

# Università degli studi di Padova

## Facoltà di Ingegneria

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale

TESI DI LAUREA

“ Impianti per il trattamento e la depurazione delle acque  
industriali ed agricole”

Relatore: Ch.mo Prof. MOZZON MIRTO

Laureando: STENCO MATTIA

ANNO ACCADEMICO 2013 - 2014



# Indice

<b>Introduzione</b>	7
<b>1. Concetti di base</b>	9
1.1 Acqua	9
1.1.1 Il legame ad idrogeno	9
1.2 Nomenclatura	10
1.2.1 Le sostanze inquinanti	11
1.2.2 Processo di autodepurazione dell'acqua	12
1.3 Caratteristiche delle acque	13
1.4 Contenuto di ossigeno nell'acqua	16
1.5 Problemi di approvvigionamento	17
<b>2. Trattamenti fisici</b>	19
2.1 Grigliatura e triturazione	19
2.2 Equalizzazione e omogeneizzazione	21
2.3 Dissabbiatura	21
2.4 Deoleazione	22
2.5 Sedimentazione	23
2.6 Trattamento in vasche Imhoff	25
2.7 Flottazione	26
2.8 Filtrazione	27
2.9 Degassaggio	29
2.10 Congelamento	29
2.11 Distillazione	29
2.12 Osmosi inversa	30
<b>3. Trattamenti biologici</b>	33
3.1 Sistemi di trattamento aerobico	34
3.1.1 Meccanismo della biossidazione	34
3.1.2 Filtrazione biologica	36
3.1.3 Trattamento a fanghi attivi	37
3.1.3.1 Campi di applicazione	41
3.1.4 Bacini ossidativi	41
3.1.5 Percolatori rotanti	42
3.2 Sistemi di trattamento anaerobico	43
3.2.1 Trattamento nelle vasche	44
3.2.2 Biodenitrificazione	44

<b>4. Trattamenti chimici</b>	45
4.1 Neutralizzazione	45
4.2 Ossidazione	46
4.3 Riduzione	47
4.4 Addolcimento per precipitazione	47
4.5 Coagulazione – flocculazione	49
4.5.1 Meccanismo della coagulazione – flocculazione	50
4.5.2 Prodotti impiegati come agenti coagulanti	51
4.5.3 Campi e tecniche di applicazione	52
4.5.3.1 Coagulazione e trattamenti biologici	52
4.5.3.2 Allontanamento dei fosfati	53
4.6 Trattamento con scambiatori di ioni	53
4.6.1 Aspetti teorici	54
4.6.2 Caratteristiche delle resine scambiatrici di ioni	55
4.6.3 Processi di trattamento con resine	56
4.6.4 Necessità della rigenerazione	59
4.7 Depurazione per adsorbimento	59
4.7.1 Campi e tecniche di applicazione	61
4.8 Elettrodialisi	62
4.8.1 Processo dell'elettrodialisi	63
4.8.2 Altri processi	64
4.9 Disinfezione	65
4.10 Strippaggio	65
<b>5. Trattamento dei fanghi</b>	67
5.1 Pretrattamento di ispessimento	67
5.2 Trattamento di disattivazione	68
5.3 Essiccamento	69
5.3.1 Disidratazione su letti di essiccamento	69
5.3.2 Disidratazione per centrifugazione	70
5.3.3 Disidratazione per filtrazione sotto – vuoto	71
5.3.4 Disidratazione per filtrazione sotto – pressione	72
5.4 Condizionamento	73
5.5 Smaltimento	74
<b>6. Cicli di trattamento per acque di primo impiego e reflue</b>	75
6.1 Depurazione delle acque di primo impiego	75
6.1.1 Potabilizzazione delle acque superficiali	75
6.1.2 Depurazione delle acque per alimentazione delle caldaie	76
6.2 Il disinquinamento delle acque	76
6.2.1 Cause e tipi di inquinamento	77
6.2.2 Eutrofizzazione	78

6.3 Processi di trattamento degli effluenti	79
6.3.1 Trattamento degli scarichi urbani	79
6.3.2 Trattamento degli scarichi industriali	81
6.3.2.1 Acque di raffreddamento	81
6.3.2.2 Effluenti di uno stabilimento chimico	82
6.3.2.3 Effluenti di uno stabilimento siderurgico	83
6.3.2.4 Effluenti provenienti da industrie del settore alimentare	84
6.4 Trattamento integrale degli effluenti	86
<b>7. Costi degli impianti di depurazione</b>	<b>87</b>
7.1 La struttura dell'offerta di depurazione (dati Istat)	87
7.2 Costo degli impianti di depurazione	88
7.2.1 Spese di esercizio	89
<b>Bibliografia</b>	<b>91</b>
<b>Sitografia</b>	<b>91</b>



## Introduzione

L'industria nei suoi diversi rami è una grossa consumatrice di acqua; altri imponenti consumi vengono dall'agricoltura, che ha sempre più sviluppato l'irrigazione; il progresso umano, il benessere sociale, le abitudini di vita uniti al forte sviluppo demografico, hanno accresciuto sempre più il consumo di acqua.

Il consumo di acqua per persona è progredito in modo abbastanza proporzionale al progredire della civiltà e del benessere umano.

Nel 1900 si calcolava che per gli usi domestici in una città di medie dimensioni si avesse un consumo pro capite di 50 l/giorno; oggi in una città intorno ai 100.000 abitanti si valuta un consumo pro capite di 200 l che sale a circa 300 per città di maggiori dimensioni. Se accanto ai consumi per gli usi strettamente domestici del bere, cucinare, servizi igienici, bucato, si aggiungono i consumi per lavaggio auto, innaffiature strade e giardini, i consumi per abitante salgono notevolmente.

La conseguenza è stata, in quasi tutte le nazioni, difficoltà nell'approvvigionamento idrico, difficoltà che è stata sentita particolarmente in quelle regioni che hanno scarsità di acqua o soffrono di lunghi periodi di siccità.

L'utilizzo di grandi quantità di acqua porta alla produzione di scarichi: le acque di scarico urbane e industriali contengono i residui delle numerose sostanze utilizzate dall'uomo per l'alimentazione, per le attività quotidiane e per i processi produttivi, sostanze che producono il cosiddetto inquinamento idrico.

A questo inquinamento partecipano sia le acque industriali, per il loro contenuto di sostanze inorganiche ed organiche talvolta tossiche, sia le domestiche per il contenuto di sostanze fecali, batteri, detersivi e sostanze organiche ed inorganiche varie.

L'inquinamento si manifesta non solo nelle acque superficiali ma anche nelle acque sotterranee: il sempre maggior impiego in agricoltura dei fertilizzanti e dei pesticidi ed insetticidi, porta ad un inquinamento delle acque piovane che penetrano nel terreno o si scaricano nei corsi d'acqua.

Infine l'inquinamento atmosferico porta anch'esso ad un inquinamento dell'acqua piovana; anche se le piogge hanno un benefico effetto di lavaggio dell'atmosfera, le acque che si raccolgono hanno spesso un discreto tasso di inquinamento per la presenza di composti solforati, metalli ecc.

Sono perciò problemi di grande importanza sia quello dell'approvvigionamento idrico delle acque di primo impiego che quello della depurazione delle acque di scarico.

La depurazione ha il duplice scopo di impedire l'inquinamento dei bacini idrici e di consentire il riciclaggio delle acque, permettendo così di ridurre le necessità di approvvigionamento.

Oramai la risorsa idrica sta diventando una questione "sociale": si sta diffondendo una nuova coscienza del fatto che l'acqua, e più precisamente l'acqua utilizzabile per fini umani, è una risorsa limitata e la sua disponibilità viene sempre più percepita come diritto che deve continuare ad essere salvaguardato. In questo senso, garantire il mantenimento di una buona qualità, attraverso corretti sistemi di gestione, e associarne la disponibilità con le richieste per i vari usi diviene condizione indispensabile allo sviluppo sostenibile.





# CAPITOLO 1

## Concetti di base

### 1.1 Acqua

L'**acqua** è un composto chimico di formula molecolare H<sub>2</sub>O, in cui i due atomi di idrogeno sono legati all'atomo di ossigeno con legame covalente. In condizioni di temperatura e pressioni standard si presenta come un sistema costituito da un liquido incolore e insapore (che viene chiamato "acqua" in senso stretto), da un gas incolore (detto vapore acqueo) ma anche come un solido (detto ghiaccio) nel caso in cui la temperatura sia uguale o inferiore alla temperatura di congelamento (0°C).

Essendo l'acqua un ottimo solvente, le acque naturali contengono disciolte moltissime altre sostanze, ed è per questo motivo che con il termine "acqua" si intende comunemente sia il composto chimico puro di formula H<sub>2</sub>O, sia la miscela (liquida) formata dallo stesso, con altre sostanze disciolte al suo interno.

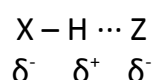
L'acqua in natura è tra i principali costituenti degli ecosistemi ed è alla base di tutte le forme di vita conosciute, uomo compreso; ad essa è dovuta anche la stessa origine della vita sul nostro pianeta ed è inoltre indispensabile anche nell'uso civile, agricolo e industriale.

Sulla terra l'acqua copre il 70,8% della superficie del pianeta e più o meno con la stessa percentuale è il maggior costituente del corpo umano.

#### 1.1.1 Il legame a Idrogeno

Il legame a idrogeno (o legame a ponte di idrogeno) è un particolare tipo di legame che coinvolge due specie chimiche caratterizzate dalla presenza di addensamenti di carica elettrica di segno opposto. Questo particolare legame si forma tra un atomo di idrogeno legato covalentemente a un atomo fortemente elettronegativo (detto donatore) e un secondo atomo anch'esso elettronegativo (detto accettore). Il fluoro, l'ossigeno e l'azoto sono perciò eccellenti donatori e, allo stesso tempo, sono anche eccellenti accettori.

Vediamo adesso un esempio di legame a idrogeno, in cui sono coinvolti un atomo X donatore cui è legato covalentemente un atomo di idrogeno e un atomo Z accettore. Il legame covalente X - H è fortemente polarizzato a causa della marcata differenza di elettronegatività fra i due atomi; δ<sup>-</sup> e δ<sup>+</sup> indicano, rispettivamente, addensamenti di carica negativa e positiva sugli atomi coinvolti:



L'atomo di idrogeno, che porta un addensamento di carica positiva, è attratto dall'atomo Z, su cui esiste un addensamento di carica negativa.

Dato che la forza di un legame dipolare dipende dalla distanza a cui si trovano gli atomi, il legame a idrogeno è piuttosto intenso, tipicamente circa il 5% della forza di un legame covalente. Le piccole dimensioni dell'atomo di idrogeno permettono, infatti, un forte avvicinamento degli atomi coinvolti nel legame. Il legame a idrogeno ha una enorme rilevanza in campo biologico a causa della sua influenza sul comportamento delle molecole d'acqua. L'acqua è il composto più abbondante nelle cellule, di cui rappresenta mediamente circa il 70% della massa. La maggior parte delle reazioni chimiche che avvengono dentro le cellule si verifica quindi in un ambiente acquoso e, in molti casi, le molecole d'acqua, oltre ad agire da solvente, partecipano alla reazione stessa. L'acqua possiede caratteristiche peculiari che sono alla base delle sue proprietà uniche come solvente in generale e come mezzo in cui si svolgono i processi vitali. Alcune delle proprietà che caratterizzano l'acqua sono:

a) la sua elevata temperatura di ebollizione e di congelamento rispetto a quella di molecole simili (per esempio, metano,  $\text{CH}_4$ , e solfuro di idrogeno,  $\text{H}_2\text{S}$ ) che fanno sì che l'acqua sia liquida a temperatura e pressione ambiente;

b) la sua elevata capacità termica, grazie alla quale le masse di acqua liquida superficiali rendono il clima della Terra particolarmente mite e ne riducono grandemente le escursioni di temperatura;

c) la sua minore densità allo stato solido che allo stato liquido, proprietà inusuale per le sostanze, grazie alla quale il ghiaccio galleggia sull'acqua isolando gli strati di acqua liquida sottostanti e impedendo loro di congelare a temperature al di sotto dello zero. È proprio per questo motivo che alle latitudini estreme mari, laghi e fiumi non congelano in un blocco unico, permettendo alla vita acquatica di continuare a esistere.

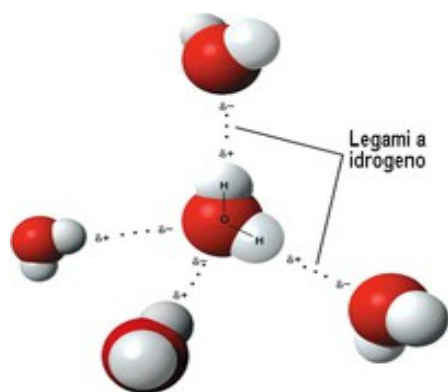


Figura 1 I legami a idrogeno nell'acqua.  $\delta^-$  e  $\delta^+$  indicano, rispettivamente, gli addensamenti di carica negativa sugli atomi di ossigeno e positiva su quelli di idrogeno.

## 1.2 Nomenclatura

L'acqua necessaria per gli usi domestici, industriali, agricoli e per i cosiddetti usi urbani (lavaggio, piscine, ecc) può essere prelevata da:

- acque dolci superficiali: torrenti, fiumi, laghi;
- acque dolci sotterranee: sorgenti o pozzi;
- mare.

Le acque possono essere impiegate senza alcun trattamento preventivo quando hanno caratteristiche idonee agli impieghi, o subire trattamenti più o meno complessi.

L'acqua prima di essere trattata viene chiamata grezza.

L'acqua che ha subito un procedimento di allontanamento dei componenti indesiderati viene chiamata trattata o viene denominata, in funzione del trattamento subito (es. acqua decantata, addolcita, ecc.).

Le acque sia grezze che trattate vengono definite di primo impiego quando sono destinate all'utilizzazione (alimentazione caldaie, raffreddamento ecc.) per distinguerle dalle acque di scarico, generalmente chiamate acque reflue, e dalle acque che vengono riciclate, chiamate di reimpiego.

Le acque di primo impiego si distinguono principalmente in:

- acque potabili: per bere, per usi alimentari e domestici;
- acque industriali: di processo, di raffreddamento, per la produzione di vapore.
- acque per irrigazione.

Le acque reflue sono quelle di scarico da impianti industriali e quelle raccolte dagli impianti fognari urbani che, avendo disciolto o in sospensione componenti vari, non possono trovare più alcun impiego diretto e perciò vengono refluite ai bacini idrici.

Le acque di reimpiego possono derivare da acque di scarico che non hanno subito alcun trattamento di depurazione (per es. acqua di raffreddamento che esce a 30 °C che viene utilizzata tal quale come acqua di lavaggio) o da acque reflue che con trattamenti opportuni vengono portate alle caratteristiche richieste per lo specifico impiego.

I trattamenti ai quali vengono sottoposte le acque, sia grezze che reflue, si distinguono in:

- trattamenti fisici;
- trattamenti chimici;
- trattamenti biologici.

Le acque possono subire uno o più processi di trattamento: quando subiscono l'insieme dei trattamenti fisici, chimici e biologici, si dice che l'acqua ha subito il trattamento integrale.

I trattamenti si dividono più frequentemente in:

- trattamento primario: separazione dei solidi sospesi;
- trattamento secondario: trattamento biologico destinato ad abbattere le sostanze organiche;
- trattamento terziario: di tipo chimico-fisico che migliora l'effluente.

### **1.2.1 Le sostanze inquinanti**

Le sostanze inquinanti possono essere caratterizzate in maniera diversa, a seconda della loro natura o degli effetti che producono. Di seguito distinguiamo:

#### *Materiali galleggianti*

Oli, grassi, schiume e, in generale, materiali insolubili più leggeri dell'acqua.

Deteriorano le caratteristiche estetiche e impediscono la penetrazione delle radiazioni solari ritardando i processi fotosintetici. Gli oli in particolare distruggono la vegetazione e sono spesso tossici nei confronti degli organismi acquatici. Se la quantità di olio in superficie è notevole si hanno addirittura pericoli di incendi.

### *Materiali in sospensione*

Si tratta di materiali insolubili, di densità uguale o superiore a quella dell'acqua, mantenuti in sospensione dalla turbolenza, che influiscono sull'attività degli organismi. Col tempo questi materiali si depositano come fango sulle rive e sul fondo. Se i depositi sono consistenti, deprimono l'azione depuratrice dei microrganismi e influiscono negativamente sulla nutrizione dei pesci. I materiali in sospensione di natura organica si decompongono progressivamente sotto l'azione dei microrganismi utilizzatori di ossigeno. Quando manca l'ossigeno insorgono fenomeni putrefattivi.

### *Sostanze disciolte*

Sono quelle che, come acidi, metalli pesanti, composti chimici, insetticidi, cianuri e altri prodotti tossici, rendono un'acqua non potabile e danneggiano la vita acquatica. Le sostanze organiche disciolte e l'ammoniaca sono attaccate dai microrganismi che le trasformano, utilizzando l'ossigeno disciolto nell'acqua. Alcune sostanze organiche sono refrattarie alla degradazione biologica e mantengono immutate le loro caratteristiche, spesso negative, come nel caso di certi tensioattivi, pesticidi, erbicidi, ecc.

Alle sostanze disciolte può essere collegato lo sviluppo di colore, odore e sapore delle acque.

### *Materiali biologici*

Gli organismi viventi, animali e vegetali, influiscono sulla qualità di un'acqua. I batteri possono sviluppare odori e attaccare e distruggere altre piante ed animali, ma in determinate condizioni provocano il processo di autodepurazione. I funghi sono simili ai batteri, ma sono strettamente aerobici. Le alghe sono organismi fotosintetici che si nutrono prevalentemente di prodotti inorganici, dando luogo allo sviluppo di ossigeno. Se però sono presenti in eccesso morendo consumano l'ossigeno producendo odore e sapore.

### *Soluzioni colloidali*

Un colloide è una particolare miscela in cui una sostanza si trova in uno stato finemente disperso, intermedio tra la soluzione omogenea e la dispersione eterogenea. Questo stato "microeterogeneo" consiste quindi di due fasi: una fase costituita da una sostanza di dimensioni microscopiche e una fase continua disperdente. La differenza con le soluzioni consiste nel fatto che queste ultime sono sistemi omogenei contenenti ioni o molecole di soluto disperse in un solvente libere di muoversi le une rispetto alle altre; esse risultano inoltre limpide. I sistemi colloidali, invece, sono sistemi eterogenei, che si presentano torbidi. Alcuni esempi di sostanze colloidali: latte, burro, fumo, maionese.

## **1.2.2 Processo di autodepurazione dell'acqua**

L'acqua ha una capacità naturale di autodepurazione, grazie alla presenza di microrganismi (alghe, funghi, batteri) che contribuiscono al mantenimento degli equilibri ecologici della risorsa, utilizzando l'ossigeno disciolto nell'acqua per ossidare e degradare le sostanze inquinanti.

Tuttavia, in condizioni di scarso ricambio idrico o a causa della presenza eccessiva di sostanze organiche, tale processo può essere inibito o rallentato.

Un tempo l'acqua si autodepurava grazie all'evaporazione e all'intervento dei batteri aerobi, ma ora, con il crescere delle contaminazioni chimiche e batteriologiche, sta a poco a poco perdendo questa capacità.

In condizioni normali le sostanze sospese nell'acqua si depositano sul fondo e i batteri scindono le molecole organiche trasformandole in anidride carbonica, fosfati, nitrati ed acqua, molecole che vengono poi riutilizzate rientrando quindi nei cicli biologici. Questo processo necessita di ossigeno per cui, se l'ossigeno disciolto nell'acqua viene consumato dai batteri aerobi per l'eccesso di sostanze da trasformare, il potere autodepurante dell'acqua viene meno.

### 1.3 Caratteristiche delle acque

Un'acqua viene caratterizzata in base al suo contenuto di cationi, anioni, sostanze organiche disciolte, sostanze in sospensione, gas disciolti. Si considera inoltre il contenuto batterico, il pH, la conducibilità elettrica e molte altre caratteristiche.

L'acqua pura è senza odore, sapore, colore.

E' di notevole importanza il contenuto di ioni, in particolari dei metalli alcalino-terrosi, fra i quali principalmente  $\text{Ca}_{2+}$  e  $\text{Mg}_{2+}$ , che determinano la durezza dell'acqua: le acque ad alto contenuto di sali di Ca e Mg vengono chiamate dure.

La durezza si esprime in gradi; i più usati tradizionalmente sono:

- °f, *grado francese*: corrisponde al contenuto di sali indurenti (Ca, Mg, ecc.) espresso come 10 mg/l di  $\text{CaCO}_3$ ;
- °d, *grado tedesco*: corrisponde al contenuto di sali indurenti espresso come 10 mg/l di CaO;
- attualmente si usa il grado MEC, che corrisponde a 1g di  $\text{CaCO}_3$  in 100 litri ed è perciò uguale al grado francese.

Altri modi di esprimere la durezza dell'acqua:

- in ppm (parti per milione) di  $\text{CaCO}_3$  e sali ad esso equivalenti;
- in milliequivalenti/litro.

La durezza dell'acqua viene distinta in:

- *durezza totale*: comprende tutti i sali di Ca, Mg, ecc.
- *durezza da carbonati*: comprende la durezza dovuta ai bicarbonati, a carbonati di Ca e Mg e altri sali indurenti;
- *durezza temporanea*: la durezza che scompare dopo ebollizione dell'acqua in quanto si sono scomposti i bicarbonati facendo precipitare i carbonati principalmente di Ca e Mg;
- *durezza permanente*: la durezza dovuta a tutti i sali che dopo ebollizione rimangono in soluzione.

La quantità di carbonati Ca e Mg che può essere disciolta nell'acqua, dipende dal contenuto di anidride carbonica (presente nell'acqua piovana, negli strati del terreno, ecc.).

Essa è in parte disciolta come gas ed in parte presente come ioni  $\text{CO}_3^{2-}$ ; essa trasforma i carbonati di Ca e Mg, con i quali viene in contatto, in bicarbonati solubili.

Classificazione	Durezza in gradi francesi
Acqua molto dolce	0 ÷ 4
Acqua dolce	4 ÷ 8
Acqua a durezza media	8 ÷ 12
Acqua a durezza discreta	12 ÷ 18
Acqua dura	18 ÷ 30
Acqua molto dura	> 30

Tabella 1 Classificazione delle acque in base alla durezza

L'acqua piovana è un'acqua molto dolce perchè non contiene che tracce di sali in soluzione; le acque sotterranee possono avere durezze diverse a seconda degli strati di terreno attraversati e della solubilità delle rocce: strati calcarei conferiscono alle acque durezze fra 32 e 14 °f, mentre strati gessosi danno acque con durezza superiore anche a 179 °f.

Le acque sotterranee sono generalmente le più pure e possono essere destinate spesso agli usi potabili ed industriali senza alcun trattamento.

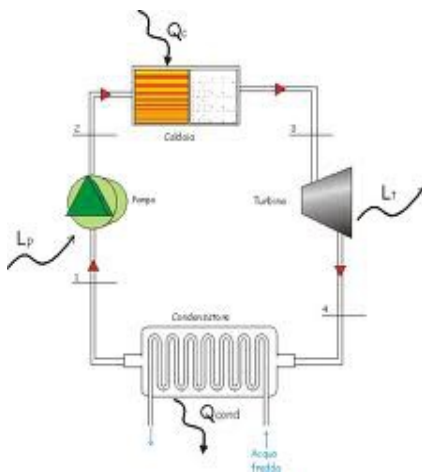
L'elevata durezza di alcune acque porta a non poterle usare come potabili; l'elevata durezza è in particolare dannosa, sia negli usi domestici (cottura dei cibi, lavaggio) che industriali.

*Acqua potabile.* L'acqua potabile è quella destinata all'uso domestico e agli impieghi alimentari (fabbricazione della pasta, del pane ecc.). Deve essere priva di batteri e di qualsiasi sostanza dannosa alla salute; deve essere incolore ed insapore, non deve contenere sostanze in sospensione, sostanze organiche (residui di organismi vegetali ed animali, humus ecc.) e non deve contenere metalli come Fe, Pb, Cr, Mn ecc.

*Acqua industriale.* Dati i molteplici impieghi è difficile stabilire caratteristiche generali per acque di uso industriale, per cui è bene riferirsi alle acque di alimentazione delle caldaie ed alle acque di raffreddamento.

Le *acque di alimentazione delle caldaie*, debbono avere requisiti più o meno severi a seconda della pressione e della temperatura di esercizio della caldaia e del tipo di questa. Le caldaie con pressioni di esercizio che arrivano anche a 350 atm e con produzioni di vapore anche oltre 1500 t/h, richiedono acqua con valori ben definiti di pH, del contenuto dei vari ioni, di  $\text{O}_2$  e di gas disciolti. Le acque di alimentazione delle caldaie debbono essere perciò trattate perchè acque grezze, anche di buona purezza, non possiedono i requisiti necessari. Nell'esercizio l'acqua delle caldaie, attraverso i ricicli, si arricchisce di alcune sostanze contenenti Fe e Cu che provengono dalle apparecchiature e che possono in parte essere in soluzione ed in parte in sospensione.

E' perciò della massima importanza il controllo non solo dell'acqua di alimentazione ma anche dell'acqua e del vapore nei vari punti del sistema costituente l'impianto per la produzione del vapore (ribollitore, condensatori, surriscaldatori ecc.).



Un'altra impurezza che l'acqua acquista nell'esercizio della caldaia è l'olio minerale che proviene da perdite delle macchine - pompe, turbine, cilindri a vapore, ecc. - e che arrivando nel ribollitore può dare incrostazioni carboniose sulle pareti dei tubi. Per la stessa ragione l'acqua di alimentazione delle caldaie non deve contenere sostanze organiche. L'ossigeno presente nell'acqua porta a fenomeni di corrosione nei preriscaldatori e nell'economizzatore.

Figura 2 Schema semplificato di un impianto per la produzione di vapore

**Acqua di raffreddamento.** Le caratteristiche dell'acqua di raffreddamento dipendono principalmente dalla differenza di temperatura fra l'acqua raffreddante ed il fluido da raffreddare: per acque di raffreddamento si intendono le acque che circolano in scambiatori (a serpentine, a fascio tubiero, a camicia).

Più è alta la temperatura del fluido da raffreddare e maggior purezza si richiede alle acque di raffreddamento, sino ad arrivare ai requisiti non molto dissimili a quelle delle acque di caldaia. Per acqua di raffreddamento si possono perciò usare nel caso di basse temperature anche acque non trattate; i requisiti generali ai quali deve corrispondere un'acqua di raffreddamento sono :

- non contenere sostanze in sospensione;
- non contenere alghe, cariche batteriche e prodotti che possano dar luogo a depositi o provocare alterazioni nella composizione;
- durezza non elevata;
- non avere azione corrosiva.

L'acqua grezza destinata al raffreddamento e l'acqua di riciclo, se non possiedono i requisiti necessari per lo specifico impiego, debbono essere trattate, per impedire che si abbia corrosione. Bisogna ricordare che le incrostazioni che si formano nelle tubazioni portano ad una graduale diminuzione dello scambio termico sino a rendere inefficiente il sistema di raffreddamento.

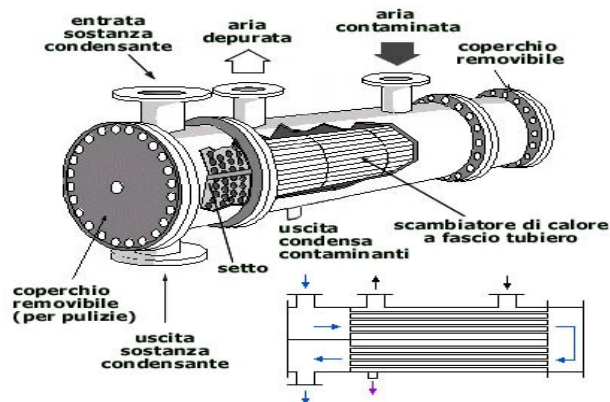


Figura 3 Scambiatore a fascio tubiero

*Acqua di processo.* Ogni processo richiede acqua con caratteristiche tali da non apportare impurezze nei prodotti con i quali viene in contatto e da non determinare reazioni indesiderate, colorazioni, impartire odore ecc.

## 1.4 Contenuto di ossigeno nell'acqua

L'acqua contiene disciolto ossigeno, la cui quantità varia con la temperatura, la pressione ed il contenuto salino: a 760 mm Hg e a 20°C l'acqua distillata contiene 8,8 ppm di ossigeno e l'acqua di mare mediamente 7,2 ppm.

Una diminuzione della quantità di ossigeno è indice di inquinamento di un corpo idrico, cioè della presenza di sostanze ossidabili che sottraggono ossigeno all'acqua il quale è necessario anche per l'azione autodepurante che si svolge in un fiume, in un lago, nel mare, per l'azione di microrganismi aerobici.

E' perciò della massima importanza conoscere la domanda di un corpo idrico, cioè la quantità di ossigeno che esso richiede per giungere allo stato di purezza naturale.

Per determinare la domanda di ossigeno dell'acqua si usano alcuni metodi di laboratorio che misurano la domanda di ossigeno in particolari condizioni di prova.

Fra i metodi si usano principalmente i seguenti:

*BOD* (Biochemical Oxygen Demand). E' un metodo messo a punto in Inghilterra dalla Royal Commission of Sewage Disposal ed adottato universalmente, anche se sottoposto a molte critiche per la difficoltà di ottenere risultati riproducibili.

Il BOD è una misura indiretta del contenuto di materia organica biodegradabile presente in un campione d'acqua o soluzione acquosa ed è uno dei parametri più in uso per stimare il carico inquinante delle acque reflue.

La prova consiste nell'incubare per 5 giorni a 20°C aliquote dell'acqua in esame (opportunamente diluite con acqua contenente sali minerali), con microrganismi aerobici di ceppi selezionati. Si misura la quantità di O<sub>2</sub> al momento dell'allestimento del test (BOD<sub>0</sub>) e dopo 5 giorni (BOD<sub>5</sub>); la differenza del contenuto di ossigeno espresso in mg/l (o g/m<sup>3</sup>) costituisce il BOD<sub>5</sub> che viene spesso indicato semplicemente come BOD, anche se con questa sigla si dovrebbe indicare il valore totale.

