maggiori livelli è principale ione associato ad acidità eccessiva.
Fluoruro, F	Minerali, additivi dell'acqua	Forma HF, $\text{pK}_a = 3.13$ , a basso pH; forma sali insolubili con $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ ; sostituisce spesso $\text{OH}^-$ ; dannoso per ossa e denti sopra i 10 mg/L; previene degenerazione dei denti a ~ 1 mg/L.
Ferro	Minerali, acqua acida di miniera	Si trova come $\text{Fe}^{2+}$ sol. in condizioni riducenti (acque sotterranee o fondo dei laghi); Fe(III) può essere presente come particolato o in complessi organici del Fe a normali valori di pH (bassa solubilità di $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ); è un soluto indesiderabile in acqua per la formazione di depositi di $\text{Fe}(\text{OH})_3$ comunemente si trova a livelli di $\pm 10$ mg/L in acqua sotterranee.
Magnesio	Minerali (es: dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )	Si trova come ione $\text{Mg}^{2+}$ ; ha proprietà simili a $\text{Ca}^{2+}$ , ad eccezione del raggio atomico, che è molto più piccolo, per cui lega l'acqua di idratazione con molta più forza; concentrazione comune ~ 10 mg/L.
Manganese	Minerali	Presente come $\text{MnO}_2$ in presenza di $\text{O}_2$ ; ridotto a $\text{Mn}^{2+}$ sol. in acqua sotterranee o altre acque carenti di $\text{O}_2$ ; bassa tossicità,



# Specie chimiche comunemente presenti nelle acque (2)

<i>Sostanza</i>	<i>Fonte</i>	<i>Comportamento ed importanza in acqua</i>
Azoto	Minerali, decomposizione di materia organica azotata, inquinamento	Specie azotate sono tra le più importanti. Azoto inorganico presente come $\text{NO}_3^-$ in presenza di $\text{O}_2$ , come $\text{NH}_4^+$ in assenza di $\text{O}_2$ ; $\text{NO}_2^-$ , nitrito tossico è una forma intermedia. Nitrato è nutriente algale che può contribuire all'eutrofizzazione. $\text{NH}_4^+$ è un acido debole ( $\text{pK}_a = 9.26$ ). $\text{NO}_3^-$ è fortemente legato al suolo. Microrganismi catalizzano interconversione tra vari stati di ossidazione di N in acqua. Azoto organico è legato a vari composti organici inquinanti e biologici.
Potassio, $\text{K}^+$	Materia minerale, fertilizzanti, incendi foreste	Può essere lisciviato da minerali come il feldspato, $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ; è un nutriente essenziale delle piante; usualmente si trova a livelli di alcuni mg/L, ai quali non è un inquinante.
Fosforo	Minerali, fertilizzanti, scarichi domestici (dai detersivi)	Si trova in acque naturali come anione di acido ortofosforico $\text{H}_3\text{PO}_4$ , $\text{pK}_{a1} = 2.17$ , $\text{pK}_{a2} = 7.31$ , $\text{pK}_{a3} = 12.36$ ; gli anioni $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ e $\text{HPO}_4^{2-}$ sono predominanti in acque con pH ordinario; può essere presente P organico; è nutriente algale che spesso contribuisce ad eutrofizzazione.
Silicio	Minerali (es: sodio feldspato albite, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), inquinanti	Presente in acqua a livelli normali di 1-30 mg/L; si trova come $\text{SiO}_2$ colloidale, specie polinucleari, come $\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_6^{2-}$ , o acido silicico, $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , $\text{pK}_a = 9.46$
Zolfo	Minerali, inquinanti, acque acide di miniera, piogge acide	Lo ione solfato, $\text{SO}_4^{2-}$ , prevale sotto condizioni aerobiche; l' $\text{H}_2\text{S}$ è prodotto in acque anaerobiche ed è tossico, mentre $\text{SO}_4^{2-}$ è innocuo a livelli moderati.
Sodio, $\text{Na}^+$	Minerali, inquinamento	Ci sono poche reazioni in cui $\text{Na}^+$ è precipitato o assorbito; non c'è danno diretto ai livelli più bassi, ma a livelli più alti è associato all'inquinamento delle acque salate, che uccide le piante; i livelli normali sono di alcuni mg/L.

# Sali disciolti: differenze tra acque dolci e di mare



# Composti dello zolfo

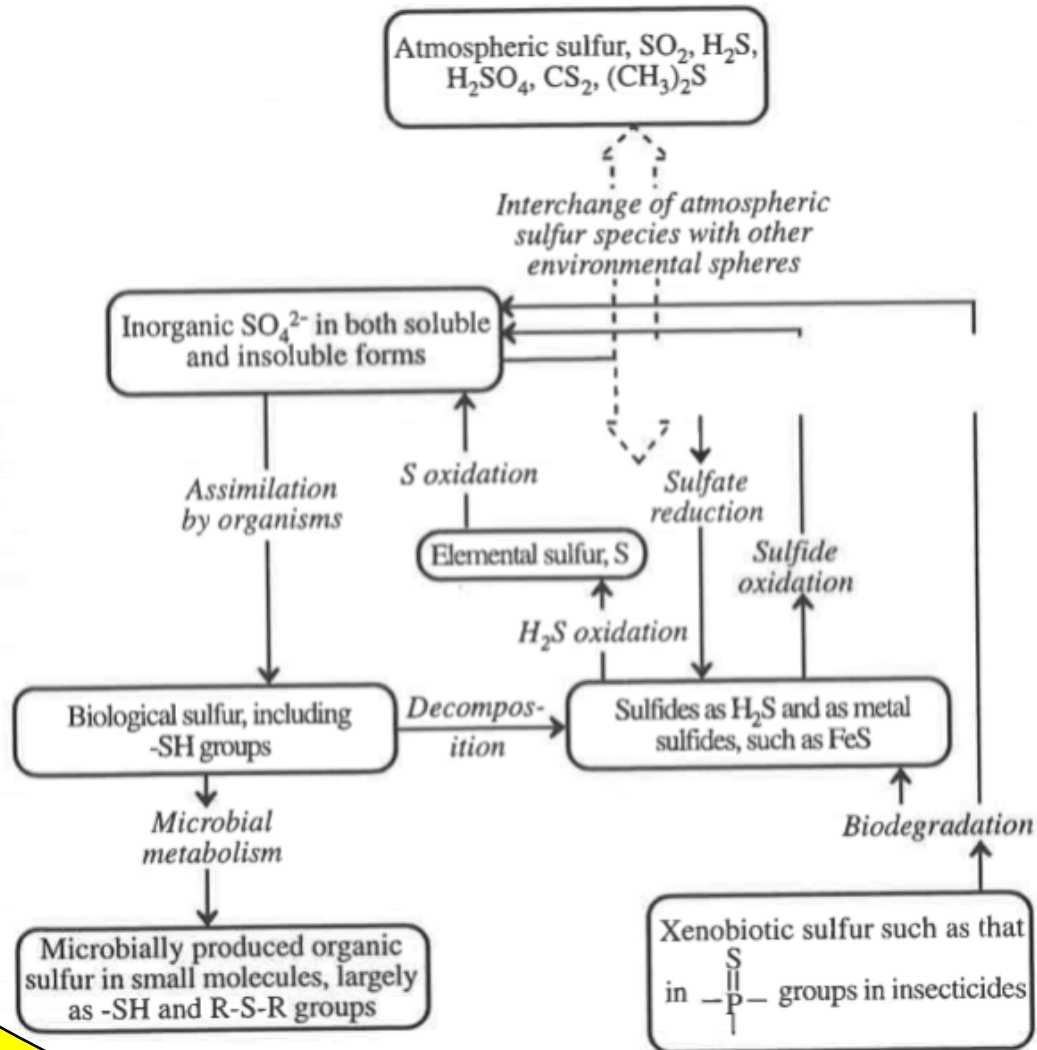
Speciazione presente: **solforati**, **solfo di idrogeno**, **solfo organico**.

Il contenuto di zolfo nelle acque può essere determinato come:

**Solforati**: metodo spettrofotometrico

**Zolfo totale** : viene determinato tramite ICP-AES dopo pre-trattamento del campione.

# Ciclo biogeochimico dello zolfo



Metabolismo batterico

# Nutrienti presenti nelle acque

**Table 7.3. Essential Plant Nutrients: Sources and Functions**

Nutrient	Source	Function
<i>Macronutrients</i>		
Carbon (CO <sub>2</sub> )	Atmosphere, decay	Biomass constituent
Hydrogen	Water	Biomass constituent
Oxygen	Water	Biomass constituent
Nitrogen (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Decay, pollutants, atmosphere (from nitrogen-fixing organisms)	Protein constituent
Phosphorus (phosphate)	Decay, minerals, pollutants	DNA/RNA constituent
Potassium	Minerals, pollutants	Metabolic function
Sulfur (sulfate)	Minerals	Proteins, enzymes
Magnesium	Minerals	Metabolic function
Calcium	Minerals	Metabolic function
<i>Micronutrients</i>		
B, Cl, Co, Cu, Fe, Mo, Mn, Na, Si, V, Zn	Minerals, pollutants	Metabolic function and/or constituent of enzymes

# Nutrienti presenti nelle acque

Table 7.3. Essential Plant Nutrients: Sources and Functions

Nutrient	Source	Function
<i>Macronutrients</i>		
Carbon (CO <sub>2</sub> )	Atmosphere, decay	Biomass constituent
Hydrogen	Water	Biomass constituent
Oxygen	Water	Biomass constituent
Nitrogen (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Decay, pollutants, atmosphere (from nitrogen-fixing organisms)	Protein constituent
Phosphorus (phosphate)	Decay, minerals, pollutants	DNA/RNA constituent
Potassium	Minerals, pollutants	Metabolic function
Sulfur (sulfate)	Minerals	Proteins, enzymes
Magnesium	Minerals	Metabolic function
Calcium	Minerals	Metabolic function
<i>Micronutrients</i>		
B, Cl, Co, Cu, Fe, Mo, Mn, Na, Si, V, Zn	Minerals, pollutants	Metabolic function and/or constituent of enzymes



La concentrazione disponibile di composti dell'azoto e del fosforo è il fattore limitante per quanto riguarda la crescita algale

# Composti dell'azoto

Speciazione presente: **azoto ammoniacale, nitriti, nitrati, azoto organico.**

Il contenuto di azoto nelle acque è uno dei macrodescrittori utilizzati per la loro caratterizzazione e classificazione, si possono misurare:

**Azoto totale Kjeldahl (TKN)** = N ammoniacale + N organico

**Azoto totale (TN)** = TKN + N nitroso + N nitrico

# Ciclo biogeochimico dell'azoto

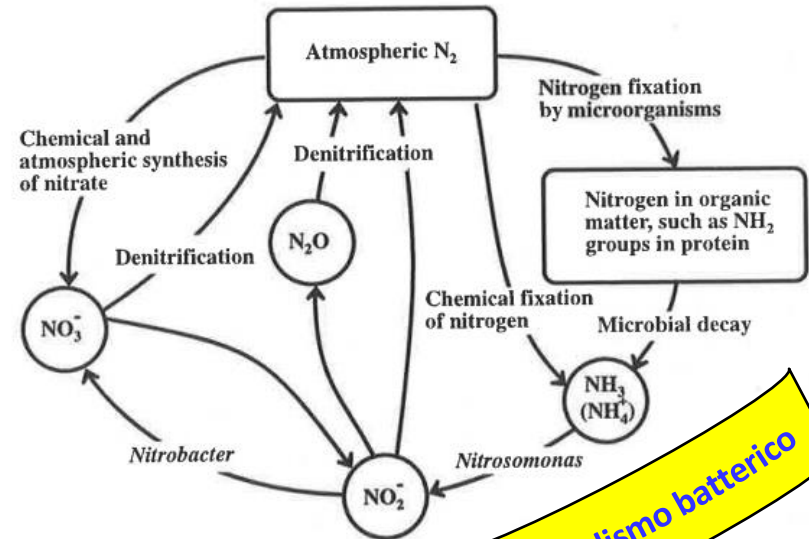
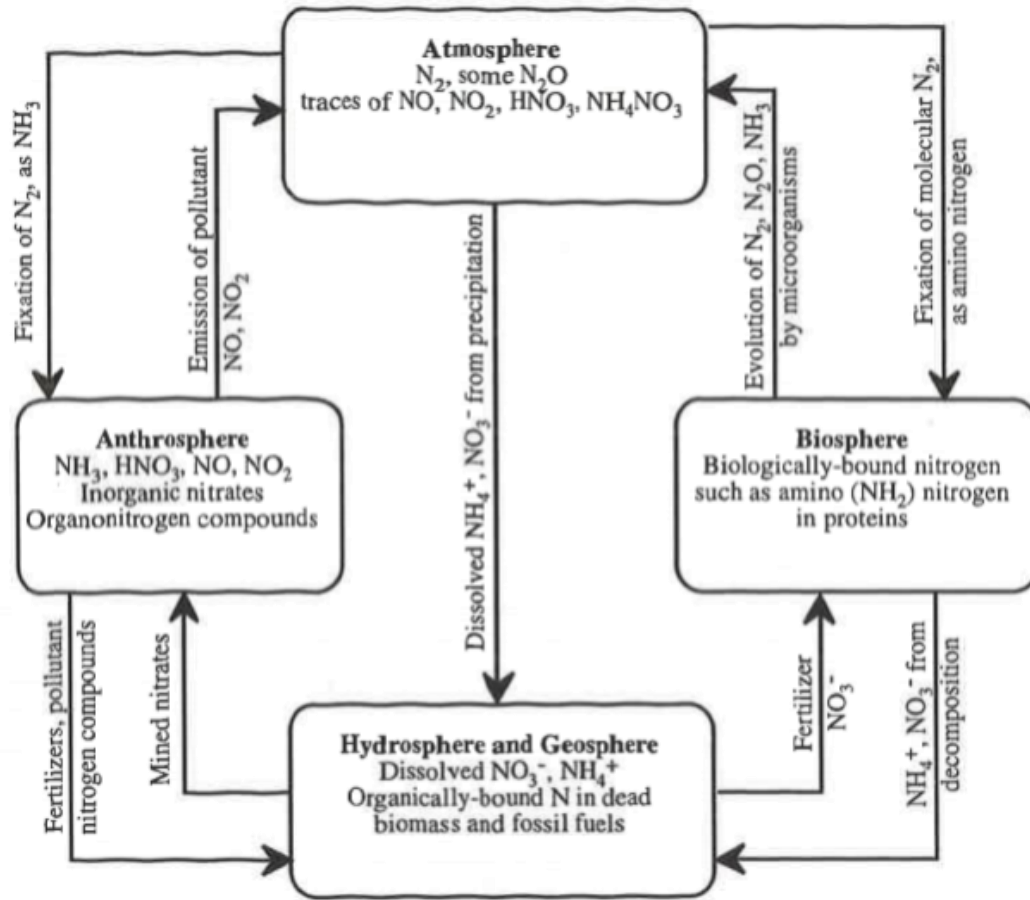


Figure 6.10. The nitrogen cycle.

