

Carlo Sigmund

CD BOOK

# DEPURACQUE

**CALCOLO E VERIFICA DEGLI IMPIANTI  
DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE**



**Requisiti minimi**

- Mac: Office 2001
- Windows: Office 2003

## IL SOFTWARE ALLEGATO

- Calcolo parametri idraulici
- Calcolo dimensioni e volumi vasche
- Calcolo del profilo idraulico
- Computo dei consumi energetici totali e specifici (linea acque e linea fanghi)
- Dimensionamento apparati di aerazione
- Dimensionamento apparati di miscelazione
- Dimensionamento di impianti civili e industriali
- Stampa dei report (completi o sintetici)

 **DARIO  
FLACCOVIO  
EDITORE**

**INCLUDE**  
Videocorso di apprendimento  
di oltre 100 minuti





Carlo Sigmund

**DEPURACQUE**

---

**Calcolo e verifica degli impianti di depurazione  
delle acque reflue**

*Progetto preliminare*

Carlo Sigmund  
DEPURACQUE  
ISBN-10: 88-7758-695-8  
ISBN-13: 978-88-7758-695-7

© 2006 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 091202533 - fax 091227702  
www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: ottobre 2006

Sigmund, Carlo <1971>

Depuracque: calcolo e verifica degli impianti di depurazione delle acque reflue :  
progetto preliminare di calcolo / Carlo Sigmund. - Palermo : D. Flaccovio, 2006  
(Book & Floppy)  
ISBN 88-7758-695-7.

1. Impianti depurativi delle acque  
624.162 CDD-20

SBN Pal0203754

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il presente software ha richiesto la consulenza dell'ing. Lanfranco Pantaleoni e dell'ing. Fabrizio Sanità,  
sia per quanto riguarda l'implementazione di parte delle procedure di calcolo su Excel,  
sia per le verifiche dei risultati delle calcolazioni automatiche.  
Pertanto, a loro va il mio più sentito ringraziamento.

Ogni sforzo è stato fatto nella creazione, realizzazione, verifica e documentazione dei programmi contenuti in questo libro: essi sono forniti in versione compilata ed il loro acquisto non comprende la facoltà di ottenere la codifica sorgente degli stessi né di disporre della documentazione logica e di progetto. L'utente ha il diritto di utilizzare una sola copia dei programmi su un terminale singolo collegato ad un computer con singola CPU; l'utente non può installare i programmi in network o su più computer o terminali nello stesso tempo. L'utente può fare una sola copia dei programmi esclusivamente per esigenze di archivio ed installarlo su un singolo disco fisso. L'utente non potrà rimuovere né alterare alcun marchio, nome commerciale, numero di serie, indicazione di copyright o altra notifica di riserva di diritti o inseriti nei programmi e/o nel supporto. La verifica dell'idoneità dei programmi per ottenere certi risultati, l'installazione, l'uso e la gestione sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente; l'autore non garantisce che le funzioni contenute nel programma soddisfino in tutto o in parte le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le combinazioni che possono essere scelte per l'uso, non potendo fornire alcuna garanzia sulle prestazioni e sui risultati ottenibili dal loro uso, né essere ritenuto responsabile dei danni o dei benefici risultanti dall'utilizzazione degli stessi.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici

#### AGGIORNAMENTI - ERRATA CORRIGE - ADDENDUM

Eventuali integrazioni o revisioni al presente testo e/o al software allegato saranno disponibili all'indirizzo [www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) aggiornamenti. È pertanto consigliabile visitare periodicamente tale pagina o iscriversi dalla home page [www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) alla newsletter gratuita INFORMAZIONI EDITORIALI, che riporta, tra le altre informazioni, anche gli eventuali aggiornamenti.

Premessa .....	pag. 7
----------------	--------

PARTE PRIMA  
Gli impianti di depurazione delle acque

<b>CAPITOLO 1 - Il trattamento delle acque di scarico</b>	
1.1. Generalità .....	» 13
1.1.2. Trattamento preliminare .....	» 14
1.1.3. Vagli e trituratori .....	» 15
1.1.4. Camere per l'eliminazione della sabbia .....	» 16
1.1.5. Misurazioni di portata .....	» 17
1.2. Centrali di pompaggio .....	» 17
1.2.1. Pompe a velocità costante .....	» 17
1.2.2. Pompe a velocità variabile .....	» 18
1.2.3. Pompe a coclea .....	» 18
1.3. Sedimentazione .....	» 18
1.3.1. Sedimentatori primari .....	» 19
1.3.2. Sedimentatori finali .....	» 20
1.4. Filtrazione biologica .....	» 21
1.4.1. Processo biologico .....	» 22
1.4.2. Filtri a gocciolamento con letti di pietrisco .....	» 22
1.5. Aerazione biologica .....	» 24
1.5.1. I carichi dei bacini d'aerazione .....	» 24
1.5.2. Sedimentabilità dei fanghi .....	» 26
1.5.3. Relazione matematiche .....	» 26
1.5.4. Aerazione convenzionale e discontinua .....	» 28
1.5.5. Stabilizzazione per contatto .....	» 28
1.5.6. Aerazione spinta .....	» 29
1.5.7. Impianti ad aerazione prolungata .....	» 29
1.5.8. Aerazione e trasferimento dell'ossigeno .....	» 30
1.5.9. Progettazione empirica del processo .....	» 32
1.5.10. Funzionamento e controllo .....	» 32
1.5.11. Progettazione del processo .....	» 33
1.6. Disinfezione delle acque di scarico .....	» 34
1.7. Caratteristiche e quantità dei fanghi da smaltire .....	» 35
1.8. Scelta del processo .....	» 37
1.9. Addensamento dei fanghi di scarico .....	» 38
1.10. Digestione anaerobica .....	» 38
1.11. Digestione a stadio singolo .....	» 40
1.11.1. Digestione a due stadi .....	» 41
1.11.2. Dimensionamento dei digestori .....	» 41
1.11.3. Avviamento di un digestore .....	» 42
1.12. Digestione aerobica .....	» 42
<b>CAPITOLO 2 - Schemi tipici di impianti di depurazione</b>	
2.1. Impianti a fanghi attivi .....	» 45
2.1.1. Premessa .....	» 45
2.1.2. Il trattamento biologico-ossidativo negli impianti a fanghi attivi .....	» 46
2.1.3. Rendimenti depurativi degli impianti a fanghi attivi .....	» 48
2.1.4. Impianto a fanghi attivi a schema classico .....	» 49

2.1.5. Impianto a fanghi attivi a schema semplificato.....	pag. 50
2.1.6. Impianto a fanghi attivi ad aerazione prolungata.....	» 52
2.1.7. Impianto a fanghi attivi a contatto-stabilizzazione.....	» 54
2.2. Impianti per la rimozione dei composti azotati.....	» 56
2.2.1. Premessa.....	» 56
2.2.2. Impianto a fanghi attivi con nitrificazione-denitrificazione.....	» 56
2.2.3. Impianto a fanghi attivi con denitrificazione-nitrificazione.....	» 60
2.3. Osservazioni sugli impianti a fanghi attivi.....	» 62
2.4. Impianti a filtri percolatori.....	» 63
2.5. Rendimenti depurativi degli impianti a filtri percolatori.....	» 68
2.6. Impianti a contattori biologici rotanti.....	» 68

