

CHIMICA AMBIENTALE

*CdL triennale in
Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura*

*Docente
Pierluigi Barbieri*

SSD Chimica dell'ambiente e dei beni culturali, CHIM/12

Inquinamento, potabilizzazione e depurazione delle acque

Inquinamento delle acque da parte di contaminanti chimici o biologici è problema che ha dimensione mondiale

The screenshot shows the WHO website page for 'Water Sanitation Health'. The URL in the browser is www.who.int/water_sanitation_health/facts_figures/en/. The page has a blue header with 'p for WHO updates' and 'Water Sanitation Health'. A left sidebar contains a menu with the following items: 'Water sanitation and health' (highlighted), 'Drinking-water quality', 'Bathing waters', 'Water resources', 'Water supply and sanitation monitoring', 'Water supply, sanitation and hygiene', 'Water-related diseases', 'Wastewater use', 'Healthcare waste', 'Emerging issues', and 'Water, health and economics'. The main content area is titled 'Facts and figures on water quality and health' and contains two sections: 'The global health challenge: preventing water quality-related disease' and 'The Health Opportunities: Implementing good practice'. The first section lists six bullet points about global water quality issues, and the second section lists four bullet points about health opportunities.

www.who.int/water_sanitation_health/facts_figures/en/

p for WHO updates

Water Sanitation Health

Water sanitation and health

- Drinking-water quality
- Bathing waters
- Water resources
- Water supply and sanitation monitoring
- Water supply, sanitation and hygiene
- Water-related diseases
- Wastewater use
- Healthcare waste
- Emerging issues
- Water, health and economics

Facts and figures on water quality and health

The global health challenge: preventing water quality-related disease

- No safe drinking-water: almost 1 billion people lack access to an improved supply
- Diarrhoeal disease: 2 million annual deaths attributable to unsafe water, sanitation and hygiene
- Cholera: more than 50 countries still report cholera to WHO
- Cancer and tooth/skeletal damage: millions exposed to unsafe levels of naturally-occurring arsenic and fluoride
- Schistosomiasis: an estimated 260 million infected
- Emerging challenges: increasing use of wastewater in agriculture is important for livelihood opportunities, but also associated with serious public health risks

The Health Opportunities: Implementing good practice

- 4% of the global disease burden could be prevented by improving water supply, sanitation, and hygiene
- A growing evidence base on how to target water quality improvements to maximize health benefits
- Better tools and procedures to improve and protect drinking-water quality at the community and urban level, for example through Water Safety Plans
- Availability of simple and inexpensive approaches to treat and safely store water at the household-level

Trattamenti di purificazione dell'acqua

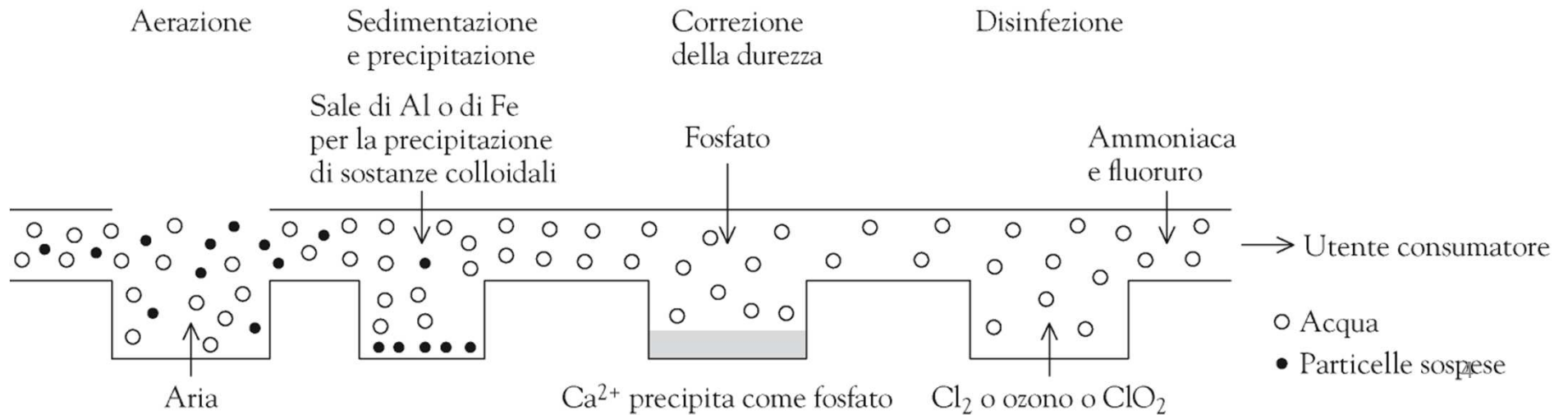
Acque potabili relativamente incontaminate