**Metabolismo batterico**



# Composti del fosforo

Speciazione presente: **ortofosfato**, **fosforo organico**.

Il contenuto di fosforo nelle acque è uno dei macrodescrittori utilizzati per la loro caratterizzazione e classificazione, si possono misurare:

**Ortofosfato**: metodo spettrofotometrico

**Fosforo totale** : i composti del fosforo presenti vengono ossidati a ortofosfato, poi misurato per via spettrofotometrica.

# Ciclo biogeoquímico del fósforo

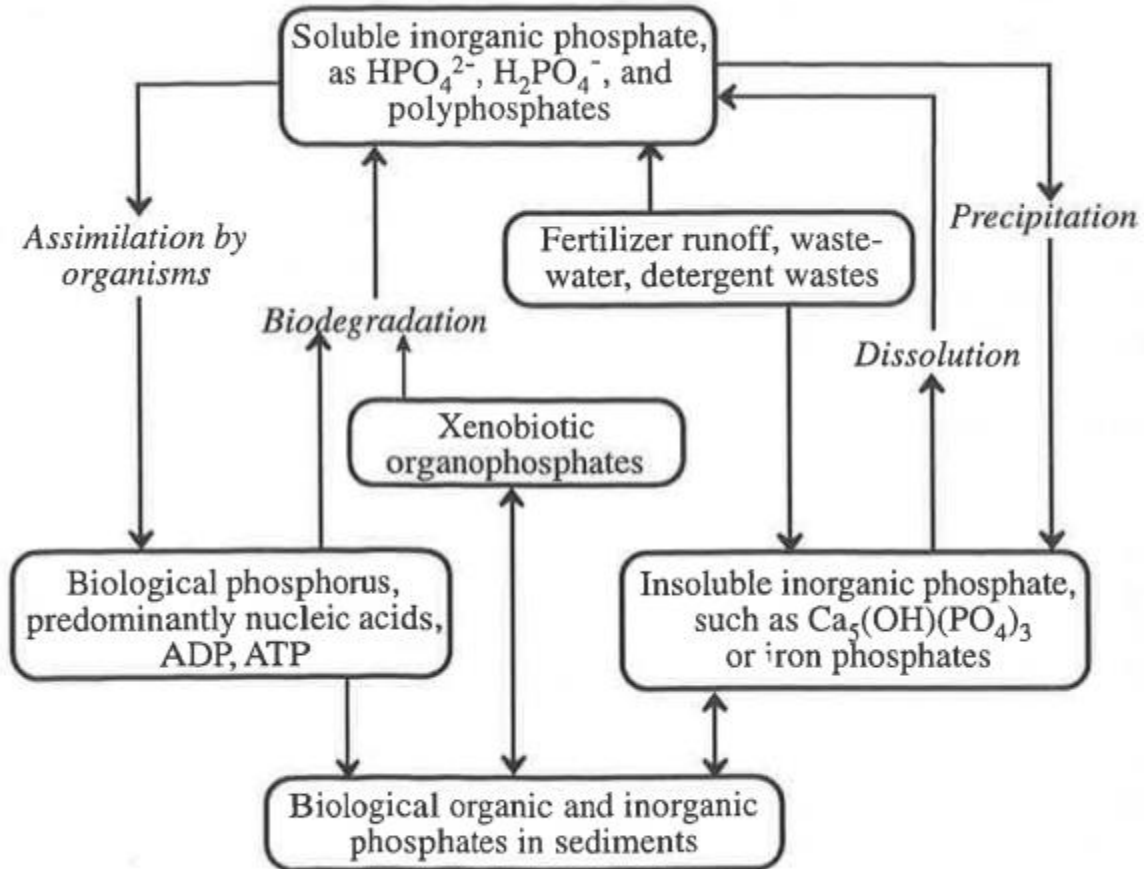


Figure 1.7. The phosphorus cycle.

# Inquinamento delle acque: tipi di inquinanti

## ➤ Inquinamento Estetico-Organoleptico

(solidi sospesi, torbidità, colore, odore, sapore)

## ➤ Inquinamento Chimico

- ioni (conducibilità, durezza, alcalinità)

- deossigenazione (BOD, COD, TOC)

- eutrofizzazione (carichi di N e P)

- tossicità (ammoniacale, metalli, idrocarburi, fenoli, IPA, solventi clorurati, pesticidi, tensioattivi....)

## ➤ Inquinamento Termico (temperatura)

## ➤ Inquinamento Radioattivo

## ➤ Inquinamento Microbiologico

(batteri, virus, protozoi)

**Table 7.1. General Types of Water Pollutants**

Class of pollutant	Significance
Trace Elements	Health, aquatic biota, toxicity
Heavy metals	Health, aquatic biota, toxicity
Organically-bound metals	Metal transport
Radionuclides	Toxicity
Inorganic pollutants	Toxicity, aquatic biota
Asbestos	Human health
Algal nutrients	Eutrophication
Acidity, alkalinity, salinity (in excess)	Water quality, aquatic life
Trace organic pollutants	Toxicity
Polychlorinated biphenyls	Possible biological effects
Pesticides	Toxicity, aquatic biota, wildlife
Petroleum wastes	Effect on wildlife, esthetics
Sewage, human and animal wastes	Water quality, oxygen levels
Biochemical oxygen demand	Water quality, oxygen levels
Pathogens	Health effects
Detergents	Eutrophication, wildlife, esthetics
Chemical carcinogens	Incidence of cancer
Sediments	Water quality, aquatic biota, wildlife
Taste, odor, and color	Esthetics

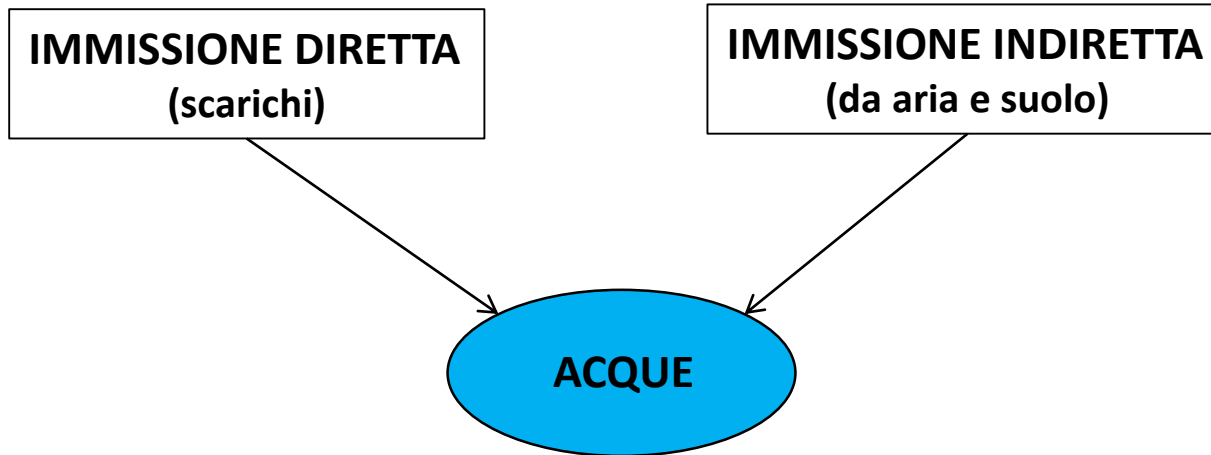
# Inquinamento delle acque: elementi in tracce

Alcuni elementi in tracce presenti nelle acque (cioè presenti in concentrazioni dell'ordine dei ppm o meno, ovvero mg/l o meno) sono essere essenziali per la vita, ma possono diventare estremamente tossici in caso di presenza in concentrazione elevata.

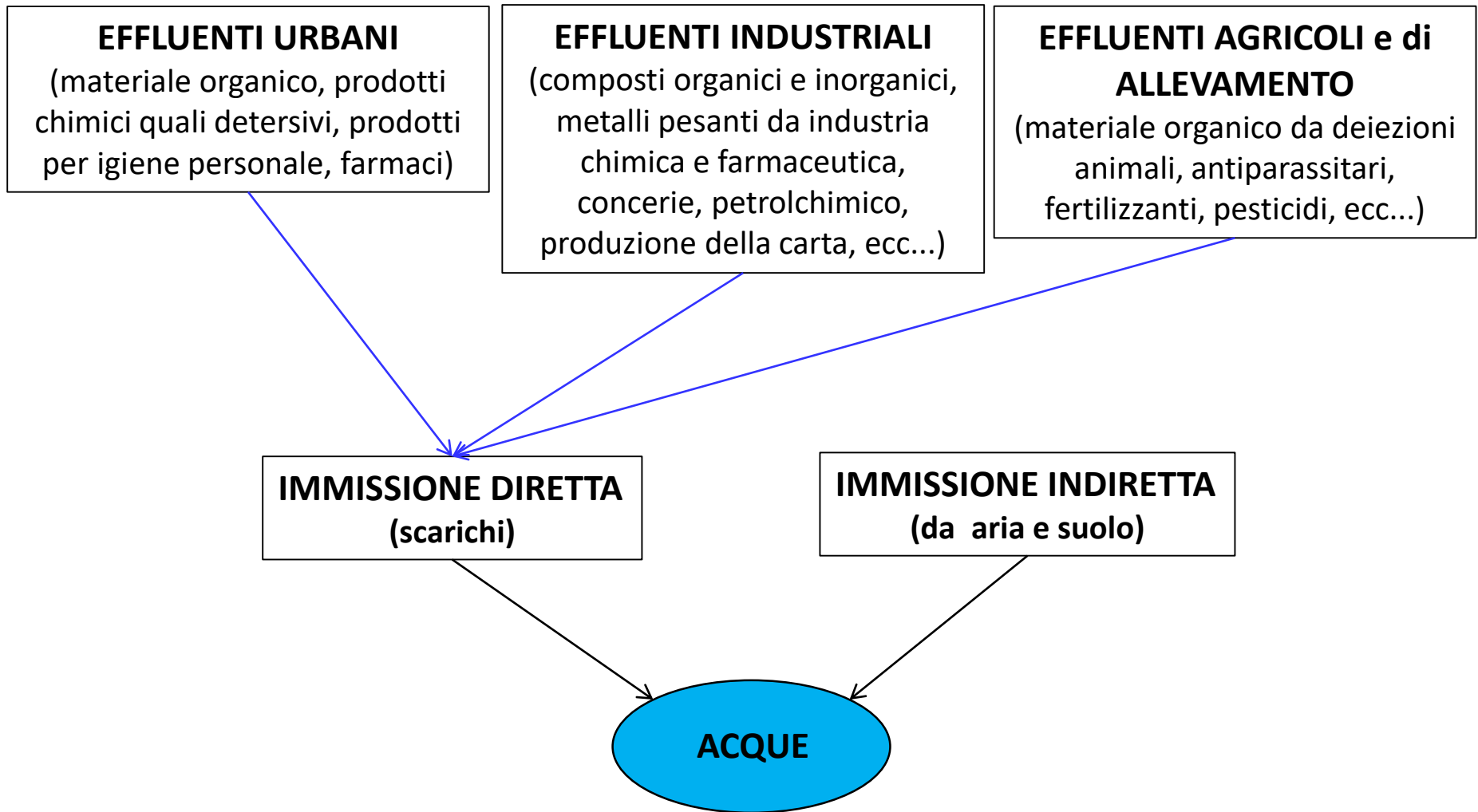
**Table 7.2. Important Trace Elements in Natural Waters**

Element	Sources	Effects and Significance
Arsenic	Mining byproduct, chemical waste	Toxic <sup>1</sup> , possibly carcinogenic
Beryllium	Coal, industrial wastes	Toxic
Boron	Coal, detergents, wastes	Toxic
Chromium	Metal plating	Essential as Cr(III), toxic as Cr(VI)
Copper	Metal plating, mining, industrial waste	Essential trace element, toxic to plants and algae at higher levels
Fluorine (F <sup>-</sup> )	Natural geological sources, wastes, water additive	Prevents tooth decay at around 1 mg/L, toxic at higher levels
Iodine (I <sup>-</sup> )	Industrial wastes, natural brines, seawater intrusion	Prevents goiter
Iron	Industrial wastes, corrosion, acid mine water, microbial action	Essential nutrient, damages fixtures by staining
Lead	Industrial waste, mining, fuels	Toxic, harmful to wildlife
Manganese	Industrial wastes, acid mine water, microbial action	Toxic to plants, damages fixtures by staining
Mercury	Industrial waste, mining, coal	Toxic, mobilized as methyl mercury compounds by anaerobic bacteria
Molybdenum	Industrial wastes, natural sources	Essential to plants, toxic to animals
Selenium	Natural sources, coal	Essential at lower levels, toxic at higher levels
Zinc	Industrial waste, metal plating, plumbing	Essential element, toxic to plants at higher levels

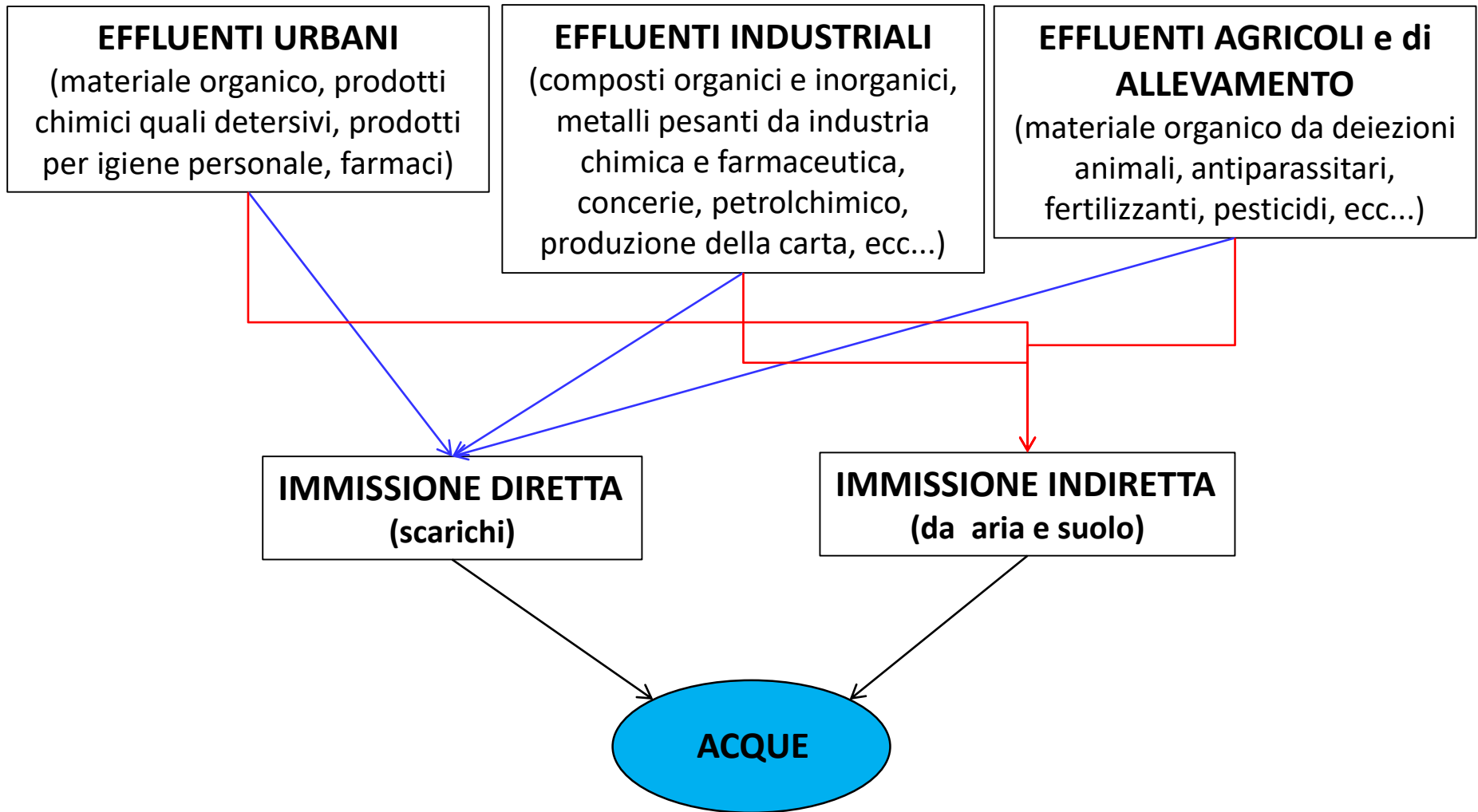
# Inquinamento delle acque: fonti



# Inquinamento delle acque: fonti



# Inquinamento delle acque: fonti



# Contaminanti presenti in acque di scarico industriali

Tab. 31/II – Principali contaminanti presenti nelle acque di scarico di alcune tipologie industriali [75, modificata].