CAPITOLO 3 - Parametri di progetto per il dimensionamento di un impianto

3.1. Abitante equivalente.....	» 71
3.2. Tempo di detenzione idraulica.....	» 71
3.3. Temperatura.....	» 72
3.4. Rendimento depurativo.....	» 72
3.5. Tenore di acqua in un fango.....	» 72
3.6. Contenuto di solidi nel fango.....	» 73
3.7. Concentrazione del fango nella miscela aerata.....	» 73
3.8. Concentrazione del fango di ricircolo.....	» 75
3.9. Età del fango.....	» 76
3.10. Concentrazione del fango nei digestori.....	» 78
3.11. Fattore di carico organico.....	» 78
3.12. Fattore di carico volumetrico.....	» 79
3.13. Fattore di carico volumetrico di solidi sospesi.....	» 80
3.14. Ossigeno disciolto e aerazione meccanica.....	» 81
3.15. Fabbisogno di ossigeno per la depurazione.....	» 81
3.15.1. Quantità minima di ossigenazione nella miscela aerata.....	» 82
3.15.2. Metodi disponibili per l'aerazione.....	» 82

PARTE SECONDA  
Il programma allegato

Il programma Depuracque 1.0.....	» 87
1. Premessa.....	» 87

CAPITOLO 1 - Caratteristiche del software

1.1. Requisiti minimi di sistema.....	» 89
1.2. Ambiente di lavoro.....	» 90
1.3. Installazione.....	» 90
1.4. Avvertenze fondamentali.....	» 91
1.4.1. Accorgimenti per un corretto funzionamento del software.....	» 91
1.4.2. Come creare un template di progetto.....	» 92

CAPITOLO 2 - Struttura del software

2.1. Come sono strutturati i vari file.....	» 93
2.1.1. Calcoli dimensionamento1.....	» 93
2.1.2. Calcoli dimensionamento2.....	» 94
2.1.3. Fanghi1.....	» 108
2.1.4. Fanghi2.....	» 119
2.1.5. Calcoli idraulici.....	» 123

## **PREMESSA**

Il presente lavoro è stato realizzato per tutti coloro che devono operare a livello di progettazione preliminare degli impianti di depurazione delle acque reflue di tipo civile. La prima parte è suddivisa in tre capitoli che descrivono, in maniera sintetica ed esaustiva, le principali caratteristiche dei vari tipi di impianto e dei processi di trattamento, con particolare riferimento ai vantaggi operativi e progettuali di ogni metodo depurativo. La seconda parte contiene il manuale del programma.

Il lavoro si propone, inoltre, di affrontare, con semplicità, le varie problematiche che, eventualmente, potrebbero sorgere nel dimensionamento e nella pratica operativa delle diverse tipologie di impianto.

### **NOTE SUL SOFTWARE ALLEGATO**

Il software DepurAcque 1.0 allegato al presente volume consente il dimensionamento di massima delle principali tipologie di impianti a fanghi attivi e a biomassa adesa (filtri percolatori) per il trattamento delle acque reflue.

Gli impianti considerati, sia nel caso di fognatura mista che in quello di fognatura separata, sono:

- classico a fanghi attivi;
- ad aerazione prolungata;
- a contatto-stabilizzazione;
- denitro-nitro;
- a filtri percolatori.

Nel dettaglio, per lo specifico impianto scelto, il software permette di:

- stimare i volumi delle varie vasche di impianto (area in pianta e altezza), anche per vasche poste in parallelo;
- stimare i consumi energetici per ogni sezione d'impianto, sia per la linea acque che per la linea fanghi;
- valutare i consumi energetici in aerazione sia nel caso di insufflazione d'aria che tramite turbina superficiale;
- calcolare i diametri delle tubazioni di collegamento delle varie unità impiantistiche;
- calcolare i parametri idraulici di tutte le tubazioni (velocità dei flussi, perdite di carico distribuite e concentrate, ecc.);
- calcolare i dislivelli idraulici tra una sezione e la consecutiva.

In particolare, sulla linea acque è possibile:

- dimensionare l'eventuale sezione di sedimentazione primaria;
- dimensionare gli aeratori e computare i consumi energetici delle macchine di aerazione;
- controllare la capacità di miscelazione degli aeratori;
- dimensionare la sezione di sedimentazione secondaria in funzione delle concentrazioni della miscela aerata in aerazione e nella vasca di sedimentazione;
- valutare la massima produzione specifica giornaliera di fango di supero;
- effettuare il calcolo dei rendimenti depurativi (BOD<sub>5</sub>; solidi sospesi totali; COD; ecc.);
- effettuare il calcolo della sezione di clorazione (volumi della vasca di contatto e miscelazione; verifica miscelatori).

Inoltre, sulla linea fanghi è possibile:

- dimensionare vasche di preispessimento di tipo statico;
- dimensionare il reattore di stabilizzazione aerobica del fango;
- dimensionare la sezione di stabilizzazione tramite digestione anaerobica non riscaldata;
- dimensionare la sezione di stabilizzazione tramite digestione anaerobica riscaldata;
- dimensionare la sezione di stabilizzazione chimica;
- dimensionare la sezione degli stagni di accumulo permanenti;
- dimensionare la sezione dei letti di essiccamento per la disidratazione dei fanghi;
- dimensionare la sezione di defosfatazione (post-precipitazione o precipitazione contemporanea).

Il software – sviluppato completamente in ambiente Microsoft Excel – permette anche la stampa in formato A4 della relazione tecnica descrittiva e quella dei cal-

coli idraulici e di dimensionamento di tutte le sezioni d'impianto. Il software può, quindi, essere utilizzato sia da utenti Microsoft Windows che da utenti Macintosh che possiedano una minima conoscenza dell'utilizzo di Microsoft Excel. All'interno del CD, inoltre, si è ritenuto utile allegare dei file audio e video in formato "AVI", in modo da rendere più agevole e veloce la comprensione del software ed il suo utilizzo immediato. In particolare, viene mostrato come dimensionare completamente un impianto di depurazione a fanghi attivi per un'utenza di 30000 abitanti equivalenti, guidando l'utente attraverso le fasi del dimensionamento dei volumi utili delle sezioni d'impianto e della stampa e impaginazione delle relative relazioni tecniche. (Per ulteriori dettagli e per i requisiti minimi hardware e software richiesti, fare riferimento all'apposita sezione riportata nella seconda parte del testo).

## ABBREVIAZIONI E SIMBOLI FREQUENTEMENTE USATI

Nel presente volume, oltre ai normali simboli previsti dalle norme UNI, vengono frequentemente usati – soprattutto nello svolgimento degli esempi proposti – i seguenti simboli e abbreviazioni:

a	= anno;
d	= giorno (day);
ab	= abitanti (equivalenti);
$Q_n$	= portata idraulica acque nere da trattare nell'impianto;
$Q_{\text{pioggia}}$	= quota parte della portata di acque meteoriche, ammessa ai trattamenti primari (grigliatura, dissabbiatura e disoleatura);
l	= litri;
g	= grammi;
h	= ora (hour);
m c.a.	= metri di colonna d'acqua;
×	= simbolo moltiplicatore algebrico;
min	= minuti.

## INDICI FONDAMENTALI DI INQUINAMENTO

**BOD<sub>5</sub>** (Biochemical Oxygen Demand): Richiesta biochimica di ossigeno disciolto che un campione, posto in incubazione per cinque giorni a 20°C, necessita per ossidare, tramite respirazione dei microrganismi presenti, la sostanza organica biodegradabile contenuta nel liquame. Questo parametro viene utilizzato come misura indiretta della concentrazione di sostanza organica, a patto che nel campione sia presente un'alta popolazione di batteri acclimatati, non ci sia presenza di prodotti tossici per i microrganismi.

smi e ci si trovi in condizioni di ambiente chimicamente neutro ( $\text{pH} \approx 7$ ) e costantemente aerobico. Viene espresso in  $\text{mg O}_2/\text{litro}$  di ossigeno libero utilizzato dai batteri durante la respirazione.