Risultano evidenti le difficoltà che si incontrano nell'ottenere ceppi batterici selezionati, capaci di dare in condizioni standard (temperatura, contenuto salino, pH), una serie di reazioni biochimiche che portino a risultati riproducibili in 5 giorni, cioè in un tempo che non porta all'ossidazione totale delle sostanze presenti, per le quali si richiederebbe oltre un mese.

*COD* (Chemical Oxygen Demand). Determina il consumo totale di O<sub>2</sub> necessario per ossidare completamente le sostanze inorganiche ed organiche presente nel campione. L'ossidazione viene ottenuta facendo bollire per 2 ore una data quantità di acqua con una data quantità di soluzione di bicromato di potassio, in ambiente acido ed in presenza di solfato di argento, che accelera la reazione.

Il risultato si esprime in mg/l di O<sub>2</sub> dal consumo di bicromato.



I risultati sono riproducibili ma il metodo ha lo svantaggio di non poter essere usato in presenza di forti quantità di cloruri, cioè nel caso di acque marine e salmastre.

Mentre il BOD determina quali sostanze sono biodegradabili, il COD non opera evidentemente alcuna distinzione, per cui il BOD viene largamente utilizzato quando si voglia determinare l'azione depurante dei trattamenti biologici.

Seguendo le variazioni del BOD è possibile seguire l'andamento dell'inquinamento dei corpi idrici e provvedere di conseguenza a regolare l'immissione di aria, come viene attuato all'estero per molti laghi e in Italia nel lago di Caldonazzo (Trento), per far sì che il contenuto di ossigeno si mantenga ai giusti valori.

E' da tenere presente che, secondo alcune regolamentazioni, il BOD<sub>5</sub> di acque reflue, per poter essere scaricate in un corpo idrico, non deve essere superiore a 40 mg/l, mentre effluenti industriali non depurati passano i 2000 mg/l e che liquami urbani possono avere BOD<sub>5</sub> compresi 100 e 300 mg/l; è evidente il carico inquinante che possono avere questi effluenti, se versati in bacini idrici di modeste dimensioni e come possano consumare tutto l'ossigeno disciolto, annullando ogni forma di vita acquatica.

## **1.5 Problemi di approvvigionamento**

L'approvvigionamento idrico per uso potabile viene assicurato attraverso prelievi di acque sotterranee della falda acquifera, attraverso sorgenti naturali e da acque superficiali. Se il prelievo è fatto da corsi d'acqua alla loro origine, generalmente non occorrono trattamenti di depurazione; se il prelievo è fatto da laghi e fiumi in zone abitate, le acque sono potabili solo dopo trattamento.

Città come Roma e come Bari sono approvvigionate da acque sorgive; altre città come Firenze e Torino attingono ad acque superficiali o hanno approvvigionamenti misti.

Gli impianti di potabilizzazione delle acque sono sempre più diffusi, sia perchè è sempre più difficile avere acqua grezza di qualità potabile, sia perchè gli impianti garantiscono una qualità di acqua sufficientemente costante anche nel caso di periodi di magra o di piena dei corsi d'acqua.

Per l'approvvigionamento di acqua potabile di zone con limitate precipitazioni e prive di corsi d'acqua e di sorgenti perenni, come alcune isole e zone costiere, si ricorre alla dissalazione di acque ad alto contenuto salino o dell'acqua di mare. Per le acque industriali è possibile in taluni casi usare acque a purezza non elevata che non possono essere usate come potabili; si fa ricorso principalmente alle acque superficiali per le quali talvolta bastano trattamenti primari di depurazione. Anche l'acqua di mare viene usata nell'industria specie per il raffreddamento e senza particolari trattamenti, se si adoperano per gli scambiatori materiali speciali resistenti alla corrosione (ad esempio lega ammiragliato, la quale è composta da : Cu 70 ÷ 73 %, Zn 26 ÷ 29 %, Sn 0,8 ÷ 1,2 %, Pb 0 ÷ 0,1%, FeO 0 ÷ 0,1%). L'acqua di mare viene utilizzata, dopo dissalazione, come acqua di processo e per l'alimentazione delle caldaie.

Dati i forti consumi idrici domestici, urbani, agricoli ed industriali, è sempre più necessario il riciclaggio delle acque.

La legislazione di ogni paese tende ad imporre questa tecnica, sia attraverso severe disposizioni per gli scarichi delle acque reflue, sia attraverso pesanti oneri sul prelievo delle acque.

Perciò il problema dell'approvvigionamento idrico va considerato insieme a quello dell'inquinamento idrico e l'obiettivo da raggiungere è quello di un'utilizzazione del patrimonio idrico cosciente, che consideri l'acqua un bene indispensabile ma non infinito. In molti casi dunque si ricorre al trattamento delle acque.

Sia che si tratti di acque grezze che reflue, i trattamenti ai quali sono sottoposte hanno lo scopo di allontanare i componenti presenti che ne pregiudichino l'impiego, nel primo caso, o rappresentino un inquinante, nel secondo caso.

I trattamenti ai quali le acque sono sottoposte hanno lo scopo di allontanare:

- le sostanze in sospensione;
- le sostanze in soluzione colloidale;
- i gas disciolti;
- le sostanze organiche presenti in emulsione, sospensione e soluzione;
- gli ioni che ne pregiudicano le caratteristiche di impiego.

## CAPITOLO 2

### Trattamenti fisici

I trattamenti fisici dell'acqua comprendono i processi di allontanamento di componenti indesiderati attraverso operazioni che sfruttano le caratteristiche fisiche dell'acqua e dei componenti.

L'acqua viene spesso sottoposta a trattamenti molto semplici, quali la separazione da materiali galleggianti attraverso griglie o per mezzo di apparecchi setacciati, la separazione da schiume in superficie e simili; generalmente sono definiti *trattamenti meccanici*. Talvolta si possono aggiungere anche prodotti di vario genere come coadiuvanti; in questi casi poiché è determinante l'azione del prodotto aggiunto, e si hanno in concomitanza reazioni chimiche, i processi vengono considerati come *trattamenti chimici*.

Il più delle volte il trattamento fisico fa parte, nella sequenza dei processi, di un *trattamento primario*, al quale fanno seguito *trattamenti secondari* e qualche volta *terziari*.

#### 2.1 Grigliatura e triturazione

La grigliatura è normalmente la prima operazione che si incontra in un impianto di depurazione. Essa serve ad eliminare i solidi grossolani, come stracci, pezzi di legno, frammenti di piante, ecc. e viene realizzata facendo passare l'acqua attraverso una griglia.

Le griglie poste in testa agli impianti di depurazione, a monte delle pompe, sono generalmente del tipo a barre di sezione rettangolare o, più raramente, circolare o trapezoidale.

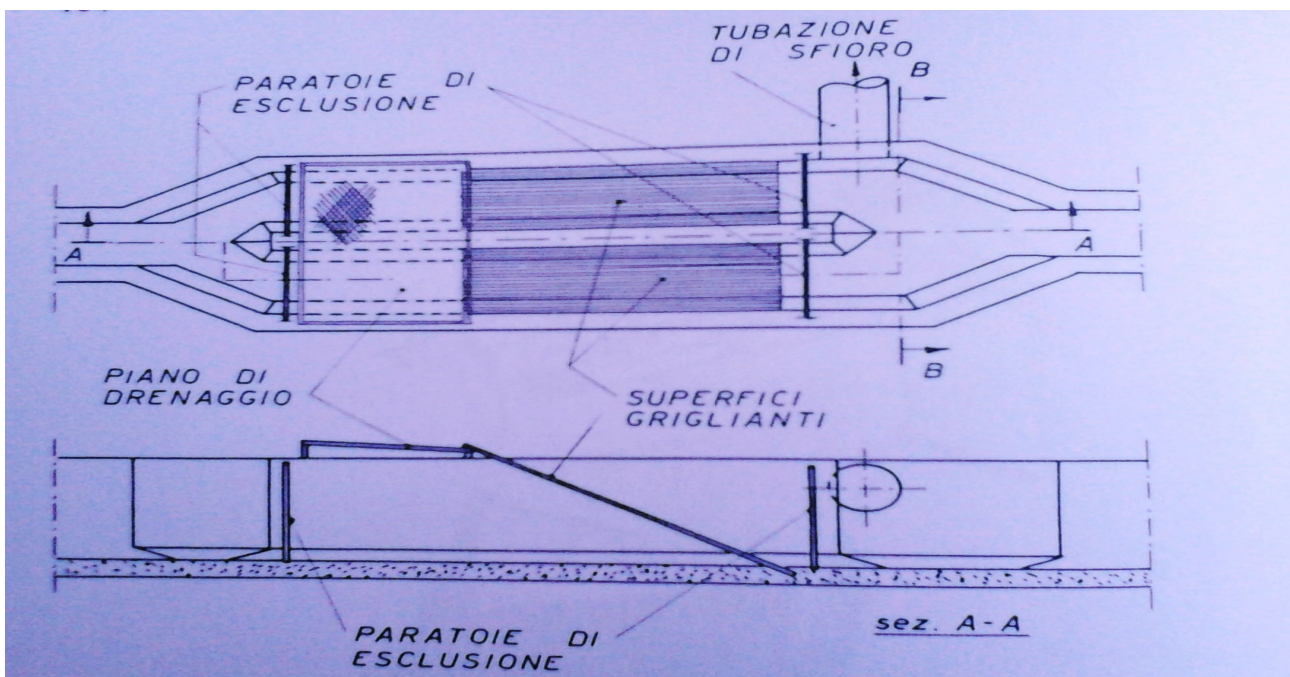


Figura 4 Griglia a pulizia manuale

Le griglie a pulizia manuale (fig. 4) vengono impiegate da sole in impianti di piccole dimensioni, mentre negli impianti più grandi vengono installate in by-pass o a monte di griglie automatiche. L'inclinazione rispetto al piano orizzontale, in genere intorno ai 45°, è minore che nelle griglie automatiche, allo scopo di facilitare le operazioni di pulizia; alla sommità della griglia è sistemato un piano forato orizzontale o leggermente inclinato, sul quale si raccoglie, per mezzo di rastrelli, il materiale grigliato.



Nelle griglie a pulizia meccanica (fig. 5) il rastrello che rimuove i solidi è comandato da un temporizzatore che lo mette in funzione ad intervalli prefissati. Talvolta il funzionamento del rastrello può essere comandato da un misuratore di perdita di carico che aziona il meccanismo di pulizia quando la quantità di solidi accumulati è tale da produrre una differenza di livello tra monte e valle della griglia superiore a un valore prefissato. Le griglie sono provviste di paratoie di esclusione, di un canale di by-pass, che viene messo in funzione nei periodi di pulizia e manutenzione.

Le griglie fini, ove utilizzate, vengono installate a valle di quelle grossolane, allo scopo di realizzare una più spinta rimozione dei solidi presenti nello scarico. Tali griglie possono essere a schermo fisso, a schermo mobile e a tamburo ruotante.

Figura 5 Griglia a pulizia meccanica

Le prime sono simili alle griglie grossolane precedentemente descritte, ma hanno luci libere di passaggio molto più ridotte; le seconde sono costituite da una serie di schermi griglianti montati su un meccanismo di trasporto, per mezzo del quale essi vengono spostati in continuazione dalla zona di grigliatura a quella di pulizia, effettuata con rastrelli, raschiatori e getti d'acqua.

Nelle griglie a tamburo la superficie grigliante è realizzata sulla parete cilindrica di un tamburo ruotante, parzialmente immerso nella corrente liquida. Lo scarico da sottoporre a grigliatura entra all'interno del tamburo e fuoriesce attraverso la parete filtrante; i solidi trattenuti vengono asportati tramite raschiatori e getti d'acqua.

Nelle griglie fini la superficie grigliante viene realizzata tramite una serie di barre sottili o con piatti forati oppure con una rete di fili metallici o di materiali sintetico. Le dimensioni delle aperture attraverso le quali passa la corrente liquida sono inferiori a 10 ÷ 15 mm.

Il sistema di smaltimento dipende dalla quantità di materiale rimosso e dalle caratteristiche dell'impianto di depurazione. Talvolta, specialmente quando lo smaltimento dei solidi rimossi può creare difficoltà, il materiale separato può essere sminuzzato.

L'operazione di sminuzzamento viene effettuata in apposite apparecchiature denominate trituratori. Questi possono essere installati direttamente sulla corrente liquida oppure in parallelo alla griglia. Nel primo caso il trituratore è alimentato con tutta la corrente liquida; nel secondo il trituratore viene alimentato dal solo materiale trattenuto dalle griglie.

I trituratori normalmente impiegati sono di diverso tipo: a martelli, a lame installate su griglia, a pettine fisso e tamburo ruotante.

## 2.2 Equalizzazione e omogeneizzazione

Le acque da trattare presentano spesso una notevole variabilità di portata e di concentrazione delle diverse sostanze inquinanti. La correzione di tale variabilità è detta *equalizzazione* (o egualizzazione) nel caso della portata, e *omogeneizzazione* nel caso delle concentrazioni.

L'equalizzazione e l'omogeneizzazione vengono effettuate in vasche di accumulo, normalmente agitate, di dimensioni tali da assicurare un tempo di residenza che consenta di smorzare le fluttuazioni di portata e di qualità dell'alimentazione dell'impianto. Il livello del liquido nelle vasche di equalizzazione è variabile e perciò l'agitazione viene realizzata per mezzo di insufflazione di aria o con turbine superficiali di tipo galleggiante.

## 2.3 Dissabbiatura

La dissabbiatura segue la grigliatura. La funzione del dissabbiatore è quella di rimuovere dall'acqua la maggior parte della sabbia in essa contenuta. Con il termine sabbia vengono intese, in generale, tutte le sostanze sospese di piccole dimensioni e alta densità quali ad esempio semi, gusci d'uovo, caffè macinato, ecc. Tali sostanze sono presenti nello scarico specialmente quando l'impianto tratta anche liquami urbani provenienti da una rete fognaria di tipo misto.

Le sabbie debbono essere rimosse in testa all'impianto e non inviate alle unità operatrici successive, in quanto esse possono provocare un'azione abrasiva su tutte le parti meccaniche in movimento, in particolare sulla girante delle pompe, sulle lame dei raschiafanghi, ecc., riducendo le prestazioni e la durata; esse, inoltre, possono ostruire le tubazioni, creare depositi in aree morte e causare problemi nel trattamento dei fanghi.

Le unità di dissabbiatura sono di due tipi: a gravità e centrifughe.

Il principio sul quale è basato il funzionamento delle prime è quello di mantenere nella corrente liquida una velocità tale che consenta la sedimentazione della sabbia, ma non delle sostanze organiche sospese, più leggere, che restano nella corrente liquida e vengono inviate alle unità successive. Esse sono generalmente costituite da un canale nel quale la velocità viene mantenuta costante per mezzo di una opportuna sagomatura della sezione e di uno stramazzo finale. Sul fondo del canale si raccolgono le sabbie che nei piccoli impianti vengono rimosse manualmente; negli impianti di dimensioni maggiori vengono utilizzati sistemi di rimozione meccanica.

Molte volte, specialmente negli impianti medio-grandi, vengono impiegati canali dissabbiatori del tipo aerato. In questo caso su un lato del fondo del canale viene immessa aria tramite una serie di diffusori i quali imprimono all'aria un moto a spirale. Il grado di agitazione è tale da produrre la separazione della sabbia dalle particelle organiche più leggere.

I dissabbiatori centrifughi funzionano praticamente sullo stesso principio dei cicloni. Essi sono costituiti da una camera cilindrica a fondo conico, nella quale la corrente liquida viene immessa tangenzialmente alla sommità della zona cilindrica.

Si genera così un moto circolare e, per effetto della forza centrifuga, i materiali più pesanti vengono sospinti verso la parete dell'apparecchiatura e scendono verso il fondo, da dove vengono estratti. La corrente liquida contenente i solidi più leggeri fuoriesce attraverso un collettore centrale posto nella parte alta dell'apparecchiatura. Generalmente viene installato lungo l'asse dell'apparecchiatura un agitatore che imprime alla fase liquida un moto rotatorio con velocità costante.

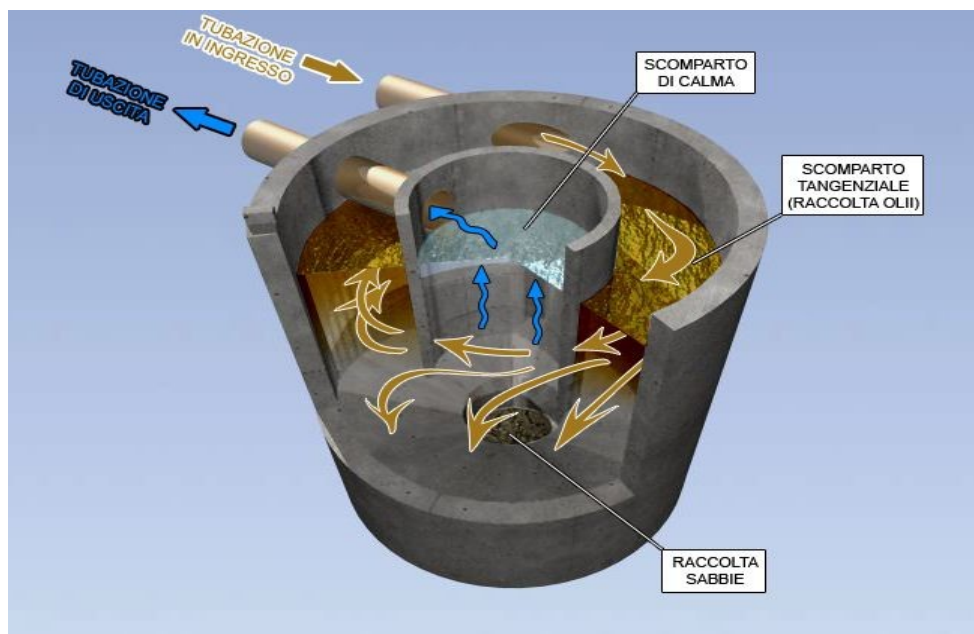


Figura 6 Dissabbiatore centrifugo

## 2.4 Deoleazione

La deoleazione è una operazione mediante la quale si separano oli , grassi e altre sostanze più leggere dell'acqua, come saponi, pezzi minuti di sughero e legno, frantumi di vegetali. Questi materiali vengono in superficie formando una poltiglia stabile che normalmente contiene non più del 25 ÷ 50 % di oli e grassi. La poltiglia viene rimossa sfiorandola dalla superficie mentre il liquido defluisce da aperture sommerse collocate a idonea profondità. La deoleazione può aver luogo in vasche costruite appositamente, oppure in apparecchiature realizzate per portare a termine altre operazioni quali la dissabbiatura o, più frequentemente nelle unità di sedimentazione primaria.

Le vasche di deoleazione possono essere rettangolari o circolari, con il condotto di uscita generalmente sommerso e protetto da diaframmi per evitare il trascinarsi di materiale separato. Il materiale separato può essere rimosso manualmente in impianti di piccole dimensioni, ma generalmente, soprattutto negli impianti più grandi, la rimozione viene effettuata meccanicamente, tramite lame mobili che convogliano il materiale nella zona di raccolta, dalle quali esso viene inviato allo smaltimento, effettuato per combustione.

In alcuni casi la separazione tra le fasi viene favorita tramite insufflazione di aria, realizzando così una vera e propria flottazione, oppure installando nella vasca una serie di piatti paralleli inclinati che favoriscono la separazione degli olii. Nelle vasche di deoleazione generalmente ha luogo anche una sedimentazione di particelle più pesanti, di cui deve essere prevista la rimozione dal fondo.

## 2.5 Sedimentazione

Tramite la *sedimentazione* (chiamata anche *decantazione*) vengono separati dalla corrente liquida gran parte dei solidi sospesi mantenuti in sospensione dalla turbolenza. In tale operazione i materiali più leggeri si raccolgono in superficie, mentre quelli più pesanti sedimentano e si depositano sul fondo.

L'operazione di sedimentazione può intervenire in diverse fasi del trattamento; nella maggioranza dei casi le unità di sedimentazione vengono installate all'inizio del processo di depurazione per rimuovere i solidi sedimentabili non trattiene nelle operazioni precedenti di grigliatura e dissabbiatura (sedimentazione primaria) o dopo i processi biologici per separare il fango attivato (sedimentazione secondaria).

Nella sedimentazione oltre ai solidi sedimentabili vengono rimossi, parzialmente, anche i solidi colloidali, per adsorbimento su particelle di dimensioni maggiori. Talvolta, per incrementare la rimozione delle particelle di dimensioni più piccole o in forma colloidale, vengono aggiunti nella vasca di sedimentazione opportuni reattivi chimici.

*Aspetti teorici.* Una particella immersa in un fluido in quiete – nel nostro caso in acqua – è sottoposta alla forza peso  $P$ , alla spinta di Archimede  $F_s$  ed alla forza dovuta alla resistenza del mezzo  $F_R$ , legato all'attrito fluido-particella.

La  $P$  rappresenta la *forza agente*  $F_s + F_R$  la *forza resistente* che agisce in senso contrario.

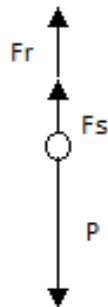


Figura 7 Rappresentazione delle forze che agiscono su una particella immersa in un liquido

Perciò la forza risultante  $F$ , alla quale è sottoposta la particella e che ne determinerà la caduta, è data da

$$F = P - F_s - F_R \quad [1]$$

Chiamati :

- $m$  = massa della particella
- $g$  = accelerazione di gravità
- $V$  = volume della particella
- $\rho_s$  = densità della particella
- $\rho_l$  = densità del liquido

si ha:

$$P = mg = V \rho_s g \quad F_s = V \rho_l g$$

da cui [1] risulta:

$$F = V \rho_s g - \rho_s g - F_R \quad [2]$$

Il valore di  $F_R$  dipenderà dal tipo di moto che ha la particella in seno al liquido.

Si può avere un *moto laminare* quando il liquido ha una viscosità abbastanza alta e le particelle sono in una sospensione piuttosto diluita in modo che non si influenzino tra loro.

Si viene invece ad avere un moto turbolento, cioè si vengono a creare dei vortici, quando le azioni di questi prevalgono sulle resistenze viscosi del mezzo.

Si ricorda che il numero di Reynolds stabilisce se il moto è laminare o turbolento.

In caso di moto laminare ( $Re < 300$ ), secondo la legge di Stokes la resistenza del mezzo è proporzionale alla velocità e cioè:

$$F_R = 3 \pi d v \eta \quad [3]$$

dove:

$v$  = velocità di caduta della particella

$\eta$  = viscosità dinamica del liquido

$d$  = diametro della particella

supponendo che la particella sia sferica.

In caso di moto turbolento vale la formula di Newton:

$$F_R = f [(\rho_l v^2)/2] A \quad [4]$$

dove  $A$  è la sezione della particella ammettendo anche in questo caso che sia sferica.

*Aspetti pratici.* I sedimentatori sono costituiti da vasche circolari o rettangolari in cemento o in ferro, aventi il fondo leggermente inclinato verso una zona dove il fango sedimentato viene convogliato mediante opportuni meccanismi raschiafanghi. In impianti di dimensioni modeste talvolta vengono impiegati sedimentatori a sezione circolare o quadrata senza meccanismo raschiafanghi con fondo molto inclinato, in modo tale che i fanghi vengano convogliati per gravità nelle zone di raccolta, realizzate, in genere, al centro della apparecchiatura. A causa di tale conformazione vasche di grandi dimensioni risulterebbero molto profonde con le conseguenti difficoltà di realizzazione; per questo l'uso di tali sedimentatori è limitato ai piccoli impianti. Le sostanze galleggianti che si separano sono raccolte tramite lame superficiali, montate sullo stesso meccanismo raschiafanghi; il materiale raccolto è avviato allo smaltimento.

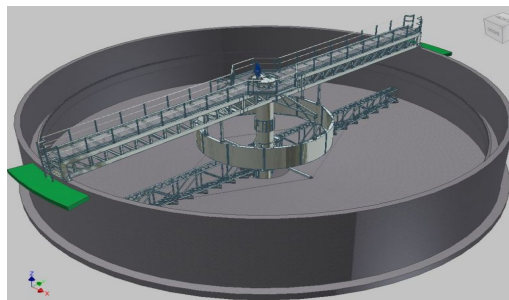


Figura 8 Sedimentatore circolare



Il pozzetto di raccolta del fango è situato sulla stessa verticale del distributore di ingresso del liquido, quindi si trova, per le vasche circolari, nella zona centrale e verso il lato d'ingresso per le vasche rettangolari.

Nelle vasche circolari con colonna di sostegno centrale il pozzetto può essere realizzato intorno o a lato della colonna. Nel primo caso il braccio raschiafanghi possiede un'appendice che penetra all'interno del pozzetto e nella sua rotazione avvia il fango verso la bocca della tubazione di estrazione. Nei sedimentatori rettangolari, in dipendenza della larghezza della vasca e della profondità massima che si intende raggiungere, possono essere realizzati più pozzetti di raccolta. Nel caso di sedimentatori circolari il meccanismo di raccolta dei fanghi è costituito da un traliccio portante al quale sono collegate le lame raschiafanghi e quella di raccolta delle sostanze galleggianti. Il traliccio è incernierato sulla colonna di sostegno centrale e poggia su ruote che corrono lungo il bordo periferico della vasca. Al traliccio è impresso un moto di rotazione tramite un motore accoppiato ad un riduttore.

Alla base dei bracci sono montate una serie di lame disposte a circa 30° rispetto alla direzione del braccio. Ogni lama spazza una corona circolare e spinge il fango verso il punto di raccolta; la lunghezza delle lame è tale che ci sia una leggera sovrapposizione tra le corone circolari spazzate. Talvolta può essere installata una sola lama che va dal centro alla periferia della vasca, seguendo una opportuna curvatura.

Nei sedimentatori rettangolari il meccanismo di raccolta è realizzato mediante due catene senza fine, che corrono sui lati lunghi della vasca e che sorreggono ad intervalli di 2/3 m le lame raschiafanghi poste parallelamente ai lati corti della vasca. Le catene sono installate su ruote dentate ad una delle quali è collegato il gruppo motore.

Nelle vasche di dimensioni minori le lame possono avere la forma di una V molto aperta in modo che, durante il movimento, il fango venga convogliato verso un punto centrale di raccolta in corrispondenza del pozzetto.

Alcune volte l'allontanamento del fango viene effettuato, nel caso di sedimentatori sia circolari che rettangolari, attraverso estrazione diretta del fango sedimentato realizzata per mezzo di una serie di tubazioni aspiranti installate su tutta la lunghezza del ponte raschiafanghi. In tal modo viene diminuito notevolmente il tempo di residenza dei fanghi nel sedimentatore.

## **2.6 Trattamento in vasche Imhoff**

Il trattamento in vasche Imhoff non è soltanto di tipo meccanico poiché alla sedimentazione del fango è associata la digestione anaerobica, che ha luogo in un comparto sottostante e in comunicazione con esso.

Ciò non di meno questa operazione è stata inserita nella categoria dei trattamenti meccanici perchè essa viene realizzata, generalmente, nelle prime fasi di un processo di depurazione e perchè sulla corrente liquida viene eseguita soltanto una sedimentazione.

L'uso delle vasche Imhoff oggi si è ridotto notevolmente e trova applicazione quasi sempre in impianti di piccole dimensioni. L'apparecchiatura è molto semplice e la sua conduzione non richiede la supervisione di tecnici particolarmente specializzati.

Talvolta, specialmente negli impianti di dimensioni maggiori, può essere installato un sistema per la rimozione meccanica dei fanghi, simile a quello dei sedimentatori.

La vasca Imhoff è costituita da due comparti: in quello superiore, dove ha luogo la sedimentazione, viene immesso il liquame da depurare.

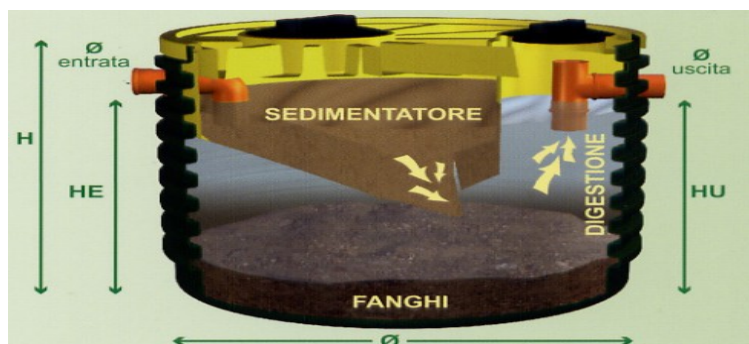


Figura 9 Vasca Imhoff

Il fondo del sedimentatore è aperto ed è posto in comunicazione con una camera chiusa sottostante nella quale discendono i fanghi sedimentati e avviene la digestione.

Il comparto di digestione è munito di una tubazione per l'estrazione periodica dei fanghi: i gas prodotti risalgono verso la superficie e fuoriescono attraverso apposite zone di sfiato.

Il fondo della vasca di sedimentazione è inclinato di  $50 \div 60$  gradi per favorire la raccolta dei fanghi e il passaggio dal comparto superiore a quello inferiore; anche il fondo della vasca sottostante è inclinato per favorire l'estrazione dei fanghi. L'apertura sul fondo della vasca, che ha, in genere, una larghezza di  $15 \div 20$  cm, deve essere protetta in modo da evitare che bolle di gas, che si producono nella zona di digestione, penetrino in quella di sedimentazione, disturbando tale processo.

L'estrazione meccanica dei fanghi viene effettuata, nelle installazioni più grandi, mediante bracci raschiafanghi sia nel comparto di sedimentazione che in quello di digestione. Quando ciò non viene realizzato e il convogliamento dei fanghi nella zona di estrazione avviene per gravità, la forte pendenza del fondo limita la capacità massima della vasca; è spesso necessario ricorrere a una serie di vasche affiancate.

## 2.7 Flottazione

La flottazione è praticamente l'inverso della sedimentazione e consiste nel portare in superficie i materiali sospesi di densità prossima a quella dell'acqua; qui si raccolgono sotto forma di un denso strato e poi rimossi. Per accentuare la tendenza alla separazione, la densità delle particelle viene abbassata facendo aderire ad esse bollicine di aria sviluppatesi a seguito di un abbassamento della pressione del liquido. Così possono essere rimosse particelle che non verrebbero rimosse tramite sedimentazione o che richiederebbero apparecchiature di grandi dimensioni ed alti tempi di residenza.

