

LUIGI BURDO  
CdI T/PALL  
Anno di corso: 2°

## [Impianti di depurazione di acque reflue civili e industriali]

Presentazione dei rischi relativi al lavoro presso l'impianto e analisi dei processi e delle fasi di depurazione delle acque

**INTRODUZIONE:**

Un depuratore pone diverse problematiche relative all'applicazione delle adeguate misure igieniche ed antinfortunistiche per salvaguardare la sicurezza e la salute dei lavoratori.

Sono, innanzitutto, da adottare le misure tecnico-organizzative per la protezione dei lavoratori sugli impianti (impianti elettrici, misure per la protezione dal rumore, cinture di sicurezza, luoghi di lavoro e passaggi, ecc.), quindi cercare di controllare i rischi derivati sia dall'esposizione ad agenti biologici presenti nei liquami trattati che quelli dovuti alla manipolazione ed uso dei prodotti chimici eventualmente utilizzati nei processi di trattamento. Anche le manutenzioni delle fognature e delle stazioni di sollevamento oltre ai rischi derivanti dagli impianti e dall'uso di macchine ad esempio la sostituzione di pompe presentano un rischio residuo derivato dai liquami veicolati nelle condotte, cioè il rischio biologico; altro rischio può essere lo sviluppo di gas e vapori che possono essere pericolosi nelle lavorazioni "in situ" ad esempio quelle che si realizzano nelle manutenzioni di posti confinati ove esiste la possibilità di stazionamento di liquami.



Nelle situazioni su accennate, non è sempre possibile evitare l'esposizione dei lavoratori ai fattori di rischio presenti per cui è necessario usare dispositivi di protezione individuale, sul cui uso è fondamentale la formazione e l'informazione sul corretto utilizzo degli stessi, anche per evitare che gli operatori utilizzino i D.P.I. in condizioni così disagiati da annullarne gli effetti positivi.

È segnalata, su indagini effettuate nei liquami e nelle acque di scarico, la possibile presenza di vari agenti biologici, tra i quali:

Batteri	Virus	Parassiti	Funghi
<i>Clostridium spp.</i>	<i>Virus dell'Epatite A</i>	<i>Ascaris Lumbricoides</i>	<i>Candida spp</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterovirus</i>	<i>Entamoeba istolitica</i>	
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Adenovirus</i>	<i>Giardia lamblia</i>	
<i>Salmonella</i>	<i>Rotavirus</i>	<i>Balantidium</i>	
<i>Enterococcus spp</i>		<i>Tenie spp</i>	
<i>Leptospira interrogans</i>		<i>Echinococcus spp</i>	
<i>Shigella spp</i>		<i>Anchylostoma duodenale</i>	
<i>Pseudomonas spp</i>			
<i>Staphylococcus spp</i>			
<i>Streptococcus spp</i>			
<i>Vibrio spp</i>			

I rischi igienici presenti nella conduzione degli impianti di depurazione sono molteplici:

**RISCHIO DA INALAZIONE**

Causa: dispersione accidentale di gas, vapori, nebbie, fumi ,aerosol  
 Effetti: sensibilizzazione, irritazione, nocività possibilità di infezioni  
 Localizzazione: prime vie aeree, polmoni

**RISCHIO DA CONTATTO**

Causa: contatto accidentale, contaminazione dei locali di lavoro  
 Effetti: sensibilizzazione,irritazione, tossicità, ustioni, possibili infezioni  
 Localizzazione: cute, occhi.

**RISCHIO DA INGESTIONE**

Causa: assorbimento accidentale  
 Effetti: irritazione, tossicità, possibili infezioni  
 Localizzazione: bocca, apparato digerente.

**RISCHIO DA PRODOTTI CHIMICI**

Causa:	dispersione accidentale, sviluppo gas, fumi e vapori, miscele con aria
Effetti:	incendio, esplosione, reazioni violente
Localizzazione :	cute, occhi, apparato respiratorio, apparato digerente.

**RISCHIO DA RUMORE**

Causa:	esposizioni superiori a 90 dB (A)
Effetti:	ipoacusia, sordità
Localizzazione:	sistema uditivo.

**ALTRI RISCHI**

Tipologia:	incidenti con mezzi operativi, ingranaggi, macchine operatrici, app.re elettriche, utensili ecc.
Causa:	accidentale
Effetti:	diversi a seconda della gravità a tipologia dell'incidente
Localizzazione:	diversa a seconda della tipologia dell'incidente.

I rischi associati e prevedibili cui sono esposti i lavoratori che operano nelle vicinanze degli impianti possono essere così classificati:

- **Aerosol biologici:** incrementi delle frequenze di infezione delle prime vie aeree, del tratto gastroenterico e stimolazione del sistema immunitario
- **Patologie da parassiti**
- **Patologie da infezioni oro-fecali**
- **Ipoacusie**
- **Gas asfissianti**
- **Effetti irritanti o allergeni di sostanze chimiche**
- **Disagi da condizioni microclimatiche sfavorevoli (lavoro all'aperto)**
- **Infortuni da scivolamento, caduta.**

**L'IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI ACQUE REFLUE CIVILI E INDUSTRIALI E TUTTE LE SUE FASI:****Trattamento delle acque reflue:**

Si definisce **trattamento delle acque reflue** (o **depurazione delle acque reflue**) il processo di rimozione dei contaminanti da un'acqua reflua di origine urbana o industriale, ovvero di un effluente che è stato contaminato da inquinanti organici e/o inorganici. Il trattamento di depurazione dei liquami consiste in una successione di più fasi (o processi) durante i quali, dall'acqua reflua vengono rimosse le sostanze indesiderate, concentrandole sotto forma di fanghi, dando luogo ad un effluente finale di qualità tale da essere idoneo allo sversamento in un corpo recettore (terreno, lago, fiume o mare mediante condotta sottomarina), senza che questo ne possa subire danni (ad esempio dal punto di vista dell'ecosistema ad esso afferente).

Il ciclo depurativo è costituito da una combinazione di più processi di natura chimica, fisica e biologica.

I fanghi provenienti dal ciclo di depurazione sono spesso contaminati con sostanze tossiche e pertanto devono subire anch'essi una serie di trattamenti necessari a renderli idonei allo smaltimento ad esempio in discariche speciali o al riutilizzo in agricoltura o in un impianto di compostaggio.

**Tipologia degli scarichi**

Negli impianti di depurazione tradizionali, a servizio di uno o più centri urbani (impianti consortili) sono di norma trattate:

- Le **acque reflue urbane** o scarichi civili: comprendono le acque di rifiuto domestiche e, se la fogna è di tipo unitario, anche le acque cosiddette di ruscellamento. Le acque di origine domestica sono quelle provenienti dalle attività domestiche e dalla defecazione umana, queste ultime ricche di urea, grassi, proteine, cellulosa ecc. Le acque di ruscellamento sono quelle provenienti dal lavaggio delle strade e le acque pluviali. Contengono, in concentrazione diversa, le stesse sostanze presenti nei reflui domestici ma inoltre possono presentare una serie di microinquinanti quali gli idrocarburi, i pesticidi, i detersivi e i detriti di gomma ecc.
- Alcune tipologie di **acque di rifiuto industriale:** gli scarichi industriali hanno una composizione variabile in base alla loro origine. Negli impianti di depurazione tradizionali possono essere trattati solo quei reflui industriali che possono ritenersi assimilabili dal punto di vista qualitativo a quelle domestiche. Tali scarichi possono essere eventualmente sottoposti a

pretrattamenti in ambito aziendale, prima del loro scarico in fogna, per rimuovere le sostanze incompatibili con un processo di depurazione biologica. Infatti alcuni scarichi industriali possono contenere sostanze tossiche o suscettibili di turbare l'evoluzione biologica e pertanto tali da compromettere il trattamento biologico che è alla base del sistema depurativo tradizionale. Gli altri scarichi industriali possono avere una natura tale da essere insensibili ai trattamenti biologici pertanto devono essere trattati in maniera diversa direttamente nel luogo di produzione.

