

**XI corso di tecnologia per tecnici cartari**  
*edizione 2003/2004*

# **Trattamento acque di scarico**

***di Manfredi Tiziano***



**Scuola Interregionale di Tecnologia per tecnici Cartari**

via don G. Minzoni, 50 - 37138 Verona - tel. 045 8070352

# INDICE

- 1. Introduzione**
- 2. Valutazione del grado di inquinamento**
  - 2.1 Valutazione biologica
    - 2.1.1 Test ittico
    - 2.1.2 Test biologico
    - 2.1.3 Test microbiologico
  - 2.2 Valutazione chimico-fisica
    - 2.2.1 Caratteristiche organolettiche
    - 2.2.2 Temperatura
    - 2.2.3 Conduttività
    - 2.2.4 pH
    - 2.2.5 Sostanze sospese
    - 2.2.6 Sostanze in sospensione e sedimentabili
    - 2.2.7 Ossigeno disciolto
- 3. Legislazione sulle acque reflue**
- 4. Vantaggi e svantaggi dei cicli d'acqua chiusi**
- 5. BOD-COD**
  - 5.1 COD (domanda chimica di ossigeno)
  - 5.2 BOD (domanda chimica di ossigeno dopo 5 giorni)
  - 5.3 TOC
- 6. Le acque di scarico in cartiera**
- 7. Destabilizzazione patine**
  - 7.1 Principio di funzionamento destabilizzazione patine stabilimento di "Arco"
- 8. Metodi di trattamento acque reflue**
- 9. Descrizione processi**
  - 9.1 Grigliatura
  - 9.2 Equalizzazione ed omogeneizzazione
  - 9.3 Flottazione
  - 9.4 Ossidazione a fanghi attivi
    - 9.4.1 Competizione e catene alimentari
  - 9.5 Sedimentazione
    - 9.5.1 Problemi annessi alla sedimentazione
- 10. Impianti ad ossidazione**

- 10.1 Le vasche a fanghi attivati
  - 10.1.1 I cannoni a bolle (sulzer)
  - 10.1.2 Dosaggio nutrienti
- 10.2 I filtri percolatori

## **11. Il trattamento dei fanghi**

## **12. Il trattamento acque nella stabilimento Fedrigoni Arco**

- 12.1 Presentazione biofiltrazione
- 12.2 Schema di funzionamento trattamento acque
- 12.3 Schema a blocchi dell'impianto

## **13. Il trattamento acque nello stabilimento Fedrigoni Varone**

- 13.1 Filtrazioni in sabbia

## **14. Conclusioni**

# 1. INTRODUZIONE

Il trattamento delle acque di scarico all'interno di una cartiera è un elemento fondamentale. Oltre ad occupare una vasta area dello stabilimento è un impianto ormai indispensabile. Infatti la legge prevede norme per la regolamentazione degli scarichi e criteri generali per la razionalizzazione delle risorse idriche. Leggi necessarie, che evidenziano l'importanza del trattamento delle acque reflue anzitutto come dovere sociale per rallentare e in un prossimo futuro annullare i danni prodotti all'ambiente dalla trascuratezza finora dimostrata in questo campo.

In cartiera, l'acqua, è la materia prima principale e questo è all'origine del suo inquinamento, causa le lavorazioni che subisce all'interno del ciclo. L'inquinamento si riconduce ai seguenti tre schemi fondamentali:

- mancanza di ossigeno
- presenza di sostanze tossiche
- variazione della temperatura del corso d'acqua ricevente  
(bacino o corso d'acqua in cui gli scarichi vanno a confluire)

In natura quando si scaricano dei liquami contenenti sostanze organiche, queste vengono attaccate dai microrganismi presenti che la trasformano in sostanze di composizione chimica più semplice, due processi concorrenti tra di loro:

1. OSSIDAZIONE: trasformazione del liquame in una sostanza più semplice con la produzione di energia.
2. SINTESI: l'energia prodotta dall'ossidazione viene utilizzata dai microrganismi per crescere e moltiplicarsi.

L'insieme di questi due processi è detto METABOLISMO.

Il metabolismo può essere di due tipi: AEROBICO E ANAEROBICO. Quello aerobico come dice la parola stessa si verifica in presenza di ossigeno e porta alla formazione di energia sotto forma di anidride carbonica, acqua, nitrati, ecc. e altri prodotti finali innocui e inodori. Se però l'inquinamento è tale che tutto l'ossigeno viene consumato, intervengono i batteri anaerobi, che prelevano l'ossigeno dai nitrati, solfati, fosfati, ecc., creando dei cattivi odori. Una volta terminate queste sostanze da cui è stato estrapolato l'ossigeno i batteri continuano il loro lavoro di demolizione e combinando il carbonio in eccesso con l'idrogeno, danno luogo alla produzione di metano. Quest'ultimo processo in cartiera non viene quasi mai utilizzato, poiché il metaboli-

simo aerobico è già più che sufficiente per garantire una buona depurazione delle acque ed inoltre il sistema aerobico risente meno delle variazioni di sistema.

## **2. VALUTAZIONE DEL GRADO DI INQUINAMENTO**

La valutazione dell'inquinamento di acque in genere ed in modo particolare delle acque di scarico si divide essenzialmente in due settori:

- VALUTAZIONE BIOLOGICA
- VALUTAZIONE CHIMICO-FISICA (particolarmente usata negli impianti cartari)

### **2.1 VALUTAZIONE BIOLOGICA**

#### **2.1.1 TEST ITTICO**

Si tratta di stabilire la sopravvivenza o meno di determinate specie di pesci, opportunamente prescelte, a varie concentrazioni di sostanze ritenute tossiche. Solitamente vengono impiegati il *Carassius auratus* (pesce rosso), il *Phoxinus laevis* (sanguinerola) e il *Cyprinus carpio* (carpa). Queste determinazioni vanno comunemente eseguite in laboratori specializzati e non è possibile dare un'unica indicazione di tollerabilità.

#### **2.1.2 TEST BIOLOGICO**

Viene eseguito facendo crescere sperimentalmente in laboratorio delle pianticelle di grano prendendo a confronto un campione irrorato con acqua distillata con un altro campione irrorato con acqua da esaminare. È stato osservato che la presenza di elementi inquinanti limita la crescita delle pianticelle stesse; anche questa determinazione deve essere fatta in laboratori specializzati.

#### **2.1.3 SAGGIO MICROBIOLOGICO**

Come dice lo stesso titolo si tratta di determinare nel campione d'acqua in esame la presenza o meno di germi portatori di infezioni. Il riferimento sono i cosiddetti "coliformi fecali" (laboratori specializzati).

## **2.2 VALUTAZIONE CHIMICO-FISICA**

Questo tipo di prove sono quelle più richieste e conseguentemente quelle a cui si presta maggior interesse.

### **2.2.1 CARATTERISTICHE ORGANOLETTICHE**

- Colore: si misura con un colorimetro, ma normalmente si ricorre alla valutazione soggettiva diluendo l'acqua 1:20, 1:40 in una vaschetta di plastica di un dm<sup>3</sup>.
- Odore: valutazione soggettiva classificata dalla Royal commission on Seavage Disposal in:
  - odori putridi (dovuto ad idrogeno solforato, tipo uova marce)
  - odore di pesce (dovuto ad ammine organiche)
  - odore di vermi (causato da sostanze fosforate)
  - odore di terra (dovuto all'humus)
- Sapore: solo quando si analizza acqua potabile.
- Torbidità: misurazione delle sostanze colloidali disperse in acqua, che non riescono a sedimentare; si effettua tramite strumenti chiamati turbidimetri, nei quali si misura l'assorbimento della luce che attraversa il campione e che è proporzionale alla sua torbidità.

### **2.2.2 TEMPERATURA**

Viene misurata con i comuni metodi e questa non deve superare i 30 gradi centigradi.

### **2.2.3 CONDUTTIVITÀ**

Fornisce una misura della quantità di sostanze ionizzate presenti nell'acqua; viene determinata con le comuni celle collegate al conduttivimetro (cioè la corrente elettrica trasportata dagli ioni, e quindi più è alta la conducibilità, più è alto il contenuto di ioni e quindi di sali di calcio, ferro, rame, ecc.).

### **2.2.4 pH**

Rappresenta il cologaritmo dell'attività degli ioni H<sup>+</sup> presenti in soluzione:

pH=-log (H)

In poche parole questo valore può andare da 0 a 14 ed indica l'acidità e la basicità di una soluzione. Partendo dal valore 7, che è la neutralità, per valori da 0 a 7 si è in ambiente acido, per valori da 7 a 14 si è in ambiente basico. Il valore del pH è importante per le acque, poiché per la sopravvivenza dei pesci è necessario un intervallo massimo di 5-9, ma l'optimum è compreso tra 6,7 ed 8,6.

### **2.2.5 SOSTANZE SOSPESE**

Formano un miscuglio con l'acqua e possono essere determinate per via ponderale, cioè filtrando l'acqua su appositi filtri e determinando per pesata la quantità di solido presente. Come abbiamo precedentemente detto, provocano la torbidità dell'acqua.

### **2.2.6 SOSTANZE IN SOSPENSIONE E SEDIMENTABILI**

Le prime vengono determinate per via ponderale filtrando il liquido in un apposito crogiolo che viene quindi essiccato e pesato (Millipore). Parallelamente si esegue sempre la determinazione delle sostanze sedimentabili versando il liquido in un cono di vetro graduato del volume di un litro (cono di Imhoff) e misurando il volume del deposito che si è formato dopo un certo periodo di tempo (generalmente dopo 2 ore).

### **2.2.7 OSSIGENO DISCIOLTO**

Le sostanze organiche sono attaccate dai microbi che la degradano utilizzando l'ossigeno disciolto nelle acque. Quest'ultimo è consumato anche dai prodotti chimici riducenti come solfiti o sali ferrosi, dai fanghi depositati sul fondo (moria delle alghe) e dalla respirazione, durante il buio, delle piante radicate.

Se l'ossigeno disciolto diviene insufficiente, flora e fauna acquatica tendono a scomparire. La solubilità dell'ossigeno in acqua posta in equilibrio con l'aria varia con la pressione barometrica, la temperatura e la concentrazione salina dell'acqua stessa. Di tutti questi dati occorre tener conto al momento del prelievo del campione.

La determinazione dell'ossigeno disciolto si basa sulle proprietà dell'ossigeno di ossidare l'idrato manganoso a manganico: come dice il termine stesso, dà appunto una misura del quantitativo di ossigeno presente nell'acqua, e va effettuata direttamente sul posto al prelievo del campione.

### 3. LEGISLAZIONE SULLE ACQUE REFLUE

Da sempre i corsi e i bacini d'acqua rappresentano una fonte sicura di approvvigionamento per l'uomo. Ma negli ultimi tempi l'inquinamento ha raggiunto livelli non più accettabili ai quali bisognava mettere un freno.

A livello nazionale il primo provvedimento legislativo che si occupa interamente del problema è la legge 319 del maggio 1976, la cosiddetta legge Merli, una legge che affronta il problema da un punto di vista abbastanza generale, stabilisce i compiti dello Stato e degli enti territoriali, quindi fissa i limiti di accettabilità degli scarichi, dove deve essere effettuato il prelievo del campione da analizzare ed infine regola gli aspetti amministrativi, come tariffe e sanzioni. Infatti questa prima legge ha avuto una vita difficile, con rinvii e ritocchi, per cui successivamente ha dovuto essere integrata, dalle leggi 690/76, 650/79, 172/95, 152/99 e 258/2000.

