



Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali
Università di Palermo

Facoltà di Medicina e Chirurgia
Corso di Laurea in Tecniche della prevenzione nell'ambiente e nei luoghi di lavoro

Corso integrato di Igiene ambientale
Insegnamento "INGEGNERIA SANITARIA-AMBIENTALE"
a.a. 2008-2009

TRATTAMENTI BIOLOGICI

Generalità - processi a fanghi attivi

Ing. Giorgio Mannina
mannina@idra.unipa.it

Trattamenti biologici

Le principali applicazioni dei processi di trattamento biologico sono:

- ✓ rimozione delle sostanze organiche (BOD, COD)
- ✓ rimozione dell'azoto (N)
- ✓ rimozione del fosforo (P)
- ✓ stabilizzazione dei fanghi

Distinzioni dei processi biologici in funzione di:

- ✓ tipo di substrato rimosso (carbonio, azoto, fosforo);
- ✓ Forma in cui la biomassa è presente nel "reattore biologico" (biomassa "sospesa", biomassa "adesa")
- ✓ tipo di metabolismo a cui la biomassa è sottoposta (processi "aerobici", "anaerobici", "anossici").

PRINCIPIO GENERALE ALLA BASE DEI TRATTAMENTI BIOLOGICI:

- 1) I fenomeni di autodepurazione naturale sono sostanzialmente di tipo biologico.
- 2) I trattamenti biologici riproducono, in modo controllato e accelerato, i fenomeni di autodepurazione naturale.

Biomasse

I microrganismi coinvolti nella depurazione sono numerosissimi, appartenenti al regno animale (rotiferi, crostacei), a quello vegetale (muffe, felci) e a quello dei protisti (alghe, protozoi, funghi, lieviti, batteri, virus).

Sono i batteri ad assumere un ruolo fondamentale nella depurazione biologica; essi sono naturalmente presenti nelle acque reflue.

Elementi di Microbiologia

Batteri:

- **protisti unicellulari**: si riproducono per scissione binaria in un tempo (*tempo di generazione*), variabile tra 0,5 e 100 ore
- **dimensioni** dell'ordine dei micron
- **si alimentano** solo di sostanze in forma disciolta (attraversamento della membrana cellulare); necessità della presenza dell'acqua
- **componenti** di una cellula batterica:
 - a) acqua (80% in peso)
 - b) solidi (20%) :
 - 90% organici (proteine, carboidrati e lipidi)
 - 10% inorganici
- **rapporti in peso**: $C_5H_7NO_2$ + (in tracce) fosforo, zolfo, sodio, calcio, magnesio, potassio, ferro, etc. (*protoplasma* cellulare)
- distinzione dei batteri in funzione della **temperatura**:
 - a) psicrofili (tra 2 e 20 °C);
 - b) mesofili (tra 20 e 45 °C);
 - c) termofili (tra 45 e 75 °C).

la temperatura ha notevole influenza sulla cinetica del metabolismo batterico; in genere, i trattamenti biologici si svolgono in campo mesofilo

Elementi di Microbiologia

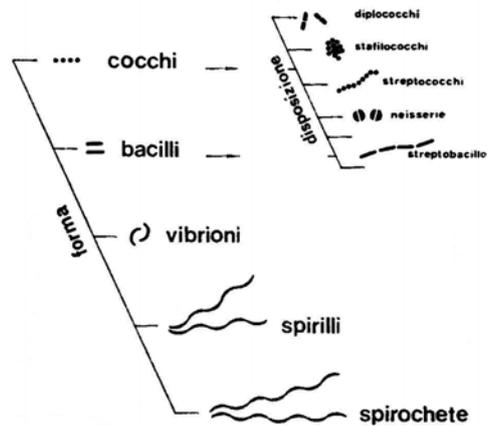
Batteri:

- **forma** dei batteri:

a) sferica o quasi sferica (*cocchi*);

b) cilindrica, caratterizzata da un asse minore e uno maggiore (*bacilli*);

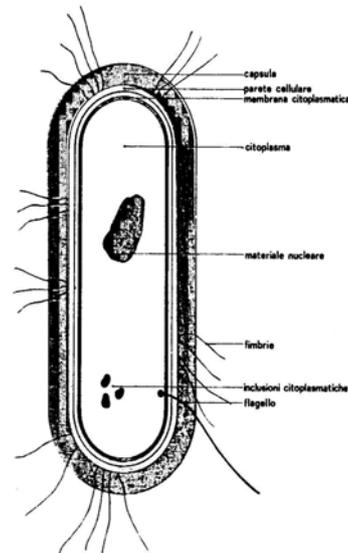
c) cilindrica ricurva, con una sola curvatura (*vibrioni*), con due curvaturei (*spirilli*) o a elica (*spirochete*).



Elementi di Microbiologia

Struttura tipo di un batterio:

- flagello:** organo di locomozione
- capsula:** strato di materiale gelatinoso aderente alla parete cellulare della cellula; acqua (in gran parte) + 2% circa di solidi (polisaccaridi, proteine); funzione di difesa meccanica;
- parete cellulare:** contenitore rigido, composto da materiale polimerico;
- membrana citoplasmatica:** proteine (50-75%) e lipidi (20-35%); rappresenta il 10% circa del peso secco della cellula; regola gli scambi con esterno, selezionando il passaggio delle sostanze nutritive, dall'esterno all'interno, e degli enzimi e tossine, in senso inverso;
- citoplasma:** soluzione acquosa, in fase di gel, contenente prodotti organici e inorganici in forma disciolta e numerosi piccoli granuli (inclusioni cellulari);
- nucleo:** costituito da una molecola di DNA, nella quale è depositata l'intera informazione genetica della cellula.



Elementi di Biochimica

- **metabolismo**: processo di crescita dei microrganismi, distinto in:
 - a) **sintesi** di nuova materia cellulare, a partire da molecole semplici, con consumo di energia (**anabolismo**);
 - b) **respirazione**, con degradazione delle sostanze assimilate, produzione di molecole semplici e liberazione di energia (**catabolismo**)
- distinzione dei microrganismi in funzione della **fonte di nutrienti** utilizzata nella fase anabolica (in particolare di carbonio, principale composto cellulare):
 - a) **autotrofi**: microrganismi che utilizzano il carbonio inorganico (CO_2)
 - b) **eterotrofi**: microrganismi che utilizzano il carbonio organico
- distinzione in funzione della fonte da **energia** nella fase catabolica:
 - a) **fotosintetici**: ricorso all'energia solare
 - b) **chemioautotrofi**: energia prodotta mediante reazioni di ossido-riduzione di prodotti inorganici (ammoniaca, ferro, zolfo)
 - c) **chemiorganotrofi**: energia da reazioni di ossido-riduzione dei composti organici

Elementi di Biochimica

ORGANISMI PRODUTTORI E CONSUMATORI

I principali **elementi nutritivi** degli organismi viventi sono costituiti da carboidrati (zuccheri), proteine e grassi.