### Classificazione dei solidi da rimuovere

Le acque provenienti da scarichi urbani contengono un elevato quantitativo di solidi di natura organica ed inorganica che devono essere rimossi mediante il trattamento di depurazione, tra le sostanze di natura organica fanno parte anche i microrganismi. Le sostanze da eliminare si possono dividere in sedimentabili e non sedimentabili: Le prime sostanze sono solide e più pesanti dell'acqua e perciò vanno facilmente a fondo quando la velocità del deflusso si annulla o scende al di sotto di un certo limite.

Le sostanze non sedimentabili in parte galleggiano e in parte restano nel liquido: disciolte o allo stato colloidale; lo stato colloidale si può considerare uno stato intermedio tra quello di soluzione e quello di sospensione propriamente detto. In uno scarico di media forza, i solidi totali (espressi in mg/l) si possono così classificare:

- **Solidi sospesi: 30%**, di cui:
  - **Solidi sedimentabili: 75% di cui:**
    - solidi organici: 75%
    - solidi inorganici: 25%
  - **Solidi non sedimentabili: 25% di cui:**
    - solidi organici: 75%
    - solidi inorganici: 25%
  
- **Solidi filtrabili: 70%**
  - **Colloidali: 10% di cui**
    - solidi organici: 80%
    - solidi inorganici: 20%
  - **Disciolti 90% di cui:**
    - solidi organici: 35%
    - solidi inorganici: 65%.

### Impianti di depurazione:

Gli **impianti di depurazione** sono costituiti da una serie di manufatti in genere in calcestruzzo armato, ognuno con specifiche funzioni, nei quali viene attuata la depurazione degli scarichi di origine civile e industriale.

Solitamente in un **impianto di trattamento delle acque reflue** si distinguono due linee specifiche:

- la linea acque
- la linea fanghi

Nella **linea acque** vengono trattati i liquami grezzi provenienti dalle fognature e di regola comprende tre stadi, chiamati:

- **trattamento primario:** un **processo di tipo fisico** utilizzato per la rimozione di parte delle sostanze organiche sedimentabili contenute nel liquame, comprende la grigliatura, la dissabbiatura, la disoleatura o sgrassatura e la sedimentazione primaria;
- **trattamento secondario:** un **processo di tipo biologico** utilizzato per la rimozione delle sostanze organiche sedimentabili e non sedimentabili contenute nel liquame, comprende l'aerazione e la sedimentazione secondaria;
- **trattamento terziario:** realizzato sull'effluente in uscita dalla sedimentazione secondaria, permette di ottenere un ulteriore affinamento del grado di depurazione, comprende trattamenti speciali per abbattere il contenuto di quelle sostanze che non vengono eliminate durante i trattamenti primari e secondari.

Nella **linea fanghi** vengono trattati i fanghi prodotti durante le fasi di sedimentazione previste nella linea acque. Lo scopo di tale linea è quello di eliminare l'elevata quantità di acqua contenuta nei fanghi e di ridurre il volume, nonché di stabilizzare (rendere imputrescibile) il materiale organico e di distruggere gli organismi patogeni presenti, in modo tale da rendere lo smaltimento finale meno costoso e meno dannoso per l'ambiente.

L'effluente finale trattato viene convogliato in una condotta detta *emissario*, con recapito finale le acque superficiali (corsi d'acqua, mare, ecc.), incisioni o lo strato superficiale del terreno (es. trincee drenanti).

### **Il dimensionamento del depuratore:**

Un depuratore deve essere dimensionato in modo da ricevere gli scarichi del bacino da servire (abitato/i) per un periodo di 25-30 anni. Per la progettazione non si può prescindere dalla conoscenza dei seguenti parametri:

- **carico idraulico:** rappresenta la quantità di acqua presente nei reflui scaricati nella fogna nera dalle singole utenze, in metri cubi emessi per giorno.
- **carico organico:** è la quantità complessiva di sostanza organica da trattare espressa in BOD<sub>5</sub> o COD presente in un metro cubo di refluo:
  - BOD: misura la quantità di consumo dell'ossigeno da parte di microrganismi a una temperatura fissata e in un periodo di tempo determinato, è usato per stimare le qualità generali dell'acqua e il suo grado di inquinamento.
  - COD: rappresenta la quantità di ossigeno necessaria per la completa ossidazione dei composti organici ed inorganici presenti in un campione di acqua, rappresenta quindi un indice che misura il grado di inquinamento dell'acqua da parte di sostanze ossidabili, principalmente organiche.
- **carico di nutrienti:** è principalmente la quantità di azoto ridotto e secondariamente di fosforo presenti nel refluo da trattare.
- **studi sugli altri eventuali inquinanti presenti** (ad esempio oli, metalli pesanti o detersivi)
- **studi basilari su parametri che possono influenzare la forma degli inquinanti e il loro abbattimento** (ad esempio pH, ossigeno disciolto, conducibilità e temperatura).

In generale il dimensionamento va fatto sulla base della conoscenza della **dotazione idrica** (quantità di acqua assegnata ad un abitante per soddisfare il suo fabbisogno idrico - potabile), e sugli **abitanti equivalenti** (unità di misura basilare per il dimensionamento e la scelta dell'ideale sistema di depurazione delle acque reflue domestiche e/o assimilate).

### **La conversione in A.E. varia a seconda delle situazioni**

<b>CASISTICA</b>	<b>EFFETTIVO</b>	<b>CONVERSIONE IN ABITANTI EQUIV.</b>
Abitanti residenti	<b>1 persona</b>	1 Abitante Equivalente
Superficie dell'edificio (civile abitaz.)	<b>35 m<sup>2</sup></b>	1 Abitante Equivalente
Alberghi, villaggi turistici, agriturismo	<b>2 posti letto</b>	1 Abitante Equivalente
Campeggio	<b>3 addetti</b>	1 Abitante Equivalente
Scuole	<b>10 alunni</b>	1 Abitante Equivalente
Fabbriche, laboratori artigianali	<b>2 lavoratori</b>	1 Abitante Equivalente
Bar, circoli, club	<b>7 clienti</b>	1 Abitante Equivalente

### **TRATTAMENTO PRIMARIO (O MECCANICO):**

I trattamenti primari consistono in:

- **grigliatura**
- **dissabbiatura**
- **disoleatura**
- **sedimentazione primaria**

I primi tre sono considerati **trattamenti preliminari o pretrattamenti** previsti, quando necessario, a monte dei processi di depurazione veri e propri, e che permettono la rimozione di materiali e sostanze che per loro natura e dimensione rischiano di danneggiare le attrezzature poste a valle e di compromettere l'efficienza dei successivi stadi di trattamento.

## **La Grigliatura**

La **grigliatura delle acque reflue** è uno dei trattamenti meccanici preliminari a cui vengono sottoposte le acque di scarico all'ingresso degli impianti di depurazione per rimuovere e ridurre i materiali sospesi e galleggianti. La grigliatura è normalmente il primo di questi trattamenti, e ha come scopo principale la rimozione di corpi e oggetti grossolani. In particolare, la grigliatura permette di evitare danneggiamenti alle sezioni di impianto successive, ad esempio le pompe utilizzate per sollevare e spostare il liquido, e ridurre l'accumulo di solidi nelle tubazioni.

Il materiale grigliato è raccolto in un cassonetto per poi essere avviato allo smaltimento finale. In associazione con la griglia possono essere utilizzati degli sminuzzatori che dopo aver triturato il materiale grigliato lo reintroducono a monte della griglia stessa.

### **Tipologie di griglie**

La grigliatura si esegue facendo passare l'acqua attraverso una griglia, che può essere di vari tipi:

- **A barre**
- **A maglie**
- **A piatti forati**
- **A tamburo**

### **Livelli di grigliatura**

Le aperture possono avere dimensioni differenti, e si possono distinguere tre livelli di grigliatura:

- **Grigliatura medio-grossolana**
- **Grigliatura fine**
- **Micro-grigliatura o setacciatura**

#### **Grigliatura medio-grossolana**

Le aperture hanno dimensione di 30–60 mm, e vengono quindi trattenuti i materiali aventi dimensioni superiori ai 3-6 centimetri (legno, carta, stracci, materiale vario) trasportati dalle acque reflue. La griglia è costituita da una intelaiatura in acciaio, avente barre poste verticalmente o inclinate, poste in un canale di scorrimento dell'acqua (costituito solitamente da due pareti laterali in cemento) o adiacenti a bacini di raccolta acque. L'asporto del materiale trattenuto dalle barre può essere fatto in modo manuale o automatico in funzione della tipologia della griglia. Gli elementi di pulizia automatica possono essere ad esempio sgrigliatori mobili (pettini pulitori) che hanno la funzione di pulire il materiale depositatosi nelle barre della griglia scaricandolo, grazie allo scivolo ed al contropettine pulitore, in un apposito contenitore. La macchina è solitamente comandata da un quadro elettrico ed è dotata di dispositivi di emergenza, per evitare bloccaggio dei pettini o la rottura dell'apparato, agiscono grazie ad appositi "fine corsa" e limitatori di carico che ne determinano l'arresto o l'inversione di marcia.