L'immissione dell'aria nella fase liquida viene realizzata in due modi: o immettendo l'aria nel liquido attraverso opportuni diffusori che producono bolle finemente suddivise, oppure saturando il liquido di aria in un serbatoio sotto pressione separato dalla vasca di flottazione; in questo caso una volta che il liquido passa dal serbatoio di saturazione alla vasca si realizza un brusco abbassamento di pressione. La diminuzione di pressione provoca

lo sviluppo di bolle microscopiche che aderiscono alle particelle in sospensione accelerandone la risalita.

Un effetto analogo si può ottenere facendo avvenire la saturazione a pressione atmosferica e la fase di flottazione vera e propria sotto vuoto. Il materiale flottato può essere rimosso automaticamente tramite una lama che lo raccoglie e lo invia verso uno scarico, oppure manualmente.

Nella parte inferiore della vasca di flottazione si depositano, qualora siano presenti, i solidi sedimentabili che vengono rimossi, specialmente nelle apparecchiature di grandi dimensioni, tramite un braccio raschiafanghi collegato alla stessa struttura che sostiene la lama di raccolta del materiale flottato.

La fase liquida depurata viene estratta dalla zona centrale della vasca o da una zona laterale protetta da un diaframma che impedisce la fuoriuscita del materiale flottato.

Le unità di flottazione possono essere sia di forma sia circolare che rettangolare.

Per favorire la flottazione si impiegano spesso additivi chimici, di tipo inorganico, come sali di ferro o di alluminio o silice attivata o flocculanti organici, i quali, producendo la agglomerazione delle particelle, determinano una struttura che intrappola più facilmente le bollicine di aria. Allo stesso scopo si usano additivi organici che modificano le condizioni dell'interfaccia solido-liquido e solido-gas, rendendo più facile l'adesione delle bollicine di aria alle particelle solide.

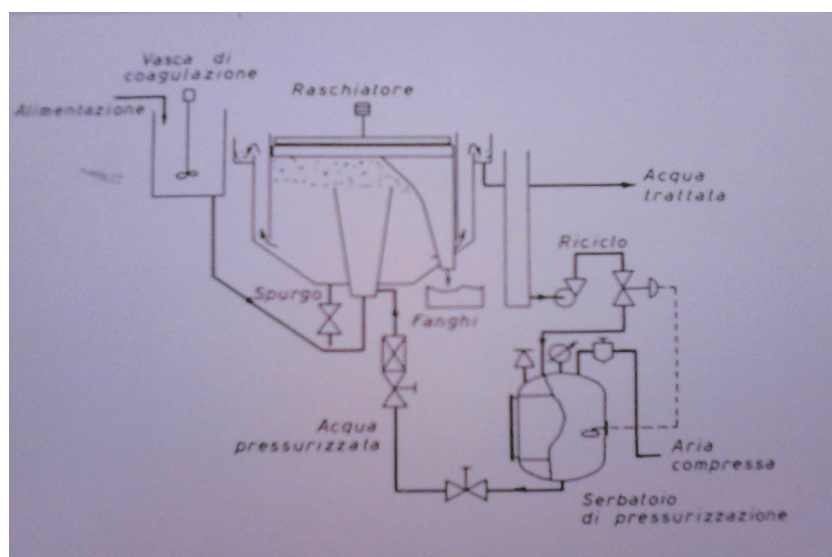
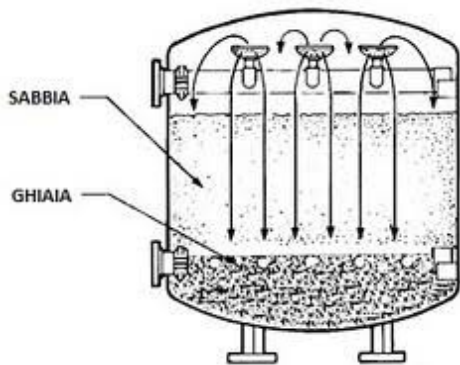


Figura 10 Impianto di flottazione

## 2.8 Filtrazione

L'effluente di una sedimentazione, di una chiariflocculazione o di una flottazione contiene normalmente solidi sospesi fini, le cui caratteristiche e dimensioni ne hanno impedito la separazione. Si ricorre pertanto alla filtrazione. La rimozione può essere ottenuta filtrando attraverso un letto poroso o una rete di maglie fini. I filtri più comunemente utilizzati sono quelli a mezzo filtrante granulare quale sabbia, antracite, materie plastiche, ecc.; si utilizzano anche filtri in rete metallica od in tessuto. L'energia per l'attraversamento del mezzo filtrante è fornita dalla gravità o da una differenza di pressione, ottenuta pressurizzando l'acqua da filtrare o facendo il vuoto dal lato del filtrato.

Il sistema di filtrazione su strati di sabbia è stato uno dei primi ad essere usato e può avvenire sia per gravità che per pressione.



I filtri a gravità sono costituiti essenzialmente da una vasca a cielo aperto realizzata in cemento o in altro materiale, sul fondo della quale è installato un sistema di drenaggio; nella vasca viene sistemato il mezzo filtrante generalmente in strati successivi a granulometria e peso specifico diversi.

Figura 11 Filtro a sabbia e ghiaia

Il liquido che deve essere filtrato viene immesso al di sopra del letto, passa attraverso questo e fuoriesce dal sistema di drenaggio.

Dopo un periodo di operazione il filtro deve essere lavato per rimuovere i solidi in esso trattenuti; ciò viene realizzato per mezzo di un controlavaggio, immettendo l'acqua di lavaggio al di sotto dello strato filtrante attraverso il sistema di drenaggio. L'estrazione dell'acqua di lavaggio avviene per mezzo di canalette sistemate al di sopra del letto filtrante.

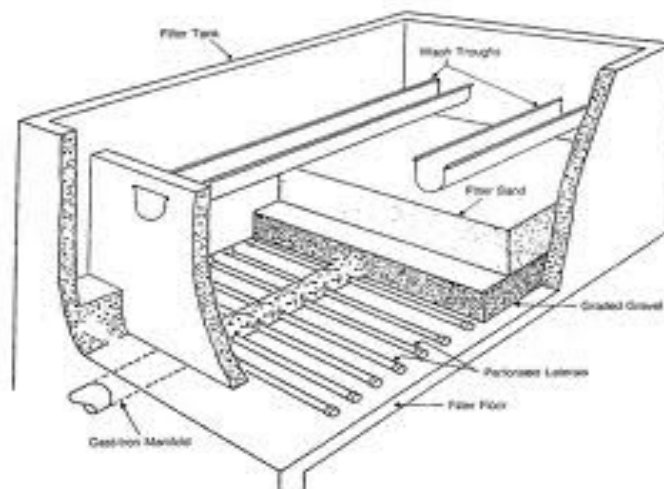


Figura 12 Filtro a sabbia a gravità

I filtri in pressione sono del tutto simili a quelli a gravità, ma vengono realizzati all'interno di un serbatoio chiuso in modo che la fase liquida al di sopra del letto possa essere mantenuta sotto pressione ottenendo, così, velocità di filtrazione più elevate.

L'azione filtrante è dovuta alla cattura delle particelle sospese da parte dei granuli dello strato filtrante, per mezzo delle forze molecolari di attrazione - *forza di Wan der Waals* - e delle forze di doppio strato elettrico che portano all'adesione della particella al granulo filtrante. L'impiego di particolari materiali al posto o in unione alla sabbia, migliora

l'attrazione e l'adesione delle particelle al mezzo filtrante. Il basso costo di esercizio fa preferire la filtrazione su strati a quella con filtri meccanici, che avviene con apparecchiature non molto dissimili da quelle tradizionali.

## **2.9 Degassaggio**

Talvolta occorre eliminare dall'acqua (principalmente dalle acque reflue) gas disciolti e sostanze volatili. In questo caso l'acqua viene sottoposta a trattamenti che prevedono l'insufflazione di aria, che, riducendo la pressione parziale dei gas disciolti (per es.  $\text{CO}_2$ ) e delle sostanze volatili (per es. idrocarburi liquidi a basso punto di ebollizione), li allontana dall'acqua. Alcune volte si effettua uno strippaggio con azoto, con recupero per adsorbimento su carbone attivo delle sostanze strippate (per es. solventi). Più raramente si effettua con vapore lo strippaggio dell'acqua contenente gas e sostanze volatili.

## **2.10 Congelamento**

La tecnica del congelamento non è molto usata, anche se permette di ottenere una depurazione molto spinta dell'acqua.

Procedendo al raffreddamento delle soluzioni si arriva alla temperatura di congelamento, che è funzione del contenuto di sostanze disciolte nell'acqua; si ottiene ghiaccio cristallino che viene separato dalla soluzione restante per centrifugazione, lavato e successivamente fuso. L'abbassamento di temperatura dell'acqua viene ottenuto mediante evaporazione a bassa pressione, compressione dei vapori e successiva espansione. In taluni impianti si utilizza come liquido refrigerante indiretto il butano; facendolo evaporare a pressione abbastanza elevata sottrae calore all'acqua che così congela.

I processi di congelamento, operando a bassa temperatura, non danno problemi di corrosione.

## **Trattamenti dell'acqua di mare**

### **2.11 Distillazione**

È uno dei processi più antichi per ottenere acqua ad alta purezza, ma è anche uno dei processi più costosi, in quanto occorre evaporare la quasi totalità dell'acqua che si vuole depurare; industrialmente la distillazione è ormai sostituita dalla deionizzazione e speciali sistemi di distillazione vengono usati per la dissalazione dell'acqua di mare.

Attraverso la distillazione dell'acqua di mare si riesce a produrre acqua a basso contenuto di sali, per cui il procedimento è impiegato sia nella produzione di acqua potabile che di acqua industriale.

In tutti i sistemi di dissalazione vi è in comune il fatto che si evapora solo una parte dell'acqua, per cui si ha una produzione di acqua dissalata e di una salamoia, che generalmente viene scaricata in mare dopo averne recuperato il calore per scambio con l'acqua di alimentazione (il consumo di calore è molto elevato). Anziché evaporare l'acqua

in un solo stadio e condensare il vapore prodotto, questo passa in un secondo stadio, ove a pressione leggermente ridotta evapora un altro quantitativo di acqua; si ha così il sistema a due, tre stadi che viene chiamato sistema a multiplo effetto.

Nel progettare un impianto si deve calcolare la convenienza di usare più effetti e perciò un impianto di maggior costo, in contropartita di un minor costo di esercizio, sul quale grava principalmente il consumo energetico.

Altro sistema è quello a termocompressione nel quale il vapore prodotto viene compresso provocando così un aumento di temperatura del vapore stesso. Diviene così possibile, inviandolo nel serpentino dell'evaporatore, sfruttarne il calore latente per far evaporare l'acqua. Anche in questo caso si scarica dall'evaporatore acqua distillata e salamoia.

Uno dei sistemi più usati è il multistadio: si tratta di operare l'evaporazione dell'acqua in più stadi mediante successive espansioni del liquido surriscaldato.

L'acqua di mare viene preriscaldata dalla condensazione del vapore nei tre stadi di espansione e poi riscaldata alla temperatura di ebollizione esistente al primo stadio. Nell'espansione, che si ha nel primo stadio, i vapori condensano e danno acqua distillata, l'acqua passa in un secondo stadio, ove si ha una seconda espansione ed infine nel terzo stadio; la temperatura di ebollizione diminuisce, in funzione della pressione, dal 1° al 3° stadio.

## 2.12 Osmosi inversa

E' noto che attraverso una membrana semipermeabile, che separa due soluzioni a diversa concentrazione, si viene a stabilire un flusso di liquido dalla soluzione più diluita a quella più concentrata ed il fenomeno prende il nome di *osmosi*.

In un tubo che all'estremità inferiore si allarga a calice si fissa una membrana semipermeabile e si riempie di una soluzione acquosa, per esempio di NaCl: immergendo il tubo in una vaschetta contenente acqua sino al livello L, non si stabilisce gradualmente lo stesso livello per il principio dei vasi comunicanti, ma si viene a verificare il dislivello L'- L, che ha un valore ben determinato che dipende dalla concentrazione di soluto; si stabilisce un flusso di acqua verso la soluzione e quando la pressione idrostatica esercitata dalla colonna liquida della soluzione è tale da impedire un'ulteriore diffusione di acqua nella soluzione stessa, si è raggiunto l'equilibrio e la pressione idrostatica corrispondente dà il valore della pressione osmotica.

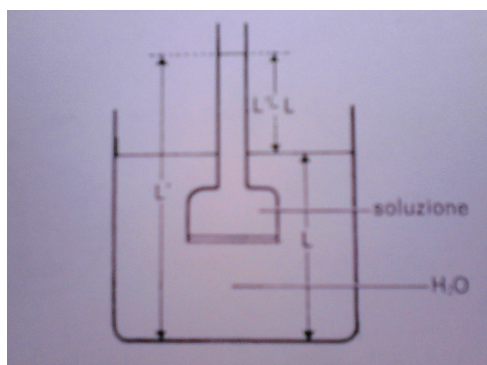


Figura 13 Cella di osmosi

Se in un recipiente che contiene una soluzione, separata dal solvente da una membrana, si applica una pressione superiore a quella osmotica, la soluzione tenderà a concentrarsi per il passaggio del solvente attraverso la membrana: il fenomeno è chiamato *osmosi inversa*.

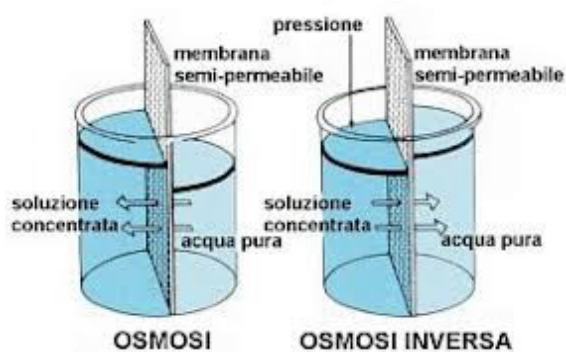


Figura 14 Osmosi e osmosi inversa

Attraverso l'osmosi inversa è possibile ottenere la separazione di acqua da soluzioni acquose, in quanto la membrana permette il passaggio del solo solvente, in questo caso acqua. L'osmosi inversa è applicata principalmente nella dissalazione dell'acqua di mare. L'acqua viene fatta passare nella cella di osmosi ad una pressione superiore a quella osmotica: acqua dolce passerà attraverso la membrana e si raccoglierà nella parte inferiore della cella, mentre nella parte superiore si preleva una soluzione salina più concentrata di quella alimentata. Con l'acqua di mare si viene ad avere una pressione osmotica di circa 25 atm per un contenuto di sali intorno a 35 g/l.

Le membrane sono fogli in acetato di cellulosa, a superficie porosa, che vengono inseriti in telai o avvolti su se stessi, così da formare un cilindro, che può essere supportato da un tubo poroso. Data la scarsa resistenza meccanica e chimica dell'acetato di cellulosa si sono successivamente preparate membrane in poliammidi ed in politetrafluorotetilene (PTFE). Uno degli ultimi tipi di processi di osmosi inversa non usa membrane, ma fibre cave porose in poliestere o in altri materiali polimerici.





## CAPITOLO 3

### Trattamenti biologici

I processi descritti precedentemente determinano tutte separazioni meccaniche tra materiali eterogenei mentre le sostanze inquinanti presenti in un'acqua allo stato disciolto non subiscono alcuna rimozione.

Nella depurazione degli effluenti sia urbani che industriali, sono sempre più usati i trattamenti di demolizione biologica per eliminare le sostanze organiche. I trattamenti biologici di depurazione riproducono grosso modo i processi di depurazione di un corpo d'acqua, attraverso i quali le sostanze organiche esistenti nell'acqua vengono demolite e trasformate in sostanze innocue, per mezzo di microrganismi. La differenza consiste nel fatto che il trattamento avviene in apparecchiature e con concentrazioni molto più elevate, per cui le trasformazioni avvengono con velocità e rendimenti molto maggiori.

La demolizione delle sostanze organiche avviene attraverso microrganismi aerobici, cioè che agiscono in presenza di ossigeno, e microrganismi anaerobici che invece richiedono l'assenza di ossigeno. Nel caso della demolizione aerobica delle sostanze organiche, i microrganismi utilizzando l'ossigeno, trasformano il C e l'H in  $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$  e, se presenti, N, S e P nei rispettivi derivati ossigenati; inoltre si moltiplicano a spese delle sostanze demolite. Nel caso della demolizione anaerobica, i microrganismi riducono solfati, nitrati, fosfati e le sostanze organiche, producendo  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$  e moltiplicandosi.

In natura si trovano associate molte specie di microrganismi, per cui in superficie nei corsi d'acqua e nei laghi, avviene una demolizione delle sostanze organiche attraverso un meccanismo aerobico; in profondità invece, ove vi è assenza di ossigeno, si ha un meccanismo anaerobico. Vi sono inoltre microrganismi chiamati facoltativi che possono, a seconda delle condizioni esistenti, comportarsi da aerobici o da anaerobici e che perciò agiscono nelle acque a profondità media.

Il meccanismo di trasformazione viene chiamato *metabolismo* ed industrialmente viene utilizzato facilitando le trasformazioni aerobiche ed anaerobiche, mediante opportune condizioni: temperatura, tempo di contatto, aggiunta di sostanze nutritive dei microrganismi, ecc. I microrganismi sono costituiti da batteri, funghi, protozoi, rotiferi e nematodi e si trovano fra loro associati; per semplicità ci riferiremo ai batteri. I batteri metabolizzando le sostanze organiche secernono enzimi che catalizzano le reazioni; gli enzimi sono sostanze a carattere colloidale del tipo proteine.

I microrganismi in presenza delle sostanze organiche si moltiplicano, prendendo il nutrimento da queste: mancando il nutrimento i microrganismi si autodistruggono.

I diversi sistemi di depurazione biologica utilizzano l'azione di degradazione delle sostanze organiche (*catabolismo*) e l'azione di sintesi che porta alla crescita di nuove cellule batteriche (*anabolismo*), per cui l'acqua si separerà da una massa fangosa costituita dai microrganismi e sostanze insolubili. I processi che vengono impiegati nel trattamento di acque reflue sono principalmente del tipo *aerobico*. In questi ultimi anni processi di trattamento anaerobico, in genere utilizzati per piccoli impianti, sono stati adottati anche in impianti di dimensioni discrete data la possibilità di utilizzare il metano (il *biogas*) che si ottiene dai composti organici contenenti carbonio ed idrogeno: i metodi anaerobici sono

più lenti, ma richiedono meno energia.

### 3.1 Sistemi di trattamento aerobico

Il trattamento aerobico delle acque può essere attuato con sistemi diversi fra i quali:

- percolazione e filtrazione;
- trattamento a fanghi attivi;
- bacini di ossidazione.

Pur essendo processi tecnologicamente diversi, il meccanismo di allontanamento delle sostanze organiche è sostanzialmente lo stesso per tutti i sistemi. L'abbattimento delle sostanze è strettamente legato alla crescita dei microrganismi a spese delle stesse.

#### 3.1.1 Meccanismo della biossificazione

La riproduzione dei microrganismi avviene generalmente per divisione cellulare binaria. Se  $n$  è il numero di atti generativi nel tempo  $t$ , il tempo medio di generazione è dato da

$$t_g = t/n \quad [1]$$

Se all'inizio da una cellula se ne sono generate 2, dopo si avranno  $2^2$ ,  $2^3$ ,  $2^n$  cellule, per cui chiamate  $x_0$  il numero di cellule iniziali, le cellule  $x$ , presenti nel tempo  $t$  saranno date da

$$x = x_0 2^n$$

e le cellule  $n$  formatesi saranno date da

$$n = (\ln x - \ln x_0) / \ln 2 \quad [2]$$

da cui si ha 
$$t_g = \ln 2 / (\ln x - \ln x_0) \quad [3]$$

che può essere scritta anche 
$$\ln (x/x_0) = t (\ln 2/t_g)$$

Poichè  $\ln 2/t_g$  è una costante, si ha

$$\ln (x/x_0) = k t \quad [4]$$

ossia 
$$dx/dt = k x \quad [5]$$

che è l'equazione della crescita, in cui  $k$  rappresenta la velocità di crescita specifica. In effetti però ci sono fattori che limitano la crescita e che sono legati alle condizioni esistenti ad alla natura del substrato organico; tenendo conto della concentrazione  $s$  del substrato, del decadimento cellulare  $b$  e del limite di saturazione  $k_s$ , nella crescita dei microrganismi:

$$dx/dt = k (s / k_s + s) x - bx \quad [6]$$

Nel processo di crescita dei microrganismi si possono distinguere le seguenti fasi:

- *iniziale stazionaria*: si ha la secrezione di enzimi che catalizzano le reazioni di demolizione del substrato organico;
- *avviamento*: le cellule cominciano a moltiplicarsi;
- *crescita illimitata*: le cellule non hanno limitazione nel moltiplicarsi (equazione [5]);
- *crescita limitata*: interviene una limitazione dovuta alla carenza di sostanze nutritive, per cui si ha un limite di saturazione alla crescita dei microrganismi (equazione [6]);
- *fase di autossidazione*: i microrganismi in mancanza di substrato nutritivo si fagocitano distruggendosi.

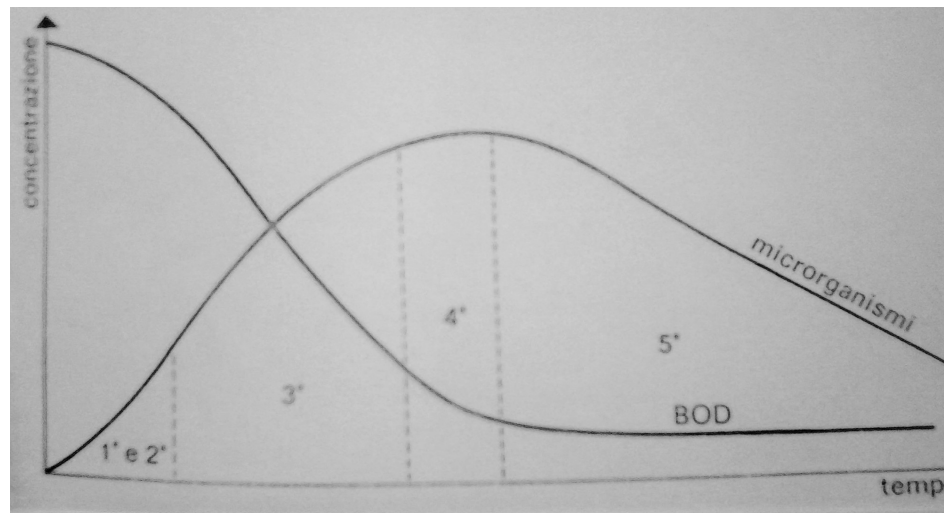


Figura 15 Andamento delle fasi di crescita dei microrganismi

L'andamento dei processi biologici è influenzato da molti fattori e principalmente:

- valore del pH: l'optimum è tra 6 e 8. I microrganismi sono sensibili sia a valori molto alti che a valori molto bassi;
- temperatura: ha influenza positiva sulla velocità di reazione ma diminuisce la solubilità in acqua dell'ossigeno. I microrganismi sono termolabili cioè oltre ad una certa temperatura muoiono (si opera intorno ai 30°);
- sostanze nutritive: occorre che oltre al carbonio siano presenti nel substrato organico anche altri elementi. Ove non lo siano, occorre somministrarli.
- sostanze tossiche: alcuni ioni metallici ( $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ), sostanze clorurate, cianuri, portano a rallentare o a bloccare le reazioni biochimiche.

Generalmente per stabilire se è applicabile un processo di trattamento biologico, si ricorre alla valutazione del rapporto BOD5/COD dell'effluente da trattare. Con valori  $>0,6$  i processi biologici sono applicabili senza limitazioni, con valori compresi tra 0,6 e 0,2 occorrono microrganismi selezionati, con valori  $<0,2$  i processi biologici non risultano applicabili.

### 3.1.2 Filtrazione biologica

E' il più antico sistema e può essere ottenuto attraverso una filtrazione sopra strati di sabbia, nei quali si viene a formare uno strato di popolazione biologica aerobica, che metabolizza le sostanze organiche contenute nell'acqua che passa attraverso il filtro.

Dai semplici filtri a sabbia, profondi pochi centimetri, si è passati ai filtri più profondi, costituiti da materiale diverso, quali sabbia inizialmente e poi strati di ciottoli di diversa dimensione: il funzionamento dei filtri è generalmente intermittente e si procede a periodi di trattamento, alternati a periodi di svuotamento e pulizia dei filtri. Questi filtri sono costituiti da vasche rettangolari sul fondo delle quali vi sono canalizzazioni di drenaggio che servono anche per fare affluire una controcorrente d'aria, che fornisce l'ossigeno necessario all'ossidazione delle sostanze organiche.

Processi di trattamento per filtrazione in continuo si hanno con l'impiego di percolatori: sono bacini, generalmente circolari nei quali vi è un riempimento costituito da pietrisco, proveniente dalla frantumazione di rocce, o anche da materiali plastici, sui quali si viene a formare una pellicola di microrganismi.

Il materiale di riempimento deve presentare grande superficie per unità di volume, basso costo, lunga durata e scabrezza per favorire l'aderenza del film biologico. Molto importante è la pezzatura: essa non deve essere troppo grossa in quanto offrirebbe una bassa superficie per unità di volume né troppo fine in quanto più soggetta a intasamenti.

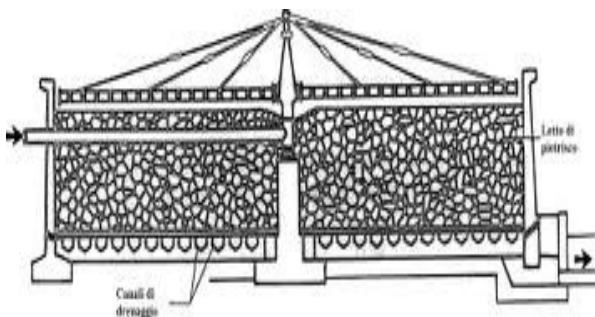


Figura 16 Filtro percolatore con letto di pietrisco

La distribuzione dell'acqua da trattare viene ottenuta attraverso un sistema di organi meccanici che irrorano la superficie del filtro, suddividendo l'acqua in minute goccioline che con il contatto con l'aria si ossigenano. Il sistema di distribuzione del liquame deve ottemperare al duplice requisito che il liquame venga irrorato uniformemente su tutta la sezione del filtro e che la portata specifica dell'alimentazione sia tale da consentire la bagnatura completa del riempimento.

Gli organi di distribuzione possono essere mobili o fissi. I distributori mobili possono essere motorizzati o funzionare per spinta idrodinamica; consistono in due o più bracci cavi sostenuti, tramite appositi tiranti, da un pilone centrale. Nei bracci fluisce il liquame che fuoriesce poi da ugelli opportunamente distanziati.

Il sistema fisso di distribuzione è costituito da un complesso di tubazioni e ugelli spruzzatori che assicurano l'irroramento di tutta la sezione.

Attraverso il pavimento forellato si ha il drenaggio dell'acqua trattata; infatti, la massa cellulare viene continuamente rinnovata poiché quella in eccesso si stacca a fiocchi dal film e fuoriesce con l'acqua stessa. Il sistema di drenaggio, il quale è costituito da mattoni forati o da elementi prefabbricati (in cemento o materiale plastico), consente anche il passaggio dell'aria per una ventilazione naturale, che porta ad un ulteriore arricchimento dell'ossigeno disciolto nell'acqua.

La ventilazione del film è assicurata dalla differenza di temperatura esistente tra interno ed esterno del filtro. In inverno la temperatura del liquame e, di conseguenza, la temperatura dell'aria circolante dentro il filtro è più elevata di quella dell'ambiente esterno: si ha, pertanto, una circolazione di aria dal basso verso l'alto; in estate la temperatura dell'aria esterna è maggiore di quella dentro il filtro e il senso di circolazione si inverte. L'escursione giornaliera della temperatura esterna in estate può dar luogo ad inversione del senso della ventilazione nel corso di una stessa giornata. In taluni casi si attua anche una ventilazione forzata, attraverso ventilatori ad inversione, che permette un maggior carico ai percolatori ed una maggiore difficoltà di ostruzione dei fori di drenaggio.

I percolatori possono essere messi in serie ed avere una ricircolazione separata per ciascuno; dopo la percolazione si deve attuare una sedimentazione, perchè l'acqua trattata contiene una parte della popolazione biologica, in quanto la pellicola di microrganismi tenta di staccarsi dal supporto, specie alle alte portate.

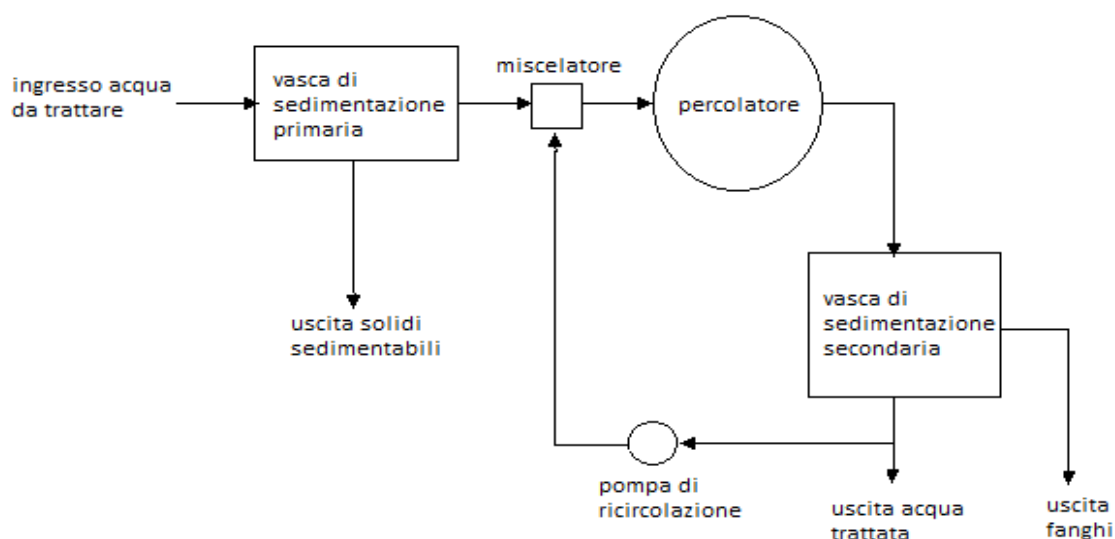


Figura 17 Schema di trattamento biologico per percolazione con ricircolazione

### 3.1.3 Trattamento a fanghi attivi

Il sistema a fanghi attivi si differenzia dal sistema a percolazione, non per il processo biochimico che vi si compie, ma per il tipo di apparecchiatura e per il fatto che, anziché l'acqua, si ricircolano i fanghi.