- Acque di falda
- Acque reflue

Disinfezione dell'acqua

Acqua grezza destinata a uso potabile superficiale o del sottosuolo può essere da quasi incontaminata a fortemente inquinata -> processi di potabilizzazione diversificati

Per correzione di caratteri fisici organolettici, chimici e microbiologici



Aerazione dell'acqua

Gli acquedotti comunali sottopongono ad aerazione l'acqua destinata ad uso potabile proveniente da falde acquifere per allontanare i gas disciolti

H₂S, organosolforati e Composti Organici Volatili che hanno odori sgradevoli

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

Aerazione Fe²⁺ -> Fe³⁺

Fe³⁺ + 3 OH⁻ -> Fe₃(OH)₃ (s)

Si formano idrossidi insolubili (o specie affini)

Odor / Smell Problems Drinking Water

Rotten-Egg Odor Smell Musty Odors Smell Earthy, musty, grassy, fishy, vegetable and cucumber	Hydrogen sulfide, sulfate-reducing bacteria, Softwater reactions in electric water heaters, algal by-products, bacteria, algal by-products, surfactants
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

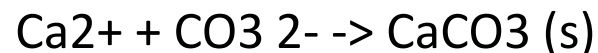
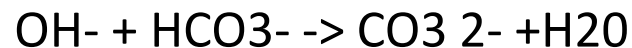
Rimozione del calcio e del magnesio

Acqua da pozzi in zone calcaree contiene alte concentrazioni di Ca^{2+} e Mg^{2+}
Rimovibili con reazioni di precipitazione (interferiscono con detersivi e saponi)

Fosfato può venir aggiunto per far precipitare calcio fosfato

O

Si aggiunge carbonato di sodio o se è naturalmente presente HCO_3^- si aggiunge OH^-



Mg^{2+} precipita come $\text{Mg}(\text{OH})_2$ in soluzione alcalina

Rimosso precipitato per filtrazione, si riporta pH vicino a neutralità gorgogliando CO_2

Carbone attivo

Disinfezione per ridurre il rischio di malattie infettive

Disinfezione = eliminazione degli organismi patogeni (in grado di causare malattie)

Batteri (microorganismi procarioti) es. Salmonella (causa febbre tifoide), Escherichia Coli O157:H7 (Sindrome emolitico-uremica)

Virus (agenti infettanti subcellulari) es. poliomielite, epatite A, virus Norwalk ([gastroenterite](#) virale)

Protozoi (microorganismi eucarioti unicellulari) Cryptosporidium e Giardia Lamblia

WHO ca 4500 bambini muoiono giornalmente per acqua inquinata

Filtrazione dell'acqua

Acqua grezza di fiumi, laghi o torrenti contiene moltitudine di minuscole particelle (che possono contenere microorganismi)

Le più voluminose p. vengono rimosse dall'acqua filtrando il mezzo

Letto di sabbia che trattiene solidi fino a 10 micrometri di dimensioni

Rimozione delle particelle colloidali mediante precipitazione

Molti acquedotti comunali si avvalgono di processo di sedimentazione dell'acqua grezza che consente a particelle in sospensione di depositarsi e essere filtrate con facilità

Molta materia insolubile non precipita spontaneamente ma rimane in sospensione in forma di particelle colloidali (diametro 0,001 : 1 micrometro, formate da gruppi di molecole o ioni uniti da legami deboli).