#### **Grigliatura fine**

La grigliatura fine serve a trattenere le particelle sospese aventi dimensioni superiori a 15-25 millimetri, solitamente viene effettuata tramite macchine a funzionamento automatico. Il materiale trattenuto viene inviato ad un compattatore per mezzo di coclee, e insaccato. I macchinari per la grigliatura possono essere:

- **Griglie a gradini e a nastro:** sono sistemi installati usualmente nei canali, anche profondi, e agiscono sollevando meccanicamente i solidi da separare. Le griglie sono costituite da elementi mobili configurati come i gradini di una scala mobile, o come un nastro trasportatore inclinato, le griglie si muovono dal fondo del canale verso l'alto, raccogliendo i solidi da separare e scaricandoli nella parte superiore.
- **Griglie a tamburo:** hanno l'elemento grigliante a forma di tamburo, ad asse orizzontale, mantenuto in rotazione da un motore. L'acqua, in ingresso in direzione tangenziale al cilindro da un lato, deposita sul tamburo gli elementi solidi sospesi; questi vengono trascinati fino ad incontrare una "lama scolmatrice" sull'altro lato, appoggiata con una certa pressione sulla superficie, che li devia e convoglia in un contenitore apposito. L'acqua, una volta entrata nel tamburo, cade verso il basso e lo attraversa nuovamente dall'interno verso l'esterno, effettuando quindi un "controlavaggio" sulla zona del tamburo inferiore, che ha già rilasciato le parti da eliminare, possono essere presenti inoltre ugelli per pulire ulteriormente il tamburo.

#### **Micro-grigliatura o setacciatura**

Le aperture hanno dimensione di 1–3 mm, quindi si utilizzano griglie più piccole, a maglia (reti metalliche di passo ridotto) o a piatti forati.

Una tipologia di dispositivo per micro-grigliatura è ad esempio il **filtro a coclea**: è formato da una coclea, cioè una vite senza fine, inclinata, immersa nella parte inferiore nel canale contenente il liquido da trattare, avvolta da un elemento filtrante cilindrico. Il liquido viene sollevato ed esce dalla griglia in una sezione apposita nella parte alta, mentre il materiale solido da evacuare raggiunge la sezione di raccolta all'estremità superiore. Se la coclea ha spire a passo ridotto nella parte superiore, si ha anche un effetto di compattazione del materiale grigliato.

#### **Applicazioni**

Pre-trattamento negli impianti di trattamento delle acque reflue urbane e di varie tipologie di scarichi industriali.

La grigliatura può essere eventualmente modulata in due fasi successive quindi con una prima grigliatura grossolana avente la finalità di intercettare i corpi più voluminosi e una successiva grigliatura fine, per intercettare le parti di minori dimensioni.

#### **La dissabbiatura:**

La **dissabbiatura delle acque reflue** è uno dei trattamenti meccanici preliminari a cui vengono sottoposte le acque di scarico all'ingresso degli impianti di depurazione per rimuovere e ridurre i materiali sospesi e galleggianti. La **dissabbiatura** in particolare è la rimozione di sabbie e solidi inerti, normalmente più pesanti e grossolani degli organici, che darebbero inconvenienti come l'usura delle parti meccaniche o l'accumulo di inerti nelle sezioni di impianto successive. Una volta separate, le sabbie separate sono asportate, periodicamente o in continuo. Vengono solitamente avviate a discarica, dopo eventuali operazioni di lavaggio e disidratazione.

#### **Tipologie di dissabbiatori**

I sistemi di rimozione delle sabbie possono essere raggruppati in varie tipologie, in base al principio fisico su cui si basano:

- **Dissabbiatori per gravità**
- **Dissabbiatori centrifughi**
- **Dissabbiatori aerati**
- **Dissabbiatori per grigliatura**

#### **Dissabbiatori per gravità**

Il dissabbiatore per gravità più comune è del tipo **a canale**: la sedimentazione è garantita dalla bassa velocità della corrente di liquido da trattare. Le sabbie infatti si depositano per velocità del liquame inferiori a circa 0,3-0,4 m/s. Il sistema di regolazione è costituito da un organo apposito (venturimetro) all'estremità finale. Il fondo del canale è solitamente sagomato per raccogliere il materiale sedimentato, e in maniera da facilitare le operazioni di asportazione della sabbia. I sistemi per gravità costruttivamente più semplici non prevedono apparecchiature meccaniche: la pulizia periodica è di tipo manuale, ma le condizioni operative sono regolate in maniera approssimativa.

Negli impianti più grandi si utilizzano solitamente sistemi meccanizzati automatici di asportazione del materiale depositato: lame raschianti, coclee, idroestrattori.

#### **Dissabbiatori centrifughi**

I sistemi centrifughi sono costituiti da una vasca di forma cilindrico - conica. Il flusso viene immesso tangenzialmente, per creare un moto circolare: le sabbie, avendo un peso specifico superiore ai solidi organici presenti nei liquami, tendono a separarsi da questi per forza centrifuga. Una volta raggiunte le pareti della vasca, la sabbia viene frenata e si raccoglie sul fondo da dove viene estratta. Il sistema può essere privo di organi meccanici (ciclone) oppure la velocità del moto rotatorio può essere regolata mediante un agitatore a palette coassiale (sistema Pista).

I tempi di ritenzione del liquido nel manufatto sono solitamente di alcuni minuti.

#### **Dissabbiatori aerati**

I dissabbiatori aerati, dal punto di vista del principio di funzionamento, sono sistemi ibridi, cioè l'asportazione sfrutta la **forza centrifuga** e la **gravità**, il manufatto è configurato come un canale di sezione asimmetrica in cui il liquido percorre il bacino per tutta la sua lunghezza; viene insufflata aria al piede di una parete laterale, per creare una corrente ascensionale attraverso dei tubi verticali (il materiale può essere ad esempio di tipo ceramico poroso) montati su appositi blocchi di distribuzione. La portata di aria, fornita da appositi compressori, è commisurata al volume e al tempo di ritenzione del liquido nel bacino. L'insufflazione imprime quindi ai liquami che attraversano la vasca un moto elicoidale con velocità regolata su un valore costante e indipendente dal valore della portata trattata. Tale movimento comporta la separazione delle particelle minerali con dimensioni fino a pochi decimi di mm, che cadono sul fondo, mentre le particelle organiche rimangono in sospensione. L'efficienza della separazione può essere elevata, infatti può risultare anche superiore all'80%.

Il bacino è solitamente dotato di un **carroponte pulitore traslante**, di una **raschia di fondo** per la raccolta delle sabbie e di **lama di superficie** per la raccolta dei galleggianti, il sistema permette quindi di unire nello stesso manufatto anche le fasi di disoleatura e preaerazione. Nel caso l'impianto sia dedicato al trattamento di particolari flussi di origine industriale, nella stessa sezione può essere realizzato anche lo **strippaggio** di composti volatili.

Le sabbie si accumulano nel fondo a tramoggia e vengono rimosse a mezzo di un estrattore idro-pneumatico; vengono quindi scaricate in un cassone drenante dove avviene la separazione dalle acque, che ritornano in vasca, mentre le sabbie vengono poi smaltite in siti autorizzati. I tempi di ritenzione del liquido nei dissabbiatori aerati sono solitamente 15-20 minuti.

