

INDICE

Introduzione	1
Capitolo 1: le normative	3
1.1 Introduzione	3
1.2 La normativa italiana	3
1.3 La normativa del Bangladesh	6
Capitolo 2: i processi depurativi	7
2.1 Generalità	7
2.2 Grigliatura	7
2.3 Equalizzazione e omogeneizzazione	8
2.4 Neutralizzazione	8
2.5 Processo biologico	8
2.6 Sedimentazione	12
2.7 Ispessimento	13
2.8 Disidratazione	14
Capitolo 3: progetto dell'impianto	17
3.1 Generalità dell'impianto	17
3.2 Descrizione dell'impianto	18
3.2.1 Linea di trattamento acque	19
3.2.2 Linea di trattamento fanghi	20
3.3 Parametri di progetto	20
3.3.1 I nutrienti	21
3.3.2 Il fattore di carico organico	21
3.3.3 Fabbisogno di ossigeno	23
3.3.4 Fanghi di supero	25

3.4 Dimensionamento	26
3.4.1 Vasca di accumulo	26
3.4.2 Selettore	27
3.4.3 Vasca di ossidazione	27
3.4.4 Sedimentatore	28
Conclusioni	29
Riferimenti bibliografici	31
Ringraziamenti	33
Allegato	35

INTRODUZIONE

Il seguente elaborato illustra il lavoro svolto durante il tirocinio per la durata di 225 ore presso lo studio di ingegneria Pantarei srl (PD).

Lo scopo della tesi è l'analisi di un impianto di depurazione di acque reflue provenienti da un industria tessile. Verrà data particolare importanza alla fase progettuale, dall'individuazione del problema alla scelta della soluzione più adeguata e verranno illustrati i parametri di progetto principali per arrivare al dimensionamento di massima dell'impianto stesso.

CAPITOLO 1

LE NORMATIVE

1.1 Introduzione

La depurazione delle acque ha ricoperto da sempre un ruolo rilevante sia per quanto riguarda gli impianti civili che quelli industriali.

Gli impianti di depurazione delle acque reflue urbane si sono modificati negli anni col progredire delle tecniche di depurazione e nei tempi più recenti hanno assunto una particolare importanza per l'urbanizzazione sempre più intensa, con conseguenti incrementi dei volumi di acqua utilizzati e quindi scaricati. Inoltre si è sviluppata una maggiore sensibilità nei confronti della tutela dell'ambiente.

Anche nel campo industriale l'acqua riveste un ruolo essenziale in quanto è usata come acqua di reazione, acqua di soluzione, acqua di processo e come mezzo di trasporto di materia e calore.

1.2 La normativa italiana

Bisogna innanzitutto distinguere i tipi di reflui. Per reflui industriali s'intende qualsiasi tipo di acque reflue scaricate da edifici o installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, diverse dalle acque domestiche e dalle acque meteoriche di dilavamento. I reflui domestici sono invece acque provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche. L'insieme dei reflui domestici viene definito come reflui urbani.

Tutti gli scarichi devono essere preventivamente autorizzati; gli scarichi domestici sono sempre ammessi, mentre per quelli industriali l'autorizzazione è rilasciata al titolare dell'attività che genera lo scarico. La domanda di autorizzazione deve essere presentata alla Provincia e deve contenere tutte le informazioni necessarie quali:

- Caratteristiche quantitative e qualitative dello scarico
- Tipologia del ricettore
- Individuazione di uno o più punti in cui effettuare i prelievi di controllo
- Descrizione del sistema complessivo dello scarico

Se richiesti possono essere aggiunti i sistemi di depurazione utilizzati.

Tutti gli scarichi devono rispettare i valori limite di emissione previsti dall'allegato 5 del D.Lgs. 152/06. I valori limite non possono in alcun caso essere conseguiti mediante diluizione con acque prelevate esclusivamente allo scopo. Come principio generale le acque devono essere restituite con caratteristiche qualitative non peggiori di quelle prelevate. I valori limite sono indicati in tabella 1.1.

Tabella 1.1: Limiti allo scarico del D.Lgs. 152/2006 (tabella 3 allegato 5 parte III).

Numero	parametro/sostanza	unità di misura	Valore
1	pH		5,5-9,5
2	temperatura	°C	-1
3	colore		non percettibile con diluizione 1:20
4	odore		non deve essere causa di molestie
5	materiali grossolani		Assenti
6	solidi sospesi totali	mg/L	< 80
7	BOD5	mg/L	< 40
8	COD	mg/L	< 160
9	alluminio	mg/L	< 1
10	arsenico	mg/L	< 0,5
11	bario	mg/L	< 20
12	boro	mg/L	< 2
13	cadmio	mg/L	< 0,02
14	cromo totale	mg/L	< 2
15	cromo VI	mg/L	< 0,2
16	ferro	mg/L	< 2
17	manganese	mg/L	< 2
18	mercurio	mg/L	< 0,005
19	nicel	mg/L	< 2
20	piombo	mg/L	< 0,2
21	rame	mg/L	< 0,1
22	selenio	mg/L	< 0,03
23	stagno	mg/L	< 10
24	zinco	mg/L	< 0,5
25	cianuri totali	mg/L	< 0,5

segue Tabella 1.2: Limiti allo scarico del D.Lgs. 152/2006 (tabella 3 allegato 5 parte III).

26	cloro attivo libero	mg/L	< 0,2
27	solfori	mg/L	< 1
28	solfiti	mg/L	< 1
29	solfati	mg/L	< 1000
30	cloruri	mg/L	< 1200
31	fluoruri	mg/L	< 6
32	fosforo totale	mg/L	< 10
33	azoto ammoniacale	mg/L	< 15
34	azoto nitroso	mg/L	< 0,6
35	azoto nitrico	mg/L	< 20
36	grassi e olii animali/vegetali	mg/L	< 20
37	idrocarburi totali	mg/L	< 5
38	fenoli	mg/L	< 0,5
39	aldeidi	mg/L	< 1
40	solventi organici aromatici	mg/L	< 0,2
41	solventi organici azotati	mg/L	< 0,1
42	tensioattivi totali	mg/L	< 2
43	pesticidi fosforati	mg/L	< 0,10
44	pesticidi totali	mg/L	< 0,05
	tra cui		
45	aldrin	mg/L	< 0,01
46	dieldrin	mg/L	< 0,01
47	endrin	mg/L	< 0,002
48	isodrin	mg/L	< 0,002
49	solventi clorurati	mg/L	< 1
50	escherichia coli	mg/L	Nota
51	saggio di tossicità acuta	mg/L	il campione non è accettabile quando dopo 24 ore il numero di organismi immobili è uguale o maggiore del 50% del totale

I limiti indicati sono riferiti ad un campione medio prelevato nell'arco di tre ore. L'autorità preposta al controllo, al fine di verificare le fasi più significative del ciclo produttivo, può effettuare il campionamento su tempi più lunghi.