**BOD** (Biochemical Oxygen Demand): richiesta biochimica di ossigeno disciolto che un campione, posto in incubazione per un periodo praticamente superiore a venti giorni a  $20^\circ\text{C}$ , necessita per ossidare la sostanza biodegradabile presente nel liquame. A differenza del  $\text{BOD}_5$  dopo tempi di reazione superiori a dieci giorni subentra anche una richiesta biochimica per l'ossidazione delle sostanze ammoniacali (nitrificazione). Viene espresso in  $\text{mg O}_2/\text{litro}$  di ossigeno libero utilizzato dai batteri durante la respirazione.

**COD** (Chemical Oxygen Demand): rappresenta la quantità organica totale (biodegradabile e non) presente in un campione soggetto ad ossidazione chimica a caldo mediante un ossidante energetico (soluzione a caldo in acido solforico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  di bicromato di potassio  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) in condizioni fortemente acide. Il COD viene misurato in termini di  $\text{mg}$  equivalenti per litro di ossidante utilizzato ( $\text{mg O}_2/\text{litro}$ ).

**Rapporto COD/BOD<sub>5</sub>**: Indice di trattabilità biologica. Valori del rapporto prossimi ad 1 indicano elevata trattabilità biologica di un reflu, in quanto tutto il COD viene respirato come sostanza biodegradabile, quindi come  $\text{BOD}_5$ . In particolare, si considerano liquami civili di elevata trattabilità biologica quelli che presentano valori del rapporto  $\text{COD/BOD}_5$  compresi tra  $1,8 \div 2,4$  circa.

**MLSS** (Mixed – Liquor Suspended Solids): solidi sospesi totali presenti nel liquame miscelato, misurati in termini di grammi o chilogrammi per metro cubo di miscela liquida.

**MLVSS** (Mixed – Liquor Volatile Suspended Solids): viene definita come una frazione (circa il 70% di MLSS) rappresentata dai solidi sospesi volatili presenti nel liquame miscelato. Essi vengono convenzionalmente posti come la quantità di microrganismi vivi (porzione o biomassa attiva) imputabili ai processi di biodegradazione; misurati in termini di grammi o chilogrammi per metro cubo di miscela liquida.

**TKN** (Total Kjendhal Nitrogen): totalità dell'azoto organico e ammoniacale misurato in milligrammi di azoto totale ridotto per litro di soluzione; in riferimento al noto metodo di analisi chimica (di Kjendhal) che permette di misurare in un campione le forme ridotte dell'azoto. Questo parametro non va confuso con la somma di tutte le forme di azoto presenti nel campione, ma rappresenta solamente quelle forme in cui l'azoto compare nello stato di ossidazione trivalente negativo. Infatti, la somma dei nitriti e dei nitrati viene talvolta riportata come azoto ossidato.

PARTE PRIMA

Gli impianti di depurazione delle acque



## **1.1. GENERALITÀ**

Il trattamento delle acque di scarico consiste nell'eliminare dalla soluzione da trattare il materiale di natura organica, tramite un insieme di processi biofisici. Dai primi anni del secolo scorso ad oggi si sono sviluppati diversi metodi per trattare le acque di scarico. Si è partiti dall'uso di serbatoi settici formati da una parte superiore, dove si depositano i sedimenti, e da una parte inferiore dove questi passano attraverso una fessura e nella quale il fango viene digerito per essere poi asportato periodicamente.

Questo metodo è però limitato, in quanto nelle acque reflue dei centri abitati soltanto meno della metà delle sostanze può sedimentarsi.

Un secondo metodo, più moderno, è stato quello della filtrazione per gocciolamento. Questo processo consiste in un'ossidazione microbica dei materiali organici su di un letto di ghiaia, effettuata dai fanghi depositati sulla ghiaia stessa.

Negli anni Venti, sono stati ideati i primi impianti a fanghi attivi per l'eliminazione dei BOD dalle acque di scarico. In questi impianti i fanghi attivi, costituiti da particelle solide di natura biologica che si formano nelle acque di scarico, provocano la flocculazione dei colloidali organici. Questi fanghi metabolizzano i fattori contaminanti e vengono poi eliminati per sedimentazione.

Gli impianti a flusso continuo si avvalgono di varie fasi. Nella fase preliminare si trovano la filtrazione grossolana (per l'eliminazione dei solidi più grandi), l'eliminazione della sabbia che potrebbe danneggiare le apparecchiature dell'impianto, la misurazione della portata del materiale da trattare ed il pompaggio necessario per sollevare le acque da trattare al di sopra del livello del suolo.

Come seconda fase viene effettuata la sedimentazione primaria per eliminare le particelle organiche sedimentabili che sono circa il 30 ÷ 50% dei solidi sospesi. Successivamente si passa all'aerazione del liquido con filtrazione a gocciolamento in vasche aperte, seguita dalla sedimentazione secondaria.

La massa di microrganismi eccedenti viene quindi asportata, mentre la flora microbica galleggiante viene eliminata per disinfezione con clorazione prima di immettere le acque nei corsi d'acqua di destinazione.

I fanghi formati vengono quindi addensati ed essiccati per essere poi smaltiti tramite interrimento, incinerazione o con scarico in superficie, naturalmente dopo opportuna stabilizzazione biologica.

Nel trattamento convenzionale delle acque di scarico si ha un contributo procapite agli scarichi di acqua sanitaria di circa 400 l al giorno, con un contenuto di solidi inferiore allo 0,1%, una concentrazione di solidi sospesi pari a 240 mg/l ed un BOD di 200 mg/l.

La quantità di fanghi liquidi derivata dai processi di depurazione è di circa 2 l a persona con un contenuto di solidi di circa il 5% in peso. Questa quantità viene concentrata tramite l'essiccazione dei fanghi producendo circa 0,25 l/persona al giorno con un contenuto del 30% di residui solidi. Questo trattamento fisico biologico è molto efficace per la riduzione del contenuto organico delle acque di scarico con la rimozione del BOD e dei solidi sospesi. Per quanto riguarda, invece, i sali disciolti ed altri inquinanti, vengono utilizzati metodi più avanzati di trattamento, come ad esempio la coagulazione chimica per gli ortofosfati, la nitrificazione e denitrificazione per l'azoto e la filtrazione con carboni attivi per i composti organici solubili.

Per trattamenti di modeste portate (piccoli villaggi, quartieri autonomi, ecc.) spesso non viene effettuata la sedimentazione primaria. In questo modo non ci si trova di fronte a fanghi settici, ma a fanghi aerobici, molto voluminosi e con un contenuto di solidi compreso tra lo 0,5 ed il 3%. Per questo motivo il trattamento si avvale di digestori aerobici (serbatoi aerati di stoccaggio dei fanghi) che scaricano il loro contenuto, stabilizzato ed in fase liquida, in cisterne dalle quali viene poi prelevato per la concimazione dei campi coltivati.

