



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

CORSO di CHIMICA AMBIENTALE A.A. 2022-23

3-2a – Acque: approvvigionamento e trattamento

Docente:

Enrico Greco, PhD

(enrico.greco@units.it)

Assistant Professor, Department of Chemical and Pharmaceutical Sciences

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



Acque potabili

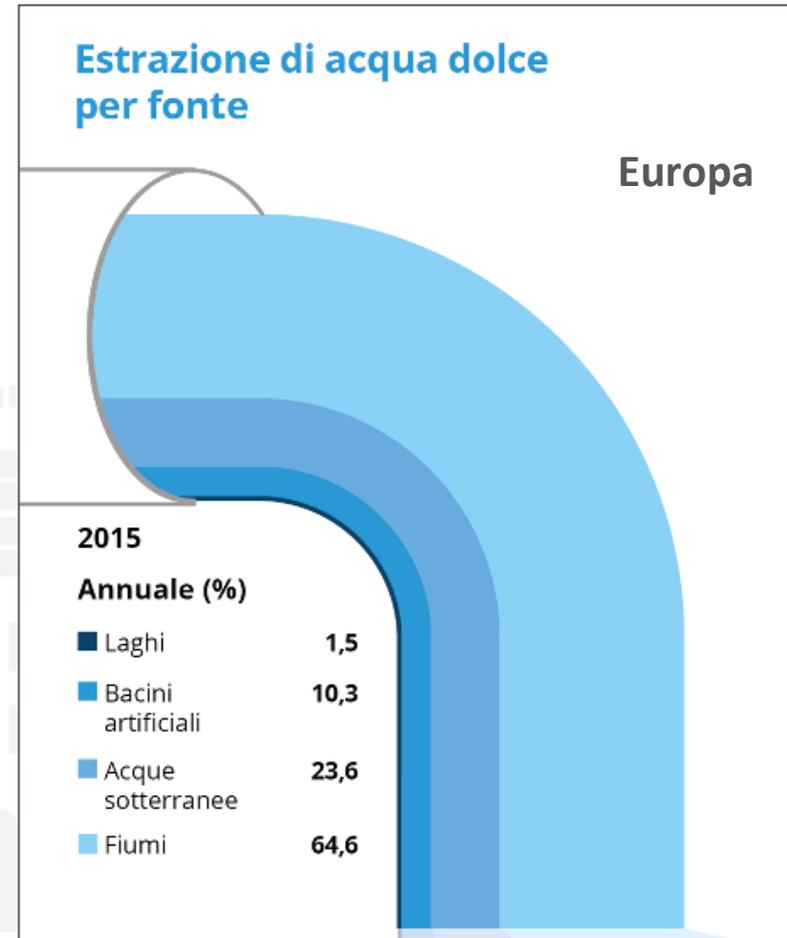
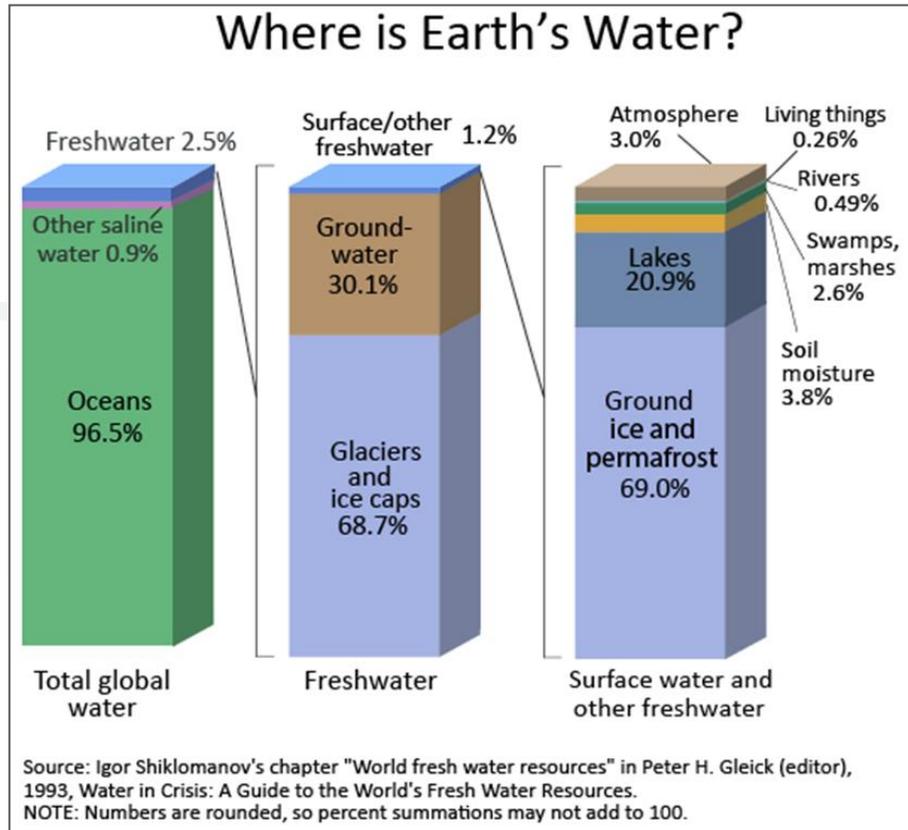
- La **qualità delle acque potabili** nella storia è stata un fattore rilevante per determinare il **benessere** degli esseri umani.
- Nel passato l'acqua potabile ed impiegata nell'irrigazione è stata **veicolo di patologie** come tifo, colera, epatiti ed altre ancora.

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

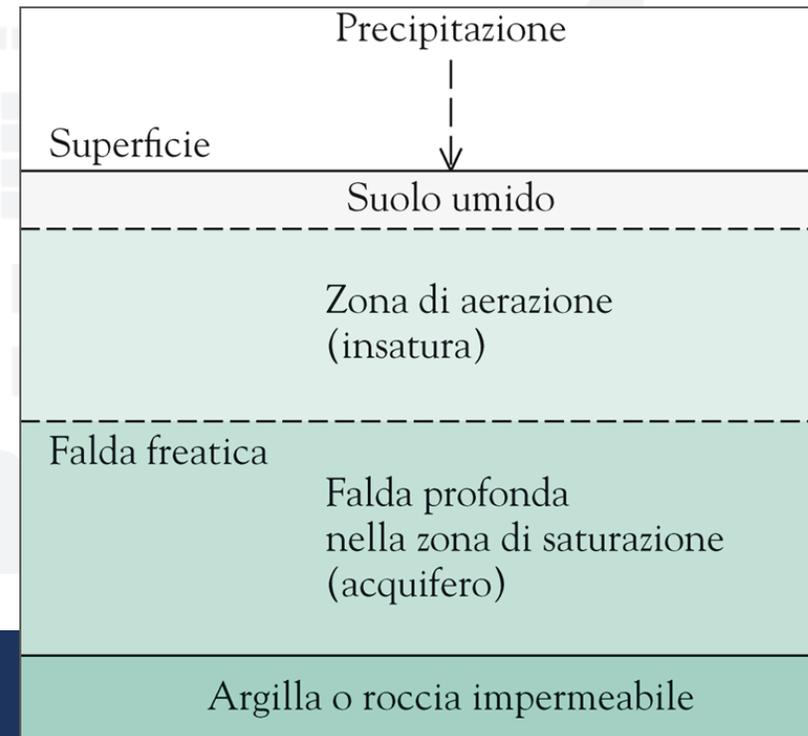
La maggior parte delle acque dolci disponibile sulla Terra si trova nel sottosuolo



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.