1.3 La normativa del Bangladesh

Il D.Lgs. 152/2006 recepisce e attua in Italia varie direttive europee fra cui la 271/91. Nei paesi extraeuropei vige una normativa indipendente, anche se simile. I valori di emissione per gli scarichi in acque superficiali nel caso specifico del Bangladesh (dove si trova l'impianto oggetto di questa tesi) sono indicati nella tabella 2.

Tabella 1.3: Limiti per le acque reflue industriali nel Bangladesh.

parametri	unità di misura	sottosuolo	rete fognaria	campi coltivati
BOD5	ppm	50	250	100
COD	ppm	200	400	400
Sali disciolti(TDS)	ppm	2100	2100	2100
piombo	ppm	0,01	1	0,01
manganese	ppm	5	5	5
oli e grassi	ppm	10	22	10
azoto kjeldahl	ppm	100	100	100
azoto ammoniacale	ppm	50	75	75
ammoniaca	ppm	5	5	15
nitrati	ppm	10	non stabiliti	10
arsenico	ppm	0,02	0,05	0,02
cloro	ppm	600	600	600
cadmio	ppm	0,05	0,05	0,05
cromo totale	ppm	0,05	1	1
cromo Cr6	ppm	0,01	1	1
rame	ppm	0,05	3	3
ossigeno disciolto	ppm	4,5-8	4,5-8	4,5-8
ferro	ppm	2	2	2
conducibilità	Mohm/cm	1200	1200	1200
fluoruri	ppm	2	15	10
solfori	ppm	1	2	2
cianuri	ppm	0,01	2	0,02
mercurio	ppm	0,01	0,01	0,01
nichel	ppm	1	2	1
fosforo disciolto	ppm	8	8	15
fenoli	ppm	1	5	1
boro	ppm	2	2	2
Ph		6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0
temperatura	°C	40-45	40-45	40-45
selenio	ppm	0,05	0,05	0,05
zinco	ppm	5	10	10

CAPITOLO 2

I PROCESSI DEPURATIVI

2.1 Generalità

Esiste una grande varietà di processi di depurazione, la cui applicazione dipende dalle caratteristiche dell'acqua da trattare e dal grado di depurazione richiesto. Una classificazione dei metodi di trattamento delle acque reflue riguarda la natura dei processi impiegati: si distinguono trattamenti preliminari (meccanici), secondari (biologici) e terziari (generalmente chimico-fisici).

Con i trattamenti preliminari si eliminano i materiali grossolani che potrebbero danneggiare le apparecchiature meccaniche dell'impianto. I trattamenti secondari sono finalizzati all'eliminazione del materiale organico biodegradabile; i trattamenti terziari servono ad affinare ulteriormente il refluo.

2.2 Grigliatura

La grigliatura è generalmente la prima operazione in un impianto di depurazione; la griglia è un dispositivo dotato di aperture usato per trattenere il materiale grossolano presente nelle acque.

La quantità di materiale raccolto dipende dalla dimensione e dalla forma delle aperture: si hanno griglie grossolane, in cui la dimensione delle aperture è tra 6 e 15 mm, e le griglie fini con dimensioni della luce libera di passaggio inferiori a 6 mm. Esistono anche i microstacci con luce di passaggio inferiore a 1 mm.

Il materiale grigliato può essere rimosso manualmente o meccanicamente; le griglie più usate sono a pulizia meccanizzata e possono essere raggruppate in quattro tipologie: griglie a nastro, a catena, basculanti e a catenaria.

2.3 Equalizzazione e omogeneizzazione

Le acque da trattare spesso presentano una variabilità di portata e concentrazione di inquinanti. Per il buon funzionamento di un impianto depurativo, la portata e le concentrazioni degli inquinanti devono essere per quanto possibile costanti. La correzione di tale variabilità prende il nome di equalizzazione nel caso della portata e di omogeneizzazione per le concentrazioni. Per l'equalizzazione è necessaria una vasca di accumulo mentre per l'omogeneizzazione serve una forte miscelazione.

2.4 Neutralizzazione

La neutralizzazione consiste nella correzione del pH dell'acqua mediante l'aggiunta di acidi o di basi a seconda del caso; tale trattamento è necessario in quanto i processi biologici e chimico-fisici hanno un intervallo di pH ottimale. Il dosaggio di reagenti è regolato da un pHmetro.

2.5 Processo biologico

Il processo biologico di tipo aerobico consiste in una serie di reazioni biochimiche ossidative (con produzione di CO_2) operate da microorganismi, i quali utilizzano le sostanze organiche presenti nel refluo per sintetizzare sostanze necessarie alla loro vita e riproduzione. Il refluo ottenuto con questo processo presenta ridotte quantità di inquinanti organici e un aumento della quantità di biomassa (batteri).

È necessario che il tempo di contatto fra organismi e liquame sia sufficientemente lungo e che vi sia il dosaggio opportuno di ossigeno e nutrienti. Durante la fase iniziale del processo, un'elevata frazione della sostanza organica viene ossidata e la parte rimanente viene convertita in nuove cellule batteriche che possono poi essere ossidate nuovamente durante la respirazione endogena. L'efficienza di questo processo depurativo dipende dalle cinetiche di utilizzazione del substrato (materiale organico inquinante) e di crescita batterica.

Per quanto riguarda la prima, si ha l'equazione di Michaelis-Menten:

$$r = -\frac{kXS}{K_s + S}$$

Dove

r = velocità di consumo di substrato da parte della biomassa, in $\text{mg}_{\text{COD}}/(\text{l} \cdot \text{d})$

k = velocità specifica massima di utilizzazione del substrato, in $\text{mg}_{\text{COD}}/\text{mg}_{\text{SSV}} \cdot \text{d}$

X = concentrazione di biomassa, in $\text{mg}_{\text{SSV}}/\text{l}$

S = concentrazione del substrato limitante ai fini della crescita, in $\text{mg}_{\text{COD}}/\text{l}$

K_s = costante di semivelocità, cioè la concentrazione di substrato alla quale la velocità specifica di utilizzazione del substrato assume la metà del valore massimo; è espressa in $\text{mg}_{\text{COD}}/\text{l}$

La velocità di utilizzazione del substrato influenza la velocità di crescita dei microorganismi; le due grandezze sono legate da questa equazione:

$$k = \frac{\mu_m}{Y}$$

μ_m = velocità specifica massima di crescita batterica ($\text{mg}_{\text{SSV}}/\text{d}$);

Y = rendimento di crescita della biomassa ($\text{mg}_{\text{COD}}/\text{mg}_{\text{SSV}}$).

Sostituendo k nell'equazione di Michaelis-Menten si esplicita la relazione tra velocità massima di crescita dei microrganismi e velocità massima di utilizzazione del substrato:

$$r = -\frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)}$$

E' possibile depurare biologicamente un'acqua se questa ha le caratteristiche necessarie per permettere la vita dei batteri; per ogni specie batterica esiste un intervallo ottimale di temperatura, pH, concentrazioni di ossigeno e di nutrienti, e devono essere assenti sostanze tossiche per i batteri. In genere la velocità di crescita batterica cresce con la temperatura fino a un punto di massimo tra i 35°C e i 39°C; il pH deve essere compreso tra 6,5 – 8,5; l'ossigeno disciolto non deve scendere al di sotto di 1 mg/l. Deve essere inoltre garantita una quantità minima di nutrienti: per ogni 100 g BOD₅ sono necessari almeno 5 g di azoto e 1 g di fosforo.