### **1.1.2. TRATTAMENTO PRELIMINARE**

La filtrazione grossolana, la rimozione della sabbia, la misurazione delle portate ed il pompaggio sono, come abbiamo visto, le fasi preliminari del trattamento convenzionale delle acque reflue. A questi processi, a volte, viene aggiunta la coagulazione chimica per aumentare la rimozione durante la sedimentazione primaria. Può essere anche effettuata la clorazione dell'acqua di scarico greggia per il controllo degli odori e per aumentare la quantità di solidi che si depositeranno. Gli impianti per il trattamento preliminare vengono realizzati tenendo presente quanto segue. Per proteggere le pompe dai corpi solidi e per impedire che questi

intasino le apparecchiature, vengono installati dei filtri posti all'inizio del processo. Inoltre un misuratore tipo Parshall viene installato prima delle pompe di sollevamento a velocità costante per rilevare il flusso pulsante prodotto dall'accensione e dallo spegnimento delle pompe e che i normali registratori di portata non rilevano. Se, invece, le pompe sono a velocità variabile, questo misuratore può essere posto sia a monte che a valle. Come si è visto nel paragrafo precedente, la rimozione della sabbia protegge le apparecchiature dall'usura e previene l'accumulo di questo materiale nelle tubazioni; essa viene effettuata per mezzo di camere di decantazione che vengono poste, generalmente, a livello del suolo.

### **1.1.3. VAGLI E TRITURATORI**

I vagli a pulizia meccanica sono dotati di aperture di circa 25 mm. I solidi che passano per questi vagli vengono rimossi dalle barre del setaccio tramite un rastrello mobile che li solleva fino in cima all'apparecchiatura. A questo punto, i solidi possono essere inseriti nel trituratore per poi ritornare nell'acqua da trattare, oppure rimossi e smaltiti in discarica.

Negli impianti più grandi, i filtri con sistema meccanico di pulizia automatica sono preceduti da un vaglio a pulizia manuale, costituito da una serie di barre inserite nel flusso delle acque.

I trituratori riducono a dimensioni inferiori ai 6 mm i solidi che sono contenuti nelle acque di scarico. Essi sono installati nel canale di scorrimento e sono dotati di un by pass per poter essere isolati durante eventuali operazioni di manutenzione o di pulizia. A volte si trovano installati in combinazione trituratori con filtri meccanici autopulenti, ed in questo caso essi vengono posti nel flusso principale delle acque da depurare. In questo tipo di impianti devono essere installati anche dei by pass d'emergenza dotati di una griglia a pulizia manuale. Il canale principale e quello del by pass devono essere dotati di saracinesche manuali per dirigere il flusso dell'acqua da trattare attraverso la griglia fissa quando il trituratore è in manutenzione.

Un comune tipo di trituratori è costituito da un recipiente cilindrico ruotante dotato di fessure ed immerso nell'acqua. I materiali che si trovano nel flusso, troppo voluminosi per passare attraverso le fessure, vengono triturati dalle barre che li trasformano in parti piccole abbastanza per passarci. Un altro trituratore molto utilizzato è denominato Barmitur: è una combinazione tra un filtro ed un trituratore, ha un tagliente che ruota ad una velocità elevata mentre si muove tra le barre della griglia frontale di cui l'apparecchio è dotato. I solidi che si accumulano vengono triturati ed immessi nel flusso dell'acqua da depurare. Il tagliente può azionarsi automaticamente quando ciò si renda necessario, per poi fermarsi quando i solidi accumulati abbiano attraversato il dispositivo dopo la triturazione.

#### **1.1.4. CAMERE PER L'ELIMINAZIONE DELLA SABBIA**

Con la denominazione di sabbia si intende, oltre alla sabbia propriamente detta, ogni particella solida che si può depositare quando la velocità del flusso dell'acqua da trattare scende sotto certi limiti.

L'accumulo della sabbia nelle vasche di sedimentazione può causare, come si è già accennato, l'usura delle parti meccaniche e delle pompe per la movimentazione dei fanghi, oppure può occludere le tubazioni ed accumularsi nei serbatoi di contenimento dei fanghi e nei digestori.

Le camere per l'eliminazione della sabbia sono efficaci su particelle con diametro fino a 0,2 mm (sabbia fine), con pesi specifici pari a 2,7 con minime quantità di materiali organici contenuti. Per eliminare la sabbia si possono utilizzare diversi metodi a seconda della dimensione degli impianti e della quantità di sabbia da eliminare.

Le camere più utilizzate sono costituite da un serbatoio di sedimentazione a forma di canale, da un'unità di aerazione con fondo a tramoggia e da un eliminatore con braccio meccanico. Le camere di eliminazione di sabbia sono dotate di collettori meccanici, costituiti da cucchiai collegati ad una catena senza fine che provvedono al raschiamento del materiale depositato e lo trasferiscono in un contenitore esterno.

Per i piccoli impianti la camera di eliminazione è costituita da un serbatoio con fondo a tramoggia, con l'attacco d'uscita posto in posizione opposta a quello d'entrata. Si tratta di piccole camere con tempo di ritenzione di circa un minuto, dotate di un sistema di aerazione che mantiene in sospensione i materiali organici mentre la sabbia si deposita. I solidi depositati vengono rimossi dal fondo della tramoggia tramite un sistema di sollevamento ad aria, un convogliatore a coclea, un sollevatore a cucchiai, o per gravità. Per separare l'acqua e lavare le sabbie eliminate si utilizzano lavatori o separatori a ciclone; l'acqua scaricata da questi sistemi viene poi reimpressa nel flusso da trattare.

Esistono degli apparecchi per rimuovere la sabbia detti serbatoi dei detriti. Essi sono di forma quadrata con l'entrata sul lato opposto dell'uscita. Un braccio spinge la sabbia verso la tramoggia, dalla quale viene poi rimossa tramite un convogliatore meccanico o per gravità. I fanghi così raccolti vengono lavati ed essiccati. La sabbia viene poi recuperata dall'acqua di lavaggio e sollevata da una vite senza fine che la avvia allo scarico. L'eliminatore può essere un serbatoio poco profondo con un tempo di ritenzione breve, o una camera aerata di profondità maggiore, per migliorare la separazione della sabbia depurando al contempo l'acqua da trattare. La preareazione viene effettuata prima della sedimentazione primaria per aumentare l'ossigeno presente ed eliminare la maggior parte dei gas presenti, allo scopo di aumentare la sedimentabilità del contenuto organico. Il tempo di ritenzione in una camera di eliminazione combinata con un bacino di preareazione varia tra i 15 ed i 20 min.

### **1.1.5. MISURAZIONI DI PORTATA**

Il sistema migliore per monitorare la portata del flusso di acqua da trattare è costituito dal canale di Parshall dotato di un registratore e totalizzatore automatico della portata. Esso offre il vantaggio di avere una perdita di carico molto bassa ed un flusso uniforme che previene il deposito di materiale solido.

I piccoli impianti non dotati di misuratore sono però predisposti per l'installazione di uno stramazzo di misura sul canale d'immissione o su quello di uscita. In questi impianti si installa lo stramazzo con un registratore portatile di livello. Un altro metodo per monitorare la quantità d'acqua da trattare è quello di misurare il tempo di funzionamento della pompa di sollevamento. Conosciuta la portata della pompa si può stimare la quantità di acqua leggendo su un contatore, collegato all'avviatore della pompa stessa, il suo tempo di funzionamento.

## **1.2. CENTRALI DI POMPAGGIO**

Le centrali di pompaggio degli impianti di grandi dimensioni sono dotate di una camera allagata e di una camera asciutta, separate da un muro divisorio.

L'acqua da trattare dopo la filtrazione grossolana fluisce in una vasca con fondo a tramoggia, dove è posto il pescante delle pompe. Queste ultime si attivano quando il livello dell'acqua raggiunge il limite massimo e si disattivano quando si raggiunge il minimo, per evitare di pompare aria.