Il trattamento avviene anziché in un filtro, in una vasca di aerazione, ove si ha un'ossidazione spinta, dato l'intimo contatto che si viene ad avere fra i microrganismi che costituiscono i fanghi attivi, l'ossigeno e le sostanze organiche che si trovano disciolte o in sospensione nell'acqua. Poiché si ha una sovrapproduzione di fanghi, che risultano in eccesso rispetto al fabbisogno del processo, una parte di fanghi anziché ricircolare nella vasca di ossidazione, viene eliminata o inviata alla sedimentazione primaria che precede il trattamento biologico, in quanto i fanghi, data la loro caratteristica di essere fioccosi, facilitano i processi di sedimentazione.

E' pertanto necessario che i fiocchi vengano mantenuti in sospensione tramite un appropriato grado di agitazione e che sia assicurata una sufficiente concentrazione di ossigeno disciolto dentro la massa liquida. Allo scopo si usano apparecchiature di due tipi: a diffusione d'aria o ad agitazione meccanica.

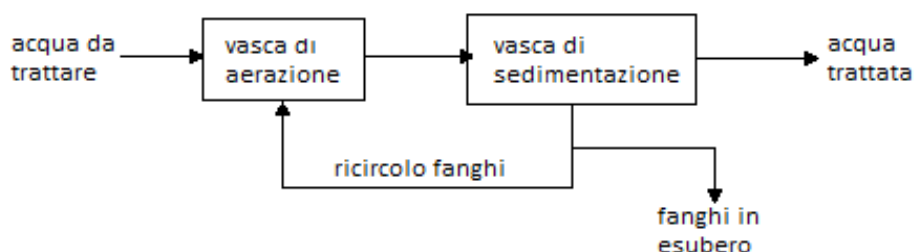


Figura 18 Schema di trattamento biologico a fanghi attivi

I sistemi d'aerazione a diffusione d'aria sono costituiti da:

- diffusori, turbine o cannoni (principalmente impiegati per l'ossigenazione dei laghi inquinati);
- tubazioni principali;
- compressori per l'alimentazione.

I sistemi differiscono tra loro per la grossezza delle bolle e per la profondità di immissione dell'aria nella vasca. Se da un lato la creazione di bolle fini aumenta l'efficienza di ossigenazione in quanto crea una maggior superficie di contatto tra aria ed acqua, dall'altro è economicamente svantaggiosa per il costo dei diffusori. La creazione di bolle grosse viene realizzata con diffusori grossolani poco costosi.

Il deposito dei fanghi nei periodi di inattività può causare occlusioni per cui è consigliabile che il sistema di montaggio permetta l'estrazione dei diffusori dalla massa liquida in tali periodi. I diffusori sono disposti sul fondo delle vasche così da dar luogo nella miscela aerata a uno stato di turbolenza assimilabile a un flusso a spirale.

Le tubazioni di collegamento fra compressori e diffusori sono realizzate in materiali resistenti alla temperatura e alla corrosione provocata dall'umidità (acciaio al carbonio zincato, materiali plastici di idonee caratteristiche); i tubi di distribuzione immersi nel liquido sono o in resine rinforzate o in altro materiale plastico di tipo pesante per sopportare anche le sollecitazioni meccaniche indotte dal compressore.

I sistemi d'aerazione ad agitazione meccanica utilizzano aeratori superficiali atti a provocare

il contatto fra l'aria atmosferica e la massa liquida contenuta dentro il bacino d'aerazione. Essenzialmente gli aeratori possono essere di due tipi:

- turbine ad asse verticale, costituite da un rotore verticale munito di palette immerse parzialmente nel liquame; si genera così un'intensa circolazione di liquido attraverso la turbina con formazione di un getto liquido a ombrello che realizza una grande superficie di contatto fra l'aria e il liquido.
- spazzole o rotori, costituiti da un tamburo rotante nel quale sono inserite numerose lamelle che favoriscono la ricircolazione della massa liquida e producono uno spruzzo di minute goccioline.

Gli aeratori superficiali sono sostenuti da apposite incastellature. Queste strutture devono essere sufficientemente robuste per resistere alle vibrazioni ed ai momenti torcenti in atto. Nel caso in cui sia necessario o preferibile evitare queste strutture si può ricorrere a turbine galleggianti.

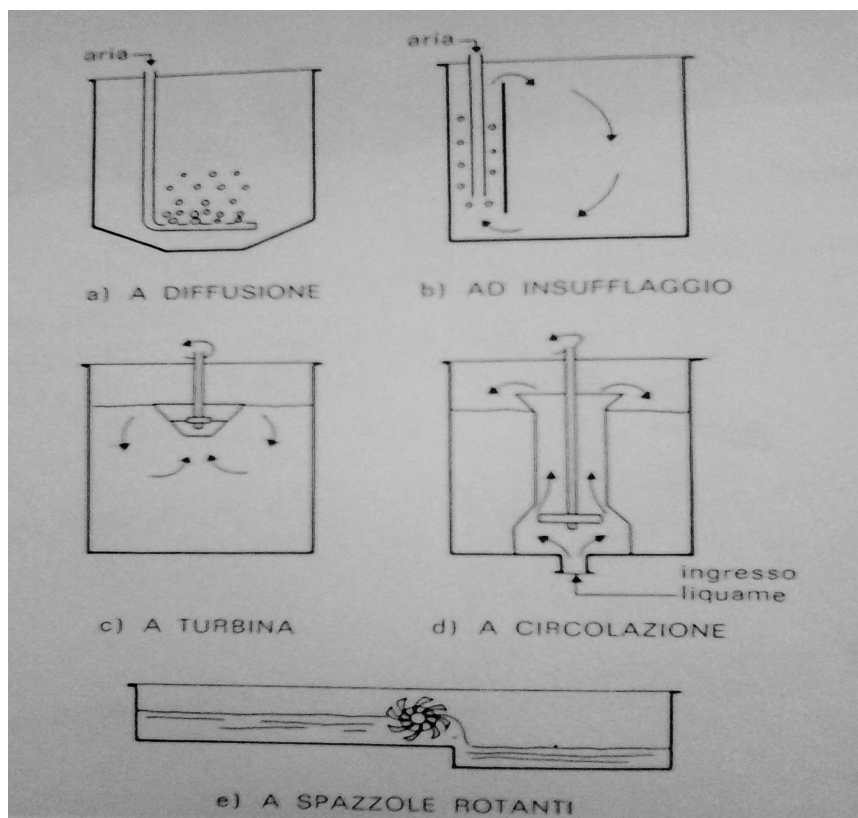


Figura 19 Schemi dei sistemi di aerazione nel trattamento a fanghi attivi

La forma delle vasche d'aerazione è scelta in relazione al sistema d'aerazione adottato: nel caso d'aerazione a diffusione d'aria si usano vasche rettangolari, mentre nel caso d'aerazione meccanica le vasche possono essere anche a pianta circolare. Soprattutto nei piccoli impianti, si adottano le vasche a bacino unico, in cui la vasca d'aerazione e il sedimentatore secondario costituiscono due compartimenti diversi di un unico organo.

Le vasche d'aerazione sono generalmente costruite in cemento o anche in ferro

opportunamente protetto. Il fondo della vasca può avere una leggera pendenza verso uno o più pozzetti di scolo dove vengono collocate le pompe sommerse quando si procede allo svuotamento periodico della vasca per pulizia e manutenzione.

Il sistema biologico a fanghi attivi viene impiegato sia per la depurazione di liquami cittadini, sia per la depurazione di acque reflue industriali, perciò contenenti sostanze ossidabili di tipo diverso. Affinchè il procedimento avvenga regolarmente occorre assicurarsi che non vi siano nell'acqua da trattare veleni che possono far morire i microrganismi, inoltre occorre che vi sia sufficiente quantità di ossigeno disciolto, senza eccedere però nel dosaggio, perchè un forte eccesso porta ad alterare le caratteristiche del fango attivo e rappresenta un inutile consumo di energia.

La quantità di ossigeno necessaria è funzione della portata dell'acqua da trattare e della domanda di ossigeno per l'ossidazione biologica, cioè del BOD.

Il consumo di ossigeno può essere così espresso:

$$R_r V = a' S_r Q + b' X_a V + k Q$$

in cui:

$R_r$  = ossigeno consumato [kg die]

$V$  = volume della vasca di aerazione [ $m^3$ ]

$a'$  = (kg di  $O_2$  utilizzato per ossidare le sostanze presenti / BOD (o COD) rimosso [kg $_{O_2}$ ])

$S_r$  = sostanze ossidabili rimosse (BOD o COD) [kg $_{O_2}$ ]

$Q$  = portata [ $m^3$  die]

$b'$  = frazione di sostanze volatili, presente nei fanghi, che viene ossidata [kg $_{O_2}$  die]

$X_a$  = concentrazione media dei solidi sospesi nella vasca di aerazione

$k$  = domanda di  $O_2$  per l'ossidazione chimica di sostanze facilmente ossidabili [kg $_{O_2}/m^3$ ].

Nel processo a fanghi attivi, che è esclusivamente aerobico, è sufficiente che vi sia disciolto nel liquido 0,5 ppm di  $O_2$ .

Infine nel trattamento a fanghi attivi occorre considerare l'età del fango: essa è data dal tempo in cui il fango permane nell'impianto.

L'età del fango viene espressa con la seguente formula:

$$E = (V S_m) / (Q S_e)$$

in cui:

$E$  = età del fango [giorni]

$V$  = volume della vasca di sedimentazione [ $m^3$ ]

$S_m$  = concentrazione media del fango nella vasca [ppm]

$S_e$  = concentrazione delle sostanze in sospensione nella miscela acqua + riciclo [ppm]

$Q$  = portata dell'acqua da trattare che entra nella vasca di aerazione [ $m^3$  die].



### **3.1.3.1 Campi di applicazione**

I trattamenti biologici aerobici sono largamente applicati in tutti i casi nei quali vi siano sostanze organiche ossidabili: il trattamento a fanghi attivi ha la preferenza sugli altri.

Uno dei primi impieghi è stato quello del trattamento dei liquami urbani prima di immetterli in fiumi, laghi ed in mare; in secondo tempo sono stati applicati anche agli effluenti industriali, specie ove vi siano idrocarburi, acidi organici, ecc. Anche nelle raffinerie di petrolio si sono applicati i processi biologici, per ridurre al minimo il carico di sostanze organiche negli effluenti, un tempo semplicemente depurati per deoleazione e neutralizzazione. Vi sono applicazioni dei processi biologici anche nel trattamento di effluenti contenenti sia sostanze organiche che ammoniaca e sali ammoniacali: in questo caso i microrganismi ossidano l'ammoniaca a nitriti e poi a nitrati.

Spesso l'impianto di trattamento biologico opera su effluenti misti derivanti da agglomerati urbani e da impianti industriali; si hanno vantaggi economici sia nei costi di installazione degli impianti di trattamento che nei costi di esercizio, in quanto si può avere una diluizione e conseguente diminuzione della concentrazione delle sostanze inquinanti.

I fanghi provenienti dal trattamento di acque reflue urbane (liquami) vengono talvolta utilizzati per il trattamento successivo di effluenti industriali.

In questo caso si hanno due impianti distinti di trattamento ed i fanghi del trattamento dei liquami passano ad un'ossidazione per aerazione, dopo la sedimentazione, che ha lo scopo di stabilizzare l'attività del fango. Si ha così il vantaggio di ottenere fanghi particolarmente attivi che permettono carichi specifici notevolmente elevati.

Come si è già accennato, nel trattamento a fanghi attivi generalmente non si arriva a sfruttare la fase endogena dei microrganismi e quindi vi è un esubero di fanghi. In taluni processi si ricorre invece ad un'ossidazione prolungata per cui si attua anche la fase di autossidazione dei microrganismi e si ha una forte diminuzione dei fanghi prodotti.

Negli impianti ad ossidazione prolungata, chiamati anche ad ossidazione totale, generalmente non si effettua la sedimentazione primaria; si ha una forte ricircolazione dei fanghi ed una riduzione del BOD intorno al 95% e, cosa importante per i piccoli impianti, una forte riduzione dei fanghi in eccesso, da smaltire.

### **3.1.4 Bacini ossidativi**

Vi sono altri sistemi di trattamento biologico meno diffusi di quelli a percolazione e a fanghi attivi e che trovano impiego in casi particolari.

Sempre attraverso processi ossidativi si possono trattare acque contenenti sostanze organiche, mediante soggiorno in bacini nei quali a spese di queste sostanze si sviluppano microrganismi ed alghe, che portano alla depurazione dell'acqua. Questi bacini possono essere semplici vasche profonde meno di un metro o veri e propri stagni profondi 2-3 metri. Il processo ossidativo è complesso ed è dovuto sia a batteri aerobici che attraverso l'ossigeno disciolto nell'acqua e proveniente dall'atmosfera trasformano le sostanze organiche in CO<sub>2</sub> e, se presenti, anche composti azotati in nitrati, sia ad alghe che sotto l'azione della funzione clorofilliana, dovuta all'ossigeno dell'atmosfera ed alla luce, si

moltiplicano a spese delle sostanze organiche; le alghe sono del tipo chlorella.

Nei bacini profondi si svolgono anche processi di degradazione delle sostanze organiche ad opera di batteri anaerobici con produzione di metano.

L'ossigeno necessario ai processi viene assorbito dall'atmosfera o attraverso una aerazione ottenuta per rimescolamento meccanico o per insufflaggio d'aria: nei bacini a profondità non superiore a 1,5 metri la luce arriva sino sul fondo per cui predomina l'attività fotosintetica delle alghe, con produzione di ossigeno che viene utilizzato per i processi aerobici. Con gli stagni ossidativi si arriva ad una rimozione del BOD intorno al 90%; questo sistema si sta diffondendo per il trattamento di effluenti industriali contenenti idrocarburi, fenoli, ecc., come quelli che provengono dall'industria petrolifera e petrolchimica.

Gli stagni ossidativi si prestano per i trattamenti degli effluenti, ove non vi sia carenza di spazio: il costo d'esercizio è basso.

L'ossidazione in bacini aerati differisce dal processo a fanghi attivi in quanto non si adotta il riciclo dei fanghi per mantenere una determinata concentrazione di microrganismi nel bacino e, generalmente, non è prevista nemmeno la sedimentazione finale.

### **3.1.5 Percolatori rotanti**

Un particolare tipo di processo aerobico è quello a dischi rotanti, chiamati anche percolatori ad immersione o anche biodischi.

Tale sistema è destinato al trattamento secondario di effluenti per rimuovere le sostanze organiche. Il principio sul quale si basa è quello di permettere il crescere della popolazione batterica sulla superficie di una serie di dischi che ruotano in una vasca contenente l'effluente da trattare e nel quale sono immersi per circa il 40%. I dischi sono generalmente di materiale polimerico (polietilene e più spesso polistirolo espanso). Ruotano ad una velocità di qualche giro al minuto e perciò sono alternativamente immersi nell'effluente ed esposti all'aria: con il contatto con l'aria, sulla superficie si forma un velo liquido contenente ossigeno che, in presenza dei batteri esistenti, provoca un'ossidazione della sostanza organica. Immergendosi nella vasca, il disco porta l'ossigeno in eccesso a disciogliersi nel liquido che occupa la vasca ed anche qui si provoca un'ossidazione biologica delle sostanze organiche.

In breve tempo sul disco si forma uno strato di 1 ÷ 3 mm di popolazione batterica, che cresce a spese dell'ossigeno e delle sostanze organiche: quando raggiunge uno spessore di circa 4 mm lo strato batterico nella rotazione si stacca e precipita nella vasca come fiocchi facilmente sedimentabili.

I dischi sono riuniti su uno stesso albero così da formare un tamburo rotante: ogni disco ha uno spessore di 10 ÷ 12 mm ed un diametro fra i 100 ed i 300 cm e ogni tamburo può portare sino a 200 dischi.

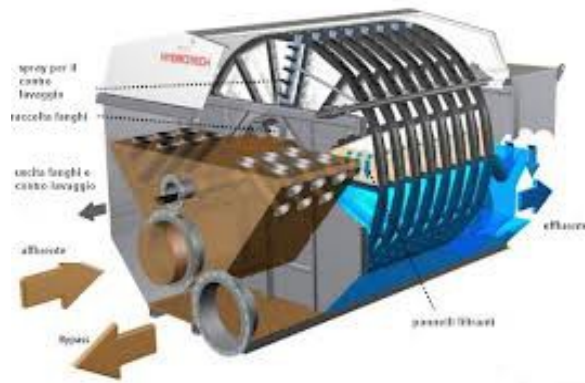


Figura 20 Tamburo a biodischi

Si impiegano vasche con un solo tamburo – impianti monostadio – o con due o più tamburi – impianti multistadio - .

Il sistema di trattamento a biodischi comprende una prima vasca di sedimentazione (per es. una vasca Imhoff) nella quale si inizia la degradazione biologica, la vasca a biodischi e la vasca di chiarificazione finale.

Il processo a biodischi è adatto in particolar modo al trattamento dei liquami provenienti da piccoli agglomerati urbani e comunità. Tale processo si presta anche al trattamento di effluenti industriali contenenti forti carichi organici (industrie lattiero-casearie, industrie farmaceutiche, ecc.). Si ha il vantaggio che il sistema consente forti oscillazioni di portata e di BOD ed inoltre, in caso di presenza di sostanze tossiche per i microrganismi, si ha la distruzione degli strati batterici dei primi dischi e rimane l'efficacia degli strati successivi, specie negli impianti multistadio.

### 3.2 Sistemi di trattamento anaerobico

La digestione anaerobica è utilizzata per trattare, oltre ai fanghi, anche le acque di scarico molto concentrate, come quelle dei macelli e delle distillerie, caratterizzate anche dalla presenza di elevate concentrazioni di solidi organici.

In questo processo, i microrganismi demoliscono le sostanze organiche con produzione di metano ed anidride carbonica.

La degradazione delle sostanze avviene molto più lentamente che nella bioossidazione ma si ha un minimo dispendio di energia e si può utilizzare il metano prodotto come gas combustibile. Dunque il processo di biodepurazione anaerobica presenta i seguenti vantaggi:

- minor costo d'esercizio (manca il consumo energetico dovuto all'aerazione);
- limitata produzione di fanghi;
- elevato grado di stabilizzazione dei fanghi prodotti;
- produzione di un gas, ricco in metano, di utile impiego;
- capacità di trattamento anche in corrispondenza a quantità di nutrienti nei liquami da trattare minori di quelle richieste dai processi aerobici;
- possibilità di trattamento anche nel caso di alimentazione discontinua dei liquami.

### **3.2.1 Trattamento nelle vasche**

Una delle prime applicazioni della demolizione anaerobica è quella delle fosse settiche per uso domestico, ancora oggi largamente impiegate.

Le fosse settiche sono vasche di dimensioni piuttosto ridotte nelle quali pervengono i liquami che depositano le sostanze direttamente sedimentabili e che fermentano in presenza dei batteri anaerobici abbondantemente presenti. Si forma un abbondante strato di schiuma superficiale che isola il liquame dall'eventuale presenza di aria nello spazio vuoto della vasca; si sviluppano, dalla demolizione delle sostanze organiche, prodotti volatili e prodotti solubili oltre a  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  e si forma una certa quantità di fango che si deposita sul fondo e deve essere rimosso ogni tanto. L'effluente delle fosse settiche è maleodorante e contiene germi patogeni, per cui è pericoloso il suo spandimento nel terreno.

Un tipo di vasca, più perfezionato per il trattamento anaerobico ed anche oggi usato, anche se in misura minore, dato l'affermarsi dei processi di percolazione e a fanghi attivi, è la vasca Imhoff, già descritta nei trattamenti meccanici.

### **3.2.2 Biodenitrificazione**

Un caso particolare di applicazione del sistema di depurazione anaerobica è quello della biodenitrificazione, cioè una riduzione enzimatica dei nitrati a nitriti e questi, attraverso l'azione di particolari batteri, vengono ridotti ad azoto gas. Come nutrimento dei microrganismi bisogna aggiungere all'effluente, se non già presente, una sostanza organica: di solito si aggiunge metanolo.

Il processo avviene in autoclavi agitate nei quali si semina inizialmente colture di microrganismi coltivati in laboratorio: i microrganismi sono del tipo pseudomonas, thiobacillus, ecc.

Una particolare applicazione della biodenitrificazione è quella del trattamento degli effluenti provenienti da un impianto di purificazione dell'uranio che contengono circa il 35% di nitrati.

## CAPITOLO 4

### Trattamenti chimici

L'impiego di prodotti chimici per il trattamento delle acque è stato in un primo tempo rivolto alle acque grezze ed in particolare all'abbattimento della durezza. Successivamente si è reso necessario l'impiego di prodotti chimici per modificare le caratteristiche delle acque di scarico che come tali non potevano essere avviati ai fiumi.

Il trattamento chimico si è inserito poi come trattamento terziario nella depurazione di effluenti urbani ed industriali in quanto i trattamenti fisici e biologici non sempre erano sufficienti a portare gli effluenti alle caratteristiche volute.

Per trattamento chimico si intende l'impiego di prodotti chimici per ottenere in acque grezze o reflue, le caratteristiche desiderate: non sempre questi prodotti portano a reazioni chimiche, per cui sarebbe più corretto parlare di trattamento chimico-fisico. Nel linguaggio tecnico è però ormai uso considerare chimico ogni tipo di trattamento ottenuto attraverso l'impiego di composti preparati dall'industria chimica.

I prodotti chimici, oltre che per depurare le acque, vengono usati anche come additivi per impartire o modificare alcune caratteristiche; si impiegano biocidi, inibitori di corrosione, ecc. che vengono aggiunti all'acqua destinata a particolari impieghi.

#### 4.1 Neutralizzazione

Per mezzo della neutralizzazione si corregge, soprattutto nel caso di scarichi industriali, il pH dell'acqua, di acidi o basi, in modo da portarne il valore entro intervalli compatibili con la protezione delle acque o con la fattibilità dei processi di depurazione prescelti.

Le acque reflue hanno spesso un forte contenuto di alcali o di acidi e perciò richiedono grandi quantità di neutralizzanti.

Sia per le acque di primo impiego, sia per il riciclo o lo scarico delle acque reflue, si richiede un valore di pH non lontano da 7; per le acque industriali, ad evitare corrosioni, si preferisce avere una debole alcalinità.

*Neutralizzazione con calce.* La calce è il reagente alcalino più economico. Sotto tale nome si indicano in genere:

- carbonato di calcio       $\text{CaCO}_3$
- calce viva                 $\text{CaO}$
- calce idrata               $\text{Ca(OH)}_2$

Nei trattamenti di potabilizzazione, per neutralizzare l'acidità si impiega generalmente latte di calce.

Nei trattamenti di deacidificazione degli effluenti si impiega, oltre al latte di calce, calce idrata in polvere e talvolta si fa passare il liquido su pezzi di calcare.

*Neutralizzazione con calcare.* La neutralizzazione mediante percolazione su letti di calcare viene condotta in più vasche in serie. La soluzione acida si mescola nella prima vasca con la corrente di riciclo, attraversa il letto di calcare dal basso in alto e passa nelle due vasche successive, dove sedimenta sia il materiale trascinato che eventuali prodotti di reazione insolubili.

*Neutralizzazione con soda.*

*Neutralizzazione con acidi.* Per neutralizzare l'alcalinità si utilizzano generalmente acido solforico  $H_2SO_4$ , acido cloridrico  $HCl$ ; la reazione è praticamente istantanea.

## 4.2 Ossidazione

L'ossidazione ha lo scopo di allontanare sostanze presenti nell'acqua grezza o nelle acque reflue, trasformandole in altre che non sono dannose o provocandone l'allontanamento.

Si è già parlato dell'ossidazione biologica per il trattamento di acque reflue: per alcuni casi è preferibile l'ossidazione chimica che può avere anche effetti concomitanti favorevoli.

A seconda dei casi, come prodotti ossidanti e riducenti si usano:

- ossigeno atmosferico;
- cloro e i suoi composti;
- ozono;
- nitrati;
- solfato ferroso;
- anidride solforosa e derivati.

Il cloro ed i cloroderivati sono preferiti come ossidanti, sia per ragioni chimiche, sia per la facilità di impiego.

Il trattamento di ossidazione è destinato alla depurazione delle acque contenenti sostanze sia inorganiche che organiche. Effluenti industriali possono contenere sostanze inorganiche come solfuri, cianuri, nitriti, ecc.; le acque grezze possono contenere come sostanze inorganiche, solfuri, nitriti, sali manganosi, ecc.

L'impiego di cloro e di cloroderivati ad azione ossidante, ha una particolare importanza ed il procedimento va sotto il nome di *clorazione*.

La clorazione svolge sia un'azione ossidante, sia un'azione biocida: cioè l'azione è rivolta anche alla distruzione di alghe, batteri e microrganismi vari, che pregiudicano l'impiego o possono recare danno ai corpi idrici nei quali le acque vengono riversate.

Per l'efficace azione biocida posseduta, cloro e cloroderivati vengono impiegati largamente nel trattamento degli effluenti urbani e nella potabilizzazione delle acque superficiali.

Il cloro gassoso viene fatto gorgogliare nell'acqua da trattare, dosandolo in modo che si abbia un leggero eccesso rispetto allo stechiometrico, cioè alla quantità teoricamente necessaria alle reazioni.

Il cloro in presenza di sostanze organiche porta alla formazione di cloroderivati, per esempio clorofenoli se sono presenti fenoli, che possono impartire all'acqua un sapore disgustoso.

Invece del cloro gassoso si possono impiegare:

- ipoclorito di calcio  $Ca(ClO)_2$ ;
- ipoclorito di sodio ( $NaClO$ ): viene impiegato solo per piccoli impianti;
- biossido di cloro ( $ClO_2$ ): viene impiegato negli impianti di potabilizzazione; sebbene il processo sia difficile da controllare, viene impiegato per la forte azione disinfettante e perchè non provoca reazioni che portano a composti di cattivo sapore ed odore.

Un altro ossidante che serve per la disinfezione e per l'allontanamento di molte sostanze che impartiscono colorazione ed odore, è l'ozono ( $O_3$ ): l'ozono è particolarmente efficace nell'ossidazione dei fenoli e dei cianuri.

La preparazione dell'ozono, per scarica elettrica in un flusso d'aria, permette di inviare nell'acqua da trattare ozono in quantità facilmente dosabile: il processo è usato per piccoli impianti di trattamento di effluenti industriali e per la disinfezione delle acque di impianti sanitari, piscine e simili.

Per la potabilizzazione dell'acqua, in impianti occasionali e mobili (per esempio cantieri e reparti militari) si impiega permanganato di potassio ( $\text{KMnO}_4$ ) e principalmente derivati clorurati dell'ammoniaca, cioè le cloroammine e le cloroammidi.

### 4.3 Riduzione

I processi di riduzione per la depurazione delle acque non hanno una particolare diffusione, in quanto sono pochi i casi nei quali necessita ridurre i composti presenti.

La riduzione viene attuata per esempio per l'allontanamento dello ione  $\text{Cr}^{6+}$  ed è questo il processo industrialmente più diffuso basato sulla riduzione.

Come agenti riducenti si impiegano anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ ), metabisolfito di sodio ( $\text{NaHSO}_3$ ) e solfato ferroso. Talvolta si attua una riduzione per allontanare il  $\text{Cl}_2$  in soluzione rimasto a fine clorazione.

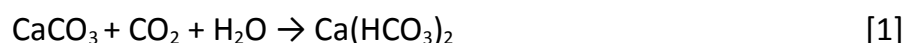
### 4.4 Addolcimento per precipitazione

Per addolcimento si intendono i trattamenti destinati ad abbassare la durezza delle acque. La precipitazione avviene mediante l'aggiunta di un composto chimico che rilasci in soluzione ioni con i quali l'elemento da rimuovere dia composti insolubili.

Un'acqua è chiamata dolce quando la sua durezza non supera i 15 gradi francesi e la durezza è dovuta al contenuto di ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

Per uso potabile ed industriale le acque vengono addolcite quando superano valori della durezza che possano provocare disturbi all'impiego: un'acqua potabile dura è principalmente poco adatta alla cottura dei cibi ed al lavaggio; un'acqua dura, nell'impiego industriale, provoca principalmente incrostazioni.

Per addolcire le acque si impiegano prodotti che permettono l'allontanamento di buona parte dei sali di Ca e Mg. La solubilità del  $\text{CaCO}_3$  in acqua è molto bassa mentre quella del  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  è relativamente alta: in presenza di  $\text{CO}_2$  si viene ad avere la seguente reazione di equilibrio:



L'acqua, perdendo  $\text{CO}_2$  disciolta, fa precipitare  $\text{CaCO}_3$  che si deposita nelle tubazioni: la perdita di  $\text{CO}_2$  può avvenire per aerazione, riscaldamento, abbassamento della pressione.

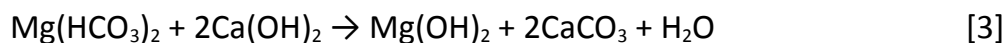
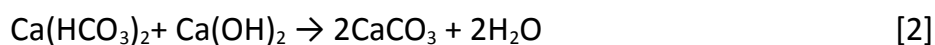
Alle alte temperature inoltre la reazione [1] ha l'equilibrio spostato verso sinistra ed il  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  si decompone rapidamente, per cui un'acqua contenente  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  non si presta per essere impiegata a temperature superiori a  $60^\circ\text{C}$ . Il calcio è presente anche sottoforma di  $\text{CaCl}_2$  e di  $\text{CaSO}_4$ ; talvolta il  $\text{CaSO}_4$  è in quantità rilevante quando le acque sotterranee o

superficiali sono venute in contatto con rocce gessose.

Il magnesio si trova presente specialmente come  $MgSO_4$  e come  $MgCO_3$ .

