

*Corso I.f.t.s.
"Tecnico Superiore per i sistemi di raccolta e
smaltimento dei rifiuti"*

*ITI Cannizzaro
A.S. 2007/08*

La Depurazione Biologica delle acque reflue.

Stage svolto presso il depuratore di acque reflue di Catania- Sidra S.p.A.

*Consoli Giuseppe
Giunta Graziella
Pucci Salvatore*

Tutor aziendale: Ing. Salvatore Torrisi

La Depurazione Biologica delle acque reflue.

L'acqua è un "elemento" indispensabile per la sopravvivenza della vita sulla pianeta. E' distribuita tra oceani (97,3%) e continenti (2,7%) e in atmosfera è presente sotto forma gassosa o condensata.

Le acque naturali si dividono in tre grandi categorie:

- ACQUE ATMOSFERICHE: piogge, neve, nebbia;
- ACQUE TELLURICHE: di superficie e sotterranee;
- ACQUE BARISFERICHE: di origine endogena, permangono in condizioni latenti.

Le acque naturali hanno una spontanea tendenza all'autodepurazione, nel senso che quando un corpo idrico è inquinato le sostanze che lo contaminano vengono trasformate da microrganismi in sostanze più semplici (in genere sali). Ovviamente ciò avviene entro certi limiti di inquinamento.

L'inquinamento delle acque naturali può svilupparsi a tre livelli. Esistono infatti:

- modifiche delle qualità delle acque dovute a cause naturali insopprimibili, in quanto l'acqua piovana a contatto con certi ambienti aerei (di distretti vulcanici, ad esempio) e più generalmente del suolo porta in soluzione ed in sospensione varie sostanze (**inquinamento naturale**)
- uno stato di inquinamento superiore a quello naturale derivante dall'apporto (per cause non naturali) di inquinanti di varia specie (anche calore), in quantità non superiore alla capacità d'autodepurarsi dell'acqua interessata (**inquinamento indotto temporaneo**)
- un terzo e più grave stato d'inquinamento quando gli inquinanti sono tali da inibire la capacità d'autodepurazione dell'acqua e da provocare quindi permanente degradamento estetico o funzionale del corpo idrico (**inquinamento indotto permanente**).

L'autodepurazione dei corpi idrici è un processo valido solo per le sostanze biodegradabili e consiste nel trasformare tali sostanze (in genere organiche) in sali, e ciò avviene ad opera di alcuni batteri. I batteri (ad eccezione di quelli fotosintetici) sono classificati come *riduttori* perché essi sono in grado di degradare i composti chimici complessi a specie più semplici e da qui ricavano l'energia necessaria per la loro crescita.

A secondo del modo con il quale si procurano le due risorse fondamentali per la vita, l'energia ed il carbonio (necessario per la sintesi dei composti organici), i batteri si dividono in autotrofi ed eterotrofi.

I batteri **autotrofi** sono in grado di sintetizzare le molecole organiche a partire da molecole inorganiche, come l'anidride carbonica. L'energia necessaria per alimentare queste sintesi può essere fornita dalla luce o da altri composti chimici (mediante reazioni).

I batteri **eterotrofi** hanno bisogno di nutrirsi di molecole organiche già sintetizzate, come fanno tutti gli animali. Questi batteri sono capaci di alimentarsi praticamente di tutto.

Inoltre si definiscono **aerobici** tutti i batteri che, come gli animali, "respirano" ossigeno, sono **anaerobici** i batteri che vivono in ambienti privi di ossigeno perché per essi l'ossigeno è tossico; ci sono anche i batteri aerobici facoltativi che preferibilmente usano l'ossigeno ma in assenza di ossigeno sopravvivono ugualmente.

Il metabolismo batterico è l'insieme di processi attraverso cui le sostanze chimiche vengono modificate nella cellula per ricavarne energia e biomassa (materiale cellulare).

Le cellule sfruttano il **catabolismo** (l'insieme dei processi metabolici che ha come prodotti sostanze più semplici) per ricavare energia e l'**anabolismo** o **biosintesi** (l'insieme dei processi di sintesi delle **molecole organiche** più complesse da quelle più semplici o dalle sostanze nutritive) per ricavare biomassa la quale è sfruttata per crescere e immagazzinare energia.

La richiesta di Ossigeno come indice d'inquinamento

Quando un corpo idrico tiene sospese o disciolte sostanze ossidabili (biodegradabili) da il via all'azione autodepurativa tramite microrganismi aerobi i quali, per ossidare le sostanze inquinati, consumano ossigeno.

La **domanda d'ossigeno di un corpo idrico** è la quantità d'ossigeno (espressa in mg/l) richiesta per liberarlo dagli agenti contaminanti.

La quantità di ossigeno che viene consumata per l'ossidazione dei contaminati presenti nell'acqua, ad opera dei microrganismi, prende il nome di **BOD (domanda biochimica di ossigeno)** acronimo dell'inglese Biochemical Oxygen Demand. Esso rappresenta una misura del contenuto di materia organica biodegradabile presente in un campione d'acqua. Il test del BOD viene effettuato su un campione dell'acqua da analizzare precedentemente saturato di ossigeno; sigillando il campione (per impedire che altro ossigeno passi in soluzione) e quindi conservandolo al buio per impedire che si sviluppino reazioni di fotosintesi (che generano ossigeno). Il campione è mantenuto al buio alla temperatura di 20 °C per tutta la durata del test (solitamente 5 giorni) e al termine di questo periodo viene analizzato l'ossigeno disciolto residuo, la quantità di ossigeno mancante sarà stata utilizzata dai batteri per mineralizzare le sostanze organiche biodegradabili. Se non si è consumato ossigeno vuol dire che non ci sono

sostanze degradabili dai batteri ma l'acqua può essere ugualmente inquinata da sostanze non biodegradabili dai batteri.

In chimica, **COD (domanda chimica di ossigeno)** è l'acronimo di chemical oxygen demand (in italiano letteralmente "domanda chimica di ossigeno").

Mentre con il BOD misuriamo l'inquinamento dovuto a sostanze biodegradabili con il COD misuriamo l'inquinamento totale cioè dovuto a sostanze biodegradabili e non. Il suo valore, espresso in milligrammi di ossigeno per litro, rappresenta la quantità di ossigeno necessaria per la completa ossidazione dei composti organici ed inorganici presenti in un campione di acqua. Il test del BOD viene effettuato su un campione dell'acqua da analizzare addizionandolo di una quantità nota di bicromato di potassio (che è un forte ossidante) in ambiente acido per acido solforico, facendo bollire tale soluzione per due ore e determinando infine la quantità di bicromato non consumato per l'ossidazione mediante una titolazione con sale di Mohr.

Il BOD può essere usato per stimare le qualità generali dell'acqua e il suo grado di inquinamento ed è un parametro usato nella gestione della qualità dell'acqua e nella depurazione:

BOD > 10 mg/l	Fortemente inquinato
BOD 5÷10 mg/l	Inquinato
BOD 3÷5 mg/l	Leggermente inquinato
BOD ≤ 3 mg/l	Non inquinato

Il BOD inoltre è spesso usato come parametro di misura per valutare l'efficienza per gli impianti di trattamento acque reflue.

L'Abitante Equivalente

Possiamo misurare l'inquinamento di un corpo idrico dovuto a uno scarico misurandolo come la quantità di abitanti che contribuirebbe a creare quello scarico.

L'**Abitante Equivalente** (a.e.) è definito all'art.74 comma 1 lett. a) del D.Lgs. 152/06 come "carico organico biodegradabile avente una richiesta di ossigeno a 5 giorni (BOD5) pari a 70 grammi di ossigeno al giorno o 250 l di H₂O". (questi dati sono variabili nel tempo, ad esempio negli anni '50 si utilizzava 150 l di H₂O)

Questi dati si utilizzano per calcolare a quanti abitanti equivalenti corrispondono ogni giorno le attività lavorative; il calcolo si può effettuare considerando il carico idraulico o il carico organico. In genere, si considera il carico organico perché è quello più rilevante perché esso

tiene conto di tutto quello che c'è disciolto in quella determinata acqua (grassi, tensioattivi, ecc.) e dell'eventuale inquinamento che si provoca.

Le attività che producono acque diverse da quelle per usi civili devono, per scaricare in fogna, depurare le acque e portarle al valore di BOD₅ tipico delle acque domestiche (250 mg/l) dopodichè possono scaricare in fogna; se invece le attività vogliono scaricare direttamente nell'ambiente (in un corpo idrico) devono depurare l'acqua fino a portare il valore di BOD₅ a 40 mg/l.

Trattamento biologico delle Acque.

La **depurazione delle acque** viene condotta con tecniche diverse a seconda del tipo di acqua trattata e delle finalità che si vogliono raggiungere: l'acqua può essere infatti destinata a usi potabili e igienici, a usi industriali o all'irrigazione. Inoltre, mentre in passato il problema degli scarichi industriali e urbani non preoccupava, oggi il trattamento di queste acque riveste un'importanza basilare. Le esigenze della società, infatti, hanno determinato una crescente richiesta di acqua per di più con particolari requisiti di purezza, tanto che le fonti che precedentemente assicuravano il rifornimento idrico non solo risultano insufficienti, ma in parte sono rese inutilizzabili dall'inquinamento. Quest'ultimo è imputabile prevalentemente allo scarico, senza alcun trattamento depurativo, nei bacini idrici, nel sottosuolo e in mare delle acque di rifiuto, sia smaltite dalle industrie, che utilizzate dalla popolazione per usi potabili e igienici.

La quantità di acqua altamente inquinata scaricata nei corsi d'acqua è tale ormai da non consentire in molti casi l'autodepurazione degli stessi, con conseguente riduzione delle possibilità di prelievo dai medesimi di acque direttamente utilizzabili.

Per risolvere l'enorme problema del fabbisogno idrico sono in corso ricerche approfondite per il reperimento di nuovi giacimenti d'acqua, ma contemporaneamente si intensificano le tecniche per una sempre più efficace depurazione delle acque prima dello scarico nel corpo idrico, sia per consentire a certi settori industriali un razionale impiego delle acque con adatto riciclo, sia per rendere utilizzabili acque che per composizione o localizzazione non lo erano. Quest'ultima possibilità già attualmente riveste una notevole importanza destinata però ad accentuarsi sensibilmente, grazie alla dissalazione di acque di mare o salmastre, realizzabile mediante numerosi processi.

Le acque utilizzate in lavorazioni, processi e cicli industriali devono presentare determinate caratteristiche in relazione ai particolari impieghi cui sono destinate e pertanto le tecniche di depurazione variano secondo i requisiti chimici, fisici o anche batteriologici richiesti. Le acque

destinate a usi civili subiscono invece una serie ben definita di trattamenti connessi alle diverse tecniche di potabilizzazione.

Attualmente in Italia esistono circa 10.000 impianti di depurazione sparsi su tutto il territorio. Il sistema tecnologico più utilizzato e diffuso, in modo particolare per impianti di potenzialità medio-alta, è quello a fanghi attivi o a biomassa sospesa. La comunità microbica agisce all'interno della vasca di ossidazione, un reattore biologico alimentato dal refluo ed aerato artificialmente, di solito seguito da un'unità impiantistica denominata sedimentatore, che provvede alla decantazione e quindi alla separazione per gravità delle particelle sedimentabili del fango dalle acque. Generalmente nella vasca di ossidazione non giunge il liquame grezzo, bensì pretrattato attraverso sistemi di grigliatura e sedimentazione primaria. Altri tipi di tecnologie prevedono l'utilizzo di biomasse adese su particolari supporti fisici ad elevata superficie specifica, come i biodischi o i letti percolatori, dove la biomassa si sviluppa, cresce e si rinnova svolgendo la sua attività depurativa. In base alle esigenze qualitative del refluo in uscita e per il rispetto degli standard di legge previsti per lo scarico, in molti casi l'effluente proveniente dal trattamento biologico o dalla sedimentazione secondaria può essere sottoposto a trattamenti di finissaggio e disinfezione finale.

Solitamente un **impianto di trattamento delle acque reflue** comprende tre stadi, chiamati *trattamento primari, secondari e terziari*. I trattamenti primari consistono in: grigliatura, dissabbiatura e disoleatura. Successivamente si passa al trattamento secondario che rimuove tramite ossidazione batterica aerobica le sostanze organiche e ossida tutto l'azoto a nitrato. I trattamenti terziari consistono nell'eliminazione di azoto e fosforo che sono eutrofizzanti.

Trattamenti Primari.

In tutti i processi artificiali di depurazione, prima di sottoporre i liquami ai veri e propri processi di depurazione, risulta opportuno o indispensabile provvedere a dei trattamenti preliminari aventi lo scopo di eliminare parti grossolane, abrasive, oleose, ecc. che non possono essere ammesse ai trattamenti successivi perché potrebbero compromettere il processo o danneggiare i macchinari.

Grigliatura

Il primo trattamento meccanico dell'acqua di scarico è la **grigliatura**; essa consiste nell'asportare dall'acqua i corpi di ogni genere allo scopo di evitare intasamenti nelle tubazioni e danni alle altre apparecchiature. Le griglie sono normalmente installate all'interno del canale di arrivo. La grigliatura grossolana separa i corpi che hanno dimensioni superiori ai 20 mm. La grigliatura fine separa i corpi che hanno dimensioni inferiori ai 20 mm.

Dissabbiatura e disoleatura

Il secondo trattamento meccanico dell'acqua di scarico è la **dissabbiatura**; talvolta la vasca di dissabbiatura contiene anche il trattamento di disoleatura. La dissabbiatura ha lo scopo di rimuovere sabbie e solidi inerti, normalmente più pesanti e grossolani degli organici, che darebbero inconvenienti quali 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.

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

- gravità;
- Azione centrifuga

La **Disoleatura** ha lo scopo di rimuovere oli, grassi, particelle di materiali sintetici e altri materiali leggeri; questi sono ordinariamente presenti nei liquami urbani. Si tratta di materiali indesiderati in quanto diminuiscono l'ossigenazione del liquame e causano l'accumulo di schiume nei bacini di trattamento che si trovano più a valle dell'impianto, in zone dalle quali sono difficilmente asportabili.

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. Il bacino è infatti solitamente dotato di un carroponete 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 spinge in un pozzetto di raccolta, dal quale vengono periodicamente estratte per poi essere smaltite.

Sedimentazione primaria

Il secondo trattamento meccanico dell'acqua di scarico è la **sedimentazione primaria**; essa ha per scopo la rimozione dei materiali decantabili e quindi la riduzione dei solidi sospesi e dei carichi inquinanti ad essi corrispondenti. L'operazione avviene in bacini a flusso longitudinale dotati di un ponte pulitore. Questo è munito di una lama di fondo per la raccolta dei fanghi sedimentati e di un'altra superficiale per la raccolta dei galleggianti e delle schiume. Il liquame sottoposto a sedimentazione, tracima dagli stramazzi nella canaletta di raccolta e di qui viene

convogliato ai reparti biologici. I fanghi raccolti nella tramoggia vengono periodicamente estratti, mediante l'apertura di valvole automatiche temporizzate ed avviati alla linea fanghi. Ai fini dei trattamenti successivi, si tiene conto di rendimenti medi di abbattimento, in sedimentazione primaria, pari a 30% di BOD₅, 60% di solidi sospesi e 10% di azoto totale. Tuttavia all'atto pratico, per effetto del condizionamento chimico che viene operato con l'aggiunta di FeCl₃, per abbattere il fosforo in simultanea, si raggiungono valori ben più elevati. Un ulteriore aumento di efficienza si avvia mediante il pompaggio del fango di supero dai sedimentatori secondari in testa ai sedimentatori primari, per sfruttare il potere adsorbente sui colloidali e l'attitudine a precipitare.

