

Trattamento delle acque grezze

Uno degli aspetti innovativi dei nuovi programmi relativi all'indirizzo chimico degli Istituti Tecnici è l'interesse rivolto ai problemi di carattere ecologico, vale a dire all'odierna, pressante esigenza di salvaguardare l'ambiente. Spesso questo compito è demandato al *chimico*, sia come analista e controllore dell'ambiente, sia come esperto in grado di minimizzare o addirittura eliminare le cause di inquinamento a qualsiasi livello.

A proposito di inquinamento il primo elemento a risentirne è l'acqua, in quanto sono proprio i fiumi, i laghi, il mare e le acque sotterranee i primi luoghi in cui sono visibili gli effetti del degrado ambientale. L'acqua necessaria per i consumi di una società industriale e per la stessa sopravvivenza di tutti gli esseri viventi è uno dei beni più preziosi presenti sulla Terra, anche se spesso, come singoli, non si ha la percezione del suo reale valore.

L'acqua dolce costituisce la minima parte dell'acqua del pianeta. La distribuzione delle acque dolci non è uniforme nelle varie zone abitate dall'uomo. Molte persone non dispongono nemmeno dell'acqua sufficiente per la sopravvivenza.

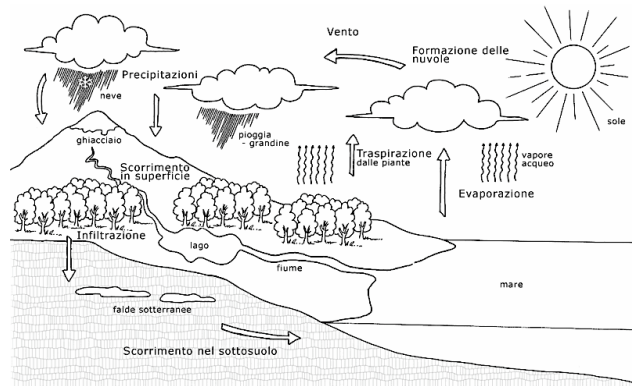


Figura 1 Ciclo idrologico dell'acqua

In questo quadro va a inserirsi la quantità di **acqua necessaria per il funzionamento delle industrie**, dato che in tutte è essenziale poter disporre di grandi quantitativi di acqua per le più diverse necessità:

- lavaggio;
- raffreddamento;
- riscaldamento;
- alimentazione di caldaie per la produzione di vapore;
- mezzo nel quale far avvenire la maggior parte delle reazioni chimiche;
- mezzo di trasporto;
- metodo di separazione;
- sostanza che entra a far parte di innumerevoli prodotti.

Nelle società industriali si stima che il quantitativo di acqua utilizzato dalle industrie corrisponde a 2000 litri per abitante. Vista l'estrema differenziazione degli impieghi industriali, viene spontaneo pensare che i **vari usi richiedono acque con caratteristiche diverse**.

È necessario precisare che parlando di caratteristiche di un'acqua non ci si riferisce ai parametri chimico-fisici ben precisi e costanti della "sostanza acqua", ma alla presenza o meno, nelle acque che arrivano nelle industrie, di sostanze di varia natura che possono trovarsi in sospensione o disciolte. Le acque disponibili per impieghi industriali possono essere prelevate dai fiumi, dai laghi, dal sottosuolo e raramente dal mare, per cui presentano caratteristiche diverse. A volte, però, le industrie riciclano l'acqua già impiegata nell'interno dello stesso stabilimento, dopo averla trattata in modo da renderla nuovamente utilizzabile. **L'acqua che deve essere trattata, proveniente sia da ambienti naturali sia da precedenti utilizzi, viene detta grezza.**

Il problema che ogni industria deve affrontare è sostanzialmente quello di rendere compatibile con le proprie esigenze l'acqua grezza che ha a disposizione. Considerando la diversità delle esigenze da parte delle varie industrie e la molteplicità delle caratteristiche delle acque disponibili, non è possibile stabilire regole e procedimenti specifici validi per ogni occasione. In questa sede, pertanto, si cercherà di dare soltanto indicazioni di carattere generale, in quanto i metodi da utilizzare per ogni singola esigenza devono essere decisi caso per caso.

La filosofia che deve guidare la scelta dei trattamenti da effettuare è quella di eliminare dall'acqua, in maniera economica e globale, solo quelle particelle e quelle sostanze che possono creare problemi durante l'impiego produttivo. Quindi il tipo di trattamento al quale si sottopone un'acqua che deve essere utilizzata industrialmente è una scelta esclusivamente tecnica, interna a ogni stabilimento, dettata dalle caratteristiche richieste per gli specifici impieghi.

La stessa arbitrarietà non è invece possibile se l'acqua viene destinata al consumo umano. Un DPR dell'8/2/1985 (suppl. ord. Gazz. Uff. n. 108 del 9.5.1985) stabilisce le caratteristiche di qualità richieste

2 - Trattamento delle acque grezze

per l'acqua destinata al consumo umano. Le industrie poi devono anche osservare ben precisi parametri di legge per le acque che vengono scaricate dagli stabilimenti.

Caratteristiche delle acque

Le caratteristiche chimico-fisiche variano in funzione della provenienza dell'acqua: per i fiumi, le acque sotterranee ed i laghi il tipo e la concentrazione delle sostanze presenti dipenderanno dal tipo di terreno e dalla presenza di insediamenti abitativi, agricoli o industriali. L'acqua è di per sé un ottimo solvente per molte sostanze, ma la sua azione è potenziata sia da un fattore meccanico dovuto al moto di trascinarsi sulle particelle solide, sia dalla presenza di anidride carbonica che ne favorisce il potere solubilizzante dei carbonati.

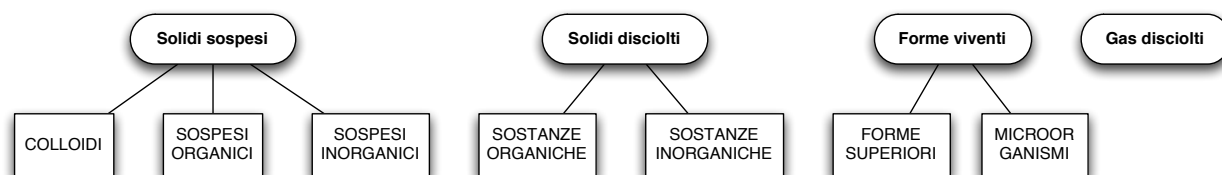


Figura 2 Classi di sostanze presenti nell'acqua

Sostanze disciolte

L'acqua possiede una grande capacità solvente nei confronti dei sali inorganici presenti nei terreni con cui si trovano a contatto, come ad esempio i solfati di calcio e magnesio (sali con media solubilità) e i cloruri di sodio e di calcio (sali molto solubili); inoltre, la presenza di CO₂ disciolta favorisce la solubilizzazione di sali normalmente poco solubili come i carbonati di calcio e magnesio. In particolare, i cationi Ca²⁺ e Mg²⁺ sono responsabili della *durezza* delle acque e dei conseguenti problemi relativi al deposito di incrostazioni.