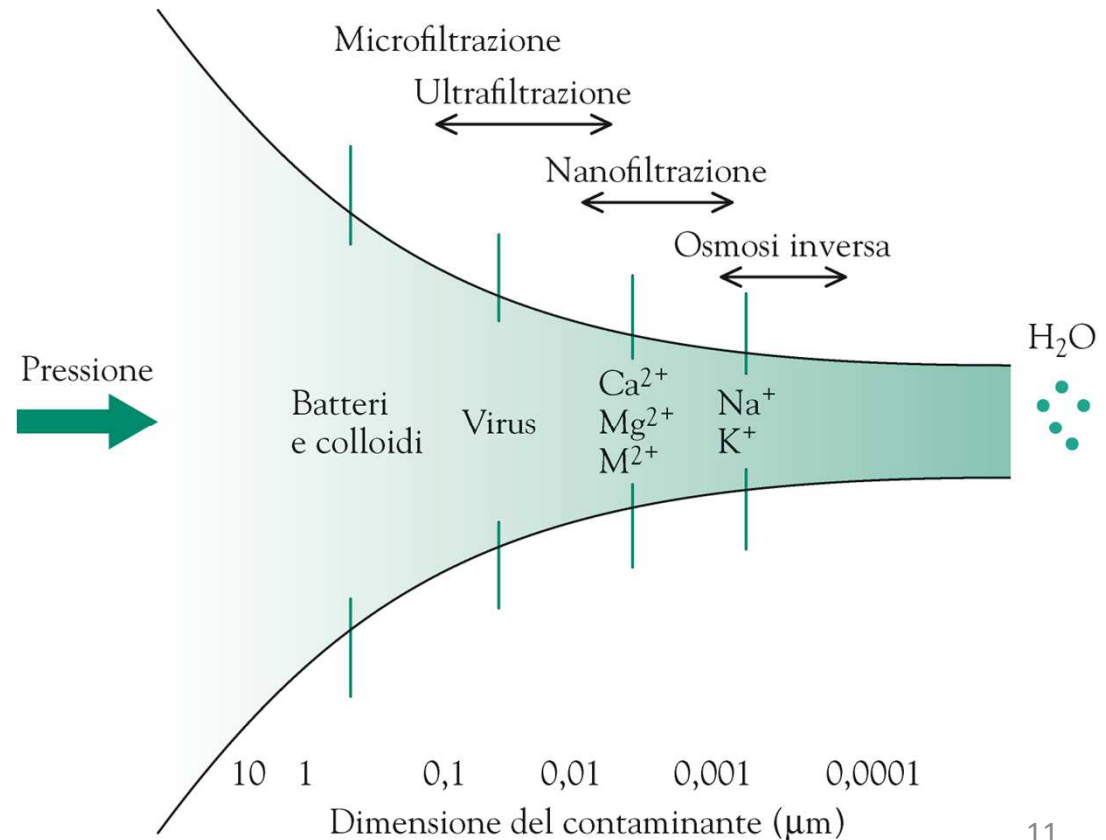
Rimozione di p. colloidali per motivi sanitari ed estetici

Aggiunta di $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ che a pH neutro o alcalino formano ossidi gelatinosi che incorporano i colloidali

Anche aggiunta di polielettroliti

Disinfezione delle acque mediante tecnologia delle membrane

È possibile liberare l'acqua da gran parte di ioni molecole piccole particelle contaminanti (virus e batteri) facendola passare o forzandola sotto pressione attraverso una membrana i cui fori/pori sono di dimensioni uniformi e microscopiche



Osmosi inversa

O iperfiltrazione

Acqua forzata attraverso pressione elevata attraverso membrana semipermeabile (acetato o poliacetato di cellulosa (poco costose) o poliammide)

Solo acqua o altre piccole molecole con stesse dimensioni può attraversare i pori, il liquido da parte opposta della membrana è acqua pura

Disinfezione mediante radiazione ultravioletta

Per disinfettare l'acqua può essere impiegata anche la luce UV

Lampade a vapori di mercurio emettono UV-C (254 nm)

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

Disinfezione mediante metodi chimici: ozono e biossido di cloro

Per liberare mediante sistemi chimici l'acqua destinata all'uso potabile da batteri e da virus patogeni (es da materiale fecale) è necessario un agente ossidante più potente dell'O₂. In alcune località si usa O₃, instabile, da produrre in loco (aria secca, scarica elettrica -> O₃ (g) gorgogliato)

Acqua così trattata non ha protezione a durata nel tempo per contaminazioni che si verificano in rete idrica.