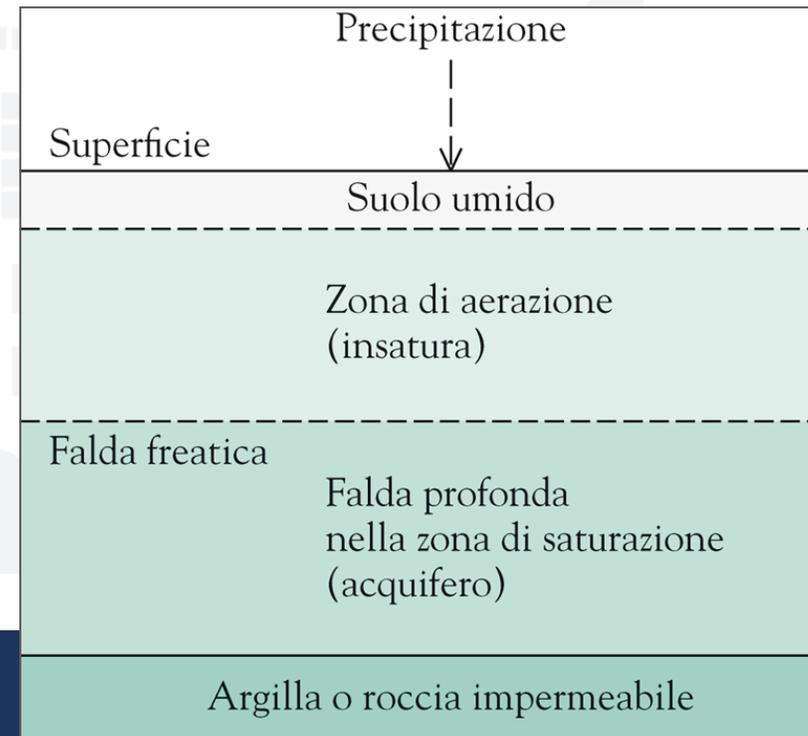


Acque dolci sotterranee

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.

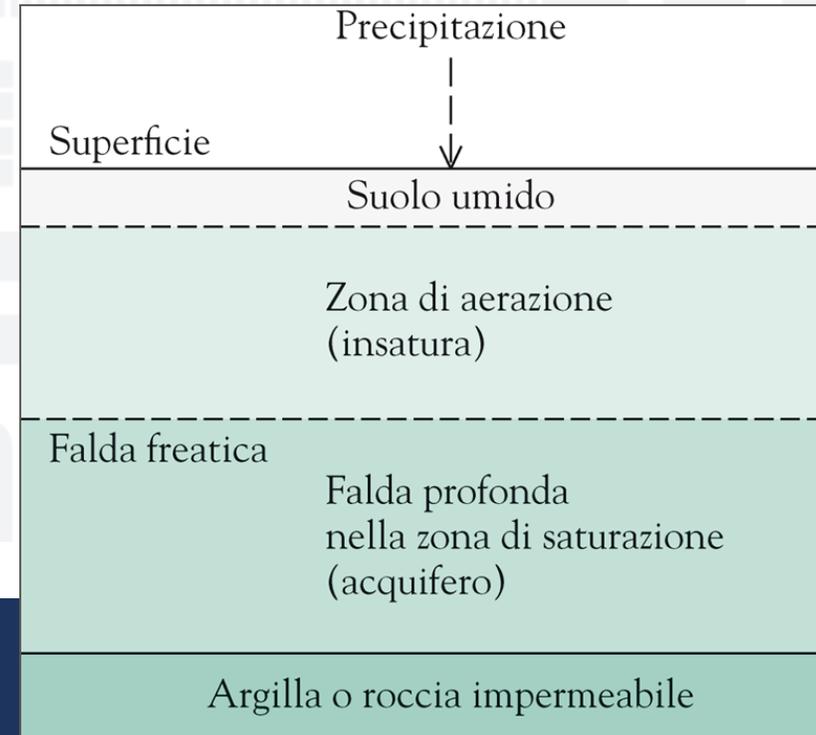
- L' acqua presente nella **zona di saturazione** è detta **acqua sotterranea o di falda**.
- La **fonte principale** dell'acqua di falda è data dalle **precipitazioni**.
- L'acqua sotterranea può avere un'età che varia da alcuni anni a milioni di anni.



Acque dolci sotterranee (2)

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

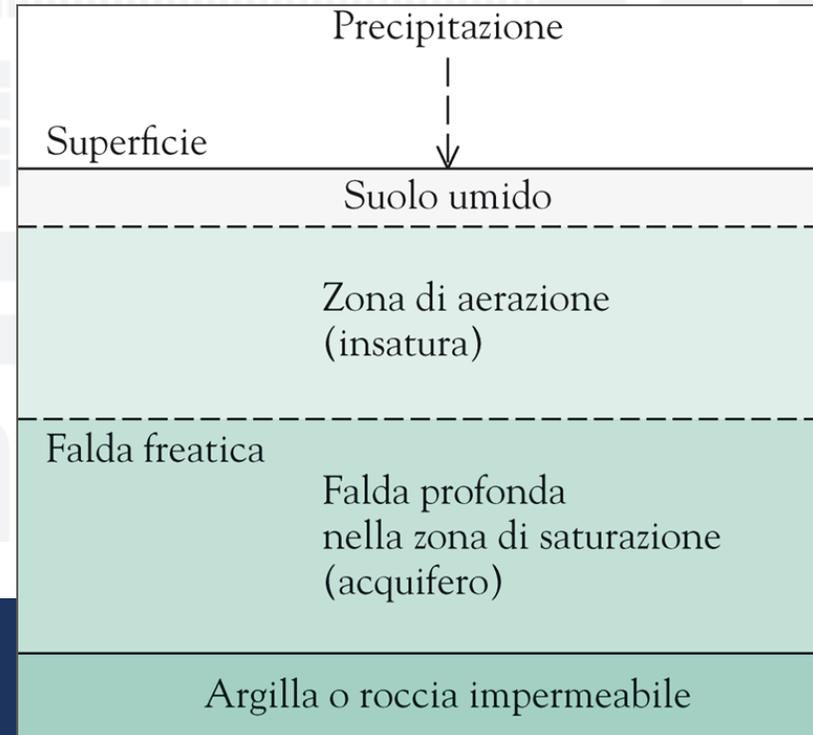
- Se è situata a livello della superficie del suolo dà origine alle paludi.
- Se è situata sopra livello della superficie del suolo genera laghi o fiumi (acque superficiali).



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**.

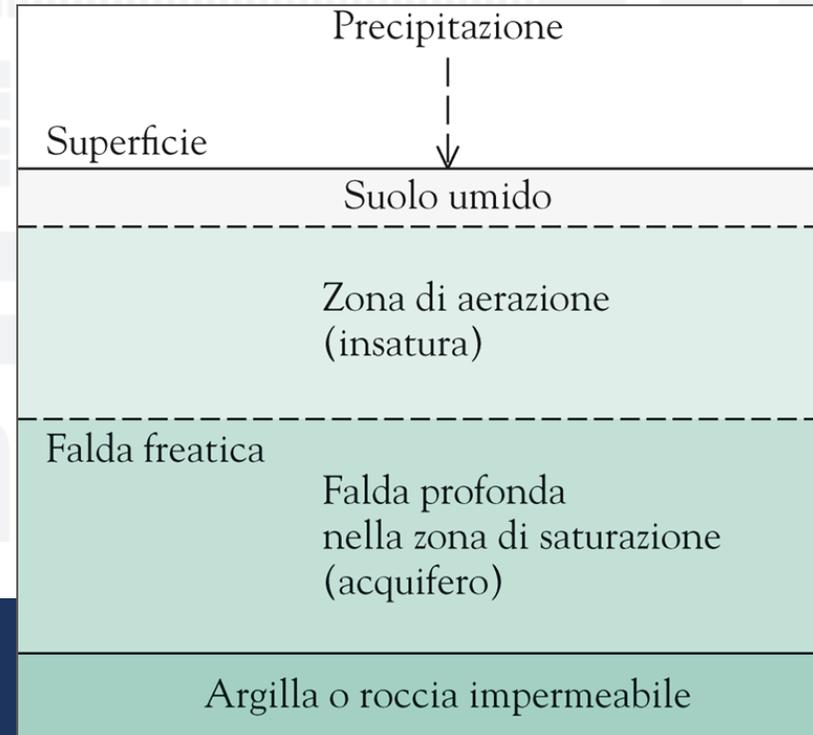


Acque dolci sotterranee (2)

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 ₃)	50	mg/l
Nitrito (come NO ₂)	0,50	mg/l
Antiparassitari	0,10	µg/l
Antiparassitari-Totale	0,50	µg/l
Idrocarburi policiclici aromatici		
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