Questa ultima legge disciplina gli scarichi idrici di qualsiasi tipo: sia diretti (con immissione immediata nell'ambiente di ricezione), sia indiretti (l'immissione avviene con varie modalità). Essa però attiene direttamente solo agli scarichi provenienti da insediamenti produttivi, mentre gli scarichi provenienti da insediamenti civili e da pubblici depuratori sono regolamentati da altre norme. Tutti gli scarichi emessi da insediamenti produttivi devono essere autorizzati dai comuni e dalle comunità montane, nonché tenuti sotto controllo dalle USSL.

| SOSTANZA        | VALORE (mg/l) | SOSTANZA             | VALORE (mg/l) |
|-----------------|---------------|----------------------|---------------|
| Ph              | 5.5-9.5       | Solfuri              | 1             |
| BOD             | 40            | Solfiti              | 1             |
| COD             | 160           | Solfati              | 1000          |
| Metalli tossici | 3             | Cloruri              | 1200          |
| Alluminio       | 1             | Fluoruri             | 6             |
| Arsenico        | 0.5           | Fosforo              | 10            |
| Bario           | 20            | Ammoniaca            | 15            |
| Boro            | 2             | Azoto nitroso        | 0.6           |
| Cadmio          | 0.02          | Azoto nitrico        | 20            |
| Cromo III       | 2             | Oli vegetali         | 20            |
| Cromo VI        | 0.2           | Oli minerali         | 5             |
| Ferro           | 2             | Fenoli               | 0.5           |
| Manganese       | 2             | Aldeidi              | 1             |
| Mercurio        | 0.005         | Solventi aromatici   | 0.2           |
| Nichel          | 2             | Solventi azotati     | 0.1           |
| Piombo          | 0.2           | Solventi clorurati   | 1             |
| Rame            | 0.1           | Tensioattivi         | 2             |
| Selenio         | 0.03          | Pesticidi clorici    | 0.05          |
| Stagno          | 10            | Pesticidi fosforici  | 0.1           |
| Zinco           | 0.5           | Coliformi totali     | 20000         |
| Cianuri         | 0.5           | Coliformi fecali     | 12000         |
| Cloro attivo    | 0.2           | Streptococchi fecali | 2000          |

Nell'assetto odierno, cioè con l'entrata dell'Italia in Europa il nostro paese dovrà allinearsi con gli altri stati in fatto di depurazione delle acque. Oltre che al D. L. 258/2000 si dovranno tenere in evidenza, anche alle indicazioni del Draft IPPC.

Nell'ambito delle cartiere, quest'ultima norma suddivide i vari stabilimenti in base alla tipologia produttiva:

- carte naturali
- patinate
- news
- tissue
- cartone

ed in base a questa suddivisione indica i quantitativi medi annuali di inquinanti emessi e i relativi consumi idrici (litri per Kg di carta).

Tra i vari stati europei, il paese più all'avanguardia in questo campo è la Francia, che si è sforzata di proporre una legge il più possibile equa (molto simile all'IPPC), che si pone come obiettivo un vero rispetto dell'ambiente e nello stesso tempo lascia adeguati margini all'industria. Le autorizzazioni allo scarico vengono assegnate sulla scorta di valori di inquinamento ponderale mensili: ogni stabilimento è autorizzato a scaricare mensilmente determinate quantità di inquinante in funzione di cosa e di quanto produce. Occorre notare che giornalmente sono ammessi valori doppi, rispetto a quelli autorizzati, anche in termini di portata. Ovviamente a fine mese il quantitativo di inquinante scaricato non deve superare i limiti prefissati.

Quindi in un prossimo futuro tutte le cartiere dovranno ridurre il consumo di acqua che condurrebbe ad un miglioramento indiscutibile degli effluenti e quindi ad un beneficio per l'ambiente. Tuttavia, nell'ottica della legge italiana, tutt'ora legata prevalentemente alla valutazione degli scarichi in termini di concentrazioni, ciò può "peggiore" la qualità delle acque.

Vi sono infatti due fattori, legati alla chiusura dei cicli, che si contrappongono.

- **FATTORE POSITIVO:** la riduzione del consumo di acqua diminuisce la portata al depuratore. In conseguenza di ciò aumentano i tempi di residenza nelle vasche e, di norma, i rendimenti depurativi.
- **FATTORE NEGATIVO:** semplificando, se il consumo idrico dimezza, la concentrazione degli inquinanti raddoppia.

Il fattore B ha la prevalenza su A: l'aumentato rendimento depurativo non riesce a compensare l'aumento della concentrazione di inquinante nell'acqua in uscita. Infatti

una buona parte delle cartiere estere presentano concentrazioni di COD nelle acque in uscita maggiori di 160 mg/l.

Per questo motivo, se le cartiere italiane adegueranno i propri scarichi alle normative europee si troveranno spiazzate nei riguardi della attuale normativa italiana (anche se oggi si tende, nel nostro paese, a diluire gli scarichi; utilizzando più acqua del necessario).

## **4 VANTAGGI E SVANTAGGI DEI CICLI D'ACQUA CHIUSI**

Come già esposto in precedenza nell' industria cartaria europea il consumo specifico di acqua è sceso durante gli ultimi tre decenni di più del 70%, ma ulteriori riduzioni stanno per essere richieste per ragioni economiche, legislative ed ecologiche. I cicli d'acqua chiusi hanno alcuni significativi vantaggi:

### **SVANTAGGI DELLA CHIUSURA DELLE ACQUE**

#### **-ACCUMULO DI SOSTANZE DANNOSE**

- qualità della carta
- macchinabilità

#### **-PIU' ELEVATO CONTENUTO DI SALE**

- corrosione

#### **-PIU' ELEVATA TEMPERATURA**

- piu' sostanze solubili
- crescita di microrganismi

## **VANTAGGI DELLA CHIUSURA DELLE ACQUE**

### **-TECNICI**

- +impianto per il trattamento dell'acqua più piccolo
- +ridotto volume dell'acqua di processo

### **-ECONOMICI**

- +minori costi per l'acqua
- +minor perdita di fibre e cariche
- +minori costi per il trattamento dell'acqua

### **-AMBIENTALI**

- +risparmio di energia
- +risparmio d'acqua
- +minori emissioni

I vantaggi tecnici includono il ridotto volume di acqua di processo, ed un aumento della disidratazione dovuto ad una elevata temperatura del circuito. I principali benefici economici sono rappresentati da una riduzione dei costi per l'acqua dolce pura e per l'acqua di scarico, meno perdite di fibre e cariche e inferiori richieste per quanto concerne la capacità ed i costi operativi dell'impianto di trattamento dell'effluente. Per di più inferiori costi energetici, minor consumo di acqua pura e minor produzione di acque di rifiuto costituiscono i principali vantaggi ecologici.

Comunque, i cicli d'acqua chiusi hanno alcuni seri svantaggi. L'attività delle sostanze interferenti ha un'enorme impatto sulla qualità della carta (stickies) e la macchinabilità delle continue. Vengono prodotte più elevate concentrazioni di sale, che possono causare corrosione. L'aumentata temperatura conduce ad una maggiore quantità di sostanze solubili e colloidali. I microrganismi hanno un ambiente ottimale, nel quale crescere e provocare degradazione.

Quindi, per mantenere un ciclo il più possibile chiuso, sempre garantendo un'elevata efficienza produttiva in termini di qualità, occorre tenere sotto controllo le materie prime, i fogliacci (contaminati da sostanze provenienti dalle precedenti produzioni della carta o da processi di trasformazione della stessa); ma soprattutto si deve fare un uso ottimale dei prodotti chimici di processo. Sempre ricordando che per passare da una produzione "normale" a una produzione a ciclo chiuso occorrono impianti per la pulizia e la filtrazione dell'acqua di recupero (es: celle a microflottazione....); tenendo presente anche che il numero delle cartiere con ciclo chiuso totalmente privo di effluente è in generale piccolo.

## 5. BOD-COD

Poiché in molti casi l'inquinamento è dato appunto dalla mancanza di ossigeno disciolto, risulta evidente l'interesse di conoscere quanto ossigeno occorre fornire all'acqua per riportarla ad un primitivo stato di purezza; in altre parole quanto ossigeno sia richiesto dalle sostanze riducenti inorganiche ed organiche contenute nell'acqua per essere ossidate. Le sostanze inorganiche si ossidano in modo abbastanza rapido mentre le organiche si ossidano in modo più lento. Vi sono pertanto 3 determinazioni base complementari fra di loro che possono servire a tale scopo. La prima e la più nota è la misura del BOD, vale a dire la domanda di ossigeno biochimico, che determina la quantità di ossigeno richiesta per la degradazione biologica delle sole sostanze organiche in condizioni aerobiche. Come è noto, la determinazione del BOD è una delle più richieste per la determinazione del grado di inquinamento delle acque; consiste essenzialmente nella misurazione dell'ossigeno disciolto in un campione di acqua in esame che si lascia incubare per 5 giorni a 20 gradi, in confronto con la misurazione effettuata all'atto del prelievo del campione.

Poiché però la determinazione del BOD può essere affetta da vari inconvenienti che ne falsano il valore, si è rilevata la necessità di affiancare una determinazione data da un'ossidazione realizzata a mezzo di reagenti inorganici molto più energici e che dia una misura appunto della quantità di ossigeno necessario ad un'ossidazione completa. Ci si avvale in sostanza del metodo al permanganato secondo Kübel, eseguito però a freddo con 2 determinazioni, una dopo 3 minuti ed una dopo 4 ore: il primo saggio misura la richiesta di ossigeno da parte delle sostanze riducenti inorganiche e di quella parte di sostanze inorganiche facilmente ossidabili; il dosaggio a 4 ore misura invece l'ossigeno totale richiesto da tutte le sostanze organiche ed inorganiche. Il rapporto fra la determinazione a 4 ore e quella a 3 minuti è già un indice del particolare tipo di inquinamento: un rapporto alto (da 4 a 10) indica la presenza di sostanze organiche vegetali, mentre un rapporto basso (inferiore a 2) è caratteristico di certi scarichi industriali, ad esempio le fognature urbane danno normalmente un rapporto di circa 3. E' importante inoltre la relazione tra BOD e l'indice di permanganato a 4 ore: mentre quest'ultimo indica la quantità effettiva di sostanze organiche da trattare, il BOD esprime la facilità con cui ha luogo l'ossidazione biologica.

Quindi se il rapporto BOD/permanganato è superiore a 3 si dovrà pensare ad un trattamento di depurazione di tipo biologico, mentre se il rapporto è inferiore a 3 si dovrà pensare ad una depurazione a carattere chimico. Un perfezionamento del metodo al

permanganato, che mira ad eliminare ulteriori possibilità di interferenze date dalle sostanze contenute in un'acqua di scarico, è il test chiamato COD, ossia la domanda di ossigeno chimico, che si basa sull'ossidazione con bicromato di N ( $K_2Cr_2O_7$ ) in una soluzione di  $H_2SO_4$ : il COD ha il vantaggio di essere perfettamente riproducibile, e fornisce la misura esatta dell'ossigeno necessario per ossidare tutta la sostanza organica ed inorganica presente nell'acqua. Il rapporto BOD/COD è pure interessante, sempre ai fini di un possibile trattamento; per valori di circa 0,6 si ha una buona trattabilità, che si riduce per valori di circa 0,4; per 0,2 lo scarico è trattabile solo dopo acclimatazione dei batteri. Se il rapporto è 0, lo scarico non è trattabile e non permette l'acclimatazione batterica.

Si può anche verificare il caso che il BOD sia superiore al COD: questo significa che sono presenti sostanze ossidabili solo da microrganismi aerobi e non dal permanganato. Tipico è il caso degli scarichi degli allevamenti animali. Occorre notare che soprattutto all'estero si tende a dare un maggiore valore alla determinazione del COD come misura dell'inquinamento rispetto a quella del BOD.

A completamento di queste notizie citiamo un testo molto interessante (che si è diffuso agli inizi soprattutto negli USA) denominato TOC, ossia "Total Organic Carbon". Questa determinazione si basa sulla misura dell'anidride carbonica che si sviluppa durante la combustione delle sostanze organiche contenute in un campione di acqua e sembra superare, come attendibilità, sia il BOD che il COD in quanto esente da tutte le interferenze che interessano queste due analisi; l'unico inconveniente consiste nel fatto che l'apparecchiatura richiesta è molto costosa.

## **5.1 COD (DOMANDA CHIMICA DI OSSIGENO)**

Il metodo prevede l'ossidazione delle sostanze organiche, presenti in un campione d'acqua, mediante una soluzione di dicromato di potassio in presenza di acido solforico concentrato e di solfato di argento, come catalizzatore dell'ossidazione. L'eccesso di dicromato viene titolato con una soluzione di solfato di ammonio e ferro. La concentrazione delle sostanze organiche ossidabili, nelle condizioni del metodo, è proporzionale alla quantità di dicromato di potassio consumato. Lo ione cloruro è considerato un interferente poiché la sua ossidazione può avvenire solo nelle condizioni del metodo utilizzato per il COD e non in quelle presenti nelle acque naturali. Con questo metodo possono venir dosate sostanze organiche che non hanno una richiesta biochimica di ossigeno (BOD) come la cellulosa, mentre al contrario sostanze particolarmente sta-

bili all'ossidazione chimica e degradabili biochimicamente possono non essere rilevate (queste al contrario vengono rilevate con il BOD).

Per eliminare le interferenze delle sostanze inorganiche (nitriti, solfiti, cloruri) si possono utilizzare due metodi: il primo consiste nel determinare queste sostanze e tenerne conto nel calcolo finale.

ESEMPIO: COD = 89mg/l; nitriti NO=2mg/l

Avremo:



$$46:8 = 2:X \quad X = 0,35\text{MG/L ossigeno}$$

che dovremo detrarre dal valore di COD, per cui il valore finale sarebbe:

$$89 - 0,35 = 88,65 \text{ cioè trascurabile}$$

Il secondo, il più utilizzato, consiste nell'eliminare solamente l'interferenza dei cloruri, che sono presenti in sensibile quantità nelle acque e trascurare il contributo delle altre specie, contenute in quantità relativamente modeste e che quindi influiscono in maniera trascurabile sul risultato finale.