I **vegetali**, organismi autotrofi fotosintetici, sono gli unici capaci di formare carboidrati, a partire da acqua e CO_2 , utilizzando l'energia solare (organismi "produttori")

Gli **organismi eterotrofi** possono sintetizzare carboidrati, proteine e grassi da molecole organiche più semplici, ma non possono produrre queste da minerali

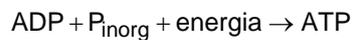
Essi quindi utilizzano la **sostanza organica** già esistente, trasformata parte in nuova materia cellulare (sintesi), parte in energia e molecole semplici inorganiche (respirazione) (organismi "consumatori" o "demolitori")

Elementi di Biochimica

Meccanismo con cui avviene la fase di respirazione:

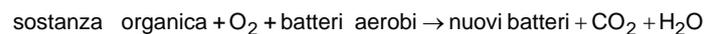
Reazioni di ossido-riduzione, con passaggio di elettroni da un composto riducente (donatore di elettroni) a uno ossidante (accettore di elettroni).

L'energia è fissata principalmente in adenosintrifosfato (ATP), che funge da trasportatore di energia e che si forma per aggiunta (fosforilazione) di una molecola di fosforo inorganico a partire dall'adenosindifosfato (ADP); viceversa, la defosforilazione dell'ADP ad ATP implica la liberazione di energia:



Meccanismo con cui avviene la fase di respirazione:

- **batteri aerobi** : utilizzano l'ossigeno libero presente nell'acqua, come accettore di elettroni:



- **batteri anaerobi** : utilizzano come accettore di elettroni l'ossigeno combinato nelle molecole organiche, il carbonio, l'azoto e lo zolfo:



- **batteri facoltativi** : possono comportarsi indifferentemente come aerobi o come anaerobi, a seconda della disponibilità o meno di ossigeno libero

Tipo di metabolismo batterico (ai fini dei processi di depurazione):

- **metabolismo aerobico**: respirazione in presenza di ossigeno disciolto
- **metabolismo anaerobico**: respirazione in assenza di questo
- **metabolismo anossico**: respirazione in presenza di ossigeno combinato con azoto (nitrati)

Differenza tra metabolismo aerobico e anaerobico:

- m. aerobico: energeticamente più conveniente, con produzione di sostanze organiche semplici
- m. anaerobico: energeticamente meno conveniente, più lento, con formano di altre sostanze organiche, seppure più semplici

Conseguenze per i trattamenti che utilizzano m. aerobici o anaerobici:

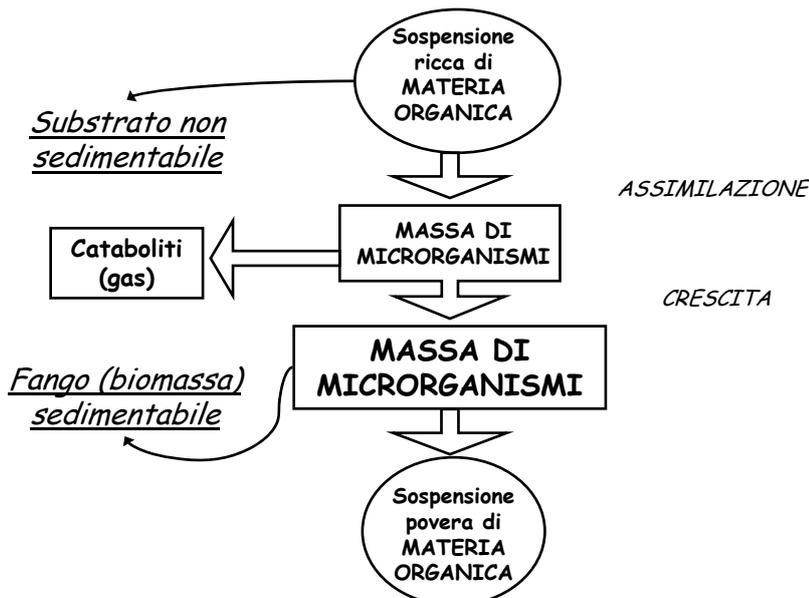
Trattamenti aerobici:

- processi più rapidi con un'utilizzazione del substrato più spinta (maggiori rendimenti di depurazione);
- elevata produzione di fango;
- necessità di disporre di ossigeno libero (maggiori costi di esercizio).

Trattamenti anaerobici:

- processi più lenti con minore assimilazione dei substrati (minori rendimenti);
- minore produzione di fango;
- non richiedono disponibilità di ossigeno libero (minori costi di esercizio).

Utilizzazione del processi biologici per il tratt. dei reflui:



Confronto fra trattamenti aerobici e anaerobici

- Ricorso al **trattamento aerobico** vantaggioso nel caso di scarichi con basse concentrazioni di sostanza organica ed elevate portate:
 - a) rapidità e completezza del processo
 - b) limitati volumi dei reattori
 - c) limitati costi di aerazione (dipendenti dai carichi e non dai volumi)
- Ricorso al **trattamento anaerobico** conveniente per reflui con piccole portate ed elevate concentrazioni di sostanza organica:
 - a) sostenibili lunghi tempi di detenzione (modeste portate trattate)
 - b) risparmio di energia
 - c) volumi delle vasche contenuti (modeste portate trattate)

Uso dei trattamenti aerobici e anaerobici:

Trattamento di reflui di origine produttiva:

ricorso a trattamenti aerobici conveniente per BOD < 2000-3000 mg/l e/o potenzialità < 50.000 abeq.

Trattamento dei reflui urbani:

trattamenti aerobici: linea acque e linea fanghi

trattamenti anaerobici: linea fanghi

Fasi di rimozione del carbonio organico:

- 1) Rimozione del substrato carbonioso di origine organica (BOD) ad opera di una biomassa eterotrofa (utilizza il carbonio organico per la sintesi di nuova materia cellulare), con sviluppo di:
 - a) fiocchi mantenuti in sospensione all'interno dei reattori biologici (caso dei processi a biomassa sospesa);
 - b) pellicole biologiche adese a supporti solidi inerti, posti all'interno dei reattori biologici (caso dei processi a biomassa adesa)

Rimozione del substrato provocato da più fenomeni contemporanei:

 - a) metabolismo batterico, che provoca la sintesi di nuova biomassa, con rimozione del substrato solubile e la produzione di cataboliti stabili;
 - b₁) bioflocculazione (caso dei processi a b.sospesa), con cui la componente sospesa del substrato viene aggregato all'interno dei fiocchi;
 - b₂) adsorbimento (per i processi a b. adesa), di componenti in forma sospesa all'intero della pellicola biologica
- 2) Successiva rimozione della biomassa così formata, per separazione dei fiocchi (b. sospesa) o delle pellicole (b. adesa) nell'unità di sedimentazione.

Fasi di rimozione del carbonio organico:

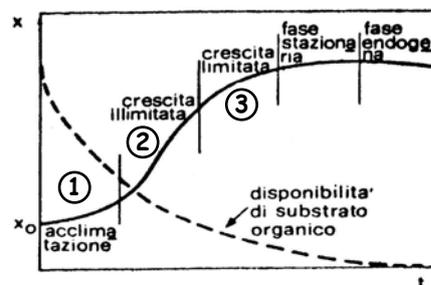
Osservazioni:

- necessità di una separazione solido/liquido a valle del processo biologico (**sedimentazione**, filtrazione) e di garantirne il corretto funzionamento (elevato rendimento di chiarificazione);
- necessità di **stabilizzare** i fanghi di supero, stante l'elevata percentuale di prodotti organici di cui questi sono costituiti.

Analisi in discontinuo (batch) della crescita batterica

- Campione di liquame ricco di substrato organico e di biomassa batterica capace di metabolizzarlo
- Rappresentazione nel tempo della variazione delle concentrazioni di substrato S e di biomassa X

- 1^a FASE : Acclimatazione:
adattamento della biomassa alle nuove condizioni di laboratorio
- 2^a FASE : Crescita illimitata:
in assenza di fattori limitanti, la crescita è funzione solo della concentrazione batterica
- 3^a FASE : Crescita limitata:
con l'andare del tempo la disponibilità di substrato si riduce, divenendo fattori limitante per la crescita (carenza di nutrienti, accumulo di cataboliti tossici, carenza di ossigeno)



Analisi in discontinuo (batch) della crescita batterica

1^ FASE : Acclimatazione

2^ FASE : Crescita illimitata

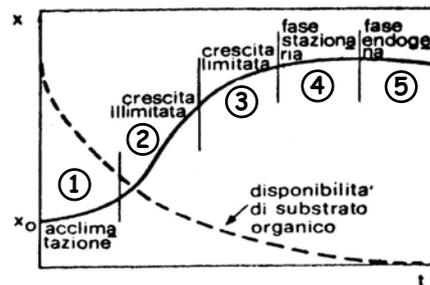
3^ FASE : Crescita limitata

4^ FASE : Fase stazionaria:

Equilibrio tra numero di cellule prodotte e morte

5^ FASE : Fase endogena:

In carenza di substrato le cellule si nutrono del proprio protoplasma cellulare



FATTORI CHE CONZIONANO I PROCESSI BIOLOGICI

1) Biodegradabilità e disponibilità del substrato:

La rimozione del substrato è condizionata dalla sua biodegradabilità e dalla sua concentrazione.

Entrambi sono quindi fattori limitanti per la rimozione del substrato (e quindi della crescita batterica)

μ

2) Temperatura:

La temperatura influenza l'attività metabolica della biomassa e produce effetti sulla solubilità dell'ossigeno e sulla sedimentabilità dei fiocchi biologici.

La variazione della velocità massima di rimozione del substrato con la temperatura può essere espressa a partire dalla relazione di Van't Hoff - Arrhenius:

FATTORI CHE CONZIONANO I PROCESSI BIOLOGICI

3) Elementi nutritivi:

Formula empirica dei batteri: $C_5H_7NO_2$ (12,4% di N e 2% di P)

Rapporto in termini di consumo di C, N e P:

$$BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1$$

Caso del liquame di origine domestica:

apporti pro-capite tipici: 60 grBOD/ab·giorno, 12 grN/ab·giorno, 2 grP/ab·giorno)

Proporzione C:N:P negli elementi nutritivi:

$$BOD : N : P = 100 : 20 : 3$$

Quindi nel caso di acque reflue di origine domestica non c'è limitazione per N e P.

FATTORI CHE CONZIONANO I PROCESSI BIOLOGICI

4) Disponibilità di ossigeno:

Per il mantenimento dei processi aerobici, l'ossigeno disciolto deve essere presente in concentrazione sufficiente per consentire un normale metabolismo aerobico:

valore minimo 0,5 mg/l; valore usuale 2 mg/l

La popolazione batterica che rimuove il BOD è prevalentemente di tipo facoltativo; quindi l'OD non assume un ruolo limitante l'attività batterica.

La disponibilità di OD è invece indispensabile nei processi di nitrificazione, in cui opera una biomassa strettamente aerobica.

Inoltre la presenza di OD impedisce lo sviluppo delle specie batteriche strettamente anaerobiche (p.e. batteri metanigeni).

REATTORI BIOLOGICI

I contenitori (cilindri graduati, vasche, etc.) in cui si verificano le reazioni chimico - biologiche, vengono comunemente chiamati **reattori biologici**.

Le loro caratteristiche idrauliche influenzano lo sviluppo delle reazioni.

Principali tipi di reattori biologici

1) Reattore discontinuo (batch):

Il reattore viene riempito all'inizio delle operazioni e svuotato alla fine del processo.

Tempo di permanenza: uguale per tutte le particelle (tempo fra riempimento e svuotamento del reattore).

Esempi: cilindri per la misura del BOD, vasche a f.a. e stagni biologici ad alimentazione discontinua per il trattamento di scarichi produttivi, anche continui o discontinui.

Principali tipi di reattori biologici:

2) Reattore continuo con flusso a pistone (plug-flow):

Vasca alimentata in continuo (condizioni stazionarie: $Q_{in} = Q_{out}$) con lunghezza \gg larghezza e altezza).

Si fa l'ipotesi che la dispersione longitudinale sia nulla, mentre si ammette una perfetta miscelazione in ogni sezione trasversale alla direzione di moto dell'acqua.

Tempo di permanenza: pari al tempo di attraversamento della vasca (V/Q) e uguale per tutte le particelle.

L'effluente, alimentato con continuità nella sezione trasversale iniziale della vasca, viene scaricato nella medesima successione dalla sezione finale.

Principali tipi di reattori biologici:

3) Reattore continuo a miscelazione completa:

Vasca alimentata in continuo (condizioni stazionarie: $Q_{in} = Q_{out}$) con lunghezza \approx larghezza \approx altezza).

In questo tipo di reattore le **particelle** che entrano nella vasca sono **disperse** istantaneamente in maniera **uniforme** in tutto il suo volume: non vi sono pertanto gradienti di concentrazione da un punto all'altro della vasca.

Ad ogni istante di tempo la **concentrazione** di qualunque composto presente nel reattore è **costante**, e pari a quella nella portata **uscende**.

Risposta del reattore all'immissione di un tracciante conservativo:

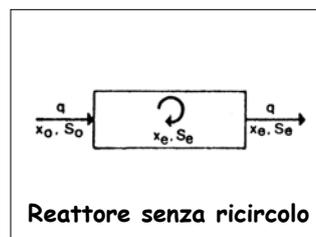
a) Sistemi a miscelazione completa - senza ricircolo

Definizione:

Tempo di residenza cellulare θ (età del fango):

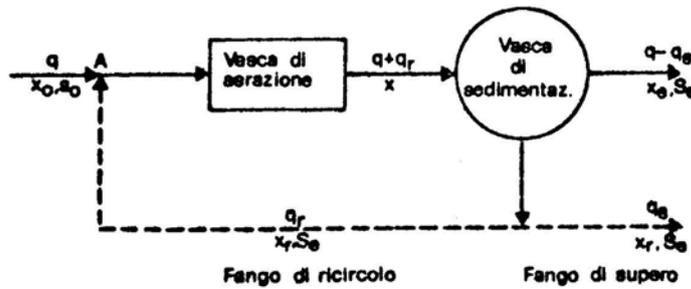
rapporto tra la biomassa presente in vasca e quella che si allontana con l'effluente

$$\theta = \frac{x_e V}{x_e q} = t$$



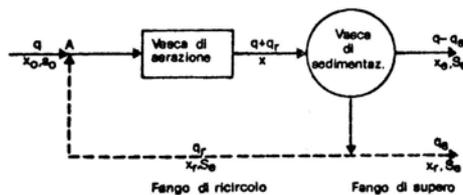
Quindi in un sistema a completa miscelazione senza ricircolo cellulare il tempo di residenza cellulare coincide con quello idraulico

b) Sistemi a miscelazione completa - con ricircolo cellulare



Bilancio di portata (q), biomassa (x) e substrato (S)