Coagulazione-flocculazione

In genere già con questi tre trattamenti primari possiamo portare il liquame da depurare in vasca senza avere problemi di efficienza o altro, però si possono ancora effettuare altri due tipi di trattamenti primari: la **filtrazione** che viene utilizzata per eliminare sospensioni da $6 \cdot 10^{-3}$ cm a $6 \cdot 10^{-5}$ cm; e la **Coagulazione-flocculazione** in cui ci si serve di agenti chimici per far precipitare le sostanze colloidali ed in genere è seguita da una sedimentazione.

Trattamenti Secondari: Ossidazione.

Il processo di depurazione che osserviamo negli impianti di trattamento reflui riproduce un processo che si manifesta spontaneamente in natura, attraverso il quale si ottiene la biodegradazione delle sostanze organiche (autodepurazione delle acque naturali). La differenza tra un processo naturale e uno artificiale sta nel fatto che il secondo è compiuto con concentrazioni d'inquinanti molto elevate e quindi è necessario avere alte rese e velocità. A seconda della tipologia di batteri che intervengono nel processo, la semplificazione della sostanza organica può avvenire o meno in presenza di ossigeno; in tal caso si sviluppano le condizioni rispettivamente di aerobiosi e di anaerobiosi:

Processi anaerobici (-O ₂)	Sostanza organica di partenza	Processi aerobici (+O ₂)
CH ₄ (metano)	C (carbonio organico)	CO ₂ (anidride carbonica)
PH ₃ (fosfina)	P (fosforo organico)	PO ₄ ³⁻ (fosfati)
H ₂ S (idrogeno solforato)	S (zolfo organico)	SO ₄ ²⁻ (solfati)
NH ₃ (ammoniaca)	N (azoto organico)	NO ₃ (nitrati)

Ciò che occorre evidenziare è che tutti i prodotti dei processi anaerobici sono di natura gassosa ed altamente tossici, mentre quelli che si sviluppano dai processi aerobici, ad eccezione dell'anidride carbonica, sono sali disciolti nell'acqua. Tutti i processi sopra descritti avvengono regolarmente in natura in tempi molto lunghi: l'uomo tende a riprodurre lo stesso

processo naturale all'interno degli impianti di depurazione, limitando i tempi e controllando la qualità e la quantità delle sostanze da trattare.

In un'acqua inquinata da sostanze organiche, sottoposta ad aerazione, si formano lentamente delle colonie di microrganismi aerobi, che assumono l'aspetto di un fango fioccoso color nocciola; tale fango, detto fango attivo, è in grado di provocare una rapida ossidazione delle sostanze organiche biodegradabili contenute nell'acqua.

Da un punto di vista funzionale, il cuore di un impianto di depurazione biologica è rappresentato dal comparto di ossidazione biologica (OX) e sedimentazione secondaria (SED): il buon funzionamento dell'impianto e, di conseguenza, l'alto rendimento depurativo raggiungibile è strettamente connesso al buon dimensionamento del suddetto comparto, nonché alla sua corretta gestione.

Dopo aver eseguito i trattamenti primari abbiamo un'acqua in cui sono disciolti gli inquinanti e quindi è pronta per subire un processo di depurazione. Il tipo di trattamento depurativo ottimale per la nostra acqua viene scelto in base al rapporto tra COD e BOD se:

- COD/BOD $2 \div 2,4$ basta una tecnica biologica (fanghi attivi)
- COD/BOD $> 2,4$ la tecnica biologica non basta perché ci sono molte sostanze non biodegradabili.

Possiamo avere due tipi di impianti ad ossidazione biologica:

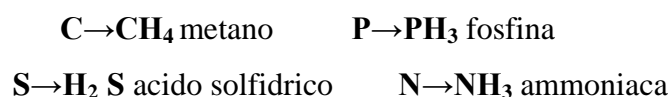
- Impianti a biomassa sospesa (i fanghi sono mantenuti in sospensione e la soluzione "mixed liquor" viene mescolata in continuazione)
- Impianti a biomassa adesa (i fanghi aderiscono a dei supporti come dischi rotanti o letti percolatori)

Andiamo adesso a vedere il processo ossidativo.

Il liquame viene posto in una vasca, in genere rettangolare, che dev'essere rifornita continuamente di ossigeno per mantenere in vita i batteri aerobici e dev'essere dotata di un sistema di mescolamento che può essere ottenuto per diffusione d'aria, per agitazione meccanica o mediante un sistema misto. Il mescolamento è molto importante per ottenere un sistema omogeneo ed evitare così che ci siano zone del liquame prive di ossigeno (il che porterebbe a fenomeni di anaerobiosi e comprometterebbe la riuscita del processo).

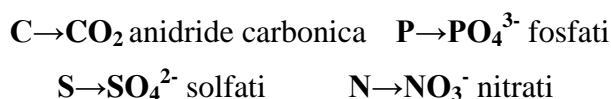
In base alle dimensioni della vasca di ossidazione l'aria può essere introdotta mediante una soffiante che introduce aria a bassa pressione oppure mediante un compressore che introduce aria ad alta pressione.

Nelle fognature si ha una scarsa presenza di ossigeno per cui si sviluppano i batteri anaerobici i quali danno origine a quei processi che danno origine a gas tossici e maleodoranti:



Per cui l'acqua appare sporca e maleodorante.

Quando quest'acqua arriva nel depuratore a fanghi attivi in cui sono presenti grandi quantità di ossigeno la situazione cambia, si ha lo sviluppo dei batteri aerobici e la morte dei batteri anaerobici per i quali l'ossigeno è come un veleno; i tipi di processi che si svilupperanno saranno di tipo aerobico con formazione di:



Questi processi sono gli stessi che avvengono in natura, solo che in un impianto di depurazione esaltiamo le condizioni (molto ossigeno in volumi ridotti di acqua).

Con queste condizioni (ossigeno e nutrienti in abbondanza) i batteri cominciano a riprodursi velocemente crescendo l'uno sull'altro e formando fiocchi che si vedono ad occhio nudo (fanghi), ogni fiocco è costituito da milioni di batteri messi l'uno sopra l'altro. Il fiocco ha uno scheletro rigido a cui si attaccano dei batteri filamentosi e su di essi si attaccano altri batteri.

Questa soluzione costituita da acqua e fanghi prende il nome di **mixed liquor**, negli impianti biologici è necessario mantenere una sufficiente concentrazione di fanghi attivi nella vasca di ossidazione, per consentire una rimozione delle sostanze organiche in un tempo ragionevolmente breve, calcolato in fase di progetto. Se la concentrazione scende al di sotto di 3 g/l la depurazione non avviene efficacemente, pur mantenendo una concentrazione ottimale di ossigeno disciolto.

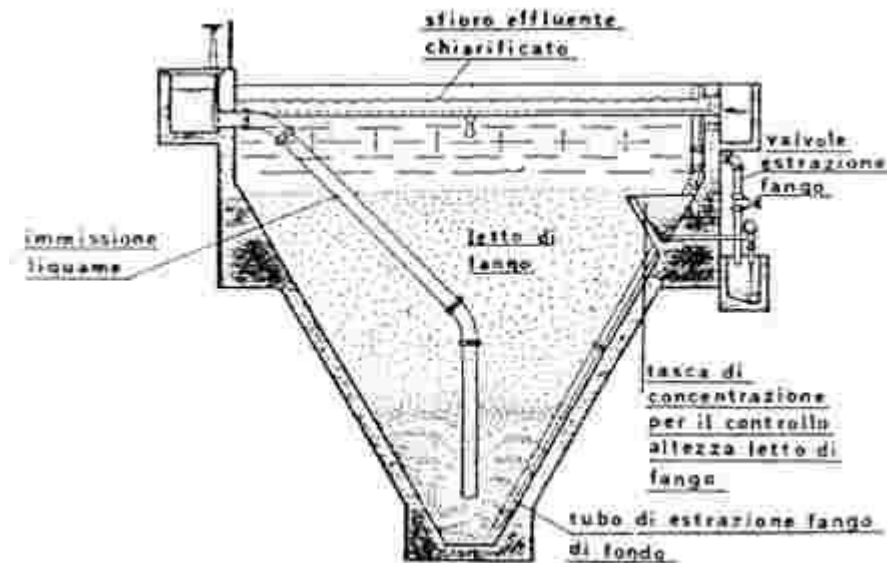
Il mantenimento del valore ideale di concentrazione dei fanghi è garantito da un sistema di ricircolo, la cui portata può variare in funzione della concentrazione dei fanghi e, durante la giornata, in funzione dei picchi di carico. È importante che l'ingresso del ricircolo sia collocato in prossimità dell'ingresso del refluo, in modo che si abbia una miscelazione di quest'ultimo con i fanghi di ricircolo. In alcuni casi viene invece compiuto l'errore di introdurre il ricircolo nella zona corrispondente all'uscita del refluo, in corrispondenza del collegamento con il sedimentatore: ciò impedisce un efficace contatto fra il liquame grezzo ed il fango attivo.

Trattamenti secondari: La sedimentazione secondaria.

Una volta che l'acqua è depurata il mixed liquor (acqua più fanghi) passa nel sedimentatore secondario dove i fanghi attivi si depositano per gravità nella parte bassa e l'acqua esce dalla parte alta del sedimentatore.

La sedimentazione secondaria deve soddisfare due requisiti:

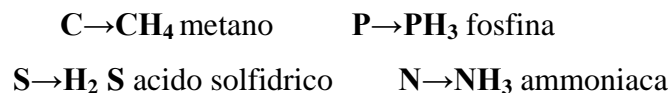
- a) separare i fanghi attivi dall'acqua;
- b) concentrare sul fondo del sedimentatore (letto del fango) i fanghi del ricircolo.



Il fango depositato sta un po' sul fondo del sedimentatore e poi viene rimesso in circolo nella vasca di ossidazione, il tempo che il fango trascorre nel sedimentatore è dato da:

$$t = V/Q$$

dove V è il volume del sedimentatore e Q è la portata del mixed liquor. Se il sedimentatore è troppo grande (t sarà grande) il fango rimane per troppo tempo nel sedimentatore e lì morirebbe per mancanza d'ossigeno perché nel sedimentatore noi non immettiamo ossigeno, quello presente è quello disciolto nel mixed liquor, per questo motivo quando il mixed liquor passa al sedimentatore i batteri che costituiscono i fanghi riescono a vivere per un tempo limitato grazie all'ossigeno disciolto, se restano per troppo tempo nel sedimentatore l'ossigeno non basta e si cominciano ad avere processi anaerobici con formazione di:



Il sedimentatore ha pareti oblique con pendenza di circa 60° ; questa forte inclinazione evita che il fango si depositi sulle pareti e consente piuttosto che scivoli verso il fondo, da cui viene poi estratto. Quest'angolo non può essere più grande perché altrimenti il fango si attaccherebbe alle pareti e lì morirebbe per carenza d'ossigeno; inoltre non può essere più piccolo perché altrimenti il letto del fango sarebbe troppo elevato e il moto del mixed liquor in entrata rimescolerebbe tutto evitando così la separazione dell'acqua dai fanghi (da sopra uscirebbe acqua sporca).

Il letto del fango (fango sedimentato) non deve essere né troppo alto né troppo basso:

$$\frac{1}{3}H \leq h \leq \frac{2}{3}H$$

dove h è l'altezza del letto del fango e H è l'altezza del sedimentatore. Se l'altezza del letto del fango è minore di un terzo di quella del sedimentatore i fiocchi si romperebbero; inoltre se l'altezza del fango è maggiore di due terzi di quella del sedimentatore la quantità di ossigeno disciolta nel sedimentatore non basterebbe per cui morirebbero i batteri aerobici e si formerebbero gli anaerobici.

L'aspetto più importante nella depurazione è la quantità di ossigeno in vasca di ossidazione.

Negli impianti a fanghi attivi si cerca di superare l'unico limite che ha in natura l'autodepurazione dei corpi idrici: la modesta presenza di ossigeno disciolto, dovuta al fatto che la solubilizzazione può avvenire solo all'interfaccia tra acqua ed atmosfera.

L'ossigenazione delle acque sottostanti si attua solo in presenza di un forte idrodinamismo capace di rinnovare continuamente la superficie del corpo idrico. Nei depuratori, il metodo più comune per arricchire in ossigeno il refluo fa uso di sistemi che insufflano aria dal fondo-vasca, facendo sì che tutta la massa idrica possa diventare un'interfaccia aria/acqua.

La concentrazione di ossigeno disciolto ottimale in vasca di ossidazione è intorno a $2 \div 3 \text{ mg/l}$; la soglia minima di ossigeno disciolto che devo mantenere è di 1 mg/l perché se scendo al di sotto di questo valore non arriva abbastanza ossigeno al sedimentatore per la sopravvivenza dei batteri. Aerobici. L'istaurarsi di processi anaerobici nel sedimentatore produrrebbe H_2S e NH_3 (solubili) e CH_4 e PH_3 (insolubili); i gas non solubili formano bollicine inglobandosi nelle zolle di fango, la zolla a questo punto comincia a salire (per effetto del gas inglobato) lungo il sedimentatore, mentre la zolla sale la pressione diminuisce e la bolla di gas aumenta il suo volume portando la zolla a spaccarsi vicino alla superficie; in questo modo avremo nel sedimentatore una pioggia di fango dovuta alle zolle che si spaccano e l'acqua in uscita non risulterà separata dal fango, questo processo prende il nome di **Rising da Fango settico** e si può quando non c'è abbastanza ossigeno disciolto o quando c'è un errore di progettazione nell'impianto

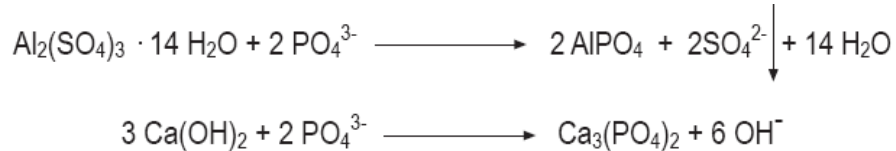
La concentrazione del fango in vasca di ossidazione deve essere compresa tra $3 \div 5 \text{ mg/l}$; se è minore di 3 mg/l la capacità del depuratore è troppo bassa, mentre se è maggiore di 5 mg/l il refluo non si comporta più da fluido; l'aria insufflata incontra maggior difficoltà nell'attraversare la massa viscosa e dà luogo a grosse bolle, con conseguente diminuzione di ossigeno disciolto (lo scambio ossigeno/acqua è tanto maggiore quanto più piccole sono le

bolle) e inoltre al sedimentatore arriverebbero troppi fanghi per cui non basterebbe l'ossigeno e si avrebbero problemi nella fase di sedimentazione.

Trattamenti terziari: denitrificazione e defosfatazione

Un noto problema legato alla presenza di azoto e fosforo nell'effluente degli impianti di depurazione è quello costituito dall'eutrofizzazione del corpo d'acqua ricettore. Di conseguenza, in parecchi casi occorre provvedere ad una rimozione, più o meno spinta, di tali composti. I processi attualmente più utilizzati per la rimozione dell'azoto prevedono, dopo la nitrificazione che ha luogo nella vasca di ossidazione, la successiva denitrificazione, anch'essa ottenuta per via biologica: dopo l'ossidazione biologica, con conseguente nitrificazione spinta, si ricircola l'effluente in testa alla vasca di ossidazione, in una zona con carenza di ossigeno, in modo che, nelle condizioni anossiche della vasca, s'instaurino quelle reazioni di denitrificazione, con sviluppo finale di azoto, che si libera nell'atmosfera. La denitrificazione può avvenire nella stessa fase di ossidazione a fanghi attivi, in una zona della vasca non aerata (ma con lenta agitazione) oppure in vasche separate.

La rimozione del fosforo viene attuata mediante processi di precipitazione chimica ad opera di agenticoagulanti-flocculanti, quali solfato di alluminio e calce:



La linea Fanghi.

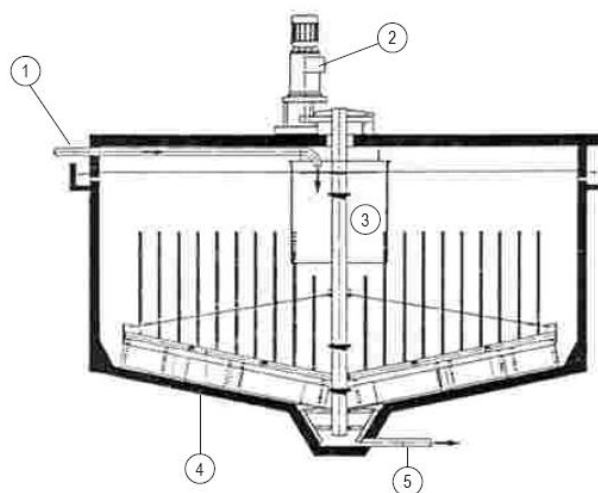
Le sostanze inquinanti che vengono eliminate dal liquame tramite il processo depurativo danno luogo alla crescita di un fango che in parte viene mandato in ricircolo e in parte no. In ogni caso il fango di supero richiede un trattamento idoneo per effettuarne lo smaltimento finale.

Accanto ad una linea «trattamento liquami», in ogni impianto di depurazione è pertanto individuabile una linea «trattamento fanghi», cui viene avviato il fango di supero. Con il processo di stabilizzazione biologica, oltre a ridurre la putrescibilità del fango e la carica batterica, si ottiene una sostanziale riduzione dei solidi sospesi.

I processi biologici sono di due tipi: stabilizzazione aerobica e stabilizzazione anaerobica.

Stabilizzazione Aerobica

I fanghi vengono inizialmente convogliati al **pre-ispessitore**, dove sedimentano per 24 ore; è conveniente non superare questo limite di tempo, o in ogni caso non andare oltre le 48 ore, poiché si corre il rischio di anossia e quindi di sviluppo di condizioni anaerobiche (con relativi cattivi odori).



Vasca di ispessimento.

1) Alimentazione; 2) Gruppo motoriduttore di azionamento; 3) Deflettore di ripartizione; 4) Braccio del raschiatore; 5) Uscita del fango ispessito.

Il pre-ispessitore è un serbatoio caratterizzato da un sistema di lame verticali che ruotano molto lentamente liberando l'acqua trattenuta tra i fiocchi e favorendo la deposizione sul fondo dei fanghi addensati.

Da qui i fanghi confluiscono al digestore aerobico, ove ha luogo il processo di respirazione endogena: i fanghi sono portati al digestore senza nutrienti (ma in presenza di ossigeno) per cui cominciano a ricavare energia dal materiale organico accumulato nella vasca di ossidazione durante la depurazione (fase di crescita), in questo modo i batteri cominciano a morire, quelli che muoiono prima sono generalmente i batteri patogeni essendo più delicati. Questo processo prende il nome di **sanificazione**.

Si assiste ad una forte diminuzione della concentrazione di solidi sospesi, che vengono degradati dai batteri, ad eccezione di macromolecole e catene polisaccaridiche come il glicogeno.

Il fango si dice digerito (o mineralizzato) quando i solidi sospesi volatili (SSV) risultano inferiori al 50% dei solidi sospesi totali (SST). La componente organica residua è costituita per lo più dal glicogeno che, per la sua lentissima biodegradabilità, non rende il fango putrescibile.

Le fasi successive sono costituite dal post-ispessimento e dalla disidratazione.

Quest'ultima operazione può essere effettuata su letti di essiccamento, oppure può essere ottenuta, ad esempio, meccanicamente mediante uso di filtro-presses (con cui si ottengono i migliori risultati) o di centrifughe, che hanno però un rendimento di disidratazione nettamente inferiore (s.s. 25-30%). Con una filtro-pressa si può arrivare ad un fango disidratato con s.s. 35-40%).

La stabilizzazione aerobica è tipica degli impianti medio-piccoli

Stabilizzazione Anaerobica

La stabilizzazione anaerobica, invece, è tipica dei grandi impianti

Per **digestione anaerobica** si intende la degradazione della sostanza organica da parte di microrganismi in condizioni di anaerobiosi.

Convenzionalmente, in relazione al tipo di batteri utilizzati, esistono due differenti intervalli di temperatura in cui viene condotta la digestione anaerobica:

- con batteri *mesofili* si lavora a temperature comprese tra 20-45 °C, con un intervallo ottimale di 37°-41°C;
- con batteri *termofili* le condizioni di esercizio ottimali implicano un intervallo di temperatura compreso tra i 50°-52 °C, con temperature che possono anche essere relativamente elevate e superare i 70 °C.

Il tempo di residenza in un digestore varia in funzione della quantità di materiale da trattare, del tipo di materiale e dalla temperatura di esercizio. Altro parametro particolarmente importante è il valore di pH. Nel caso della digestione condotta con batteri mesofili il tempo di residenza è compreso tra i 15 e i 30 giorni. Nel caso di un processo con batteri termofili le temperature più elevate permettono di velocizzare la digestione, richiedendo solamente due settimane per giungere a completamento. Di contro la digestione termofila ha un costo maggiore, richiede più energia ed è più critica dell'analogo processo mesofilo. Quest'ultimo è quindi quello attualmente più utilizzato. I digestori più comuni sono quelli continui: possiedono dispositivi meccanici o idraulici atti a mescolare il materiale e a estrarne in continuazione gli eccessi per mantenere un volume ragionevolmente costante, durante l'aggiunta continua di materiale organico. L'altra tipologia di digestori è quella discontinua *batch*, impiantisticamente più semplice ma che ha lo svantaggio di emettere odori e di possedere cicli di svuotamento problematici: una volta avvenuta l'alimentazione iniziale il reattore viene chiuso e sull'intera massa trattata non agisce alcun dispositivo di sorta per tutta la durata del processo. La digestione del materiale organico biodegradabile implica l'uso di molte differenti specie di batteri occorrenti in natura, ognuna delle quali ha un ruolo differente in una differente fase del processo di digestione. Lo stretto controllo delle condizioni operative di un digestore è essenziale per assicurare la crescita batterica e l'effettivo verificarsi del biochimismo necessario per il buon fine della digestione stessa.

La digestione anaerobica è suddivisibile in quattro stadi:

1. *Idrolisi*, dove le molecole organiche subiscono scissione in composti più semplici quali i monosaccaridi, amminoacidi e acidi grassi.

2. *Acidogenesi*, dove avviene l'ulteriore scissione in molecole ancora più semplici come gli acidi grassi volatili (ad esempio acido acetico), con produzione di ammoniaca, anidride carbonica e acido solfidrico quali sottoprodotti.
3. *Acetogenesi*, dove le molecole semplici prodotte nel precedente stadio sono ulteriormente digerite producendo biossido di carbonio, idrogeno e principalmente acido acetico.
4. *Metanogenesi*, con produzione di metano, biossido di carbonio e acqua.

I principali sottoprodotti della digestione anaerobica sono essenzialmente tre: il biogas, un digestato *acidogenico* e un digestato *metanogenico*.

Il **biogas** è una miscela gassosa composta prevalentemente da metano e anidride carbonica, ma contenente anche una piccola quantità di idrogeno e occasionalmente tracce di acido solfidrico. Il biogas può essere bruciato per produrre elettricità, solitamente tramite motore a scoppio o microturbina. Il gas è spesso utilizzato anche per la cogenerazione, generando elettricità e sfruttando il calore per riscaldare gli stessi digestori o effettuare il teleriscaldamento. L'elettricità prodotta dalla digestione anaerobica viene considerata una forma di energia verde. Dato che il gas non viene rilasciato direttamente nell'atmosfera e l'anidride carbonica deriva da fonte organica caratterizzata da breve ciclo del carbonio, il biogas con la sua combustione non contribuisce all'aumento delle concentrazioni atmosferiche di CO₂ e grazie a ciò viene considerato una fonte energetica a basso impatto ambientale. La produzione di biogas non avviene in modo costante, durante il processo della digestione anaerobica; il livello massimo viene raggiunto durante la fase centrale del processo. Nelle prime fasi della digestione la produzione di biogas è minore, perché i batteri non si sono ancora riprodotti abbastanza. Verso le fasi finali, resta solamente il materiali più difficilmente digeribile, con una conseguente diminuzione della quantità di biogas prodotto.

Il **digestato acidogenico** è un materiale organico stabile composto prevalentemente da lignina e cellulosa

Il **digestato metanogenico** è il terzo sottoprodotto della digestione anaerobica e, in relazione alla qualità del materiale sottoposto a digestione, può rappresentare un fertilizzante eccellente e ricco di nutrienti.