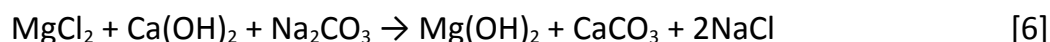
L'addolcimento viene poco usato nella potabilizzazione delle acque, mentre invece è quasi sempre necessario per le acque industriali; i trattamenti di addolcimento per precipitazione hanno perso la loro importanza con il sorgere dei trattamenti di deionizzazione, preferendosi abbattere la durezza prima per addolcimento e poi passare alla deionizzazione. Per taluni impieghi – raffreddamento, processi chimici, industria cartaria, ecc. - l'addolcimento con mezzi chimici è sufficiente a portare l'acqua a valori di durezza richiesti; per altri impieghi si procede ad un trattamento successivo di deionizzazione completa, come è necessario, ad esempio, per l'alimentazione delle caldaie.

L'allontanamento dei carbonati – chiamato *decarbonatazione* – è stato uno dei primi processi di trattamento chimico delle acque e viene attuato con idrossido di calcio ( $Ca(OH)_2$ ) secondo le reazioni:



Le reazioni avvengono a freddo e spesso il trattamento viene abbinato alla neutralizzazione dell'acidità o avviene in concomitanza con la coagulazione.

Si impiega  $Na_2CO_3$  insieme alla  $Ca(OH)_2$  (metodo calce-soda) per abbattere oltre alla durezza temporanea (durezza da bicarbonati) anche la durezza permanente, dovuta agli altri sali di Ca e Mg. Gli altri sali di Ca e Mg, fra i quali frequentemente prevale il  $CaSO_4$ , reagiscono secondo:



La reazione viene fatta avvenire ad una temperatura intorno ai  $60^\circ C$  per renderla più rapida: per riscaldare si usa spesso iniettare vapore nell'acqua.

Attraverso i trattamenti di addolcimento si viene ad allontanare sotto forma di precipitati, buona parte della durezza arrivando a valori di circa 2÷4 gradi francesi.

L'addolcimento con calce viene praticato attraverso il dosaggio della quantità di  $Ca(OH)_2$  richiesta o sotto forma di latte di calce o sotto forma di calce in polvere; più raramente si impiega calce in zolle. Si dosa il quantitativo aggiungendo il latte di calce nella tubazione di acqua che alimenta la successiva vasca di decantazione o direttamente nella vasca; la vasca deve essere necessariamente agitata per permettere la omogenea distribuzione del reattivo. I carbonati che precipitano si raccolgono sul fondo e vengono estratti come fango.



## 4.5 Coagulazione-flocculazione

Nell'acqua grezza e nelle acque reflue, provenienti sia dagli scarichi urbani che industriali, possono trovarsi sostanze diverse come:

- sospensioni di sabbie, argille, composti chimici, ecc.;
- emulsioni di oli, grassi, idrocarburi, ecc.;
- sostanze organiche ed inorganiche in soluzione colloidale;
- sostanze varie in soluzione.

Se i materiali in sospensione sono di tipo colloidale, la diminuzione della turbolenza dell'acqua non è sufficiente a farli sedimentare, a causa delle piccole dimensioni delle particelle e della agitazione spontanea della stessa connessa alle cariche elettriche. Normalmente nelle soluzioni colloidali il diametro delle particelle è inferiore a 0,002 micron. La separazione per sedimentazione è possibile per le sostanze in sospensione grossolana che richiedono tempi abbastanza brevi (massimo 3÷4 ore), diviene praticamente inattuabile per le sostanze in sospensione finissima.

La sedimentazione può avvenire soltanto a seguito della destabilizzazione dei colloidali, cioè attraverso l'annullamento delle cariche superficiali. Questo effetto è ottenibile attraverso l'aggiunta all'acqua di elettroliti, di composti chimici, come solfato di alluminio, solfato di ferro, cloruro di ferro, che formino polimeri organici ionizzabili che sono detti polielettroliti. I polielettroliti possono essere di origine naturale, come alcuni derivati dell'amido e della cellulosa.

La destabilizzazione delle cariche è nota con il nome *coagulazione*.

La coagulazione si ottiene aggiungendo all'acqua sostanze chimiche che provocano un'alterazione delle forze che tendono a tener disperse le particelle.

Gli idrossidi metallici e i polimeri organici, oltre a funzionare come coagulanti, favoriscono anche l'aggregazione delle particelle, che vengono adsorbite superficialmente e collegate a formare particelle di dimensioni e peso maggiori, che sedimentano facilmente. Tali aggregati, che possono raggiungere la dimensione di qualche millimetro, sono detti fiocchi e il meccanismo della loro formazione è detto *flocculazione*.

L'operazione combinata di coagulazione, flocculazione e sedimentazione è detta *chiariflocculazione*.

La coagulazione e la flocculazione hanno esigenze contrastanti, poiché la prima richiede una forte agitazione che favorisca la dispersione del coagulante, la seconda richiede invece una agitazione lenta, tale comunque da favorire l'incontro tra le particelle per la formazione del fiocco, ma non tanta da produrre la rottura dello stesso. Perciò le due operazioni avvengono in apparecchiature separate o in compartimenti diversi di una medesima apparecchiatura.

Un chiariflocculatore si compone perciò di tre comparti distinti, nei quali avvengono rispettivamente la coagulazione, la flocculazione e la sedimentazione.

### 4.5.1 Meccanismo della coagulazione e della flocculazione

Le forze che tengono disperse le particelle sono di natura prevalentemente elettrostatica.

E' noto che i colloidi rispetto all'acqua presentano una natura idrofila o idrofoba.

La stabilità di un colloide idrofilo dipende dall'idratazione superficiale delle particelle, che crea una barriera che si oppone al contatto di una particella con l'altra.

La stabilità di un colloide idrofobo dipende dalla carica elettrica superficiale posseduta da ogni particella e che è dovuta sia alla presenza di gruppi ionici disposti alla sua superficie, sia all'adsorbimento di ioni dal mezzo nel quale si trova disperso.

Lo strato di ioni richiama sulla superficie un numero pari di ioni di segno contrario dalla soluzione nella quale si trova dispersa la particella; perciò, nel caso più comune che sulla superficie vi siano adsorbiti degli anioni, la particella in soluzione attirerà sulla superficie dei cationi. Le forze di attrazione sono particolarmente forti vicino alla superficie della particella e diminuiscono man mano che ci si allontana da questa, sino ad annullarsi in un dato punto dello spazio.

Lo strato di ioni positivi esistente alla superficie della particella viene chiamato *strato stazionario* (o di *Stern*), vi è poi uno *strato diffuso* (o di *Gouy*), nel quale la concentrazione di ioni man mano che ci si allontana dalla particella si avvicina sempre di più a quella della soluzione.

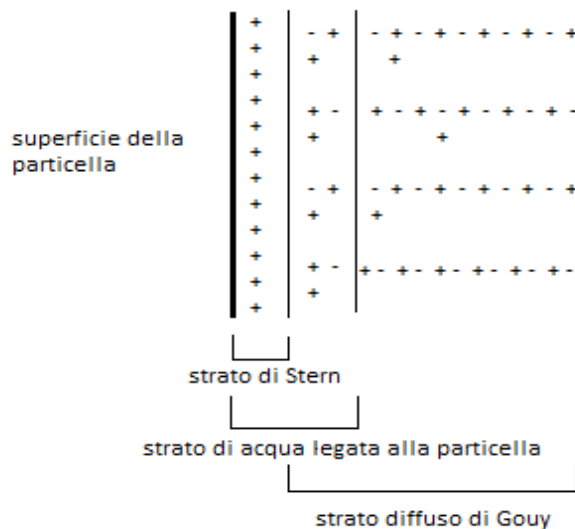


Figura 21 Schema della disposizione delle cariche alla superficie delle particelle

Un doppio strato elettrico porta come conseguenza che si ha una zona ove esiste un potenziale elettrico di un dato valore, circondata da una zona a potenziale zero; la differenza di potenziale esistente tra la superficie della particella ed il punto a potenziale zero viene chiamato *potenziale di Nerst*. La differenza di potenziale esistente tra lo stato stazionario ed il punto a potenziale zero viene chiamato *potenziale zeta*.

Aumentando la concentrazione dell'elettrolita, aumenta la possibilità che gli ioni positivi siano richiamati alla superficie della particella, arricchendo così lo strato stazionario, per cui il potenziale zeta diminuirà e potrà anche cambiare di segno; le forze di repulsione, che sono di natura elettrostatica, diminuiscono con il diminuire del potenziale zeta, sino ad

annullarsi. A questo punto prevalgono le forze di Van der Waals e le particelle possono riunirsi e formare dei fiocchi.

Nella pratica, aggiungendo un elettrolita ad una sospensione colloidale, si rompe la sua stabilità ed agitando, si fa sì che aumenti la possibilità di incontro delle particelle, che a contatto avvenuto tenderanno ad aggregarsi sempre più, aumentando le dimensioni dell'aggregato, in funzione delle forze di coesione.

L'insieme del fenomeno di precipitazione delle sostanze colloidali in una sospensione acquosa, si distingue perciò nelle seguenti fasi:

- coagulazione dovuta alla variazione delle forze elettrostatiche ottenuta per aggiunta di un elettrolita;
- flocculazione dovuta a forze di tipo Van der Waals;
- sedimentazione dovuta alla forza di gravità.

#### 4.5.2 Prodotti impiegati come agenti coagulanti

Molti sono i prodotti che possono essere usati come coagulanti. I sali di ferro e di alluminio sono stati i primi prodotti impiegati come agenti coagulanti; anche attualmente trovano largo impiego sia nella coagulazione di acque grezze destinate ad uso industriale e potabile, sia nel trattamento di acque reflue industriali ed urbane. Per citarne alcuni:

- *solfo di alluminio*: ha una buona azione coagulante a pH da 5 a 7, si trova sotto forma di pezzi, granuli e di polvere;
- *cloruro basico di alluminio* chiamato anche *policlorigli di alluminio*: rispetto al solfo di alluminio ha un potere coagulante superiore in campi di pH che vanno da 5 a 10. Viene impiegato nel trattamento delle acque di fiume destinate ad uso potabile, in quanto ha un buon potere coagulante sia verso le argille che le sostanze organiche.
- *alluminato di sodio*: non ha trovato molto impiego negli impianti di trattamento europei ed è praticamente non usato in Italia.
- *cloruro ferrico*: agisce in un campo di pH che va da 4 a 10, ha lo svantaggio di essere molto corrosivo e di portare a colorazione, se usato in leggero eccesso;
- *solfo ferrico*: viene impiegato in un campo di pH che va da 8 a 11;
- *clorosolfo ferrico*: viene impiegato principalmente per il trattamento dei liquami urbani e di effluenti industriali;
- *polielettroliti organici*.

Accanto agli agenti coagulanti, si hanno gli *ausiliari di coagulazione*; si tratta di prodotti che permettono un aumento della velocità di flocculazione, una diminuzione delle quantità di agente coagulante, oltre ad un aumento del campo di pH. Spesso vengono aggiunti per avere fanghi che possano essere più densi e più facilmente disidratabili; si impiegano come ausiliari: silice attivata, betoniti e silicoalluminati di origine naturale e sintetica.

### 4.5.3 Campi e tecniche di applicazione

La coagulazione viene impiegata sia nel trattamento delle acque grezze che nella depurazione delle acque reflue industriali e dei liquami urbani. La coagulazione con agenti chimici viene talvolta impiegata contemporaneamente al trattamento biologico; in questo caso occorre una scelta accurata dell'agente coagulante per non avere controindicazioni nei riguardi dell'azione dei microrganismi. Il trattamento di coagulazione unito al trattamento biologico permette una rimozione dei fosfati presenti che supera il 90%.

Gli impianti di coagulazione sono costituiti da un apparecchio di miscelazione dell'agente coagulante e degli ausiliari con l'acqua da trattare, dall'apparecchio di coagulazione e dal chiarificatore.

La miscelazione deve avvenire in modo che nel tempo più breve si abbia una soluzione omogenea dei coagulanti e perciò si usa un agitatore veloce.

La coagulazione con conseguente formazione dei fiocchi deve avvenire con agitazione molto lenta in modo che i fiocchi possano aggregarsi fra loro senza depositarsi sul fondo dell'apparecchio. La sedimentazione, che è la fase più lunga del processo, deve avvenire in apparecchi che permettano ai fanghi di depositarsi e di spillare in superficie un'acqua chiarificata, cioè priva di sostanze in sospensione; la sedimentazione può avvenire in bacini statici o in chiarificatori muniti di un lento agitatore, che porta i fanghi ad addensarsi sul fondo.

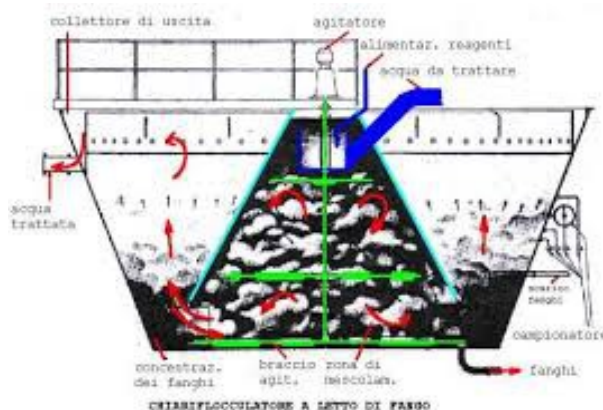


Figura 22 Chiariflocculatore

Quando la coagulazione viene attuata su acque grezze, come nel caso della potabilizzazione o della depurazione di acque destinate ad uso industriale, l'aggiunta di agenti di coagulazione ha lo scopo principale di chiarificare l'acqua, provocando la flocculazione delle sostanze inorganiche in sospensione direttamente non sedimentabili.

#### 4.5.3.1 Coagulazione e trattamenti biologici

Trattando effluenti urbani o industriali, si possono ottenere buoni risultati di depurazione, con il solo trattamento di coagulazione, con bassi carichi di inquinanti organici; generalmente però si ricorre ad un trattamento di coagulazione abbinato ad un trattamento di biossificazione. Nel caso in cui si ricorra al trattamento chimico abbinato al trattamento

biologico, si può operare nelle seguenti maniere:

1. Pretrattamento biologico mediante aerazione prima della coagulazione;
2. Trattamento primario con coagulanti e trattamento secondario a fanghi attivi;
3. Trattamento primario con coagulanti e trattamento biologico secondario (es. percolazione, ossidazione con biodischi).

Nel primo caso si impiegano sia coagulanti inorganici che polielettroliti; si ha una sensibile riduzione del carico organico e un forte abbattimento delle sostanze in sospensione.

Nel secondo caso, pur essendo impiegati anche coagulanti inorganici, si preferiscono i polielettroliti che richiedono dosaggi minimi ( $0,25 \div 0,50$  ppm); in questo ambito di dosaggi i polielettroliti, non solo non interferiscono con l'azione biologica dei fanghi, ma aumentano anche la densità dei fanghi stessi.

Si può impiegare anche un trattamento di coagulazione misto, a coagulanti inorganici (per es. solfato ferroso) e polielettroliti, avendo così il vantaggio, con la formazione di grossi fiocchi di idrato, di precipitare i fosfati e di ridurre il consumo di polielettrolita.

Impiegando solo i polielettroliti, questi si possono immettere come soluzione, attraverso pompe dosatrici, nella tubazione di riciclo dei fanghi attivi; in questo caso si ha una sola sedimentazione ed il polielettrolita svolge principalmente la funzione di coadiuvante di sedimentazione.

#### **4.5.3.2 Allontanamento dei fosfati**

Il trattamento policloruro di alluminio e con sali di ferro, oltre alla coagulazione delle sostanze in sospensione porta all'allontanamento dei fosfati.

Nelle acque sono presenti sia gli ortofosfati alcalini provenienti dai liquami urbani, sia polifosfati, derivanti principalmente dai detersivi.

Mediante l'impiego dei coagulanti inorganici e della calce, gran parte dei fosfati precipita come fosfati insolubili: la precipitazione dei fosfati, quando il trattamento è specificatamente destinato a questo scopo, avviene prima attraverso un'aggiunta di calce, poi coll'aggiunta di coagulanti a base di Al o di Fe ed infine col trattamento biologico.

#### **4.6 Trattamento con scambiatori di ioni**

In certi casi è necessario avere nell'acqua un contenuto di ioni praticamente nullo (per esempio nell'acqua di alimentazione delle caldaie ad alta pressione), mentre in altri casi sia sufficiente allontanare solo gli ioni calcio e magnesio, responsabili della durezza: in ambedue i casi si può ricorrere al trattamento con scambiatori di ioni.

Con il nome di scambiatori di ioni si definiscono sostanze naturali e sintetiche, che hanno la proprietà di scambiare i propri ioni con quelli contenuti nell'acqua.

Gli scambiatori di ioni sono nati a seguito della necessità di disporre di acqua di alimentazione delle caldaie a vapore sempre più pura. L'addolcimento di un'acqua attraverso lo scambio di ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  con ioni  $\text{Na}^+$  per mezzo di alcuni materiali naturali, come le zeoliti, costituiti da alluminio-silicati, è stata una delle prime applicazioni dello

scambio di ioni.

In un primo tempo ci si dedicò alla preparazione delle zeoliti sintetiche, che attraverso un opportuno dosaggio dei componenti, venivano ad avere un maggior potere di scambio rispetto alle naturali. Le zeoliti sintetiche, pur avendo una buona capacità di scambio, venivano a perdere con una certa gradualità, ma abbastanza presto, le loro caratteristiche; inoltre le zeoliti, naturali o sintetiche, possono scambiare solo i cationi, mentre spesso vi è la necessità di allontanare anche gli anioni, per ottenere una completa deionizzazione.

L'osservazione che le zeoliti si presentavano con struttura fortemente porosa, portò allo studio di prodotti di natura organica che si potessero ottenere per sintesi: cioè che presentassero la stessa struttura e nei quali, attraverso opportune reazioni, si potessero introdurre gruppi attivi per lo scambio ionico. Ci si indirizzò in un primo tempo alle resine fenoliche, passando successivamente alle resine cationiche, cioè capaci di scambiare ioni con carica positiva.

Successivamente furono preparate resine anioniche, capaci cioè di scambiare ioni con cariche negative.

Lo scambio ionico dunque è basato sull'impiego di resine scambiatrici di ioni, sulle quali si fissano i cationi o gli anioni di cui si desidera la rimozione.

L'alto costo della rigenerazione e i problemi connessi con lo smaltimento delle soluzioni rigeneranti esauste confinano praticamente l'impiego di questo processo ai casi in cui i cationi e gli anioni fissati possono essere convenientemente recuperati e riutilizzati. Tipico a questo riguardo è il caso delle soluzioni di metalli pregiati.

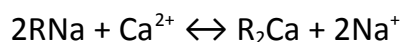
#### 4.6.1 Aspetti teorici

Una resina cationica possiede un reticolo con cariche negative e ioni mobili – controioni – con carica positiva capaci di scambiarsi con altri ioni della stessa polarità.

Le resine anioniche possiedono un reticolo con cariche positive e controioni con cariche negative.

Le resine cationiche in forma acida e le resine anioniche in forma basica si comportano come acidi e basi rispettivamente: come si hanno acidi e basi forti e deboli, analogamente si hanno resine cationiche ed anioniche forti e deboli in funzione delle caratteristiche dei gruppi attivi presenti.

Le reazioni di scambio ionico sono reversibili; per esempio nel caso dello scambio di ioni  $\text{Na}^+$  con ioni  $\text{Ca}^{2+}$  si ha



Cioè la resina con ioni  $\text{Na}^+$  messa in contatto con una soluzione contenente ioni  $\text{Ca}^{2+}$ , passerà da resina sodica a resina calcica; però se successivamente viene messa in contatto con soluzioni concentrate di ioni  $\text{Na}^+$ , si ripristinerà la resina sodica.

Mentre le reazioni ioniche avvengono rapidamente, le reazioni di scambio ionico avvengono con basse velocità; questo fenomeno è stato spiegato con la necessità degli ioni di penetrare entro la struttura della resina, per poi scambiarsi.

Cioè la reazione trova il suo stadio limitante nella diffusione degli ioni in soluzione entro la struttura della resina e di qui necessità che le resine a scambio ionico siano preparate in maniera tale da conferire loro un'elevata porosità e quindi una grande superficie specifica. La temperatura gioca un effetto favorevole allo scambio ionico, sia nell'accelerare la reazione, sia nel rendere la struttura della resina più permeabile, dilatando i pori.

La resina messa in contatto con una soluzione acquosa salina si dissocerà in ioni; i controioni saranno perciò liberi di migrare e di scambiarsi con gli ioni presenti nella soluzione e che si sono diffusi nella resina stessa. All'interfaccia resina/soluzione, cioè sulla superficie della resina, si stabilirà una concentrazione di ioni presenti nella soluzione acquosa, che si scambieranno con i controioni mobili della resina e che si saranno anch'essi portati alla superficie. Nella pratica lo scambio ionico avviene facendo passare la soluzione su un letto di resina posto in una colonna: si opera cioè in condizioni nettamente differenti da quelle statiche. Operando in colonna con una soluzione di determinata concentrazione e con un letto di resina che gradualmente si esaurisce, intervengono molti altri fattori.

#### **4.6.2 Caratteristiche delle resine scambiatrici di ioni**

Le resine scambiatrici di ioni sono polimeri, ottenuti attraverso polimerizzazione di stirene, monomeri acrilici, fenoli, divinilbenzene, ecc. nei quali si introducono gruppi attivi per lo scambio di ioni. Nella polimerizzazione attraverso l'opportuno dosaggio e scelta dei monomeri, si ottiene una struttura tridimensionale tale da conferire alla resina un'insolubilità nei principali solventi ed una buona resistenza meccanica.

La polimerizzazione avviene in sospensione acquosa, ottenendo così delle sferette di polimero, al quale, attraverso l'aggiunta di particolari solventi rigonfianti, che vengono poi eliminati, si conferisce una struttura porosa.

Fra i monomeri più usati figurano lo stirene ed il divinilbenzene: il copolimero tridimensionale ottenuto dai due monomeri viene poi fatto reagire con composti che attaccano alla catena polimerica gruppi attivi di diverso carattere.

Nella catena polimerica si possono introdurre gruppi come COOH, NH<sub>2</sub>, NHR, ecc., ottenendo così resine scambiatrici di cationi o resine scambiatrici di anioni.

La struttura porosa, ha il preciso compito di favorire lo scambio, sia facilitando la diffusione degli ioni, sia conferendo una grande superficie specifica. La porosità permette anche un adsorbimento delle sostanze non ioniche in soluzione, facilitando così il loro allontanamento dall'acqua: la porosità può essere regolata attraverso l'aggiunta di solventi volatili in fase di polimerizzazione, il rigonfiamento delle sferette e particolari procedimenti di finitura della resina.

Le dimensioni dei pori debbono permettere non solo un facile adsorbimento delle sostanze non ioniche ma anche un altrettanto loro facile allontanamento nella fase di rigenerazione e lavaggio.

A seconda dei gruppi attivi posseduti, generalmente le resine a scambio ionico vengono chiamate:

**a) resine solfoniche:** caratterizzate da gruppi  $\text{SO}_3\text{H}$  che possono esistere come tali o salificati ( $\text{SO}_3\text{Na}$ );

**b) resine carbossiliche:** caratterizzate da gruppi  $\text{COOH}$  che possono esistere in forma acida o salificata;

Queste resine sono capaci di scambiare i cationi.

**c) resine con gruppi amminici:** contengono gruppi amminici  $\text{NH}_2$  e  $\text{NHR}$ ;

**d) resine con gruppi ammonici quaternari:** contengono gruppi ammonici quaternari  $\text{NR}_4$ .

Queste resine scambiano gli anioni.

Le resine vengono fornite dalle società produttrici allo stato secco o allo stato umido, cioè dopo che sono state immerse in acqua ed in soluzioni saline; viene preferito l'invio allo stato umido in quanto con l'immersione in acqua le resine subiscono un rigonfiamento che le porta alle condizioni migliori di impiego, eliminando anche tensioni interne che possono pregiudicare la resistenza meccanica. Le resine secche prima dell'impiego debbono essere perciò sottoposte ad un lento rigonfiamento.

Una resina possiede una determinata *capacità di scambio*: si definisce capacità totale di scambio la quantità totale di ioni che la resina è capace di scambiare.

Nella pratica ci si riferisce alla capacità pratica di scambio, cioè alla quantità di ioni che possono essere scambiati prima che nella soluzione trattata appaia in quantità apprezzabile lo ione indesiderato.

Cioè la capacità pratica viene ad essere inferiore alla capacità totale, perchè non si opera nelle condizioni ottimali di scambio per molti fattori legati alle variabili operative e perchè si vuole stare lontani dal totale esaurimento della resina.

#### **4.6.3 Processi di trattamento con resine**

Il trattamento con resine avviene facendo passare l'acqua in una colonna contenente un letto di resina: il letto è generalmente fisso, cioè le sferette sono tenute ferme e l'acqua passa attraverso lo strato di resina; talvolta si usa un letto fluttuante, cioè le sferette sono in sospensione nella colonna, impedito ad uscirne da appositi setti con fori di dimensioni inferiori al diametro delle sferette stesse e l'acqua entrando in colonna fluidifica il letto di resina.

La resina dopo che ha scambiato un dato quantitativo di ioni viene rigenerata; le operazioni di rigenerazione avvengono generalmente con questa sequenza:

- lavaggio in controcorrente con acqua, per allontanare le eventuali sostanze estranee (detriti, pagliuzze, sabbia, ecc.) che possono essere state trattenute dal letto e per ridistribuire il letto, che con il passaggio dell'acqua da trattare subisce delle stratificazioni;



- immissione della soluzione rigenerante alla temperatura e con la concentrazione e portata, prescritte per il tipo di resina;
- lavaggio in equicorrente con acqua deionizzata per eliminare il rigenerante in eccesso.

Data la capacità pratica di scambio di una resina, il ciclo di rigenerazione può essere iniziato o a periodi prefissati di tempo, se la portata di acqua da trattare è costante, o in base ai dati analitici dell'acqua depurata.

La soluzione rigenerante ripristina la resina allo stato primitivo; a lungo andare si ha un decadimento nella capacità di scambio che porta a dover rinnovare la resina. La diminuzione della capacità di scambio avviene gradualmente a causa di sostanze estranee che si depositano nei pori, alla frantumazione delle sferette e ad altre cause.

Negli impianti più complessi si hanno più colonne, o in parallelo o in serie.

Si impiegano anche colonne in serie con resine cationiche ed anioniche rispettivamente o con resine dello stesso tipo ma con gruppi attivi di tipo forte (per es.  $\text{SO}_3\text{H}$ ) e di tipo debole ( $\text{COOH}$ ). Si hanno per certe applicazioni particolari colonne a letto misto: nella stessa colonna si mette una resina anionica ed una cationica. La resina anionica più leggera si porta nella parte alta e la resina cationica nella parte bassa.

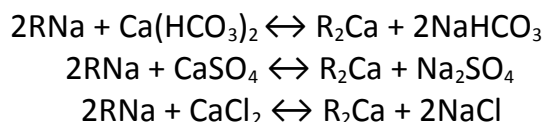
La rigenerazione nelle colonne a letto misto viene effettuata inviando la soluzione sulla cationica, dal basso e facendola uscire nel punto di separazione dei due strati; si effettua poi la rigenerazione dell'anionica con soluzione di  $\text{NaOH}$ , inviandola dall'alto ed estraendola sempre nella zona centrale. Si effettua infine un lavaggio con acqua e successivamente per insufflaggio di aria si mescolano le due resine.

Il sistema a letto misto è particolarmente adatto per piccoli impianti.

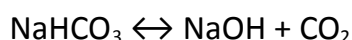
I principali campi di applicazione delle resine a scambio di ioni sono qui di seguito riportati.

*Addolcimento delle acque.* Si impiegano resine cationiche in forma sodica; viene eliminata sia la durezza da carbonati (durezza temporanea) sia la durezza permanente dovuta agli altri sali di calcio e magnesio presenti, principalmente cloruri e solfati.

Le reazioni, riferendosi ai soli sali di calcio, sono:

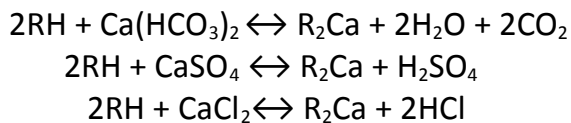


Si ha l'allontanamento degli ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  ed in soluzione si vengono ad avere ioni  $\text{Na}^+$ . Si ottengono durezza molto basse, ma si ha lo svantaggio, specie dovendo abbattere molto alte, di un'elevata quantità di  $\text{NaHCO}_3$ , che a caldo si decompone secondo la



impartendo all'acqua una forte alcalinità.

Quando non è tollerata una forte alcalinità, si ricorre al trattamento con resina cationica in forma acida. Si vengono ad avere le seguenti reazioni:



La CO<sub>2</sub> può essere facilmente allontanata per insufflaggio di aria; gli acidi che si formano hanno lo svantaggio di richiedere apparecchiature resistenti alla corrosione e di dover essere successivamente neutralizzati.

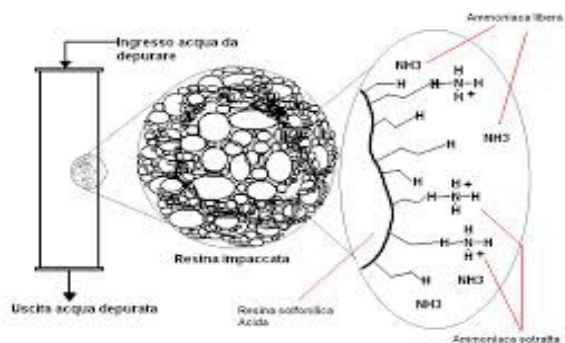


Figura 23 Composizione della resina

Poichè il ciclo con resina cationica nelle due forme presenta alcuni inconvenienti, principalmente legati alla corrosività che si ha nella parte dell'impianto del ciclo acido, si ricorre al trattamento con due resine cationiche in forma acida, di cui una debole, che scambierà solo il Ca ed il Mg dei bicarbonati, e l'altra forte in una colonna successiva in materiale resistente alla corrosione, che scambierà il Ca ed il Mg dei solfati e dei cloruri. La CO<sub>2</sub> viene allontanata per degassaggio e l'acidità viene neutralizzata da uno scambiatore finale a resina anionica.