Nella vasca di presa si immette la tubazione dell'acqua da trattare e le tubazioni di drenaggio e di ricircolo dell'acqua. Il volume della vasca di presa deve garantire un tempo di ritenzione di circa  $10 \div 20$  min.

Nella camera asciutta è previsto un bacino di raccolta che ha lo scopo di ricevere e drenare eventuali perdite e l'acqua di trafile; all'interno della camera sono inoltre installate le pompe centrifughe per la movimentazione delle acque da depurare, pompe che non possono essere ad asse verticale od orizzontale. Le pompe orizzontali hanno il corpo divisibile in modo che possono essere effettuate eventuali ispezioni.

Il numero delle pompe che devono essere installate dipende dalla potenzialità della centrale e dalla portata delle acque da trattare. In piccole centrali di pompaggio, con portate inferiori a 45 l/s, è possibile installare due pompe. Le pompe possono essere sia a velocità costante che variabile.

### **1.2.1. POMPE A VELOCITÀ COSTANTE**

Una tipica centrale di pompaggio solleva le acque di scarico dalla vasca di raccolta nella camera allagata, fino ad un serbatoio aperto costituito dalla camera di eliminazione della sabbia o dal bacino di preareazione.

La prevalenza necessaria al pompaggio è funzione del dislivello e delle perdite di carico attraverso il tubo premente.

### 1.2.2. POMPE A VELOCITÀ VARIABILE

Si presuma un impianto dotato di tre pompe: due a velocità variabile ed una a velocità costante. La prima delle pompe a velocità variabile si attiva quando il livello dell'acqua nella vasca di raccolta raggiunge la quota di avviamento. Se la quantità di acqua pompata supera quella immessa, la pompa si ferma. Al contrario, se la quantità aumenta, la pompa aumenterà a sua volta la velocità. Se il livello aumenta ancora, si avvia anche la seconda pompa a velocità variabile. Al successivo aumento del livello di acqua immessa si avvia anche la pompa a velocità costante e la quantità di acqua che essa non riesce, eventualmente, a supportare sarà divisa sulle due pompe a velocità variabile.

### 1.2.3. POMPE A COCLEA

Una pompa a coclea è costituita da un convogliatore elicoidale che spinge verso l'alto l'acqua di scarico in un canale inclinato.

Questa apparecchiatura fornisce il vantaggio di poter variare le portate, mantenendo la coclea a velocità costante.

La portata delle pompe a coclea varia in funzione del diametro esterno, della velocità di rotazione e del numero di principi dell'elicoide stessa. La portata è, inoltre, funzione diretta del diametro della coclea. La velocità di rotazione ottimale è la massima possibile.

Le coclee vengono costruite con uno, due o tre principi e, come si è visto, la portata aumenta con il numero di principi.

## 1.3. SEDIMENTAZIONE

La sedimentazione avviene in bacini circolari o rettangolari dove l'acqua trattata viene lasciata a riposo per permettere che vi si depositino le particelle sospese. Una serie di stramazzi orizzontali, siti all'inizio del canale d'uscita del bacino, fa in modo che avvenga l'efflusso da quest'ultimo. Ai materiali galleggianti viene impedito di lasciare il bacino con l'acqua, tramite un intercettore a lama posto davanti agli stramazzi. Questi rifiuti vengono poi raccolti da un braccio meccanico che li deposita in un contenitore posto al di fuori del bacino.

I criteri per il dimensionamento di un bacino di sedimentazione devono tener conto della profondità del bacino stesso in corrispondenza delle pareti laterali, della portata specifica e del tempo di ritenzione. La portata specifica è la portata media giornaliera divisa per la superficie del bacino ed è espressa in metri cubi per metro quadrato al giorno:

$$V_0 = \frac{Q}{A}$$

dove

$V_0$  = portata specifica;

Q = portata media in metri cubi al giorno;

A = superficie totale del serbatoio in metri quadrati.

Il tempo di ritenzione viene calcolato seguente equazione:

$$t = 24 \frac{V}{Q}$$

dove

t = tempo di ritenzione in ore;

V = volume del serbatoio in metri cubi;

Q = portata media in metri cubi al giorno;

24 = numero delle ore in un giorno.

La profondità del serbatoio è il dislivello tra l'apice dello stramazzo di scarico e la quota del fondo del serbatoio stesso misurata in corrispondenza delle pareti laterali. La portata specifica che fuoriesce dallo stramazzo è pari alla portata media giornaliera uscente divisa per la lunghezza totale dello stramazzo ed è espressa in metri cubi al giorno per metro.

### 1.3.1. SEDIMENTATORI PRIMARI

Vengono definiti sedimentatori primari i bacini che raccolgono l'acqua da trattare. Essi possono essere di forma rettangolare o circolari. Le acque entrano attraverso una serie di aperture poste sulla superficie lungo uno dei lati della vasca. Un deflettore dirige il flusso dell'acqua verso il basso, l'acqua quindi attraversa il sedimentatore a bassa velocità ed esce attraverso una serie di stramazzi posti sul lato opposto a quello d'entrata. Sul fondo rimangono dei depositi di materiale solido che viene raccolto e spinto in una tramoggia da un dispositivo di raschiamento formato da una serie di lame in legno collegate ad una catena senza fine. Questi fanghi sono rimossi periodicamente per essere smaltiti.

Il dispositivo di raschiamento al ritorno viaggia in superficie per raccogliere i detriti galleggianti e convogliarli verso un intercettatore sito di fronte agli stramazzi d'uscita. Questi materiali sono raccolti in un contenitore di forma cilindrica con un'apertura a feritoia sulla superficie.

Il rapporto tra lunghezza e larghezza per una vasca rettangolare varia da 3:1 a 5:1, mentre la profondità dello strato liquido è compresa tra 2 e 2,5 m.

Per quanto riguarda le vasche circolari, l'acqua greggia entra attraverso aperture poste sulla sommità del tubo verticale centrale e fluisce verso il bordo d'uscita posto lungo il perimetro.

Anche in questo tipo di vasche l'acqua viene convogliata verso il basso, dove un braccio collettore che ruota a bassa velocità spinge verso il pozzetto di drenaggio i fanghi che si depositano. Un setto, sito di fronte all'uscita impedisce ai detriti galleggianti di lasciare il sedimentatore insieme al flusso dell'acqua. I sedimentatori circolari hanno diametri che variano dai 9 ai 46 m (si possono trovare anche impianti con vasche di 60 m).

La profondità dell'acqua misurata ai bordi varia tra i 2,1 ed i 3,7 m, mentre la pendenza del fondo verso il centro è circa dell'8%.

La portata specifica da usarsi per il dimensionamento dei sedimentatori primari è compresa tra 16 e 33 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per giorno. Impianti progettati con questi parametri sono in grado di eliminare il 30 ÷ 40% del BOD dalle acque di scarico domestiche. Il carico idraulico di una vasca di sedimentazione influenza la densità dei fanghi che in essa vengono accumulati: con carichi inferiori ai 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per giorno i fanghi tendono a riaddensarsi sul fondo del serbatoio; con carichi superiori ai 33 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per giorno, possono crearsi nel bacino movimenti tali da inibire il compattamento dei fanghi. Un tempo di ritenzione troppo lungo dei fanghi nel sedimentatore può inficiare il rendimento del procedimento, specialmente quando i fanghi attivi da eliminare sono riciclati alla testa del processo per far sì che sedimentano con le impurità solide contenute nelle acque da trattare. Inoltre, i microrganismi che depongono gli scarichi organici producono gas che rendono più galleggianti i solidi, aumentando la parte di fango che affiora e riducendo la concentrazione del precipitato.

