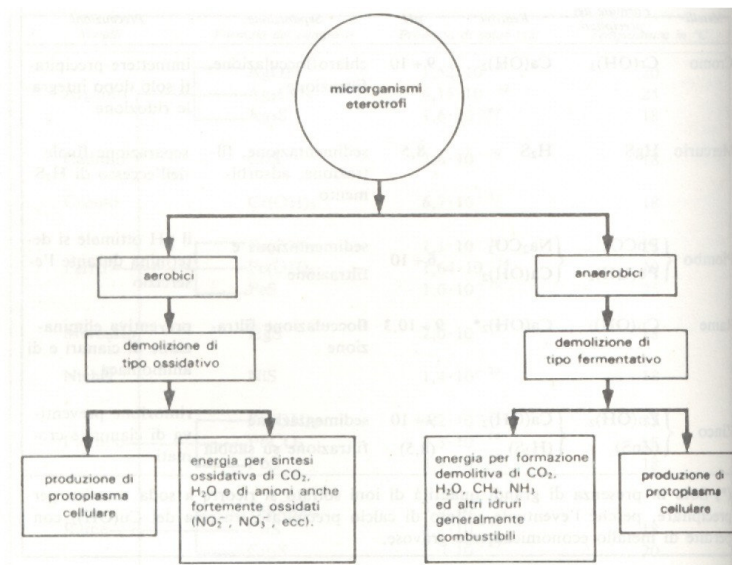


Trattamento biologico delle acque



Per eliminare le sostanze organiche da acque di scarico sono usati oggi su vasta scala dei processi biologici che distruggono tali sostanze con meccanismi analoghi a quelli d'autodepurazione di un corpo idrico, ma con la differenza di una maggiore velocità e una maggiore resa di trasformazione.

Come in natura, così in ambito tecnologico, le condizioni in cui i processi biologici di spurgo idrico si realizzano possono essere *aerobiche* o *anaerobiche*: cioè caratterizzate dall'intervento dell'ossigeno o dalla sua assenza. In entrambi i casi sono interessati *microrganismi eterotrofi*, che cioè abbisognano di sostanze organiche come apportatrici di materiale cellulare plastico e come substrato di produzione energetica che non sono però in grado di autosintetizzare direttamente (al contrario degli *autotrofi*) e pertanto rientrano nella catalogazione ecologica dei *consumatori*. Lo schema seguente mostra i meccanismi d'azione dei due tipi di microrganismi eterotrofi che generalmente operano nei processi di biodepurazione delle acque:



Nei processi biologici artificiali volti a depurare le acque, come del resto in natura, operano anche microrganismi che possono essere attivi sia in senso aerobico che in senso anaerobico (i *microrganismi facoltativi*), risultando determinato il loro tipo d'attività dalle condizioni ambientali in cui vengono a trovarsi.

La scelta del tipo di microrganismi e delle condizioni operative viene fatta sulla base dei risultati che si vogliono ottenere: preferendosi adozione d'attività microbiologiche aerobiche, di tipo veloce, quando il depurare l'acqua è lo scopo principale, ed anaerobiche se si vuol produrre energia alternativa, in forma di biogas, attraverso un percorso più lento richiedente minori dispendi energetici.

La caratteristica principale dei processi aerobici consiste nell'utilizzazione dell'ossigeno disciolto nell'acqua, in condizioni favorevoli a mantenere l'attività dei microrganismi. Il risultato è la produzione di molto materiale biologico flocculento che rimane attaccato alle superfici delle apparecchiature di trattamento in certi tipi d'impianto e che resta disperso nella massa del liquido in altri tipi d'impianto. In ogni caso i fiocchi di materiale biologico aggregano particelle colloidali fini e adsorbono altre sostanze disciolte. Un'altra constatazione riguarda l'ottenimento di sostanze altamente ossidate quali CO_2 e H_2O (ed anche di anioni quali NO_2^- , NO_3^- , ecc.). Affinché i microrganismi si mantengano attivi bisogna che la concentrazione di ossigeno in soluzione non sia mai inferiore ad un certo livello; sicché occorre rifornirlo continuamente con dispositivi adeguati.

Nei processi anaerobici la crescita dei microrganismi, energeticamente alimentata dalla rottura dei legami chimici che porta a convertire in CH_4 (oltre che in NH_3 , H_2S e PH_3) e CO_2 l' 80 ÷ 90% delle sostanze organiche presenti nell'acqua, è bassa; i fanghi sono perciò scarsi e facilmente smaltibili. In questi processi non è richiesta energia per fornire ossigeno al sistema ma solo per scaldare alquanto l'ambiente. Peraltro il metano ottenuto ("biogas") può essere utilizzato per produrre energia in quantità eccedente quella necessaria all'esercizio del processo che lo ha fatto formare.