Altre sostanze presenti nelle acque grezze sono i composti dell'azoto che può essere presente sotto diverse forme; l'azoto ridotto ed ammoniacale, derivante dalla decomposizione delle proteine da parte dei microrganismi, è generalmente indice di inquinamento. La presenza di azoto nitrico è da ricondursi sia all'ossidazione biologica dell'azoto ridotto che all'azione delle acque sui terreni trattati con sostanze fertilizzanti.

I composti del fosforo derivano principalmente dall'utilizzo dei detergenti sintetici e in minor misura dai fertilizzanti fosfatici. Insieme ai composti azotati, quelli del fosforo contribuiscono ai fenomeni di *eutrofizzazione*¹ a cui sono soggetti molti fiumi e laghi.

La silice può essere presente in forma di silicati sia solubili che insolubili e determina inconvenienti dovuti sia alla formazione di resistenti incrostazioni che all'azione abrasiva.

Infine, ioni ferro e manganese, di per sé non nocivi o dannosi, possono conferire colore ed odore sgradevole alle acque per la precipitazione come idrossidi, pertanto devono essere allontanati nel caso siano destinate ad uso civile (come acqua potabile).

Gas disciolti e sostanze sospese

L'acqua ha una notevole capacità solvente anche nei confronti dei gas, soprattutto di O₂ e CO₂, ma anche di H₂S, N₂, CH₄ e NH₃.

L'ossigeno può provenire dall'atmosfera o dall'attività fotosintetica delle alghe. La sua solubilità dipende dalla temperatura e dalla salinità: in acqua dolce è pari a 14,6 mg/l a 0 °C e a 9,2 mg/l a 20 °C.

L'anidride carbonica viene principalmente assorbita dall'acqua piovana, ma può derivare anche dall'attività degradativa di microrganismi in presenza di inquinanti organici. L'anidride, insieme ai

¹ Il termine eutrofizzazione deriva dal greco *eutrophia* (*eu* = buono, *trophòs* = nutrimento), ad indicare quindi una condizione di ricchezza di sostanze nutritive in un dato ambiente, nello specifico una sovrabbondanza di nitrati e fosfati in un ambiente acquatico. Oggi viene correntemente usato anche per indicare le fasi successive del processo biologico conseguente a tale arricchimento, vale a dire l'eccessivo accrescimento degli organismi vegetali acquatici che si ha per effetto della presenza nell'ecosistema acquatico di dosi troppo elevate di sostanze nutritive come azoto o fosforo o zolfo e il conseguente degrado dell'ambiente divenuto asfittico. L'accumulo di elementi come l'azoto e il fosforo causa la proliferazione di alghe microscopiche e queste, a loro volta, non essendo smaltite dai consumatori primari, determinano una maggiore attività batterica; aumenta così il consumo globale di ossigeno, e la mancanza di quest'ultimo provoca alla lunga la morte dei pesci.

3 - Trattamento delle acque grezze

bicarbonati, determina l'azione incrostante (tendenza a depositare incrostazioni di CaCO_3) o aggressiva (tendenza a ridisciogliere i depositi di CaCO_3) dell'acqua².

La presenza di anidride carbonica nell'atmosfera (0,03 % in volume) per dissoluzione e formazione di acido carbonico impartisce un carattere debolmente acido all'acqua. Nelle acque naturali, invece, quando sono presenti bicarbonati in soluzione, il pH è neutro o leggermente alcalino, di norma compreso tra 7 e 8. L'acqua di mare ha pH 8,2.

La presenza di altri gas (H_2S , CH_4 e NH_3) può essere determinata dall'attività di batteri anaerobi.

I solidi sospesi possono avere origine sia inorganica (argilla, silicati...) che organica (microrganismi, oli, grassi...). A differenza di altre classi di sostanze, la presenza di solidi sospesi è incompatibile con qualsiasi uso a cui l'acqua venga destinata, per cui la loro eliminazione è un passaggio obbligato per tutti i tipi di trattamento.

Microrganismi e altre specie viventi

Le acque naturali costituiscono anche l'ambiente ideale per la proliferazione un grande numero di forme di vita, dagli organismi unicellulari alle forme più evolute di esseri viventi, che in generale si possono dividere in tre classi: produttori (organismi fotosintetici, come alcune alghe il cui metabolismo può produrre sostanze nocive ed inquinanti), consumatori (dallo *zooplankton* fino ai pesci, producono sostanze di rifiuto) e degradatori (batteri e funghi, come coliformi e streptococchi, che normalmente risiedono nell'intestino degli uomini e di altri animali, la cui presenza nelle acque perciò indica uno stato di inquinamento ad opera di scarichi civili). Soprattutto per gli usi civili l'acqua deve essere priva di questi microrganismi che devono essere eliminati con opportuni trattamenti.

Sostanze che impartiscono colore, odore e sapore

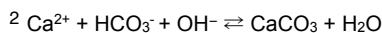
Le sostanze, che modificano le cosiddette caratteristiche organolettiche dell'acqua come l'odore ed il sapore, sono principalmente i fenoli ed i loro derivati, come i clorofenoli, che si formano durante i processi di potabilizzazione o l'acido solfidrico ed il metano, che vengono prodotti dal metabolismo di batteri anaerobi. Le sostanze, invece, che impartiscono colore sono sali o idrossidi di ferro o manganese in sospensione colloidale (sostanze inorganiche), o gli acidi umici³ ed i tannini⁴, o addirittura alcune alghe (sostanze organiche).

Requisiti delle acque

I requisiti richiesti per le acque si differenziano ovviamente a seconda degli usi a cui esse vengono destinate.

Le acque per il consumo umano

Si definiscono così non solo le acque potabili, ma anche quelle che vengono utilizzate per la manipolazione di prodotti o sostanze destinate al consumo umano. In particolare le acque potabili possono derivare da acque sotterranee, come per la quasi totalità delle acque potabili distribuite in Italia, o ottenute per trattamento chimico-biologico delle acque superficiali, come avviene ad esempio nel Nord Europa. Oltre all'assenza di carica batterica, la normativa (DPR 24 maggio 1988, n. 236, che attua la direttiva CEE n. 80/778, da cui è tratta la Tabella 1) ne definisce i requisiti di qualità.



La precipitazione di incrostazioni di carbonato, che corrisponde allo spostamento a destra della reazione scritta sopra, dipende:

- dalla concentrazione di bicarbonati,
- dalla concentrazione di calcio (e magnesio), cioè dalla durezza dell'acqua;
- dal pH: si ricorda che la semireazione catodica di riduzione di ossigeno nei processi di corrosione modifica localmente il pH, spostandolo leggermente verso valori alcalini;
- dalla temperatura: al crescere della temperatura diminuisce infatti la solubilità del carbonato, CaCO_3 .