Tipologia	Concrete	Cartiere	Chimiche e petrolchimiche	Raffinerie	Galvaniche e metallurgiche	Cementifici e lavorazione pietre	Tessili e tintorie	Minerarie	Distillerie e birrerie	Macelli e conserverie	Caseifici	Zuccherifici	Oli vegetali e margarine	Raffreddamento
pH	X	X	X	X	X	X	X	X					X	
Temperatura							X					X		X
Colore		X	X				X		X					
Odore	X		X											
Materiali grossolani	X	X	X			X		X	X	X	X	X		
Materiali sedimentabili	X	X	X			X		X	X	X	X	X		
Materiali in sospensione	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	
BOD e COD	X	X	X		X		X		X	X	X	X	X	
Metalli tossici	X	X	X		X			X						
Cianuri					X									
Cloro		X			X		X							X
Solfuri	X			X										
Solfiti		X												
Solfati	X		X	X	X									
Cloruri	X		X	X	X			X						
Fluoruri					X									
Fosfati			X					X						X
Grassi, oli vegetali e animali			X	X									X	
Fenoli			X		X								X	
Solventi organici			X											
Tensioattivi			X				X							
Pesticidi	X	X	X				X							

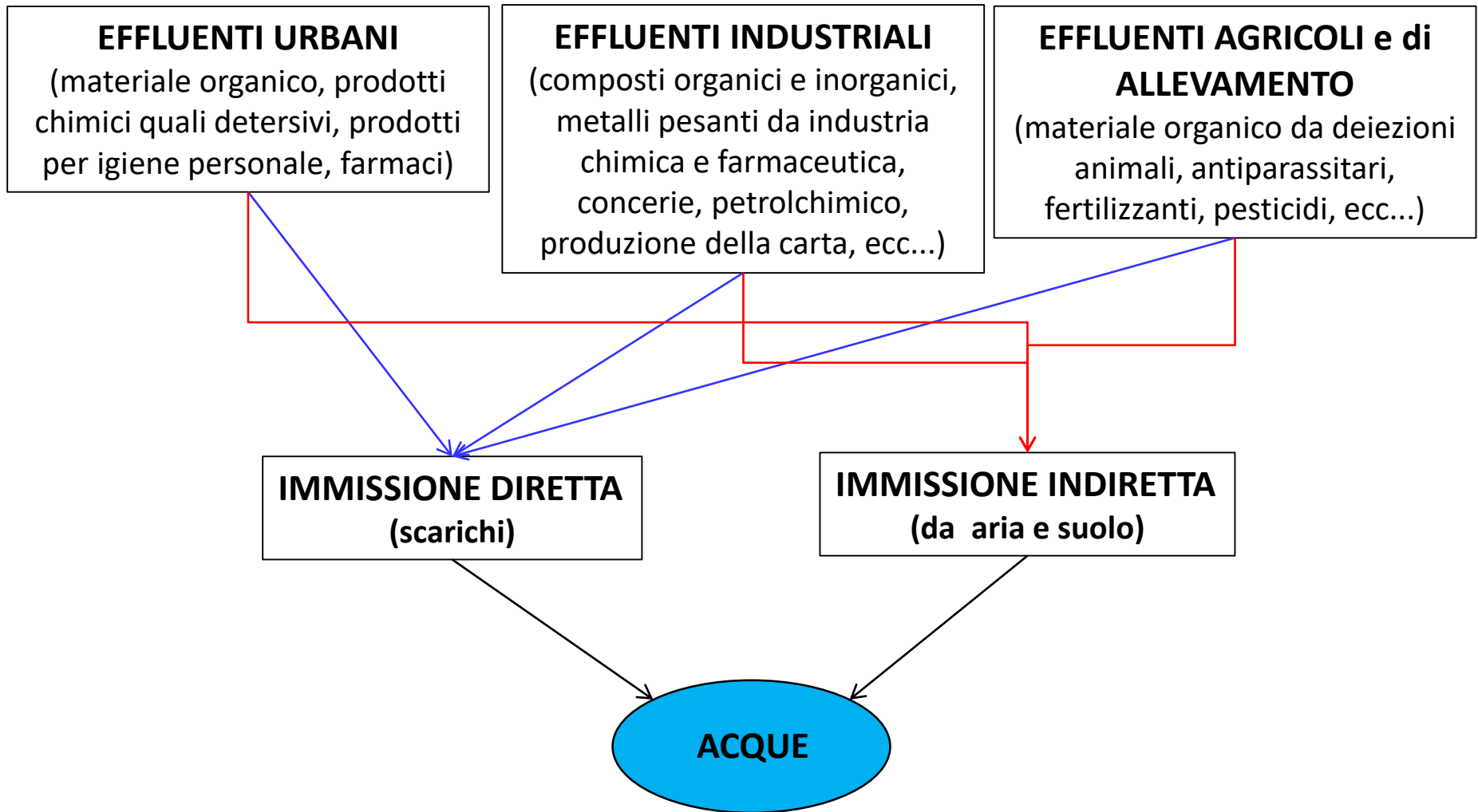


# Contaminanti presenti in acque di scarico urbano

**Table 7.4. Some of the Primary Constituents of Sewage from a City Sewage System**

Constituent	Potential sources	Effects in water
Oxygen-demanding substances	Mostly organic materials, particularly human feces	Consume dissolved oxygen
Refractory organics	Industrial wastes, household products	Toxic to aquatic life
Viruses	Human wastes	Cause disease (possibly cancer); major deterrent to sewage recycle through water systems
Detergents	Household detergents	Esthetics, prevent grease and oil removal, toxic to aquatic life
Phosphates	Detergents	Algal nutrients
Grease and oil	Cooking, food processing, industrial wastes	Esthetics, harmful to some aquatic life
Salts	Human wastes, water softeners, industrial wastes	Increase water salinity
Heavy metals	Industrial wastes, chemical laboratories	Toxicity
Chelating agents	Some detergents, industrial wastes	Heavy metal ion solubilization and transport
Solids	All sources	Esthetics, harmful to aquatic life

# Inquinamento delle acque: fonti



# Eutrofizzazione

E' un fenomeno di inquinamento secondario conseguente ad un eccesso di nutrienti, principalmente N e P sotto forma di nitrati e fosfati. Provoca:

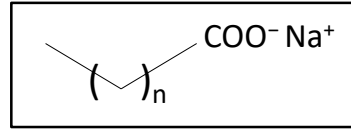
- ❖ **Crescita** primaverile **abnorme** di alghe (fioritura) e seconda fioritura (autunnale)
- ❖ Accumulo in superficie e **ostacolo alla penetrazione della luce**
- ❖ Accumulo su fondali con putrefazione e **consumo di ossigeno** dall'acqua (condizioni di **anossia**)

Tab. VII.19 Fonti di apporto dell'azoto e del fosforo nei laghi

	<i>N</i>	<i>P</i>
<i>Fonti controllabili</i>		
Insedimenti urbani	12,5 g/ab · giorno	1,5 g/ab · giorno
Detersivi domestici	—	0,2 g/ab · giorno
Fognature urbane	15-100 mg/l	5-20 mg/l
Liquami domestici depurati fino al 2° stadio	8-50 mg/l	3-10 mg/l
Liquami industriali	variabile	variabile
<i>Fonti non controllabili</i>		
Fiumi affluenti	—	0,01-1 mg/l
Acque sotterranee	variabile	variabile
Drenaggio di aree coltivate	0,11 g/m <sup>2</sup> · anno	0,135 g/m <sup>2</sup> · anno
Drenaggio di aree coltivate	—	0,05-1,0 mg/l
Drenaggio di aree prative e pascoli	0,85 g/m <sup>2</sup> · anno	0,071 g/m <sup>2</sup> · anno
Drenaggio di aree boschive	0,24 g/m <sup>2</sup> · anno	0,008 g/m <sup>2</sup> · anno
Drenaggio di aree improduttive	0,18 g/m <sup>2</sup> · anno	0,006 g/m <sup>2</sup> · anno
Animali lacustri (anatre)	480 g/capo · anno	90 g/capo · anno
Precipitazioni sul lago	0,58 g/m <sup>2</sup> · anno	0,044 g/m <sup>2</sup> · anno

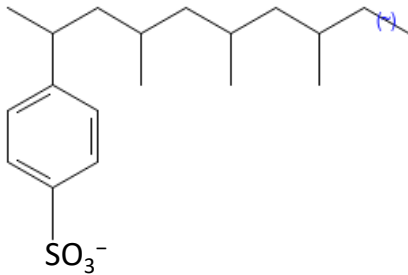
# Tensioattivi

I **SAPONI** sono sali di sodio o potassio di acidi grassi a lunga catena.

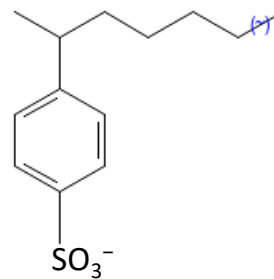


**Problema:** in presenza di **ACQUE DURE** formano sali **INSOLUBILI** con  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  riducendo l'efficacia dei detergenti.

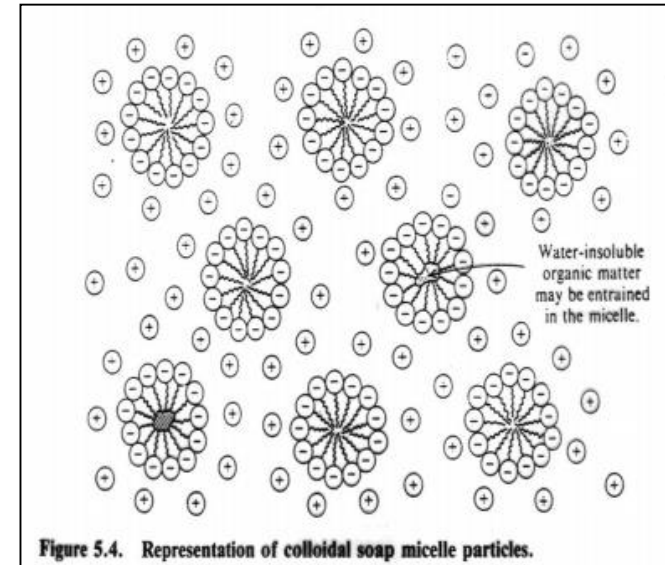
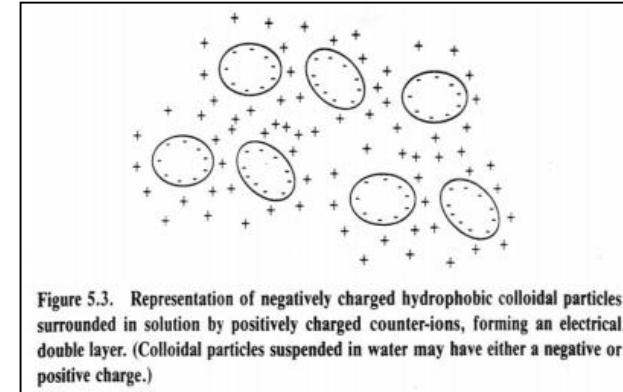
I **DETERGENTI ANIONICI SINTETICI** sono sali di sodio o potassio di acidi solfonici a lunga catena, anche ramificata.



Alchilbenzensolfonati (ABS)



Linearalchilbenzensolfonati (LBS)



**Vantaggio:** in presenza di **ACQUE DURE** i solfonati formano sali abbastanza **SOLUBILI**

**Problema:** gli ABS sono **MENO BIODEGRADABILI** di LBS a causa della presenza dei carboni terziari

# Addolcimento delle acque

L'addolcimento delle acque prevede l'eliminazione di parte della durezza di esse: acque troppo dure incrostano le tubature, inibiscono il potere detergente dei detersivi e dei saponi, etc...

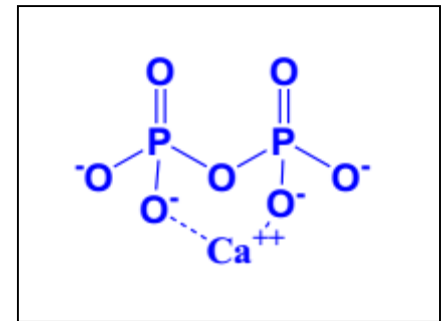
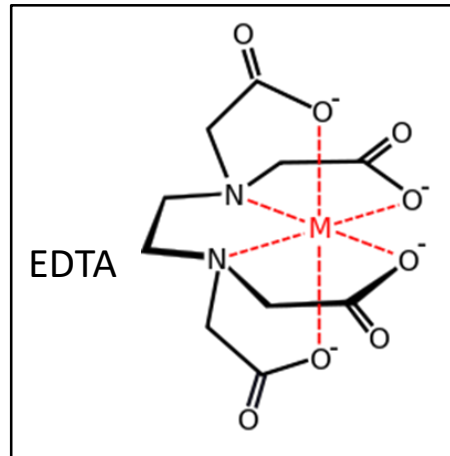
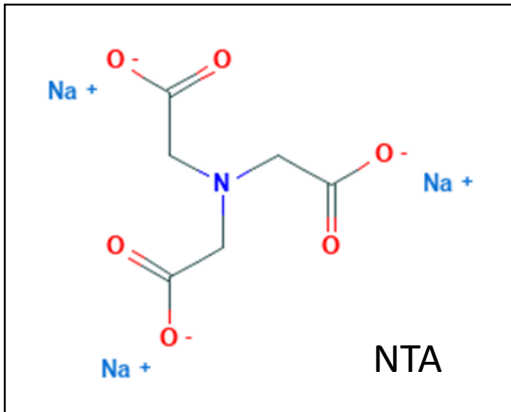
L'addolcimento può essere effettuato per **complessazione**, mediante:

# Addolcimento delle acque

L'addolcimento delle acque prevede l'eliminazione di parte della durezza di esse: acque troppo dure incrostano le tubature, inibiscono il potere detergente dei detersivi e dei saponi, etc...