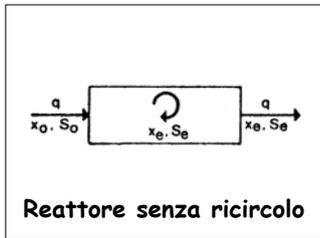
b) Sistemi a miscelazione completa - con ricircolo cellulare



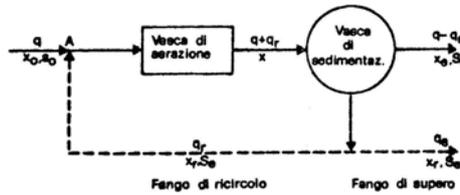
Fase di avviamento:

- La piccola quantità di fango (solidi sedimentabili) estratta dal sedimentatore viene ricircolata nel reattore, per aumentare la concentrazione di biomassa nel reattore biologico.
- In qualche settimana si raggiunge la situazione di regime, oltre la quale occorre estrarre parte del fango (fango di supero), in modo che fango in crescita = fango estratto

b) Sistemi a miscelazione completa - con ricircolo cellulare



Reattore senza ricircolo



Reattore con ricircolo

Tempo di residenza cellulare θ (età del fango):

$$\theta = \frac{x_e V}{x_e q} = t$$

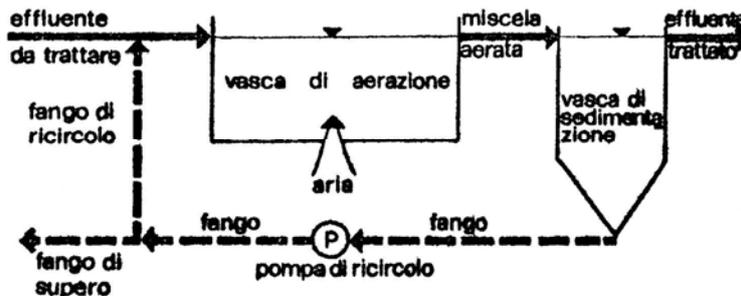
$$\theta = \frac{Vx}{q_s x_r + (q - q_s)x_e} \approx \frac{Vx}{q_s x_r} \neq t$$

PROCESSO A FANGHI ATTIVI

Trattamento di tipo aerobico condotto mediante una più o meno prolungata aerazione della miscela presente nel reattore biologico, la biomassa è mantenuta sospesa, in forma di fiocchi rimossi dal liquido per sedimentazione.

- Origini: Andern e Lockett, 1914, Inghilterra
- Motivo del nome: si utilizza la produzione di una biomassa "attiva"

Schema tipo del processo



PROCESSO A FANGHI ATTIVI - principi generali (1)

I reflui sono immessi in un reattore contenente colture di batteri mantenuti in sospensione in condizioni aerobiche.

Nel reattore l'aerazione e la miscelazione sono assicurate da mezzi artificiali.

Le condizioni idrodinamiche nel reattore sono prossime a quelle di completa miscelazione.

I microrganismi presenti nelle vasche di aerazione si aggregano in colonie (fiocchi), costituiti da batteri fiocco-formatori e filamentosi (scheletro).

Il substrato organico viene rimosso per effetto di due diversi processi:

- assimilazione delle sostanze organiche disciolte per il metabolismo delle biomasse;
- agglomerazione dei solidi sospesi all'interno dei fiocchi (bioflocculazione);

I fiocchi così formati (costituiti da substrato sospeso e biomassa) sono rimossi nella sedimentazione finale.

PROCESSO A FANGHI ATTIVI - principi generali (2)

Dall'unità di sedimentazione, il liquame chiarificato (depurato) viene scaricato, mentre i microrganismi sedimentati (fango) sono in parte riciccolati nel reattore biologico al fine di mantenere alta la concentrazione di biomassa attiva (fango di ricircolo) e in parte avviati alla linea fanghi (fango di supero).

N.B.: poiché nella vasca di aerazione vengono prodotti continuamente nuovi microrganismi, se tutto il fango attivo venisse riciccolato, aumenterebbe indefinitivamente la sua concentrazione: occorre pertanto che parte dei fanghi sedimentati venga estratto dal sistema e avviato alla linea fanghi.

Va osservato che non si fa mai riferimento alla concentrazione batterica vera e propria, ma si ricorre ad una misura indiretta, ed in particolare a quella dei solidi sospesi volatili (oppure dei solidi sospesi totali, assumendo che ci sia un rapporto costante tra i SSV ed i SST, per i reflui urbani generalmente pari a 0,7).

PROCESSO A FANGHI ATTIVI - sintesi ipotesi di base

- Le reazioni biologiche avvengono solo nella vasca di aerazione, dove si ha il passaggio da S_o a S_e
- Quindi S_e non è modificato dalla sedimentazione (cioè $S_e \approx$ BOD solubile)
- Il BOD sedimentabile si ipotizza così tutto intrappolato nei fanghi
- Ipotesi: substrato → BOD
- Ipotesi: biomassa → SST
- Biomassa = 70% SST

Processo a f.a.: dimensionamento empirico del reattore biologico

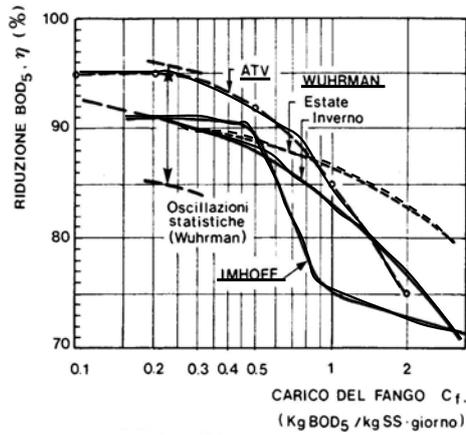
Definizione: CARICO DEL FANGO C_F

Quantità di sostanza organica biodegradabile che nell'unità di tempo e messa a disposizione di una quantità unitaria di batteri

$$C_F = \frac{qS_o}{xV} = \frac{S_o}{xt} \quad \left[\frac{\text{kg}_{\text{BOD}}}{\text{kg}_{\text{SSTg}}} \right]$$

"carico organico"

$$B_b = qS_o \quad \left[\frac{\text{kg}_{\text{BOD}}}{\text{g}} \right]$$



Criterio teorico: $C_F \leq 0,5$ in modo da ottenere valori di $\eta \approx 90\%$

Criterio prudenziale: $C_F \leq 0,3$ in modo da ottenere valori di $\eta \approx 90\%$ nell'arco dell'intera giornata (anche per $Q=Q_{maxn}$)

Legame tra C_F e rendimento η del trattamento biologico:

C_F bassi:

- scarsa disponibilità di substrato per la biomassa $\rightarrow \eta$ elevato;
- utilizzo completa del substrato da parte della biomassa;
- piccole quantità di fango di supero.