La crescita dei batteri varia a seconda del tempo di aerazione. Questa dipendenza è illustrata in fig. 2.1.

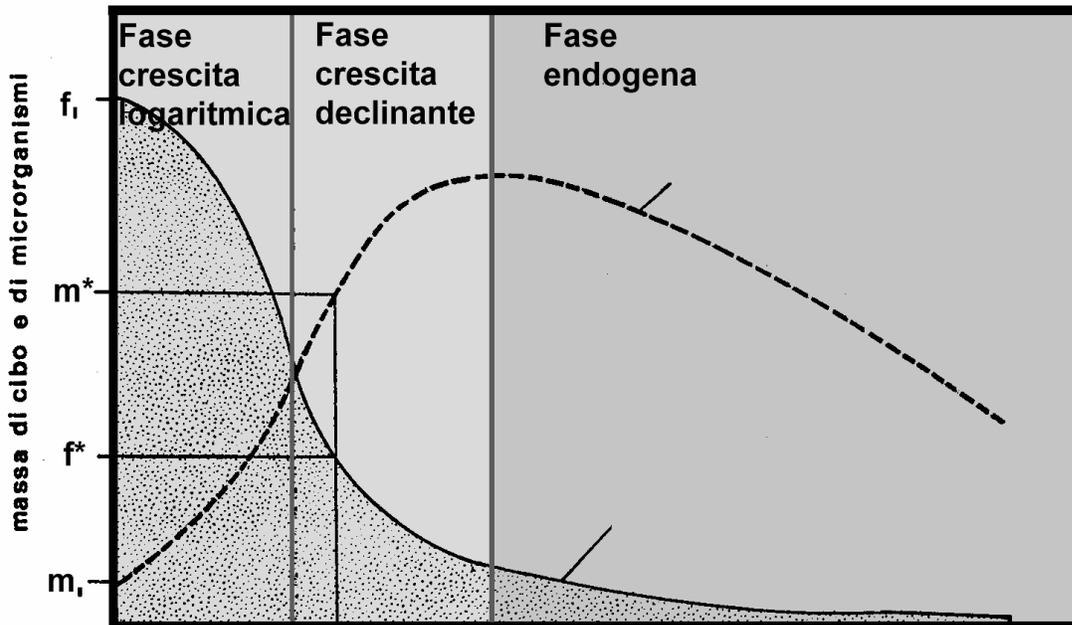


Fig. 2.1: andamento della crescita batterica in funzione del tempo di aerazione.

Dopo un breve tempo di aerazione, i microrganismi in ambiente favorevole, ben ossigenati e con tutto il substrato necessario a disposizione, trovano le condizioni ideali per la loro riproduzione: questa è la fase di crescita logaritmica.

Con un tempo di aerazione più elevato, i microrganismi cominciano ad esaurire il cibo a disposizione. Tale limitazione costituisce un fattore frenante alla loro crescita e quindi si ha una fase declinante.

Con tempo di contatto ancora più elevato è stato esaurito gran parte del substrato e i microrganismi consumano la propria massa cellulare morendo spontaneamente oppure entrano in conflitto fra di loro. Questa fase si dice endogena.

Nell'impianto in esame si segue il profilo logaritmico in modo tale da aumentare sempre la quantità di biomassa fornendo l'ossigeno e i nutrienti necessari, ma da mantenerla pressoché costante grazie al ricircolo e allo spurgo.

I trattamenti biologici delle acque reflue possono essere classificati in base alla tipologia di processo: si distinguono processi a biomassa sospesa e a biomassa

adesa. Nei processi a biomassa sospesa i microrganismi necessari alla rimozione degli inquinanti sono mantenuti in sospensione all'interno del liquido; nei processi a biomassa adesa i microrganismi sono adesi a un mezzo inerte, a un supporto di materiale plastico o ceramico adatto; esistono anche processi combinati. In fig. 2.2 è rappresentato lo schema a blocchi di un impianto biologico a biomassa sospesa.

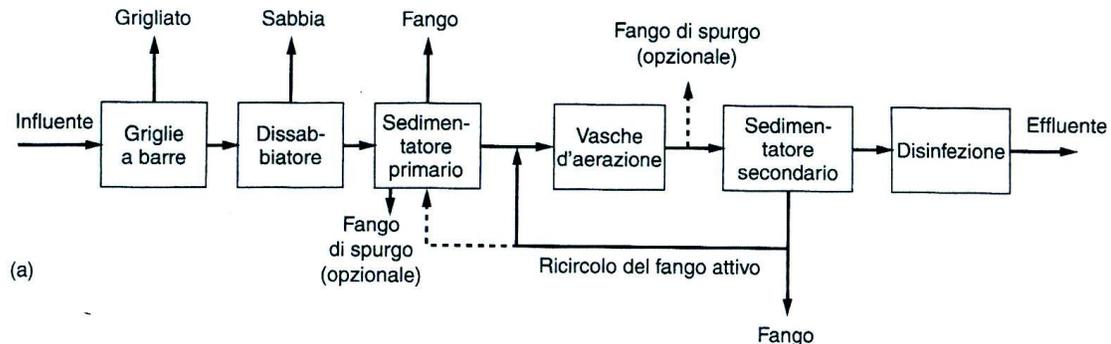


Fig. 2.2: Schema di un processo a biomassa sospesa.

Dopo i trattamenti preliminari, nella vasca di aerazione si ha la miscelazione e l'ossigenazione del liquame insieme alla massa microbica, indicata generalmente come solidi sospesi nella miscela liquida (MLSS) o come solidi sospesi volatili nella miscela liquida (MLSSV). Dopo un tempo sufficiente per le reazioni ossidative, che dipende dalla portata del refluo e dalle cinetiche di reazione, la miscela aerata passa nel sedimentatore dove la biomassa (fango attivo) sedimenta. Parte del fango sedimentato viene ricircolato alla vasca di aerazione, mentre la quantità in eccesso alle esigenze depurative (fango di supero) deve essere allontanata dal reattore biologico e sottoposta a opportuni trattamenti. In questo modo si garantisce una elevata efficienza del processo.

I principali parametri da considerare sono il tenore di ossigeno disciolto OD, il fattore di carico organico cioè il rapporto tra substrato organico e fango attivo, e il fattore di carico volumetrico. In particolare il carico del fango è:

$$CF = \frac{Q \cdot BOD_{IN}}{MLSS \cdot V}$$

Per conoscere il carico del fango CF bisogna quindi conoscere la portata Q di alimentazione dell'effluente, il BOD in ingresso, il volume V della vasca di ossidazione e la misura dei solidi sospesi della miscela liquida MLSS.

Una situazione di medio carico è data da un valore di CF tra 0,15-0,5 $\text{kg}_{\text{BOD}}/\text{kg}_{\text{MLSSd}}$ mentre valori inferiori a 0,15 e superiori a 0,5 sono rispettivamente casi di basso e di alto carico: nel primo caso viene prodotto poco fango e si arriva a rendimenti depurativi del 95%, nel secondo viene prodotta una notevole quantità di fanghi da smaltire e si ha un BOD₅ residuo elevato dato che si riesce a degradare solo il 75-80% del BOD₅ solubile.

Nel caso in cui si debba rimuovere dal refluo anche composti azotati, si ricorre ai processi biologici di nitrificazione e denitrificazione. Durante la prima, batteri differenti da quelli del processo a fanghi attivi trasformano l'azoto da ione ammonio a nitrato; nella seconda, si ha la trasformazione dei nitrati in azoto molecolare. La nitrificazione può avvenire anche nella vasca di ossigenazione dell'impianto a fanghi attivi qualora sussistano le condizioni per permettere la vita dei batteri in questione, mentre la denitrificazione avviene in ambiente anossico.

2.6 Sedimentazione

La sedimentazione ha lo scopo di separare i fanghi dall'acqua; parte dei fanghi sono riciclati alla vasca di ossidazione biologica, parte sono estratti come fango di supero e trattati per lo smaltimento finale. Esistono diversi tipi di sedimentatori: a flusso orizzontale, a flusso ascensionale e a flusso radiale.

La vasca di sedimentazione a flusso orizzontale è la tipologia più semplice; le vasche hanno una lunghezza 3 – 4 volte la larghezza e un fondo inclinato, e il tempo di ritenzione è circa 12 ore. Un carroponete "va e vieni" con un raschiatore percorre tutta la lunghezza della vasca e convoglia i fanghi sedimentati verso una tramoggia.

Nei sedimentatori a flusso ascendente l'immissione del refluo avviene al di sotto del pelo libero dell'acqua attraverso un deflettore cilindrico: l'acqua cambia bruscamente di direzione, e le particelle più fini formano sopra il sedimentato uno strato filtrante attraverso cui l'acqua deve passare per risalire verso l'uscita. Le condizioni ottimali si hanno con un'inclinazione del fondo di 60°.

Nella vasca di sedimentazione circolare il flusso del liquido è di tipo radiale. Il refluo è introdotto dal basso in corrispondenza del torrino centrale; l'acqua ristagna nella vasca in modo da far sedimentare i fiocchi di fango. Il fondo del sedimentatore è inclinato verso il centro in modo da poter convogliare, con l'azione dei raschiatori, il fango raccolto all'interno di una tramoggia di accumulo da cui poi è estratto.

I principali parametri che definiscono il funzionamento del sedimentatore sono la velocità di risalita dell'acqua nella vasca, il carico in solidi (quantità di solidi inviata al sedimentatore per unità di tempo e di superficie trasversale) e il tempo di residenza idraulico. Minore è la velocità ascensionale e maggiore il tempo di residenza e migliore è la rimozione dei solidi sedimentabili. Valori usuali di questi parametri (riferiti alla portata media) sono 0.3 – 0.6 m/h per la velocità ascensionale dell'acqua, fino a 4 kg_{SS}/m²h per il carico di solidi, 3 – 5 ore per il tempo di residenza.

Per un efficace funzionamento del processo biologico è importante che il fango abbia buone proprietà di sedimentabilità, in modo da essere separato efficacemente dall'acqua depurata. Se si verificano perturbazioni del processo quali sbalzi nella concentrazione di ossigeno, pH, rapporto tra i nutrienti, si ha proliferazione dei batteri filamentosi; questi sono microorganismi che causano il fenomeno del Bulking, ossia il rigonfiamento del fiocco di fango con conseguente riduzione della velocità di sedimentazione e fuga di fango con l'effluente.

2.7 Ispessimento

L'ispessimento è un'operazione che ha lo scopo di concentrare i fanghi. La forma dell'ispessitore è simile al sedimentatore a flusso ascendente descritto al punto 2.6; ma qui l'alimentazione del fango avviene in una colonna al centro dell'ispessitore: il fango sale dal basso della colonna ed esce dalla sommità con una velocità tale da mantenere in quiete i fanghi stratificati sul fondo della vasca. Il fango ispessito rimane sul fondo dell'ispessitore per un certo tempo di ritenzione in cui stratifica ed è poi pompato ai successivi trattamenti; l'acqua surnatante è rinviata in testa alla linea acque dell'impianto di depurazione.

Con l'ispessimento a gravità, partendo da un fango di alimentazione con una concentrazione in secco dello 0,8% si può ottenere un fango in uscita concentrato al

4%. I parametri più importanti che influiscono sul funzionamento di un ispessitore sono il carico idraulico, il carico di solidi e il tempo di ritenzione. Quest'ultimo viene scelto in base al tipo di fango sottoposto al trattamento (grezzo, digerito o misto) e varia tra le 6 e le 24 ore.

2.8 Disidratazione

La disidratazione può avvenire in molti modi. Alcuni di essi si basano su fenomeni naturali come l'evaporazione, altri sono di tipo meccanico.

Tra i metodi naturali si hanno i letti di essiccamento: essi sono costituiti da superfici drenanti in sabbia o ghiaia che permettono la separazione del liquido dal fango per gravità, oltre che per evaporazione dato che sono esposti all'atmosfera. Questo sistema è conveniente rispetto ai metodi meccanici solo se le portate di fango sono modeste.

Le disidratazioni di tipo meccanico vengono effettuate nelle centrifughe, nelle nastropresse e nelle filtropresse.

Nelle unità centrifughe si separa fisicamente l'acqua dai fanghi di scarico sfruttando la forza centrifuga. Il fango introdotto nel tamburo cilindrico rotante aderisce alle pareti dove si ha la separazione solido-liquido a causa della differenza di densità; le particelle più pesanti si concentrano sull'anello esterno, mentre il chiarificato viene raccolto al centro. Variando il tempo di residenza si può modificare il grado di disidratazione ottenibile. A seconda delle caratteristiche dei fanghi trattati si può produrre un fango con concentrazione di solidi variabile tra il 15 – 30%. Questo livello di disidratazione risulta più alto rispetto a qualunque altro metodo, ma il costo economico è molto elevato.

La nastropressa è un'apparecchiatura alimentata in continuo. Il fango viene introdotto in una sezione di drenaggio per gravità e successivamente avviato in una sezione in cui viene spremuto da più coppie di rulli tra cui scorrono i nastri filtranti. L'acqua viene scaricata dal basso e inviata in testa all'impianto, mentre il fango secco è raccolto dopo gli ultimi due nastri. La velocità della tela deve essere attorno a 30 – 60 m/h. La portata specifica di alimentazione del fango da trattare deve avere valori

attorno a $1-8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ riferita a metro quadro di nastro. Si può raggiungere un tenore di secco tra il 20 e il 35%.

La filtropressa opera invece in discontinuo tramite una serie di piastre con membrane filtranti attraverso cui passa l'acqua. Con questo metodo il fango viene disidratato per mezzo di forti pressioni fino ad ottenere elevate concentrazioni in secco. La quantità di solidi filtrati è di circa $5 - 8 \text{ kg SS/m}^2$ per metro quadro di tela filtrante. Lo spessore del pannello di fango disidratato risulta compreso tra 25 e 38 mm, mentre l'umidità varia tra il 48 e il 70%. Le piastre vengono mantenute in posizione verticale una di fronte all'altra. A due a due una rimane fissa ancorata al supporto, mentre l'altra si muove all'entrata e all'uscita del fango, trascinata da pistoni idraulici; ogni piastra è rivestita da una membrana filtrante che fa passare soltanto l'acqua. All'inizio le piastre sono chiuse. Entra il fango per mezzo di una pompa e si distribuisce nelle intercapedini tra le piastre tramite un foro al loro centro. Quando la filtropressa è completamente carica, si blocca l'alimentazione di fango. La pressione esercitata dal pistone sulle piastre è di circa 10 bar. L'acqua contenuta nel fango passa attraverso le membrane e viene scaricata dal basso per mezzo di un collettore e quindi inviata in testa alla linea acque. A operazione finita (dopo 5 ore) il pistone retrocede e le piastre vengono aperte manualmente per scaricare il fango secco (cake).

CAPITOLO 3

PROGETTO DELL'IMPIANTO

3.1 Generalità dell'impianto

La tintoria che produce il refluo tinge 60000 kg/d di tele e fili in cotone e poliestere; si utilizzano meno di 100 L di acqua per ogni kg di tela tinta con un processo discontinuo che quindi consuma poco più di 5000 m³/d di acqua; questa è la portata che alimenta l'impianto di depurazione.

L'acqua presenta un pH basico che deve essere portato a neutro, e una temperatura di 40°C che deve essere abbassata di qualche grado.

Gli inquinanti del refluo sono principalmente solidi sospesi, composti azotati, colorante, oli e grassi. Solfati, cloruri e fosforo sono presenti in quantità tali da rispettare già i limiti di legge (tab. 3.1).

Tab. 3.1: Concentrazioni di inquinanti in ingresso, in uscita e relativi limiti.

Parametri	refluo da trattare	refluo trattato	Valori di legge
COD	1000 mg/L	150 mg/L	400 mg/L
BOD ₅	400 mg/L	30 mg/L	100 mg/L
pH	9-11	7,5	6-9
Temperatura	40 °C	35 °C	Max 40 °C
Solidi sospesi	200 mg/L	20-40 mg/L	150 mg/L
Azoto Kjeldahl	30-40 mg/L	6-12 mg/L	100 mg/L
Ammoniaca	20-30 mg/L	4-8 mg/L	15 mg/L
Fosforo totale	3-5 mg/L	3-5 mg/L	15 mg/L
Solfati	1000-1500 mg/L	1000-1500 mg/L	1600 mg/L
Cloruri	1000-1500 mg/L	1000-1500 mg/L	1600 mg/L
Colorante	1/200 mg/L	1/20 mg/L	Clear discharge
Fenoli	3-5 mg/L	0,05 mg/L	1 mg/L
Olii e grassi	30-40 mg/L	< 5 mg/L	10 mg/L
DO (O ₂ disciolto)	0.5 mg/L	5 mg/L	4,5-8 mg/L
TDS (sali disciolti)	3500 mg/L	2000 mg/L	2100 mg/L

3.2 Descrizione dell'impianto

Le parti principali dell'impianto di depurazione sono schematizzate in fig. 3.1:

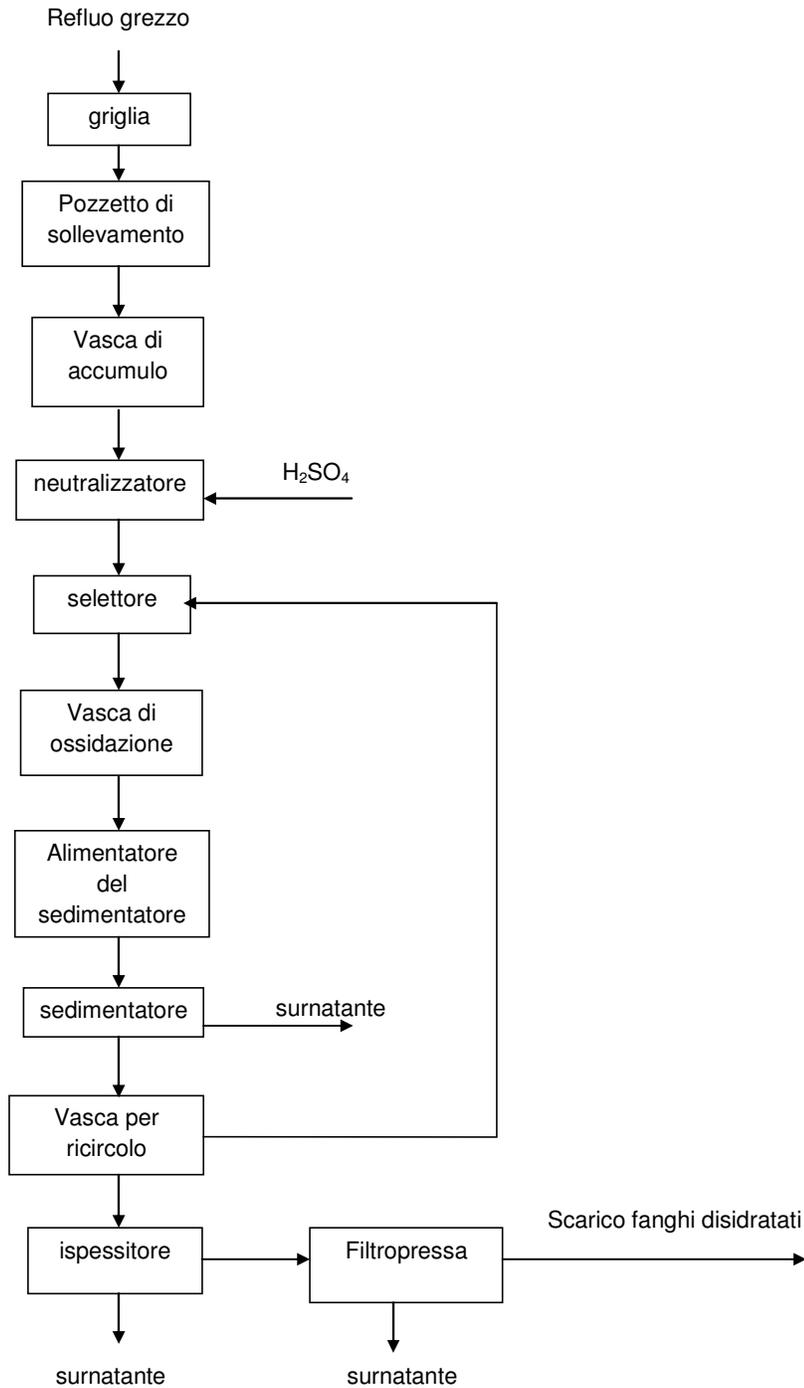


Fig. 3.1: Schema a blocchi dell'impianto di depurazione.

3.2.1 Linea di trattamento acque

Il refluo passa attraverso la griglia che rispetto al flusso orizzontale ha un angolo d'incidenza di 60°; la luce di passaggio è 10 mm. L'acqua e il materiale fine passano, mentre tutti i solidi di dimensioni maggiori di 10 mm vengono raccolti e trasportati per mezzo di pettini pulitori sulla parte superiore e da qui avviati allo smaltimento.

Dopo la grigliatura, il refluo confluisce in un pozzetto di sollevamento dal quale, per mezzo di 3 pompe centrifughe sommerse, viene inviato alla vasca di accumulo che ha la funzione di serbatoio polmone. In questo serbatoio il refluo, che ha portata e composizione variabile, viene omogeneizzato; esso è mantenuto miscelato e ossigenato per mezzo di un diffusore d'aria a bolle grosse. Questo processo, oltre ad evitare l'instaurarsi di condizioni anaerobiche, abbassa anche di qualche grado la temperatura. Il battente è di 7 m, il volume è di 4200 m³ e il tempo di residenza è di 20 h.

Segue un neutralizzatore, in cui si aggiunge acido solforico per neutralizzare il refluo inizialmente alcalino; il dosaggio dell'acido è controllato da un pHmetro che in base al pH misurato manda il segnale al PLC (*program logic controller*) che agisce sulla pompa dosatrice. Il volume è di 50 m³ e il tempo di residenza è di 15 min.

Il refluo passa poi nel selettore in cui si aggiunge al refluo fresco il fango di ricircolo rendendo le condizioni operative quasi del tutto anaerobiche riducendo o eliminando completamente gli eventuali batteri filamentosi: il fango di ricircolo infatti non contiene ossigeno, ma la vasca del selettore è aperta, quindi permette un minimo scambio di ossigeno alla superficie. Il volume è 52 m³ e il tempo di permanenza dell'acqua è di 15 minuti.

Nel reattore biologico, dimensionato per un carico volumetrico di 0,3 Kg_{BOD}/m³d e una concentrazione di biomassa pari a 5 Kg_{SSV}/m³, avvengono le reazioni di ossidazione della sostanza organica da parte dei batteri; l'aria è fornita tramite diffusori a bolle fini che mantengono una concentrazione minima di ossigeno disciolto pari a 2 mg/L. Il volume della vasca è di 10000 m³ e il tempo di residenza è di 48 h.

Il fluido così depurato confluisce nella vasca di alimentazione del sedimentatore e in seguito nel sedimentatore stesso. Nella vasca di sedimentazione circolare, avente un diametro di 29 m, il flusso del liquido è di tipo radiale: il refluo è introdotto dal basso

in corrispondenza del torrino centrale mediante una tubazione e i solidi sedimentano nel percorso verso la periferia. Il fondo del sedimentatore è inclinato verso il centro dello 0,08% in modo da convogliare il fango raccolto in una tramoggia di accumulo collegata al pozzetto dei fanghi addensati. Sono presenti anche alcuni raschiatori per facilitare l'afflusso dei fanghi al centro. La velocità massima che permette il deposito di materiale su fondo è di 0,3-0,4 m/h. L'acqua depurata esce dall'alto dallo sfioratore ed è scaricata in un fiume dopo un controllo della conducibilità elettrica.

3.2.2 Linea di trattamento fanghi

Il fango proveniente dal sedimentatore entra in un pozzetto da cui una parte viene ricircolata e mandata al selettore, mentre il resto deve subire un ispessimento.

In questo impianto si usa un ispessitore rettangolare a gravità di superficie di 24 m² e volume 90 m³; esso permette, in un tempo di residenza di 20 h, di portare la concentrazione di fango secco fino al 3-4%. Dato che il reattore biologico opera in ossidazione prolungata, il fango di supero estratto è già sufficientemente stabilizzato da non produrre emissioni di odori molesti e non richiede stabilizzazione ulteriore.

Il fango ispessito è poi inviato alla filtropressa. La quantità di fango disidratato scaricata ogni giorno è circa 2400 Kg/d, con un contenuto di secco del 18%.

3.3 Parametri di progetto

I parametri di progetto permettono il dimensionamento delle vasche dell'impianto e sono legati alla funzione che le vasche devono garantire: se deve avvenire una generica reazione, ad esempio, uno dei parametri fondamentali che regolano il processo continuo è il tempo di ritenzione, mentre in un processo fisico come nella sedimentazione è la velocità del refluo ad essere vincolata in un certo intervallo di valori.

I parametri che caratterizzano il processo biologico sono il rapporto tra i nutrienti, il fattore di carico organico, l'ossigeno disciolto e la produzione di fanghi di supero.

3.3.1 I nutrienti

Per assicurare la crescita della biomassa e quindi il processo biologico stesso, è necessaria una minima quantità di nutrienti (azoto e fosforo) in rapporto al carico di sostanza organica in ingresso (espressa come $\text{kg}_{\text{BOD}}/\text{d}$); in particolare deve essere:

$$\text{BOD} : \text{N} : \text{P} \approx 100 : 5 : 1$$

3.3.2 Il fattore di carico organico

Un parametro che caratterizza il grado di sviluppo dei microrganismi e quindi il grado di elaborazione delle sostanze biodegradabili che arrivano con il refluo, è il fattore di carico organico F_c , che per definizione è il rapporto tra la quantità di cibo fornita alla massa di microrganismi in un certo tempo e la massa di microrganismi stessa. Quanto più basso è il fattore di carico organico, tanto più elevati sono il tempo di detenzione e/o la concentrazione di microrganismi, cioè il grado di ossidazione e mineralizzazione per via biologica cui sono sottoposte le sostanze organiche.

Indicata la massa di solidi volatili SSV con la sigla M (Solidi Sospesi Volatili nella Miscela Aerata), il fattore di carico organico può essere indicato con la seguente espressione:

$$F_c = \frac{F}{M}$$

dove:

F = carico di BOD_5 che perviene nell'unità di tempo [$\text{kg}_{\text{BOD}_5}/\text{d}$]

M = massa totale di sostanze volatili presenti nella vasca di aerazione [kg_{SSV}]

Sostituendo

$$F = V_{in} * \text{BOD}_{in}$$

$$M = V * \text{SSV}$$

si può riscrivere F_c come:

$$F_c = \frac{V_{in} * BOD_{in}}{V * SSV}$$

in cui

V_{in} = portata di refluo in arrivo [m^3/d]

BOD_{in} = concentrazione di sostanza organica in ingresso [kg_{BOD}/m^3]

SSV = concentrazione di biomassa nella vasca [kg_{SSV}/m^3]

V = volume della vasca [m^3]

Un altro parametro utilizzato per caratterizzare il grado di trattamento ossidativo ottenibile negli impianti a fanghi attivi, è il fattore di carico volumetrico F_{cv} , definito come

$$F_{cv} = \frac{F}{V}$$

dove :

F = carico di BOD_5 che perviene nell'unità di tempo [kg_{BOD5}/d]

V = volume della vasca di aerazione [m^3]

In tabella 3.2 sono indicati gli usuali valori del fattore di carico organico e di quello volumetrico a seconda della tipologia dell'impianto.