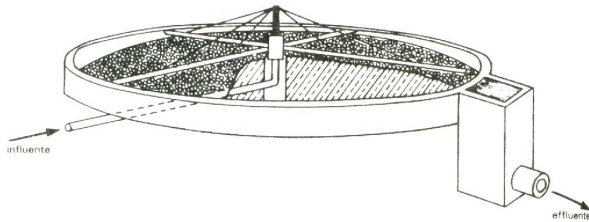
Metodi di sfruttamento dei microrganismi aerobici.

I principali processi tecnologici in cui si sfruttano microrganismi aerobici comportano:

- *uso di filtri percolatori e biodischi;*
- *trattamenti con sistemi a fanghi attivi;*
- *adozione di bacini d'ossidazione ("lagune aerate"),*

nel contesto di altre strutture impiantistiche di supporto e complemento.

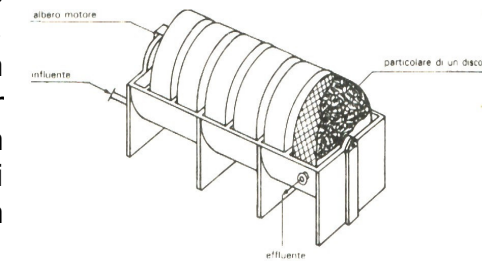
I *filtri percolatori* sono costituiti da un letto poroso, formato da materiale in pezzatura grossolana (sassi, carbon fossile) disposti alla rinfusa o da materiali di forma prestabilita (mattoni, fogli di plastica) normalmente sagomati ad alveare. Si tratta di strutture che forniscono una vasta superficie per unità di volume, che si ricopre di film biologico attivo. La distribuzione dell'acqua da trattare, che scorrendo sul film biologico consente la trasformazione biochimica delle sostanze organiche convogliate, è affidata ad un sistema a braccio ruotante o ad un meccanismo di spruzzatori collocati sopra tutta la sezione del letto in azione. La massa cellulare in crescita viene continuamente rinnovata perché tutta quella in eccesso si stacca a fiocchi dal film biologico e fuoriesce con l'effluente. Sul fondo del filtro è predisposto un sistema di drenaggio dell'acqua trattata che viene inviata ad un sedimentatore secondario nel quale si separa dal fango biologico. L'ossigeno utilizzato dai biochimismi è in piccola



parte quello presente originariamente nell'acqua da trattare, più quello che l'acqua acquista nell'atto in cui si distribuisce sul letto e soprattutto quello che si discioglie nel velo liquido del letto poroso sia naturalmente e sia a seguito del risucchio d'aria provocato

dal drenaggio dell'acqua attraverso pavimento forellato. Per incrementare ulteriormente l'apporto d'ossigeno si può aumentare la velocità di circolazione dell'aria nel letto poroso in confronto a quella che si ha in condizioni di tiraggio naturale.

I *biodischi* sono costituiti da una batteria di strutture discoidali sorretta da un albero centrale e alloggiata in una vasca semicilindrica orizzontale. L'albero viene fatto ruotare lentamente ($2 \div 5$ giri al minuto), sicché i dischi vengono ad avere le superfici alternativamente esposte per metà all'atmosfera e per metà al liquame che riempie la vasca. I dischi hanno diametri fino a $2 \div 3$ m e sono di materia plastica (polistirene o resine ureiche espansi). Talvolta si adottano involucri cilindrici di rete metallica contenenti vari materiali di riempimento o anche corpi cilindrici costituiti da fogli di polietilene collegati reciprocamente in modo da formare una sagoma <<a nido d'api>> d'elevata superficie specifica; raggiungendosi i $35 \div 40 \text{ m}^2/\text{m}^3$. La manutenzione dei biodischi è assai limitata per la semplicità dell'apparecchiatura ed essa consiste essenzialmente, oltre che in normali disintasamenti, nel controllo e nella periodica lubrificazione delle parti in movimento.