## **5.2 BOD**

### **(DOMANDA BIOCHIMICA DI OSSIGENO DOPO 5 GIORNI)**

Esprime la richiesta biochimica di ossigeno disciolte in un campione (il campione + una quantità nota di acqua ossigenata), posto ad incubare per 5 giorni a 20 gradi centigradi ed è dovuta all'azione dei microrganismi presenti. Questo dato è un indice indiretto della concentrazione di sostanza biodegradabile presente, poiché esso rappresenta circa i 2/3 del totale presente nel campione.

Per effettuare queste analisi occorre:

1. presenza nel campione di alta popolazione di batteri acclimatati
2. assenza di prodotti tossici ai microrganismi
3. ambienti neutro ed aerobio (cioè pH circa 7 e presenza di ossigeno)

Queste limitazioni fanno sì che questo tipo di analisi sia poco utilizzato, anche se è prevista dalla normativa, per i tempi impiegati (5 giorni) e per le limitazioni di cui sopra.

Attualmente si preferisce l'analisi del COD ed eventualmente affiancare a questa quella del TOC.

## 5.3 TOC

Rappresenta la misura del carbonio organico totale che si determina per combustione del campione in presenza di un catalizzatore e rilevazione della anidride carbonica prodotta. Le sostanze inorganiche e quelle azotate non vengono ossidate, poiché vengono preventivamente rimosse con un trattamento chimico.

### **Misura del TOC in linea:**

Il metodo si basa sull'ossidazione chimica con persolfato ed ossigeno a bassa temperatura favorita da radiazioni UV. La  $\text{CO}_2$  generata dall'ossidazione viene misurata da un analizzatore I.R. ed il segnale analogico ottenuto viene trasformato in un segnale numerico.

## 6. LE ACQUE DI SCARICO IN CARTIERA

Le acque di scarico dell'industria cartaria, sono caratterizzate dalla presenza di inquinanti in varie forme:

- sostanze sedimentabili
- sostanze colloidali
- sostanze disciolte

Le sostanze sedimentabili sono costituite da fibre, cariche minerali (caolino, talco, solfato) e poiché sono più pesanti dell'acqua, tendono a precipitare sul fondo del sedimentatore.

Le sostanze colloidali comprendono quella parte di solidi sospesi che non sedimentano, se non in tempi estremamente lunghi (da qualche ora a qualche anno) e sono filtrabili su membrana con porosità di 0,22-0,45 micron. Sono caratterizzate da cariche elettriche negative, per cui si respingono reciprocamente e pertanto è impossibile la loro separazione dall'acqua, se non con l'ausilio di particolari reagenti coagulanti (allume).

Le sostanze disciolte sono normalmente sali inorganici come i cloruri, i solfati, il calcio, ecc. che non possono essere definiti come carico inquinante, essendo presenti nelle acque come sali.

**NB:** ricordiamo che gli inquinanti di tipo organico (in cartiera) sono tra i più pericolosi (es. amido disciolto) poiché un periodo di ossidazione molto lento e innalzano vertiginosamente il livello di BOD/COD

## **7. DESTABILIZZAZIONE PATINE**

Il processo di destabilizzazione patine ha lo scopo di separare in una patina la fase solida da quella liquida con la finalità di recuperare in macchina continua, come filler in massa, la parte solida costituita prevalentemente da pigmento (carbonato di calcio, caolino e leganti) e di inviare verso il depuratore la parte liquida, quanto più possibile sgravata da agenti inquinanti quali risultano essere i costituenti della patine.

### **7.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DESTABILIZZAZIONE PATINE NELLO STABILIMENTO DI “ARCO”**

Il fenomeno di separazione liquido/solido, impropriamente detto anche destabilizzazione della patina, avviene grazie al dosaggio di un opportuna sostanza, di natura prevalentemente organica e struttura polimerica, che va a neutralizzare il disperdente della patina, favorendo questo processo.

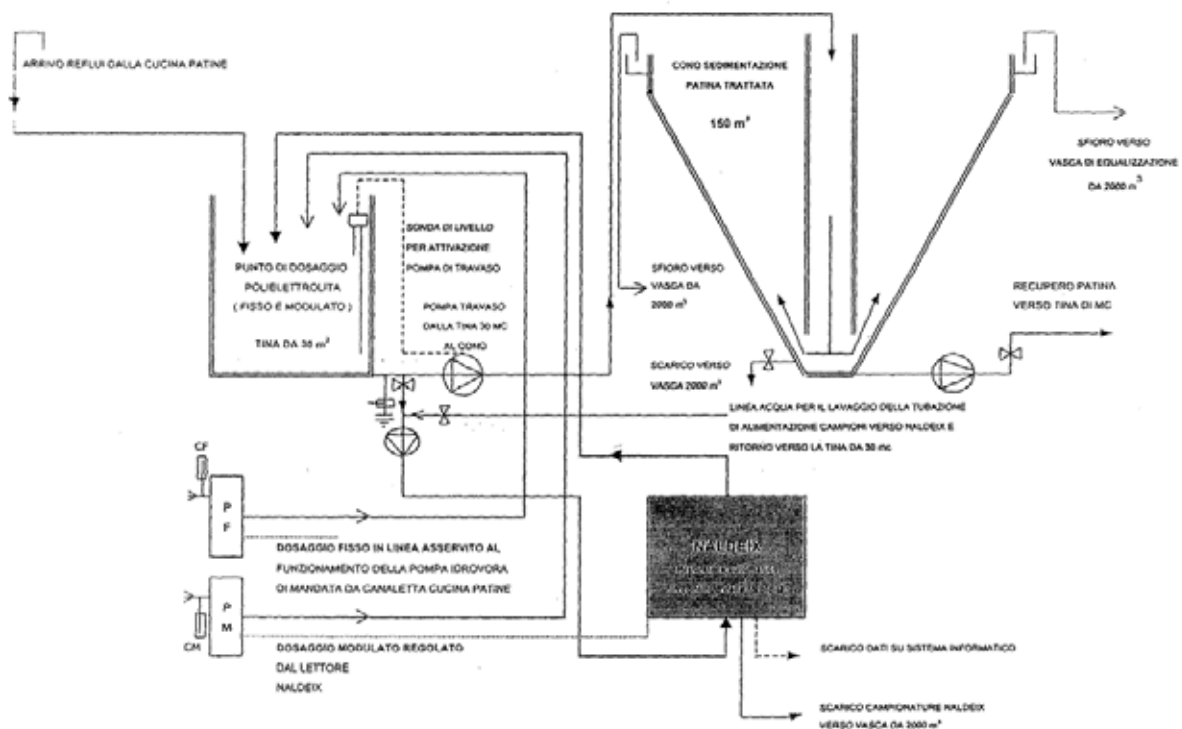
L'erogazione proporzionata di questo prodotto avviene tramite un sistema di controllo in continuo, che si basa sulla verifica del livello di torbidità della patina in arrivo alla tina, proveniente dalla canaletta di raccolta dei reflui della cucina patine, delle patinatrici e della Size Press. Il principio fisico di analisi si basa sulla misura della propagazione dell'energia luminosa attraverso il campione tramite due fibre ottiche contrapposte coassialmente.

L'intero processo di campionatura, controllo, dosaggio del polimero, scarico campione e pulizia può essere così descritto:

1. Una pompa preleva, in tempi prestabiliti ed a frequenza costante un campione dal fondo della tina e lo invia ad un cilindro di pexiglass trasparente, contenente le sonde di misura. Qui il campione viene lasciato riposare per 360 secondi, cioè la durata del singolo check, perchè avvenga il fenomeno di decantazione della patina sul fondo del cilindro di misura (se tutto va bene).
2. Sul display dell'impianto si vedrà la valorizzazione della misura di torbidità che, nel caso il processo sia regolare, tenderà a dare valori numerici sempre più alti; infatti, su questo strumento quando più il valore di torbidità risulterà

alto e tanto più efficace sarà la “destabilizzazione” in quanto le sonde vedranno una soluzione sempre più chiarita.

3. Terminata la misura, il campione viene scaricato in automatico; se il valore di torbidità risulta al di sotto del set point stabilito come soglia di accettabilità il dosaggio è proporzionale al livello di torbidità registrata. Detto in parole più semplici il dosaggio è completamente regolato dallo strumento di misura, indipendentemente dai livelli di impostazione scelti sui pomelli di regolazione; quindi a un livello di torbidità troppo basso aumenterà il dosaggio di prodotto destabilizzante.



*Schema generale destabilizzazione patina*

## 8. METODI DI TRATTAMENTO ACQUE REFLUE

Gli impianti di trattamento delle acque di scarico industriali si rifanno, entro grandi linee, agli schemi degli impianti di trattamento delle acque di scarico civili (domestiche): questi impianti infatti sono ormai collaudati da anni e consentono una notevole riduzione del BOD ed il miglioramento in genere delle caratteristiche batteriologiche. Il trattamento degli scarichi civili segue uno schema praticamente fisso, invece il trattamento degli scarichi industriali si può discostare in quanto richiede processi specifici in dipendenza del tipo di industria di origine, processi volti ad esempio alla eliminazione di particolari composti chimici o prodotti nocivi contenuti, come pure anche al recupero di sostanze di un certo valore. Bisogna premettere che da un punto di vista tecnico i processi di trattamento di cui oggi disponiamo possono depurare qualsiasi scarico fino ad ottenere acqua praticamente pura. Nella terminologia comune del trattamento degli scarichi civili, si parla di tre stadi, stadio primario, secondario, terziario. Estendendo questa terminologia agli scarichi industriali, si può senz'altro tenere fisso e comune il secondo stadio che è solitamente realizzato con mezzi biologici basati sull'opera dei microrganismi aerobi: tale stadio infatti serve ad eliminare le sostanze organiche che consumano ossigeno. Il primo stadio o trattamento primario è invece la fase che consente all'acqua di scarico di poter essere inviata al trattamento secondario: nel caso di scarichi civili il primo stadio ha lo scopo di eliminare soprattutto le sostanze sospese e viene effettuato unicamente con mezzi meccanici (grigliatura, dissabbatura, eliminazione degli olii, sedimentazione primaria, ecc.). Per gli scarichi industriali, accanto a questi trattamenti meccanici, si può invece verificare la necessità di altri trattamenti in modo da eliminare le sostanze nocive al successivo trattamento secondario biologico: in questo caso intervengono processi chimico-fisici quali la coagulazione chimica seguita da sedimentazione, l'adsorbimento, il passaggio su resine a scambio ionico, ecc.

Il terzo stadio o trattamento terziario, è richiesto di necessità nelle acque di scarico civile soprattutto per la eliminazione dell'azoto e del fosforo ed è in questa fase che si adottano ancora processi chimico-fisici quali la coagulazione, l'adsorbimento e la sterilizzazione. Nel trattamento degli scarichi industriali il terzo stadio è molte volte o-messo in quanto già il secondo stadio permette di arrivare ai requisiti standards fissati per l'immissione in fognatura o in acque di superficie. Si può dire a grandi linee che in genere nel trattamento primario si può avere una riduzione del BOD anche del 45%

rispetto al valore iniziale. Occorre tener presente che, soprattutto nel trattamento primario e secondario, si formano notevoli quantità di fanghi sia pure di natura differente che debbono venire eliminate senza pericolo di ulteriore inquinamento. Pertanto questi fanghi anzitutto debbono essere resi inoffensivi ed il metodo migliore consiste nella digestione anaerobica che trasforma i fanghi stessi in sostanze non più inquinanti. Altri trattamenti prevedono l'ispessimento, l'essiccazione e la successiva combustione dei fanghi stessi.