L'addolcimento può essere effettuato per **chelazione**, mediante:

- **Fosfati**: lo ione pirofosfato idrolizza in acqua a ortofosfato che chela i metalli
- **EDTA** (etilendiamminotetraacetato)
- **NTA** (nitrilotriacetato)

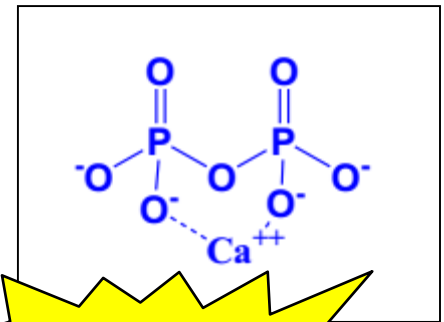
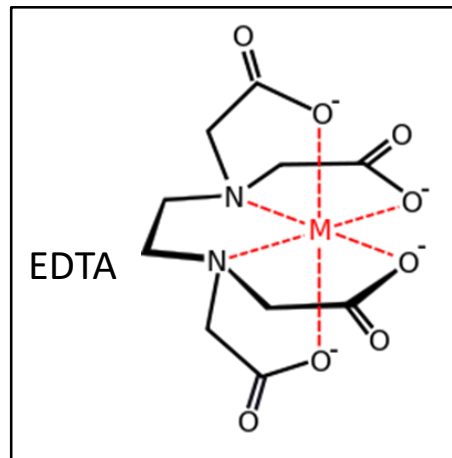
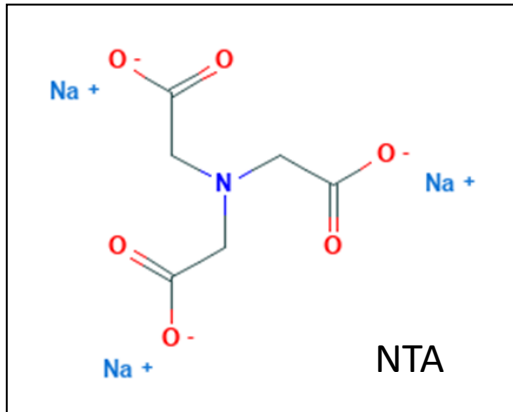


# Addolcimento delle acque

L'addolcimento delle acque prevede l'eliminazione di parte della durezza di esse: acque troppo dure incrostano le tubature, inibiscono il potere detergente dei detersivi e dei saponi, etc...

L'addolcimento può essere effettuato per **chelazione**, mediante:

- **Fosfati**: lo ione pirofosfato idrolizza in acqua a ortofosfato che chela i metalli
- **EDTA** (etilendiamminotetraacetato)
- **NTA** (nitrilotriacetato)



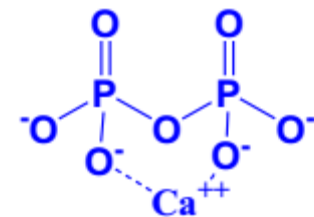
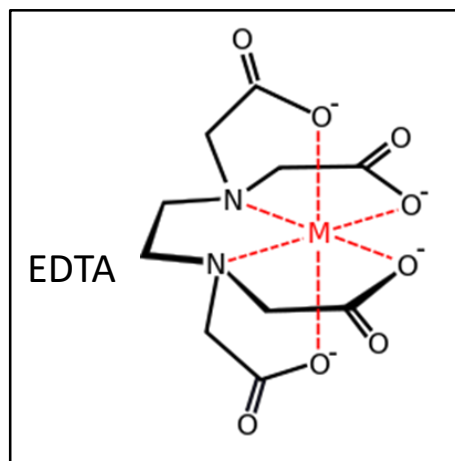
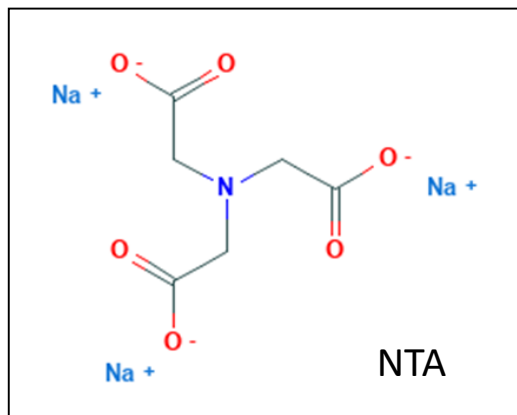
**EUTROFIZZAZIONE!!!**

# Addolcimento delle acque

L'addolcimento delle acque prevede l'eliminazione di parte della durezza di esse: acque troppo dure incrostano le tubature, inibiscono il potere detergente dei detersivi e dei saponi, etc...

L'addolcimento può essere effettuato per **chelazione**, mediante:

- **Fosfati**: lo ione pirofosfato idrolizza in acqua a ortofosfato che chela i metalli
- **EDTA** (etilendiamminotetraacetato)
- **NTA** (nitrilotriacetato)



**EUTROFIZZAZIONE!!!**

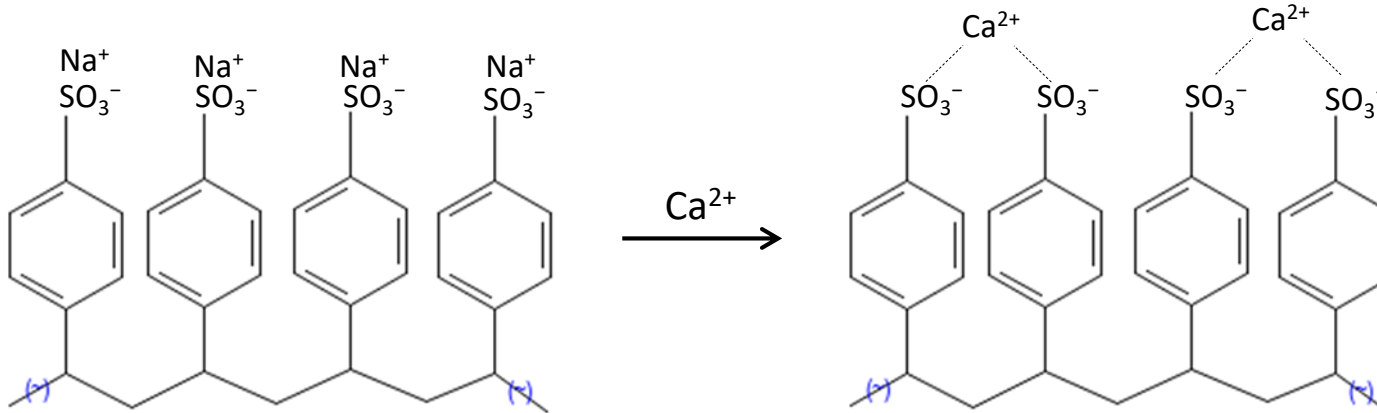
Usati nel trattamento dei metalli, delle acque industriali, di scarico, nei detersivi come sostituenti dei fosfati per ovviare al problema dell'eutrofizzazione.



# Addolcimento delle acque (2)

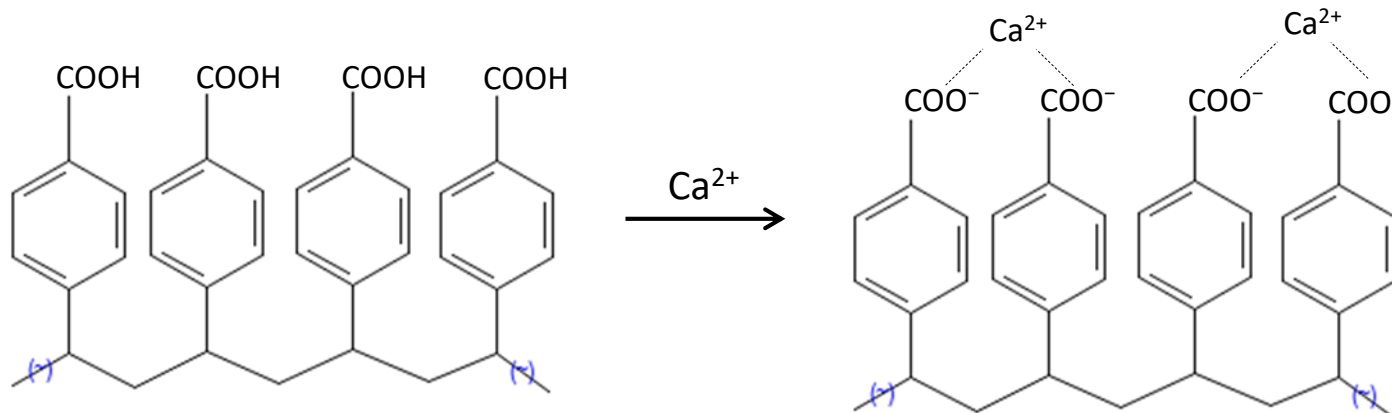
Resine scambiatrici di ioni vengono utilizzate per eliminare  $\text{Ca}^{2+}$  (e  $\text{Mg}^{2+}$ ).

## RESINE CATIONICHE fortemente acide



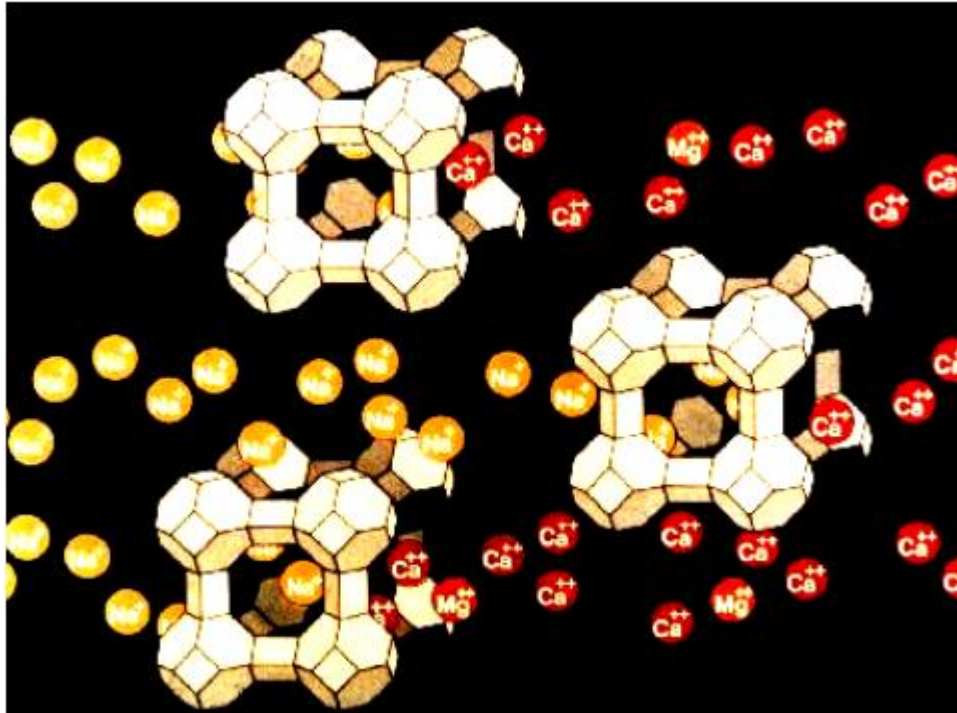
La resina si rigenera utilizzando  $\text{NaCl}$  (come ad es. nelle lavastoviglie)

## RESINE CATIONICHE debolmente acide



# Addolcimento delle acque (3)

Alternativamente si possono utilizzare **zeoliti** (silicati di alluminio) che sono resine a scambio ionico naturali.



# Capacità acque di autorigenerarsi (processi)

## Fisici

- Diluizione
- Sedimentazione
- Adsorbimento
- Abrasione
- Scambio ionico

## Chimici

- Reazioni acido-base
- Reazioni redox
- Complessazione
- Chelazione
- Precipitazione
- Flocculazione
- Idrolisi

## Biologici

- Degradazione da batteri, muffe, funghi, etc...
- Ingestione da parte di organismi superiori (sostanze sospese)
- Assimilazione vegetale (sostanze solubili)
- Assimilazione animale (catena alimentare)

# Capacità acque di autorigenerarsi (processi)

## Fisici

- Diluizione
- Sedimentazione
- Adsorbimento
- Abrasione
- Scambio ionico

## Chimici

- Reazioni acido-base
- Reazioni redox
- Complessazione
- Chelazione
- Precipitazione
- Flocculazione
- Idrolisi

Le acque "rispondono" ad agenti esterni che ne perturbano l'equilibrio cercando di raggiungere un nuovo equilibrio

## Biologici

- Degradazione da batteri, muffe, funghi, etc...
- Ingestione da parte di organismi superiori (sostanze sospese)
- Assimilazione vegetale (sostanze solubili)
- Assimilazione animale (catena alimentare)

# Capacità acque di autorigenerarsi (processi)

## Fisici

- Diluizione
- Sedimentazione
- Adsorbimento
- Abrasione
- Scambio ionico

## Chimici

- Reazioni acido-base
- Reazioni redox
- Complessazione
- Chelazione
- Precipitazione
- Flocculazione
- Idrolisi

## Biologici

- Degradazione da batteri, muffe, funghi, etc...
- Ingestione da parte di organismi superiori (sostanze sospese)
- Assimilazione vegetale (sostanze solubili)
- Assimilazione animale (catena alimentare)

Le acque "rispondono" ad agenti esterni che ne perturbano l'equilibrio cercando di raggiungere un nuovo equilibrio



La capacità di autorigenerarsi ha un limite!

# Sviluppo sostenibile e risorsa idrica

## Obiettivi globali al 2030:

**6.1** By 2030, achieve universal and equitable access to safe and affordable drinking water for all

**6.2** By 2030, achieve access to adequate and equitable sanitation and hygiene for all and end open defecation, paying special attention to the needs of women and girls and those in vulnerable situations

**6.3** By 2030, improve water quality by reducing pollution, eliminating dumping and minimizing release of hazardous chemicals and materials, halving the proportion of untreated wastewater and substantially increasing recycling and safe reuse globally

**6.4** By 2030, substantially increase water-use efficiency across all sectors and ensure sustainable withdrawals and supply of freshwater to address water scarcity and substantially reduce the number of people suffering from water scarcity

**6.5** By 2030, implement integrated water resources management at all levels, including through transboundary cooperation as appropriate

**6.6** By 2020, protect and restore water-related ecosystems, including mountains, forests, wetlands, rivers, aquifers and lakes

**6.A** By 2030, expand international cooperation and capacity-building support to developing countries in water- and sanitation-related activities and programmes, including water harvesting, desalination, water efficiency, wastewater treatment, recycling and reuse technologies

**6.B** Support and strengthen the participation of local communities in improving water and sanitation management

**6** CLEAN WATER AND SANITATION



# Acque potabili

- La **qualità delle acque potabili** nella storia è stata un fattore rilevante per determinare il **benessere** degli esseri umani.
- Nel passato l'acqua potabile ed impiegata nell'irrigazione è stata **veicolo di patologie** come tifo, colera, epatiti ed altre ancora.