Schematico impianto d'ossidazione a biodischi

I *fanghi attivi* non sono altro che fanghi prodotti in un trattamento biologico ossidativo delle acque fatti maturare attraverso ripetuto riciclo. In questo modo infatti s'incrementano nei fanghi gli agenti della catalisi enzimatica, con il duplice effetto di accelerare i fenomeni ossidativi e rendere più integrale l'utilizzazione dell'ossigeno apportato. Le fasi fondamentali coinvolte in questo trattamento sono la produzione di materiale biologico che si aggrega in fiocchi e l'adsorbimento su questi delle sostanze da rimuovere per ossidazione biocatalitica. Per favorire l'adsorbimento e la successiva ossidazione è necessario che i fiocchi siano mantenuti in sospensione e riforniti d'ossigeno. L'operazione si compie in vasche per lo più rettangolari, rifornite d'ossigeno e dotate della possibilità di mantenere sospesi i fiocchi bioattivi attraverso una di queste tre tecnologie:

- per diffusione d'aria;
- per agitazione meccanica;
- a sistema misto.

Le vasche d'areazione, costruite in cemento o prefabbricate in ferro opportunamente protetto, ricevono l'acqua presedimentata e i fanghi attivi di riciclo oltre a scaricare in continuo la miscela aerata in vasca di sedimentazione secondaria. L'effluente depurato viene mandato a destinazione ed i fanghi scaricati sono smistati tra il riciclo e lo spurgo.

Le "*lagune aerate*" sono bacini d'ossidazione consistenti in vasche di grande volume, ricavate mediante scavo e riporto di terra, impermeabilizzate se la natura del terreno lo richiede, solitamente di profondità non superiore a 2 m. I tempi di residenza dell'acqua trattata in lagune aerate sono lunghi e così l'ossidazione è possibile senza riciclo di fanghi. La fornitura d'ossigeno è effettuata con turbine galleggianti o con sistema a diffusione d'aria per lagune più profonde di 1,5 m. Nei bacini d'ossidazione di modesta profondità (1 ÷ 1,5 m) la luce raggiunge il fondo provocando sviluppo d'alghe dotate d'attività fotosintetica che contribuisce pure a rifornire d'ossigeno l'ambiente. Se la profondità dei bacini supera i 2 m, sul fondo si viene a stabilire una zona non aerata funzionante in regime anaerobico.

Campi di applicazione ed efficienza dei metodi di sfruttamento di microrganismi aerobici.

I filtri percolatori a basso e medio carico vengono normalmente utilizzati per trattare effluenti urbani e consentono di ottenere gradi di rimozione di BOD₅ anche fino al 95 %. I filtri ad alto carico sono particolarmente adatti per trattare liquami derivanti da scarichi domestici abbinati a quelli di attività agroalimentari (allevamenti di polli e macelli, ad esempio) o industriali (di fabbriche di birra, di raffineria di petrolio, ecc.) ed arrivano a rimuovere una media del 60 ÷ 70 % del BOD₅ dell'influente iniziale.

Con sistemi a biodischi si possono trattare liquami provenienti da concerie, da macelli, da industrie lattiero-casearie e da stabilimenti farmaceutici; oltre che da agglomerati urbani d'ordine massimo di 100.000 abitanti. L'efficienza del trattamento è in relazione soprattutto con le dimensioni della superficie dei biodischi. Nel caso di scarichi urbani, orientativamente si va da rimozione di BOD₅ dell' 80 % sfruttando 1 m² di superficie di dischi per abitante alla rimozione di circa il 95 % del BOD₅ iniziale adottando 3 m² di superficie per abitante.

Il trattamento a fanghi attivi è, di tutti i metodi basati sullo sfruttamento di microrganismi aerobici per trattare scarichi contenenti sostanze organiche, di gran lunga il preferito. Esso infatti si presta, variando il quantitativo d'aria fornito e il sistema d'aerazione, la modalità di flusso, l'età del fango, il rapporto di riciclo del fango e il suo tempo di residenza, ad ogni tipo di scarico urbano o industriale. Spesso si opera abbinando i processi di depurazione dei due gruppi di scarico, realizzando se occorre preventivi procedimenti di depurazione degli effluenti industriali attraverso trattamenti chimici. L'efficienza di rimozione del BOD₅ con sistema a fanghi attivi variamente modificato oscilla in margini piuttosto ampi: andando dal 75 % per carichi normalmente trattati al 95 % prolungando l'aerazione, caricando progressivamente la vasca d'aerazione o, se la fonte d'ossigeno è economica, "aerando" con ossigeno puro.

Le lagune aerate, il cui sfruttamento è favorito dalla disponibilità d'ampi spazi, da tollerabilità di miasmi e da insolazione, si prestano in particolare per trattare effluenti industriali inquinati da sostanze organiche come idrocarburi, fenoli, ammine e derivati, aldeidi e micropolimeri.

CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO DELLE LAGUNE AERATE

Tipo di laguna	Profondità (m)	Concentrazione algale (mg/l)	pH	Tempo di residenza (giorni)	Solidi sospesi (mg/l)	Efficiente rimozione BOD ₅ (%)
Aerata artificialmente	1,5 ÷ 4	-----	6,5 ÷ 8	3 ÷ 10	80÷250	80 ÷ 95
Aerata naturalmente	1 ÷ 1,5	40 ÷ 100	6,5÷10,5	10 ÷ 40	80÷140	80 ÷ 95

Metodi di sfruttamento di microrganismi anaerobici.

La biodepurazione anaerobica per processi fermentativi causati da attività batteriche è sfruttata di solito per trattare scarichi liquidi d'elevato BOD₅ (> 2.000 mg/l), presenta rispetto ai trattamenti aerobici dei vantaggi: minor costo d'esercizio, possibilità di trattamento anche nel caso di alimentazione discontinua, possibilità di realizzarsi anche in corrispondenza di quantità di sostanze nutritive dei microrganismi nei liquami minori di quelle richieste dai processi aerobici, limitata produzione di fanghi, sviluppo di gas ricco in metano ed utilmente impiegabile. Le industrie da cui più frequentemente possono provenire gli scarichi liquidi da biodepurare anaerobicamente sono le conserviere, le farmaceutiche, le birrarie, le lattiero-casearie e quelle dell'allevamento.

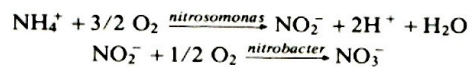
Ai processi di depurazione che sfruttano microrganismi anaerobici appartengono anche le "fosse settiche": cioè le vasche di ridotte dimensioni alle quali arrivano liquami che, per opera dell'abbondante flora batterica locale, formano schiume superficiali agenti da scudo nei confronti dell'atmosfera. Il fango di fondo vasca di tanto in tanto va rimosso e deve essere reso asettico per clorazione, data l'alta carica batterica, anche di tipo fortemente patogeno che include. Tipiche apparecchiature che sfruttano depurazione biologica anaerobica delle acque sono le *vasche Imhoff*, d'uso assai diffuso in passato ma ora notevolmente ridotto e fatto quasi sempre in impianti di piccole dimensioni.

I tempi di residenza in processi di biodepurazione anaerobica vanno da una decina di giorni a poco meno di due mesi, ed il carico organico rimosso, misurato in COD, varia dal 70 al 98 % curando opportunamente i parametri operativi (temperatura, pH, tempi, ecc.). Tuttavia, data l'elevata concentrazione iniziale di sostanze organiche, quando l'efficienza della rimozione è meno del 90 % gli effluenti devono essere generalmente sottoposti ad ulteriori processi depurativi.

Processi bionitrificanti e biodenitrificatori.

Attualmente nella maggior parte degli impianti di rimozione dell'azoto dagli effluenti di processi industriali e da scarichi agricoli è adottata la nitrificazione-denitrificazione biologica.

La nitrificazione biologica consiste nell'ossidazione biochimica dell'azoto ammoniacale per mezzo di *batteri nitrificanti autotrofi* (batteri chemiosintetici, in quanto utilizzano l'energia ricavata dalla rottura dei legami chimici per produrre autonomamente il materiale biorganico per il loro sostentamento). Il processo può essere condotto in reattori a film biologico (filtri percolatori e biodischi) o in reattori con biomassa in fase dispersa (impianti a fanghi attivati). Il chimismo del processo è duplice: in un primo tempo l'azoto organico dell'influente viene rapidamente trasformato in composto ammonico e successivamente, per catalisi operata da batteri *nitrosomonas* e *nitrobacter*, rispettivamente, l'azoto ammonico viene portato ad azoto nitrico secondo queste schematiche reazioni:



che hanno per effetto totale (a) + (b):



Durante la nitrificazione avviene anche una spinta rimozione delle sostanze organiche, come in un normale processo bioossidativo.

La denitrificazione consiste invece nella trasformazione dell'azoto nitrico in azoto molecolare, in ambiente anaerobico. In pratica però o si ricorre a lenta agitazione meccanica o si insuffla una portata controllata d'aria, così da creare agitazione sufficiente ad evitare sedimentazione della biomassa ma non tanto intensa da recare all'ambiente un apprezzabile contenuto di ossigeno. Se la denitrificazione segue la nitrificazione occorre reintegrare nel sistema un substrato carbonioso che faccia da donatore di elettroni nel processo di riduzione dei nitrati. La fonte di carbonio più frequentemente impiegata è il metanolo; nel qual caso la reazione d'ossidoriduzione enzimaticamente catalizzata si può così rappresentare:

