

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.

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 questo capitolo, 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 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.

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.

Trattamenti meccanici

I *trattamenti meccanici* ai quali vengono sottoposte le acque grezze servono principalmente a eliminare le particelle in sospensione che possono essere di diversa natura e grandezza. Le operazioni alle quali si sottopone l'acqua sono:

- sedimentazione;
- filtrazione;
- osmosi inversa.

Sedimentazione

In ogni acqua grezza vi è sempre la presenza di particelle solide sospese di origine organica o inorganica che possono essere eliminate per sedimentazione solo se hanno dimensioni tali da permettere la loro deposizione in tempi relativamente brevi, altrimenti bisogna ricorrere ad altri metodi, come si vedrà nel prosieguo del capitolo.

Filtrazione

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* 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.

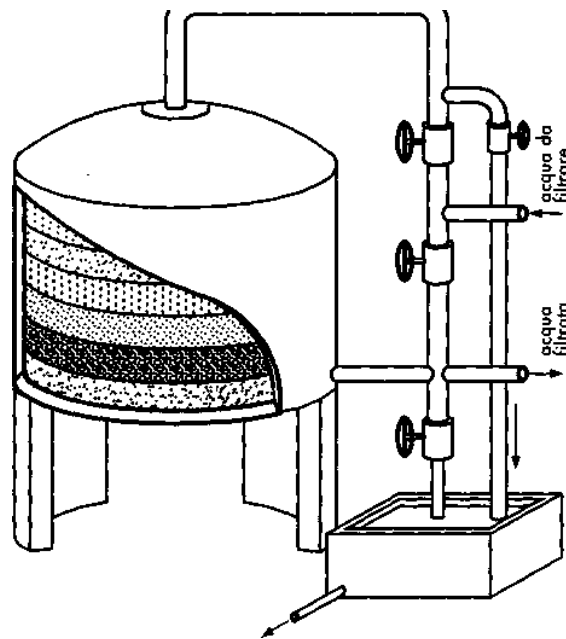


Figura 1 Filtro a pressione.

Trattamenti chimico-fisici

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

- aerazione;
- degassamento;
- evaporazione;
- coagulazione e flocculazione;

- 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* 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.

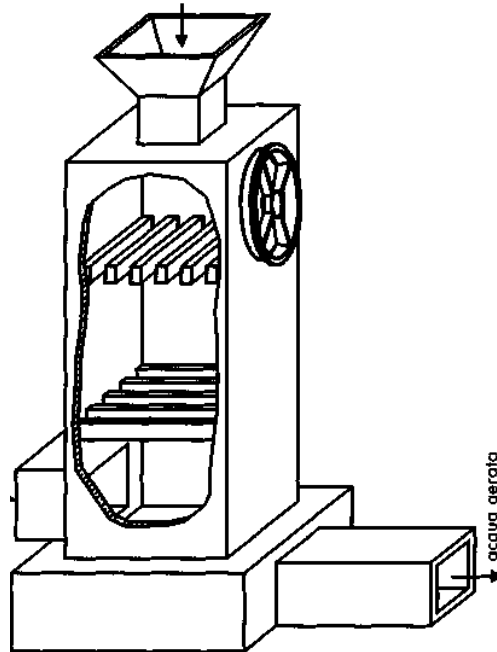


Figura 2 Aeratore a ventilazione forzata.

Degassamento

Il degassamento è una pratica comune alla quale viene sottoposta l'acqua per usi industriali. Consiste nell'eliminare i gas disciolti nell'acqua e 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.

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 sfiatati .

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* 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 serpentini alimentati 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.

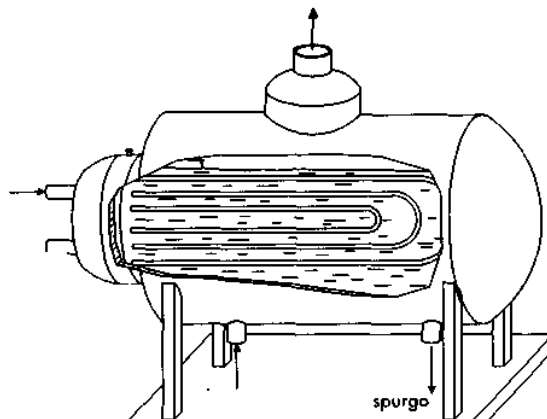


Figura 3 Evaporatore a tubi sommersi.

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. Ini-

zualmente 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.

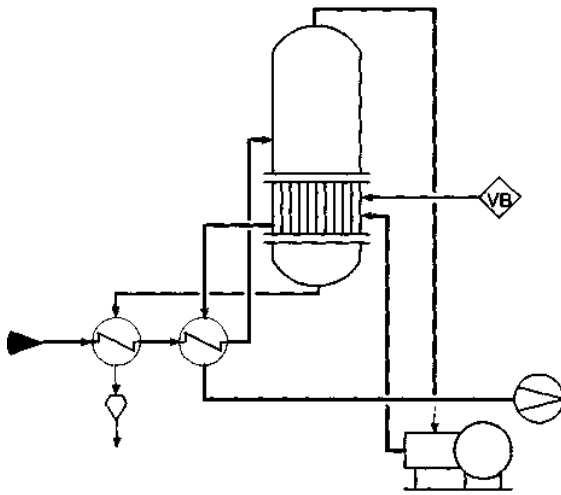


Figura 4 Evaporatore a compressione di vapore.

Coagulazione e flocculazione

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, di conseguenza, prima di inviare al sedimentatore un'acqua da depurare si ricorre alla *coagulazione* che, in pratica, 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 *floccoli* che precipitano più facilmente.

Il processo di coagulazione viene influenzato dai seguenti parametri sui quali si può agire per regolarne l'andamento:

- il pH della soluzione;
- la temperatura;
- il tempo di reazione;
- la quantità dell'agente flocculante;
- la velocità di agitazione della miscela acqua coagulante.

Gli *agenti coagulanti* più usati sono il solfato di alluminio, l'alluminato di sodio, il cloruro di ferro (III) e il solfato di ferro (II).

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.

Scambio ionico

Lo scambio ionico consiste nell' inviare l'acqua da trattare in colonne contenenti resine scambia-trici 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.

Il ciclo completo di utilizzazione di una colonna con resine scambiatoci 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.

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.

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.

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.

Per le procedure dettagliate si rimanda a testi specialistici.

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 presentano tutti quei requisiti di potabilità richiesti dalla legge e necessari per non arrecare danni alla salute umana. Le altre acque devono essere trattate. 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.

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 sopra descritte. Al termine delle operazioni che servono per rendere potabile l'acqua, questa, prima che venga immessa negli acquedotti, viene disinfettata.

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.