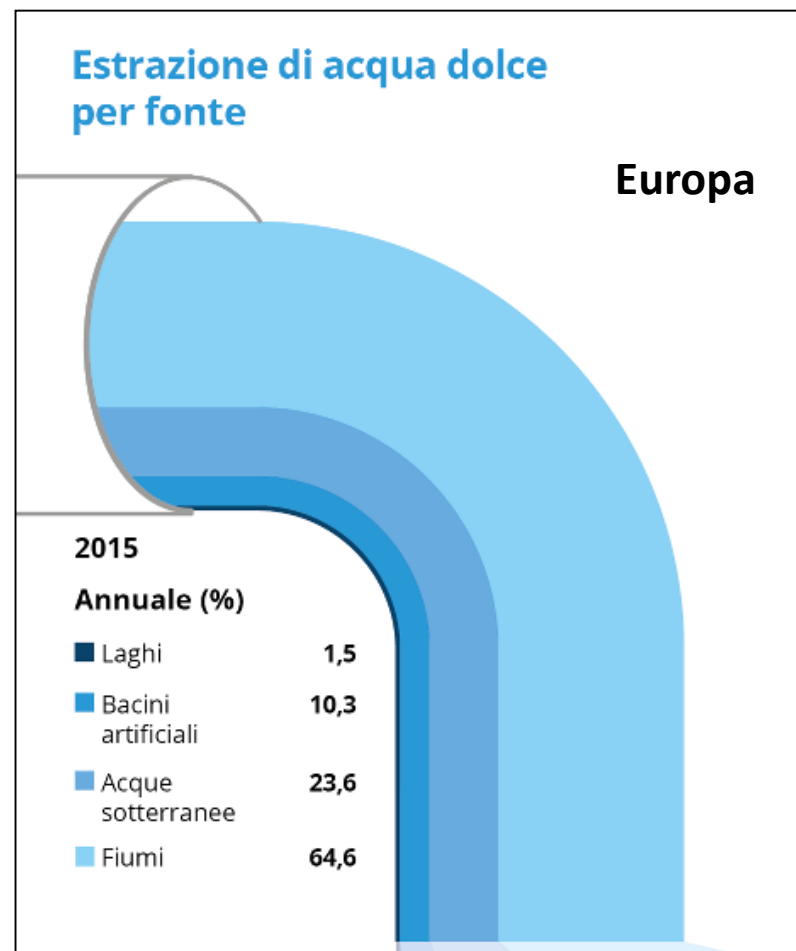
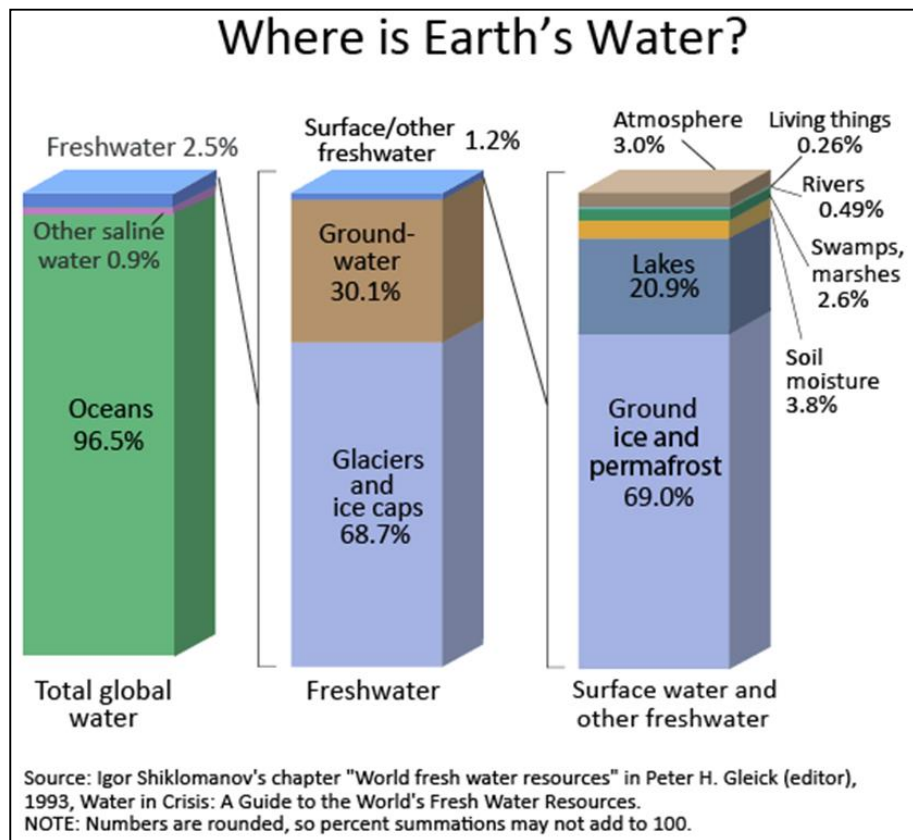
# Acque potabili

- La **qualità delle acque potabili** nella storia è stata un fattore rilevante per determinare il **benessere** degli esseri umani.
- Nel passato l'acqua potabile ed impiegata nell'irrigazione è stata **veicolo di patologie** come tifo, colera, epatiti ed altre ancora.
- Attualmente nelle **nazioni tecnologicamente avanzate il controllo** della trasmissione di queste patologie virali e batteriche trasmesse dall'acqua è **molto buono**, ma la presenza nelle acque di specie chimiche tossiche rappresenta un elemento di attenzione.
- Ci sono **molte possibili fonti di contaminazione**: rifiuti e scarichi dalle produzioni industriali, trattamenti galvanici di metalli, prodotti fitosanitari da terreni agricoli, scarichi municipali ed industriali in genere.



# Disponibilità di acque dolci

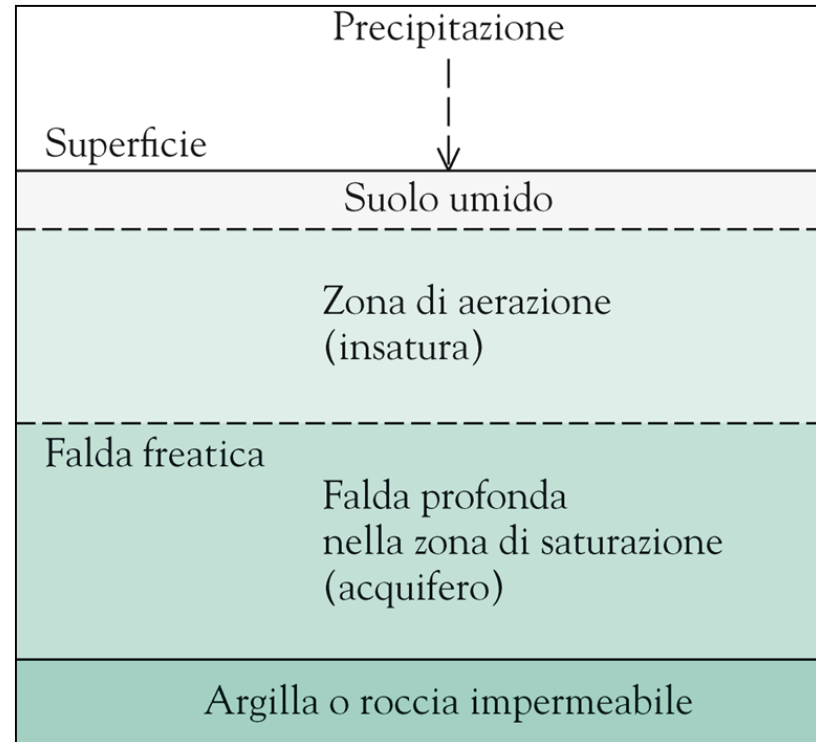
La maggior parte delle acque dolci disponibile sulla Terra si trova nel sottosuolo



# Acque dolci sotterranee

Scavando nel terreno, sotto lo strato di suolo umido, si incontrano:

- **Zona di aerazione (o insatura):** le particelle di suolo sono ricoperte da una pellicola d'acqua e tra di esse è presente aria;
- **Zona di saturazione:** l'acqua sostituisce tutta l'aria negli spazi porosi tra le particelle di suolo.

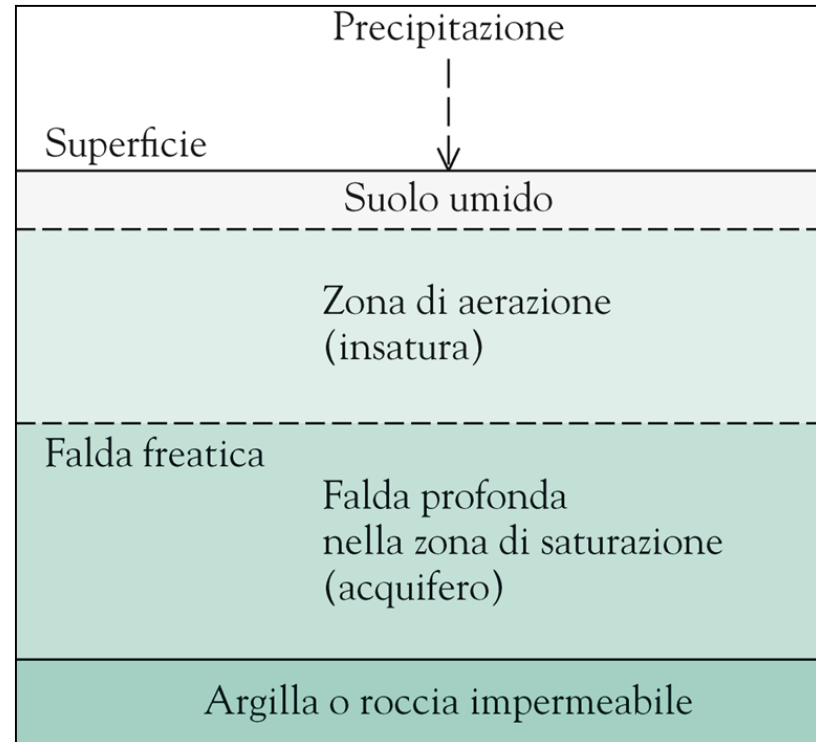


# Acque dolci sotterranee

Scavando nel terreno, sotto lo strato di suolo umido, si incontrano:

- **Zona di aerazione (o insatura):** le particelle di suolo sono ricoperte da una pellicola d'acqua e tra di esse è presente aria;
- **Zona di saturazione:** l'acqua sostituisce tutta l'aria negli spazi porosi tra le particelle di suolo.

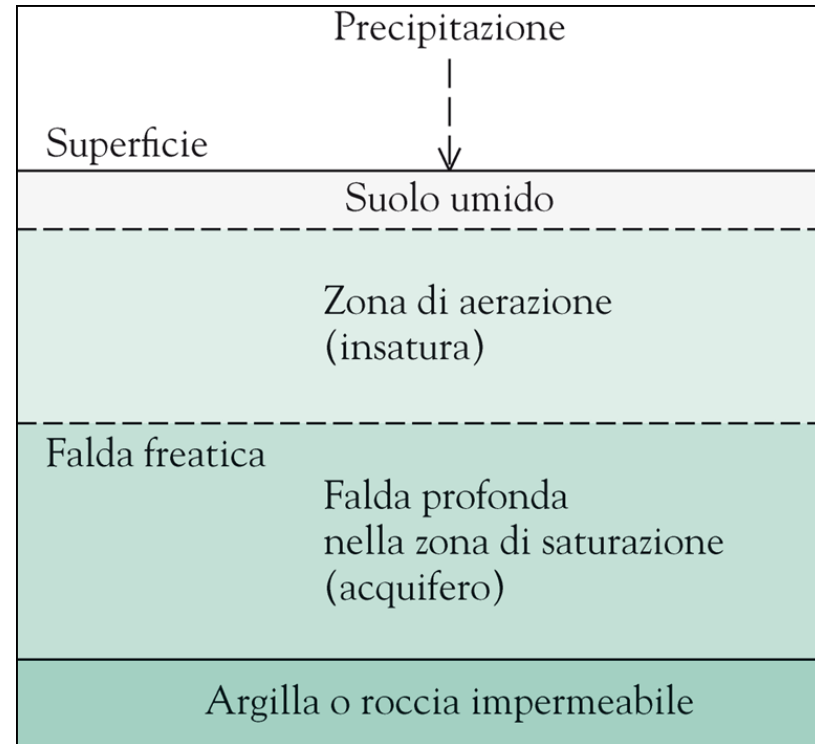
- L'acqua presente nella **zona di saturazione** è detta **acqua sotterranea o di falda**.
- La **fonte principale** dell'acqua di falda è data dalle **precipitazioni**.
- L'acqua sotterranea può avere un'età che varia da alcuni anni a milioni di anni.



# Acque dolci sotterranee (2)

La parte superiore dell'acqua di falda è detta **falda freatica** (poco profonda):

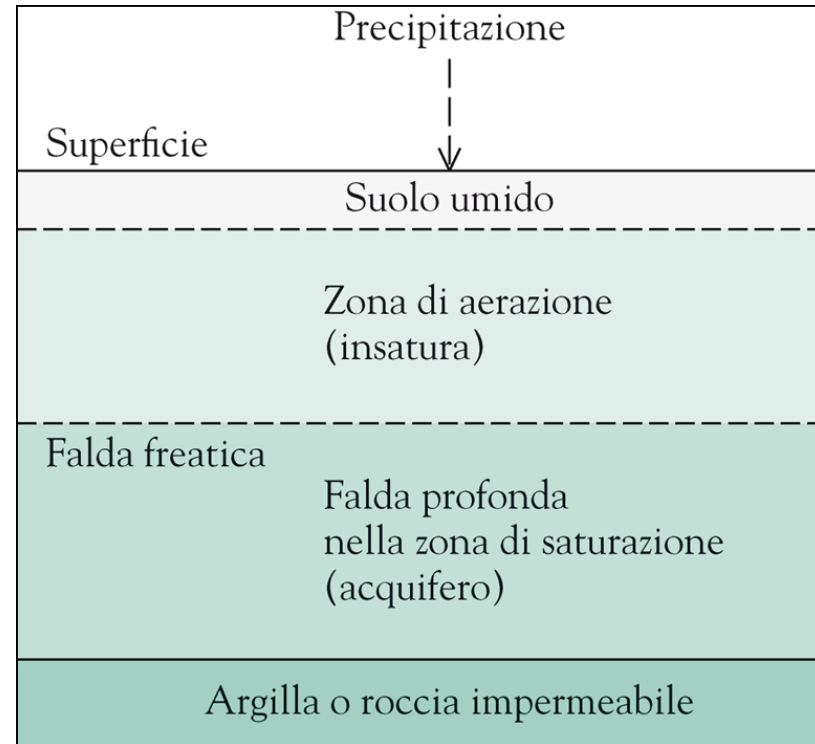
- Se è situata a livello della superficie del suolo dà origine alle paludi.
- Se è situata sopra livello della superficie del suolo genera laghi o fiumi (acque superficiali).