#### Applicazioni

Pre-trattamento negli impianti di trattamento delle acque urbane e di varie tipologie di scarichi industriali

#### La Disoleatura:

La **disoleatura** o **sgrassatura** viene introdotta nel ciclo depurativo, a valle delle griglie e dei dissabbiatori, quando sia accertato che oli e grassi siano presenti nei reflui in quantità tali da influenzare negativamente i trattamenti successivi soprattutto con riferimento ai trattamenti biologici, in quanto diminuiscono l'ossigenazione del liquame e causano l'accumulo di schiume nei bacini di trattamento che si trovano a valle dell'impianto, in zone dalle quali sono difficilmente asportabili.

Infatti le sostanze oleose tendono a rivestire, con un sottile velo, le materie biologiche impedendo così il contatto di queste con l'ossigeno e pertanto ne limitano l'ossidazione, in alcuni casi inoltre la disoleatura ha lo scopo di recuperare gli oli e i grassi presenti nei reflui al fine del loro riutilizzo. Quindi la **disoleatura delle acque reflue** è uno dei trattamenti meccanici preliminari a cui vengono sottoposte le acque di scarico all'ingresso degli impianti di depurazione per rimuovere e ridurre i materiali sospesi e galleggianti. La **disoleatura** in particolare consiste nella rimozione di oli, grassi, particelle di materiali sintetici e altri materiali leggeri che sono ordinariamente presenti nei liquami urbani.

Oli e grassi possono presentarsi in forma di agglomerati come granuli insolubili, di dimensioni fino ad alcuni  $\text{cm}^3$ ; in tal caso la metabolizzazione da parte dei batteri è lenta, non vengono separati per la loro bassa densità specifica nei decantatori e fuoriescono con l'effluente incrementando tra l'altro i valori di BOD e COD.

#### Sistemi di disoleatura

Oli e grassi sono sostanze con peso specifico inferiore all'acqua, quindi in assenza di moto turbolento dei liquami tendono a separarsi naturalmente, affiorando in superficie.

Il sistema più semplice per l'asportazione consiste in genere in una vasca di calma fornita di setti che impediscono la dispersione dei galleggianti.

In impianti dotati di dissabbiatori longitudinali (specie se aerati) la disoleatura viene attuata nello stesso manufatto, configurato con opportune opere di separazione e sistemi di raccolta.

Anche in questo caso il bacino è formato da un **carroponte pulitore traslante**: nella parte inferiore è dotato di una **raschia di fondo** che provvede alla raccolta delle sabbie, e nella parte superiore ha una **lama di superficie per la raccolta dei galleggianti**. Le sostanze galleggianti che flottano in superficie sono sospinte dal movimento dell'acqua dietro una parete tuffante, disposta longitudinalmente alla vasca, per essere quindi allontanate dalla lama di superficie, che le sospinge in un pozzetto di raccolta. Da questo vengono periodicamente estratte per poi essere smaltite come rifiuto.

Negli impianti dotati di sezioni di grigliatura fine, una parziale disoleatura viene effettuata dalle griglie stesse, nelle quali i grassi vengono trattenuti e formano piccoli grumi.

In alcuni impianti la sezione di disoleatura può essere progettata con funzione di manufatto "di emergenza", per far fronte a eventuali sversamenti massicci, accidentali o abusivi, di rifiuti, quali ad esempio residui di olio combustibile. In tal caso costituisce un punto di raccolta principale; va dotata quindi di specifici sistemi di estrazione, manuali per i piccoli impianti e automatizzati per quelli di dimensioni maggiori (pompe galleggianti, separatori...).

Per le applicazioni nelle quali la separazione naturale delle sostanze leggere non avvenga in maniera sufficiente o siano richieste efficienze di rimozione più spinte, si deve ricorrere alla **flottazione**: nel liquame da trattare viene immessa aria finemente dispersa, in bolle che tendono ad aderire alle particelle sospese rendendo il peso specifico dei "fiocchi" così formati inferiore a quello dell'acqua e portando così in superficie i materiali da raccogliere.

Il rendimento della flottazione può essere incrementato con l'aggiunta di coagulanti e flocculanti, che facilitano l'aumento delle dimensioni e la resistenza meccanica dei fiocchi.

#### Applicazioni

Pre-trattamento negli impianti di trattamento delle acque reflue urbane e di varie tipologie di scarichi industriali.

La **flottazione** è un trattamento chimico-fisico tradizionale e consolidato che ha come obiettivo la rimozione dei contaminanti in sospensione a bassa densità, quindi costituisce un trattamento alternativo alla disoleatura.



Alcune tecnologie attuali prevedono invece l'applicazione della flottazione come sostituzione migliorativa della sedimentazione primaria. Il vantaggio in quest'uso risiederebbe in un minore impegno di spazio conseguente ai più elevati carichi idraulici applicabili e alla possibilità di sostituire contemporaneamente anche le fasi della dissabbiatura, almeno per carichi di inerti non eccessivi, e della preaerazione.

Inoltre, può consentire una tecnologia per migliorare impianti esistenti che risultassero carenti nella fase primaria.

#### **La flottazione e la flocculazione:**

La flottazione **naturale** si utilizza quando le particelle in sospensione hanno peso specifico minore di quello dell'acqua, per cui non è necessario introdurre sostanze flocculanti, poi un *coltello* (o *raschiatore*) provvede ad allontanare i solidi (o i liquidi idrofobi) dalla superficie. La flottazione oltre che naturale può essere:

- **F. ad aria e a gas disciolti**
- **F. a gas indotto**
- **F. con schiuma**

La flocculazione viene sfruttata in trattamenti di purificazione delle acque sia grezze che reflue e in particolar modo quando si intende eliminare particelle colloidali difficilmente sedimentabili o filtrabili. Affinché avvenga la flocculazione è necessario innanzitutto destabilizzare le cariche dei colloidali. Ciò viene realizzato facendo uso di **coagulanti**, la destabilizzazione delle cariche permette la formazione dei primi piccoli aggregati solidi che successivamente tenderanno a ingrossarsi per successivo adsorbimento di particelle fino alla formazione dei primi fiocchi (*flocculazione*) in sospensione.

#### **La sedimentazione primaria:**

La sedimentazione primaria consiste in vasche nelle quali si attua la decantazione per la separazione delle sostanze organiche sedimentabili ottenendo una riduzione del BOD<sub>5</sub> intorno al 30%.

Poiché in questa fase viene trattato un materiale di tipo granuloso, cioè la particella sedimenta senza interferire con le altre particelle, la velocità di sedimentazione del materiale obbedisce con discreta approssimazione alla Legge di Stokes e alla teoria di Hazen:

- La **legge di Stokes** è basata sul fatto che quanto più il liquido è viscoso, tanto più è lenta la velocità di una sfera lasciata cadere liberamente nella sua massa, ma una sfera che cade all'interno di un liquido solo per gravità, ad un certo istante del suo percorso acquista una velocità costante, e ciò si verifica quando la resistenza opposta dalla viscosità del liquido è esattamente bilanciata dalla spinta gravitazionale. Anche le dimensioni delle particelle sono importanti: più sono piccole, minore è la velocità di sedimentazione (o affioramento).

Le vasche di sedimentazione sono di regola poco profonde e comunque non meno di 1,80 m per evitare che il vento possa sollevare i fanghi già depositati. Le vasche non devono essere né troppo corte, per non dar luogo ad un corto circuito tra l'entrata e l'uscita dei liquami (cioè evitare che parte dei liquami possa effettuare un percorso dentro la vasca diverso da quello previsto teoricamente con riduzione del tempo effettivo di permanenza), né troppo larghe per non favorire la formazione di spazi morti presso gli angoli (con innesco dei fenomeni putrefattivi). Le vasche possono essere a flusso orizzontale e pianta rettangolare o flusso radiale o radiale/verticale e pianta circolare. Nelle vasche circolari, i liquami bruti entrano al centro della vasca, e dopo aver superato un deflettore, l'effluente chiarificato esce superando uno stramazzone perimetrale (apertura in uno sbarramento di un flusso liquido) e, raccogliendosi in una canaletta, prosegue verso il trattamento biologico.

Le vasche sono munite di **dispositivi automatici** per la *raccolta* e l'*evacuazione* dei fanghi, nelle vasche rettangolari questi dispositivi possono essere costituiti da un ponte mobile portante lunghi bracci snodati ai quali sono fissati dei raccoglitori; questi vengono tenuti a contatto del fondo quando il ponte si muove verso la tramoggia di raccolta del fango posta sul fondo della vasca, e si sollevano verso la superficie quando il ponte si muove in senso opposto.