Il *potere incrostante* è un parametro influente per la corrosione nelle acque dolci: la formazione di uno strato aderente e compatto sulle superfici metalliche ne rallenta la corrosione sino a valori accettabili.

³ Gli acidi umici sono dei costituenti naturali del suolo e delle acque naturali, dove si formano a seguito della biodegradazione di residui vegetali ed animali. Essi sono uno dei maggiori costituenti delle sostanze umiche; possono essere definiti come quella frazione di sostanze umiche che non è solubile in acqua in condizioni acide (pH minore di 2), ma che è solubile a maggiori valori di pH, in particolare comprendono una miscela di deboli acidi organici alifatici e aromatici che non è solubile in acqua a pH acido, ma è solubile a pH alcalino. Si presentano con una colorazione marrone-scuro, praticamente nero.

⁴ I tannini sono composti polifenolici presenti negli estratti vegetali; sono sostanze capaci di combinarsi con le proteine della pelle animale in complessi insolubili, di prevenirne la putrefazione da parte degli enzimi proteolitici.

4 - Trattamento delle acque grezze

Parametri	unità di misura	valore guida (VG)	conc. massima ammissibile (CMA)	osservazioni
Temperatura	°C	12	25	
Concentr. ioni H ⁺	unità pH	6,5 < pH < 8,5	6,0 < pH < 9,5	non applicabile ad acque in recipienti chiusi
Conducibilità el.	µS cm ⁻¹	400	-	pari a 2500 ohm.cm
Cloruri	mg l ⁻¹	25	-	è opportuno non superare 200 mg/l
Solfati	mg l ⁻¹	25	250	
Calcio	mg l ⁻¹	100	-	
Magnesio	mg l ⁻¹	30	50	
Sodio	mg l ⁻¹	20	150/175	
Potassio	mg l ⁻¹	10	-	
Alluminio	mg l ⁻¹	0,05	0,2	
Residuo fisso	mg l ⁻¹	-	1500	
Ossigeno disciolto	% sat.	-	-	valore di saturazione superiore al 75 %, salvo per acque sotterranee
Nitrati	mg l ⁻¹	5	50	
Nitriti	mg l ⁻¹	-	0,1	
Ammoniaca	mg l ⁻¹	0,05	0,5	
idrogeno solforato	-	-	non rilevabile organoletticamente	
Piombo	µg l ⁻¹	-	50	
Cadmio	µg l ⁻¹	-	5	
Ferro	µg l ⁻¹	50	200	
Rame	µg l ⁻¹	100	1000	
Zinco	µg l ⁻¹	100	3000	
Fosforo	µg l ⁻¹	400	5000	

Tabella 1 Valori guida e massimi ammissibili per l'acqua potabile

Le acque industriali

L'acqua viene utilizzata nell'industria in una grande varietà di impieghi, ma si possono individuare cinque principali campi di applicazione:

- acque di processo
- acque di produzione vapore
- acque di raffreddamento
- acque di lavaggio
- acque di servizio.

Alcuni dei requisiti di carattere generale sono l'assenza di agenti corrosivi, la bassa durezza⁵ e l'assenza di torbidità; altri sono specifici e dipendono dal tipo di processo. Ad esempio, l'acqua impiegata per la produzione del vapore deve essere demineralizzata, cioè priva di sostanze indurenti e altre sostanze disciolte. Anche la presenza di silicati provoca incrostazioni mentre l'azione corrosiva di alcuni gas disciolti (ossigeno, anidride carbonica e acido solfidrico) può essere esaltata dalle elevate temperature.

Dopo questa premessa si può passare a descrivere i trattamenti ai quali può essere sottoposta un'acqua destinata all'impiego in un'industria, che sono del tutto simili a quelli utilizzati per far rientrare le acque da destinare al consumo umano nei parametri imposti dalla legge. È generalizzato l'uso di catalogare i trattamenti impiegati per le acque in:

- trattamenti primari o meccanici;
- trattamenti secondari o biologici;
- trattamenti terziari o chimico fisici.

I metodi biologici riguardano quasi esclusivamente la depurazione delle acque reflue e verranno pertanto illustrati successivamente.

⁵ La *durezza totale* è la concentrazione di ioni di calcio (p.a. 40,08) e magnesio (p.a. 24,32) presenti in un'acqua. Viene di norma espressa come quantità equivalente di CaCO₃ (p.m. 100,09), in mg/l, o in Gradi Francesi (1 °F = 10 mg/l di CaCO₃).

L'eliminazione dei solidi sospesi

La rimozione dei solidi sospesi è sempre il primo stadio di qualunque ciclo completo di trattamento. Le apparecchiature più utilizzate sono i **sedimentatori** e i **filtri a sabbia o in pressione**.

I solidi sospesi ed i colloidali

Si definiscono solidi sospesi tutti i solidi di dimensioni superiori a 0,45 μm . I solidi sospesi possono essere distinti in solidi *sedimentabili* (posto 1 L in un cono Imhoff, raggiungono il fondo entro 2 ore) e *non sedimentabili*.

I **colloidali** sono particelle di dimensioni ridottissime che formano sospensioni così stabili da non poter essere separate con i normali metodi di sedimentazione; si distinguono in *colloidali idrofili*, di origine organica assorbono in superficie uno strato di H_2O , e *idrofobi*, di natura inorganica, presentano un'interfase più netta.

L'aspetto caratterizzante dei colloidali è la repulsione elettrostatica che si esercita tra le varie particelle ad opera di cariche disposte sulla superficie. La presenza di queste cariche può derivare da imperfezioni cristalline. La repulsione impedisce la collisione tra le particelle e la conseguente formazione di aggregati più voluminosi, più facilmente sedimentabili. Sulla superficie vengono attratti gli ioni opposti presenti nell'acqua. Quindi, nel caso di cariche negative sulla superficie si contrapporrà uno strato di cariche positive a diretto contatto con quelle negative; questo strato formato si chiama "*strato di Stern*". Oltre questo strato si distingue un altro dove concentrazione degli ioni positivi è prevalente. Il valore del potenziale elettrico dello strato di Stern è detto *potenziale zeta*. L'avvicinamento di più particelle sarà possibile abbassando questo potenziale.

Il trattamento con coagulanti inorganici e polielettroliti

Durante la sedimentazione la velocità di caduta delle particelle dipende fortemente dalle dimensioni delle stesse. Sembra quindi logico pensare che, in presenza di sospensioni con particelle estremamente piccole, sia necessario **favorirne l'aggregazione per aumentarne le dimensioni**. A volte quindi, prima di inviare al sedimentatore un'acqua da depurare, si ricorre alla coagulazione che consiste nell'aggiunta di sostanze che rendono instabili le cariche superficiali delle particelle di dimensioni colloidali, modificando il campo elettrico che le circonda. Una volta favorita questa instabilità, le particelle si uniscono formando flocculi che precipitano più facilmente.