# Acque dolci sotterranee (2)

La parte superiore dell'acqua di falda è detta **falda freatica** (poco profonda):

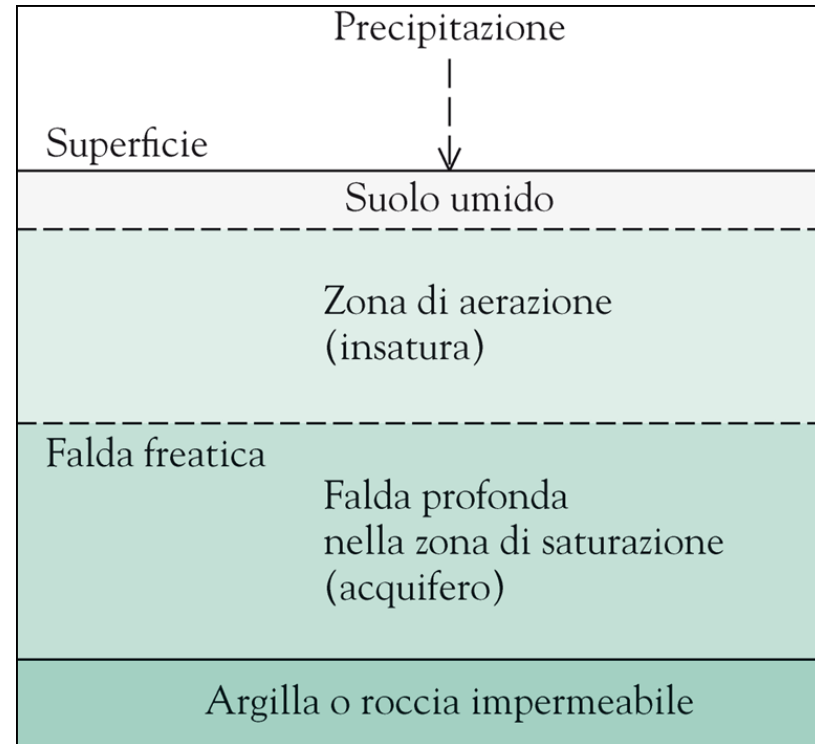
- Se è situata a livello della superficie del suolo dà origine alle paludi.
- Se è situata sopra livello della superficie del suolo genera laghi o fiumi (acque superficiali).
- Se è presente in un suolo con rocce porose o frantumate ed è limitata in profondità da uno strato impermeabile di argilla genera un serbatoio permanente (acquifero) detto **falda profonda**.



# Acque dolci sotterranee (2)

La parte superiore dell'acqua di falda è detta **falda freatica** (poco profonda):

- Se è situata a livello della superficie del suolo dà origine alle paludi.
  - Se è situata sopra livello della superficie del suolo genera laghi o fiumi (acque superficiali).
  - Se è presente in un suolo con rocce porose o frantumate ed è limitata in profondità da uno strato impermeabile di argilla genera un serbatoio permanente (acquifero) detto **falda profonda**.
- In questo caso può essere estratta tramite **pozzi**.
  - L'innalzamento dei mari può provocare immissione di acqua salata in acquiferi vicini alle coste



# Qualità dell'acqua destinata al consumo umano

D.Lgs. 31/2001 e s.m.i.

## Parametri microbiologici

Parametro	Valore di parametro (numero/100 ml)
Escherichia coli (E. coli)	0
Enterococchi	0

## Parametri chimici

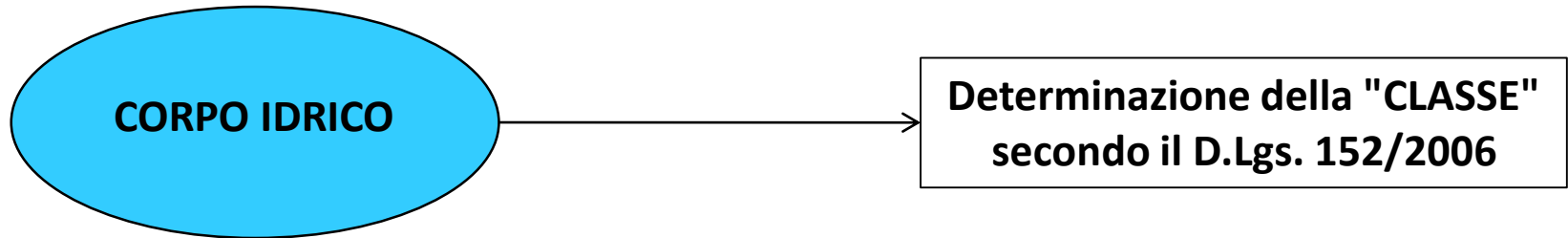
Parametro	Valore di parametro	Unità di misura
Acrilammide	0,10	µg/l
Antimonio	5,0	µg/l
Arsenico	10	µg/l
Benzene	1,0	µg/l
Benzo( a)pirene	0,010	µg/l
Boro	1,0	mg/l
Bromato	10	µg/l
Cadmio	5,0	µg/l
Cromo	50	µg/l
Rame	1,0	mg/l
Cianuro	50	µg/l
1,2 dicloroetano	3,0	µg/l
Epicloridrina	0,10	µg/l
Fluoruro	1,50	mg/l
Piombo	10	µg/l
Mercurio	1,0	µg/l
Nichel	20	µg/l
Nitrato (come NO <sub>3</sub> )	50	mg/l
Nitrito (come NO <sub>2</sub> )	0,50	mg/l
Antiparassitari	0,10	µg/l
Antiparassitari-Totale	0,50	µg/l
Idrocarburi policiclici aromatici	0,10	µg/l
Selenio	10	µg/l
Tetracloroetilene	10	µg/l
Tricloroetilene		
Triometani-Totale	30	µg/l
Cloruro di vinile	0,5	µg/l
Clorito	700	µg/l
Vanadio	140	µg/l

## Parametri indicatori

Parametro	Valore di parametro	Unità di misura
Alluminio	200	µg/l
Ammonio	0,50	mg/l
Cloruro	250	mg/l
Clostridium perfringens (spore compres e)	0	Numero/100 ml
Colore	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale	
Conducibilità	2500	µScm <sup>-1</sup> a 20 °C
Concentrazione ioni idrogeno	≥6,5 e≤9,5	Unità pH
Ferro	200	µg/l
Manganese	50	µg/l
Odore	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale	
Ossidabilità	5,0	mg/l O <sub>2</sub>
Solfato	250	mg/l
Sodio	200	mg/l
Sapore	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale	
Conteggio delle colonie a 22° C		
Batteri coliformi a 37°	0	Numero/100 ml
C		
Carbonio organico totale (TO C)	Senza variazioni anomale	
Torbidità	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale	
Durezza*		
Residuo secco a 180°		
C **		
Disinfettante residuo ***		

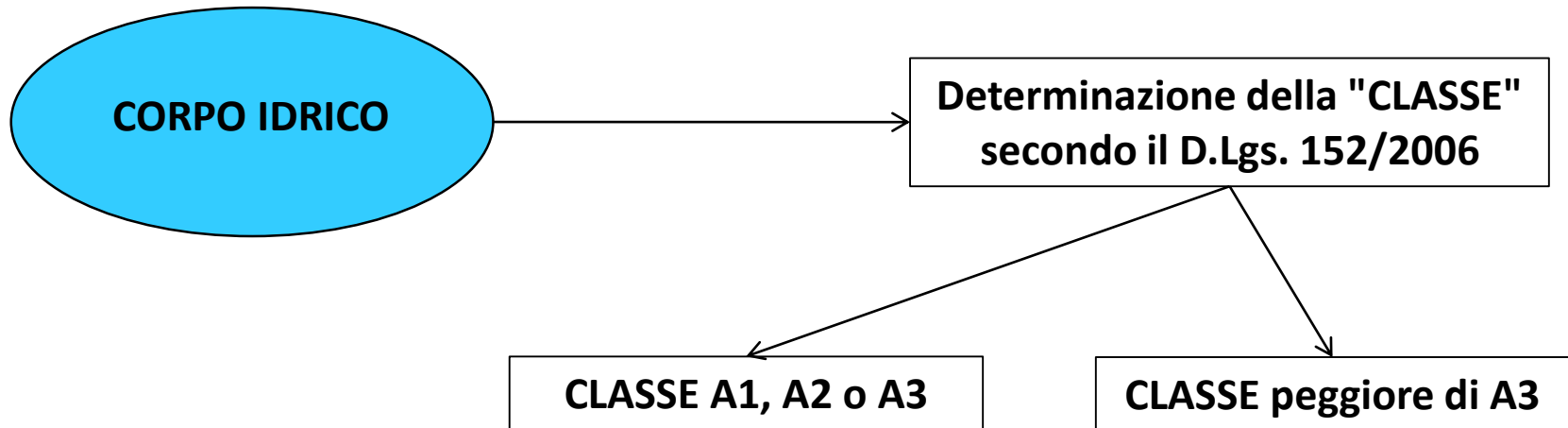
\* valori consigliati: 15-50° F.  
 \*\* valore massimo consigliato: 1500 mg/L.  
 \*\*\* valore consigliato 0,2 mg/L (se impiegato).

# Criteri di selezione delle acque potabili

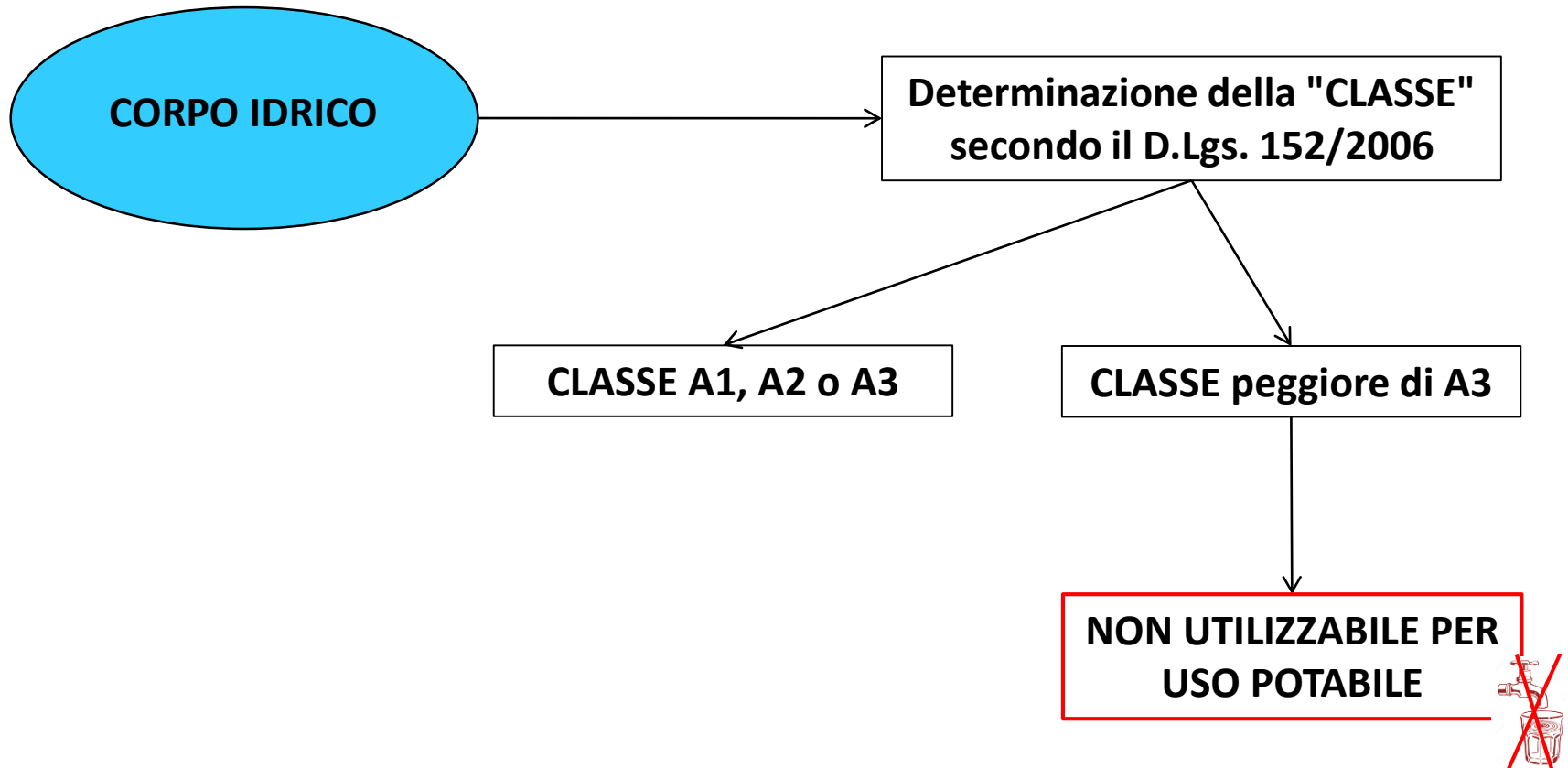




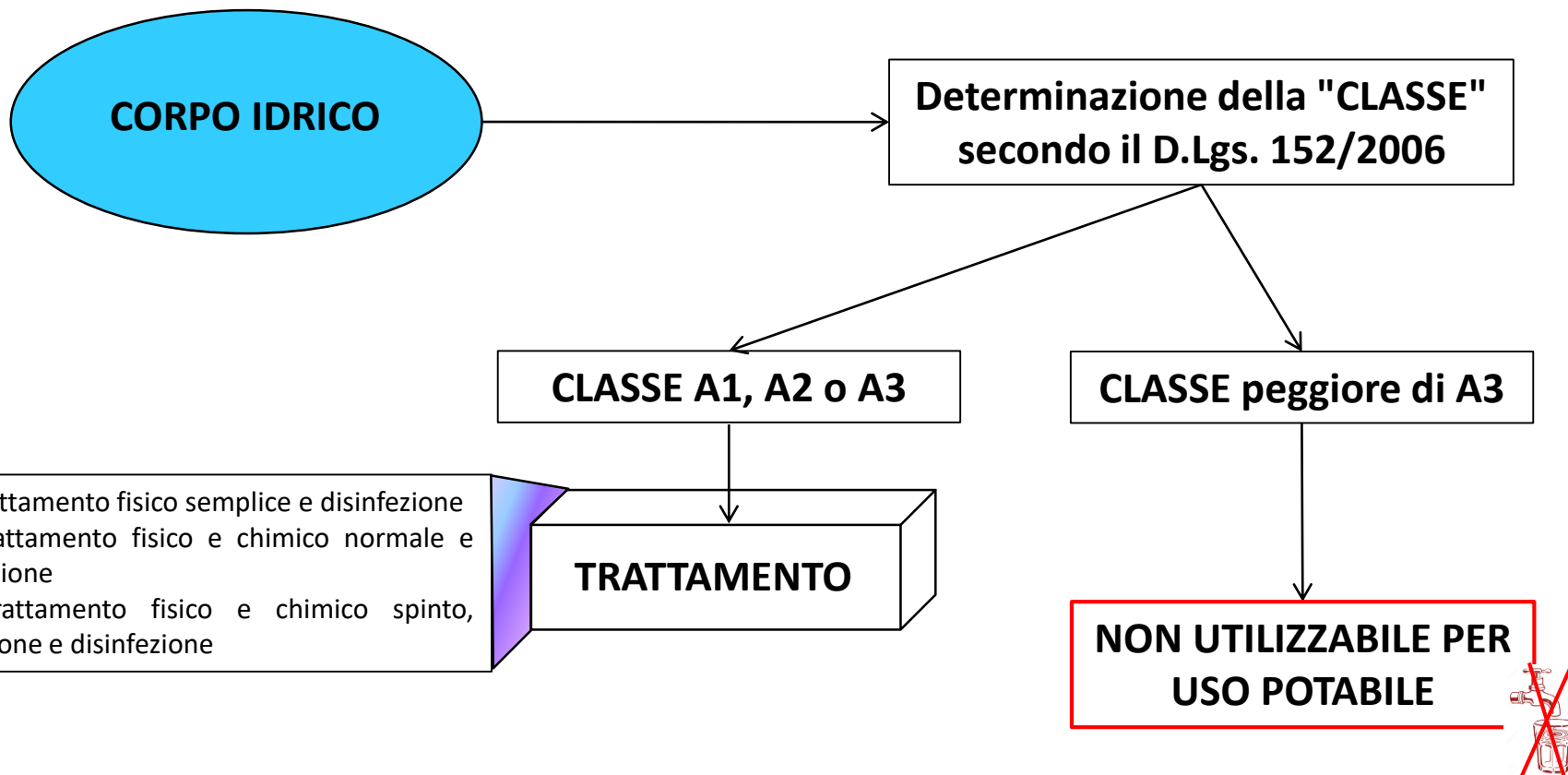
# Criteri di selezione delle acque potabili