C_F medi:

cresce il fango di supero $\rightarrow \eta$ elevato

C_F alti:

substrato $>$ esigenze batteri; parte della sostanza organica; viene scaricata $\rightarrow \eta$ basso

$$C_F = \frac{qS_0}{xV}$$

DEFINIZIONE: Carico volumetrico

Quantità di substrato trattabile in un giorno per unità di volume della vasca

$$C_V = \frac{qS_0}{V} \left[\frac{\text{Kg}_{\text{BOD}}}{\text{m}^3 \cdot \text{g}} \right]$$

poiché

segue

$$C_V = x \cdot C_F$$

Caratteristiche di sedimentabilità del fango

La sedimentabilità dei fanghi biologici è valutata attraverso l'indice di Mohlman o SVI (Sludge Volume Index):

$$SVI = \frac{\text{Volume di fango decantato (ml/l)}}{\text{Concentrazione dei solidi sospesi su base secca (gr/l)}}$$

Si ottiene come **rapporto** tra:

- volume di fango che si deposita in condizioni statiche sul fondo di un cilindro graduato riempito con un campione di 1 litro di miscela aerata e lasciato sedimentare per 30 minuti (quindi in ml/l);
 - concentrazione di solidi sospesi totali contenuti nel campione di miscela aerata (misurata in gr/l).
- Da un punto di vista fisico rappresenta il volume occupato da 1 gr di solidi sospesi (su base secca) della miscela aerata dopo sedimentazione per 30'.
- Pertanto bassi valori indicano una buona sedimentabilità del fango, che si concentra in un piccolo volume, invece valori molto alti corrispondono ad un sedimento ricco di acqua e poco chiarificabile.

SVI = 70 ÷ 80		ottima sedimentazione
SVI = 120 ÷ 150		tipico dei liquami urbani
SVI = 120 ÷ 150		liquame poco sedimentabile

Dispositivi di aerazione

Aerazione superficiale:

aeratori superficiali (l'ossigeno viene prelevato dall'atmosfera)

aeratori sommersi (l'ossigeno viene prelevato dall'aria introdotta dall'esterno)

Aerazione per insufflazione d'aria:

diffusori a bolle fini (porosi)

diffusori a bolle grosse (non porosi)

Dispositivi di aerazione

Sistemi di aerazione superficiale

Il trasferimento di ossigeno avviene per effetto del movimento prodotto da un rotore dotato di idonee pale di agitazione, che creando una rilevante superficie di contatto tra l'aria e l'acqua, favoriscono la diffusione dell'ossigeno.

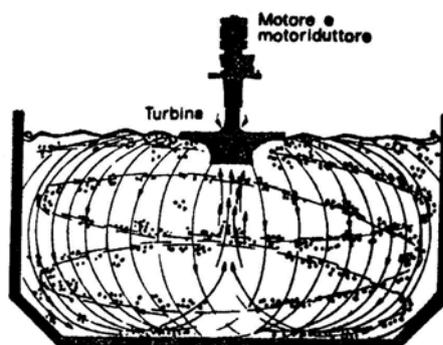
A ciò si aggiunge un fenomeno di aspirazione dell'aria nel liquido, a valle delle pale di agitazione.

Ne deriva un forte arricchimento di ossigeno negli strati superiori della vasca e la sua successiva dispersione nell'intera massa liquida per effetto della circolazione idrica.

Dispositivi di aerazione - Aeratori superficiali

1. Sistemi di aerazione superficiale ad asse verticale ("turbine")

sono costituiti da giranti coniche ad asse verticale munite di pale, azionate da motoriduttore montato su una passerella di servizio sopra la vasca.



Dispositivi di aerazione - Aeratori superficiali

1. Sistemi di aerazione superficiale ad asse verticale ("turbine")



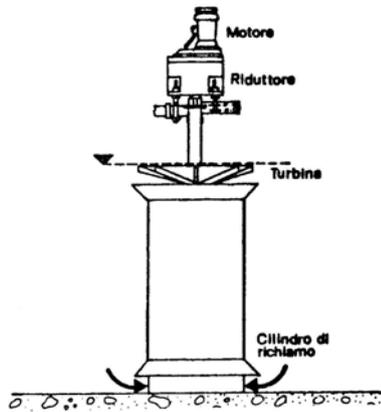
Dispositivi di aerazione - Aeratori superficiali

1. Sistemi di aerazione superficiale ad asse verticale ("turbine")

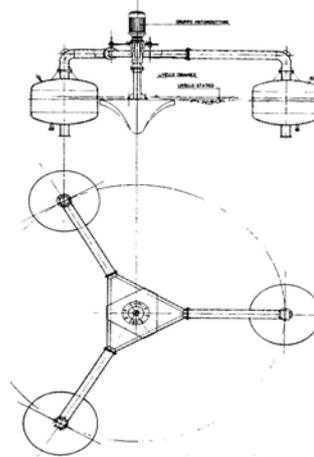


Dispositivi di aerazione - Aeratori superficiali

1. Sistemi di aerazione superficiale ad asse verticale ("turbine")



Turbina di aerazione munita di cilindro coassiale, per vasche profonde

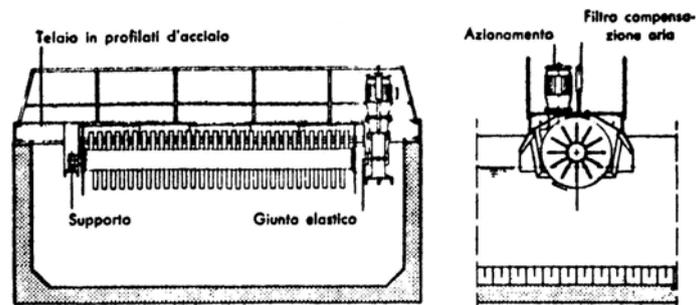


Turbina galleggiante

Dispositivi di aerazione - Aeratori superficiali

2. Sistemi di aerazione superf. ad asse orizzontale ("spazzole")

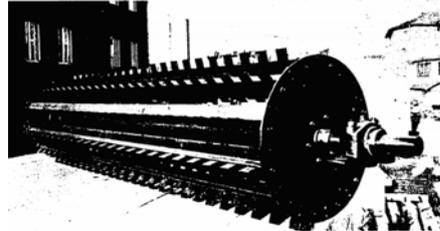
sono costituiti da alberi orizzontali su cui sono calettate spazzole metalliche, azionati da un motore collegato a una delle estremità dell'albero.



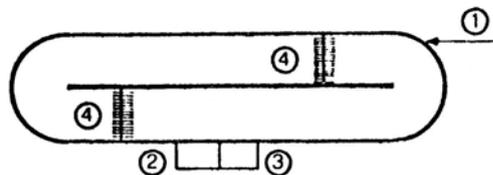
Dispositivi di aerazione - Aeratori superficiali

2. Sistemi di aerazione superf. ad asse orizzontale ("spazzole")

sono costituiti da alberi orizzontali su cui sono calettate spazzole metalliche, azionati da un motore collegato a una delle estremità dell'albero.