## 9. DESCRIZIONE PROCESSI

Solitamente le acque di scarico di una cartiera vengono convogliate all'impianto di depurazione dove avvengono le seguenti operazioni:

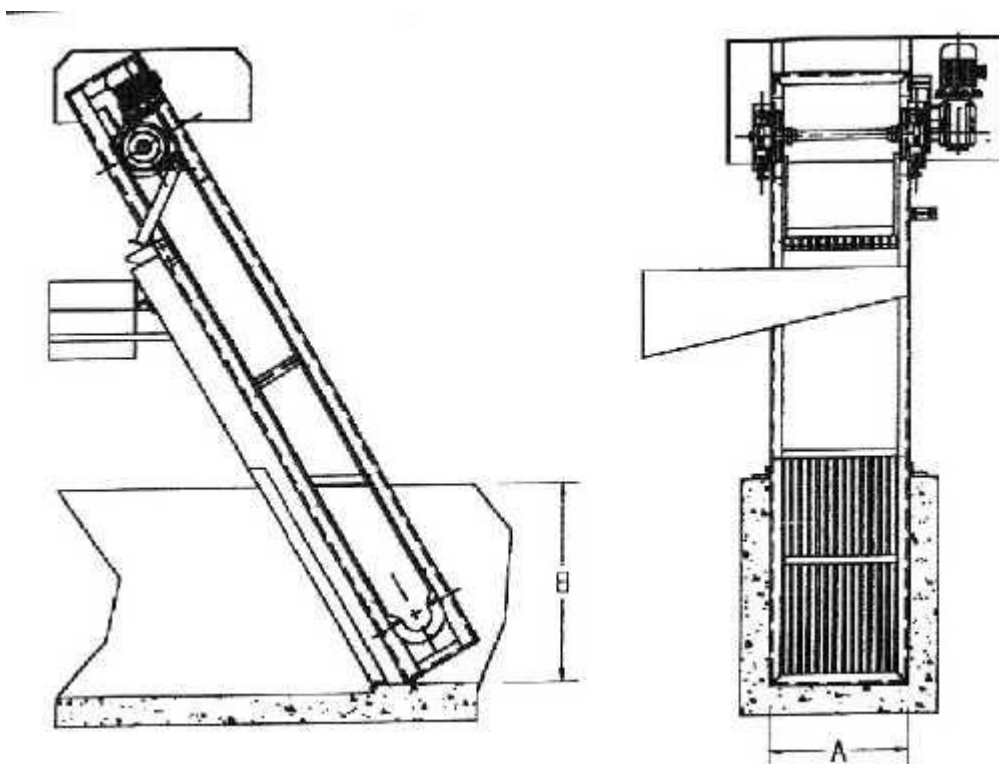
1. grigliatura per separare i solidi sospesi grossolani dalle acque;
2. equalizzazione ed omogeneizzazione per garantire la portata e un grado di inquinamento il più omogeneo possibile;
3. flottazione per separare i solidi sospesi più fini e le sostanze colloidali presenti;
4. ossidazione biologica a fanghi attivi per ossidare le sostanze organiche disciolte in prodotti a basso peso molecolare;
5. sedimentazione-separazione del fango attivo e scarico dell'acqua depurata.

### 9.1 GRIGLIATURA

La griglia consiste di una parte fissa, costituita da una serie di sbarre metalliche (o maglie, o piatti forati), e da una parte mobile costituita da un rastrello. L'operazione di grigliatura viene eseguita allo scopo di trattenere le sostanze sospese grossolane onde evitare di intasare valvole, pompe, tubazioni, ecc. La pulizia della griglia è automatizzata grazie all'utilizzo di un rastrello dentato che girando va a eliminare i solidi grossolani come carta, pezzi di legno, ecc. Il materiale così recuperato può essere raccolto in appositi contenitori, oppure triturato e rimesso in circolo, onde ridurre al minimo le operazioni di eliminazione dei residui grossolani (non è questo il caso delle cartiere).



*Due tipi di griglie*



*Apparecchio grigliante a pettini pulitori*

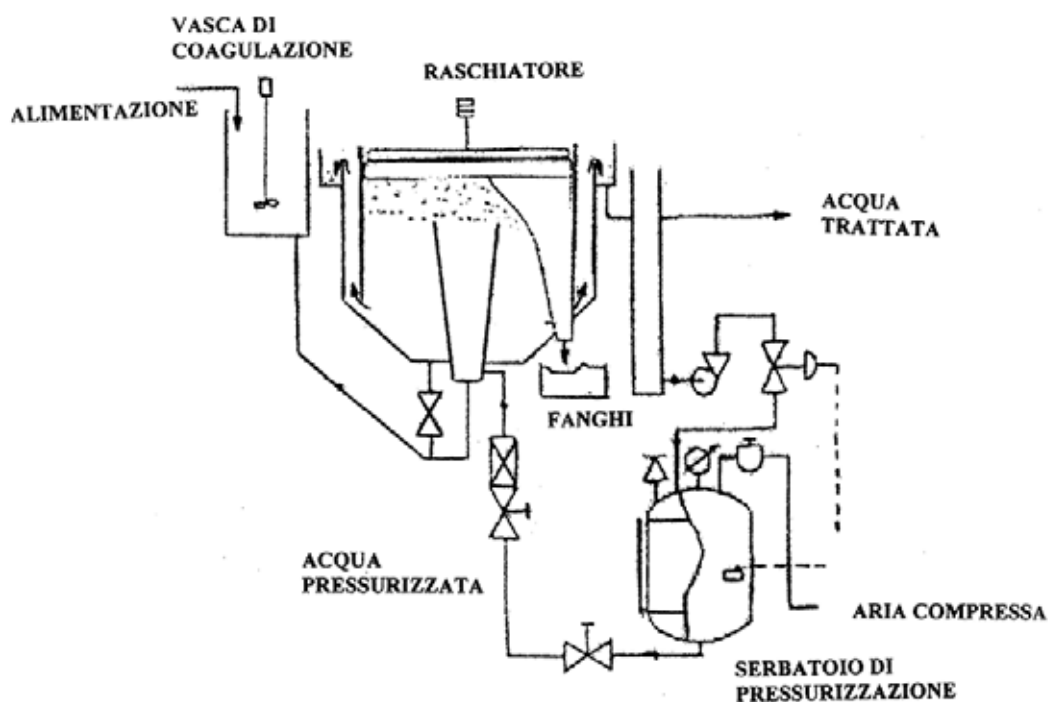
## 9.2 EQUALIZZAZIONE ED OMOGENEIZZAZIONE

Le acque che provengono dalla cartiera spesso non si presentano con la stessa portata e lo stesso grado di inquinamento. Quindi per garantire un rendimento continuo dell'impianto in generale, ma soprattutto delle vasche di ossidazione che risentono molto di questi sbalzi, si impiegano gli equalizzatori che non sono altro che delle grandi vasche di contenimento perennemente agitate onde garantire che gli inquinanti presenti sedimentino. In questo modo, in entrata delle fasi successive, avrò una portata continua e con un grado di inquinamento il più omogeneo possibile.

**NB:** in gran parte degli impianti esistenti questo tipo di vasca è installato anche prima delle vasche di ossidazione.

## 9.3 FLOTTAZIONE

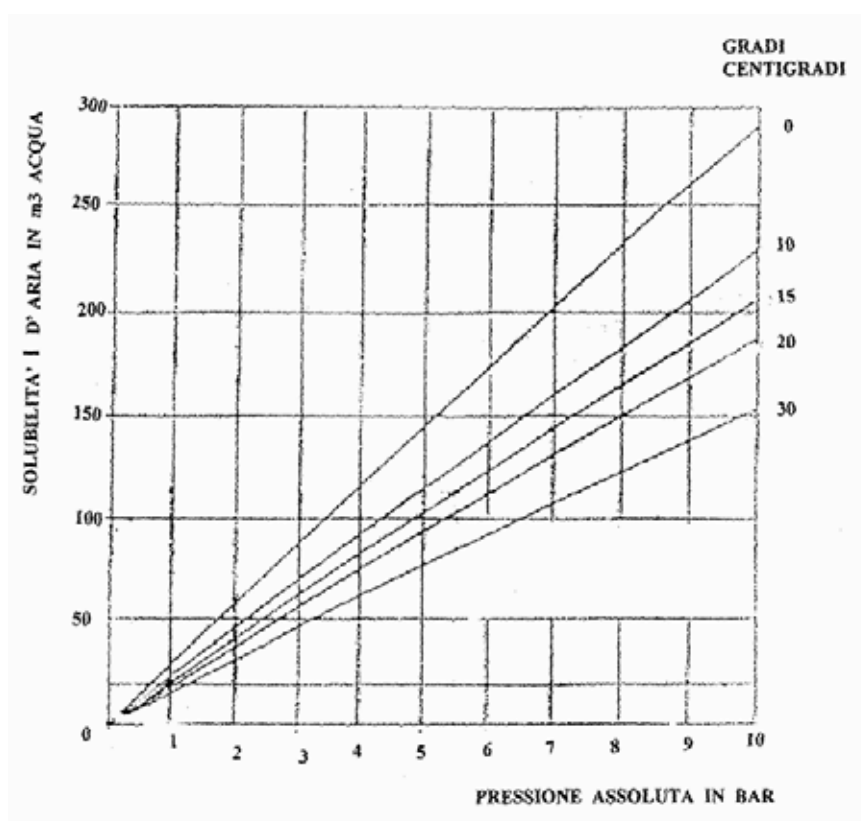
La flottazione è l'operazione mediante la quale le sostanze sospese vengono separate dall'acqua attraverso il loro galleggiamento mediante insufflazione di aria.



*Schema di processo di flottazione*

L'immissione d'aria viene effettuata con il sistema di sovrappressione o depressurizzazione. Questo perché per compensare la differenza di densità e per aumentare la velocità ascensionale, le bollicine d'aria devono venire a contatto con le particelle da eliminare (fibre, solidi sospesi sotto forma di fiocchi, ecc.) e restarvi aderite con sufficiente stabilità. In molti casi occorre aggiungere flocculanti, poichè la flottazione delle sostanze contenute nelle acque di scarico è facilitata dalla coagulazione chimica e dall'assorbimento delle sostanze contenute nelle acque di scarico, rendendo necessario l'utilizzo di piccolissime bollicine d'aria ( $<0,1$  fino a 2 mm di diametro). Se vengono utilizzate bolle d'aria più grosse, avviene che senza l'impiego di costosi prodotti chimici flocculanti non si ottiene una sufficiente aderenza. Il grado di separazione è basso ed i fanghi galleggianti che si formano non hanno sufficiente resistenza alle sollecitazioni dovute all'operazione di schiumatura.

Il fabbisogno d'aria dipende anche dal contenuto di sostanze solide da separare e dalla finezza delle bolle. Secondo la legge di Henry, la solubilità dell'aria nell'acqua aumenta proporzionalmente con la pressione. Se la pressione viene ridotta, si libera una corrispondente quota di aria disciolta sotto forma di finissime bollicine d'aria.



*Solubilità massima di aria in acqua*

Per produrre le bollicine d'aria necessarie per la flottazione e metterle a contatto con le sostanze contenute nell'acqua, si possono seguire tre metodi:

- processo a pieno flusso
- processo a flusso parziale
- processo con riciclo pressurizzato

Nella flottazione secondo i punti 1 e 2, l'alimentazione o parte di essa viene saturata con aria, invece secondo il punto 3 una parte dello scarico dell'impianto viene messa in ricircolo (circolo) e miscelata con l'alimentazione. Di norma, nella costruzione di impianti SEPAFLOT viene utilizzato, per motivi fisici e tecnici, il processo di ricircolo pressurizzato e vengono rispettati i seguenti limiti: pressione d'esercizio 3,5 – 5 bar.

Quando l'acqua saturata d'aria, passa dal serbatoio pressurizzato alla vasca, si determina un brusco abbassamento della pressione e quindi si crea il rilascio dell'aria contenuta in minuscole bollicine.

Le bollicine d'aria portano in superficie le sostanze sospese nell'acqua, formando uno strato denso che viene rimosso attraverso una lama superficiale che lo fa cadere attraverso apposite tasche in un serbatoio di raccolta. Per favorire e migliorare la flottazione si ricorre all'ausilio di reagenti chimici.

Un primo trattamento è costituito dalla neutralizzazione e dalla precipitazione chimica per rimuovere vari tipi di contaminanti. Nel caso si ricorre ad una neutralizzazione con anidride carbonica o acido, per abbassare il pH da 9,5 a circa 7,5 e quindi alla coagulazione chimica con solfato di alluminio. Questo produce l'agglomerazione delle particelle determinando una struttura che intrappola più facilmente le bolle d'aria. Allo stesso tempo si aggiunge un polielettrolita anionico che modifica le condizioni dell'interfaccia solido/liquido e solido/gas, rendendo più facile l'adesione delle bolle d'aria alle particelle solide.

I flottatori circolari sono dotati di un raschiatore a due o tre braccia, al quale sono fissati sia gli scudi di schiumatura che gli scudi per il fango di fondo. Per eliminare le sostanze galleggianti servono da due a quattro tasche di flottazione. L'acqua da trattare giunge, attraverso una tubazione, ad un cilindro centrale di miscelazione e distribuzione. Una parte dello scarico dell'impianto viene miscelata sotto pressione con aria ed alimentata nel cilindro di miscelazione, attraverso il serbatoio di saturazione ed una valvola di depressurizzazione.