Gli **agenti coagulanti** più usati sono il solfato di alluminio, l'alluminato di sodio, il cloruro di ferro (III), il solfato di ferro (II) e altri chiamati PAC (policloruri di alluminio). Spesso assieme a queste sostanze ne vengono usate altre, dette **flocculanti**, che permettono la formazione di fiocchi più grandi e pesanti. Queste sostanze, chiamate *ausiliari di coagulazione*, sono: la silice attiva, la bentonite, i polielettroliti. Questi agenti vengono impiegati con tutti i tipi di solidi sospesi.

La loro azione sedimentante viene svolta in due fasi:

- nella prima, chiamata **coagulazione**, vengono destabilizzati i colloidali rendendo più facile la formazione di agglomerati voluminosi;
- nella seconda fase, chiamata **flocculazione**, gli aggregati continuano ad ingrossarsi fino a diventare sedimentabili.

I meccanismi in cui avviene la destabilizzazione delle sospensioni sono diversi in funzione del pH.

- A **pH acidi** (o comunque quando in soluzione abbiamo i cationi) il meccanismo è la **neutralizzazione di carica**; la loro azione è quella di abbassare i valori di potenziale elettrico in prossimità della superficie del colloidale diminuendone la repulsione e quindi aumentando la possibilità di formare aggregati voluminosi sedimentabili. Quindi maggiore sarà la concentrazione di sali (forza ionica), maggiore sarà l'effetto schermante.
- A **pH basici** (sopra il 6 per l'alluminio e 4 per il ferro) precipitano gli idrossidi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e $\text{Al}(\text{OH})_3$ che sfruttano come centri di nucleazione proprio le particelle colloidali in sospensione: si ha quindi la crescita di un precipitato amorfo in cui le particelle colloidali rimangono intrappolate. Questo meccanismo è detto di *irretimento* o *swep flocc*.

Dopo l'aggiunta di un flocculante, il pH si abbassa⁶ e va corretto con una base: per la sua economicità la calce ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) trova largo impiego.

Tra gli ausiliari di coagulazione vi sono i **polielettroliti organici**, macromolecole organiche ottenute per processi di polimerizzazione, le cui dimensioni sono paragonabili a quelle dei colloidali in sospensione. Possono avere una serie di cariche di segno positivo o negativo poste lungo la catena. Il loro funzionamento prevede la formazione di **ponti interparticellari**: le catene polimeriche vengono

⁶ $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$

$\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$

6 - Trattamento delle acque grezze

inizialmente adsorbite sulla superficie delle particelle solide, creando dei ponti tra le particelle; maggiore è il peso molecolare del polimero maggiore sarà la capacità legante. Le particelle legate insieme attraverso i ponti (flocculate) diventano sedimentabili (Figura 3).

Bisogna seguire alcuni accorgimenti per la scelta del polielettrolita: quando i polielettroliti vengono usati da soli è preferibile usare polielettroliti cationici; se l'acqua è già stata trattata con coagulanti organici, è preferibile usare polielettroliti anionici.

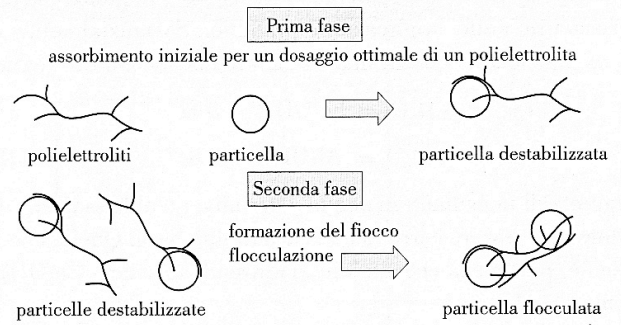


Figura 3 Azione dei polielettroliti

Apparecchiature e condizioni operative

La rimozione dei solidi sospesi avviene in una sequenza (Figura 4) a partire dalla **grigliatura** poi la **sedimentazione**, altrimenti la **chiariflocculazione**, ed infine la **filtrazione**.

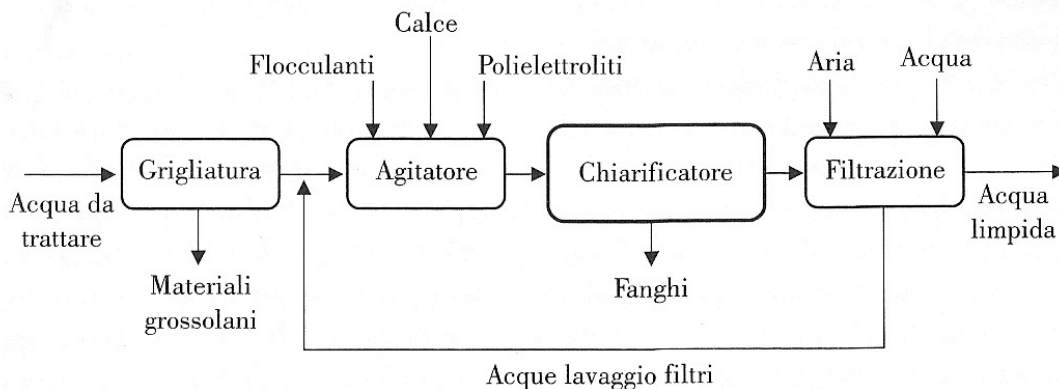


Figura 4 Schema a blocchi del processo di rimozione dei solidi sospesi

In questa sequenza, la più comune per quanto riguarda le acque grezze, le dimensioni delle particelle separate diminuisce via via verso la fine del processo. La sedimentazione e la filtrazione vengono effettuate con le normali apparecchiature per la separazione di fase. La **chiariflocculazione**, la formazione di fiocchi con l'ausilio di reagenti chimici (coagulanti e flocclanti), presenta invece aspetti particolari. L'aggiunta di reattivi ad una corrente di liquido deve avvenire in modo che ci sia una distribuzione omogenea: ecco perché nella pratica viene effettuata in piccoli volumi ed in condizioni di elevata turbolenza. Nel caso della flocculazione, che necessita di un certo grado di agitazione, si parla di **flocculazione ortocinetica**. L'apparecchiatura che soddisfa queste condizioni operative è l'*accelerator* (Figura 5). È un'apparecchiatura a pianta circolare, suddivisa in due zone:

- una zona centrale, dove entra l'acqua da trattare, i reagenti, i coagulanti, i polielettroliti e la calce, e dove si ha una circolazione del liquido e dei fanghi precipitati dal basso verso l'alto;
- una zona esterna, dove lo stato di relativa calma dell'acqua, che si muove verso l'uscita a velocità sempre più bassa, consente la sedimentazione dei solidi verso il fondo.

L'efficienza di questo apparecchio non è del 100 %, quindi dopo il trattamento dovrà seguire la filtrazione.

