



Dario Flaccovio Editore



[Scheda sul sito >](#)

Giovanni De Feo - Sabino De Gisi - Maurizio Galasso

# FANGHI DI DEPURAZIONE

**PRODUZIONE, CARATTERIZZAZIONE E TRATTAMENTO**

Giovanni De Feo   Sabino De Gisi   Maurizio Galasso

# FANGHI DI DEPURAZIONE

PRODUZIONE, CARATTERIZZAZIONE E TRATTAMENTO



Dario Flaccovio Editore

Giovanni De Feo Sabino De Gisi Maurizio Galasso  
FANGHI DI DEPURAZIONE

ISBN 9788857902111

© 2013 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686  
[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: ottobre 2013

De Feo, Giovanni <1969->

Fanghi di depurazione : produzione, caratterizzazione e trattamento /  
Giovanni De Feo, Sabino De Gisi, Maurizio Galasso. - Palermo : D. Flaccovio, 2013.

ISBN 978-88-579-0211-1

I. Fanghi di depurazione – Trattamento.

I. De Gisi, Sabino <1980->.

II. Galasso, Maurizio <1953->.

628.364 CDD-22

SBN PAL0260.949

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, ottobre 2013

#### RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo tutti coloro che hanno direttamente e indirettamente contribuito alla stesura di questo lavoro. Si ringraziano tutte le aziende citate nel testo. Rivolgiamo, infine, un ringraziamento anticipato a chi vorrà segnalarci errori e osservazioni utili a migliorare il volume.

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

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

# INDICE

Premessa

## 1. PRODUZIONE, CARATTERIZZAZIONE E TRATTAMENTO DEI FANGHI DI DEPURAZIONE

1.1.	Cenni introduttivi.....	pag.	9
1.2.	Caratterizzazione dei fanghi.....	»	11
1.3.	Caratterizzazione quantitativa.....	»	12
1.4.	Caratterizzazione qualitativa.....	»	13
1.5.	La produzione di fanghi da trattamenti primari.....	»	15
1.6.	La produzione di fanghi da trattamenti biologici.....	»	16
1.7.	La produzione di fanghi da trattamenti chimico-fisici.....	»	19
1.8.	Trattamenti comuni a tutti i tipi di fango.....	»	19
1.8.1.	Ispessimento.....	»	19
1.8.1.1.	Ispessimento a gravità per co-sedimentazione.....	»	20
1.8.1.2.	Ispessimento a gravità con vasca dedicata.....	»	21
1.8.1.3.	Ispessimento per flottazione.....	»	27
1.8.1.4.	Ispessimento per addensamento dinamico.....	»	29
1.8.1.5.	Ispessimento su nastri a gravità.....	»	31
1.8.1.6.	Criteri di scelta.....	»	33
1.8.2.	Disidratazione.....	»	34
1.8.2.1.	Centrifughe.....	»	35
1.8.2.2.	Filtropresse a camera.....	»	40
1.8.2.3.	Nastropresse.....	»	47
1.8.2.4.	Letti di essiccamento.....	»	54
1.8.2.5.	Sacchi drenanti.....	»	57
1.8.2.6.	Il condizionamento chimico del fango per la disidratazione.....	»	58
1.8.2.7.	Considerazioni sui criteri di scelta dell'unità di disidratazione.....	»	62
1.8.3.	Essiccamento termico.....	»	63
1.9.	Trattamento dei fanghi.....	»	71
1.9.1.	Trattamento dei fanghi primari.....	»	71
1.9.2.	Trattamento dei fanghi biologici.....	»	71
1.9.3.	Trattamento dei fanghi da processi chimico-fisici.....	»	72
1.10.	Sistemi per il contenimento della produzione dei fanghi.....	»	72
1.10.1.	Stabilizzazione aerobica.....	»	72
1.10.1.1.	Dimensionamento della digestione aerobica semplice senza ispessimento simultaneo.....	»	76
1.10.1.2.	Dimensionamento della digestione aerobica con ispessimento simultaneo.....	»	76
1.10.1.3.	Alcune considerazioni sulle vasche di digestione aerobica.....	»	78
1.10.2.	Stabilizzazione chimica (alcalinizzazione).....	»	79
1.10.3.	Ozonizzazione.....	»	83
1.10.4.	Ossidazione a umido.....	»	84
1.10.5.	ATAD.....	»	86
1.10.6.	Elettrocompostaggio.....	»	87
1.10.7.	Sistema Cannibal®.....	»	88
1.11.	Esempi numerici.....	»	90
1.11.1.	Esempio numerico sul dimensionamento di un ispessitore a gravità.....	»	90
1.11.2.	Esempio numerico sul dimensionamento di uno stabilizzatore aerobico.....	»	94
1.11.3.	Esempio numerico sul dimensionamento di un sistema di filtropresse per fanghi prodotti da un impianto di depurazione per reflui urbani.....	»	96
1.11.4.	Esempio numerico sul dimensionamento di un sistema di nastropresse per fanghi prodotti da un impianto di depurazione per reflui urbani.....	»	99
1.11.5.	Esempio numerico sul dimensionamento dei letti di essiccamento per la disidratazione naturale dei fanghi prodotti da un impianto di depurazione per reflui urbani.....	»	101
1.12.	Bibliografia.....	»	103