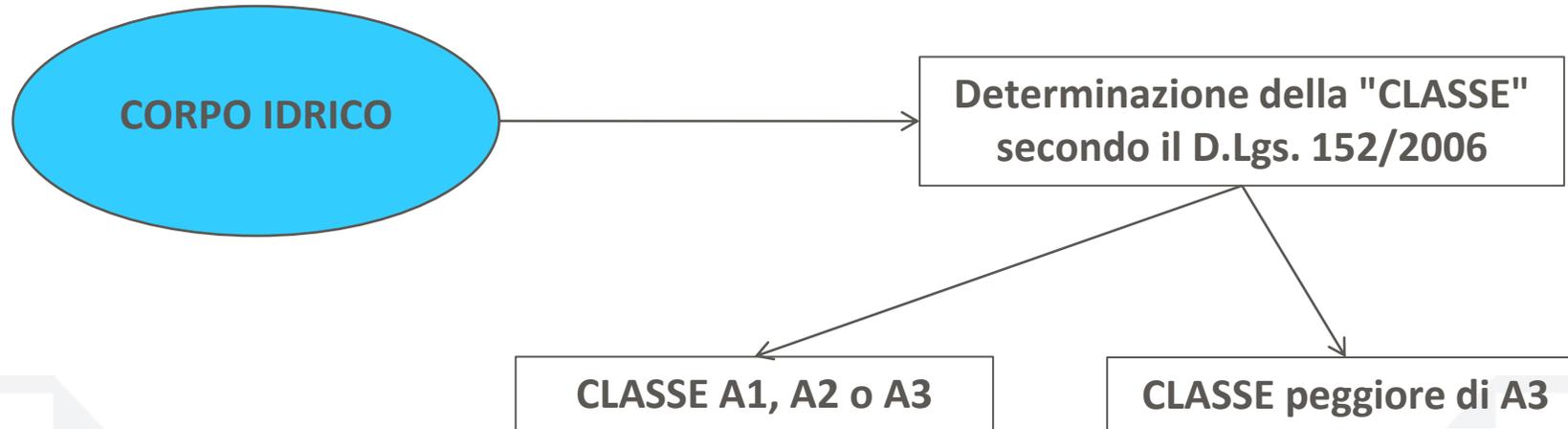
Parametri indicatori

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	
Conduttività	2500	µScm ⁻¹ 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 ₂
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).		

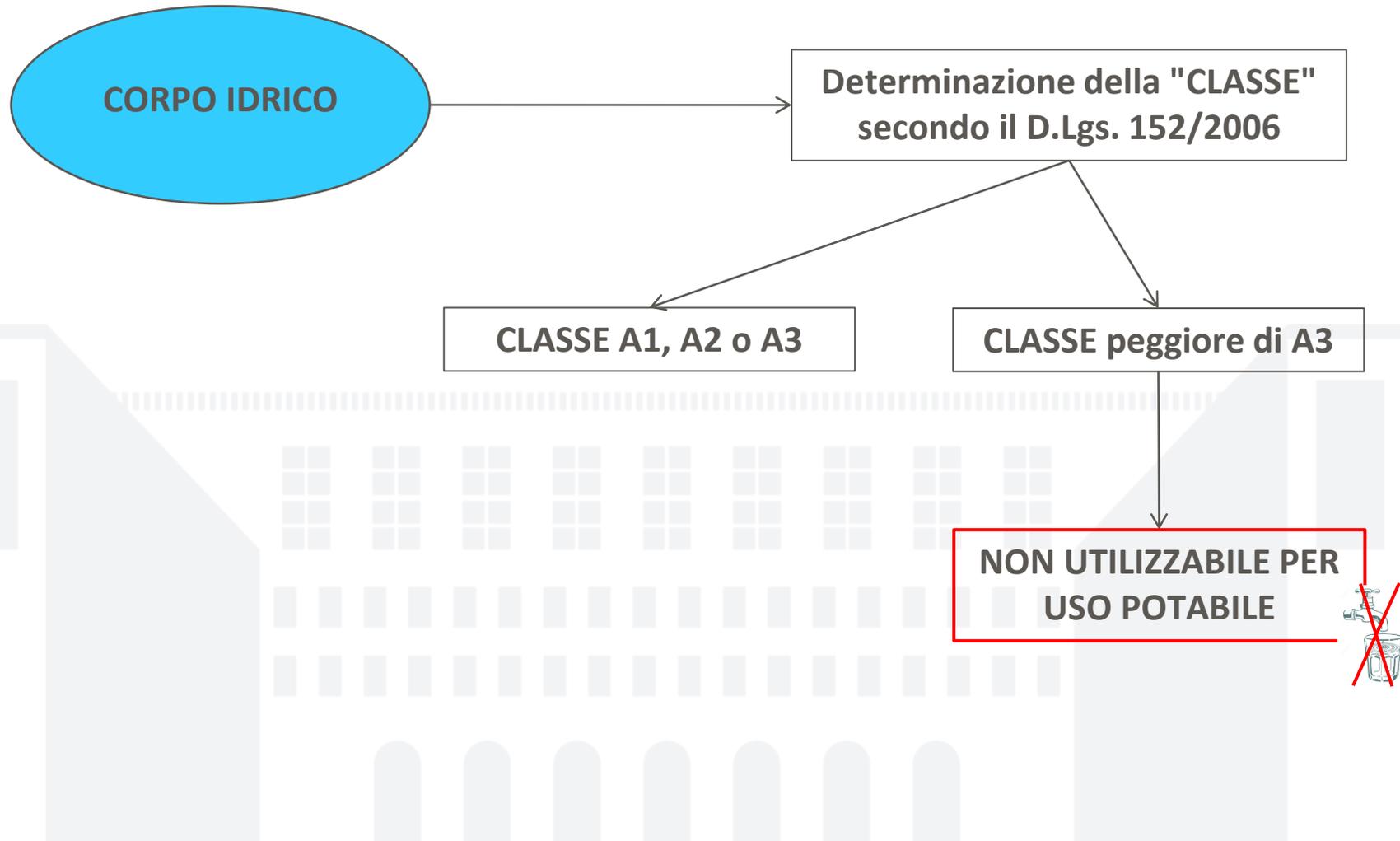
Criteri di selezione delle acque potabili



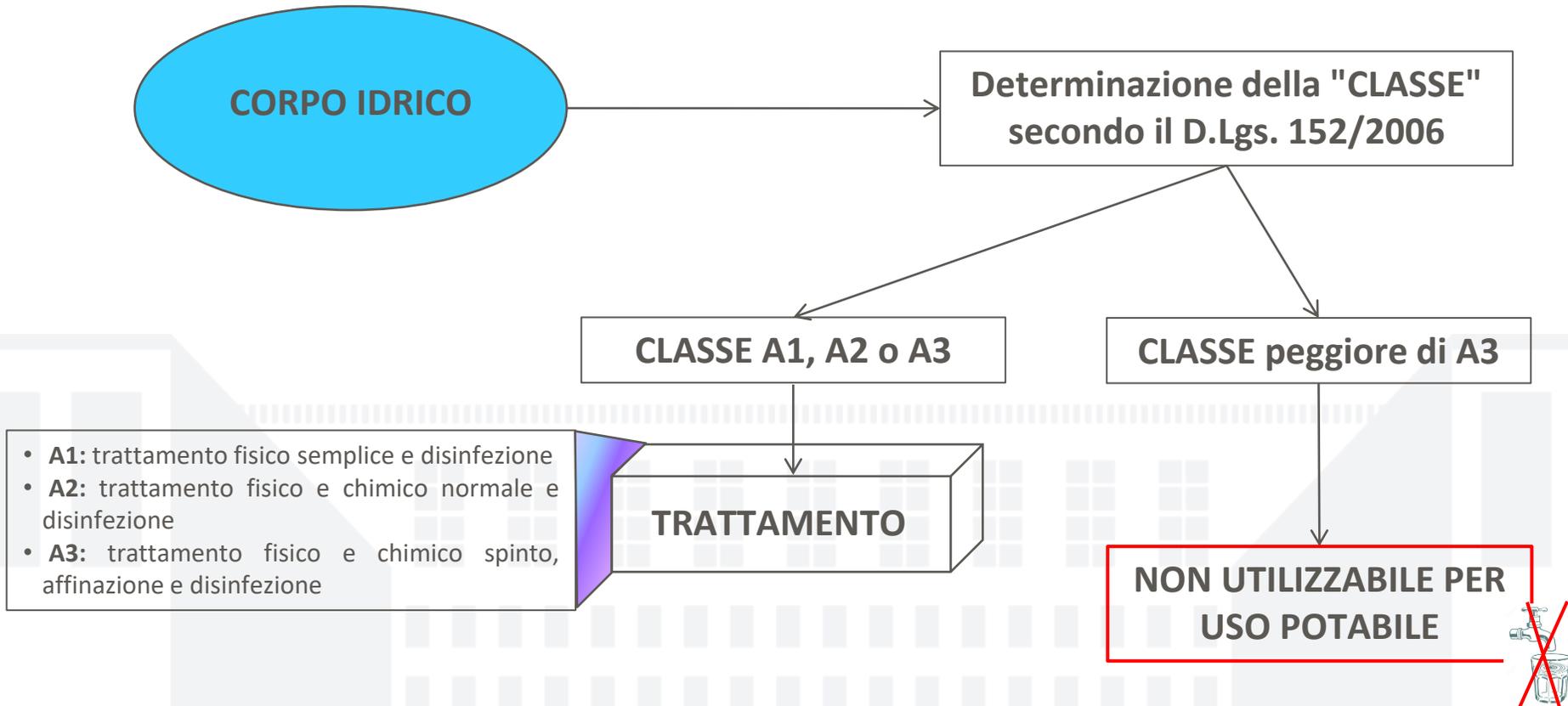
Criteri di selezione delle acque potabili



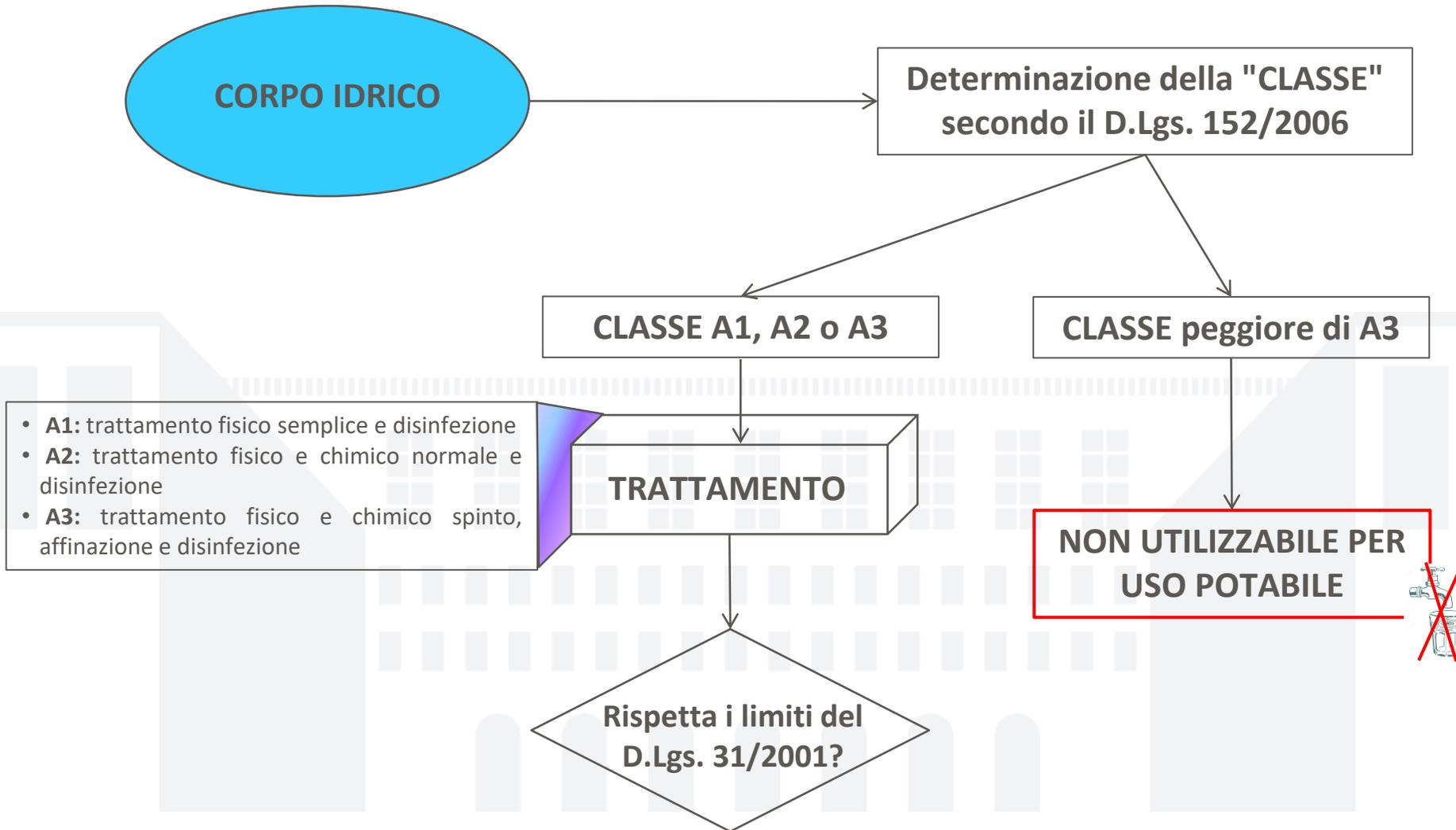
Criteri di selezione delle acque potabili



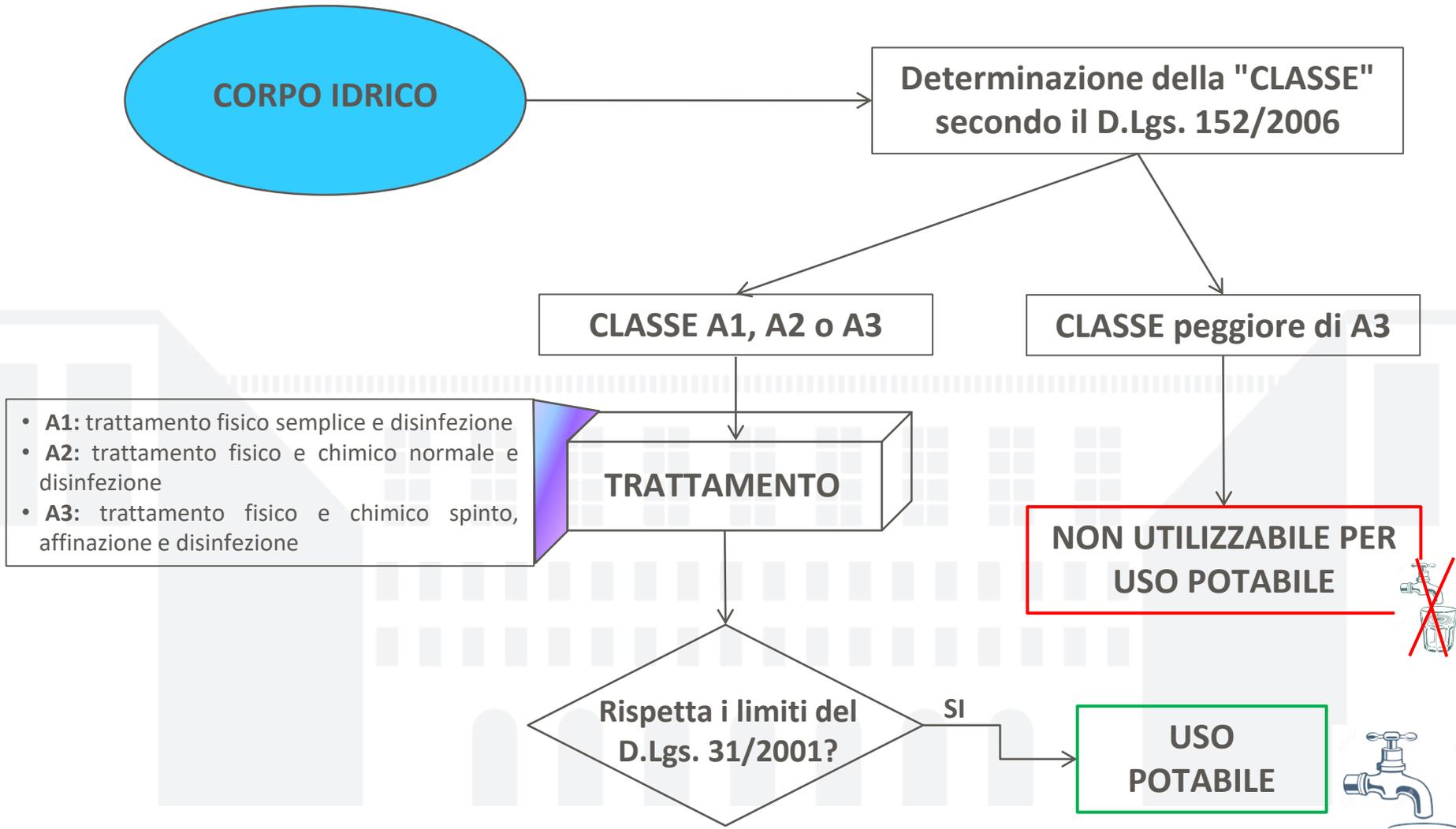
Criteri di selezione delle acque potabili



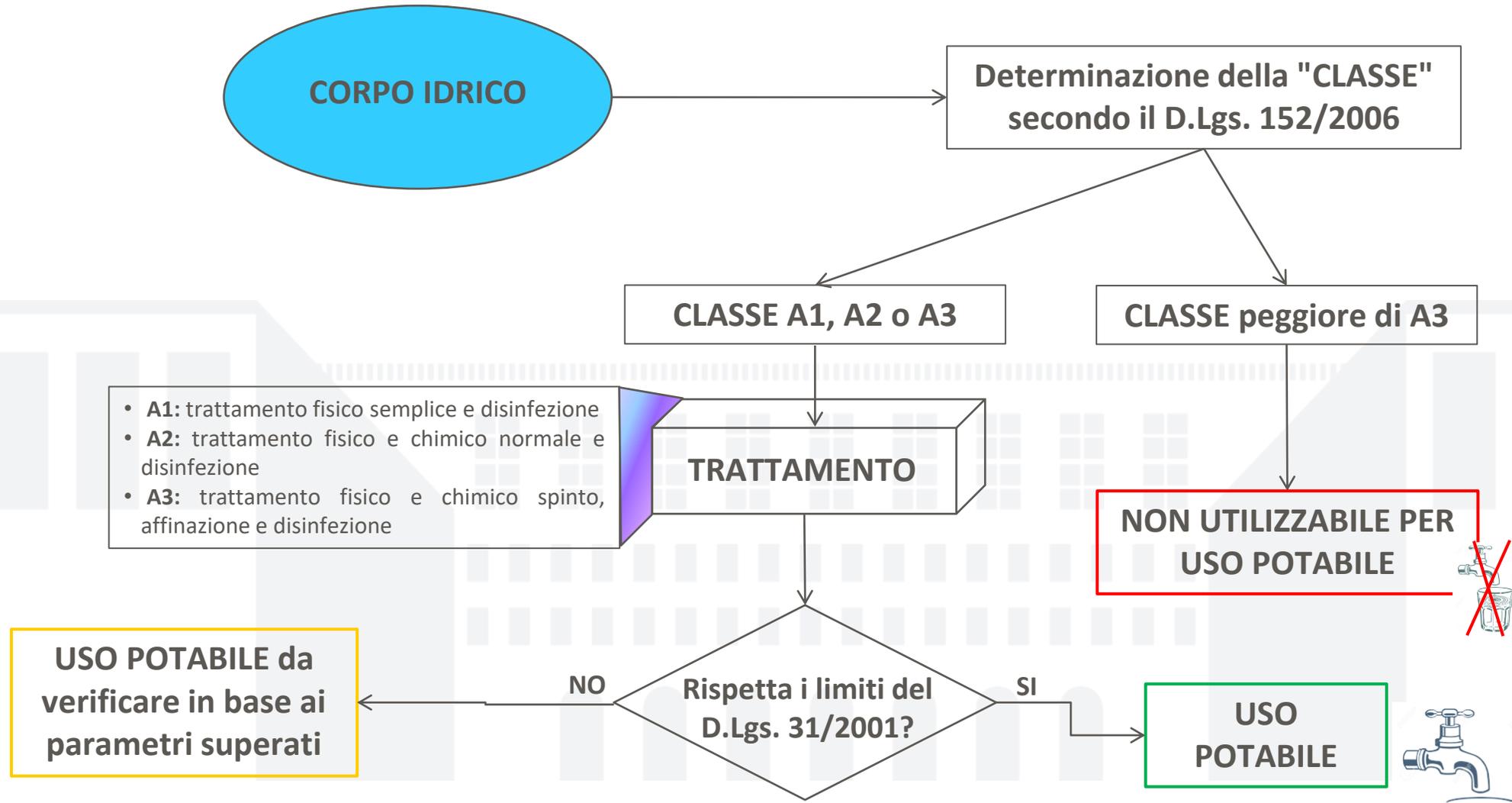
Criteri di selezione delle acque potabili



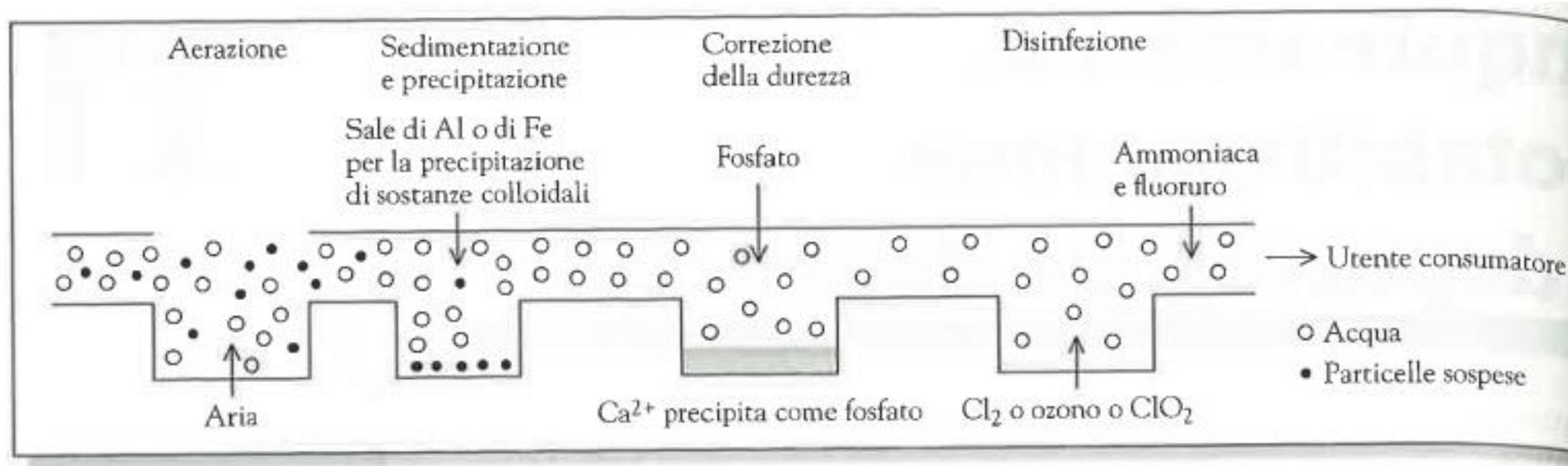
Criteri di selezione delle acque potabili