Nel caso di vasche circolari il ponte ruota su un perno centrale e su una guida circolare periferica, i raccoglitori assicurati al ponte spazzano il fondo e convogliano i fanghi verso il pozzetto centrale di raccolta dal quale questi vengono aspirati ed inviati ai digestori.

#### **TRATTAMENTO SECONDARIO (O OSSIDATIVO):**

Successivamente i liquami, ancora torbidi a causa delle sospensioni colloidali e putrescibili subiscono il **trattamento secondario** (*ossidativo* o *biologico*), nel quale le sostanze organiche vengono prima ossidate, ossia rese imputrescibili, e successivamente rimosse.

**La fase ossidativa:**

Durante l'ossidazione dei liquami le sostanze colloidali organiche *sono rese fiocose* per essere facilmente rimosse mediante sedimentazione, questo trattamento prevede:

- **L'aerazione:** rimozione delle sostanze organiche tramite ossidazione batterica aerobica
- **La sedimentazione secondaria**

Per l'**ossidazione biologica** (processo aerobico noto come "**areazione**") si utilizzano più tecniche:

- **Gli impianti a letti percolatori** (o a filtri percolatori): Il letto percolatore vero e proprio è formato da una catasta, alta da 1,50 a 3 m, di vari materiali (pietrisco, materiale plastico, ecc.) della grandezza di 4-8 centimetri, o con manufatti in materiale plastico che funge da supporto per lo sviluppo della biomassa batterica attiva ed attraverso il quale percola il liquame, la struttura presenta inoltre numerosi fori per agevolare l'accesso dell'aria. **Modalità di funzionamento del letto percolatore:**
  1. Il liquame da trattare, effluente dalle vasche di sedimentazione primaria, viene sparso a pioggia sul letto percolatore mediante dei distributori mobili.
  2. Il liquame percola attraverso il letto senza sommergerlo in modo da lasciare libera circolazione all'aria, e si raccoglie sul fondo.
  3. Il **fondo** dei letti percolatori è costituito da una piastra in cemento armato realizzata con pendenza verso il sistema di drenaggio che convoglia l'effluente fuori dal percolatore.
  4. Adesa alla superficie di ciascun elemento costituente il letto filtrante, sopra il quale il liquame percola, si forma una **pellicola biologica aerobica** in cui sono presenti, oltre che al liquame in ingresso, anche i batteri saprofiti capaci di degradare le sostanze organiche presenti.
  5. L'**accrescimento** dei batteri presenti porta alla formazione di una pellicola sempre più spessa con conseguente formazione di **zone anaerobiche** nello strato più interno e sviluppo di gas tipici delle reazioni metaboliche in condizioni anaerobiche, ad esempio N<sub>2</sub> (azoto molecolare) e CH<sub>4</sub> (metano).
  6. Tali gas inducono il distacco dal materiale di riempimento della pellicola batterica che segue quindi il refluo fuori dal letto percolatore verso una sedimentazione secondaria, in cui il sistema liquame + pellicola decanta.
  7. Il liquido chiarificato viene disinfettato per eliminare i microrganismi patogeni presenti.
- **Gli impianti a fanghi attivati** (o biologici): attualmente è il sistema più utilizzato in virtù della sua alta efficienza (>90% di abbattimento del BOD); I **fanghi attivi o attivati** sono una sospensione in acqua di biomassa attiva (batteri saprofiti, protozoi, amebe, rotiferi e altri microrganismi), solitamente sotto forma di fiocchi. Tali fanghi sono alla base dei sistemi di ossidazione biologica a fanghi attivi, che sono i più diffusi nei tradizionali impianti di depurazione delle acque reflue. Nel trattamento biologico a fanghi attivi si realizza nelle vasche un sistema dinamico aerobico controllato, che riproduce in ambiente artificiale gli stessi meccanismi biologici che avvengono in natura (ad esempio lungo il corso di un fiume) per la depurazione delle acque inquinate da sostanze organiche biodegradabili. Infatti, mescolando uno scarico da depurare con dei fanghi attivi in cui è presente un'alta concentrazione microbica aerobica preformata, si ha lo stesso processo di auto-depurazione che avviene in natura, ma con una velocità delle reazioni accelerata e uno spazio occupato minore. Il vantaggio del trattamento a fanghi attivi rispetto alla depurazione naturale è che la flora microbica utilizzata per trattare le acque di scarico, anziché rimanere dispersa nell'effluente trattato tende ad agglomerarsi formando dei fiocchi che, se posti in condizioni di quiete, tendono a sedimentare e possono essere separati con facilità dai liquami chiarificati che rimangono in superficie. Il trattamento secondario consente anche l'abbattimento di sostanze azotate e fosfati.

L'areazione può avvenire secondo due diverse modalità:

- *Areazione meccanica*
- *Insufflazione di aria compressa*

Mediante l'**aerazione** (o ossidazione biologica), i **solidi sospesi non sedimentabili** e quelli **disciolti biodegradabili** vengono convertiti in fanghi sedimentabili e quindi separati mediante decantazione che segue sempre la fase di trattamento biologico vero e proprio. La **sedimentazione secondaria** ha il compito di eliminare i fanghi sedimentabili prodotti nella fase di aerazione.

I **fanghi attivi di supero** sono inviati alla cosiddetta "linea fanghi" per essere sottoposti ad ulteriori trattamenti. Pur essendo una tecnica depurativa consolidata, non è raro che gli impianti a fanghi attivi abbiano un funzionamento non soddisfacente a causa di fenomeni provocati da un vero e proprio comportamento patologico dei fanghi. Le alterazioni che possono manifestarsi a carico del fango attivo implicano problemi di separazione tra fase liquida e solida:

- Il **fenomeno del Bulking**: noto anche come Bulking sludge consiste in un *rigonfiamento del fango*, riduce la velocità di sedimentazione e la compattazione del fango sul fondo del sedimentatore secondario. Quando il fango si *ammala di bulking* diventa inadatto alla sua funzione depurante perché perde le sue qualità adsorbenti ed ossidanti e sedimenta a stento, il bulking se non controllato può provocare:
  - fenomeni di trascinamento della biomassa con l'effluente
  - peggioramento di disidratabilità del fango

Esistono due tipologie di bulking:

- **bulking viscoso**: risultato di una eccessiva produzione di polisaccaridi esocellulari da parte di particolari gruppi di microrganismi, queste sostanze danno origine a fiocchi di aspetto gelatinoso che trattengono notevoli quantità di acqua. La causa dell'eccessiva produzione di materiale esocellulare è la mancanza di nutrienti (carbonio, azoto, fosforo)
- **bulking filamentoso**: dovuto alla proliferazione eccessiva di batteri, in questo caso il fiocco di fango appare molto grande e molto ricco di batteri filamentosi

Il fenomeno del rigonfiamento può indicare la presenza di un problema a monte, ossia può essere sentinella di problemi quali **carenza di ossigeno disciolto** in vasca di ossidazione (<2 mg/l), **shock di pH**, o presenza di **sostanze tossiche**, anche se generalmente è causato da un carico sul fango troppo basso.

Secondo una teoria abbastanza accreditata, una delle cause principali del bulking sarebbe la mancanza di elementi nutritivi contenuti nei liquami, infatti il rapporto ideale tra carboni, azoto e fosforo dovrebbe essere intorno a 100:10:1, se si manifesta uno squilibrio in questo rapporto si ha un'alterazione nel metabolismo dei microrganismi aerobi contenuti nei fanghi attivi, e ciò favorisce il bulking.