Qui si stabilisce uno stretto contatto tra le sostanze da eliminare e le bollicine d'aria che si liberano, in modo da formare uno strato galleggiante stabile sulla superficie del bacino. La parte di sostanze sospese pesanti, che non flottano, vengono raccolte da un

raschiatore che gira sul fondo del flottatore e le convoglia in una canaletta collegata ad una pompa di spurgo. Il materiale raccolto viene inviato all'ingresso del flottatore oppure nella tina dei fanghi.

L'acqua depurata viene scaricata per stramazzo in un anello circolare posto sopra il flottatore ed inviata alla vasca di ossidazione.

**NB:** questo è un impianto particolare, che non va confuso con un altro processo molto utilizzato. Infatti esistono impianti a **sedimentazione/flottazione**: processo che sfrutta quasi tutti i principi della flottazione ma che tende anche a far depositare sul fondo la maggior parte degli inquinanti, con l'utilizzo massiccio di prodotti coagulanti e flocculanti. Cioè prodotti chimici che prima annullino le repulsioni tra le varie particelle disperse in modo che si possano unire in piccoli fiocchi sedimentabili (coagulante). Poi un prodotto più energetico che permette, mediante adsorbimento sulla propria superficie, la formazione di fiocchi di dimensione e peso molto elevati che sedimentano molto più velocemente e facilmente (flocculante). La raschia che lavora sul fondo deve mantenere una rotazione molto lenta per favorire l'aggregazione dei fiocchi.

## 9.4 OSSIDAZIONE A FANGHI ATTIVI

Questo trattamento ha lo scopo di eliminare le sostanze organiche che consumano ossigeno (il BOD) ed è logico che il sistema adottato sia di tipo biologico. Infatti questo metodo riproduce il sistema di autodepurazione che avviene in natura, ma in condizioni artificiali. La degradazione della sostanza organica avviene grazie all'azione di microrganismi che in condizioni aerobiche o anaerobiche utilizzano parte del substrato organico per il loro accrescimento e la loro riproduzione. Questa reazione permette la trasformazione di parte delle sostanze organiche in fango attivo.

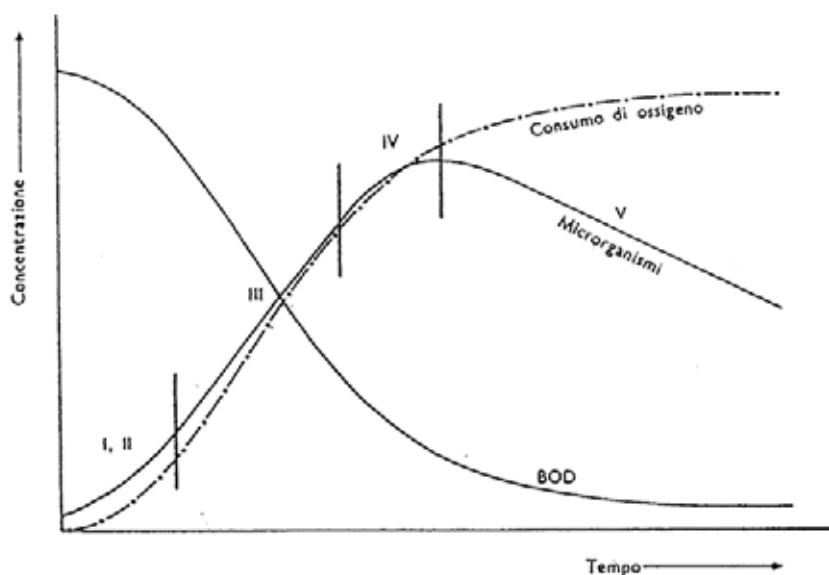
La maggior parte degli organismi dei sistemi biologici non è visibile ad occhio nudo e sono rappresentati da:

- alghe
- protozoi
- funghi
- lieviti
- batteri
- virus

Tra i vari organismi elencati quelli più importanti sono i batteri. Poiché la loro riproduzione è molto veloce; ( si riproducono per scissione ogni 30 minuti), cioè la cellula madre si divide in due cellule identiche; avremo che dopo una generazione vi saranno 2 cellule, dopo due generazioni vi saranno 4 cellule, dopo 4 generazioni vi saranno 8 cellule, ecc., cioè si avrà un aumento di tipo esponenziale.

Logicamente con l'aumentare dei batteri c'è una diminuzione del BOD poiché i batteri presenti cominciano a eliminare le sostanze organiche presenti.

L'ecosistema formato da questi organismi si fonda sulla competizione per il cibo: la crescita dei batteri è limitata dalla quantità e dalla qualità di nutrienti nelle acque provenienti dal sedimentatore, mentre la crescita dei predatori è limitata dalla quantità di batteri. Si creano così successioni e oscillazioni nelle popolazioni di microrganismi, finché l'equilibrio non si stabilizza. La crescita della biomassa, caratterizzata da queste oscillazioni nelle popolazioni, ha un andamento come già detto esponenziale:



nel quale si evidenziano le quattro fasi seguenti:

1. INDUZIONE (fase di latenza): qui la velocità di crescita batterica è quasi zero. Quando questa fase è presente (cosa che non sempre avviene) essa può essere dovuta a due motivi:
  - inoculo proveniente da fango stabilizzato; le cui cellule batteriche impiegano del tempo prima di ritornare nelle condizioni operative ottimali, che permettono loro di ricominciare a sintetizzare materiale organico;
  - quando l' inoculo proviene da fango attivo da altro impianto, contenente una fonte di carbonio un po' differente. In questo caso le cellule

batteriche non sono preparate a produrre gli enzimi richiesti per l' utilizzo delle nuove sostanze chimiche.

2. CRESCITA ESPONENZIALE: essa inizia quando la maggioranza della specie batteriche presenti è in condizioni ottimali per la sintesi del substrato. In una coltura a batch il substrato nutritivo si esaurisce e nello stesso tempo l' ambiente si carica di metabolici tossici. Per queste due ragioni, essenzialmente, la fase esponenziale di crescita termina ed interviene la 3 fase detta stazionaria.
3. CRESCITA LIMITATA (stazionaria): è un fenomeno puramente statico poiché è il risultato della crescita di alcuni individui e della morte di altri.
4. AUTOOSSIDAZIONE (fase letale, i batteri muoiono per mancanza di cibo): nella quale la biomassa attiva si riduce. La morte di una cellula batterica può essere più o meno seguita da lisi ( disgregazione cellulare). Nel caso in cui la lisi non segua la morte si ha una costanza della massa cellulare sebbene la maggior parte della popolazione non sia vitale. Quando c'è lisi la massa cellulare diminuisce proporzionalmente al numero di cellule vive e si instaura quel processo denominato ossidazione totale.

Se l'eccesso di biomassa (fango attivo) viene regolarmente asportato e si somministrano ai microrganismi sostanze nutrienti e ossigeno (quest'ultimo per i microrganismi aerobi), si può mantenere il sistema in condizioni di crescita esponenziale, ottenendo un sistema che lavora in continuo.

Per comprendere meglio il fenomeno della depurazione biologica, bisogna considerare la morfologia batterica e l' evoluzione delle reazioni biochimiche che avvengono. Ogni cellula è rivestita da una membrana, che racchiude l'insieme nucleo-citoplasma, la membrana stessa a sua volta è ricoperta di uno strato mucillaginoso. Quando una cellula si divide, le due nuove cellule continuano ad aderire tra loro ed è grazie a questa mucillagine che si formano degli aggregati batterici sempre più grandi fino a formare fiocchi di fango che raggiungono un certo spessore. A questo punto lo strato mucillaginoso è al massimo della propria espansione volumetrica e ciononostante non è detto che la sedimentabilità del fiocco ne tragga vantaggio (densità non abbastanza alta); inoltre se i fiocchi sono troppo estesi l'ossigeno e i nutrimenti faticano a raggiungere i batteri al centro del fiocco.

Però nella fase di rallentamento di crescita che precede la fase stazionaria e, più avanti, quella di letalità, a causa dell' esaurirsi della sostanza biodegradabile (nutrimento), i microrganismi cominciano a nutrirsi del polisaccaride che costituisce lo strato mucillaginoso che ricopre le cellule. Quando lo strato è sufficientemente ridotto ed i microrganismi risultano più strettamente associati, allora si ha la migliore sedimentabilità dei fiocchi; cioè si separano dall' acqua più facilmente.

#### **9.4.1 COMPETIZIONE E CATENE ALIMENTARI:**

Per prima cosa facciamo un elenco dei principali microrganismi presenti nel fango attivo di un impianto di depurazione, completando la lista fatta in precedenza:

Possiamo distinguere:

1. **BATTERI:** delle dimensioni da 0,1 a qualche micron. All' interno di un impianto essi si dividono principalmente in:
  - Autotrofi: utilizzano anidride carbonica e composti inorganici ( cittiamo, per esempio, i nitrosobatteri e i nitrobatteri, responsabili della trasformazione dell' ammoniaca in nitrati).
  - Eterotrofi: si cibano di sostanza organica non vivente e organismi morti.
2. **PROTOZOI:** delle dimensioni da qualche micron a 100 micron circa. Essi comprendono 3 classi in base al loro sistema di locomozione:
  - flagellati
  - ciliati
  - sarcondini
3. **METAZOI:** sono organismi pluricellulari le cui dimensioni variano da 200 a 500 micron; nei fanghi attivi si ritrovano con maggior frequenza:
  1. rotiferi
  2. nematodi: le cui dimensioni arrivano a circa 1000 micron.
4. **FUNGHI E ALGHE**

I batteri e alcuni protozoi ciliati sono i principali artefici della depurazione biologica in quanto assimilano direttamente la sostanza organica presente nelle acque di scarico. Insieme, nonostante le dimensioni ridotte rispetto alle altre specie di microrganismi, costituiscono la parte preponderante della biomassa e soprattutto gli elementi fondamentali per la depurazione biologica. Dal punto di vista nutritivo vi sono gruppi di batteri che si nutrono di sostanza organica; altri gruppi si nutrono dei prodotti metabolici semplificati dal primo gruppo o di cellule morte. Da ciò deriva che una carenza del substrato organico ( nutrimento) provoca la morte del primo gruppo di batteri. Il successivo rilascio cellulare favorisce la proliferazione di un secondo gruppo. Accanto ai batteri con egual importanza troviamo i flagellati, sarcondini e ciliati come pure vari piccoli metazoi, nematodi e rotiferi; quelli che hanno attirato la maggior attenzione sono stati i protozoi ciliati. Questi sono molto numerosi in tutti i tipi di fango biologico e si cibano dei batteri dispersi, a favore di quelli inglobati nel fango, chiarificando così gli effluenti ed abbassandone il BOD. Infatti il processo a fanghi attivi è basato sulla presenza nel mixer-liquodo, di superfici di fango su cui il microrganismo può crescere, per cui è facilmente intuibile che un organismo, abile ad attaccarsi al fango, ha un netto vantaggio sugli organismi che sono liberi nella fase liquida e che perciò sono soggetti ad uscire con l' effluente. In assenza di ciliati, all'uscita dell'impianto le acque hanno un elevato BOD e sono molto torbide, per la presenza di batteri dispersi.

Nella vasca di aerazione a livello microscopico, si instaura tra i fiocchi di fango attivo, competizioni cruente per assicurarsi il cibo, che portano al predominio di una o più specie rispetto altre; in pratica si stabilisce una catena alimentare che rappresenta l' insieme delle trasformazioni che subisce la sostanza organica quando passa a gruppi successivi di organismi.

Il sistema biologico consiste di una popolazione in continua competizione per procurarsi il cibo; così l'aumento della decomposizione della sostanza organica, dovuta prevalentemente a batteri eterotrofi, dipende dalla qualità e quantità di materiale organico disciolto, mentre l' aumento dei predatori dipende dalla quantità dei batteri presenti.

I batteri dispersi sono, in questo modo, divorati da flagellati e da ciliati batterivori, che a loro volta diventano preda degli organismi carnivori. Le relazioni di predazione e competizione creano oscillazioni e successioni della popolazione fino a realizzare una stabilità dinamica (come già esposto in precedenza).

In un impianto a funzionamento normale, la microfauna è alquanto diversificata ed è composta da diversi gruppi di organismi, a loro volta suddivisi in numerose specie. Nessun gruppo o specie è numericamente dominante sugli altri, anche se i rapporti tra i

vari gruppi possono differire. Al contrario una microfauna dominata da una specie o gruppo è quasi sempre indice di cattivo funzionamento dove, l'esistenza di fattori limitanti impediscono lo sviluppo di un maggior numero di altre specie, a favore di forme maggiormente tolleranti.