Tab. 3.2: fattori di carico organico in funzione del tipo di impianto

Tipo di impianto	Fattore di carico organico F_c kg_{BOD5}/kg_{SSMAd}	Fattore di carico organico volumetrico F_{cv} kg_{BOD5}/m^3d		Tempo di ritenzione h
		Senza sedim. primaria	Con sedim. primaria	
	Masotti			
Aerazione prolungata	0.02-0.015 (<0.2)	< 0.1		10 - 78
Basso carico	0.2-0.3	< 0.1	0.70-1.05	5 - 7
Medio carico	0.3-0.5	0.1-0.5	1.05-1.75	3 - 5
Alto carico	0.5-0.8 (>0.5)	> 0.5	1.75-2.30	1,5 - 3

I valori della concentrazione di biomassa nella vasca di aerazione generalmente sono compresi tra 3 e 6 $\text{kg}_{\text{SS}}/\text{m}^3$, dato che concentrazioni minori ostacolerebbero la flocculazione.

3.3.3 Fabbisogno di ossigeno

Le formule per il calcolo dell'ossigeno necessario al processo biologico si trovano in letteratura. Tali formule devono essere modificate in base alle caratteristiche del refluo e all'efficienza dei dispositivi di aerazione. La formulazione più generale è:

$$O = I + aF + bM + 4,6mN_{in}$$

nella quale

O = fabbisogno di ossigeno (kg_O/d);

I = richiesta di ossigeno a causa dell'ossidazione di eventuali sostanze ridotte come solfuri e ferro bivalente (kg_O/d);

aF = consumo di ossigeno per l'ossidazione della sostanza organica; F è il carico giornaliero di BOD rimosso ($\text{kg}_{\text{BOD}}/\text{d}$) mentre a è il coefficiente di ossidazione, il quale dipende dal carico di fango e varia tra 0,50 - 0,65 $\text{kg}_O/\text{kg}_{\text{BOD}}$;

bM = quantità di ossigeno assorbita dalla respirazione endogena; M indica la biomassa totale nella vasca (kg_{SSV}) e b il coefficiente d'assorbimento che è funzione del carico del fango e varia nell'intervallo 0,05 - 0,15 $\text{kg}_O/\text{kg}_{\text{SSVd}}$;

4,6mN_{in} = termine che tiene conto del consumo di ossigeno per la nitrificazione dell'ammoniaca, in cui 4,6 è il coefficiente stechiometrico, m è il rendimento di nitrificazione e N_{in} è il carico giornaliero di azoto ammoniacale (kg_N/d).

Questa formula teorica viene poi corretta con coefficienti che tengono conto della difficoltà di diffusione dell'ossigeno nella torbida rispetto all'acqua pulita, e del rendimento dei dispositivi di ossigenazione.

In tab. 3.4 sono indicati gli intervalli dei valori del fabbisogno di ossigeno in funzione del tipo di impianto.

Tab. 3.4: fabbisogno di ossigeno a seconda del tipo di impianto

Tipo di impianto	Tempo di ritenzione	Fabbisogno di ossigeno
	h	$\text{kg}_{\text{O}_2}/\text{kg}_{\text{BOD}_5}$
Aerazione prolungata	10 - 78	1.4-1.6
Basso carico	5 - 7	1.1-1.3
Medio carico	3 - 5	0.8-1
Alto carico	1,5 - 3	0.4-0.7

L'ossigenazione del liquame può essere ottenuta con aeratori superficiali o per insufflazione d'aria. Nel primo caso il trasferimento di ossigeno avviene principalmente alla superficie della massa liquida grazie al movimento di un rotore dotato di pale di agitazione in combinazione con l' aspirazione dell'aria nel liquido; in questo modo si ha un forte arricchimento di ossigeno negli strati superiori della vasca e la sua successiva dispersione nell'intera massa liquida per effetto della circolazione prodotta dall'aeratore stesso. Nel secondo caso si hanno aeratori sul fondo della vasca che fanno gorgogliare l'ossigeno nel liquido; l'efficienza dell'insufflazione dipende dalle dimensioni delle bolle e dalla profondità alla quale sono posti gli aeratori. In questo impianto si effettua l'insufflazione d'aria tramite aeratori a membrana a bolle fini di massimo 3 mm di diametro. Ogni diffusore ha 7000 microfori dai quali insuffla l'aria (fig. 3.2).



Fig. 3.2: aeratori posti sul fondo della vasca biologica

E' essenziale che il valore di ossigeno sia sempre controllato perché, nel caso in cui non fosse in quantità sufficiente, potrebbero formarsi batteri filamentosi; questi batteri causano il fenomeno del Bulking, il quale consiste nel rigonfiamento del fiocco di fango e quindi nell'aumento del volume specifico e determina una riduzione della velocità di sedimentazione e una minor compattazione. Oltre a ciò, il refluo presenta peggiori caratteristiche di disidratabilità.

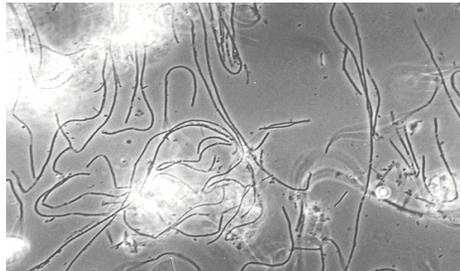


Fig. 3.3: batteri filamentosi

3.3.4 Fanghi di supero

Per impedire l'accumulo della biomassa occorre estrarne periodicamente una certa quantità da un pozzetto collegato al sedimentatore. In questo caso è disponibile un pozzetto in cui viene divisa la corrente di fango in uscita dal sedimentatore nelle correnti del ricircolo e di spurgo.

La produzione di fanghi di supero è influenzata principalmente dal carico del fango, ed è tanto più bassa quanto più basso è questo, come rappresentato in fig. 3.4. Altri parametri che dipendono dal carico del fango sono:

- Età del fango: è il rapporto tra la quantità di fango presente nel reattore biologico e la quantità di fango prodotta giornalmente, si esprime in giorni;
- Tasso di crescita giornaliera: è il reciproco dell'età del fango e si esprime in d^{-1} ;
- Indice di produzione o produzione specifica di fango: è il rapporto tra la quantità di fango di supero prodotta e il carico di BOD abbattuto, si esprime in kg_{SS}/kg_{BOD} .