In questo caso si ha il vantaggio di avere un'acqua a bassissima durezza e ad alcalinità praticamente assente.

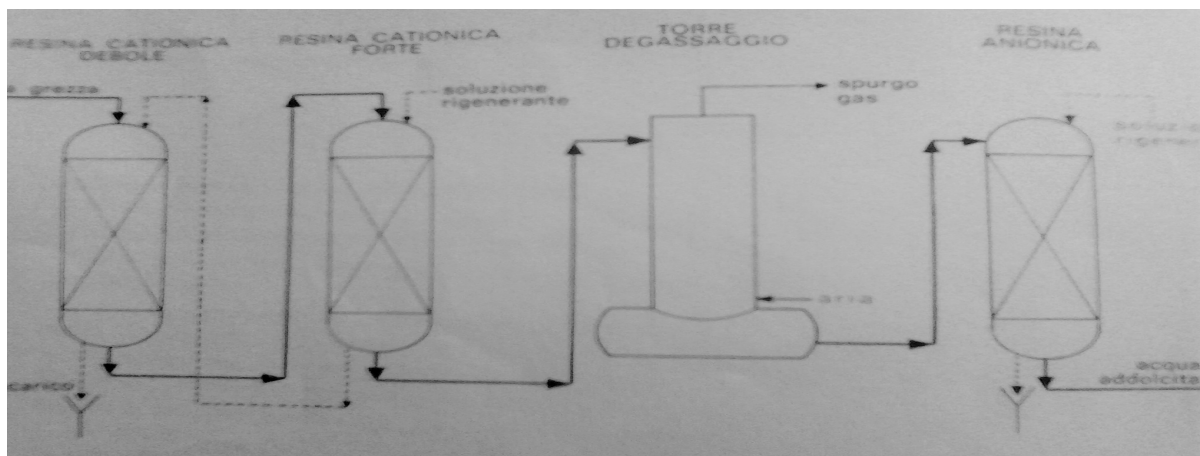


Figura 24 Schema di un impianto per l'addolcimento dell'acqua con resina cationica debole e resina cationica forte e stadio finale con resina anionica

*Decationizzazione.* Talvolta è necessario l'allontanamento di tutti i cationi: si impiegano allo scopo resine cationiche in forma idrogeno.

La decationizzazione può rappresentare il primo stadio della demineralizzazione di un'acqua. Il procedimento si presta per allontanare  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , ecc. La rigenerazione avviene con acidi. Si opera con una o più colonne in serie.

*Demineralizzazione.* Viene così definito il trattamento di completa eliminazione dei sali in soluzione, un tempo possibile solo attraverso la distillazione.

Si usano successivamente due tipi di resine, una cationica in forma acida ed una anionica. Ogni tipo di scambiatore deve essere rigenerato separatamente: per i cationici si usano soluzioni acide e per gli anionici soluzioni di NaOH. Nei trattamenti completi di demineralizzazione occorre eliminare la  $\text{CO}_2$  e la silice.

Poichè il costo di trattamento con resine scambiatrici è abbastanza elevato, si fanno precedere ai trattamenti di scambio ionico quelli di addolcimento con zeoliti e più frequentemente con  $\text{Ca(OH)}_2$  per allontanare la massima parte di ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

#### **4.6.4 Necessità della rigenerazione**

Nell'impiego, le resine scambiatrici di ioni possono essere danneggiate e perdere così la loro attività parzialmente o totalmente.

Vi sono danneggiamenti di natura meccanica che portano ad una rottura delle sfere e ad un aumento delle perdite di carico entro la colonna ed allo sgretolamento delle sfere, che vengono così asportate dalla colonna stessa.

Le variazioni di concentrazione ionica che si vengono ad avere durante i trattamenti di rigenerazione ed i successivi lavaggi, provocano forti variazioni nella pressione che generano contrazioni o rigonfiamenti della resina, con conseguenti variazioni nella sua resistenza meccanica e nella porosità.

L'aumento di temperatura può provocare uno shock termico che porta ad alterazioni nella struttura e a rottura delle sfere.

Si possono avere anche danneggiamenti di origine chimica, quando si trattano acque reflue, per la presenza di sostanze ossidanti che provocano una diminuzione della resistenza meccanica.

Gli impianti di trattamento con resine, specie quelli di maggiori dimensioni, marcano in automatico e per lunghi periodi, senza che vi sia la necessità di sostituire il letto di resina, se si adottano le varie prescrizioni scrupolosamente, sia nella messa in esercizio dello scambiatore che durante l'impiego.

#### **4.7 Depurazione per adsorbimento**

L'adsorbimento su carboni attivati viene utilizzato principalmente per rimuovere dall'acqua sostanze organiche persistenti, cioè resistenti alla degradazione biologica. L'adsorbimento può essere effettuato disperdendo nell'acqua carbone in polvere, che viene poi flocculato,

sedimentato o filtrato e raccolto, o facendo attraversare dall'acqua letti porosi formati da carbone attivato in granuli.

Come prodotti adsorbenti si usano oltre ai carboni silicoalluminati, SiO<sub>2</sub>, polimeri ed altri prodotti che abbiano una grande superficie specifica.

Il carbone attivato, disponibile sia sotto forma granulare che di polvere, è caratterizzato da una elevata area superficiale per unità di peso; da ciò la sua notevole capacità di adsorbimento. Per contro, sostanze organiche come gli zuccheri ed il metanolo non sono facilmente adsorbite.

La velocità di adsorbimento è strettamente legata alle dimensioni medie dei granuli di carbone e al pH. La presenza di torbidità o di solidi in sospensione nelle acque da trattare riduce la capacità di adsorbimento del carbone, in quanto provocandone una parziale occlusione della struttura porosa diminuisce la superficie disponibile per l'adsorbimento.

Per evitare occlusioni del letto, normalmente è necessario filtrare preventivamente l'acqua da trattare.

Nel contatto tra materiale adsorbente e sostanze presenti nell'acqua spesso si viene a verificare oltre al semplice adsorbimento fisico un chemiadsorbimento.

Nell'adsorbimento fisico sono in gioco le forze di Van der Waals, nel chemiadsorbimento intervengono forze con energie dello stesso ordine di quelle di legame e l'adsorbimento può anche risultare irreversibile. Nel trattamento delle acque si cerca tuttavia di avere preferenzialmente adsorbimento fisico.

L'adsorbimento di un liquido da parte di un solido è un fenomeno che avviene all'interfaccia. Per studiare l'adsorbimento reversibile si utilizzano le isoterme di Langmuir e di Freundlich che danno la quantità di sostanza adsorbita, in funzione della sua concentrazione in fase liquida, a temperatura costante.

A basse concentrazioni, la quantità in grammi ( $x$ ) di componente che viene adsorbito (comunemente chiamato *adsorbato*) divisa per la massa ( $m$ ) dell'adsorbente, è spesso proporzionale alla concentrazione dell'adsorbato nel solvente in cui è disciolto; perciò si può scrivere

$$x / m = k c \quad [1]$$

Freundlich, indicando con  $k$  e  $n$  delle costanti, scrive l'isoterma come segue:

$$x / m = k c^n \quad [2]$$

L'isoterma di Langmuir

$$x / m = (k_1 k_2 c) / (1 + k_1 c) \quad [3]$$

ha applicazione in un campo più vasto di concentrazioni e le costanti rappresentano:

- $k_1$  una costante correlata alla capillarità dell'adsorbente;
- $k_2$  una costante correlata alla quantità di adsorbato che satura l'unità di superficie dell'adsorbente.

Alle basse concentrazioni la [3] si riduce a

$$x / m = k_1 k_2 c \quad [4]$$

ed alle alte temperature si approssima alla

$$x / m = k_2 \quad [5]$$

Cioè alle basse concentrazioni la quantità adsorbita, a parità di altre condizioni, è proporzionale alla concentrazione mentre alle alte concentrazioni ne è indipendente ed è proporzionale a  $k_2$ , cioè dipende dalle caratteristiche dell'adsorbato.

La cinetica con la quale si ha l'adsorbimento è determinante, dal punto di vista tecnico ed economico, infatti occorre ottenere buone velocità per avere dimensioni non eccessive dei filtri adsorbenti.

Le variabili che influenzano l'adsorbimento sono numerose: natura dell'adsorbato, dimensioni delle particelle, porosità dell'adsorbente, temperatura ecc.

Per desorbire i componenti trattenuti e rigenerare così l'adsorbente, si usano tecniche diverse: nella rigenerazione si ha generalmente un decadimento della capacità di adsorbimento, sia perchè non tutte le sostanze adsorbite vengono restituite, sia perchè si altera la porosità e la struttura dei granuli.

Il carbone esaurito può essere rigenerato secondo quattro diverse tecniche:

- lavaggio con solvente;
- lavaggio acido o alcalino;
- rigenerazione a vapore;
- rigenerazione termica.

La tecnica quasi universalmente adottata al momento è quella della rigenerazione termica, condotta ad una temperatura di 900-930°C, in atmosfera a basso contenuto di ossigeno. In tali condizioni si ha la completa combustione delle sostanze organiche, con una minima combustione del carbone.

#### **4.7.1 Campi e tecniche di applicazione**

I processi e le apparecchiature utilizzate nell'adsorbimento dipendono in larga parte dal tipo di carbone, in polvere o granulare, utilizzato.

Il carbone in polvere viene direttamente dosato nella corrente liquida e, dopo un opportuno tempo di contatto, separato per via meccanica. Il carbone in polvere non può essere rigenerato.

Il carbone granulare viene utilizzato in colonne analoghe ai normali filtri a gravità o pressione. Si impiegano colonne in serie o in parallelo.

Nella potabilizzazione delle acque si usa carbone attivo.

Il carbone serve a trattenere sostanze che impartiscono odori e sapori.

Nel trattamento con fanghi attivi si può usare carbone attivo in polvere per coadiuvare l'azione biochimica. Le particelle di carbone adsorbono sostanze organiche ed inorganiche,

che possono essere tossiche per i microrganismi e agiscono da supporto per questi; nel decantatore dei fanghi, si ottiene un fango più spesso ed un'acqua più limpida, con quantità di carbone intorno alle 400 ppm.

Il carbone esaurito viene spurgato dal fondo della colonna, periodicamente o in continuo, ed inviato alla rigenerazione.

Il caricamento delle colonne ed il reintegro del carbone viene effettuato a mezzo di aria o acqua; è preferibile il secondo metodo che elimina il problema delle polverosità e riduce le perdite di carbone per attrito, nonché l'erosione delle tubazioni.

Per scopi diversi dalla depurazione delle acque, si impiegano materiali adsorbenti quali terre vive decoloranti, bauxiti, silicoalluminati e silice, allumina, ecc.; questi materiali hanno trovato scarso impiego nella depurazione delle acque.

Hanno invece trovato applicazione i *polimeri macroporosi*. Questi polimeri adsorbenti si ottengono attraverso la copolimerizzazione di particolari monomeri (stirene, divinilbenzene, ecc.) ed in presenza di solvente che, allontanati dopo polimerizzazione, creano nel polimero una struttura fortemente porosa.

Si presentano in sferette e si ottengono con la tecnica della polimerizzazione in soluzione acquosa.

I campi di applicazione sono:

- allontanamento dei solventi clorurati;
- allontanamento di solventi aromatici;
- depurazione di acque;
- depurazione di acque di scarico di industrie che producono composti organici.

## 4.8 Elettrodialisi

Esistono membrane definite *permeoselettive*, che permettono il passaggio attraverso di esse di determinate specie ioniche o molecolari. Membrane che possiedono gruppi attivi, capaci di scambio ionico, lasciano passare solo ioni positivi, se contengono gruppi con cariche positive e viceversa; si comportano cioè in modo analogo alle zeoliti ed alle resine a scambio ionico.

Membrane permeoselettive possono essere utilizzate nell'osmosi inversa (pag. 29), accoppiando all'effetto della pressione quello della permeoselettività: in questo caso si parla di piezodialisi.

Membrane permeoselettive capaci di scambio ionico sono impiegate nell'elettrodialisi, dove si facilita il flusso di ioni attraverso la membrana, per mezzo di un campo elettrostatico esterno. Le membrane hanno una struttura costituita da una matrice, che contiene cariche fisse e controioni mobili, che possono essere facilmente scambiati con gli ioni di una soluzione con la quale le membrane vengono messe in contatto.

Si hanno perciò membrane cationiche, che contengono gruppi fortemente acidi come  $\text{SO}_3\text{H}$  o deboli come  $\text{COOH}$ , e membrane anioniche che contengono gruppi basici forti come  $\text{R}_4\text{N}^+$  o deboli come  $\text{RNH}_2$ . Si hanno membrane di natura inorganica con struttura molto simile alle zeoliti e membrane di natura organica, costituite da polimeri.

Allo scopo di impedire che nella membrana penetrino troppi ioni della stessa polarità delle cariche fisse, occorre che queste siano in numero sufficiente a creare una repulsione elettrica verso gli ioni dello stesso segno (co-ioni) e che siano distribuite uniformemente entro i pori. Questi debbono essere inoltre abbastanza stretti così da creare un forte campo elettrico. Le membrane a scambio ionico presentano una resistenza elettrica che dipende dai gruppi fissi ionicamente attivi, dal diametro medio dei pori e dalla natura del materiale che costituisce la membrana.

Le membrane per dare buone prestazioni debbono avere una buona permoselettività e una bassa resistenza elettrica, oltre, naturalmente, ad una sufficiente resistenza meccanica.

Si ottengono membrane non omogenee per inserimento di composti inorganici tipo zeoliti in un film polimerico o per inserimento di resine a scambio ionico in un materiale agglomerante; si preparano membrane non omogenee anche per trattamento di un film di polimero. Membrane omogenee si preparano attraverso reazioni di copolimerizzazione di stirene con divinilbenzene in modo da ottenere un copolimero a struttura reticolata.

Le membrane che danno le migliori prestazioni sono quelle a base di polimeri dello stirene.

Le membrane polimeriche sono quelle industrialmente più usate ma hanno l'inconveniente di non resistere a temperature superiori a 50°C e di essere soggette all'attacco batterico.

#### **4.8.1 Processo dell'elettrodialisi**

L'elettrodialisi può essere impiegata per ridurre il contenuto salino di un'acqua. Essa è basata sull'impiego di membrane a permeabilità selettiva verso gli anioni e verso i cationi. Disponendo queste membrane, separate da idonei spaziatori, in un pacco, alternando le cationiche con le anioniche e facendo attraversare il pacco da una corrente elettrica continua si ottiene che i compartimenti delimitati dalle membrane alternativamente si impoveriscono e si arricchiscono di sali.

Come già accennato, il passaggio degli ioni attraverso una membrana viene facilitato se si applica un campo elettrostatico esterno mediante due elettrodi posti ai due lati di una membrana e si stabilisce una differenza di potenziale; gli ioni della soluzione, nella quale sono immersi membrana ed elettrodi, fluiranno verso l'elettrodo di segno opposto e la membrana farà passare solo gli ioni con la stessa polarità delle sue cariche fisse.

Se, anziché utilizzare una sola membrana, si utilizzano due membrane, una cationica ed una anionica o più membrane messe in serie alternativamente e si fa passare una soluzione salina si otterrà che gli ioni migreranno, secondo la loro carica, o verso l'anodo o verso il catodo e nello spazio compreso fra le due membrane rimarrà una soluzione a bassa concentrazione ionica.

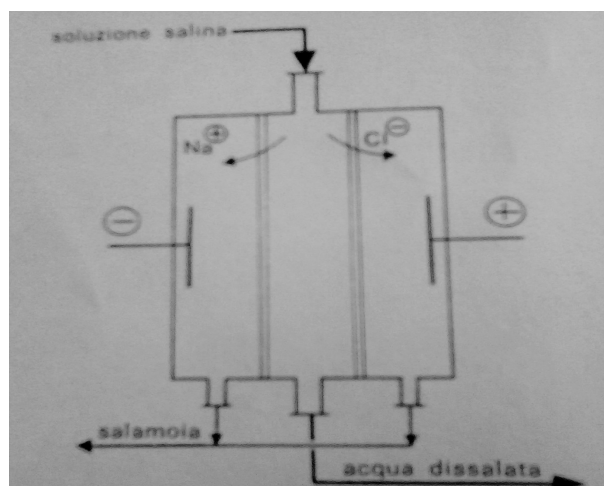


Figura 25 Cella di elettrodialisi con membrana cationica ed anionica

Industrialmente si costruiscono celle di elettrodialisi con più membrane in serie che si dispongono a breve distanza l'una dall'altra, con interposto un distanziatore in materiale plastico (rete o piastra forata) che non opponga resistenza al flusso ma che provochi una certa turbolenza. E' importante che si verifichi una turbolenza, affinché non si abbiano a stabilire concentrazioni ioniche anomale sulla superficie delle membrane; la turbolenza è anche necessaria per impedire lo sporcarsi della membrana con conseguente diminuzione della permeabilità e capacità di scambio.

Industrialmente l'elettrodialisi viene impiegata nella dissalazione dell'acqua di mare ma anche nella depurazione di soluzioni provenienti da processi produttivi (industrie alimentari, farmaceutiche, ecc.).

Per l'elettrodialisi non si conoscono ancora applicazioni in piena scala di un certo interesse.

#### 4.8.2 Altri processi

Anche l'osmosi inversa e l'ultrafiltrazione sono basate sulla permeabilità selettiva di membrane particolari. In questo caso però la selettività invece che verso ioni di carica opposta si manifesta nei confronti dell'acqua e delle sostanze organiche ed inorganiche disciolte. Nell'osmosi inversa, già citata nei trattamenti fisici, l'acqua contenente le sostanze disciolte viene messa a contatto con una membrana permeabile all'acqua e impermeabile ai soluti ad una pressione superiore a quella osmotica, in modo da determinare il passaggio dell'acqua da una parte all'altra e da concentrare le sostanze disciolte nella soluzione di partenza.

L'ultrafiltrazione avviene apparentemente come l'osmosi inversa ma la permeabilità selettiva in questo caso è determinata invece che dalla diversa velocità di trasporto attraverso la membrana da un meccanismo analogo a quello della filtrazione che esclude le molecole di soluto aventi dimensioni maggiori.



## 4.9 Disinfezione

La disinfezione è un'operazione mediante la quale si eliminano in massima parte dagli scarichi organismi patogeni, tipo batteri e virus. L'eliminazione totale si ottiene solo con la *sterilizzazione*. I mezzi di disinfezione sono chimici, fisici e meccanici.

Benchè gli agenti chimici utilizzabili per la disinfezione delle acque di scarico siano in grande numero, per motivi di praticità si fa generalmente ricorso al cloro, sia liquido che gassoso, o ai suoi composti quali l'ipoclorito di calcio, di sodio e il biossido di cloro.

Il cloro gassoso viene dosato direttamente come tale o in soluzione acquosa. Per le soluzioni di ipoclorito si usano pompe dosatrici a pistone a portata regolabile, mentre per le installazioni minori è possibile l'alimentazione a gravità.

I mezzi fisici impiegabili per disinfezione sono il calore e le radiazioni. Il calore non può essere convenientemente utilizzato per le acque di scarico trattate, ma solo per sterilizzare acque pregiate.

Un buon disinfettante è la radiazione ultravioletta. Tali radiazioni hanno scarsa penetrazione e sono facilmente assorbite dalle particelle sospese, dalle sostanze organiche disciolte e dalla stessa acqua. Di grande potere di penetrazione sono invece dotate le radiazioni gamma.

Una parziale rimozione di batteri avviene meccanicamente anche durante i normali processi di trattamento delle acque di scarico e particolarmente in quelli biologici.

## 4.10 Strippaggio

Lo strippaggio viene utilizzato per eliminare dall'acqua i gas disciolti. Esso consiste nel far gorgogliare o fluire, in controcorrente con l'acqua, aria in grande quantità, determinando il trasferimento del componente indesiderato dall'acqua all'aria. Tipico è il caso dell'ammoniaca che può essere rimossa portando l'acqua ad un pH elevato (11,5) e quindi asportata in corrente d'aria.



## CAPITOLO 5

### Trattamento dei fanghi

La maggior parte dei processi di trattamento delle acque dà luogo alla produzione di fanghi; nei processi biologici questi derivano dalla trasformazione della sostanza organica in massa cellulare microbica, nei processi chimico-fisici dalla separazione di materiali in sospensione, dalla precipitazione di sostanze disciolte e dall'aggiunta di prodotti chimici.

I fanghi per loro natura sono voluminosi, spesso putrescibili, in quanto subiscono degradazioni biochimiche se non sono stati totalmente ossidati, ed emanano cattivo odore e possono provocare malattie infettive. I fanghi perciò non possono essere riversati nei corsi d'acqua, né possono essere sparsi sul terreno, anche se costituiscono un buon concime. I fanghi cioè devono essere trattati in maniera da poter essere smaltiti senza inconvenienti per l'ambiente.

Le finalità principali dei trattamenti sono la riduzione del volume e la stabilizzazione della sostanza organica residua.

I fanghi in uscita dagli impianti di depurazione subiscono i seguenti processi:

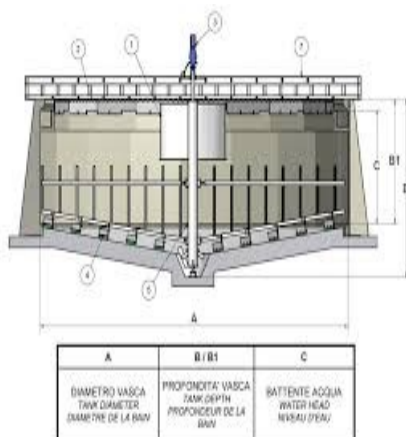
- a) pretrattamento di ispessimento;
- b) trattamento di disattivazione;
- c) essiccamento;
- d) smaltimento.

#### 5.1 Pretrattamento di ispessimento

Il pretrattamento di ispessimento ha lo scopo di ridurre il quantitativo di acqua e diminuire il volume del fango. La concentrazione di solidi viene aumentata di qualche unità per cento mentre il volume viene considerevolmente ridotto, essendo la riduzione di volume proporzionale al rapporto tra le concentrazioni dei solidi prima e dopo il trattamento. Ciò si traduce in minori costi di investimento e di esercizio per le fasi di trattamento successive.

L'ispessimento si effettua per gravità o per flottazione.

L'ispessimento per gravità avviene in particolari apparecchiature simili ai sedimentatori dotate di raschiafanghi che smuovendo il fango e rompendolo allontanano le bolle di gas e l'acqua contenuta nei fiocchi.



Negli ispessitori a gravità il processo avviene per sedimentazione, ma, a differenza di quanto accade nei sedimentatori primari nei quali la concentrazione dei solidi sospesi è sufficientemente bassa per permettere ad ogni particella di sedimentare liberamente ed indipendentemente dalle altre nella zona superiore della vasca.

Figura 26 Ispessitore a gravità

In questo caso l'elevata concentrazione dei solidi fa avvenire una sedimentazione di massa, ossia i solidi sospesi sedimentano alla stessa velocità.

Gli ispessitori a gravità sono simili ai sedimentatori, ma generalmente più profondi e con maggiore inclinazione del fondo, realizzati in cemento armato o ferro e dotati di meccanismi raschiafanghi e di picchetti verticali; questi ultimi hanno il compito di favorire la liberazione di bolle di gas e l'aggregazione dei fiocchi di fango, nonché quello di creare canali di passaggio per l'acqua che si separa. Negli ispessitori di dimensioni minori il meccanismo raschiafanghi può mancare, ed in tal caso la inclinazione del fango deve essere sufficiente per permettere lo scorrimento del fango.

Anche attraverso la flottazione ottenuta per insufflaggio d'aria, si può ottenere la rottura dei fiocchi ed un ispessimento del fango.

La flottazione è usata per l'ispessimento di fanghi attivati di spurgo, di fanghi stabilizzati aerobicamente, di alcuni fanghi industriali contenenti oli e grassi e più raramente per miscele di fanghi primari e di fanghi attivati. Il processo e le apparecchiature impiegate sono del tutto simili a quelle usate per l'acqua.

L'aggiunta di prodotti chimici, come il cloridrato di alluminio, provoca un ispessimento del fango rendendolo meno voluminoso e facilmente filtrabile; l'aggiunta di cloridrato di alluminio e di altri sali, viene attuata oltre che sul fango greggio anche sul fango che ha subito il trattamento di disattivazione.

## **5.2 Trattamento di disattivazione**

Attraverso una digestione anaerobica il fango viene disattivato, ottenendo un prodotto inerte, facilmente disidratabile e con un BOD molto basso. In altri termini, la digestione trasforma le sostanze organiche e stabilizza il fango.

La digestione anaerobica è un complesso processo biochimico nel quale numerosi gruppi di microrganismi assimilano e degradano la materia organica.

Esso può essere rappresentato come un processo a due fasi: nella prima si ha la conversione dei composti organici complessi ad acidi organici semplici (fermentazione acida ad opera di batteri anaerobici detti acidificanti); nella seconda si ha la conversione degli acidi organici a metano ed anidride carbonica (fermentazione alcalina ad opera di batteri anaerobici detti metanigeni). I digestori sono costituiti da grossi serbatoi cilindrici realizzati in cemento armato o in muratura, con fondo a forma conica e sommità a cupola o anche a forma conica. I massimi diametri e le massime altezze non superano rispettivamente i 50 ed i 20 m. Il mescolamento dei fanghi in digestione può essere realizzato con mescolatori interni ad elica, o con immissioni in punti opportunamente scelti di gas, o per circolazione forzata dei fanghi stessi tramite pompe esterne.

Un parametro molto importante è la temperatura alla quale avviene il processo: al crescere della temperatura cresce la velocità del processo. Il riscaldamento alla temperatura ottimale avviene utilizzando il gas biologico prodotto. L'utilizzazione può essere diretta, ossia bruciando il gas biologico per produrre acqua calda o vapore, o indiretta, utilizzando il gas biologico in motori diesel per la produzione di energia elettrica.

La digestione del fango può essere condotta anche in lagune aerate. Il lagunaggio è un metodo di trattamento e/o smaltimento dei fanghi di conveniente utilizzazione dove è possibile reperire terreni non troppo lontani dall'impianto di trattamento, sufficientemente isolati e non costosi. È inoltre particolarmente consigliato in zone nelle quali d'inverno si ha la formazione di ghiaccio, perché il congelamento induce un ottimo condizionamento del fango. Il lagunaggio può essere utilizzato per la digestione dei fanghi grezzi, la disidratazione e l'immagazzinamento dei fanghi diretti.

Le lagune sono generalmente realizzate con semplici scavi, con o senza impermeabilizzazione in funzione del tipo di terreno e del sottosuolo, con profondità variabili da 0,5 a 3 m a seconda del tipo di processo che si vuole realizzare.

I fanghi vengono lasciati a ristagnare per lunghi periodi di tempo.

La digestione aerobica richiede minori costi di investimento e maggiori costi di esercizio, connessi con l'aerazione, rispetto alla digestione anaerobica; essa può convenire nel caso di piccoli impianti o di esercizio stagionale e quando debba essere stabilizzato fango secondario.

Un trattamento chimico-fisico di stabilizzazione del fango consiste nel trattarlo a caldo con aria a temperatura dell'ordine di 300°C, in speciali reattori pressurizzati. L'ossigeno dell'aria ossida la sostanza organica e dà luogo a prodotti gassosi e a residui solidi che vengono separati. L'ossidazione produce anche una serie di sostanze organiche solubili nell'acqua.

## **5.3 Essiccamento**

Il fango digerito può essere smaltito liquido per spandimento sul suolo, col concomitante vantaggio di utilizzare il contenuto minerale come fertilizzante, o essiccato naturalmente all'atmosfera in speciali letti di essiccamento, costruiti con un fondo drenante che faciliti la separazione dell'acqua.

Negli altri casi il fango viene sottoposto ad un trattamento di disidratazione meccanica, previa una eventuale fase di ispessimento, che ha lo scopo di ridurre ulteriormente il volume. La disidratazione avviene per centrifugazione, filtrazione sotto-vuoto o filtrazione a pressione.

### **5.3.1 Disidratazione su letti di essiccamento**

I letti di essiccamento sono costituiti da superfici drenanti in sabbia e ghiaia, che permettono l'allontanamento del liquido che si separa per gravità dal fango, ed esposte all'atmosfera in modo che il fango si essichi per evaporazione naturale.

Le dimensioni normalmente adottate per un letto variano dai 5 ai 10 m in larghezza e dai 20 ai 50 m in lunghezza.

La rimozione del fango essiccato è generalmente manuale o realizzata con piccole macchine simili a quelle usate per la movimentazione della terra, il cui peso deve essere attentamente valutato per non provocare dissesti del letto; in qualche caso il sistema di raccolta è meccanizzato con raccoglitori simili ai raschiafanghi delle vasche di sedimentazione.

L'essiccamento su letti è conveniente quando le portate di fango in gioco sono modeste, poiché le spese relative alla raccolta dei fanghi essiccati ed alla sostituzione dello strato superficiale di sabbia rendono il processo non economico in confronto alla disidratazione meccanica nel caso di grandi portate.



Figura 27 Letti di essiccamento dei fanghi

### 5.3.2 Disidratazione per centrifugazione

Le centrifughe sono macchine che utilizzano la forza centrifuga per ottenere la separazione tra solido e liquido: in funzione della velocità di rotazione la forza applicata è migliaia di volte maggiore di quella di gravità e la velocità di separazione corrispondente è almeno cinquanta volte più grande di quella per sedimentazione naturale.

Le centrifughe hanno un corpo cilindrico o a cestello che ruota intorno ad un asse per sviluppare la forza centrifuga. Quando il fango viene introdotto nella macchina in movimento, esso aderisce alle pareti, formando uno strato nel quale si ha una separazione fra solido e liquido a causa della differente densità: le particelle più pesanti si concentrano nell'esterno dell'anello ed il liquido chiarificato forma lo strato interno.

Tutte le centrifughe si basano su questo principio: i vari tipi si differenziano per i sistemi di alimentazione dei fanghi, di estrazione del liquido e di scarico del solido. Esse hanno il pregio di avere un funzionamento semplice e pulito e di poter essere usate in fasi diverse del ciclo di trattamento dei fanghi; per contro richiedono un accurato condizionamento chimico del fango per evitare che il liquido separato (detto centrato) sia troppo ricco di solidi sospesi.

Tra i vari tipi di centrifughe industriali, la più usata è quella a tamburo.

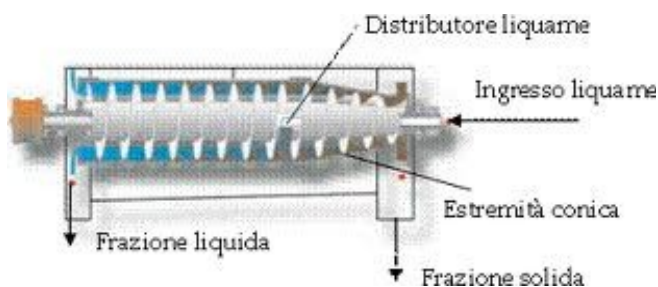


Figura 28 Centrifuga a tamburo

### 5.3.3 Disidratazione per filtrazione sotto-vuoto

La filtrazione continua sotto vuoto è un processo nel corso del quale si svolgono varie fasi interagenti. Le fasi principali sono la formazione del pannello e la disidratazione dello stesso. La formazione del pannello avviene in seguito al progressivo intasamento del mezzo filtrante, dapprima per il deposito dei fiocchi di maggior diametro e quindi per la chiusura dei fori con le particelle più fini. Per alcune sospensioni particolarmente difficili da trattare si ricorre alla tecnica del *precoat* che consiste nel depositare sulla superficie filtrante uno strato di terra o simili. Il pannello si forma pertanto su questo strato di base e viene staccato con un coltello raschiatore, la cui corsa deve essere attentamente regolata affinché con il pannello di fanghi non venga allontanato anche il materiale predepositato. A volte, invece, lo strato di base viene allontanato con il fango e continuamente rinnovato.

Per aumentare la velocità di filtrazione si può ricorrere a due metodi: usare un mezzo filtrante con maglie più larghe ed avere un filtrato più ricco in solidi sospesi o ricorrere al condizionamento chimico con una scelta molto accurata del condizionante.

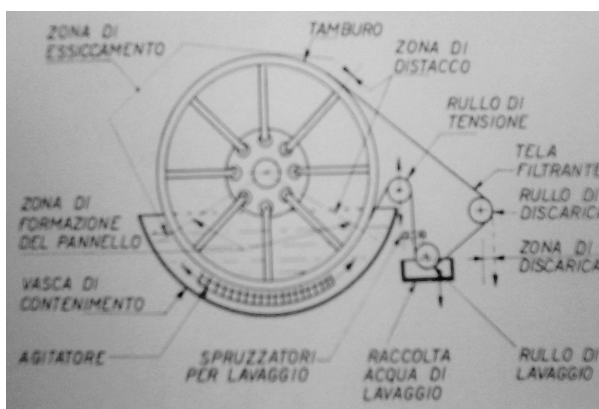


Figura 29 Schema di funzionamento di un filtro a vuoto

Un filtro a vuoto è costituito essenzialmente da un tamburo rotante ricoperto del mezzo filtrante, parzialmente immerso nel fango da disidratare e diviso internamente in vari settori. Questi sono connessi per mezzo di tubi ad una scatola rotante solidalmente col tamburo e scorrente su un disco avente aperture opportunamente disposte in modo che i vari settori del tamburo, a seconda della posizione occupata, possano essere collegati col vuoto o con la pressione. Attraverso queste aperture viene appunto applicato il vuoto necessario per creare la forza motrice che trasferisce l'acqua o l'aria compressa che distacca il pannello formatosi. Il tamburo e la vasca di contenimento sono realizzati in acciaio al carbonio o inox a seconda del tipo di fanghi da trattare; all'interno della vasca è installato anche un agitatore del tipo a pendolo che mantiene i fanghi in sospensione.

Il mezzo filtrante è normalmente costituito da una tela in fibra sintetica; la tela è avvolta sul cilindro tranne che nelle zone dove avviene il distacco del pannello ed il lavaggio.

Il distacco del pannello dalla tela avviene o per mezzo di un coltello raschiatore, o facendo subire particolari angolature alla tela filtrante. Il lavaggio della tela avviene subito dopo la fase di distacco.

### 5.3.4 Disidratazione per filtrazione sotto pressione

I filtri sotto pressione differiscono da quelli a vuoto in quanto la forza applicata è positiva e può assumere anche valori elevati.

La forma costruttiva più diffusa è quella a filtropressa che consiste in una serie di piastre verticali mantenute rigidamente da un'incastellatura metallica molto robusta e pressate l'una contro l'altra tra una parte terminale fissa e una parte terminale mobile.

Sulle superfici delle piastre sono montate le tele filtranti.

La chiusura della pressa è manuale nelle unità di dimensioni minori e motorizzata in quelle di maggiore capacità.

Il fango è alimentato da un canale centrale e riempie le camere ricavate tra le piastre: il liquido passa attraverso le tele e si raccoglie in apposite condutture esterne mentre il fango viene trattenuto e riempie tutta la camera.

La pressurizzazione viene fatta con pompe a pistoni.

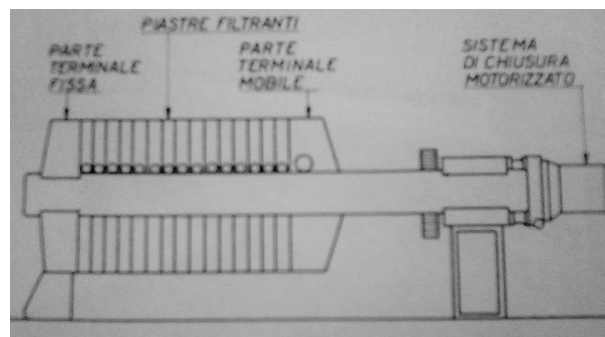


Figura 30 Filtropressa

Nelle filtropresse di maggiori capacità il riempimento viene fatto con pompe centrifughe e le pompe alternative intervengono in un secondo tempo esclusivamente per la pressurizzazione: si ottiene così un risparmio sia economico che di tempo di operazione.

Il contenuto in solidi dei fanghi disidratati meccanicamente, essendo compreso fra il 20 e il 50 %, non è sufficientemente elevato per consentire lo stoccaggio ai fini di una destinazione agricola come fertilizzante. Tale utilizzazione richiede, pertanto, che venga effettuato una disidratazione ulteriore così da ottenere un prodotto di facile manipolazione e stoccaggio.

A tal fine, l'essiccamento termico consente di ridurre l'umidità dei fanghi precedentemente disidratati ed esercita un'azione sterilizzante sui fanghi, pur conservandone le proprietà fertilizzanti.

L'essiccamento termico avviene generalmente con gas di combustione. Esistono vari sistemi.

Nell'*essiccamento flash* i fanghi sono mescolati con fanghi già essiccati così da far assumere alla miscela un grado di umidità ottimale sia per il trasporto pneumatico sia per ottenere il prefissato valore dell'umidità residua del materiale essiccato; i fanghi attraversano poi un polverizzatore dove vengono frantumati in particelle di dimensioni molto piccole sia per la disintegrazione prodotta da organi meccanici sia per l'attrito fra le particelle stesse originato



dall'intensa turbolenza di una corrente di gas caldi con cui i fanghi vengono in contatto. A causa dell'elevatissima superficie di scambio l'evaporazione dell'acqua è praticamente istantanea.

Nell'*essiccamento in forno rotativo* i fanghi da essiccare sono immessi a una estremità di un tamburo rotante (4 ÷ 8 giri/min) e leggermente inclinato rispetto all'orizzontale così da consentire il moto per gravità del materiale da un'estremità all'altra del tamburo; i fanghi si muovono generalmente in equicorrente con gas caldi di combustione; un separatore consente di rimuovere le particelle fini di fango essiccato trascinate dalla corrente di gas.

Esistono anche sistemi indiretti di essiccamento, in cui, cioè, non c'è contatto diretto fra i fanghi e i fluidi riscaldanti.

Nell'*essiccatore a strato sottile Luwa* i fanghi sono alimentati sulla parete interna di un recipiente cilindrico riscaldato esternamente e munito internamente di un rotore che ha lo scopo di rendere piccolo e uniforme lo spessore dello strato di fango durante l'essiccamento.

Il *sistema di essiccamento Carver-Greenfield a multipli effetti* consente di ridurre notevolmente il consumo energetico rispetto ai sistemi termici convenzionali, ma ha costi di impianto molto più elevati e richiede che prima dell'evaporazione i fanghi umidi siano fluidificati con olio così da evitare incrostazioni sulle superfici metalliche durante il processo.

## 5.4 Condizionamento

Operazione eseguita sui fanghi al fine di modificarne una determinata caratteristica. Il tipo di condizionamento più usuale ha lo scopo di rendere i fanghi più idonei ad essere disidratati.

I metodi più correnti sono l'*elutriazione*, il *condizionamento chimico* e il *condizionamento termico*. Un altro importante condizionamento è la *disinfezione*.

L'elutriazione consente di diminuire, per effetto di lavaggio, l'alcalinità presente nella fase liquida dei fanghi: in tal modo diventa minore il consumo di reattivi richiesti nel successivo trattamento di condizionamento chimico.

L'unità operatrice risulta costituita da uno o più stadi in serie; in ogni stadio avviene il mescolamento dei fanghi con acqua e la sedimentazione della sospensione così ottenuta.

Il condizionamento chimico consiste nell'aggiunta di sostanze atte a destabilizzare e agglomerare i fanghi. Questi costituiscono una sospensione colloidale molto stabile in cui le particelle solide sono piccole e dotate di una carica elettrostatica superficiale che dà luogo a una azione repulsiva. Le sostanze condizionanti agiscono secondo un duplice meccanismo: durante la fase di coagulazione neutralizzano o, comunque, riducono la carica elettrostatica delle particelle destabilizzando così la sospensione e provocando così la successiva espulsione dell'acqua della singola particella; durante la fase di flocculazione provocano l'agglomerazione delle particelle destabilizzate in fiocchi facilmente sedimentabili.

Nel caso di disidratazione tramite filtrazione sotto vuoto o sotto pressione le sostanze condizionanti di impiego più comune sono il cloruro ferrico e il solfato ferroso, quasi sempre utilizzati insieme alla calce idrata.

Nel caso di disidratazione per centrifugazione si impiegano sostanze coagulanti-flocculanti organiche.

Il condizionamento chimico avviene in apparecchiature di coagulazione-flocculazione simili a quelle già descritte (pag. 49).

Il condizionamento termico può avvenire sia per riscaldamento sotto pressione sia per congelamento; quest'ultimo metodo, però, presenta l'inconveniente che i fiocchi di fango condizionato sono estremamente fragili e si rompono facilmente quando sono agitati o pompati; il metodo, non è ancora uscito dalla fase di sperimentazione.

Per effetto del riscaldamento l'agitazione spontanea aumenta fino a vincere la repulsione elettrostatica: si ha l'espulsione dell'acqua inglobata nelle particelle, e tali si agglomerano in aggregati più grandi dando luogo a una struttura che più agevolmente può essere sottoposta a disidratazione meccanica.

La disinfezione dei fanghi è un particolare tipo di condizionamento il cui scopo principale non è il miglioramento delle caratteristiche di disidratabilità, ma bensì la distruzione, o almeno la inattivazione, di parte dei microrganismi patogeni. Quando il trattamento provoca la distruzione di tutte le forme di vita, esso è denominato più propriamente sterilizzazione.

## **5.5 Smaltimento**

Lo smaltimento dei fanghi può essere effettuato entro il terreno, seppellendo il fango in buche profonde e coprendolo di terra o spargendolo sul terreno, date le sue buone proprietà fertilizzanti.

Un altro modo di smaltire il fango consiste nell'inviarlo all'incenerimento. Con questa operazione il fango viene essiccato e bruciato, con produzione di ceneri inerti: un processo moderno (Dorr-Oliver) è l'incenerimento dei fanghi per mezzo di un letto di sabbia fluidificato con aria. I fanghi immessi nel letto portato a  $750 \div 850^{\circ}\text{C}$  bruciano dando un gas combusto e particelle solide che in parte rimangono nel letto ed in parte vengono rimosse attraverso un ciclone separatore.

## CAPITOLO 6

### Cicli di trattamento per acque di primo impiego e reflue

Si sono già messi in evidenza i problemi che riguardano il patrimonio idrico e come questi siano andati sempre più ampliandosi con l'evoluzione tecnologica e sociale.

Da una parte occorre far fronte ai crescenti consumi di acqua, dall'altra occorre salvare il patrimonio esistente dall'impoverimento per prelievi indiscriminati e dall'inquinamento.

La tecnologia della quale si dispone oggi permette l'utilizzazione di qualsiasi acqua e la restituzione ai corpi idrici di acque che non ne compromettano le caratteristiche.

La situazione idrica in quasi tutte le nazioni soffre invece di un non appropriato uso delle tecnologie disponibili, per cui si è ben lontani dall'equilibrio fra prelievi e restituzione dell'acqua. In molte regioni si verifica uno sfruttamento non razionale delle risorse idriche, senza un appropriato riciclo delle acque anche dove sarebbe possibile e senza un adeguato impiego dei processi depurativi, per restituire alla natura un'acqua che possa non danneggiare le caratteristiche dei bacini recipienti.

#### 6.1 Depurazione delle acque di primo impiego

##### 6.1.1 Potabilizzazione delle acque superficiali

E' sempre più diffusa l'utilizzazione dei corsi d'acqua e dei laghi per l'approvvigionamento idrico delle città.

Alcuni decenni fa era possibile ottenere, anche attraverso l'impiego di un solo trattamento, un'acqua potabile, dato il basso tasso di inquinamento; oggi si ricorre a tutta una sequenza di trattamenti delle acque superficiali, per avere la garanzia della potabilità dell'acqua, dato l'inquinamento presente.

In un'acqua superficiale, ad esempio quella prelevata da fiume, occorre rimuovere:

- sostanze in sospensione, come argilla, sabbia, humus ecc.;
- sostanze in dispersione colloidale;
- sostanze ossidabili;
- sostanze ammoniacali;
- metalli come Fe, Mn, Cr;
- tensioattivi;
- microrganismi.

A seconda del contenuto delle varie sostanze, il trattamento dell'acqua può avvenire con sistemi diversi: generalmente il processo di potabilizzazione di acque superficiali si basa, come fase principale, sulla coagulazione con agenti chimici e sedimentazione. Anche la clorazione entra in tali processi, sia perchè serve alla ossidazione delle sostanze presenti, sia perchè svolge un'azione biocida sulla microfauna e microflora presenti.

La presenza di tensioattivi che derivano dal grande uso domestico ed industriale di detersivi, provoca ulteriori problemi nel raggiungimento delle caratteristiche di potabilità.

Motivo di pesante inquinamento delle acque superficiali sono anche gli scarichi industriali, che apportano sostanze tossiche come Pb, Cr, Zn, e sostanze che impartiscono odore e sapore.

### **6.1.2 Depurazione delle acque per alimentazione delle caldaie**

L'acqua di alimentazione delle caldaie destinate alla produzione di vapore deve avere un basso contenuto salino e deve essere priva di sostanze in sospensione ed in dispersione e di gas disciolti. L'acqua disponibile in natura non è adatta all'alimentazione degli impianti di produzione del vapore.

I processi di trattamento variano a seconda delle caratteristiche dell'acqua grezza e delle esigenze d'impiego: i moderni impianti di depurazione si basano quasi sempre su un trattamento di precipitazione per abbattere la durezza e per eliminare con coagulanti, quando necessario, le sostanze in dispersione e su un successivo trattamento di demineralizzazione per scambio ionico.

Possono essere di completamento a questi processi, trattamenti preliminari (grigliatura, desabbiatura, ecc.) e trattamenti particolari quali degassaggio, ossidazione, clorazione ecc.

## **6.2 Il disinquinamento delle acque**

Negli ultimi anni si è verificato un inquinamento idrico che ha raggiunto valori ormai intollerabili: fiumi che erano pescosi lungo tutto il loro corso, oggi man mano che si scende verso valle, aumentando l'inquinamento per gli scarichi che raccolgono, si rendono sempre meno idonei per la fauna acquatica.

In Italia, fiumi come l'Arno, il Tevere, il Tanaro e tanti altri, hanno fortissimi tassi di inquinamento dovuto agli scarichi di effluenti sia urbani che industriali.

Anche all'estero per grandi fiumi come il Tamigi ed il Reno e molti altri attraversanti zone industriali dell'Inghilterra, della Francia e della Germania e di altre regioni a forte densità di popolazione, si è verificato un forte inquinamento che ha provocato allarme ed ha portato a provvedimenti che impedissero lo scarico in essi di acque inquinanti.

Oggi gli Inglesi si vantano di avere un Tamigi nel quale possono tranquillamente pescare ed il Reno nonostante il forte traffico fluviale e le zone industriali attraversate, ha un tasso di inquinamento non preoccupante.

In Italia, si è corso ai ripari in ritardo; oggi finalmente si dispongono leggi che impongono provvedimenti per impedire l'inquinamento idrico, ma principalmente si è creata una coscienza ecologica. I provvedimenti hanno già portato per certi corpi idrici ad una regressione nel tasso di inquinamento.

Molto però c'è ancora da fare per restituire a fiumi, laghi e mare, le caratteristiche che la natura aveva dato e che l'uomo ha sprovvedutamente alterato.

## 6.2.1 Cause e tipi di inquinamento

I processi di trattamento degli effluenti per ottenere il disinquinamento delle acque prima del loro ritorno ai corpi idrici (corsi d'acqua, laghi, mare) debbono essere attuati dopo un accurato studio, da una parte dei componenti inquinanti e dall'altra dell'azione che questi possono avere sulle caratteristiche dei bacini recipienti.

In Italia, la legge 319/1976 e le leggi di quasi tutte le nazioni, impongono che le acque che si restituiscono ad un corpo idrico non ne alterino le caratteristiche. E' perciò necessario non solo considerare che i singoli componenti degli scarichi siano in limiti accettabili, ma accertarsi che la presenza di più componenti non possa globalmente portare a modifiche nel corpo idrico che possono manifestare i loro effetti anche dopo molto tempo.

Per esempio, l'accumulo di composti tossici nel fango di un lago con modesto ricambio di acqua, può portare a distanza di anni ad un profondo mutamento del suo ecosistema. Un corso d'acqua ha una sua capacità autodepurante che è legata alla quantità di ossigeno disciolto e alla composizione dell'acqua: sostanze ossidabili immesse nel corso d'acqua alterano la capacità autodepurante.

L'inquinamento si manifesta anche per le acque sotterranee attraverso la penetrazione nel sottosuolo di acque inquinate e attraverso la penetrazione di acqua piovana inquinata dal dilavamento di sostanze che si trovano sul terreno (immondizie, residui industriali, ecc.) e di acque superficiali inquinate.

Esaminando l'inquinamento delle acque superficiali, si può dire che le cause principali sono quelle che di seguito si elencano.

*Scarico di effluenti urbani.* Questi effluenti apportano microrganismi di varie specie, fra le quali diverse sono patogene, sostanze organiche e sostanze inorganiche sia di origine naturale che sintetica. Gli effluenti urbani sono caratterizzati da un valore di BOD<sub>5</sub> abbastanza alto (200 ÷ 500), da una forte carica batterica; vi sono inoltre tensioattivi e fosfati e sostanze varie in sospensione.

*Scarichi di effluenti industriali.* La natura di questi effluenti varia con il tipo di industria; si possono distinguere i seguenti casi:

- effluenti con prevalente presenza di sostanze organiche ossidabili come quelli di alcune industrie chimiche, alimentari, raffinerie di petrolio ecc.;
- effluenti con prevalente presenza di composti chimici inorganici in soluzione, come quelli delle industrie produttrici di biossido di titanio, di pigmenti colorati, di fertilizzanti ecc.;
- effluenti con prevalente presenza di cationi metallici e di ossidi metallici: acciaierie, industrie metalmeccaniche, concerie.

*Scarichi inerenti l'attività agricola-zootecnica.* In questo caso si hanno scarichi di allevamenti di bestiame, macelli, latterie ecc., che sono rapportabili a quelli cittadini, ma hanno un più elevato valore di BOD. E' da tenere presente che l'attività agricola porta all'inquinamento

delle acque non solo con gli scarichi, ma anche con il dilavamento che si ha, con la pioggia e l'irrigazione, di pesticidi e fertilizzanti.

In relazione alla natura dei diversi composti l'inquinamento può portare ad effetti diversi come:

- variazione di torbidità, colore, odore dell'acqua, senza però pregiudicarne le caratteristiche essenziali;
- inserimento di composti ad azione tossica diretta verso pesci, uomo, vegetazione o ad azione indiretta: in questo caso si ha un accumulo di sostanze tossiche nei pesci e nei vegetali che portano ad intossicazione, alimentandosi di questi.
- profondo turbamento dell'equilibrio biologico di un corpo idrico, con conseguenze che possono portare alla totale scomparsa in esso di ogni forma di vita animale e vegetale.

Un caso particolare di inquinamento è quello che porta ad un'abnorme crescita di specie vegetali acquatiche e che va sotto il nome di eutrofizzazione.

### 6.2.2 Eutrofizzazione

Viene chiamata eutrofizzazione il fenomeno che porta, in un corpo idrico, ad una abnorme crescita di specie vegetali.

Si chiamano *eutrofiche* le acque nelle quali sono presenti in grande quantità alghe e piante acquatiche; si presentano generalmente torbide, di colore verdastro, hanno spesso odore e sapore cattivi, sono difficilmente sedimentabili e filtrabili, hanno un basso contenuto di O<sub>2</sub>. Si chiamano *oligotrofiche* quelle acque che si presentano limpide, insapore ed inodore e con un contenuto di ossigeno vicino alla saturazione: sono praticamente assenti le alghe.

Le acque che si trovano in condizioni intermedie vengono chiamate *mesotrofiche*.

L'abnorme crescita di vegetali è dovuto all'alto contenuto di fosforo e di azoto delle acque; il fenomeno dell'eutrofizzazione assume un'importanza notevole nei laghi con modesto ricambio di acqua.

L'apporto di fosforo e di azoto è dovuto agli scarichi che affluiscono in un corpo idrico e deriva sia dagli scarichi cittadini che dal dilavamento dei fertilizzanti somministrati ai terreni agricoli.

E' accertato che la crescita è dovuta alla contemporanea presenza di azoto e fosforo e alla disponibilità di carbonio; è necessaria anche la presenza di altri elementi quali calcio, ferro, manganese ecc. che intervengono nel complesso meccanismo della crescita delle cellule vegetali. Le alghe e le altre piante acquatiche si sviluppano attraverso la funzione clorofilliana, perciò trasformano il carbonio disciolto nell'acqua come CO<sub>2</sub> in carboidrati e l'azoto ed il fosforo disciolti nell'acqua nei vari composti azotati e fosforati presenti nella cellula vegetale. Come tutti i vegetali producono ossigeno che rimane disciolto nell'acqua, però, avendo le alghe un breve ciclo di vita, morendo si accumulano sul fondo e, decomponendosi, consumano l'ossigeno disciolto nell'acqua. Nella decomposizione vanno inoltre in soluzione nuovamente i composti azotati e fosforati presenti nelle cellule vegetali, per cui si ha un nuovo apporto di sostanze nutritive.

Si deve inoltre considerare che alghe e batteri vivono spesso in simbiosi, per cui entra in gioco anche l'azione batterica; i batteri utilizzano l'ossigeno ceduto dalle alghe e sviluppano CO<sub>2</sub> che viene assorbito nella funzione clorofilliana.

Perciò l'apporto di scarichi cittadini ad azione eutrofizzante, la crescita eccessiva di vegetali che morendo si accumulano sul fondo e si decompongono ed il modesto ricambio di ossigeno, possono portare entro un certo tempo alla scomparsa della fauna acquatica.

I corpi idrici più esposti all'eutrofizzazione sono i laghi e i bacini costieri.

E' questo un fenomeno che molto spesso si è verificato all'estero (Canada, Svezia, Svizzera) ed in Italia (lago di Varese, di Annone ecc.) a seguito dell'immissione di acque contenenti eccessive quantità di composti fosforati ed azotati.

## 6.3 Processi di trattamento degli effluenti

Risulta evidente come, essendo molteplici le cause dell'inquinamento delle acque, molteplici sono anche i sistemi per attuarne la depurazione.

### 6.3.1 Trattamento degli scarichi urbani

Date le caratteristiche di questi scarichi, gli impianti di depurazione sono imperniati su processi biologici, affiancati da processi di sedimentazione e di trattamento chimico.

Il costo di depurazione degli scarichi urbani si presenta piuttosto oneroso, per cui in Italia sino a quando la legge 319/1976 non ha imposto la regolamentazione degli scarichi per una seria tutela delle acque dell'inquinamento, ben pochi erano gli impianti di trattamento: nel 1968 su 8000 comuni, solo 120 erano quelli dotati di un impianto di depurazione degli scarichi e solo 32 avevano impianti veramente efficienti.

Nei piccoli impianti si ricorre al procedimento di ossidazione totale, nel quale l'aerazione dei liquami + fanghi viene prolungata per molte ore (fino ad oltre 24 h); in tal modo si ha anche una sensibile riduzione della quantità di fanghi da smaltire, perchè la popolazione batterica, consumato il carico organico apportato dal liquame, si autodistrugge.

Caratteristiche	Valori
Solidi totali	mg / l 350 ÷ 1500
di cui disciolti	“ 250 ÷ 850
di cui sospesi	“ 100 ÷ 650
BOD	“ 100 ÷ 500
COD	“ 250 ÷ 1000
Sostanze organiche come carbonio	“ 100 ÷ 300
Azoto totale	“ 20 ÷ 85
Fosforo totale	“ 6 ÷ 20
Cianuri	“ 30 ÷ 100

Tabella 2 Caratteristiche degli effluenti urbani

Un impianto ad ossidazione totale generalmente non ha trattamento primario di sedimentazione ed è costituito da un'ampia vasca di aerazione con insufflaggio di aria ed un decantatore circolare con riciclo dei fanghi all'aerazione; i fanghi in esubero vanno ad un ispessitore e il più delle volte, ad un successivo essiccamento all'aperto.

In altri impianti, i fanghi in esubero vanno alla digestione anaerobica e, dopo ispessimento e centrifugazione, vanno ad un inceneritore.

Impianti più complessi sono invece necessari per il trattamento degli effluenti di grandi città.

L'impianto si impernia sul trattamento biologico a fanghi attivi, digestione anaerobica dei fanghi in esubero, loro disidratazione meccanica a mezzo centrifugazione. Il trattamento biologico è preceduto da una grigliatura, dissabbiatura e sedimentazione primaria.

L'aerazione è ottenuta mediante insufflaggio di aria; la digestione anaerobica dei fanghi produce gas combustibile che è utilizzato in una piccola centrale termoelettrica ausiliaria per i servizi dell'impianto. I fanghi dopo centrifugazione vengono insilati ed utilizzati come fertilizzante agricolo.

Impianti del genere comportano, date le elevate portate, apparecchiature di vaste dimensioni: si calcola che per un impianto di trattamento a fanghi attivi occorra per la vasca di aerazione circa  $0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{abitante}$ .

Un impianto di trattamento a fanghi attivi richiede una superficie di circa 5 ettari; anche la movimentazione dei fanghi pone grossi problemi, in quanto fra fanghi di sedimentazione primaria e di sedimentazione finale, in un impianto del genere, la movimentazione calcolata supera le 60 tonnellate al giorno.

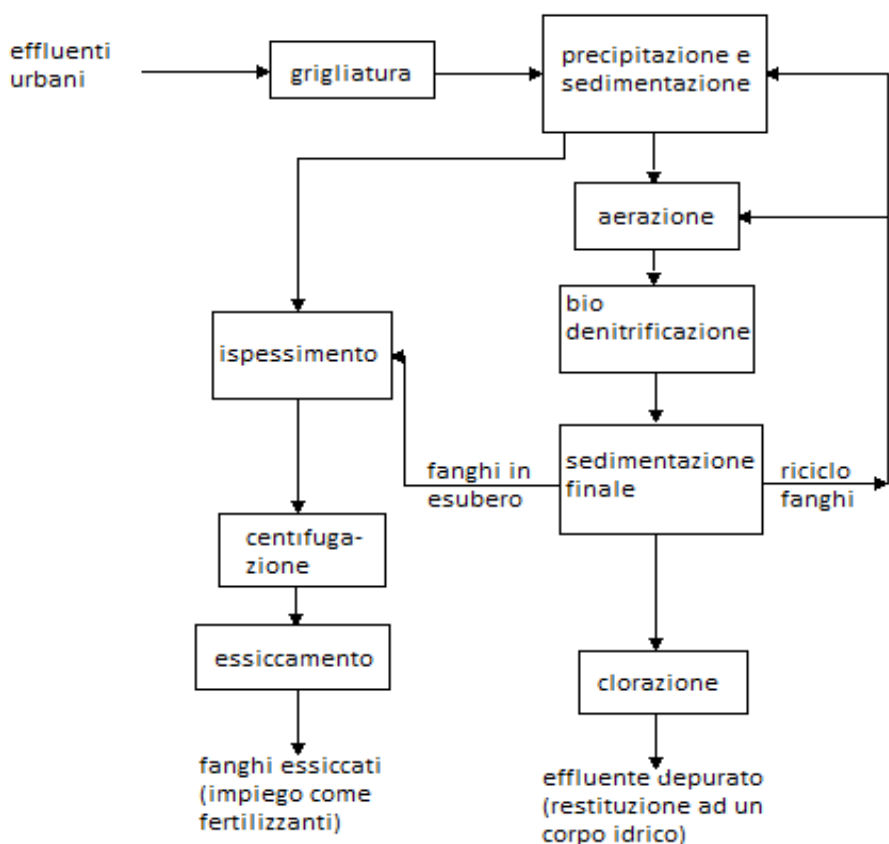


Figura 31 Schema a blocchi di un impianto per il trattamento completo degli effluenti urbani



In figura (n°31) si riporta lo schema a blocchi di un impianto di trattamento completo di effluenti urbani, consistente in uno stadio primario di precipitazione e sedimentazione, uno stadio di trattamento biologico a fanghi attivi, seguito da una biodenitrificazione in un bacino dove la sospensione sosta per circa due ore ed una sedimentazione finale con riciclo parziale dei fanghi.

### 6.3.2 Trattamento degli scarichi industriali

Gli impianti di trattamento degli scarichi industriali adottano processi diversi in dipendenza dei composti e delle portate e delle concentrazioni.

In uno stabilimento industriale si possono impiegare processi di trattamento per ogni singolo impianto o, più preferenzialmente, trattare insieme i diversi effluenti, che sono stati prima miscelati ed omogeneizzati in vasche di equalizzazione.

Talvolta è necessario prima della vasca di equalizzazione, effettuare trattamenti preliminari sugli effluenti dei singoli impianti per eliminare componenti che possono essere più facilmente allontanati prima della diluizione con i flussi provenienti dai altri impianti.

#### 6.3.2.1 Acque di raffreddamento

In molte industrie il grosso degli effluenti è costituito da acqua di raffreddamento, che spesso dopo l'impiego non ha alcun componente inquinante e perciò può essere restituita ad un corpo idrico senza alcun trattamento, se la temperatura dell'acqua di scarico è a valori tali da provocare solo un trascurabile innalzamento della temperatura. In caso contrario, per impedire quello che viene chiamato inquinamento termico, l'acqua prima dello scarico deve essere raffreddata.

Alle acque reflue di raffreddamento si miselano spesso le acque piovane e pertanto si ha un inquinamento per il dilavamento di strade e piazzali all'interno di uno stabilimento.

Negli stabilimenti di una certa dimensione, per le acque di raffreddamento si impone però il loro riciclo, tanto più che le disposizioni legislative in Italia ed in altre nazioni impongono una tassa sul prelievo dell'acqua da corsi d'acqua e dal sottosuolo.

Il riciclo può essere attuato attraverso il raffreddamento dell'acqua impiegata, ottenuta per mezzo di *torri evaporative*; l'acqua viene fatta cadere dall'alto di una torre e viene investita da una corrente di aria, insufflata da un ventilatore posto nella parte inferiore della torre, o aspirata da un ventilatore posto alla sommità; l'acqua si raffredda a causa dell'evaporazione di una parte di questa e solo in quantità trascurabile per la miselazione con l'aria stessa.

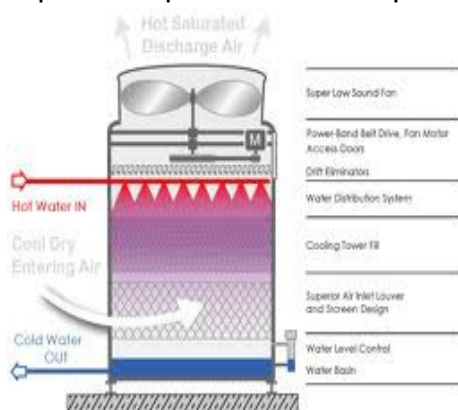


Figura 32 Torre per il raffreddamento dell'acqua

Evaporando l'acqua si concentrano però le sostanze disciolte, per cui è necessario un reintegro con acqua prelevata dall'esterno; talvolta è anche necessario spurgare una certa quantità di acqua per impedire che si formino incrostazioni.

Per impedire incrostazioni nei circuiti di raffreddamento si impiegano acque contenenti additivi che debbono essere eliminati prima dello scarico in un corpo idrico.

### **6.3.2.2 Effluenti di uno stabilimento chimico**

In uno stabilimento chimico la natura degli effluenti è diversa a seconda dei cicli lavorativi.

I grossi complessi industriali, come in Italia quelli di Porto Marghera, di Priolo, di Mantova; in Gran Bretagna, di Billingham; in Germania, di Ludwigshafen e di tante altre zone dove si sono riuniti molti impianti chimici, hanno effluenti che comprendono inquinanti inorganici ed organici di diverso tipo.

Complessi industriali minori hanno invece effluenti nei quali predominano come inquinanti taluni prodotti che caratterizzano i cicli produttivi; per esempio stabilimenti chimici che si basano sulla produzione di cloro-soda.

In questi casi il trattamento degli effluenti non può essere ricondotto a schemi generali ma va effettuato secondo processi particolari, volti sia ad impedire che gli effluenti riversati in un corpo idrico lo inquinino, sia a recuperare i prodotti contenuti come è il caso degli effluenti di un impianto per la produzione di cloro-soda.

E' però sempre più difficile trovare stabilimenti industriali che si limitino ad un solo ciclo produttivo o a cicli produttivi strettamente legati, per cui gli effluenti proverranno da più impianti che hanno caratteristiche diverse e che portano negli effluenti inquinanti diversi. Per esempio, ad una produzione di cloro-soda si affiancano generalmente produzione di cloroderivati organici; si vengono cioè ad avere impianti i cui effluenti hanno componenti, e quindi problemi, ben differenti da quello dell'impianto cloro-soda.

Anche in uno stabilimento chimico si ha un forte consumo di acqua di raffreddamento; quest'acqua può essere riciclata attraverso torri di raffreddamento o inviata ai processi come acqua di lavaggio o, se inquinata avviata con gli altri effluenti ai processi di depurazione.

Considerando uno stabilimento chimico nel quale si ha abbiano produzioni organiche ed inorganiche, i processi di trattamento degli effluenti sono generalmente basati su neutralizzazione e coagulazione con una sedimentazione primaria e su un trattamento biologico per la demolizione delle sostanze organiche, seguito da una sedimentazione secondaria.

Nelle lavorazioni chimiche accanto agli effluenti liquidi vi sono generalmente i fanghi: questi costituiscono un grosso problema, sia perchè vanno lavati sino ad estrarne i composti solubili che vanno ad accrescere il contenuto inquinante degli effluenti liquidi, sia per il loro smaltimento. Generalmente i fanghi dopo lavaggio vengono ammassati sul terreno o interrati in miniere e cave abbandonate.

E' sempre più diffuso l'indirizzo di trasformare questi fanghi in materiali utilizzabili: per esempio, i fanghi provenienti da alcuni minerali vengono utilizzati in pavimentazioni stradali.

La neutralizzazione avviene in una vasca separata e non nel decantatore primario direttamente, in quanto i valori di pH oscillano in un intervallo abbastanza ampio: in questa vasca si ha un dosaggio automatico del latte di calce a mezzo pompa asservita ad un misuratore di pH.

La sedimentazione primaria avviene in presenza di coagulanti che rompono le emulsioni e fanno flocculare le sostanze colloidali: si impiega  $Al_2(SO_4)_3$ .

I fanghi della sedimentazione primaria vanno all'ispessimento insieme ai fanghi biologici in esubero. Dopo l'ispessimento avviene la centrifugazione dei fanghi.

Dopo la coagulazione si ha l'invio ai bacini di aerazione: l'aerazione viene ottenuta per insufflaggio lungo tutto il bacino. Il tempo di aerazione risulta di circa 10 ore: dai bacini di aerazione si passa alla sedimentazione finale, che viene ottenuta in decantatori circolari.

### **6.3.2.3 Effluenti di uno stabilimento siderurgico**

Uno stabilimento siderurgico a ciclo completo e cioè con altiforni, produzione di coke, raffinazione ghisa, laminatoi, decappaggio e altre lavorazioni, presenta numerosi problemi di effluenti, sia per la diversità degli impianti, sia per le grandi quantità in gioco.

Molti dei problemi degli effluenti gassosi si riportano agli effluenti liquidi, in quanto le emissioni gassose, prima dello scarico all'atmosfera, subiscono un lavaggio con acqua o con soluzioni, per abbattere polveri e gas nocivi.

Si è già accennato che un'industria siderurgica ha un consumo di acqua intorno a  $7000 \div 12000 \text{ m}^3$  per tonnellata; in talune acciaierie il fabbisogno per tonnellata supera i  $200000 \text{ m}^3$ . I grandi fabbisogni vanno per il raffreddamento dei laminatoi e per l'abbattimento delle sostanze contenute nei gas di uscita degli altiforni: nella produzione di coke si impiega acqua direttamente spruzzata sul coke rovente uscente dai forni per raffreddarlo.

Date le enormi quantità di acqua in gioco occorre un riciclo delle acque reflue, per avere consumi che non superino i valori massimi prima citati.

A seconda degli impianti, le acque di scarico hanno composizione diversa e richiedono per la depurazione sistemi diversi.

Generalmente presso ogni impianto si effettuano trattamenti primari, sia per attuare, quando possibile, un riciclo diretto, sia per allontanare specifici componenti.

Particolarmente gravoso è il trattamento degli effluenti degli impianti di produzione del coke: l'acqua di raffreddamento del coke contiene polverino (che viene allontanato per sedimentazione o filtrazione) e viene direttamente riciclata, mentre per le altre acque occorrono particolari trattamenti.

Dai forni a coke esce un gas che viene lavato, per raffreddarlo ed abbattere catrame ed altre sostanze (ammoniacale, idrogeno ecc.); le acque ammoniacali ottenute dopo il recupero dei diversi prodotti, contengono ancora composti organici in emulsione ed in soluzione, che debbono essere allontanati con trattamenti specifici.

Le acque di lavaggio dei gas d'altoforno vengono inviate ad una sedimentazione, eventualmente accelerata con coagulanti chimici o polielettroliti, dove si separa un fango ricco in ossidi di ferro che viene essiccato su filtri sotto vuoto, sinterizzato e riciclato all'altoforno, miscelato con il minerale di ferro.

L'acqua chiarificata viene riciclata al lavaggio del gas.

Altri effluenti con polveri ed ossidi di ferro derivano dai forni di affinamento del ferro fuso con ossigeno e dai laminatoi a caldo: anche per questi si ricorre alla sedimentazione.

Dai laminatoi a freddo si ha invece un effluente ricco in oli; l'acqua usata per raffreddare i cilindri dei laminatoi asporta parte dell'olio lubrificante, per cui deve passare ad un impianto di diseoleazione ed in gran parte può essere riciclata.

Nel caso che dopo i trattamenti specifici l'acqua contenga ancora sostanze che non ne permettano il riciclo o che impediscano lo scarico, per quella parte che viene spurgata, si ricorre ad un trattamento finale biologico o ad un trattamento di coagulazione con agenti chimici.

#### 6.3.2.4 Effluenti provenienti da industrie del settore alimentare

La varietà dei prodotti ottenuti ed i cicli produttivi notevolmente diversi tra loro, pongono problemi di trattamento che possono essere risolti tecnicamente ed economicamente in modo diverso. Una caratteristica comune degli effluenti è il carico organico molto alto: in tabella 3 si riportano i valori di BOD delle principali industrie del settore alimentare.

Negli effluenti si trovano sostanze organiche sia in soluzione che in dispersione colloidale, accanto a composti inorganici quali nitrati, cloruri, acido solforico che vengono impiegati in alcune fasi del ciclo produttivo; provengono sia dalle acque usate direttamente nel processo, sia da quelle che vengono impiegate per il lavaggio dei macchinari e dei contenitori. Nelle industrie del settore alimentare si possono comprendere anche gli allevamenti di bestiame; il carico inquinante degli allevamenti è estremamente elevato sia per l'alto valore di BOD (500 ÷ 4000 mg/l) sia per la presenza negli effluenti di solidi sospesi (intorno a 1000 mg/l) e di composti fosforati e azotati.

Tipo di industria	BOD
Macellazione carne	> 1500; medio 2500
Latto-casearia	> 1000; medio 1500
Olearia	>50000; medio 90000
Zuccheriera	> 3000; medio 4000
Produzione vino, birra, alcool	5000 ÷ 25000

Tabella 3 BOD (mg/l) degli effluenti di industrie del settore alimentare

I sistemi di trattamento degli effluenti delle industrie del settore alimentare sono:

- trattamenti chimico-fisici: neutralizzazione, coagulazione e sedimentazione delle sostanze in sospensione e dispersione;
- trattamenti biologici: per allontanare le sostanze organiche attraverso la demolizione aerobica, la fermentazione anaerobica e con stagni in condizioni ossidative o facoltative.

I trattamenti chimico-fisici vengono impiegati quando risulta indispensabile un trattamento primario, per non rendere troppo oneroso il trattamento biologico: è il caso per esempio degli effluenti dell'industria latte-casearia.

Il trattamento biologico più usato è quello a fanghi attivi: per impianti di modeste dimensioni, come per esempio per una centrale del latte, sono impiegati con successo anche i percolatori a dischi rotanti.

Il sistema di depurazione mediante lagunaggio con stagni ossidativi aerati artificialmente o con stagni in condizioni aerobiche-anaerobiche, è impiegato per gli allevamenti di bestiame dove si possa disporre di ampie superfici di terreno.

Il sistema di digestione anaerobica trova qualche applicazione dove il forte carico organico rende particolarmente difficile il trattamento bioossidativo a fanghi attivi o con percolatori; è il caso per esempio delle distillerie. Nelle distillerie dopo il trattamento anaerobico si procede generalmente ad un trattamento aerobico; negli allevamenti di suini occorre far seguire una precipitazione con calce per allontanare i fosfati.

L'impianto per il trattamento di liquami di allevamento e macellazione bestiame si compone di un trattamento preliminare di grigliatura e disoleazione; il liquame contiene molte sostanze in sospensione ed una discreta quantità di oli allontanati con mezzi meccanici e mediante aerazione, che ha il principale scopo di effettuare la flottazione delle sostanze oleose e di assicurare un certo grado di ossigenazione.

Poichè gli scarichi sono discontinui occorre che vi sia una vasca di omogeneizzazione che ha anche lo scopo di effettuare una preaerazione.

L'acqua che esce dall'impianto di depurazione è incolore e priva di odore; i fanghi sono ridotti di volume e dopo la disidratazione non subiscono ulteriori trasformazioni, prima di essere impiegati, da soli o in unione ad altri fertilizzanti, per la concimazione del terreno.

Per il trattamento degli effluenti di una centrale del latte, si possono impiegare percolatori a dischi rotanti. Si impiegano sistemi a più stadi, in modo che si abbia una graduale diminuzione del BOD; anche in Italia ha trovato applicazione, data la semplicità di impianto, i bassi costi di esercizio e la ridotta spesa di manutenzione.

Il carico inquinamento è particolarmente elevato, quando contemporaneamente alla produzione di latte pastorizzato si abbia produzione di burro, con scarico del cosiddetto latticello e di formaggio, con scarico del siero; gli effluenti inoltre sono acidi per la presenza di acido lattico.

Per ottenere una diminuzione del BOD superiore al 90%, è necessario operare con 6 stadi: è da notare che nei primi stadi aumenta l'acidità, in quanto si ha formazione di ulteriori quantità di acido lattico, che negli stadi successivi viene a sua volta ossidato.

Dato il tipo di impianto, man mano che si verifica il passaggio del liquame dai dischi del primo a quelli dell'ultimo stadio, la popolazione di microrganismi varia adattandosi alle diverse condizioni esistenti e ciò è constatabile anche dal diverso aspetto dello strato che si deposita su ogni disco, che cambia di colore, passando dal bianco al grigio-marrone e da una forma fioccosa a quella gelatinosa.

L'aggiunta agli effluenti della lavorazione del latte, di liquami urbani, porta ad una maggiore efficacia nella demolizione delle sostanze organiche.

Dopo l'impianto a dischi si hanno vasche Imhoff per la digestione dei fanghi che possono essere utilizzati come fertilizzanti.

## 6.4 Trattamento integrale degli effluenti

La scarsità di acqua in talune regioni ed il crescente fabbisogno per usi industriali e civili, ha spinto allo studio di sistemi di trattamento che permettano il totale riciclo delle acque reflue, all'impiego.

Negli Stati Uniti ed in Gran Bretagna il trattamento integrale, chiamato *water reclamation*, è attuato già da tempo per le acque delle fognature urbane.

Lo scopo del trattamento integrale è quello di ridurre i consumi di acqua alle sole perdite per evaporazione ed ai consumi effettivi che si hanno negli impieghi civili ed industriali perchè l'acqua impiegata si trasforma; si elimina ogni spurgo di acqua, in quanto il trattamento integrale riporta l'acqua alle caratteristiche originarie.

In Italia si è ancora lontani dal riciclaggio totale delle acque: numerosi studi però sono in corso sia da parte dell'industria che di istituti universitari in quanto, da una parte la scarsità di acqua e dall'altra la necessità di retrocedere nell'inquinamento idrico oggi esistente, impongono sempre più il totale riciclaggio delle acque.

Il trattamento integrale di effluenti sia urbani che industriali, si basa sull'affiancamento dei diversi processi di depurazione destinati a scopi specifici.

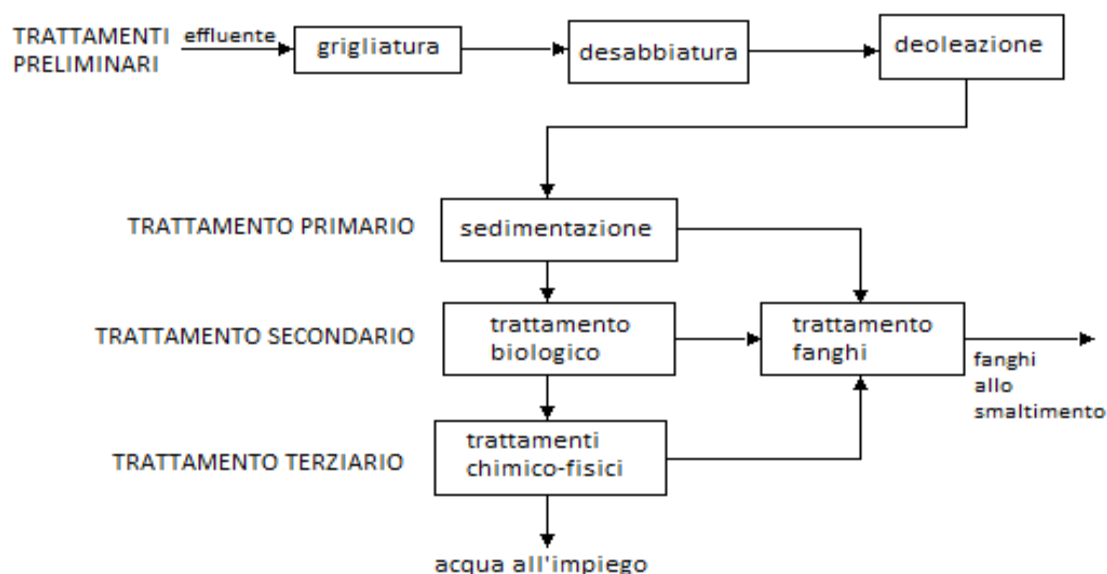


Figura 33 Sequenza dei processi nel trattamento integrale degli effluenti

In Italia la legge 319/76 che stabilisce le norme per la tutela delle acque dall'inquinamento ed il successivo decreto del 24-5-77, che stabilisce le tariffe per i prelievi di acqua, portano a trattare gli effluenti sino a raggiungere caratteristiche non dissimili a quelle delle acque superficiali; lo spirito che anima queste disposizioni di legge è di spingere sempre più al totale riciclaggio delle acque.

In molti casi il riciclaggio completo risulterebbe possibile se, anziché essere considerato nell'ambito di un solo complesso industriale, fosse considerato nell'ambito di un comprensorio nel quale si possa effettuare un'integrazione fra le diverse esigenze.

## CAPITOLO 7

### Costi degli impianti di depurazione

#### 7.1 La struttura dell'offerta di depurazione (dati Istat)

Per quanto attiene alla struttura dell'offerta di depurazione, nell'indagine ISTAT vengono evidenziate con grande dettaglio la dislocazione sul territorio e le caratteristiche strutturali degli impianti di depurazione esistenti alla fine del 1993. In base ai dati pubblicati, degli 11.218 impianti censiti, solo 8.570 sono effettivamente in funzione: 1.236 non risultano, infatti, in servizio mentre altri 1.412 sono ancora in fase di progetto o realizzazione. In termini di abitanti equivalenti (AE), alla data di riferimento, risultano serviti (AES) circa 58 milioni di abitanti. Con la messa in funzione degli impianti non attivati potrebbero essere serviti altri 4 milioni di AE, con la realizzazione degli altri 1.400 impianti si calcola di arrivare ad una potenzialità di quasi 77 milioni di AE. Se si considera che la stima della domanda di depurazione si attesta intorno ai 99 milioni di AE, è facile per l'ISTAT concludere come sia ancora "necessario uno sforzo in termini di investimenti nel settore della depurazione civile, sforzo ormai reso urgente dall'avvicinarsi delle scadenze della Direttiva CEE 91/271"<sup>2</sup>. Per quanto riguarda la diffusione sul territorio, i dati del censimento mostrano come la maggior parte degli impianti in esercizio sia localizzata al Nord d'Italia (5.639 su 8.570, pari al 65%). Al Sud spetta il primato degli impianti non funzionanti: 427 sui 1.423 presenti sul territorio per un'incidenza di circa il 30%. Dall'indagine è possibile rilevare anche che nelle zone "interne di montagna" si trova la maggior parte, quasi la metà, degli impianti primari i quali, essendo costituiti quasi per la totalità da fosse Imhoff, meglio si adattano rispetto ad altri tipi di impianti alla densità abitativa del territorio.

Gli impianti esistenti hanno un'età relativamente giovane in quanto oltre la metà di essi ha meno di 10 anni e solo il 3% ha un periodo di attività superiore ai 20 anni. Se si considera la titolarità della gestione, si rileva che i depuratori esistenti risultano gestiti per la quasi totalità (75%) dal Comune sul cui territorio sono collocati. Circa l'8% è gestito da Consorzi ed Aziende Speciali e la restante parte (17%) da Enti di diritto pubblico e privati.

Uno degli aspetti particolarmente rilevante dal punto di vista della funzionalità dell'impianto di depurazione è la sua dimensione. L'indagine dell'ISTAT propone numerose indicazioni al riguardo dalle quali emerge una realtà per molti versi già conosciuta dagli addetti ai lavori: la potenzialità degli impianti esistenti è generalmente piccola, mediamente, di poco superiore ai 6.000 AE. Infatti, oltre la metà degli impianti ha una portata media di tempo asciutto inferiore ai 5 metri cubi all'ora e una dimensione media, espressa in termini di AE, inferiore a 2.000.

Strutture in prevalenza piccole, quindi. In particolare, risultano di scala mediamente ridotta gli impianti gestiti in economia dai Comuni (2.300 AE) così che, nonostante la loro numerosità (7.372 impianti su 9.806 esistenti), servono solo il 27% degli AE totali mentre, le gestioni assicurate da Consorzi ed Aziende Speciali, con una dimensione media di 27 mila AE, assicurano la copertura del servizio al 34% degli utenti ed i privati e gli Enti di diritto pubblico si occupano del restante 39%.

Per quanto attiene alla tipologia del trattamento dei liquami, la maggior parte degli impianti in esercizio utilizza trattamenti primari e secondari.

Solo una piccola parte (450 su 8.570) si avvale del trattamento terziario. Si tratta però di impianti di grande dimensione per cui, in termini di AE, dall'indagine si riscontra che circa il 38% degli utenti è servito con questo trattamento mentre il secondario ed il primario coprono rispettivamente le esigenze del 57 e del 5% degli utenti. Vi sono alcune fasi del processo di depurazione che dal punto di vista ambientale sono assai rilevanti. Ci riferiamo alla produzione di fango e ai recapiti finali dello stesso e delle acque trattate. Se da un lato l'attività di depurazione contribuisce ad attenuare l'impatto ambientale dei liquami, dall'altro essa determina a sua volta un impatto che è funzione della qualità del processo e del recapito finale dei suoi prodotti: fanghi, gas e acque trattate.

Dall'indagine si rileva che l'ammontare dei fanghi prodotti per abitante equivalente servito è differente e si riduce con l'aumentare della potenzialità dell'impianto. Nella maggior parte dei casi, la destinazione dei reflui trattati sono i corsi d'acqua superficiale mentre nel caso dei fanghi il recapito finale è la discarica.

## **7.2 Costo degli impianti di depurazione**

Sul costo degli impianti sono state condotte indagini negli anni passati.

E' da dire subito che i costi degli impianti considerati nelle diverse indagini, qualunque sia la fase in cui si trovano (progetto, costruzione, funzionanti) appaiono molto variabili. Queste variazioni, che possono essere giustificate dalla richiesta di un'efficienza depurativa più o meno spinta, dai diversi sistemi adottati, dalle popolazioni servite e dalle portate trattate, appaiono però, e talvolta in modo sensibile, anche ove le condizioni sono molto simili, per l'entità degli scarichi e per il grado di efficienza depurativa da ottenere.

Tali divergenze possono dipendere da vari motivi, ma principalmente sono da attribuire alle condizioni locali, all'ubicazione dell'impianto ed alla maggiore o minore ampiezza dell'impianto. Particolari esigenze di fondazioni, sistemazioni di terreni accidentati, strada di accesso e allacciamento ai servizi (acqua, energia elettrica, telefono, ecc.), possono far sì che impianti simili, al servizio di popolazioni pressochè uguali e destinati a trattare portate non molto diverse, richiedono costi assai differenti tra di loro.

Si possono ad esempio richiamare l'impianto di Napoli, che sorge su una piattaforma appositamente realizzata protesa in mare, o l'impianto di Sorrento, che ha richiesto la sistemazione del Rio Conca (che attraversava la zona dell'impianto) e la costruzione di una strada di accesso, in parte in galleria.

Altro motivo nella variabilità dei costi è costituito dalla completezza e dalle parti accessorie dell'impianto vero e proprio. Abitazione del custode, laboratorio di controllo, sistemazione dei viali e del verde; anche questi fattori influiscono sul costo.

Talvolta poi i dati comprendono anche opere che, a rigore, non sono da attribuire alla depurazione dei liquami. In altri casi invece i dati si riferiscono solo a quelle parti dell'impianto che provvedono strettamente al trattamento depurativo, escludendo tutte le opere accessorie, pur se alcune di queste sono indispensabili al funzionamento.

Volendo istituire un paragone tra i costi degli impianti, bisogna quindi ovviamente limitarsi



ai costi degli impianti veri e propri escludendo cioè quelle opere che dipendono strettamente dalle particolari condizioni e caratteristiche dell'impianto stesso.

Con tali limitazioni, vediamo che i costi seguono un certo andamento; variazioni ed aumenti che si sono verificati, sono da attribuirsi a due cause: una è l'aumento dei prezzi dal 1935 ad oggi; l'altra, dipende dal progresso delle attrezzature meccaniche ed automatiche. Ad esempio, una regolazione automatica dell'aria compressa da fornire per un trattamento a fanghi attivi, in relazione alla portata ed al BOD del liquame in arrivo, pur se molto costosa, consente di evitare la presenza continua di personale specializzato e di eliminare eventuali sprechi di energia per la produzione di aria compressa in misura maggiore di quello occorrente. In effetti gli automatismi riescono particolarmente utili e convenienti per gli impianti più importanti o per quelli notevolmente meccanizzati; tuttavia si pensi che, nei minori impianti, la pulizia della griglia, se effettuata a mano, può talvolta rappresentare l'unica operazione da seguire con una certa continuità e che richiede una persona pressochè stabile sull'impianto, laddove l'adozione di una griglia a pulizia automatica può ridurre la conduzione dell'impianto ad una breve visita quotidiana. Dunque in piccoli impianti non può convenire un'automazione troppo spinta; in impianti importanti, una certa automazione è oggi pressochè indispensabile, e quindi farsi risentire notevolmente con aumenti delle apparecchiature anche del 50%. D'altra parte il progredire della produzione industriale, tende a ridurre il costo delle apparecchiature meccaniche.

Fino ad ora si è parlato del costo degli impianti nel loro complesso; interessa però anche conoscere l'incidenza ed i costi delle singole parti di un impianto.

Sommariamente può ritenersi che una suddivisione percentuale del costo di un impianto completo, sia la seguente:

- |                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| • trattamenti preliminari (griglia e dissabbiatore)                 | 5 ÷ 10 %  |
| • sedimentazione primaria                                           | 15 %      |
| • ossidazione, compresa la sedimentazione finale                    | 40 %      |
| • trattamento dei fanghi                                            | 20 %      |
| • sistemazione della zona, viali, recinzioni, edifici, servizi ecc. | 15 ÷ 20 % |

Naturalmente tali percentuali variano da caso a caso; è però da notare che un trattamento ossidativo assorbe quasi la metà del costo di un impianto.

### 7.2.1 Spese di esercizio

La spesa di esercizio di un impianto deve di norma considerare le seguenti voci:

- a)** personale;
- b)** energia elettrica;
- c)** sostanze chimiche (cloro, calce, cloruro ferrico ecc.);
- d)** combustibile (riscaldamento dei digestori, bruciatura dei fanghi ecc.);
- e)** varie (acqua, lubrificanti, giardinaggio, manutenzione ordinaria, amministrazione ecc.).

La voce personale è quasi sempre una delle più importanti. Questa voce risente delle caratteristiche dell'impianto: così ad esempio un impianto a fanghi attivi richiede maggiore sorveglianza e quindi più personale rispetto ad un impianto a percolatori.

La spesa di energia elettrica deve tener conto di tutte le macchine ed attrezzature installate e quindi del grado di meccanizzazione dell'impianto.

Il consumo di energia per griglia e tritatore e per l'eventuale pulizia meccanica del dissabbiatore è relativamente di modesta entità; lo stesso anche si può dire per i raccoglitori nelle vasche di sedimentazione. Notevole invece è sempre il consumo di energia per i trattamenti ossidativi con fanghi attivi.

I probabili consumi di energia elettrica, per 1000 abitanti serviti, potrebbero essere:

<b>1)</b> per i trattamenti preliminari	da 0,2 a 1,5 kWh / g
<b>2)</b> per i trattamenti meccanici	da 0,5 a 2 kWh /g
<b>3)</b> per i trattamenti ossidativi a fanghi attivi	da 50 a 120 kWh / g
<b>4)</b> per il trattamento del fango	da 2 a 8 kWh / g
<b>5)</b> servizi generali e varie	da 0,5 a 1,5 kWh / g

Volendo riferirci ad oggi, si può ritenere che il costo dell'energia elettrica non ha subito variazioni sensibili; sono però cresciuti sicuramente i consumi con lo sviluppo delle attrezzature meccaniche.

## **Bibliografia**

Berti – Calatozzolo – di Bartolo , 1980 , *Acque: processi per il loro trattamento* , editrice G. D'anna

Passino R. , 1980 , *La conduzione degli impianti di depurazione delle acque di scarico* , edizioni scientifiche A. Cremonese

## **Sitografia**

wikipedia.it , Gennaio 2013

online.scuola.zanichelli.it , Gennaio 2013