O₃ con composti organici in soluzione può formare formaldeide e altri composti carbonilici

O₃ e bromuro reagiscono producendo bromato, cancerogeno su animali



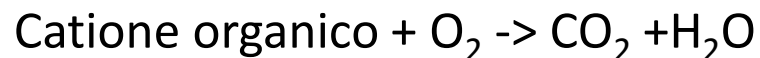
Tutti i metodi chimici di disinfezione generano sottoprodotti della disinfezione (DBP)

ClO₂ impiegato USA e EU

È radicale libero e sottrae elettroni ossidando molecole organiche

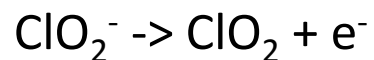


Cationi organici che si formano reagiscono ulteriormente



ClO₂ non può essere conservato in quanto esplosivo a concentrazioni elevate

Viene prodotto in loco ossidando la forma ridotta, lo ione clorito, da sale clorito di sodio

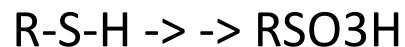


Biossido di cloro in parte convertito a ioni clorato (DBP)

Disinfezione mediante clorazione

Agente disinfettante più comune nella potabilizzazione è acido ipocloroso
HClO

Uccide microorganismi perché riesce ad attraversare membrane cellulari e disattiva enzimi essenziali ossidando catene laterali che contengono zolfo



Efficace e relativamente poco costosa

Eccesso di certa quantità di disinfettante dà all'acqua potere germicida residuo, in grado di proteggerla nel percorso fino a consumatore.

Disinfezione mediante clorazione: produzione di acido ipoloroso

HClO è instabile nella forma concentrata, per cui non può essere conservato

Produzione



Soluzione acquosa assai diluita contiene di per sé quantità minima di Cl₂ gassoso

A pH maggiori HClO si ionizza in ClO⁻ ipoclorito che ha minor capacità di penetrare nei batteri per sua carica elettrica.

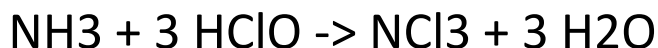
In scala ridotta manipolazione di bombole di Cl₂ è disagiata, per cui è possibile produrre Cl₂ mediante elettrolisi di ione Cl⁻ in piscine ad acqua salata.

Più comunemente generato da sale Ca(ClO)₂ o in soluzione acquosa di NaClO (candeggina, varechina, amuchina)

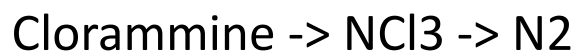


Nelle piscine, serve controllo del pH per evitare spostamento a sinistra della reazione, ma attenzione a corrosione a pH acidi (pH mantenuto superiore a 7)

pH alcalino impedisce conversione di ammoniaca disciolta in mono e dicloroammine e in tricloruro di azoto NCl_3 irritante per gli occhi



Quando concentrazione di clorammine è alta si aumenta Cl_2

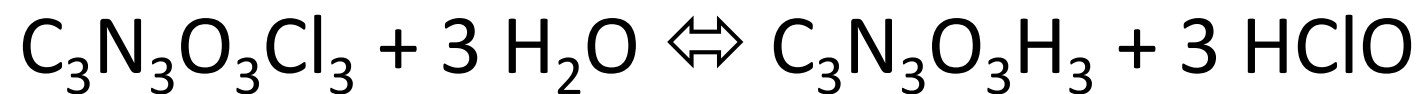


È opportuno regolare il punto di equilibrio nella reazione $\text{ClO}^- \rightarrow \text{HClO}$ in modo da mantenere prevalenza della specie molecolare disinfettante HClO

Cloro deve essere reintegrato nelle piscine all'aperto perché UV B e parte di UV A vengono assorbiti e decomposti da HClO e ClO^-



Acido ipocloroso è generato anche da cloroderivato di acido cianurico



Disinfezione mediante clorazione: sottoprodotti e loro effetti sulla salute

DBP produzione di sostanze organiche clorate tossiche (HClO è agente ossidante e clorurante)

Acidi acetici alogenati $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{COOH}$ ($\text{CHCl}_2-\text{COOH}$ più cancerogeno di CHCl_3)

Aloacetoni nitrili $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CN}$

Aloacetaldeidi CHCl_2-CHO

Se acqua contiene fenolo ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) si formano clorofenoli sgradevoli oltre che tossici.

Trialommetani CHX_3 X=Cl, Br anche in combinazione

Il cloroformio desta maggior preoccupazione

Materia organica + HClO \rightarrow \rightarrow CHCl_3 (reazione complessiva)

Il D.Lgs. n° 31/2001 e il D.lgs n° 27/2002, disciplinano la qualità delle acque ad uso umano

Tetracloroetilene + Tricloroetilene	10	$\mu\text{g/l}$
Trialommetani-Totale	30	$\mu\text{g/l}$

Disinfezione mediante clorazione: vantaggi sugli altri metodi

Più vantaggi che svantaggi

Disinfezione dell'acqua al punto d'uso

Iodio elementare (cristalli o soluzione)

acido ipoiodoso

Candeggina o ipoclorito di calcio in pastiglie

Isocianurato di sodio (ha emivita più lunga)