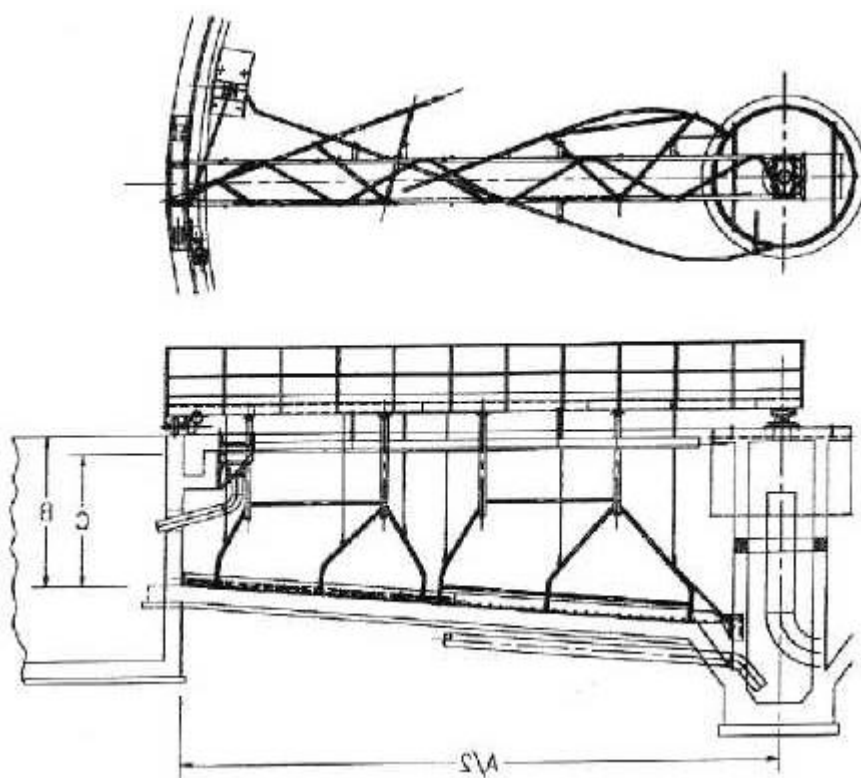
Le principali condizioni limite sono:

- inadeguata aerazione
- presenza di sostanze tossiche negli scarichi (metalli pesanti, Cd, Hg, Pb, Ni, Cr oltre 1 mg/l, Cl oltre 0,2 mg/l, cianuri, i fenoli, formaldeide, insetticidi....)
- processi putrefattivi in atto
- shock di vario tipo (temperatura, pH, mancanza o eccesso di substrato, carenza di nutrienti, eccesso di zucchero).

## 9.5 SEDIMENTAZIONE

La funzione della vasca di sedimentazione dei fanghi attivi è di separare la biomassa batterica dalle acque. La separazione dei solidi rappresenta infatti lo stadio finale del trattamento acque, con basso contenuto di BOD<sub>5</sub> e solidi sospesi.

I sedimentatori più comuni sono di forma circolare al centro dei quali viene immessa l'acqua in ingresso che, dopo la deviazione verso il basso ad opera del deflettore circolare, percorre radialmente la vasca verso lo stramazzo situato sul bordo della stessa. Durante tale percorso le sostanze disciolte ad opera della loro densità e della forza di gravità si separano e tendono a decantare. I fanghi si depositano sul fondo della vasca, che è inclinata a forma di cono, e vengono raschiati da lame raschiafanghi che non devono creare elevate turbolenze in modo da non sollevare i fanghi già depositati e soprattutto non devono asportarlo totalmente in quanto quello già depositato agisce come aiuto alla sedimentazione del fango successivo. Al passaggio del ponte raschiatore, dei sifoni aspirano delicatamente i fanghi ed un sistema di tubi porta una parte di questo alla pressa fanghi ed un'altra parte nella vasca di ricreazione permettendone successivamente il ritorno alla fase di ossidazione (R.S.A.).



*Esempio di sedimentatore*

### **9.5.1 PROBLEMI ANNESSI ALLA SEDIMENTAZIONE**

La sedimentazione è la parte finale dell'impianto di depurazione, anche se strutturalmente è molto semplice può rappresentare l'elemento più critico di tutto l'impianto, poiché risente di un possibile malfunzionamento dell'impianto di ossidazione in precedenza abbiamo parlato della formazione del fiocco di fango e come questo in condizioni ottimali sedimenta. Questo qualche volta non succede; i principali problemi di sedimentabilità sono:

- **PIN POINT:** i fiocchi sono privi della necessaria struttura che consente loro di crearsi e appesantirsi. In questo caso il fango attivo si presenta come una miscela di fiocchetti microscopici che sfuggono dal sedimentatore anziché decantare.
- **BULKING:** rigonfiamento e alleggerimento dei fiocchi di fango, per cui questo sedimenta lentamente e non si compatta.

Questi due problemi sono causati principalmente dai batteri filiformi che si presentano soprattutto nelle condizioni limite (elencate in precedenza). Questi organismi inoltre causano schiuma sul decantatore oppure flottazione del fango e trascinamento di sospesi. Tuttavia ci fa piacere, una volta tanto, ricordare che i filamentosi, bestia nera di tanti impianti, sono utili al depuratore per almeno due motivi:

1. sono organismi che presentano un elevato rendimento di assimilazione della sostanza organica: sono cioè ottimi depuratori.
2. sono uno degli elementi cardine della sedimentazione perché con le loro appendici filiformi forniscono l'armatura su cui coagulano i fiocchi di fango ben formati, quelli che assicurano la sedimentazione.

La conclusione è che per favorire una buona sedimentazione è necessario che i filamentosi non siano né troppi né troppo pochi.

## 10. IMPIANTI AD OSSIDAZIONE

Gli impianti ad ossidazione biologica sono costruiti in molte tipologie. Le differenze tra l'una e l'altra derivano dalla scelta operata per realizzare il contatto microrganismi/sostanze da degradare/aria (cioè il modo in cui porto a contatto il fango con l'acqua da trattare). Le colture batteriche possono essere fisse (adese) su supporti solidi o mobili (sospese nella massa liquida). Tra le innumerevoli varianti che sono state proposte nel tempo, due sono quelle che si sono maggiormente affermate:

- I PERCOLATORI: con massa adesa su supporto fisso (filtri percolatori) o su supporto mobile (biodischi).
- LE VASCHE A FANGHI ATTIVATI: (massa sospesa, es. R.S.A).

### 10.1 LE VASCHE A FANGHI ATTIVATI

Il sistema ossidativo denominato R.S.A. (return sludge aeration) rappresenta il cuore del trattamento dell'intero impianto. Il principio di tale processo differisce dai sistemi di trattamento a fanghi attivi convenzionali solo per l'esistenza di una seconda vasca di aerazione, nella quale il fango, raccolto sul fondo del sedimentatore, è miscelato ed energicamente riareato, prima di essere ricircolato nella vasca di ossidazione. All'interno della vasca i processi biologici distruggono la sostanza organica secondo meccanismi analoghi a quelli d'autodepurazione esistenti in natura, ma solamente con velocità di reazione nettamente superiori.

Le condizioni nei quali i processi si svolgono sono aerobiche, ovvero i microrganismi eterotrofi (trasformano la sostanza organica in sostanze utilizzabili per la nutrizione di varie forme di batteri) utilizzano il carbonio e l'ossigeno, prima per la sintesi cellulare poi come fonte di energia, formando anidride carbonica e materiale biologico flocculante. Questi fiocchi di materiale biologico aggregano le particelle colloidali fini ed adsorbono altre sostanze disciolte. Perché questa massa biologica si mantenga attiva occorre che la concentrazione di ossigeno in soluzione non sia mai inferiore ad un certo livello (essendo immersa nell'acqua non può autogenerarsi naturalmente, come per i percolatori esposti direttamente all'aria aperta). Per questo motivo per garantire un'ottimale concentrazione di ossigeno disciolto viene insufflata una notevole quantità di aria compressa dal fondo della vasca. Questa, risalendo alla superficie, attraversa la

massa liquida creando un intimo contatto che permette a parte dell'ossigeno atmosferico in essa contenuto di sciogliersi nell'acqua. Contemporaneamente il movimento creato dalle bolle di aria garantisce anche il mescolamento completo ed uniforme di tutta la miscela acqua-fanghi contenuta nella vasca, in modo che tutta la massa dei fanghi sia areata e il liquido ben omogeneizzato.

### **10.1.1 I CANNONI A BOLLE (SULZER)**

Rappresentano l'organo principale di distribuzione dell'aria all'interno delle vasche ed, è costituito dai PIPE AERATORS o cannoni a bolle Sulzer. Questo è costituito da un tubo dotato di tre zampe e tre crociere interne disposte fra loro di 120 gradi.

L'aria accede centralmente al cannone e circola a circa 15cm dal fondo della vasca e per mezzo di un apposito ugello, si fraziona in numerose bolle che salgono verso la sommità dell'aeratore. Da qui le bolle si espandono a cono e raggiungono la sommità della vasca. Per regolare il flusso dell'ossigeno all'interno della vasca si utilizza una sonda immersa nella miscela aerata, che rileva la concentrazione di ossigeno; questa sonda è collegata ad un P.L.C. che aumenta o diminuisce la portata agli aeratori. Nella vasca di ricreazione le oscillazioni dell'ossigeno sono molto ridotte, invece nella vasca di aerazione la variabilità dell'ossigeno è causata dalla oscillazione dal carico inquinante in ingresso e pertanto può subire notevoli sbalzi.

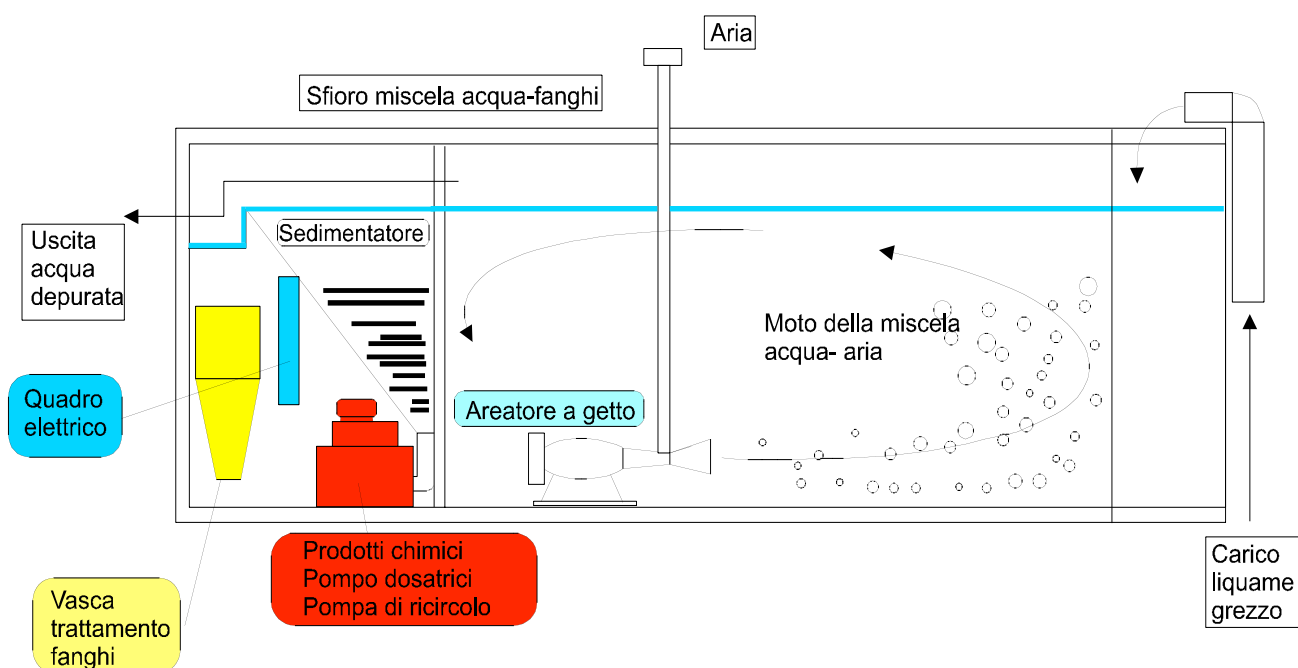


### 10.1.2 DOSAGGIO NUTRIENTI

La materia organica di cui i microrganismi sono composti contiene, oltre al carbonio, anche azoto e fosforo in quantità costanti secondo la proporzione classica:

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

Il carbonio necessario al metabolismo dei batteri è contenuto nelle acque che entrano nel biologico, mentre l'azoto ed il fosforo spesso sono carenti, limitando in tal modo il fattore di crescita batterica, con grave pregiudizio per tutto l'impianto. Azoto e fosforo devono quindi essere aggiunti artificialmente a mezzo di opportuni dosaggi: tipicamente l'acido fosforico liquido e l'urea in granuli. Nel caso sia necessario ripristinare una efficiente flora batterica, riducendo i normali tempi di crescita, può risultare opportuno utilizzare un prodotto specifico a base di batteri liofilizzati.