Criteri di selezione delle acque potabili



Processo di potabilizzazione dell'acqua



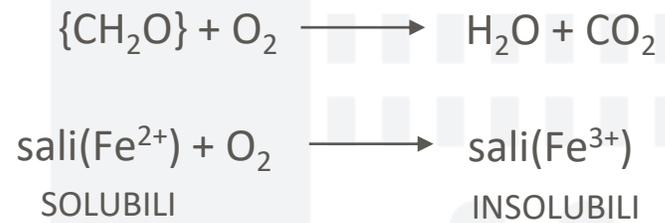
Le fasi di potabilizzazione dell'acqua prevedono:

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

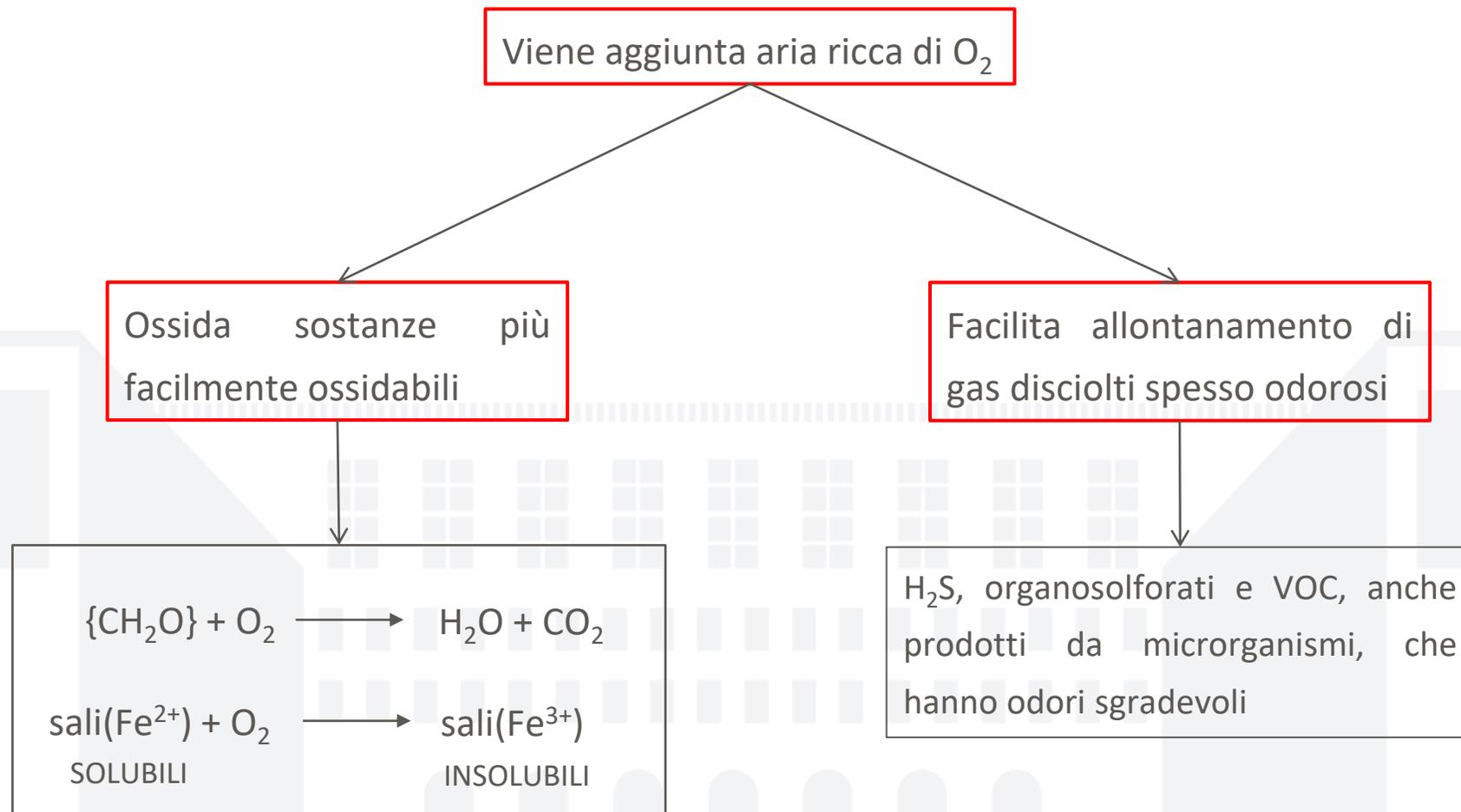
Aerazione dell'acqua

Viene aggiunta aria ricca di O_2

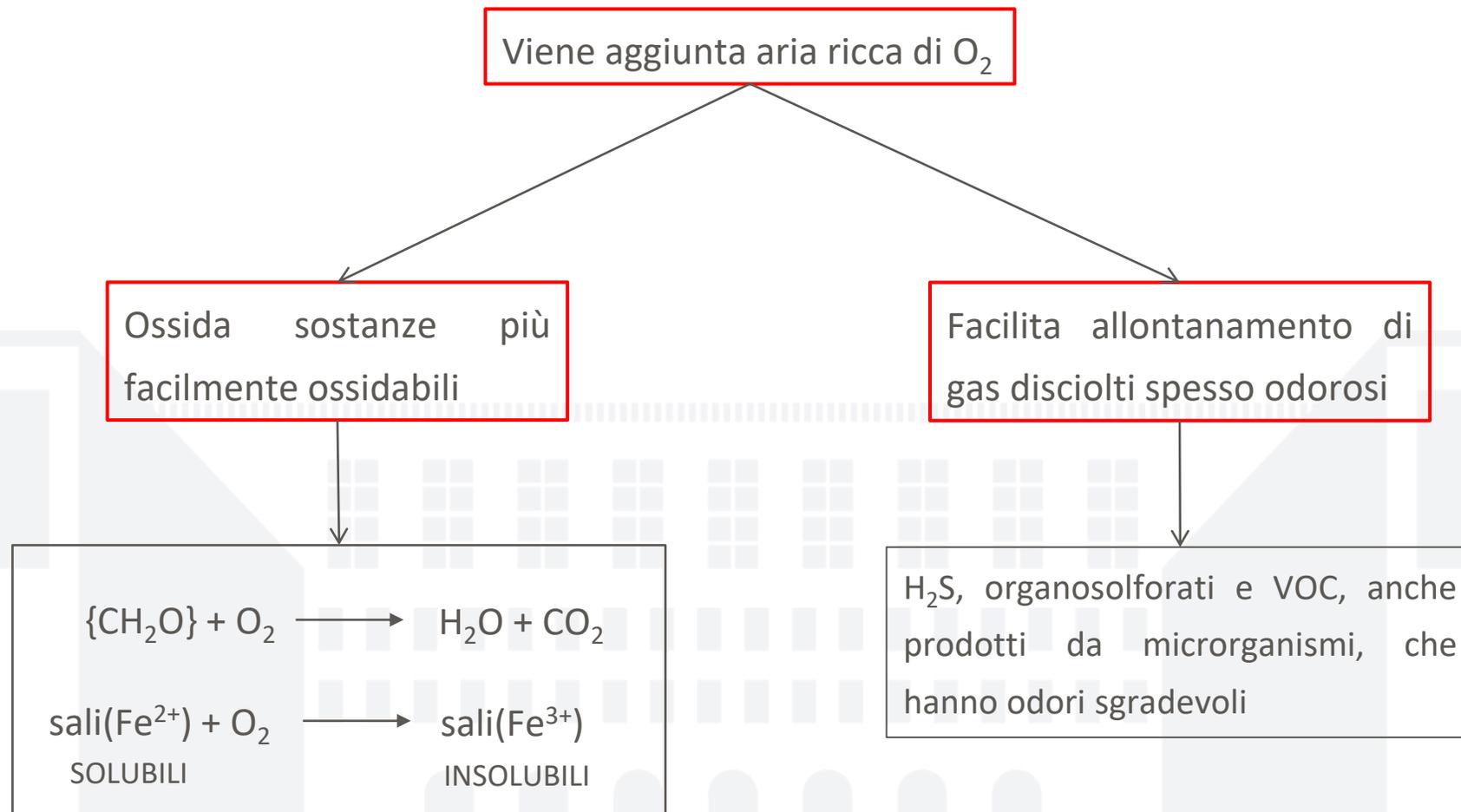
Ossida sostanze più
facilmente ossidabili