Solar disinfection

Filtri in ceramica

Filtri a biosabbia

Ebollizione

Filtro a biosabbia

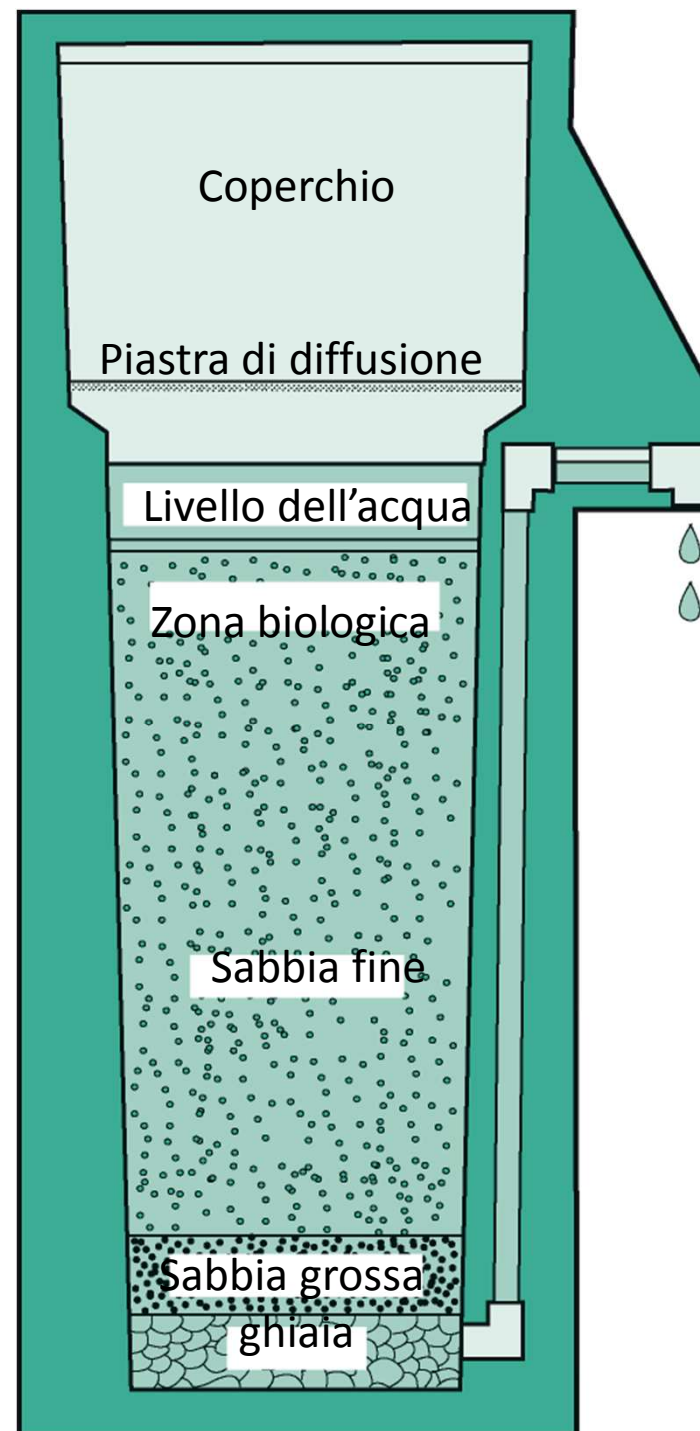


TABELLA 11.1 • Valutazioni sulle tecnologie POU nei paesi in via di sviluppo

Tecnologia	Quantità di acqua	Qualità dell'acqua	Facilità d'uso	Costo	Catena di erogazione	Punteggio complessivo
Filtri a biosabbia	3	3	2	2	3	13
Filtri in ceramica	2	3	2	3	2	12
Clorazione	3	1	3	3 (liquido) 2 (pastiglia)	1	11 (liquido) 10 (pastiglia)
Solare + calore (SODIS)	1	1	1	3	3	9
Coagulazione + clorazione	2	3	1	1	1	8

Nota: l'intervallo del punteggio per le singole categorie è compreso fra 3 (il più elevato) e 1 (il più basso).

Fonte: adattata dalla Tabella 3 di M. D. Sobsey et al., "Point of Use Household Drinking Water Filtration", *Environmental Science and Technology* (2008):4261-4267.