*Esempio di trattamento biologico R. S. A.*

## 10.2 I FILTRI PERCOLATORI

I filtri percolatori consistono in uno strato poroso grossolano disposto alla rinfusa come sassi o carbon fossile o costruiti con materiale di forma prestabilita disposti ad alveare, come tubi, mattoni e fogli di plastica. Le strutture con cui sono formati questi filtri percolatori danno l'opportunità di avere una vasta superficie di contatto per unità di volume. Questa superficie è molto importante in quanto è qui che si deposita il film biologico attivo (si ricorda che questi tipi di impianti non devono essere sommersi d'acqua in continuo perché come è già stato detto i batteri hanno bisogno di una grossa quantità di ossigeno per riprodursi).

L'evoluzione degli impianti di questo tipo è quella a dischi biologici che si ricollegano concettualmente a quello dei letti percolatori tradizionale; mentre nei letti percolatori il liquame scorre attraverso un supporto fisso, nei biodischi sia il liquame che il supporto sono in movimento.

### **Caratteristiche principali:**

- semplice controllo del processo
- eccellente resistenza ai sovraccarichi
- buona resistenza contro gli shock da sostanze tossiche e/o inibenti
- bassi costi energetici
- bassi costi esercizio e manutenzione
- volumi ed ingombri limitati
- trasferimento diretto dell'ossigeno
- elevati rendimenti di rimozione del BOD
- indipendenza dalla temperatura ambiente
- assenza di rumori
- assenza di aerosol
- facilità di trasporto e montaggio

I vantaggi del rotore biologico, dipendono dal fatto che il rotore è costituito da numerosi dischetti che affiancati gli uni agli altri formano tanti piccoli rotori che oltre a ruotare attorno all'asse principale, durante l'immersione, ruotano anche su se stessi, aumentando in tal modo l'agitazione e l'assorbimento dell'ossigeno da parte della pellicola biologica soprattutto perché questi dischi sono esposti alternativamente all'acqua inquinata e all'aria. L'eccesso di carica batterica si distacca dai dischi e perciò si rende

necessaria la sua separazione dall'acqua trattata mediante uno stadio di sedimentazione secondario



*Esempio biodischi*

# 11. IL TRATTAMENTO DEI FANGHI

Come è stato ripetutamente accennato nei paragrafi sui metodi di trattamento delle acque di scarico, occorre tener presente che nel corso delle diverse fasi illustrate, si formano forti quantitativi di fanghi praticamente allo stato liquido il cui trattamento costituisce un grave problema che parecchie volte viene sottovalutato o addirittura trascurato nella fase di impostazione di un progetto. Solitamente questi fanghi sono putrescibili e devono essere trasformati in sostanze non dannose: le loro caratteristiche organolettiche e di trattabilità, differiscono secondo la provenienza dai vari stadi.

Secondo schemi indicati da fonti autorevoli il trattamento di questi fanghi si basa essenzialmente su quattro fasi successive:

- pretrattamento
- trattamento propriamente detto
- disidratazione
- eliminazione

La prima fase di pretrattamento è imposta dal fatto che i fanghi contengono acqua fino ad un 97% e viene compiuta con un'operazione di sedimentazione statica dando lunghi tempi di sosta. In questo modo il contenuto di acqua scende al 90% circa.

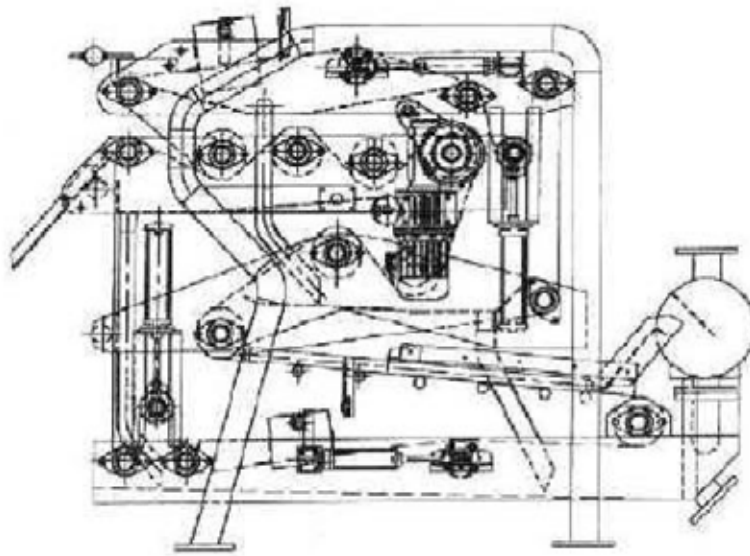
Per la fase di trattamento vi sono parecchi metodi: il più conosciuto è quello della digestione anaerobica che consente una riduzione del BOD, una diminuzione degli organismi patogeni e trasforma una parte delle sostanze solide in liquame e gas. Si ha di conseguenza, alla fine, una riduzione nel volume dei fanghi mentre i gas (metano) prodotti possono essere impiegati nell'impianto stesso o per altri usi.

La digestione anaerobica è realizzata in serbatoi chiusi: talvolta questi serbatoi sono muniti di rimescolatori meccanici che consentono la riduzione del tempo di operazione.

Altri tipi di fanghi possono invece essere trattati con procedimento chimico mediante impiego dei comuni coagulanti e aggiunta di flocculanti; questo quando i fanghi devono essere successivamente inviati a una filtrazione.

Uno dei metodi più usati per la disidratazione dei fanghi è l'utilizzo di nastro-presse che sono formate fondamentalmente da due nastri (tele) che schiacciano al loro interno il fango operando una separazione del liquido dal solido. Al fango viene aggiunto del polielettrolita in modo che si formino dei fiocchi di grandezza abbastanza

elevata che facilitino la separazione tra solido e liquido. Il grado massimo di secco ottenibile con un nastro-prensa è di circa il 50/60%.



*Esempio di pressa fanghi*

L'eliminazione finale dei fanghi talvolta rappresenta il problema più oneroso e costituisce uno dei problemi più grossi dell'intero ciclo di depurazione delle acque residue.

1. Lo smaltimento entro il terreno, effettuato introducendo il fango in cavità praticamente nel suolo, non è più utilizzato poiché questo metodo rappresenta un'insidia per le falde acquifere, che possono andare incontro a fenomeni di contaminazione.
2. Lo smaltimento in mare, naturalmente al largo non è più possibile, anche perché andremo ad inquinare vaste zone, con problemi non indifferenti per la fauna e la flora marina.
3. Lo smaltimento in discariche controllate consiste nell'interramento dei fanghi in zone scelte appositamente per questa operazione. Dopo un'accurata indagine idrogeologica, che garantisca contro un possibile inquinamento delle falde acquifere, si sceglie il sito e si prepara il terreno. Questo procedimento consiste nell'isolare il terreno con strati di sabbia o ghiaia e nel ricoprirlo con opportuni materiali isolanti (vedi teli permeabili all'acqua, ma non al fango). In queste buche si depositano i fanghi e si compattano, quindi,

quando la capacità della discarica è esaurita, si ricopre il tutto con terra od altro materiale adatto (almeno 60 cm) e si recupera l'area coltivando erba o piante (non si utilizza per uso edilizio, a causa dell'assestamento del terreno che richiede tempi molto lunghi).

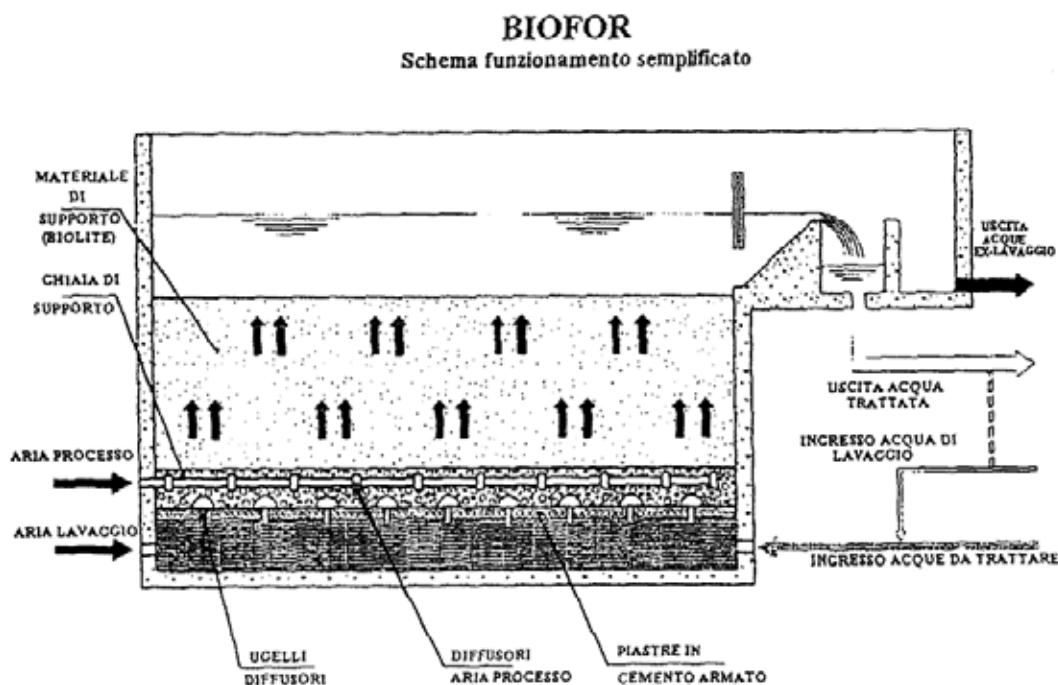
4. L'incenerimento dei fanghi potrebbe essere la soluzione ideale, a patto che gli impianti utilizzati garantiscano l'abbattimento degli inquinanti che, inevitabilmente, sono emessi durante la combustione. Rispetto ai combustibili convenzionali, i fanghi contengono maggiori tenori in metalli pesanti (Cadmio, Cromo, Mercurio, ecc.), scorie non combustibili (solfati, carbonati, silicati, ecc.) e molta acqua. Questo comporta dei poteri calorifici nettamente bassi (1000-2000Kcal/Kg) contro le 10. 000-11. 000 del metano.

## 12. IL TRATTAMENTO ACQUE NELLO STABILIMENTO FEDRIGONI ARCO

### 12.1 PRESENTAZIONE BIOFILTRAZIONE

Nello stabilimento FEDRIGONI Arco è stato costruito da poco un nuovo impianto biologico, il Biofor, che è stato recentemente introdotto in campo industriale, in particolare, nelle cartiere.

La biofiltrazione è una tecnica applicata da circa 20 anni nel campo del trattamento delle acque residue urbane al fine di poter realizzare impianti compatti e dunque di più agevole inserimento (senza rumore, né odori, né inquinamenti e di particolare pregio architettonico). La figura nel paragrafo 11.3 schematizza il funzionamento del Biofor: l'acqua da trattare attraversa il materiale filtrante (Biolite) che, una volta "colonizzato", mette in intimo contatto la biomassa fissata ed il carico inquinante dell'effluente. Si ottiene così una rapida depurazione.



L'ossigeno necessario per lo sviluppo batterico è fornito da un dispositivo di iniezione di aria di processo (rete di diffusione sopra il falso fondo).

Il maggior vantaggio di questa tecnologia è, come detto, quello relativo alla compattezza dell'impianto; questo porta alla realizzazione di reattori biologici da due a tre volte più piccoli del solo bacino di aerazione degli impianti di trattamento a fanghi attivi.

Inoltre il Biofor ha il grande vantaggio di non necessitare di un successivo decantatore, dato che la biomassa è trattenuta all'interno del filtro. L'effluente può dunque essere scaricato direttamente nel corpo ricettore finale senza richiedere una successiva chiarificazione, eliminando i rischi relativi a questa fase (perdita di biomassa per variazioni di portata o di carico inquinante).

Naturalmente i solidi sospesi trattenuti dal filtro e la biomassa in eccesso sviluppatesi nei processi depurativi devono essere eliminati con regolarità.