Il tempo di ritenzione non è però un criterio da considerarsi separatamente nel dimensionamento dei sedimentatori primari, in quanto esiste una relazione che lo definisce in funzione della portata specifica e della profondità dello strato liquido. Questa relazione è data dalla formula:

$$t = \frac{24 \times H}{V_0}$$

dove

t = tempo di ritenzione in ore;

H = portata specifica in m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per giorno;

V<sub>0</sub> = profondità dello strato liquido in metri;

24 = numero delle ore in un giorno.

### 1.3.2. SEDIMENTATORI FINALI

Vengono definiti sedimentatori finali quei sedimentatori posti a valle dei filtri biologici. I comuni criteri per il dimensionamento di un sedimentatore finale di un impianto di filtrazione a gocciolamento prevedono di non superare portate specifiche pari ai 33 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per giorno, mentre la profondità minima dell'acqua deve essere di 2,1 m ed il carico di sfioro pari a quello dei sedimentatori intermedi.

Lo scopo di un procedimento di sedimentazione per gravità a valle di un sistema filtrante è la raccolta dei materiali di proliferazione biologica (humus) trattenuti dal letto filtrante. Questi fanghi sono costituiti da particelle ossidate che sedimentano rapidamente. Il sistema si avvale di un raschiatore rotante che convo-

glia i fanghi verso una tramoggia, dalla quale saranno eliminati periodicamente. La separazione per gravità dei prodotti di sviluppo biologico in sospensione nei liquami miscelati dei sistemi d'aerazione è più difficoltosa, poiché i fanghi attivi danno luogo a flocculi più leggeri e galleggianti che riducono la sedimentazione. Lo spessore del fango che si accumula in un filtro a finale gocciolamento è di qualche centimetro. L'accumulo di flocculi microbici in un bacino per la separazione finale dei fanghi attivi può arrivare a spessori variabili tra 30 e 60 cm. Nel sedimentatore finale per fanghi attivi il percorso del flusso di acqua da trattare è uguale a quello dei sedimentatori normali, ma il procedimento di raccolta dei fanghi è caratteristico. I tubi di aspirazione sono disposti su di un raschiatore rotante sagomato a V. I fanghi vengono scaricati nel pozzetto a giorno ad una quota inferiore a quella del pelo dell'acqua, in modo che vengano convogliati dalla pressione dell'acqua nei tubi d'aspirazione, e ne escono attraverso un tubo verticale che scorre al centro della tubazione d'immissione.

L'aspirazione in tempo reale della fanghiglia dall'intera superficie di un sedimentatore finale per fanghi attivi ha due vantaggi. Il primo vantaggio è che il tempo di ritenzione al fondo dei solidi che si sedimentano verso il perimetro della vasca non è superiore a quello dei solidi che vi si sedimentano al centro; si eliminano così i fenomeni di galleggiamento causati dalle flocculazioni biologiche. Il secondo vantaggio è costituito dal fatto che la direzione del flusso d'aspirazione dei fanghi attivi è perpendicolare al fondo della vasca invece che in direzione di una tramoggia centrale e quindi parallela al fondo stesso. Il flusso verso il basso che viene indotto nello strato di fango depositatosi sul fondo esalta la sedimentazione dei flocculi per gravità ed aumenta la densità dei fanghi stessi. I parametri da tenere presenti durante la progettazione dei sedimentatori finali devono tenere conto della ridotta sedimentabilità delle sospensioni biologiche a flocculo. I valori tipici delle portate specifiche di sfioro si aggirano sui  $24 \text{ m}^3/\text{m}^2$  al giorno per impianti di portata inferiore ai  $4000 \text{ m}^3$  al giorno e sui  $33 \text{ m}^3/\text{m}^2$  al giorno per gli impianti più grandi. La profondità d'acqua minima raccomandata per quanto riguarda questi apparecchi è di 3,1 m, con valori anche maggiori per i bacini di più ampio diametro. Il tempo di ritenzione varia tra 2 e 3 ore a seconda dei valori scelti per quanto riguarda portate specifiche e profondità dei bacini. Il valore massimo raccomandabile del carico di sfioro è compreso tra i 125 e 250  $\text{m}^3$  al giorno per metro.

#### **1.4. FILTRAZIONE BIOLOGICA**

Gli impianti biologici a sviluppo costante sono quelli dove l'acqua da trattare viene posta a contatto con agenti biologici ancorati alla superficie di un mezzo di supporto. Quando l'acqua di scarico da trattare viene spruzzata su un letto di pietrisco l'apparecchio viene chiamato filtro a gocciolamento. Un secondo tipo di impianto biologico a sviluppo costante è costituito dai contattori biologici

rotanti nei quali una serie di piatti fissati su di un asse comune a disposizione orizzontale vengono fatti ruotare lentamente in parziale immersione nelle acque da trattare. I microrganismi che si trovano sui piatti provvedono all'estrazione delle sostanze organiche di scarico.

#### **1.4.1. PROCESSO BIOLOGICO**

Le acque di scarico spruzzate su un letto fisso producono fanghi biologici che ricoprono la superficie. Questi fanghi sono costituiti da batteri, protozoi e funghi, ma vi si possono trovare anche vermi, rotiferi, larve di mosche ed alghe. Quando l'acqua da trattare fluisce sullo strato di fango, vengono estratte da essa le sostanze organiche e l'ossigeno che vi è disciolto, e vi vengono rilasciati prodotti metabolici finali, come l'anidride carbonica. I microrganismi che vivono sulla superficie del letto sono più attivi grazie al nutrimento che ricevono, ma man mano che si scende in profondità la loro attività diminuisce. Infatti, per esempio, in un filtro di 1,8 m di spessore la maggior parte del BOD viene eliminata nei primi 60 ÷ 90 cm. L'eccesso di microbi che si stacca dal letto viene rimosso dalle acque che lasciano il filtro, per essere poi eliminato nel sedimentatore finale. È molto importante che i letti filtranti siano sempre spurgati per non causare un sovraccarico organico che porterebbe alla riduzione del rendimento del trattamento.

#### **1.4.2. FILTRI A GOCCIOLAMENTO CON LETTI DI PIETRISCO**

I componenti principali di un filtro a gocciolamento sono il distributore rotante, il sistema di drenaggio posto sul fondo del filtro ed il letto di supporto.

L'acqua da trattare viene pompata fino al distributore rotante che la diffonde sulla superficie del filtro. Il sistema di drenaggio convoglia l'acqua uscente e permette la circolazione dell'aria attraverso il letto di pietrisco.

I letti filtranti sono formati da rocce frantumate, scorie di fonderia o ciottoli, materiali molto durevoli, insolubili e resistenti alla rottura. La granulometria delle pietre varia dai 75 ai 125 mm di diametro. La profondità dei letti filtranti è variabile da 1,5 a 2,1 m.

Il processo di trattamento consiste in una camera d'eliminazione della sabbia dotata di fondo a tramoggia:

- un apparecchio separato per il lavaggio della sabbia;
- una vasca di sedimentazione primaria, di un filtro di gocciolamento;
- una vasca per la sedimentazione finale con tubazione di ricircolo per gravità che sfocia nel pozzetto;
- una camera allagata, di un'unità per il trattamento a digestione anaerobica dei fanghi;
- un sistema di eliminazione dei fanghi digeriti, che possono subire l'essiccamento o essere sparsi sui campi coltivati.