- Il **fenomeno della crescita dispersa**: il fenomeno si manifesta con una struttura dispersa del fiocco che è praticamente assente poiché i batteri non aderiscono più gli uni agli altri a causa di una cattiva bioflocculazione dovuta alla presenza di tensioattivi o sostanze tossiche. Questo è causa di un effluente torbido e una di pessima sedimentabilità
- Il **fenomeno di pin point**: avviene quando i batteri filamentosi sono in difetto o praticamente assenti (fenomeno opposto del bulking filamentoso) e pertanto i fiocchi risultano di dimensioni molto ridotte (diametro < 100 μm) poiché viene a mancare il sostegno su cui fissarsi e formare fiocchi più grandi. In questo caso si produce un effluente ricco di piccoli solidi sospesi e quindi, di BOD, ma in genere non torbido (effluente morbido) e non si ha alcuna separazione di sedimento
- Il **fenomeno di rising sludge (risalita del fango) o denitrificazione parassita**: fenomeno fisico che si manifesta con la risalita e galleggiamento del fango, sulla superficie del sedimentatore secondario. Tale fenomeno è dovuto alla massiccia denitrificazione che avviene sul fondo del sedimentatore secondario. In questo caso i nitriti e i nitrati presenti nel fango sono convertiti in azoto gassoso il quale risale in superficie sotto forma di bollicine; se queste sono numerose, aderendo alla superficie dei fanghi, lo fanno risalire in superficie (flottazione)
- Il **fenomeno del foaming**: è legato alla presenza di grandi quantità di schiume biologiche che si formano sia sulla superficie del sedimentatore sia nei bacini di aerazione. Tali schiume viscoso e di colore marrone chiaro, derivanti dalla presenza di microrganismi come *Microthrix Parvicella* e *Nocardia sp.*, risultano persistenti e tenaci, difficili da rompere meccanicamente. Il foaming oltre a causare accumuli di schiuma determina anche fenomeni putrefattivi.

I letti percolatori non sono oggetto di alcuna delle suddette patologie.

In sostituzione del trattamento ossidativo tradizionale a fanghi attivi si possono utilizzare le **tecnologie MBR**: tecnologia di depurazione avanzata rispetto a quella tradizionale dei fanghi attivati.

Il sistema MBR combina un tradizionale processo biologico a fanghi attivi, con il processo di separazione a membrana (generalmente microfiltrazione o ultrafiltrazione), che sostituisce il sedimentatore secondario.

**TRATTAMENTO TERZIARIO:**

Viene applicato all'effluente proveniente dal trattamento secondario, quando lo scarico finale deve subire un ulteriore abbattimento del carico inquinante, che altrimenti sarebbe incompatibile con il recapito finale prescelto; un esempio è la riduzione dei solidi disciolti o delle sostanze nutrienti (azoto e fosforo) che potrebbero causare l'**eutrofizzazione** (sovraabbondanza di nitriti e fosfati in ambiente acquatico) e anossia dei corpi idrici recettori e di tossicità della vita acquatica. Il **trattamento terziario** (o avanzato) consiste nell'eliminazione di azoto (denitrificazione) e fosforo (defosfatazione), che sono eutrofizzanti, nonché la riduzione dei solidi disciolti per adsorbimento su carbone attivo. Anche i trattamenti terziari possono essere di tipo biologico, fanno parte di questa fase:

- **trattamenti chimico-fisici** (chiariflocculazione)
- **trattamenti meccanici** (filtrazione su carboni attivi o su filtri a sabbia)
- **trattamenti biologico-naturali** (fitodepurazione, lagunaggio)
- **trattamenti biologici** (nitrificazione, denitrificazione e defosfatazione)
- **trattamenti di disinfezione**

**Abbattimento dell'Azoto:**

Nei sistemi più recenti, è presente un sistema di abbattimento delle sostanze azotate mediante denitrificazione che è causa della conversione dei nitrati, e di parte dei nitriti, in azoto gassoso.

La denitrificazione anossica, cioè in assenza di ossigeno disciolto, è un processo di natura biologica attuato dai batteri eterotrofi facoltativi, che richiede un ambiente anaerobio e molta sostanza organica che funge da fonte di carbonio per i batteri.

Durante la reazione si ha la formazione oltre che di azoto gassoso anche di anidride carbonica e acqua. La vasca di **denitrificazione** viene posta **a monte** della vasca di aerazione del **trattamento secondario**, in modo da garantire liquami, provenienti dalle vasche di sedimentazione primaria, con la necessaria quantità di sostanza organica. Poiché però la maggior parte della sostanze organiche a base d'azoto nei reflui si trova sotto forma di ammoniaca (mentre ai fini della denitrificazione servono soprattutto i nitrati), bisogna effettuare una nitrificazione mediante la quale, in condizioni aerobiche avviene l'ossidazione biologica di  $\text{NH}_4$  e  $\text{NO}_2$  (nitrito) in  $\text{NO}_3$  (nitrato), con consumo di  $\text{CO}_2$ .

La **nitrificazione** viene attuata nella stessa vasca di aerazione del trattamento secondario, l'**ossidazione biologica** viene attuata dai batteri autotrofi aerobici capaci di utilizzare per la sintesi cellulare carbonio inorganico ( $\text{CO}_2$ ) e di trarre l'energia necessaria alla crescita e al metabolismo dall'ossidazione dell'ammoniaca e poi dei nitriti secondo il seguente processo:

- Si ha **nitrosazione** ad opera di *Nitrosomonas sp.* che può ossidare l'**ammoniaca** a **nitrito**:  

$$\text{NH}_4^+ + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$$
, ma non può completare l'ossidazione a **nitrato**
- Segue la **nitrificazione** ad opera di *Nitrobacter sp.* che ossida il **nitrito** a **nitrato**:  

$$\text{NO}_2^- + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$$

La **velocità di nitrificazione** è dipendente dalla quantità di ossigeno disciolto.

A questo punto, l'acqua in uscita dal reattore aerobico (nitrificata), dove è avvenuta l'ossidazione delle sostanze organiche e la nitrificazione, viene messa in ricircolo e viene pompata a monte nella vasca anossica di denitrificazione, (*processo Ludzak - Ettinger*) dove ad opera di varie specie batteriche di eterotrofi facoltativi (fra cui *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas denitrificans*, *Paracoccus denitrificans*, *Thiobacillus denitrificans*), che utilizzano l'ossigeno contenuto nella molecola di nitrito e di nitrato per la respirazione in condizioni anossiche, si ha la liberazione di  $\text{N}_2$  sotto forma di gas.

**Abbattimento dei fosfati:**

I sistemi di depurazione più avanzati prevedono anche l'abbattimento dei fosfati, Il fosforo può essere presente in più forme: inorganica come ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), fissato in composti cristallini a base di Ca, Fe, Al, oppure organica sotto forma di acido umico, fulvico o fosfolipidi.

Rispetto all'azoto il fosforo ha l'inconveniente di non poter essere ridotto in forma gassosa e liberato nell'atmosfera, inoltre la concentrazione di fosfati è anche in funzione dell'età del fango trattato infatti, a seguito della lisi cellulare rapida, si ha il rilascio di fosfato.

In un impianto convenzionale a fanghi attivi si ha già una rimozione parziale del fosforo (20-30%), (per la riproduzione cellulare), ma con trattamenti specifici tale rimozione è quasi totale (90%). L'eliminazione specifica del fosforo viene realizzata a seconda dei casi mediante un trattamento di tipo **chimico-fisico** o mediante un trattamento di tipo **biologico** (*Biological Phosphorous Removal - BPR*).

L'abbattimento mediante **trattamento fisico - chimico** avviene attraverso l'uso di sostanze precipitanti, che coagulano con i fosfati facendoli precipitare, e successiva filtrazione su sabbia (o su teli o su dischi), a tal fine vengono usati:

- **Sali di calcio** ( $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ ), che raggiunto pH 10 coagulano gli ioni calcio in eccesso con i fosfati per formare un sale detto idrossilapatite, cui segue una neutralizzazione per riportare il pH a livelli normali (7.5-8)
- **Allume e solfato di alluminio** ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )
- **Solfato ferroso, solfato ferrico, o cloruro ferrico** sono ampiamente usati facendo reagire gli ioni  $\text{Fe}^{3+}$  con aggiunta di calce che incrementa il pH facilitando la formazione del fosfato ferrico

Il sistema chimico ha l'inconveniente di produrre una notevole quantità di fanghi, il sistema di **defosforazione biologico**, sfrutta invece l'intervento di batteri eterotrofi fosfo-accumulanti (*Phosphorus Accumulating Organisms* - PAOs) come *Acinetobacter species* che tendono naturalmente ad accumulare fosforo, sotto forma di polifosfati, ma che se sottoposti a stati alternati di stress aerobico - anaerobico accumulano, molto più fosforo del necessario.

L'abbattimento biologico dei fosfati organici consiste in due fasi distinte: una **aerobica** e l'altra **anaerobica**; un'altra forma di degradazione del fosforo è data dal trattamento terziario di **fitodepurazione**, in cui le piante hanno il ruolo fondamentale di creare l'habitat ideale per la proliferazione della flora batterica, che poi è la vera protagonista della depurazione biologica.

### La Disinfezione:

La disinfezione serve ad abbattere i batteri (carica batterica) patogeni nell'effluente depurato.

Può avvenire tramite:

- Clorazione
- Ozonizzazione
- Attinizzazione
- Acido peracetico

Nella disinfezione risultano di fondamentale importanza due concetti fondamentali: la **concentrazione del disinfettante** e il **tempo di permanenza del disinfettante a contatto con il refluo**.

### La Clorazione

La clorazione è il procedimento più utilizzato per la **depurazione microbiologica** delle acque, il Cl reagisce ossidando le sostanze organiche ed inorganiche e inattivando i microrganismi, è inoltre il disinfettante più usato nei trattamenti di disinfezione. Esso può essere impiegato sotto forma di **ipoclorito di sodio, biossido di cloro, cloroammine, cloro liquido o gassoso** ( $\text{Cl}_2$ ).

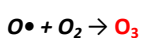
Il cloro gassoso viene disciolto in acqua dove si dismuta in acido ipocloroso, un potente germicida, e acido cloridrico, il cloro può, in presenza di ammoniaca, dare anche origine a cloroammine primarie, secondarie o terziarie con efficacia germicida **decrecente**. La formazione di un tipo di ammine piuttosto che di altre dipende dalla concentrazione di cloro: maggiore è questa, maggiore è la produzione di ammine terziarie con basso potere di disinfezione, in quanto queste si decompongono rapidamente.

### L'Ozonizzazione

L'ozonizzazione è una tecnica di disinfezione delle acque che impiega ozono ( $\text{O}_3$ ), un gas prodotto mediante scariche elettriche ad alto voltaggio in una apposita camera nella quale viene fatto passare un flusso d'aria o di ossigeno: l'energia fornita consente ad una parte delle molecole d'ossigeno di essere scisse in **due molecole omologhe** dette **radicali** che sono particolarmente elettronegative, secondo la reazione:



Ciascun radicale andrà ad unirsi ad una molecola di ossigeno per dare ozono, una molecola trivalente molto aggressiva e instabile:



L'ozono ha elevata efficacia nei confronti di batteri e virus.

### L'Attinizzazione

L'attinizzazione sfrutta l'azione battericida dei raggi UV-C, i raggi UV sono emessi per mezzo di lampade a vapori di mercurio; sono state create apparecchiature che trattano fino a  $100 \text{ m}^3/\text{ora}$  di acqua con lampade U.V. con una potenza di  $30.000 \mu\text{W}/\text{sec}/\text{cm}^2$ .

Con questo sistema si raggiunge un livello di qualità eccellente riuscendo a degradare efficacemente il Dna batterico ma i costi sono elevati, il miglior risultato lo si ottiene mediante l'uso di lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) intorno ai 250 nm (nanometri) corrispondente agli UV-C e con una **densità di flusso radiativo** di almeno  $6.000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  (microWatt per centimetro quadrato). Poiché le lampade usate normalmente perdono efficacia nel corso del tempo si usano lampade con **densità di flusso radiativo** molto superiore. I raggi UV hanno un potere biocida elevatissimo nei confronti di batteri, spore, virus, funghi, nematodi.

#### L'Acido Peracetico:

L'acido peracetico è un potente biocida che basa la sua azione sull'alterazione di strutture cellulari come enzimi e membrane. Viene prodotto per reazione fra perossido d'idrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e anidride acetica ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$ ), è particolarmente instabile pertanto viene commercializzato in soluzioni al 5% o 15% pronto per essere solubilizzato nelle giuste quantità nelle acque da depurare.

#### Il trattamento dei fanghi di depurazione:

Si passa poi al **trattamento dei fanghi** (o *linea fanghi*). L'obiettivo primario del trattamento dei fanghi è quello di stabilizzare le **sostanze organiche** in modo da rendere minimo il costo del relativo smaltimento finale senza creare problemi all'ambiente. I processi di *trattamento dei fanghi* sono di tipo **chimico**, **biologico** e **fisico/termico** e possono essere suddivisi in due grandi categorie:

- i **processi di separazione** che hanno lo scopo di allontanare parte della frazione liquida dalla frazione solida dei fanghi
- i **processi di conversione** che hanno lo scopo di modificare le caratteristiche dei fanghi per facilitarne i trattamenti successivi

I principali trattamenti dei fanghi sono:

- **Ispessimento**
- **Condizionamento**
- **Stabilizzazione biologica**
  - Digestione aerobica
  - Digestione anaerobica
- **Disidratazione**
  - Disidratazione **naturale** per essiccamento su letti drenanti
  - Disidratazione **artificiale** per filtrazione meccanica
  - Disidratazione **termica**.

Prima di descrivere i vari procedimenti di trattamento bisogna sottolineare che i fanghi generati dalla linea acque di un impianto di depurazione tradizionale possono essere di diverso tipo:

- **Fanghi primari:** derivano dal processo di sedimentazione primaria, sono costituiti da sostanza organica fresca che si separa dal liquame grezzo senza aver subito alcun trattamento (**fanghi granulosi**). Contengono una quantità di solidi pari al 4% (96% di umidità), questi si degradano più rapidamente con un processo anaerobico rispetto alle altre tipologie di fanghi e producono più **biogas**;
- **Fanghi secondari** o **biologici:** derivano dai processi di ossidazione biologica ed in particolare da filtri percolatori o fanghi di supero di impianti a fanghi attivati. Sono **fanghi fioccosi** e hanno una percentuale di solidi più bassa di quella dei fanghi primari, con valore tipico pari a 1% (99% di umidità), ma sono più ricchi di **azoto** e **fosforo**;
- **Fanghi chimici:** derivano da processi di chiari-flocculazione, di norma alla linea fanghi arrivano fanghi combinati (primari e secondari) i quali presentano una elevata umidità, pari al 96-99%: questa umidità deve essere rimossa dal fango per consentire il suo smaltimento finale senza danni ambientali e con minor costo possibile.

#### **Le procedure di trattamento dei fanghi:**

##### Ispessimento

L'**ispessimento** o **addensamento** è in genere la prima fase a cui vengono sottoposti i fanghi, provenienti dai cicli di depurazione o potabilizzazione delle acque, che ha lo scopo di ridurre l'umidità presente nei fanghi stessi.

Con l'ispessimento si ha una riduzione dell'umidità modesta infatti dopo il trattamento il fango possiede ancora un contenuto di acqua di circa il 95%. In tali condizioni il fango si comporta come un liquido ed è ancora pompabile con apparecchiature convenzionali.

La riduzione di umidità, anche se piccola, comporta una sensibile riduzione del volume di materiale da trattare e pertanto un consistente risparmio nel dimensionamento nelle fasi successive, e pertanto un abbassamento significativo dei costi di investimento e di esercizio degli impianti di trattamento e smaltimento dei fanghi.

Questo trattamento sfrutta le differenze di **peso specifico** dei materiali costituenti i fanghi, queste differenze di peso specifico possono essere **naturali** o **indotte**: nel primo caso si parla di **ispessimento per gravità** mentre nel secondo caso si parla di **ispessimento per flottazione**.

**Ispessimento per gravità**: in questo caso la separazione dell'acqua dal fango avviene per gravità filtrando il fango su una tela drenante, l'acqua attraversa la tela ed il fango addensato è trattenuto sulla stessa.

**Ispessimento per flottazione**: all'interno delle vasche viene immessa aria **compressa** (circa 5 bar) che si solubilizza nell'acqua e la satura. Quando la pressione viene improvvisamente ridotta a quella atmosferica (1 bar), mediante una valvola riduttrice di pressione, dalla miscela aria - acqua - solidi, l'aria si separa sotto forma di piccole bolle che aderiscono velocemente ai fiocchi aumentandone la velocità di galleggiamento (flottazione).