Areazione dell'acqua



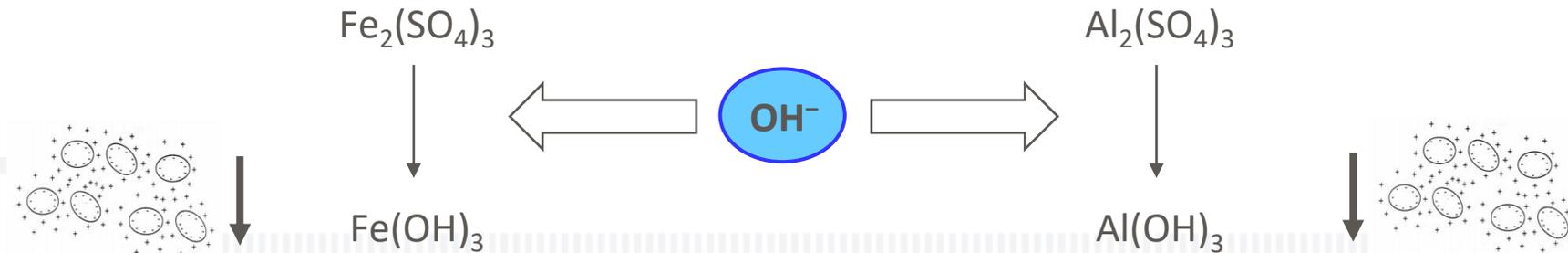
Areazione dell'acqua



Si possono rimuovere composti organici con filtri di carbone attivo (ma ha costi alti)

Sedimentazione e precipitazione

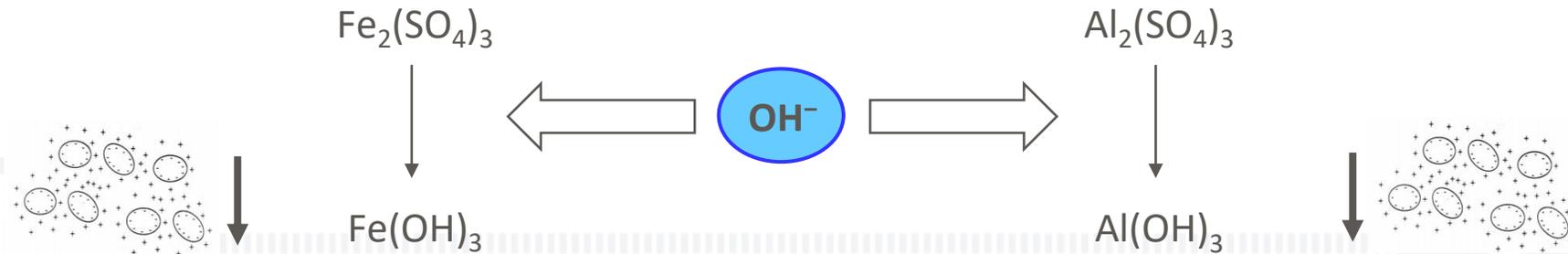
Si favorisce la sedimentazione e la precipitazione di sostanze colloidali per aggiunta di **COAGULANTI**.



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

Al termine si abbassa il pH facendo gorgogliare CO_2 :

- precipita altro 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 Ca^{2+} e Mg^{2+} con l'efficacia dei saponi e dei detergenti.

- Il Ca^{2+} può essere allontanato con aggiunta di ioni fosfato.
- Più comunemente Ca^{2+} viene rimosso mediante precipitazione e filtrazione nella forma di CaCO_3 , sale insolubile:



Correzione della durezza

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

- Il Ca^{2+} può essere allontanato con aggiunta di ioni fosfato.
- Più comunemente Ca^{2+} viene rimosso mediante precipitazione e filtrazione nella forma di CaCO_3 , sale insolubile:

- viene aggiunto Na_2CO_3

Correzione della durezza

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

- Il Ca^{2+} può essere allontanato con aggiunta di ioni fosfato.
- Più comunemente Ca^{2+} viene rimosso mediante precipitazione e filtrazione nella forma di CaCO_3 , sale insolubile:

- viene aggiunto Na_2CO_3
- oppure, se l'acqua contiene naturalmente una quantità sufficiente di 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 Ca^{2+} e Mg^{2+} con l'efficacia dei saponi e dei detergenti.

- Il Ca^{2+} può essere allontanato con aggiunta di ioni fosfato.
- Più comunemente Ca^{2+} viene rimosso mediante precipitazione e filtrazione nella forma di CaCO_3 , sale insolubile:

- viene aggiunto Na_2CO_3
- oppure, se l'acqua contiene naturalmente una quantità sufficiente di 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 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**;

METODI CHIMICI

- mediante tecnologia delle **membrane**;
- mediante **osmosi inversa**;
- mediante radiazione **UV**.

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 Cl_2 in acqua;
- la soluzione acquosa finale contiene quantità minime di 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 Cl_2 in acqua;
- la soluzione acquosa finale contiene quantità minime di 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 NH_3 , si possono formare composti tossici: NCl_3 e cloroammine (NH_2Cl ; 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 Cl_2 in acqua;
- la soluzione acquosa finale contiene quantità minime di 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 NH_3 , si possono formare composti tossici: NCl_3 e cloroammine (NH_2Cl ; 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.

Altri modi di produrre HClO

Generazione *in situ* da NaClO: $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{HO}^-$

Generazione di Cl_2 per elettrolisi (per non utilizzare bombole)

Utilizzo di cloro (2)

- ClO_2 è un radicale, quindi è esplosivo, pertanto viene prodotto direttamente *in situ* per ossidazione:



- il Cl_2 viene consumato completamente;
- 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 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: CHX_3 (X=Cl, Br anche in combinazione), CHCl_3 è cancerogeno.

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 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: CHX_3 (X=Cl, Br anche in combinazione), CHCl_3 è cancerogeno.

Limiti nel D.Lgs. 31/2001 per gli alometani:

- Tetracloroetilene+Tricloroetilene 10 µg/l
- Trialometani-Totale 30 µg/l

Utilizzo di ozono

- O_3 viene generato *in situ* con scariche elettriche ad alto potenziale (10'000-20'000 V) e viene gorgogliato nell'acqua.
- è un potente ossidante battericida;
- non lascia protezione a lungo termine;
- produce meno DBP e meno tossici rispetto ai trattamenti con cloro (può produrre HCHO e altri composti carbonilici; in presenza di Br^- produce BrO_3^- , cancerogeno per gli animali).

Metodi di filtrazione

Esistono processi di **filtrazione su membrana** che consentono la rimozione simultanea di differenti specie chimiche e microrganismi che sono trattenuti dai differenti sistemi di filtrazione, in funzione delle dimensioni (μm) e della loro massa molecolare.

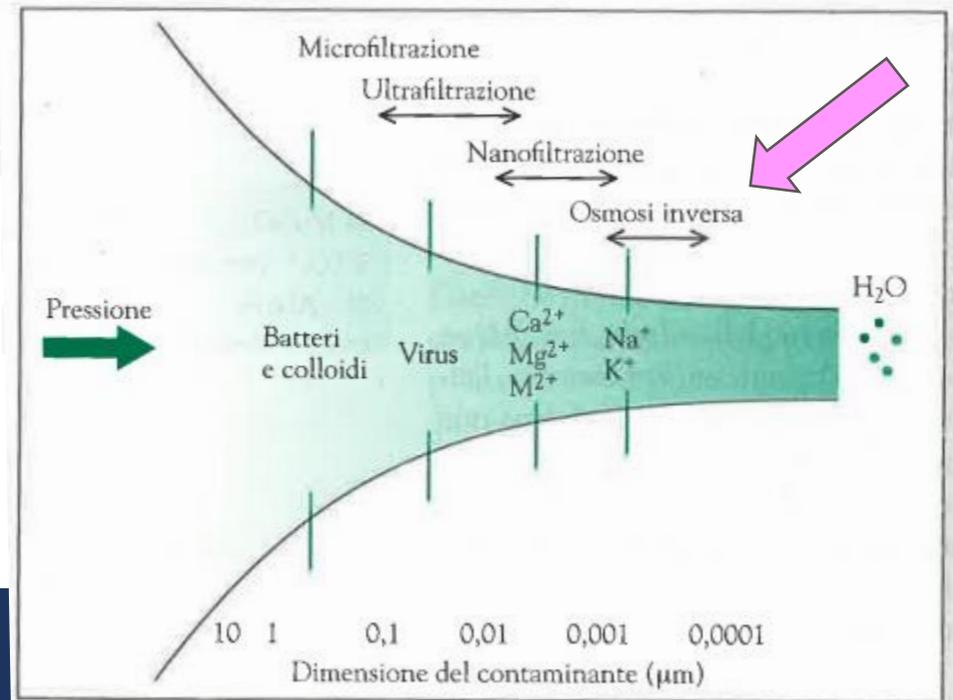
Secondo il grado di filtrazione, determinato anche dalla natura chimica e dalla struttura della membrana, si distinguono:

- microfiltrazione, in grado di trattenere particelle di diametro 0,05-2 μm ;
- ultrafiltrazione, in grado di trattenere particelle di diametro 0,001-0,1 μm ;
- nanofiltrazione, in grado di trattenere particelle di diametro 0,001-0,01 μm .