Possono essere installate nelle "vasche a carosello"



- 1 - Ingresso liquame
- 2 - Scarico liquame
- 3 - Scarico fango
- 4 - Spazzole di aerazione

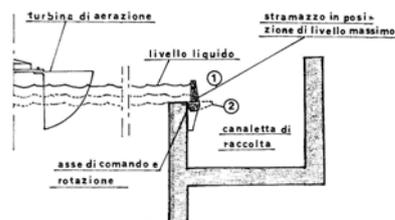
Dispositivi di aerazione - Aeratori superficiali

Vantaggi

- economicità delle apparecchiature
- possibilità di ottenere un'energica miscelazione anche in profondità
- possibilità di regolare gli apporti di O_2 in modo continuo variando la sommersenza delle turbine o con inverter (variazione numero di giri)

Svantaggi

- notevole sviluppo di aerosols
- notevole rumorosità
- necessità di passerelle di servizio per il sostegno delle turbine



Dispositivi di aerazione - Aeratori superficiali

3. Aeratori sommersi

Sono costituiti da una pompa sommersa, posata sul fondo della vasca, a cui è collegato un tubo aeroforo che raggiunge il pelo libero, col quale è aspirata aria esterna; l'aria è immessa in vasca, mediante uno o più eiettori sommersi.

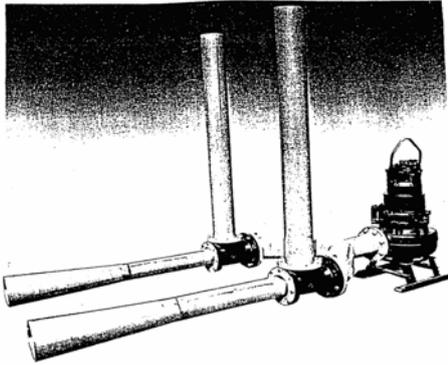
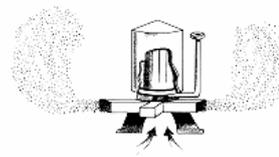


Fig. 1.11 Aeratori sommersi (Flygt)



Radial jet

Dispositivi di aerazione - Aeratori superficiali

3. Aeratori sommersi

Vantaggi

- Notevole semplicità d'installazione (interventi provvisori, potenziamenti)
- assenza di aerosols
- Economicità

Svantaggi

- Difficoltà d'insonorizzazione (rumore prodotto negli aerofori in aspir.)
- Bassi rendimenti di trasferimento dell'ossigeno

Dispositivi di aerazione - Aerazione per insufflazione d'aria

L'aerazione avviene per insufflazione d'aria in pressione nella massa liquida.

Il rendimento di ossigenazione, inteso come rapporto tra l'ossigeno solubilizzato (in condizioni standard) e quello insufflato, dipende da:

- dimensioni delle bolle con cui l'aria è introdotta nella vasca (superficie di scambio)
- profondità di insufflazione (tempo di contatto aria-liquido).

In funzione delle dimensioni delle bolle, si possono distinguere tre situazioni differenti:

- ✓ A bolle fini
- ✓ A bolle medie
- ✓ A bolle grosse

Dispositivi di aerazione - Aerazione per insufflazione d'aria

1) diffusori a bolle fini (candele)

Sono costituiti da elementi tubolari o a disco installati sul fondo della vasca e dotati di membrana permeabile dell'aria proveniente da soffianti e che impedisce il riflusso dell'acqua. Le dimensioni delle bolle sono inferiori a 3 mm.

Per un corretto funzionamento è necessario che l'aria, alimentata attraverso un sistema di tubazione, sia esente da polvere o da altre impurità che potrebbero produrre intasamenti.

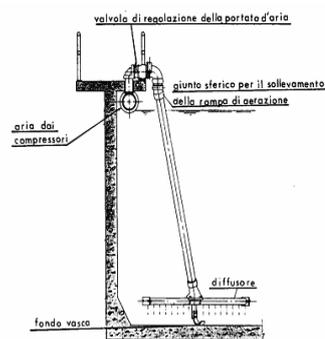
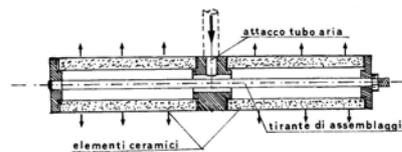
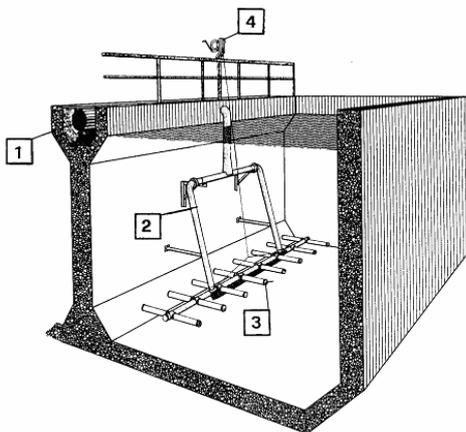


Fig. 10.68 - Particolare d'impianto di aerazione con diffusori d'aria (doc. Walker Process Co.).

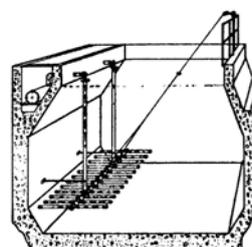
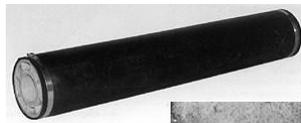


Dispositivi di aerazione - Aerazione per insufflazione d'aria

1) diffusori a bolle fini (candele)

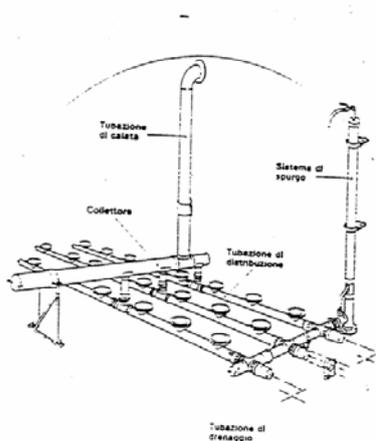


Diffusori tubolari

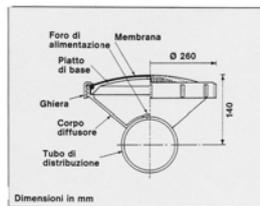


Dispositivi di aerazione - Aerazione per insufflazione d'aria

1) diffusori a bolle fini (dischi)