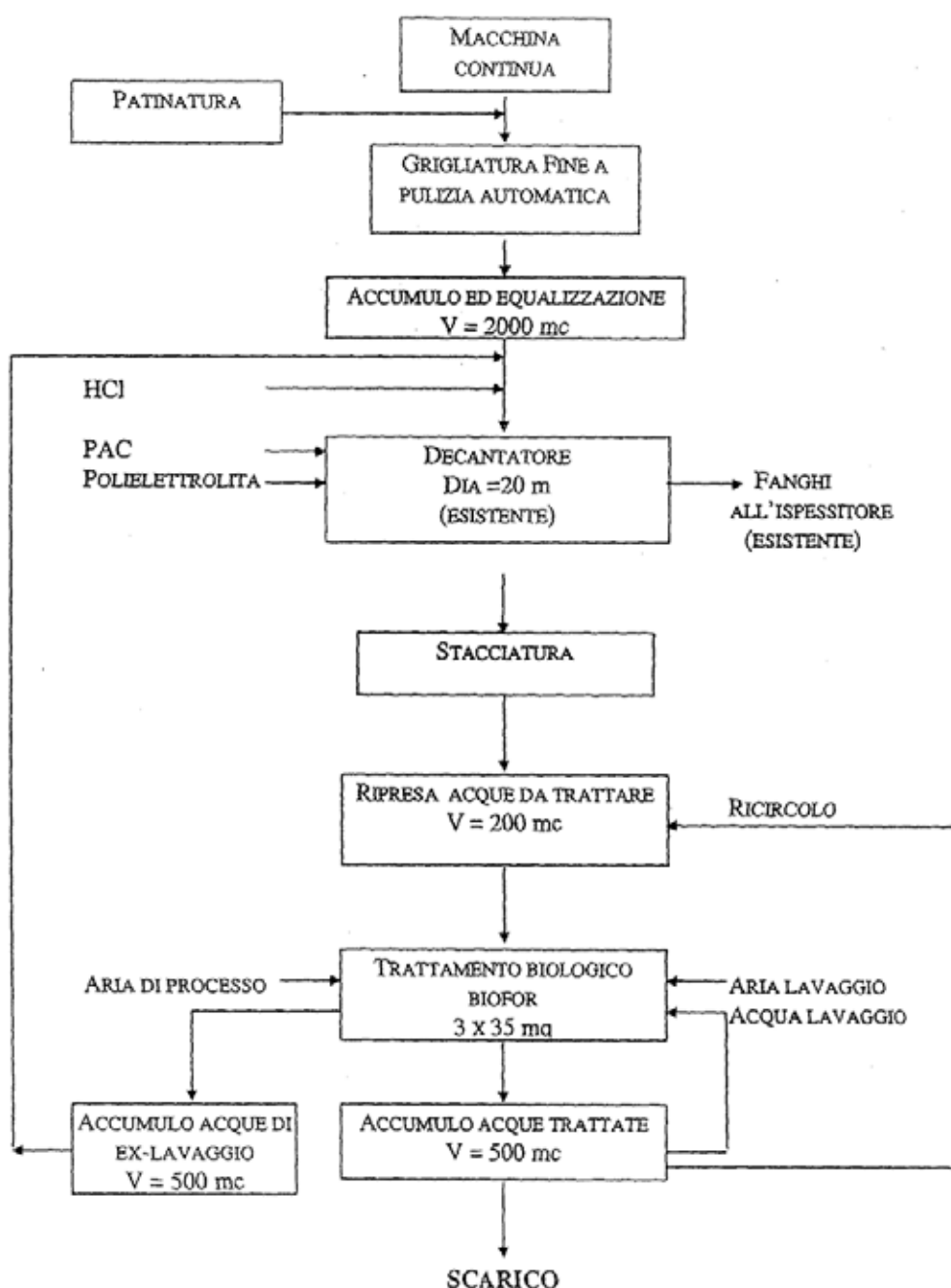
## **11. 2 SCHEMA DI FUNZIONAMENTO TRATTAMENTO ACQUE**

Lo schema di trattamento adottato è il seguente:

1. accumulo ed equalizzazione in una vasca agitata da 2000 mc con lo scopo di equalizzare i flussi e i carichi da inviare al successivo trattamento chimico-fisico esistente. Le acque da trattare andranno ad alimentare a gravità la vasca di omogeneizzazione. Sul collegamento è posizionata una griglia fine a pulizia automatica,
2. sollevamento iniziale delle acque reflue al decantatore primario ed eventuale neutralizzazione degli scarichi mediante dosaggio di acido cloridrico asservito alla misura del pH,
3. stacciatura di sicurezza delle acque in uscita dal decantatore esistente; serve ad evitare l'arrivo alla filtrazione biologica di materiali sospesi di grossa taglia eventualmente sfuggiti alla decantazione;
4. vasca di ripresa (equalizzazione) delle acque da sollevare al Biofor,
5. sollevamento al Biofor e trattamento di filtrazione biologica su tre unità Biofor, completo delle apparecchiature di processo costituite da quattro soffianti (una di riserva) e delle apparecchiature per il lavaggio costituite da due pompe centrifughe e due soffianti (una di riserva);

6. vasca di accumulo acque trattate (l'accumulo di acqua trattata è necessario per poter effettuare i lavaggi del Biofor);
7. dosaggio dei nutrienti: azoto e fosforo, urea e acido fosforico.
8. vasca di accumulo delle acque provenienti dal lavaggio dei Biofor (acque ex lavaggio) munito di agitatore sommergibile per evitare depositi; l'accumulo è necessario per laminare la portata da ricircolare al decantatore esistente.

### 11.3 SCHEMA A BLOCCHI DELL'IMPIANTO



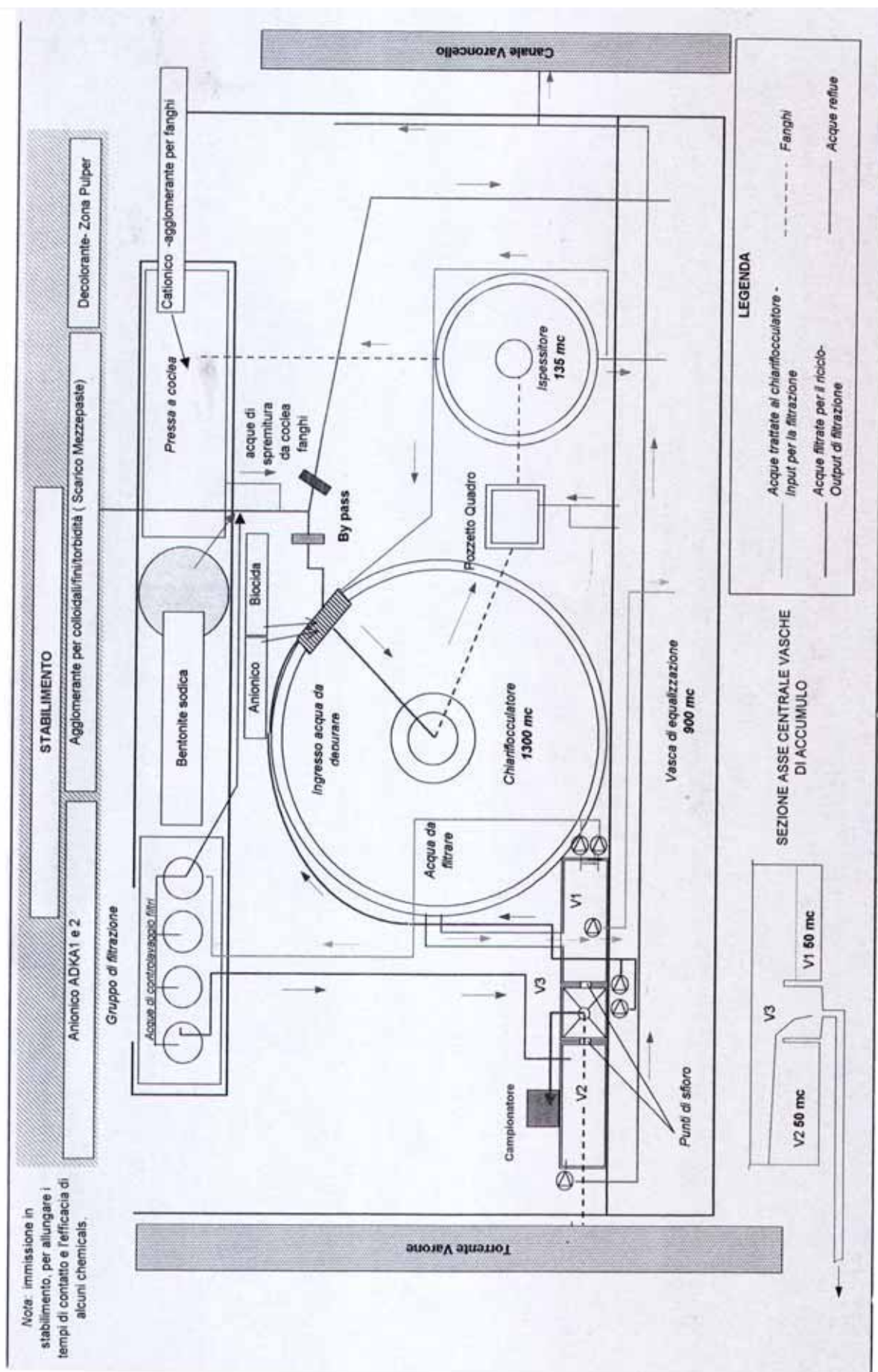
## **13. IL TRATTAMENTO ACQUE NELLO STABILIMENTO FEDRIGONI VARONE**

Nello stabilimento FEDRIGONI Varone è presente un impianto di depurazione a due stadi (chimico-fisico), cioè senza impianto biologico, ma ancora perfettamente in grado di depurare il carico d'acqua proveniente dalla fabbricazione.

Il biologico sarà uno dei prossimi investimenti, infatti con l'aumentare della produzione in macchina (V) si avrà un sovraccarico della portata di agenti inquinanti che andranno a minare le capacità depurative dell'impianto odierno; se pur a suo tempo quando questo è stato concepito i costruttori l'hanno largamente sovradimensionato.

L'impianto è costituito da:

- IMPIANTO DI DEPURAZIONE
  - vasca di equalizzazione
  - decantatore (chimico-fisico)
  - filtri a sabbia
- RACCOLTA, ADDENSAMENTO E ALLONTANAMENTO FANGHI
  - pozzeto quadro
  - ispessitore
  - macchina disidratatrice fanghi
- ADDITIVAZIONE VARIE
  - rintentivo di fini, bentonite, decolorante....
  - STRUMENTI SUL CAMPO
  - Ph metri
  - torbidimetro e solidi sospesi



Osservando lo schema si notano tutti gli elementi che solitamente compongono la parte chimico-fisica di un depuratore (equalizzazione, decantatore...); zona dell'impianto che in precedenza è già stata presa in esame es: imp. Arco. Infatti a differenza di questo arrivati a questo punto invece di passare al biologico si arriva al termine del ciclo di depurazione che in questo caso consiste nei filtri in sabbia.

### **13.1 I FILTRI IN SABBIA**

L'acqua che esce dal decantatore può contenere al suo interno una discreta quantità di solidi fini che non sono stati separati a causa delle loro piccole dimensioni.

Per evitare che queste portino disagi, in quanto possano far aumentare i valori di inquinamento si può effettuare una filtrazione per rimuoverli. Esistono molti tipi di filtri e si differenziano sostanzialmente dal tipo di letto filtrante.

In particolare quelli in sabbia consistono in vari strati di ghiaia in varie granulometrie; quella più "fina" in entrata al filtro e quella più "grossa" in uscita. In questo modo quando vengono puliti in controcorrente per mantenere la velocità di filtrazione, i vari strati si dispongono in base alla densità (cioè si mantiene la separazione dei vari strati).

Le problematiche più frequenti sono:

- rapido aumento delle perdite di carico attraverso il filtro
- destratificazione del mezzo filtrante
- eccessivo sporcamento della superficie filtrante
- contenuto di solidi eccessivamente elevato in entrata

## 14. CONCLUSIONI

Da tutto quanto esposto risulta evidente l'importanza del trattamento delle acque e soprattutto del processo biologico che è il cuore dell'impianto, ricordando che non solo l'ossigeno è responsabile della buona e cattiva salute del fango attivo; molti altri fattori influenzano favorevolmente la sua funzione. Ad esempio temperature basse causano più disturbi che non temperature troppo alte, la stagione autunnale e invernale porta spesso a comparsa in massa di un battere nocivo che gonfia il fango. Inoltre sovraccarichi di inquinante (ad esempio durante la fermata) disturba l'equilibrio e provoca la morte dei batteri.

Per inciso facciamo notare che parecchie volte viene proposto facilmente un impianto di trattamento molto costoso quando invece sarebbe sufficiente, dopo apposite indagini, un intervento su un ciclo produttivo per evitare scarichi nocivi o per riciclare acque che possono essere riutilizzate e quindi ridimensionare e ridurre notevolmente i termini del problema.

Al fronte di ogni considerazione tecnica ed economica l'impianto di trattamento non deve essere concepito come un imposizione dello Stato, ma come un dovere verso la natura.