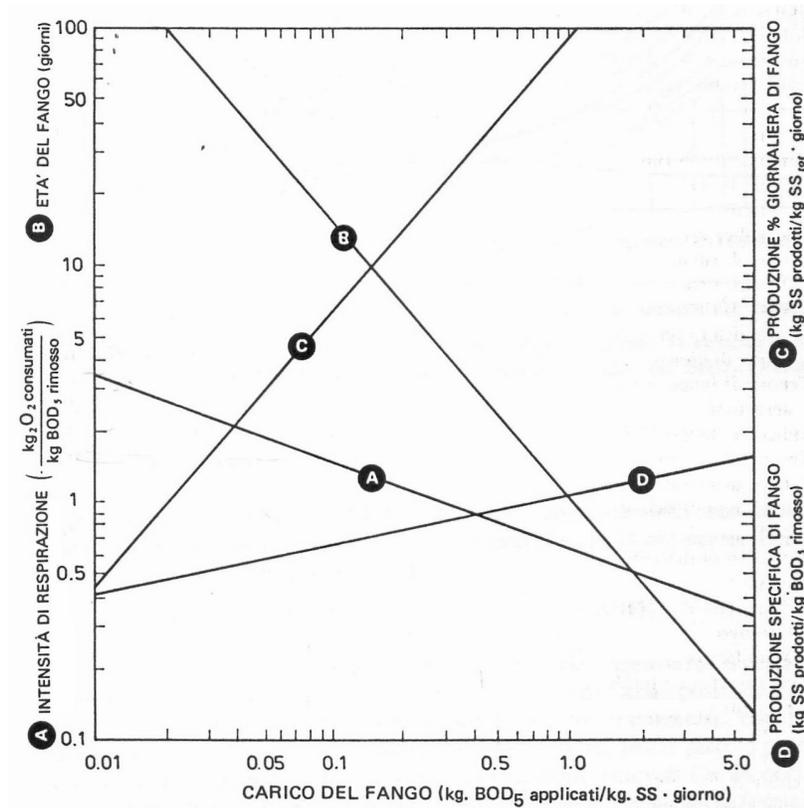


Fig. 3.4: dipendenza dell'età del fango (B), del tasso di crescita giornaliera (C) e dell'indice di produzione del fango (D) in funzione del fattore di carico organico.

3.4 Dimensionamento

A seconda dei parametri vincolati nei vari processi dell'impianto (i vincoli sono solitamente ricavati empiricamente) è possibile tramite semplici calcoli dimensionare gli elementi dell'impianto.

3.4.1 Vasca di accumulo

Il tempo di ritenzione t per un'adeguata equalizzazione e omogeneizzazione è di 20 ore. Dato che la portata volumetrica è pari a

$$V_{in} = 5000 \frac{m^3}{d} = 208,33 \frac{m^3}{h}$$

il volume della vasca è dato da

$$V = V_{in} * t = 208,33 \frac{m^3}{h} * 20 h = 4166 m^3$$

Il risultato viene arrotondato a 4200 m³.

3.4.2 Selettore

Il tempo di ritenzione deve essere di 15 minuti. La portata volumetrica in minuti risulta

$$V_{in} = 5000 \frac{m^3}{d} = 3,46 \frac{m^3}{min}$$

Il volume del selettore si ricava da

$$V = V_{in} * t = 3,46 \frac{m^3}{min} * 15 min = 52 m^3$$

3.4.3 Vasca di ossidazione

Il tempo di ritenzione è di 48 h. Il BOD₅ da rimuovere in fase ossidativa è 3000 kg/d.

Il fattore di carico organico F_c, generalmente compreso tra 0,05 e 0,1, in questo caso vale 0,06 1/d.

$$F_c = \frac{BOD}{V SSV} \left[\frac{1}{d} \right]$$

per cui è possibile ricavarsi il volume

$$V = \frac{BOD}{F_c SSV} = \frac{3000 kg/d}{0,06 \frac{1}{d} * 5 \frac{kg}{m^3}} = 10000 m^3$$

Come verifica si può adottare lo stesso procedimento usato per le altre vasche dell'impianto, ovvero dato un tempo di ritenzione di 48h

$$V = V_{in} * t = 208,33 \frac{m^3}{h} * 48h = 9999,84m^3$$

Questo risultato viene approssimato a 10000m³, esattamente il valore calcolato in precedenza.

3.4.4 Sedimentatore

L'intervallo di velocità che garantisce un buon livello di sedimentazione è tra 0,3 m/h e 0,4 m/h. In questo impianto è mantenuta costante al valore di 0,32m/h. Tenendo conto di ciò e dal momento che la portata volumetrica è sempre di 208,33 m³/h, si deduce che la superficie del sedimentatore è

$$S = \frac{V_{in}}{v} = \frac{208,33 \text{ m}^3/h}{0,32 \text{ m/h}} = 651,03 \text{ m}^2$$

Trovata la superficie si ricava facilmente il raggio

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{651,03m^2}{\pi}} = 14,39 \text{ m}$$

e il diametro

$$d = 2 * r = 2 * 14,39m = 28,79m$$

Si approssima il diametro a 29 m.

CONCLUSIONI

La disciplina degli scarichi è regolata da apposite normative che stabiliscono i limiti di emissione per la tutela delle acque e la salvaguardia dell'ambiente. Per rispettare tali limiti, assumono quindi particolare rilevanza la progettazione e la gestione di impianti di depurazione delle acque.

In questo elaborato è stato trattato il caso della depurazione di un refluo proveniente da un'industria tessile, in particolare da una tintoria.

L'aspetto su cui è stata posta l'attenzione è stata la progettazione dell'impianto: tramite l'analisi dei parametri di progetto, è stato possibile eseguire un primo dimensionamento di massima dei costituenti principali.

Il refluo viene prodotto in modo discontinuo durante le sole ore di lavoro, quindi viene accumulato in una vasca di equalizzazione e da qui pompato all'impianto con portata costante di 5000 m³/d; esso ha un pH basico e una temperatura di 40°C. Gli inquinanti del refluo sono principalmente solidi sospesi, composti azotati, colorante, oli e grassi.

Per depurare l'influente sono stati selezionati processi quali grigliatura (la luce di passaggio è di 10 mm), omogeneizzazione e equalizzazione in una vasca di 4200 m³ e neutralizzazione in una di 50 m³. A valle di questi è stato scelto un processo di tipo biologico aerobico in un reattore da 10000 m³ con una concentrazione di biomassa pari a 5 Kg_{SSV}/m³, nel quale opportuni microorganismi utilizzano le sostanze organiche presenti nel refluo per sintetizzare sostanze necessarie alla loro vita e riproduzione. Infine la sedimentazione in una vasca di diametro di 19 m con fondo inclinato separa i fiocchi di fango dall'effluente depurato. Per quanto riguarda la linea dei fanghi, sono stati scelti trattamenti quali l'ispessimento in una vasca da 90 m³ e la disidratazione tramite filtropressa, da cui sono scaricati 2400 kg/d di fango disidratato con un contenuto di secco del 18%.

Il lavoro continuerà dopo la costruzione e l'avviamento dell'impianto.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Metcalf & Eddy, “Ingegneria delle acque reflue. Trattamento e riuso” ed. McGraw Hill;
- Masotti, “Depurazione delle acque. Tecniche e impianti per il trattamento delle acque di rifiuto”, ed. Calderini;
- Eckenfelder, Musterman, “Activated sludge treatment of industrial wastewater”, Technomic publishing company;
- Roberto Passino, “Manuale di conduzione degli impianti di depurazione delle acque”; ed. Zanichelli/Esac;
- Sigmund, “Teoria e pratica della depurazione delle acque reflue”, Flaccovio editore;
- *Gazzetta Ufficiale* n. 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96: Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152.