Gli scarichi dei letti di essiccazione, quelli del lavatore dei fanghi provenienti dalla camera d'eliminazione della sabbia, gli affioramenti dei digestori e l'humus riciclato dal sedimentatore finale vengono riconvogliati alla vasca d'aspirazione nella camera allagata della centrale di pompaggio. I fanghi da eliminare vengono pompati dal fondo del sedimentatore primario verso il serbatoio digestore dotato di coperchio galleggiante.

Il carico specifico di BOD di un filtro a gocciolamento viene calcolato adottando il BOD lordo dell'acqua da trattare, secondo la seguente equazione:

$$\text{Carico di BOD} = \frac{\text{BOD lordo acqua da trattare}}{\text{Volume del letto filtrante}}$$

dove

- carico di BOD = grammi di BOD da smaltire ogni giorno per metro cubo di media filtrante;
- BOD lordo = BOD in grammi/giorno rimasto nell'acqua da trattare dopo la sedimentazione primaria;
- volume del letto filtrante = volume in metri cubi del pietrisco che costituisce il letto filtrante.

Il carico idraulico è definito come la portata giornaliera che passa sull'unità di superficie del filtro, come indicato nella seguente equazione:

$$\text{Carico idraulico} = \frac{Q + Q_R}{A}$$

dove

Carico idraulico = metri cubi per metro quadrato al giorno;

Q = portata d'acqua da trattare in metri cubi al giorno;

Q<sub>R</sub> = portata ricircolata in metri cubi al giorno;

A = area ricoperta dai filtri, m<sup>2</sup>.

Questo carico idraulico è espresso in metri cubi per metro quadrato al giorno. Il ricircolo, è calcolabile applicando la seguente equazione, ed è il rapporto tra la portata dei flussi riciclati e la portata d'acqua da trattare:

$$R = \frac{Q_R}{Q}$$

dove

R = tasso di ricircolo

Q e Q<sub>R</sub> = rispettivamente portata d'acqua da trattare in metri cubi al giorno e portata ricircolata in metri cubi al giorno.

L'esperienza ha dimostrato che carichi biologici superiori a circa 400 g/m<sup>3</sup> al

giorno richiedono un carico idraulico di almeno  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2$  al giorno.

Negli impianti di filtrazione per il ricircolo dei fluidi vengono adottate due soluzioni. La prima prevede il convogliamento per gravità dei fanghi dal sedimentatore finale verso il pozzetto d'aspirazione della centrale di pompaggio. La seconda prevede il ricircolo diretto per pompaggio verso l'entrata nel filtro. Il vantaggio di questa soluzione sta nella possibilità di non influenzare né il sedimentatore primario né un eventuale sedimentatore intermedio.

Per il calcolo del rendimento dell'eliminazione del BOD da parte dei filtri biologici, sono state sviluppate alcune equazioni che tengono conto dello spessore del letto filtrante, della rottura del letto stesso, della temperatura, del tasso di ricircolo e del carico organico.

La rimozione del BOD nei processi di filtrazione biologica è influenzata dalla temperatura dell'acqua da trattare. Infatti, in luoghi con un clima rigido il rendimento scende diventa necessario l'utilizzo di una copertura sul filtro biologico. All'interno delle coperture bisogna effettuare una ventilazione tale da garantire il passaggio dell'aria attraverso il letto filtrante e da eliminare i gas corrosivi che si possono formare (ad esempio l'acido solforico).

## **1.5. AERAZIONE BIOLOGICA**

L'acqua di scarico che affluisce nel bacino contiene sostanze organiche (BOD) che sono l'alimento della flora batterica. Essa metabolizza i solidi organici assorbendo l'ossigeno contenuto nelle acque, nelle quali immette anidride carbonica. A sua volta la flora microbica funge da nutrimento per i protozoi. Con questo processo, una popolazione microbica aggiunta alle acque da trattare, poi aerate per poche ore, permette di rimuovere le sostanze organiche sintetizzando nuove cellule.

Il liquame prodotto viene trasferito ad un sedimentatore, dove avviene la separazione per gravità dei flocculi di microrganismi e lo scarico delle acque purificate. Il materiale che si deposita nel sedimentatore viene ritrasferito nel bacino d'aerazione per poter essere miscelato con altra acqua da trattare.

La sospensione che si trova nel bacino d'aerazione viene detta liquame, mentre i microrganismi sono denominati solidi sospesi nel liquame miscelato (MLSS). Questo processo aerobico di rimozione delle sostanze organiche solubili presenti nel liquido viene comunemente detto a fanghi attivi.

### **1.5.1. I CARICHI DEI BACINI D'AERAZIONE**

Per definire un processo a fanghi attivi, bisogna tenere presenti diversi fattori quali il periodo d'aerazione, il carico di BOD per unità di volume, il rapporto tra sostanze nutritive a disposizione dei microrganismi e l'età dei fanghi.

Calcolati il tempo di ritenzione ed il carico di BOD con le equazioni viste rispettivamente nei paragrafi 1.3 e 1.4.2, si può calcolare il rapporto tra sostanze

nutritive a disposizione dei microrganismi (F/M) in termini di BOD al giorno per unità di massa MLSS (solidi sospesi volatili nel liquame miscelato) con la seguente equazione:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \times BOD}{V \times MLSS}$$

dove

F/M = rapporto tra sostanze nutritive a disposizione dei microrganismi, espresso in termini di BOD al giorno per grammo di MLSS;

Q = portata dell'acqua da trattare in metri cubi al giorno;

BOD = BOD dell'acqua di scarico da trattare, in grammi al metro cubo;

V = volume del liquido contenuto nel bacino d'aerazione;

MLSS = solidi sospesi nel liquame miscelato presente nel bacino d'aerazione, espressi in grammi per metro cubo.

L'età dei fanghi è un parametro collegato al rapporto F/M. Essa è definita anche come tempo di permanenza delle cellule nella soluzione e viene misurata in giorni. Infatti, le masse prodotte dalla crescita biologica ed i solidi organici estratti sono continuamente riciclati dal sedimentatore finale verso il bacino d'aerazione. Per il calcolo dell'età dei fanghi si utilizza la seguente formula:

$$\text{Età dei fanghi} = \frac{MLSS \times V}{SS_e \times Q_e + SS_w \times Q_w}$$

dove

Età dei fanghi = tempo medio di permanenza delle cellule nel bacino, espresso in giorni;

MLSS = solidi sospesi nel liquame miscelato, in milligrammi al litro;

V = volume del bacino d'aerazione, in metri cubi;

SS<sub>e</sub> = solidi sospesi nelle acque effluenti, in milligrammi per litro;

Q<sub>e</sub> = portata dell'acqua effluente, in metri cubi al giorno;

SS<sub>w</sub> = solidi sospesi nei fanghi scaricati, in milligrammi per litro;

Q<sub>w</sub> = portata dei fanghi scaricati, in metri cubi al giorno.

Il carico di BOD per unità di volume ed il periodo di ritenzione sono correlati tra loro e dipendono dalla concentrazione di BOD nell'acqua entrante nel bacino d'aerazione e dal volume di quest'ultimo. Il rapporto F/M è invece una funzione del carico di BOD in relazione allo stato del biosistema piuttosto che alla dimensione del bacino.