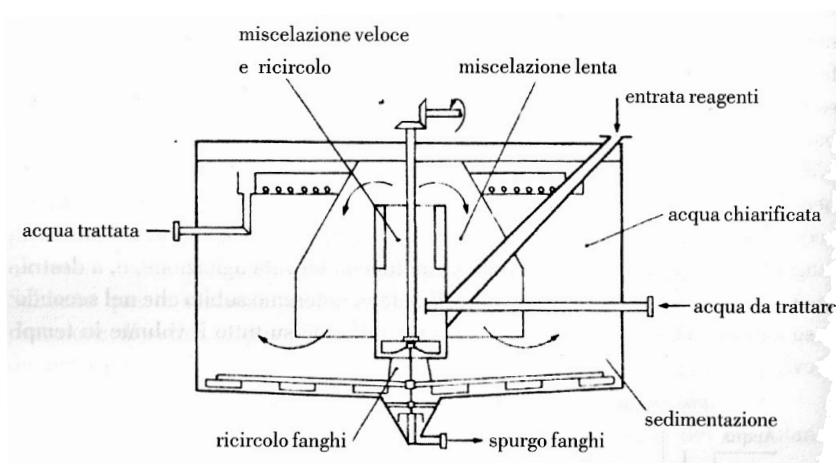


Figura 5 Accelerator

La **filtrazione** serve a eliminare particelle più o meno grossolane presenti in un liquido, facendo passare la sospensione attraverso un adatto mezzo che trattiene solo le sostanze solide. **La filtrazione delle acque grezze serve a eliminare le particelle più leggere che sono sfuggite all'azione dei bacini di sedimentazione.** Le apparecchiature utilizzate si limitano, in genere, ai filtri a gravità o ai filtri a pressione.

I primi sono rappresentati quasi esclusivamente dai *filtri a sabbia*. I filtri a sabbia vengono di solito posti dopo le vasche di sedimentazione che eliminano una parte delle sostanze sospese; usando questo accorgimento si evita il loro rapido intasamento e si può prolungare l'intervallo fra una pulizia e l'altra.

I *filtri a pressione* (Figura 6) invece utilizzano l'aria compressa come forza necessaria per compiere il processo. Sono di forma cilindrica, a tenuta stagna e devono presentare elevata resistenza meccanica, in quanto devono sopportare pressioni che raggiungono anche i 700 000 Pa. Come elemento filtrante si usa la sabbia e, nei modelli più moderni, antracite finemente granulata.

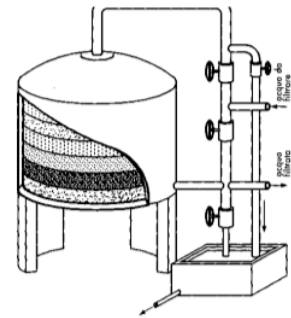


Figura 6 Filtro a pressione

Trattamenti chimico-fisici

Sotto la definizione trattamenti chimico-fisici si racchiudono i seguenti procedimenti che verranno esposti singolarmente:

- aerazione;
- degassamento;
- evaporazione;
- coagulazione e flocculazione (già discussa);
- scambio ionico.

Aerazione

L'aerazione è l'operazione che consiste nel mescolare intimamente l'acqua con l'aria e ha lo scopo di eliminare gas corrosivi, come il carbonio diossido o il solfuro d'idrogeno, diminuire la quantità di odori e di impurezze volatili nel liquido e di ossidare impurezze come ferro ferroso e manganese manganoso.

I metodi impiegati nel processo di aerazione sono sostanzialmente due:

- far passare l'acqua attraverso l'aria;
- far gorgogliare l'aria nell'acqua.

Il primo metodo prevede l'impiego di **aeratori a caduta d'acqua** i quali possono essere realizzati in diversi modi, ma tutti miranti a far cadere l'acqua da un punto posto a una certa altezza fino a un bacino di raccolta sottostante, cercando di suddividere il getto nel modo più ampio possibile, frapponendo ostacoli lungo la caduta dell'acqua. Possono anche essere impiegati **aeratori a ventilazione forzata** (Figura 7) che prevedono, oltre all'aerazione per caduta, un'aerazione dovuta a un flusso d'aria inviato in controcorrente con l'acqua che scende. Il secondo metodo, detto a *diffusione d'aria*, prevede il pompaggio dell'aria nell'acqua attraverso tubi o piatti forati. Questo metodo presenta un miglior mescolamento intimo di aria e acqua, ma comporta costi di esercizio maggiori. In conclusione, come in ogni processo, si dovrà di volta in volta valutare se è necessario ottenere un'acqua la cui qualità giustifichi il maggior costo sostenuto per ottenerla.

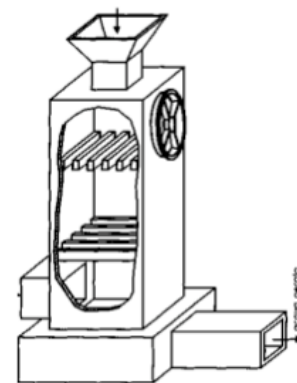


Figura 7 Aeratore a ventilazione forzata

Degassamento

Il degassamento è una pratica comune alla quale viene sottoposta l'acqua per usi industriali. Consiste nell'eliminare i gas disciolti nell'acqua, fra questi quelli più dannosi rappresentati dall'ossigeno, dal carbonio diossido e dall'ammoniaca. Si ricordi che qualsiasi gas venga a contatto con l'acqua, in accordo con la legge di Henry, presenta una solubilità proporzionale alla sua pressione parziale; conseguentemente nell'acqua si trovano sempre parzialmente disciolti i componenti dell'aria. Per determinati impieghi, come per esempio l'alimentazione delle caldaie a vapore, è necessario diminuire o eliminare del tutto le sostanze volatili e fra esse in modo particolare l'ossigeno e il carbonio diossido, le quali, essendo componenti dell'aria, sono sempre presenti e risultano dannose al processo (corrosione).

8 - Trattamento delle acque grezze

La rimozione di un gas disciolto nell'acqua può essere condotta o diminuendo la pressione parziale del gas sovrastante il liquido, o elevando la temperatura del liquido.

Il degassamento può essere effettuato applicando al sistema il vuoto ed eliminando il gas per aspirazione, oppure volatilizzando il gas con una corrente di un altro gas che lo sostituisce in soluzione (*stripping*). Il sistema più usato impiega un **degassatore a caldo** nel quale si riscalda l'acqua a 393-403 K con una corrente di vapore che la investe in controcorrente, favorendo l'allontanamento dei gas disciolti che vengono sfatiati.

A questo degassamento per via fisica segue, in genere, un ulteriore **degassamento chimico**. L'ossigeno rimasto dopo il trattamento con il vapore viene ridotto con aggiunta di solfito di sodio o idrazina $\text{NH}_2 - \text{NH}_2$.

Evaporazione

Probabilmente l' evaporazione è il metodo più antico per ottenere acqua pura. Consiste nel portare l'acqua allo stato di vapore e quindi nel ricondensare i vapori ottenuti. Questo metodo comporta un notevole dispendio energetico, può provocare la formazione di incrostazioni sulle superfici degli evaporatori e può innescare, negli stessi, fenomeni corrosivi sempre dovuti alla presenza dei gas disciolti nell'acqua, tra i quali, come ricordato, l'ossigeno e il carbonio diossido. Malgrado ciò il processo di evaporazione, che è quello che garantisce maggiormente l'eliminazione totale delle sostanze disciolte in acqua, può anche risultare economicamente conveniente se si devono trattare acque molto saline (acqua di mare e simili) per le quali altri metodi di demineralizzazione diventano molto costosi.

Nella pratica impiantistica si possono incontrare diversi tipi di evaporatori. Gli **evaporatori a tubi sommersi (Figura 8)** sono costruiti in modo che il vapore, usato come mezzo riscaldante, venga inviato in una serie di tubi immersi nell'acqua da evaporare. Operando sotto vuoto si può utilizzare del vapore esaurito, già impiegato in altre parti dell'impianto.

Gli **evaporatori a film** prevedono che l'acqua da depurare passi sotto forma di sottile pellicola su serpentine alimentate nel loro interno con vapore il quale cede il calore necessario all'evaporazione.

Negli evaporatori a espansione rapida, detti anche **evaporatori a flash**, l'acqua viene preriscaldata a 255-260 K e poi inviata in una camera sotto vuoto mantenuta a una pressione inferiore a quella di evaporazione dell'acqua alla temperatura di preriscaldamento. Una volta nella camera, l'acqua calda evapora istantaneamente. In questo tipo di apparecchiatura le fasi di riscaldamento ed evaporazione risultano separate.

Negli **evaporatori a compressione di vapore** l'acqua preriscaldata viene introdotta nella camera di distillazione nella quale bolle a pressione atmosferica. Il vapore che se ne libera viene compresso e rinviato, in serpentine, nella camera di distillazione nella quale condensa cedendo il calore che serve per l'evaporazione di nuova acqua. Il vapore condensato viene poi usato per preriscaldare l'acqua in arrivo all'evaporatore. Inizialmente per essere avviato questo evaporatore necessita di una fonte esterna di riscaldamento. Gli evaporatori possono anche essere collegati in serie, conseguendo in tal modo notevoli risparmi energetici.

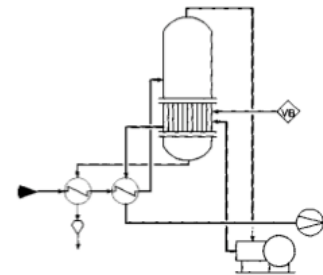


Figura 8 Evaporatore a tubi sommersi

Scambio ionico

Lo scambio ionico consiste nell'inviare l'acqua da trattare in colonne contenenti resine scambiatrici di ioni. Queste ultime sono sostanze, sia naturali (silice-alluminati di metalli alcalini) sia artificiali (copolimeri ottenuti da stirene, divinil-benzene, fenoli, formaldeide nei quali vengono introdotti gruppi in grado di scambiare ioni), insolubili in acqua, caratterizzate appunto da gruppi funzionali ionizzabili in grado di scambiare gli ioni, che sono loro propri, con quelli contenuti nelle soluzioni con le quali vengono a contatto. Le **resine** si classificano in resine **cationiche**, che presentano gruppi acidi e quindi sono in grado di scambiare cationi, e resine **anioniche** le quali, presentando gruppi basici, scambiano anioni.

Durante il passaggio nella colonna l'acqua perde lo ione, o gli ioni, che possedeva, cedendoli alla resina, da cui riceve in cambio gli ioni di cui quest'ultima è fornita. Dopo un certo periodo la resina si esaurisce, cioè non dispone più di ioni da scambiare, ed è quindi necessario rigenerarla, cioè ricostituire la sua dotazione di ioni originali. L'operazione si effettua inviando alla colonna una adatta soluzione, ricca degli ioni necessari, in grado di ripristinare le condizioni iniziali della resina.

9 - Trattamento delle acque grezze

Il ciclo completo di utilizzazione di una colonna con resine scambiatrici di ioni prevede le seguenti quattro fasi:

- **scambio ionico**: è l'operazione fondamentale che prevede il percolamento dell'acqua da trattare attraverso le resine; si considera terminato il processo allorché dal fondo della colonna inizia a uscire un'acqua con concentrazione di ioni indesiderati non più accettabile;
- **lavaggio**: in questa fase viene inviata acqua pulita in controcorrente nel letto di resina esaurita per eliminare le sostanze leggere rimaste intrappolate nella colonna e ridistribuire uniformemente i granuli di resina;
- **rigenerazione**: la fase consiste nell'inviare la soluzione rigenerante per ripristinare l'efficienza della resina; è lo stadio più delicato del processo in quanto determina il successivo rendimento dell'operazione di scambio ionico;
- **ulteriore lavaggio**: dopo la rigenerazione si immette, questa volta in equicorrente, acqua addolcita per eliminare gli ioni scambiati nella fase precedente e l'eccesso di soluzione rigenerante rimasta fra le resine.

Per raggiungere delle **condizioni ottimali di funzionamento**:

- i *solidi sospesi* nell'acqua in ingresso devono essere assenti. Il trattamento con le resine deve essere preceduto da uno stadio di filtrazione.
- Il *tempo di contatto tra l'acqua e la resina* non deve essere inferiore ai 2 min per le resine forti e 3 min per quelle deboli.
- Velocità di flusso troppo basse creerebbero dei cammini preferenziali, lasciando parti di resina inattive. La velocità deve essere inferiore a 1 m/h.

Lo scambio ionico permette varie possibilità di depurazione, utili per diverse necessità impiantistiche. Si possono avere i seguenti diversi tipi di trattamento:

- **l'addolcimento, che prevede la sostituzione degli ioni calcio e magnesio contenuti nell'acqua con ioni sodio ceduti dalle resine**, è un processo molto frequente perché la presenza degli ioni calcio e magnesio risulta dannosa in molte lavorazioni. Il processo si chiama di addolcimento perché la presenza di calcio e magnesio determina quella caratteristica di un'acqua chiamata durezza. L'operazione si effettua convogliando l'acqua da trattare in una colonna riempita con **resine del tipo cationico legate a ioni sodio** che, una volta esaurite, vengono rigenerate con una soluzione di cloruro di sodio o di solfato di sodio. Anche se l'uso delle resine per l'addolcimento è oggi di gran lunga il più diffuso, può esser talvolta utilizzato come pretrattamento il metodo *calce-soda* (molto conveniente dal punto di vista economico per il basso costo della calce (idrossido di calcio) e della soda (carbonato di sodio)).

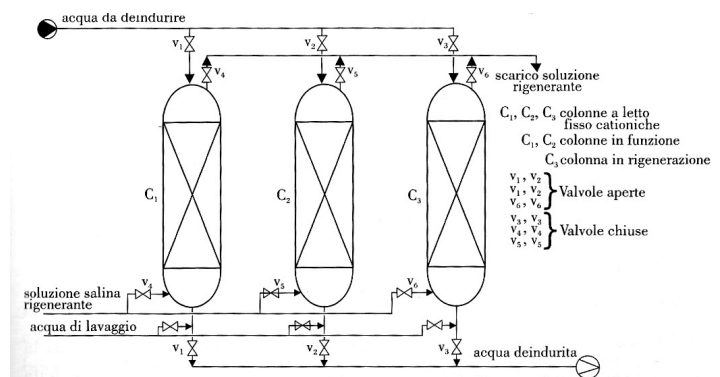


Figura 8.1 Impianto di addolcimento con resina sodica

- La **decarbonatazione, che prevede l'uso di resine cationiche che trasformano i carbonati e i bicarbonati in acido carbonico sostituendo i cationi dei sali con ioni idrogeno**. La rigenerazione delle resine avviene con acido cloridrico.
- La **demineralizzazione, che consiste nell'eliminazione totale di tutti i sali presenti nell'acqua**. Questa necessità si presenta molte volte nelle industrie, e fino a non molti anni fa l'unico metodo impiegato era la distillazione dell'acqua. Oggi la disponibilità di resine scambiatrici efficienti ha reso il processo a scambio ionico altrettanto efficace e più economico della distillazione. Il processo consiste nel far passare l'acqua in una colonna nella quale vi è una **resina cationica in grado di cedere ioni idrogeno e assorbire altri tipi di cationi**. I sali presenti vengono trasformati nei rispettivi acidi. L'acqua così trattata viene inviata in una colonna piena di **resina anionica la quale scambia gli ioni acidi con ioni idrossili che a loro volta, legandosi con gli idrogenioni presenti nell'acqua, vengono neutralizzati**. La rigenerazione della resina cationica si effettua con acido cloridrico, quella anionica con idrossido di sodio.

Per concludere l'argomento riguardante il trattamento delle acque da utilizzare nelle industrie chimiche, si fa presente che spesso è necessario **eliminare anche il ferro e il manganese**.

10 - Trattamento delle acque grezze

Il primo si trova generalmente come bicarbonato ferroso, idrossido ferrico, solfato ferroso e composti organici del ferro. Le diverse modalità di eliminazione prevedono operazioni di aerazione, sedimentazione e filtrazione o ossidazione. Lo stesso vale anche per il manganese che tuttavia si trova più raramente e, in genere, sotto forma di bicarbonato manganoso. Anche in questo caso l'eliminazione avviene per aerazione, sedimentazione e filtrazione, o per ossidazione, o, ancora, con un processo a scambio ionico.

Potabilizzazione delle acque

In quest'ultimo paragrafo si accenna ai processi impiegati per rendere potabili le acque. All'inizio del capitolo si è posto l'accento sulla relativa scarsità di acque dolci. Fra queste solo quelle provenienti da falde sotterranee (artesiane, racchiuse tra due strati impermeabili di terreno) presentano tutti quei requisiti di potabilità richiesti dalla legge e necessari per non arrecare danni alla salute umana. Le altre acque provenienti dalle falde freatiche devono essere trattate (Figura 9). Fino a qualche decennio fa bastava eseguire solo poche operazioni, come una sedimentazione, una filtrazione e una disinfezione, in quanto era possibile reperire acque di provenienza naturale relativamente pure.

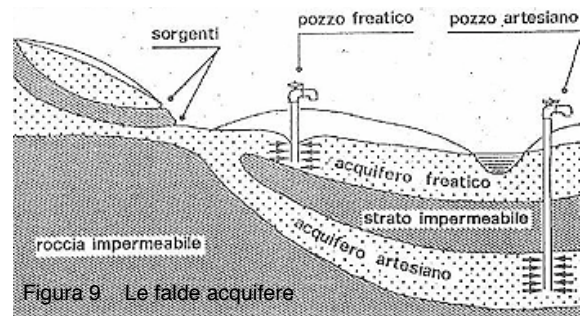


Figura 9 Le falde acquifere

Con la crescente richiesta di acque e l'altrettanto crescente e diffuso inquinamento spesso, per soddisfare le richieste di acqua potabile si deve ricorrere ad acque che necessitano di interventi più drastici, ossia di una serie di operazioni come quelle appena descritte e riassunte nello schema di trattamento completo di Figura 10. Al termine delle operazioni che servono per rendere potabile l'acqua, questa, prima che venga immessa negli acquedotti, viene disinfettata.

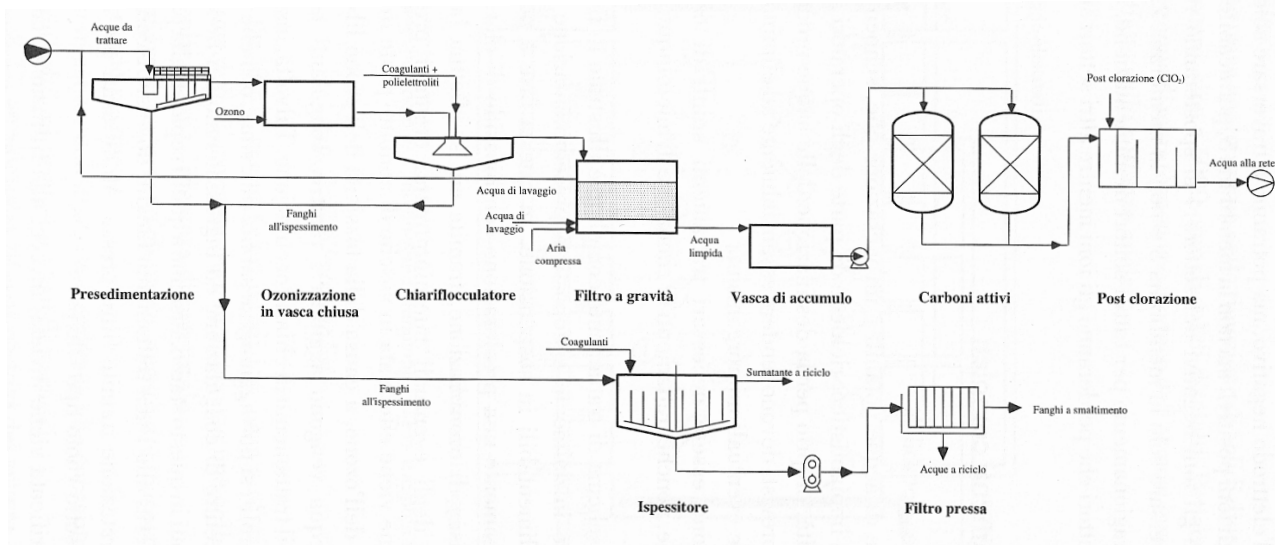


Figura 10 Trattamenti di potabilizzazione delle acque

- **Presedimentazione:** per eliminare le particelle sedimentabili in sospensione (Dorr); in questa fase si può operare anche una preclorazione con biossido di cloro.
- **Ozonizzazione:** sterilizzazione e ossidazione di microinquinanti organici; effettuata in vasche di contatto in ambiente chiuso per recuperare l'ozono libero, molto tossico.
- **Chiariflocculazione:** aggiunta di coagulanti e polielettroliti (Accelator).
 - **Linea di trattamento fanghi:** raccoglie i fanghi prodotti dalla chiariflocculazione e dalle presedimentazione; ispessimento e disidratazione dei fanghi tramite filtri-pressa (o filtri sotto vuoto tipo Oliver).
- **Filtrazione:** dell'acqua chiarificata con filtri a gravità (a sabbia).
- **Assorbimento su carboni attivi:** per eliminare del tutto i composti che alterano le caratteristiche organolettiche dell'acqua.
- **Postclorazione:** con biossido di cloro per garantire la sterilità.

La sterilizzazione

La **disinfezione** è il processo tipico al quale vengono sottoposte praticamente tutte le acque destinate al consumo umano. Essa è destinata sia a eliminare tutti i microrganismi che possono trovarsi nell'acqua, sia a impedire la crescita di microfauna e microflora nei serbatoi e nelle condotte idriche. Nonostante siano state proposte e a lungo sperimentate molte sostanze e metodi, la disinfezione viene comunemente effettuata con **cloro** immesso nelle acque sotto forma di gas o di ipoclorito di sodio.

I composti del cloro nella sterilizzazione

I trattamenti chimici per eliminare i microrganismi in un'acqua hanno la funzione di ossidare le sostanze ossidabili (organiche). La sterilizzazione chimica con i **composti del cloro** utilizza cloro gassoso (in passato), ipoclorito di sodio, biossido di cloro ed il cloruro di calce.

L'ipoclorito ha una *azione sterilizzante* per il fatto che si inserisce nella membrana cellulare, per andare a reagire con l'enzima deidrogenasi fosfatica, inibendo la vitalità e la riproducibilità dei microrganismi. Contemporaneamente all'azione sterilizzante viene svolta un'*azione ossidante* sulle sostanze ridotte. Una particolare reazione è quella tra l'ammoniaca (prodotta dalle proteine) e l'acido ipocloroso, che porta alla formazione di cloroammine. In questa fase si hanno anche le reazioni tra altre sostanze organiche: fenoli e amminoacidi; i prodotti risultanti da queste reazioni sono di un odore sgradevole e quindi, l'acqua dovrà essere fatta passare attraverso carboni attivi.

L'ipoclorito ha degli inconvenienti: reagisce con composti presenti nei terreni (acidi fulvici e composti umici) per dare una serie di composti detti trialo-metani (THM), sostanze molto cancerogene come il cloroformio e il dibromoclorometano. Per ovviare alla situazione si usa come ossidante **biossido di cloro** che offre molti vantaggi:

- Non dà luogo a formazione di THM
- Non reagisce con l'ammoniaca
- Elimina i fenoli
- È maggiormente persistente

Il suo dosaggio deve essere limitato in quanto ossida l'emoglobina del sangue.

Altre tecniche di sterilizzazione

La sterilizzazione può essere fatta sottoponendo l'acqua a radiazioni **UV**.

Un'altra tecnica è **l'ozonizzazione**. L'ozono è un gas facilmente instabile in grado di fornire ossigeno nascente, che è in grado di ossidare i composti. Viene usato subito appena prodotto proprio per la sua instabilità. È in grado anche di ossidare manganese e ferro.

I carboni attivi

Il metodo dei carboni attivi è usato per l'**eliminazione di microinquinanti**, sostanze a bassissima concentrazione nocive e di possibile reazione nei processi di clorazione dando luogo a problemi. Il metodo a carboni attivi è prodotto a partire da gusci di noci e mandorle e sono caratterizzati da un'enorme superficie specifica. Questo fa sì che legami deboli che si formano tra carboni attivi e microinquinanti, consentono una elevata efficienza di rimozione. I carboni attivi sono in forma granulare e sono contenuti in colonne. Queste colonne devono sempre essere precedute da uno stadio di eliminazione totale dei solidi sospesi, altrimenti la torbidità andrebbe a ostruire i passaggi abbassando la superficie disponibile dei carboni attivi. Periodicamente bisogna lavare i filtri. È importante cambiare i filtri con regolarità sia perché la capacità dei carboni attivi va via via diminuendo, sia perché c'è il rischio che si formino microrganismi vari, anche nocivi.

Dissalaggio acque salmastre

Osmosi inversa

Si usa per acque con una salinità elevata (da 500 a 50000 ppm). Si ottengono efficienze del 95 % nella rimozione di solidi disciolti e del 100 % nella rimozione di batteri, virus ecc. Il principio si basa sul fatto per cui se dividiamo una vasca tramite una membrana semipermeabile e nei due settori della vasca ci mettiamo, su uno acqua pura, e sull'altro acqua salina; l'acqua pura tenderà ad attraversare la membrana per aumentare la propria concentrazione, questo passaggio opporrà un rialzo del livello di acqua salina e quindi una pressione idrostatica maggiore (dislivello). La via che il fenomeno procede si avrà una diminuzione della differenza di concentrazione e un aumento del battente idrostatico. Il fenomeno si arresta quando le due forze si equilibrano.

Su questo principio si basa la tecnica dell'osmosi inversa: se nello stesso dispositivo applichiamo una pressione superiore di quella osmotica, l'acqua tenderà a passare da soluzione concentrata a quella

12 - Trattamento delle acque grezze

meno concentrata. Le membrane usate sono a base di poliammidi aromatiche. Siccome dopo un certo tempo le membrane perdono la loro capacità, a questo trattamento si fa precedere uno stadio di filtrazione e uno di clorazione.

Evaporazione multiflash

In grandi stabilimenti dove si ha una grande disponibilità di vapore, il trattamento migliore è quello di evaporare l'acqua marina. Uno dei sistemi utilizzati è quello della evaporazione a multiplo effetto, che consiste in un numero di evaporatori posti in serie. Nel primo l'acqua viene portata all'ebollizione utilizzando vapore ad alta pressione, il vapore prodotto cede il calore di condensazione nell'evaporatore successivo, che viene alimentato con la soluzione uscente dal primo. La minore pressione di esercizio consente una ulteriore evaporazione. Il processo si ripete per un certo numero di evaporatori, consente di ottenere acqua ad elevata purezza.

Un sistema più economico è l'evaporazione multiflash: la soluzione si viene a trovare in ambienti posta a pressione via via decrescente, cosa che provoca la vaporizzazione di aliquote di liquido, che condensate vengono raccolte.

Elettrodialisi

Trova applicazione nella rimozione di solidi in acque mediamente salmastre (sino a 5000 ppm). L'acqua da trattare attraversa una cella provvista di elettrodi a cui è applicata una differenza di potenziale. Gli ioni con una certa carica migreranno verso l'elettrodo di carica opposta. La cella è ripartita in settori delimitati da membrane che consentono alternativamente il passaggio agli ioni positivi o a quelli negativi. Gli ioni negativi migreranno verso l'elettrodo positivo attraversando una sola membrana e la successiva no, la stessa cosa accadrà per gli ioni positivi. Alla fine verranno a crearsi delle zone prive di ioni.