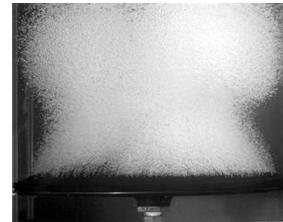


Diffusori a disco



Dispositivi di aerazione - Aerazione per insufflazione d'aria

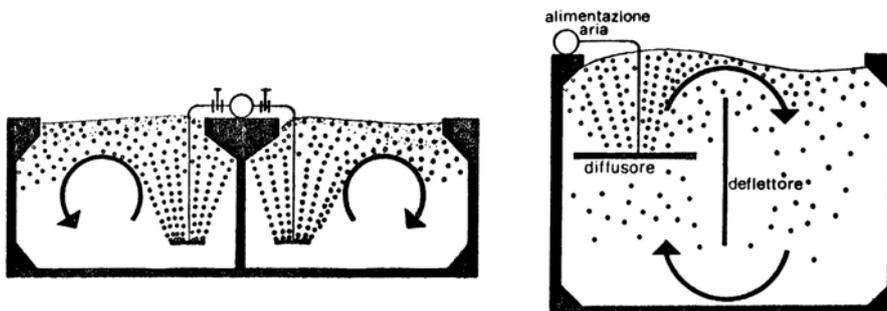
1) diffusori a bolle fini (dischi)



Diffusori a disco

Dispositivi di aerazione - Aerazione per insufflazione d'aria

1) diffusori a bolle fini (dischi)



Dispositivi di aerazione - Aerazione per insufflazione d'aria

2) diffusori a bolle medie e grosse

Bolle medie: dimensioni medie 3 - 5 mm

Bolle grosse: dimensioni medie > 5 mm

Le bolle si ottengono mediante insufflazione attraverso tubi forati.

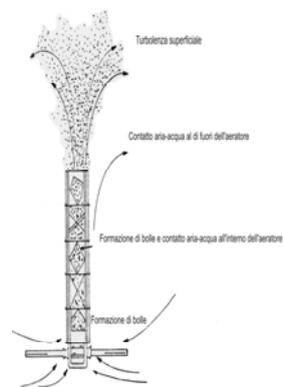
La minor superficie specifica delle bolle comporta rendimenti di ossigenazione minori, rispetto ai sistemi a bolle fini.

Rispetto ai corpi porosi, hanno il vantaggio di essere soggetti meno a fenomeni di intasamento.

I diffusori a bolle grosse possono essere utilizzati dove il rendimento non costituisca un obiettivo primario (vasche di pre-aerazione, dissabbiatura e digestione aerobica).

Dispositivi di aerazione - Aerazione per insufflazione d'aria

2) diffusori a bolle medie e grosse



Bubble gun

Dispositivi di aerazione - Aerazione per insufflazione d'aria

Vantaggi

- Assenza di aerosols
- Efficace azione di mescolamento in ogni zona dei bacini ossidativi
- Possibilità di regolare in modo continuo l'apporto di O_2 agendo sui compressori centrifughi (soffianti)
- Facilità di insonorizzazione delle soffianti installate in sala macchine
- Maggiore superficie di contatto fra le bolle d'aria prodotte e la miscela aerata

Svantaggi

- Notevole costo delle installazioni
- Rischio d'intasamento dei diffusori (diffusori a bolle fini)
- Difficoltà d'ispezione dei diffusori
- Necessità di un sistema di tubazioni sommerso per l'alimentazione dei vari diffusori

Dispositivi di aerazione

Confronto fra sistemi di aerazione

Non sussistono grosse differenze tra le prestazioni degli aeratori superficiali ed i sistemi ad insufflazione d'aria

La quantità di ossigeno trasferibile, in condizioni standard, per gli aeratori superficiali e i sistemi ad insufflazione d'aria a bolle fini è dell'ordine di 2 - 2,2 kgO_2/kWh .

Per i diffusori a bolle medie e grosse è rispettivamente 1,5 kgO_2/kWh e 1,2 kgO_2/kWh .

Dispositivi di aerazione

Confronto fra sistemi di aerazione

Vantaggi degli aeratori superficiali:

- semplicità d'installazione (non richiedono rete di adduzione e distribuzione d'aria)
- semplicità di esercizio (assenza di pulizia)
- numero limitato di macchine

Vantaggi dei sistemi ad insufflazione d'aria:

- migliore possibilità di regolazione della quantità di ossigeno trasferita.
- minore problemi di rumorosità se insonorizzati all'interno di un locale macchine realizzato con materiale fonoassorbente; con l'aerazione superficiale il rumore è dovuto allo sciacquo dell'acqua violentemente agitata)
- in condizioni invernali, la temperatura può essere mantenuta notevolmente più elevata, per effetto della compressione e del conseguente riscaldamento dell'aria.
- minore formazione di aerosol (rischio connesso alla diffusione i agenti patogeni)

Tipi di processi a fanghi attivi

$$V = \frac{q \cdot S_0}{C_V} = \frac{q \cdot S_0}{x \cdot C_F}$$

Elevati $C_F \rightarrow$

- piccoli V
- minore consumo di energia
- aumento dei fanghi putrescibili
- Pericolo di instabilità al variare del carico

a) Processo convenzionale a medio carico:

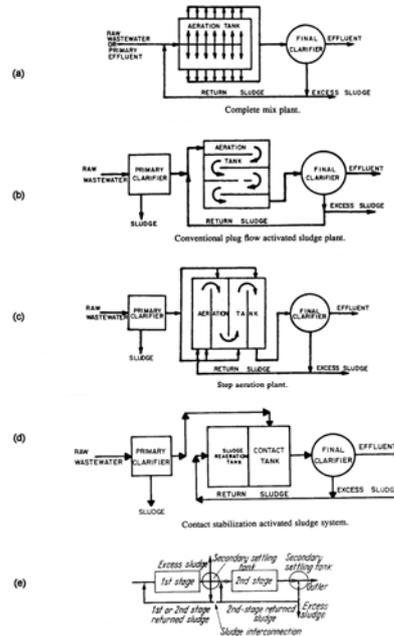
- È il più diffuso
- $C_F = 0,2 - 0,3 \text{ Kg}_{\text{BOD}}/\text{Kg}_{\text{SST}} \times \text{g}$
- x medio ($3 - 4 \text{ Kg}_{\text{SST}}/\text{m}^3$)
- Necessità di stabilizzazione dei fanghi
- Senza sedimentazione primaria, se con digestione aerobica
- con sedimentazione primaria, se con digestione anaerobica
- $t = V/Q = S_0/(C_F \cdot x) \geq 1,5 - 2$ ore

b) Processo a basso carico (aerazione prolungata, ossidazione totale):

- $C_F = 0,08 - 0,1 \text{ Kg}_{\text{BOD}}/\text{Kg}_{\text{SST}} \times \text{g}$
- Ridotta sintesi \rightarrow bassa produzione di fanghi di supero
- x elevato ($4 - 6 \text{ Kg}_{\text{SST}}/\text{m}^3$)
- Funzionamento periodico a medio carico (centri turistici)

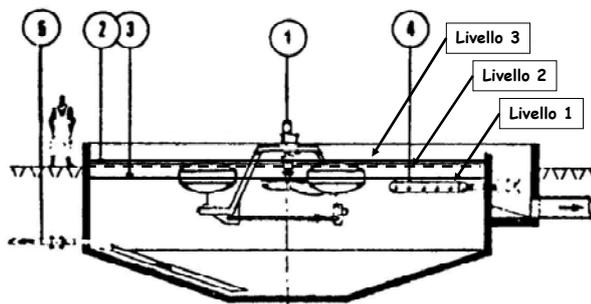
Alternative impiantistiche per processi a biomassa sospesa con ricircolo cellulare:

- Differenze in funzione delle modalità di alimentazione e scarico della vasca;
- Varianti rispetto allo schema classico a f.a. (completa mix)



Alternative impiantistiche per processi a biomassa sospesa con ricircolo cellulare:

Impianto ad aerazione prolungata a bacino unico:



- 1- Turbina galleggiante
- 2- Livello di massimo invaso
- 3- Livello di minimo invaso
- 4- Scarico liquame
- 5- Scarico fanghi

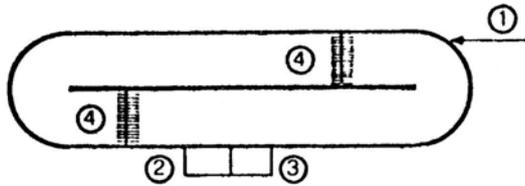
Fasi di funzionamento:

- 1^a fase: livello 1 (minimo) $Q_e \neq 0$ $Q_u = 0$; riempimento vasca; aerazione in funzione
- 2^a fase: livello 2 $Q_e \neq 0$ $Q_u = 0$; aerazione non in funzione (fase di sedimentazione)
- 3^a fase: livello 3 (massimo) $Q_e \neq 0$ $Q_u \neq 0$; scarico chiarificato; aerazione non in funzione

N.B.: la vasca è alimentata anche quando viene estratto il chiarificato (η basso)

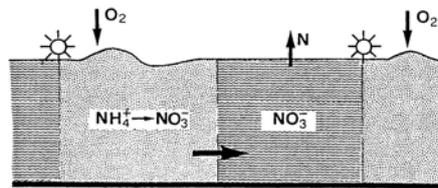
Alternative impiantistiche per processi a biomassa sospesa con ricircolo cellulare:

Vasche a carosello (fosse di ossidazione, bacini tipo Pasveer):



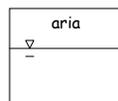
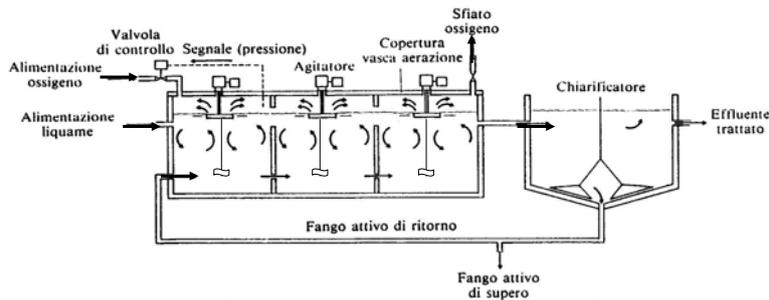
- 1 - Ingresso liquame
- 2 - Scarico liquame
- 3 - Scarico fango
- 4 - Spazzole di aerazione

- Aerazione con spazzole
- Funzionamento a basso CF
- Possibile nitrificazione
- Possibile denitrificazione simultanea (presenza di zone aerobiche e anossiche alternate)

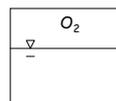


Alternative impiantistiche per processi a biomassa sospesa con ricircolo cellulare:

Processo a ossigeno puro



$p_{parz} = 0,21 \text{ atm}$
 $C_S = 9,3 \text{ mg/l}$



$p = 1 \text{ atm}$
 $C_S = 44 \text{ mg/l}$

Impianto convenzionale

Impianto a ossigeno puro

$$(C_S)_1 \ll (C_S)_2$$

$$(OC)_1 \ll (OC)_2$$

$$(OD)_1 \ll (OD)_2$$

Processo a ossigeno puro:

Vantaggi

- L'aumento di OD facilita la diffusione di O_2 nel fiocco concentrazioni elevate di biomassa in vasca
- Miglioramento delle caratteristiche di sedimentabilità del fango (fiocchi più grandi e miglior controllo dei batteri filamentosi)
- Garanzia nei confronti della variabilità del carico

Particolari costruttivi e dimensionamento

- Atmosfera ricca di O_2 a 0,1 m H_2O (~ 0,01 atm)
- Sfiato per eliminazione di CO_2 e N
- $OD \cong 6 \text{ mg/l}$; $C_F = 0,4 - 1 \text{ Kg}_{BOD}/\text{Kg}_{SSTg}$
- $x_r = 15 - 25 \text{ Kg}_{SS}/\text{m}^3$; $x = 4 - 8 \text{ Kg}_{SST}/\text{m}^3$
- Volumi piccoli delle vasche; vasche coperte

Produzione di O_2

- 1) **GASDOTTO**: serbatoio di accumulo + cabina di decompressione;
- 2) **IMPIANTO CRIOGENICO**: liquefazione dell'aria, complesso e valido solo per grandi impianti;
- 3) **IMPIANTI A STACCI MOLECOLARI**: adsorbimento dell'azoto presente in aria su cristalli di silicati di alluminio; O_2 puro al 92%; metodo preferito

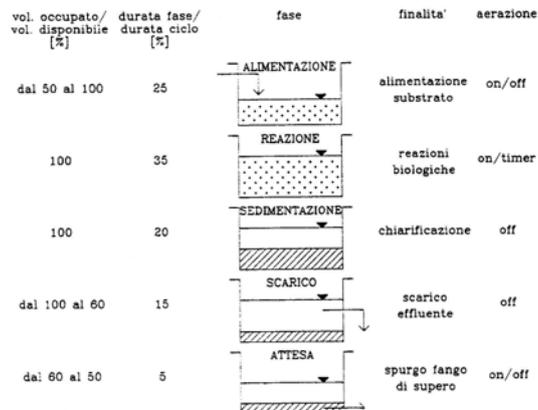
Alternative impiantistiche per processi a biomassa sospesa con ricircolo cellulare:

Sistemi ad alimentazione discontinua (SBR: Sequencing Batch Reactor)

Aerazione e sedimentazione avvengono in uno stesso reattore, ma in tempi diversi

Fasi del processo:

1. Alimentazione ($Q_e \neq 0$)
2. Reazione ($Q_e = 0$)
3. Sedimentazione ($Q_e = 0$)
4. Scarico effluente ($Q_e = 0$)
5. Attesa e scarico fanghi



Per scarichi continui, occorre prevedere più vasche in parallelo.

Vantaggi: elasticità, nitrificazione, denitrificazione

Svantaggi: perdita di carico, automazione

Alternative impiantistiche per processi a biomassa sospesa con ricircolo cellulare:

Sistemi a pozzo profondo

Reattore costituito da un pozzo, avente profondità anche > 100 m e diametro di alcuni metri

Soluzioni possibili:

- a) Setto centrale, che obbliga il flusso a un moto a "U";
- b) Condotta coassiale

Vantaggi:

- aumento della solubilità di O_2 , per le maggiori pressioni a cui esso è insufflato
- elevati rendimenti di rimozione del BOD anche con modesti tempi di detenzione

Svantaggi:

o vincoli geologici e idrogeologici