Le concentrazioni di MLSS che vengono mantenute nei bacini d'aerazione variano in funzione del tipo di processo a cui sono sottoposte le acque da trattare. Si può affermare che un valore inferiore ai 1000 mg/l non è in grado di garantire un

F/M sufficiente ad ottenere una buona sedimentabilità, mentre se il valore supera i 4000 mg/l si incontrano problemi di perdite di solidi sospesi negli effluenti dal sedimentatore. I valori più comuni sono compresi tra 2500 e 3500 mg/l.

### 1.5.2. SEDIMENTABILITÀ DEI FANGHI

La sedimentabilità dei fanghi attivi nel chiarificatore finale è un fattore molto importante per determinare la qualità di un processo d'aerazione. Una buona flocculazione, seguita da un totale precipitazione per gravità di tutti i suoi prodotti lascia un residuo da scaricare molto pulito. Al contrario, una flocculazione scadente non riesce ad eliminare il BOD ed i solidi sospesi. Il successivo trasporto dei flocculi dà luogo ad un cattivo rendimento che viene denominato lievitazione dei fanghi.

La sedimentabilità di un fango biologico dipende dalla sua età e dal rapporto tra il nutrimento disponibile e la quantità di microrganismi presenti. Negli impianti ad aerazione prolungata con più alte concentrazioni di MLSS, si mantiene alto il rendimento dell'eliminazione del BOD, perché la sottonutrizione dei microrganismi provoca l'eliminazione delle sostanze organiche e facilita la flocculazione. Viceversa, gli impianti con alti tassi d'aerazione sono caratterizzati da elevati rapporti F/M che consentono funzionamenti con maggiori carichi di BOD e con periodi d'aerazione ridotti. I fanghi attivi che derivano da questi ultimi tipi di processi hanno una minore sedimentabilità, ma sono ugualmente molto efficienti nella rimozione primaria di BOD a causa del trascinarsi di flocculi microscopici e di batteri o di protozoi dalla massa in via di sedimentazione.

### 1.5.3. RELAZIONI MATEMATICHE

Per monitorare un impianto d'aerazione si usa comunemente il metodo del test dell'indice volumetrico di fangosità (SVI). Questo metodo presuppone la determinazione della concentrazione dei solidi nel liquame miscelato (MLSS) e della sedimentabilità dei fanghi per mezzo di un recipiente cilindrico graduato, di un litro. Il campione su cui effettuare la prova viene spillato dal bacino d'aerazione in prossimità dell'uscita.

Il volume dei fanghi è misurato introducendo un litro di liquame nel cilindro, lasciandolo sedimentare per 30 min. e leggendo sulla scala graduata il volume dei fanghi precipitati. Un secondo campione viene poi utilizzato per misurare l'MLSS. L'indice volumetrico di fangosità SVI può così essere calcolato secondo la seguente equazione:

$$SVI = \frac{V \times 1000}{MLSS}$$

dove

SVI = indice volumetrico di fangosità in ml/g;

V = volume dei solidi sedimentatisi dopo 30 min. in un campione di un litro contenuto in un cilindro graduato;  
 MLSS= solidi sospesi nel liquame miscelato, in mg/l;  
 1000= milligrammi in ogni grammo.

Nelle relazioni matematiche qui di seguito elencate, si è assunto che il sedimentatore finale dell'impianto di trattamento si comporti come il cilindro graduato del test appena dimostrato per la determinazione dello SVI.

Tramite la seguente equazione si evidenziano i rapporti esistente tra la portata dei fanghi riciclati ed il volume dei fanghi sedimentati che possono essere equiparati al rapporto tra la portata che entra nel sedimentatore ed il volume di quest'ultimo:

$$\frac{Q_r}{Q + Q_r} = \frac{V}{1000}$$

da cui si ricava l'equazione che esprime la portata teorica di fanghi da riciclare in funzione del volume di fanghi sedimentatisi nel campione da un litro usato per effettuare il test SVI:

$$Q_r = \frac{V \times Q}{1000 - V}$$

dove

$Q_r$  = portata dei fanghi riciclati in metri cubi al giorno;  
 $Q$  = portata media attraverso il bacino d'aerazione, in metri cubi al giorno;  
 $V$  = volume in millilitri dei solidi sedimentatisi in un cilindro graduato da 1 litro;  
 1000= millilitri per ogni litro.

Dallo stesso SVI è possibile ricavare la concentrazione dei solidi sospesi nei fanghi riciclati. Tale formula è utile per stimare la concentrazione dei solidi nei fanghi attivi in eccesso che vengono spillati dalla linea di ricircolo per essere eliminati:

$$SS \text{ nei fanghi attivi riciclati} = \frac{1.000.000}{SVI}$$

dove

SS = solidi sospesi in milligrammi al litro;  
 SVI = indice volumetrico di fangosità, in millilitri per grammo.

Per un tasso di ricircolo maggiore del minimo, che a volte crea il ritorno in circolo con i fanghi di acqua già trattata, la concentrazione dei solidi sospesi nei fanghi riciclati è data dalla:

$$ss \text{ nei fanghi attivi riciccolati} = \frac{0,155(Q + Q_A)}{Q_A}$$

Sia in questa equazione che nella precedente viene considerato che non ci siano solidi sospesi da parte delle acque effluenti.

#### 1.5.4. AERAZIONE CONVENZIONALE E DISCONTINUA

In questi processi il bacino d'aerazione è costituito da un lungo serbatoio rettangolare con il fondo dotato di diffusori per l'ossigenazione e la miscelazione delle acque.

In un bacino di tipo convenzionale, l'aria è distribuita in modo decrescente lungo il bacino stesso per assicurare la massima aerazione nella parte iniziale, nella quale vengono introdotti i fanghi attivi riciclati e l'acqua da trattare. In un bacino ad aerazione discontinua l'aria viene distribuita uniformemente, mentre l'acqua da trattare viene immessa ad intervalli nella parte iniziale del bacino.

I diffusori d'aria sono posti su collettori verso il fondo del bacino ad una profondità di 2,4 m o più. I diffusori sono costituiti da soffiatori d'aria in ceramica, di forma a cupola, o da piastre montate su supporti ancorati al fondo del bacino. Essi sono distribuiti lungo tutta la lunghezza del bacino per garantire una miscelazione ottimale.

Il tipo di flusso discontinuo che si verifica in un bacino rettangolare produce sviluppi biologici incostanti.

Il rapporto tra sostanze nutrienti e microrganismi, che è abbastanza alto all'inizio del bacino, tende a diminuire man mano che il liquame fluisce lungo di esso. Poiché il tempo di aerazione varia tra 5 ed 8 ore, i microrganismi passano attraverso una fase di crescita endogena prima di venire riciclati verso la testa del bacino. Questa popolazione di microrganismi inattiva è in grado di reagire velocemente quando si ripristina il flusso dei rifiuti organici di cui si può nutrire. Quando l'acqua da trattare supera i 2000 m<sup>3</sup>/giorno tale processo non ha problemi di stabilità; purtroppo nel caso di piccole città i cui flussi di scarico hanno molte fluttuazioni, con un sistema convenzionale si possono presentare problemi di stabilità biologica sono stati quindi studiati sistemi a miscela d'aria totale per il trattamento di piccole portate.

#### 1.5.5. STABILIZZAZIONE PER CONTATTO

La stabilizzazione con contatto comprende:

- l'aerazione della miscela tra acqua da trattare e fanghi riciccolati;
- la sedimentazione per ottenere la pulizia degli effluenti e la riareazione della corrente al fondo del sedimentatore convogliata in parte verso un digestore aerobico.

Il prodotto d'affioramento del digestore viene poi rinviato verso le acque che