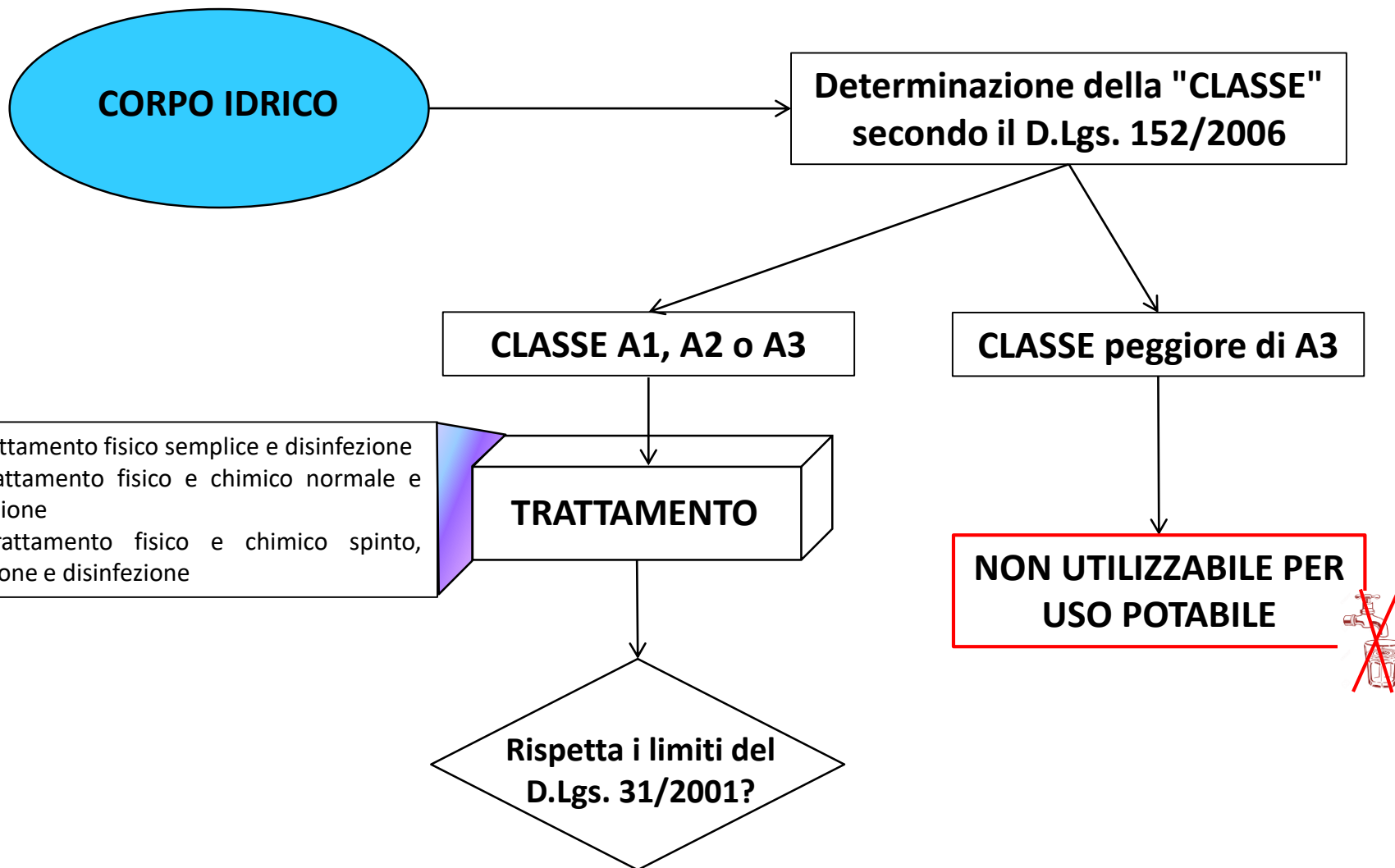
# Criteri di selezione delle acque potabili



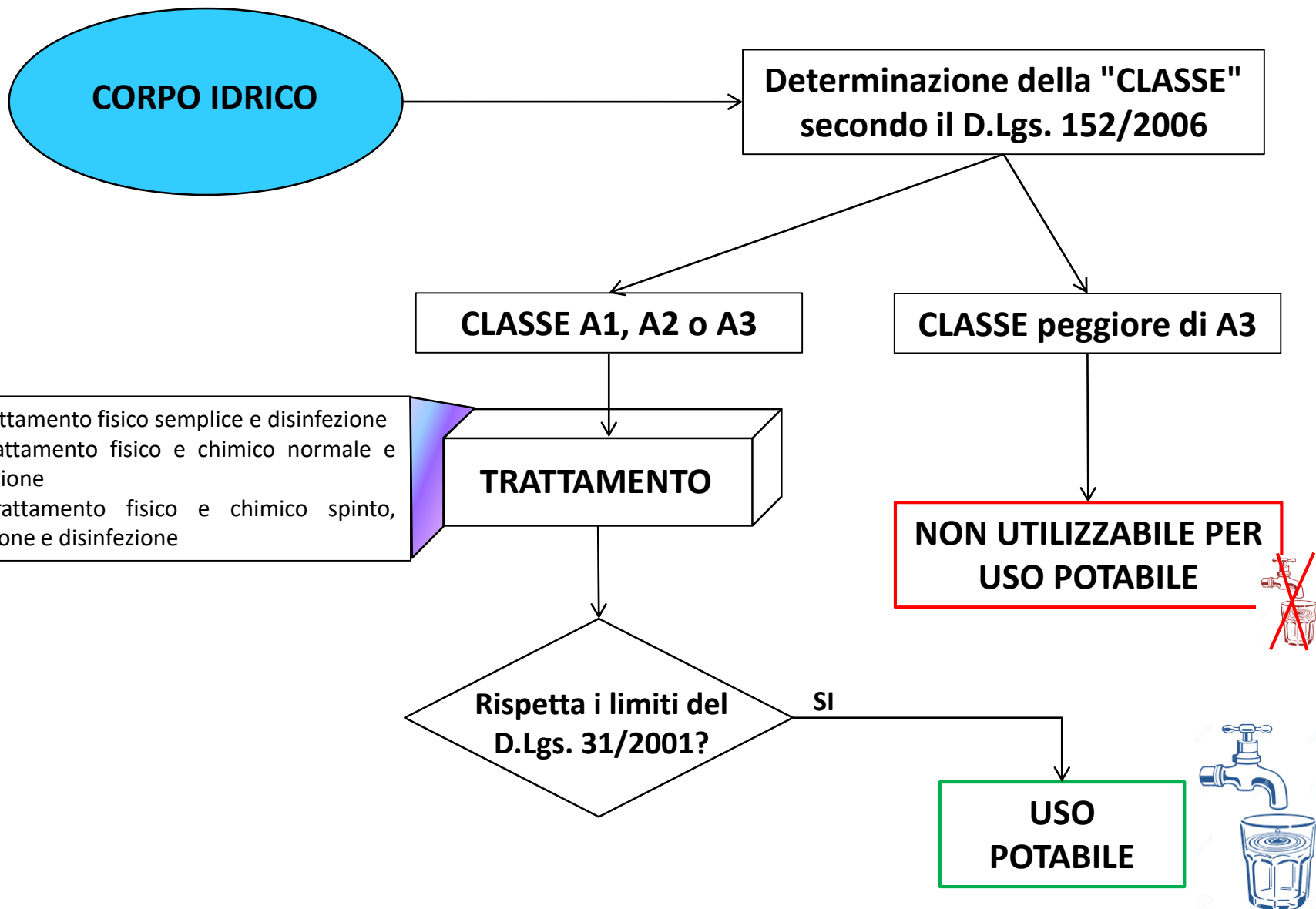
# Criteri di selezione delle acque potabili



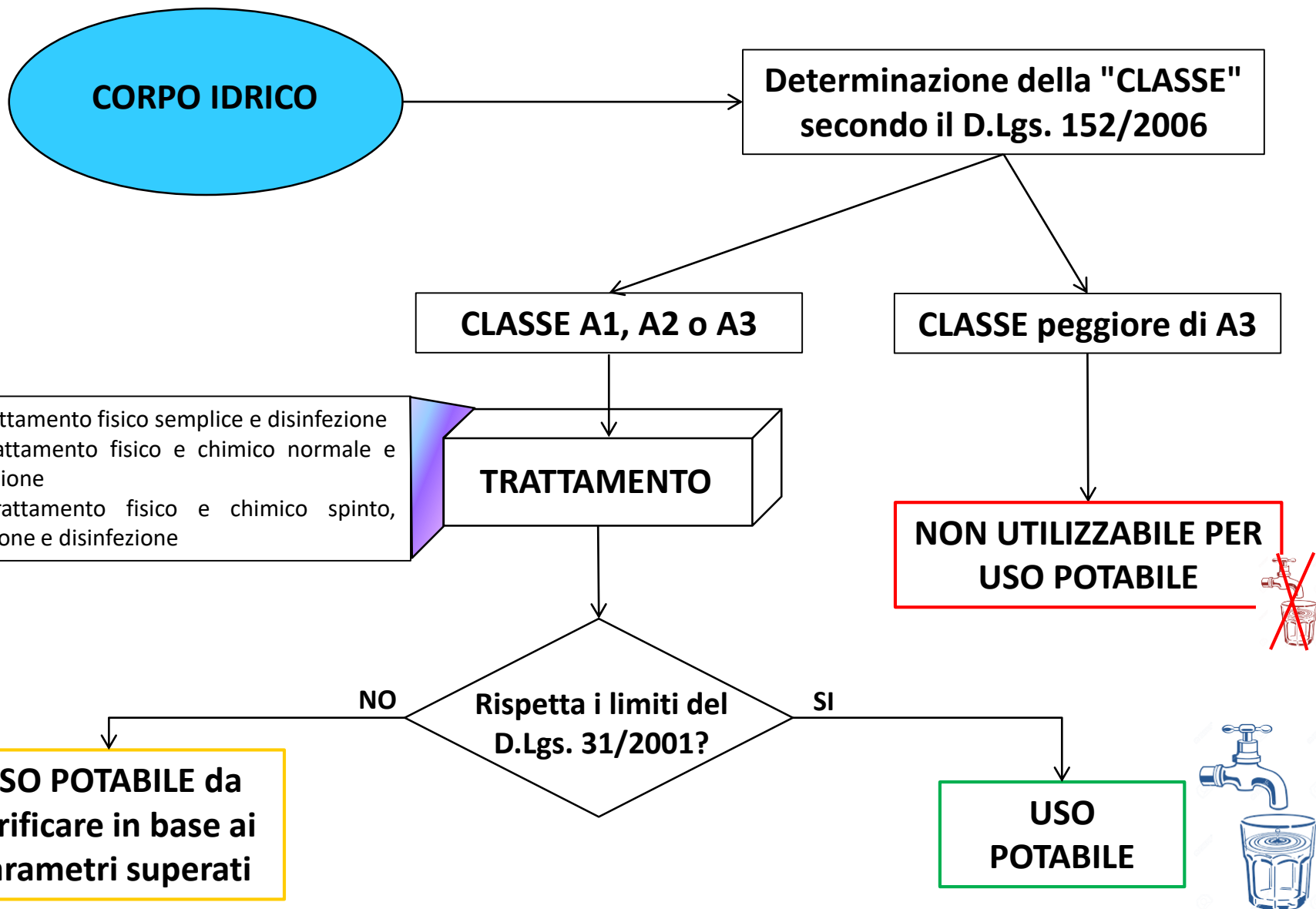
# Criteri di selezione delle acque potabili



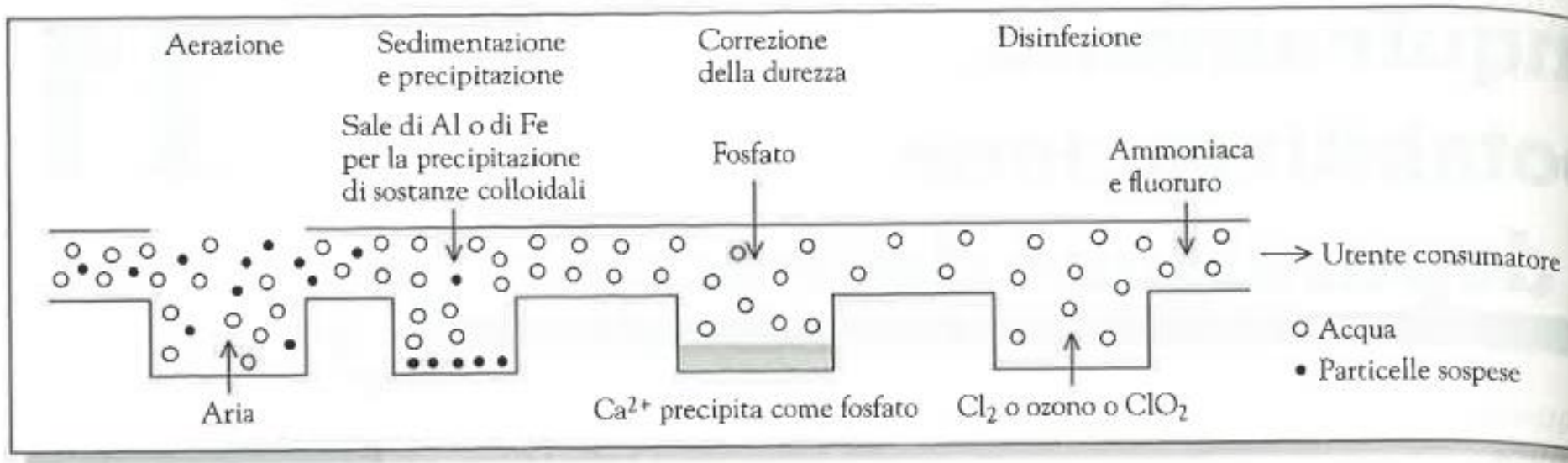
# Criteri di selezione delle acque potabili