Tutte le particelle sospese che hanno tendenza a flottare liberamente (densità inferiore a quella dell'acqua) sia quelle scarsamente sedimentabili, vengono portate sulla superficie dell'acqua e rimosse tramite un raschiatore automatico.

I **prodotti dell'ispessimento** spesso vengono ripompati al trattamento primario, mentre i **fanghi ispessiti** vengono pompati a monte del sedimentatore primario della linea acque per essere ulteriormente trattati.

### Condizionamento

Il **condizionamento** è un trattamento che consente principalmente una maggiore disidratabilità/filtrabilità dei fanghi stessi con conseguente maggiore efficienza durante il successivo trattamento di disidratazione (previsti a valle), quasi sempre necessario per ridurre il volume dei fanghi e quindi il costo delle successive operazioni di trattamento e smaltimento. I **metodi di condizionamento** possono essere di due tipi:

- **Chimico**: i fanghi spesso contengono elevate quantità di **sostanze colloidali** (sostanze che si trovano in uno stato finemente disperso, intermedio tra la soluzione omogenea e la dispersione eterogenea); il condizionamento chimico si basa sull'utilizzo di sostanze organiche o inorganiche capaci di determinare la neutralizzazione delle cariche superficiali dei colloidali, favorendone l'aggregazione.
- **Fisico**: Il metodo più efficace, particolarmente utile per fanghi con elevato contenuto di sostanze colloidali, è il **condizionamento termico**. Questo metodo consiste, essenzialmente, in una cottura del fango ad elevata temperatura (tra i 200 e i 205 ° C) in appositi recipienti riscaldati con vapore. Per effetto della cottura sotto pressione, le sostanze colloidali coagulano e si agglomerano separandosi dall'acqua mentre buona parte delle sostanze organiche passano in soluzione. Successivamente, il fango viene addensato per sedimentazione e l'acqua ricca di sostanze organiche viene riciclata negli impianti di trattamento delle acque di rifiuto.

### Stabilizzazione biologica o digestione

È un complesso di processi metabolici attraverso i quali il contenuto organico putrescibile dei fanghi, provenienti dalle vasche di sedimentazione primaria e secondaria, viene trasformato in sostanze stabili più semplici.

La digestione può essere di due tipi:

- anaerobica
- aerobica

I manufatti in cui avviene la digestione sono chiamati **digestori**, il fango proveniente dai processi di digestione ha caratteristiche tali che è possibile il suo smaltimento per **lagunaggio** (depurazione all'interno **stagni di ossidazione** detti anche lagune, o stagni biologici, all'interno dei quali avvengono processi di ossidazione e fermentazione simili a quelli che si realizzano in natura) o per **spandimento sul terreno**.

Questi metodi di smaltimento richiedono però di poter disporre di grandi estensioni di terreno e necessitano di controlli accurati, per evitare fenomeni di inquinamento ambientale. Questo tipo di smaltimento è meglio adatto per piccoli impianti e quando non è necessario trasportare il fango stesso in località lontane dal luogo di produzione. Per grossi impianti di trattamento è consigliabile invece sottoporre i fanghi a processi di **disidratazione** (preceduto da un condizionamento se la disidratazione è di tipo meccanico) o di **essiccamento**, seguiti se necessario da un processo di **incenerimento**.

## Disidratazione

Serve a ridurre il contenuto di acqua dei fanghi digeriti, I metodi di disidratazione si possono classificare in:

- **Naturali**
  - l'essiccamento naturale su letti
- **Artificiali o con apparecchiature meccaniche**
  - la filtrazione
  - centrifugazione
- **Termici**

### Metodo naturale: Letti di essiccamento

Sono costituiti da vasche a sezione rettangolare, poco profonde, riempite di materiale drenante, sul quale viene cosparso il fango, l'acqua viene poi allontanata per percolazione e per evaporazione naturale.

### Metodo artificiale: Filtrazione meccanica

L'operazione consiste nel far passare il fango attraverso un mezzo filtrante il quale trattiene la parte solida e fa passare quella liquida. La filtrazione è, tra le tecniche di disidratazione, quella che permette di ottenere fanghi a più elevato contenuto di solidi.

Per questa operazione si utilizzano:

- **Filtri sotto vuoto:** tamburo rivestito da materiale filtrante parzialmente immerso nel fango da disidratare; nel tamburo, che viene fatto ruotare lentamente intorno al suo asse, viene mantenuto il vuoto mediante una pompa, il fango viene risucchiato, aderisce alla tela e perde parte della sua acqua. Successivamente lo strato di fango formatosi viene staccato dal filtro con un getto di aria compressa e portato via dal tamburo da un raschiafanghi.
- **Filtri sotto pressione:** comprende l'utilizzo delle **filtropresse** e delle **nastropresse**:
  - **Filtropressa:** Il fango viene immesso tra piastre e sottoposto a pressione, l'acqua attraversa il tessuto mentre i solidi sono trattenuti dalle piastre. Successivamente le piastre vengono aperte e il pannello formatosi viene scaricato. Il processo ha lo svantaggio di essere discontinuo (bassa produttività) e di richiedere un'accurata assistenza (maggiori costi di manodopera), per contro esso permette di ottenere fanghi molto secchi.
  - **Nastropressa:** Il fango viene immesso all'interno dei due filtri a nastro continuo, l'acqua viene espulsa attraverso il mezzo filtrante mediante l'applicazione da parte dei rulli di un'adeguata pressione. Questo tipo di trattamento ha lo svantaggio di richiedere frequenti lavaggi delle tele e determina un'elevata usura delle stesse.
- **Centrifugazione:** il fango viene immesso nella **centrifuga** attraverso un tubo fisso che corre al centro di un tamburo cilindrico (con un'estremità troncoconica) in rotazione ad un elevato numero di giri (ad una velocità di circa 5.000 giri/min si ottiene una forza centrifuga pari 3.500 volte quella di gravità).  
In brevissimo tempo, per effetto della forza centrifuga, i solidi si addensano contro la parete interna del tamburo: all'interno del cilindro c'è una coclea che ruota nello stesso senso del tamburo ma ad una velocità inferiore, questa trascina continuamente i solidi verso l'estremità del tamburo stesso dove è situato lo scarico. Lungo questo percorso, il fango perde parte della sua acqua che viene scaricata all'esterno attraverso un disco sfioratore.

### Trattamenti Termici

I trattamenti termici possono essere:

- **L'essiccamento:** i fanghi sono portati ad una temperatura fino ad un massimo di 180 °C durante il quale si liberano dell'acqua interstiziale e capillare. Negli essiccatori il calore viene trasmesso al fango mediante contatto con un fluido caldo (vapore o olio diatermico).
- **L'incenerimento:** I processi di incenerimento, pur essendo dei trattamenti di disidratazione spinta dei fanghi, rappresentano uno dei metodi utilizzati per lo smaltimento dei fanghi. Infatti questo processo fornisce materiali inerti facilmente smaltibili e talvolta riutilizzabili, i processi di incenerimento comprendono essenzialmente uno stadio di essiccazione ed uno stadio di combustione e si sviluppano attraverso le seguenti fasi:
  - Riscaldamento del fango a 100 °C
  - Evaporazione dell'acqua contenuta nel fango
  - Riscaldamento del vapore acqueo e dell'aria



- Combustione delle sostanze organiche

**Lo smaltimento dei fanghi:**

I fanghi trattati, possono essere smaltiti nel seguente modo:

- Per **incenerimento**
- In **discariche controllate di rifiuti speciali**

oppure riutilizzati:

- Sul **suolo adibito ad uso agricolo**
- Sul **suolo non adibito ad uso agricolo**
- In **impianti di compostaggio** (il compostaggio è un processo biologico aerobico e controllato dall'uomo che porta alla produzione di una miscela di sostanze umificate (il compost) a partire da residui vegetali sia verdi che legnosi, o anche animali, mediante l'azione di batteri e funghi. Il compost può essere utilizzato come fertilizzante su prati o prima dell'aratura.

In Italia i fanghi vengono smaltiti principalmente in discarica (55%) e in parte riutilizzati in agricoltura (33%).