Intervallo dimensionale (μm)	<100	<0,001	<0,01	<0,05	<10	<150	150>
Massa molecolare (Da)	<300	<1.000	<2.000	<100.000			100.000>
Specie chimiche e microrganismi ritenuti	Sali Ioni metallici		Acidi umici NOM disciolta	Virus	Batteri Argille	Cisti Alghie Limo	Sabbia
Processo di separazione	Osmosi inversa	Nanofiltrazione	Ultrafiltrazione		Microfiltrazione		Filtrazione meccanica

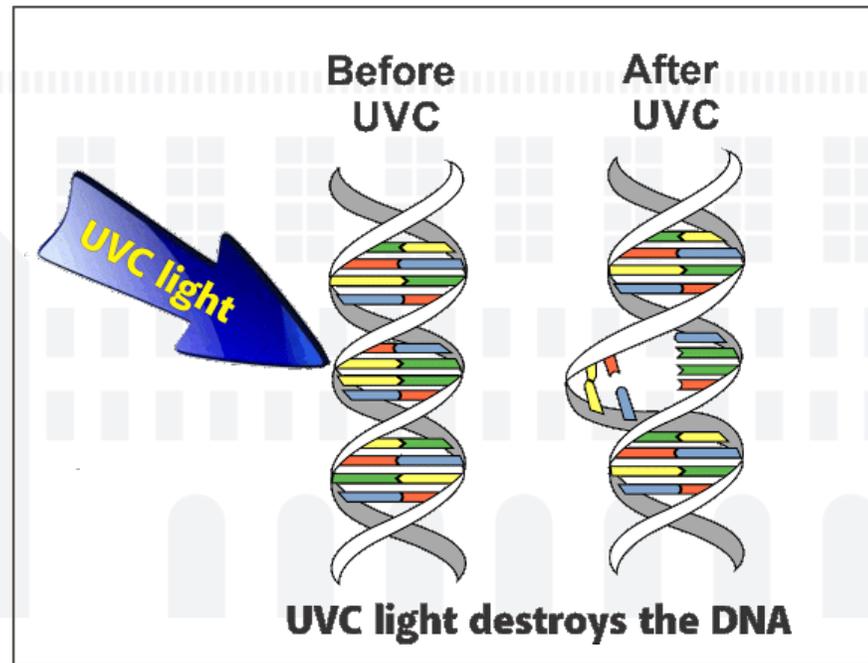
Osmosi inversa

- Fa parte anch'esso dei metodi di **filtrazione a membrana**, è in grado di trattenere particelle di diametro $<0,001 \mu\text{m}$.
- L'acqua viene forzata tramite pressione elevata attraverso una membrana semipermeabile (acetato o poliacetato di cellulosa - poco costose - o poliammide).
- Solo l'acqua o altre piccole molecole con stesse dimensioni possono attraversare i pori.
- Viene detta inversa perché l'acqua viene fatta migrare in senso opposto rispetto al gradiente di concentrazione dei soluti



Luce ultravioletta

- Per disinfettare l'acqua può essere impiegata anche la luce UV;
- Lampade a vapori di mercurio emettono UV-C (254 nm);
- L'azione germicida della luce si esplica **con disgregazione del DNA microbico** e quindi con l'interruzione del processo di replicazione e con conseguente inattivazione delle cellule microbiche;
- **Fe e sostanze umiche disciolte** possono assorbire luce UV riducendo la quantità di luce disponibile per la disinfezione.

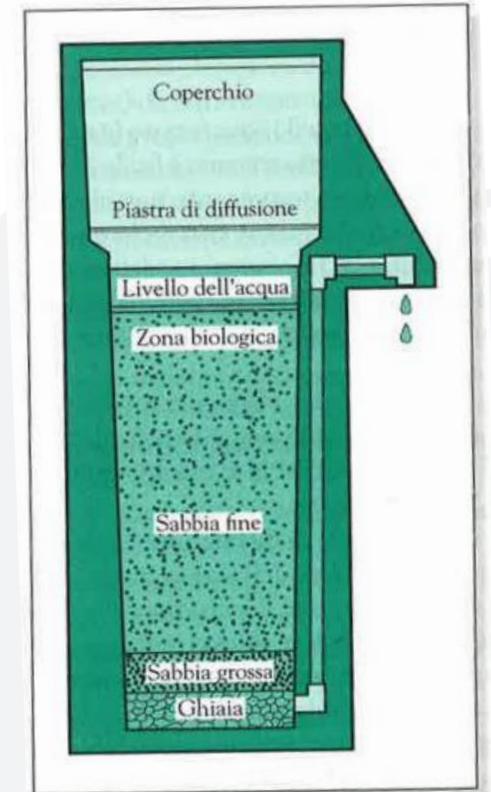


Livello tecnologico e costi delle tecniche di disinfezione



Disinfezione dell'acqua al punto d'uso

- Nelle aree rurali, specialmente nei paesi in via di sviluppo, non ci sono infrastrutture per il rifornimento di acqua potabile;
- Vengono utilizzate acque di superficie o di falda attinte *in loco*, che è necessario sanificare.



Sistema con filtri a biosabbia

Disinfezione dell'acqua al punto d'uso

- Nelle aree rurali, specialmente nei paesi in via di sviluppo, non ci sono infrastrutture per il rifornimento di acqua potabile;
- Vengono utilizzate acque di superficie o di falda attinte *in loco*, che è necessario sanificare.
- Sono state quindi sviluppate tecnologie di disinfezione "*point-of-use*", i cui requisiti necessari sono:
 - capacità di fornire quotidianamente quantità sufficienti di acqua;
 - capacità di trattare diversi tipi di acqua grezza (es. torbida e/o con alto materiale organico);
 - trattamento di breve durata;
 - basso costo;
 - disponibilità di pezzi di ricambio;
 - facilità di uso.



Sistema con filtri a biosabbia

Disinfezione dell'acqua al punto d'uso

- Nelle aree rurali, specialmente nei paesi in via di sviluppo, non ci sono infrastrutture per il rifornimento di acqua potabile;
- Vengono utilizzate acque di superficie o di falda attinte *in loco*, che è necessario sanificare.
- Sono state quindi sviluppate tecnologie di disinfezione "*point-of-use*", i cui requisiti necessari sono:
 - capacità di fornire quotidianamente quantità sufficienti di acqua;
 - capacità di trattare diversi tipi di acqua grezza (es. torbida e/o con alto materiale organico);
 - trattamento di breve durata;
 - basso costo;
 - disponibilità di pezzi di ricambio;
 - facilità di uso.
- Trattamenti possibili sono:
 - clorazione con ipoclorito di sodio o calcio in pastiglie;
 - clorazione + coagulazione (per migliorare le proprietà organolettiche);
 - sistema SODIS (*solar disinfection*) con utilizzo di luce UVA solare (ma richiede molte ore);
 - filtri in ceramica;
 - filtri a biosabbia.



Sistema con filtri a biosabbia