# Criteri di selezione delle acque potabili



# Processo di potabilizzazione dell'acqua



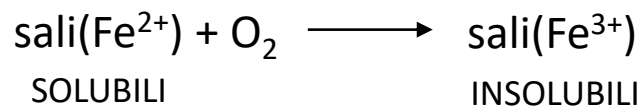
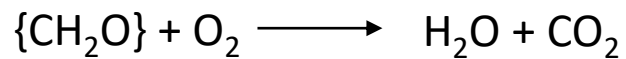
Le fasi di potabilizzazione dell'acqua prevedono:

- **Aerazione**
- **Sedimentazione e precipitazione**
- **Correzione della durezza**
- **Disinfezione**

# Areazione dell'acqua

Viene aggiunta aria ricca di  $O_2$

Ossida sostanze più  
facilmente ossidabili



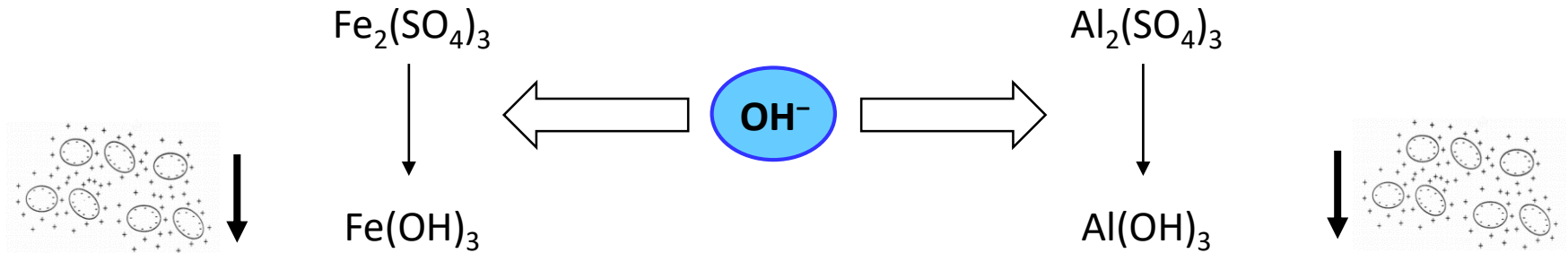






# Sedimentazione e precipitazione

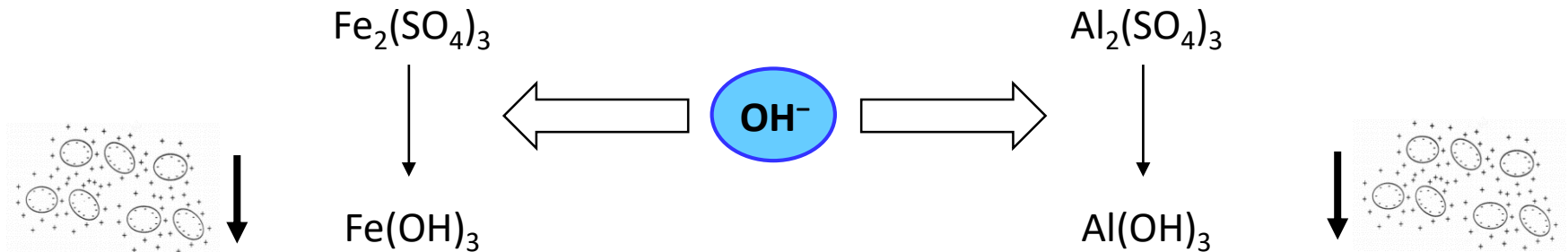
Si favorisce la sedimentazione e la precipitazione di sostanze colloidali per aggiunta di **COAGULANTI**.



I precipitati gelatinosi degli idrossidi **inglobano i colloidi** dispersi facendoli sedimentare.

# Sedimentazione e precipitazione

Si favorisce la sedimentazione e la precipitazione di sostanze colloidali per aggiunta di **COAGULANTI**.



I precipitati gelatinosi degli idrossidi **inglobano i colloidi** dispersi facendoli sedimentare.

Al termine si abbassa il pH facendo gorgogliare  $\text{CO}_2$ :

- precipita altro  $\text{CaCO}_3$  che verrà raccolto tra i precipitati;
- il pH torna alla neutralità;
- il contenuto dei bacini di precipitazione viene inviato alla discarica.

# Correzione della durezza

La eventuale elevata durezza dell'acqua deve essere corretta a causa dell'interferenza degli ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  con l'efficacia dei saponi e dei detergenti.

- Il  $\text{Ca}^{2+}$  può essere allontanato con aggiunta di ioni fosfato.
- Più comunemente  $\text{Ca}^{2+}$  viene rimosso mediante precipitazione e filtrazione nella forma di  $\text{CaCO}_3$ , sale insolubile:

# Correzione della durezza

La eventuale elevata durezza dell'acqua deve essere corretta a causa dell'interferenza degli ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  con l'efficacia dei saponi e dei detergenti.

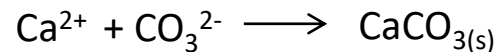
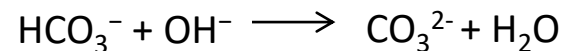
- Il  $\text{Ca}^{2+}$  può essere allontanato con aggiunta di ioni fosfato.
- Più comunemente  $\text{Ca}^{2+}$  viene rimosso mediante precipitazione e filtrazione nella forma di  $\text{CaCO}_3$ , sale insolubile:
  - viene aggiunto  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

# Correzione della durezza

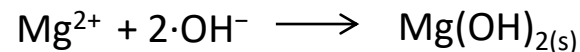
La eventuale elevata durezza dell'acqua deve essere corretta a causa dell'interferenza degli ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  con l'efficacia dei saponi e dei detergenti.

- Il  $\text{Ca}^{2+}$  può essere allontanato con aggiunta di ioni fosfato.
- Più comunemente  $\text{Ca}^{2+}$  viene rimosso mediante precipitazione e filtrazione nella forma di  $\text{CaCO}_3$ , sale insolubile:

- viene aggiunto  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- oppure, se l'acqua contiene naturalmente una quantità sufficiente di  $\text{HCO}_3^-$ , viene alzato il pH per ottenere:



- l'innalzamento del pH provoca anche la precipitazione di idrossido di magnesio

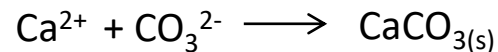
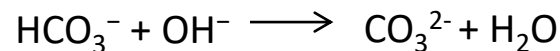


# Correzione della durezza

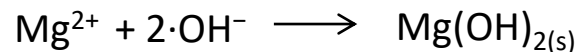
La eventuale elevata durezza dell'acqua deve essere corretta a causa dell'interferenza degli ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  con l'efficacia dei saponi e dei detergenti.

- Il  $\text{Ca}^{2+}$  può essere allontanato con aggiunta di ioni fosfato.
- Più comunemente  $\text{Ca}^{2+}$  viene rimosso mediante precipitazione e filtrazione nella forma di  $\text{CaCO}_3$ , sale insolubile:

- viene aggiunto  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- oppure, se l'acqua contiene naturalmente una quantità sufficiente di  $\text{HCO}_3^-$ , viene alzato il pH per ottenere:



- l'innalzamento del pH provoca anche la precipitazione di idrossido di magnesio



- al termine si abbassa il pH facendo gorgogliare  $\text{CO}_2$



# Disinfezione

E' necessario eliminare organismi patogeni dalle acque per evitare la diffusione di malattie idro-trasmesse.

## **Virus:**

- HAV e HEV (epatiti)
- Norwalk virus (enteriti)
- Rotavirus (enteriti)
- Adenovirus enterici 40-41 (enteriti)
- Enterovirus (poliomielite, meningite, enteriti)

## **Protozoi:**

- *Cryptosporidium* (enterite tipo colera)
- *Giardia Lamblia* (enterite da parassita)

## **Batteri:**

- *Vibrio cholerae* (colera)
- *Salmonella Typhi* (tifo addominale)
- *Staphylococcus aureus* (infezioni antibiotico-resistenti)

# Tecniche di disinfezione

Esistono diversi trattamenti di disinfezione delle acque:

- mediante reazione con **cloro** o **biossido di cloro**;

- mediante utilizzo di **ozono**;

- mediante tecnologia delle **membrane**;

- mediante **osmosi inversa**;

- mediante radiazione **UV**.



**METODI CHIMICI**



**METODI DI FILTRAZIONE**

# Utilizzo di cloro

- Reazione con cloro nella forma di acido ipocloroso:



**HClO** è in grado di penetrare nelle membrane cellulari dei microrganismi uccidendoli

# Utilizzo di cloro

- Reazione con cloro nella forma di acido ipocloroso:



**HClO** è in grado di penetrare nelle membrane cellulari dei microrganismi uccidendoli

- l'acido ipocloroso è instabile nella forma concentrata quindi deve essere prodotto *in situ* mediante gorgogliamento di  $\text{Cl}_2$  in acqua;
- la soluzione acquosa finale contiene quantità minime di  $\text{Cl}_2$ ;

# Utilizzo di cloro

- Reazione con cloro nella forma di acido ipocloroso:



**HClO** è in grado di penetrare nelle membrane cellulari dei microrganismi uccidendoli

- l'acido ipocloroso è instabile nella forma concentrata quindi deve essere prodotto *in situ* mediante gorgogliamento di  $\text{Cl}_2$  in acqua;
- la soluzione acquosa finale contiene quantità minime di  $\text{Cl}_2$ ;
- se aumenta il pH, HClO idrolizza a ipoclorito, meno efficace:  $\text{HClO} + \text{HO}^- \rightleftharpoons \text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O}$
- se diminuisce il pH, in presenza di  $\text{NH}_3$ , si possono formare composti tossici:  $\text{NCl}_3$  e cloroammine ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ;  $\text{NHCl}_2$ ):  $3 \cdot \text{HClO} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{NCl}_3 + 3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- pH deve essere controllato per rimanere nell'intervallo 7-9.

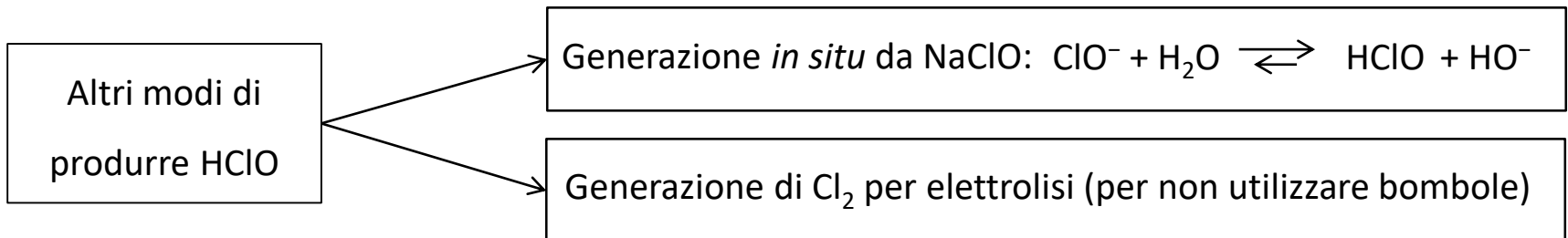
# Utilizzo di cloro

- Reazione con cloro nella forma di acido ipocloroso:



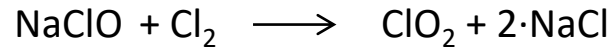
**HClO** è in grado di penetrare nelle membrane cellulari dei microrganismi uccidendoli

- l'acido ipocloroso è instabile nella forma concentrata quindi deve essere prodotto *in situ* mediante gorgogliamento di  $\text{Cl}_2$  in acqua;
- la soluzione acquosa finale contiene quantità minime di  $\text{Cl}_2$ ;
- se aumenta il pH, HClO idrolizza a ipoclorito, meno efficace:  $\text{HClO} + \text{HO}^- \rightleftharpoons \text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O}$
- se diminuisce il pH, in presenza di  $\text{NH}_3$ , si possono formare composti tossici:  $\text{NCl}_3$  e cloroammine ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ;  $\text{NHCl}_2$ ):  $3 \cdot \text{HClO} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{NCl}_3 + 3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- pH deve essere controllato per rimanere nell'intervallo 7-9.



# Utilizzo di cloro (2)

- $\text{ClO}_2$  è un radicale, quindi è esplosivo, pertanto viene prodotto direttamente *in situ* per ossidazione:



- il  $\text{Cl}_2$  viene consumato completamente;
- $\text{ClO}_2$  è poco costoso e molto attivo come battericida;
- agisce ossidando le sostanze organiche.

# Prodotti della clorazione

- Nella pratica della disinfezione, sono prese in considerazione molteplici misure per ridurre al minimo la formazione di sottoprodotti (**DBP - Disinfection by Products**) in quanto alcuni di essi, come nel caso dei trialometani, possono risultare **tossici** a certi livelli di concentrazione.
- Il controllo dei DBP è, comunque, subordinato alla necessità di garantire l'inattivazione dei microrganismi.



# Prodotti della clorazione

- Nella pratica della disinfezione, sono prese in considerazione molteplici misure per ridurre al minimo la formazione di sottoprodotti (**DBP - Disinfection by Products**) in quanto alcuni di essi, come nel caso dei trialometani, possono risultare **tossici** a certi livelli di concentrazione.
- Il controllo dei DBP è, comunque, subordinato alla necessità di garantire l'inattivazione dei microrganismi.
- Esempi di DBP:
  - Acidi acetici alogenati: es.  $\text{CH}_2\text{Cl-COOH}$  (è più cancerogeno di  $\text{CHCl}_3$ );
  - Aloacetoni nitrili: es.  $\text{CH}_2\text{Cl-CN}$ ;
  - Aloacetaldeidi: es.  $\text{CHCl}_2\text{-CHO}$ ;
  - Se l'acqua contiene fenolo si formano clorofenoli sgradevoli oltre che tossici;
  - Trialometani:  $\text{CHX}_3$  (X=Cl, Br anche in combinazione),  $\text{CHCl}_3$  è cancerogeno.