**2. STABILIZZAZIONE ANAEROBICA DEI FANGHI E RECUPERO ENERGETICO**

2.1.	Cenni introduttivi.....	»	105
2.2.	Digestione anaerobica.....	»	105
2.2.1.	Il ruolo della temperatura nella digestione anaerobica .....	»	106
2.2.2.	Metabolismo batterico .....	»	108
2.2.3.	Fasi della digestione .....	»	109
2.2.4.	Condizioni operative e parametri di processo .....	»	111
2.2.4.1.	Parametri di gestione .....	»	111
2.2.4.2.	Parametri di processo .....	»	113
2.2.5.	Inibizione e tossicità .....	»	116
2.2.6.	Principali modalità di digestione anaerobica.....	»	117
2.2.6.1.	Digestione a singolo stadio psicrofila (digestione fredda) .....	»	117
2.2.6.2.	Digestione a singolo stadio riscaldata .....	»	119
2.2.6.3.	Digestione a doppio stadio senza ricircolo .....	»	120
2.2.6.4.	Digestione separata.....	»	121
2.2.6.5.	Digestione a due stadi con ricircolo.....	»	122
2.2.6.6.	Digestione mesofila e termofila .....	»	122
2.2.6.7.	Digestione con stadi a diversa temperatura.....	»	124
2.2.6.8.	Digestione con fasi acidogena e metanigena separate .....	»	125
2.2.6.9.	Digestione combinata di fanghi e FORSU.....	»	125
2.2.7.	Dimensionamento dei volumi dei digestori anaerobici.....	»	129
2.2.7.1.	Alcune considerazioni sul dimensionamento .....	»	130
2.2.7.2.	Digestione psicrofila monostadio (digestione a freddo) .....	»	131
2.2.7.3.	Digestione mesofila monostadio (digestione a medio carico) .....	»	133
2.2.7.4.	Digestione mesofila a doppio stadio, ad alto carico senza ricircolo dei fanghi .....	»	135
2.2.7.5.	Digestione mesofila a doppio stadio, ad alto carico con ricircolo dei fanghi .....	»	135
2.2.8.	Produzione di biogas, potenza di miscelazione e fabbisogno di calore per il riscaldamento.....	»	136
2.2.8.1.	Stima della produzione di biogas .....	»	136
2.2.8.2.	Stima della potenza di miscelazione .....	»	138
2.2.8.3.	Stima del fabbisogno di calore per il riscaldamento .....	»	139
2.2.9.	Rendimento della digestione, produzione e qualità del surnatante, produzione teorica del fango digerito .....	»	143
2.2.9.1.	Rendimento della digestione .....	»	143
2.2.9.2.	Produzione e qualità del surnatante.....	»	144
2.2.9.3.	Produzione teorica del fango digerito .....	»	146
2.2.10.	Modalità realizzative e particolari costruttivi.....	»	146
2.2.10.1.	Tipologie di digestori.....	»	146
2.2.10.2.	Tipologie di coperture dei digestori.....	»	148
2.2.10.3.	Dispositivi di miscelazione .....	»	149
2.2.10.4.	Dispositivi di riscaldamento .....	»	153
2.2.10.5.	Dispositivi per lo stoccaggio del biogas .....	»	154
2.2.10.6.	Dispositivi per il trattamento del biogas.....	»	158
2.2.10.7.	L'equipaggiamento dei digestori .....	»	167
2.2.11.	Utilizzazione del biogas .....	»	170
2.2.12.	Cenni sulla produzione di idrogeno.....	»	170
2.2.13.	Esempi di realizzazioni.....	»	171
2.3.	Incenerimento .....	»	177
2.4.	Gassificazione e pirolisi .....	»	177
2.5.	Esempi numerici .....	»	177
2.5.1.	Esempio numerico di dimensionamento di un digestore psicrofilo monostadio in un impianto di depurazione per reflui urbani.....	»	177
2.5.2.	Esempio numerico di dimensionamento di un digestore mesofilo monostadio in un impianto di depurazione per reflui urbani.....	»	180
2.6.	Bibliografia.....	»	186

## PREMESSA

I fanghi di depurazione costituiscono il principale residuo dei trattamenti depurativi (soprattutto dei processi di sedimentazione) e in essi si concentrano gli inquinanti rimossi dalle acque reflue. La loro gestione è fonte dei principali problemi degli impianti di depurazione dal punto di vista sia tecnico sia economico e, non di rado, sono causa di controversie legali.

I processi di trattamento cui i fanghi devono essere sottoposti dipendono dalla loro specifica natura, sebbene ispessimento e disidratazione siano generalmente sempre presenti. L'ispessimento è il processo finalizzato a una preliminare riduzione del contenuto di acqua dei fanghi. La disidratazione, invece, mira a ridurre al minimo la presenza di acqua nei fanghi – prima che gli stessi escano dall'impianto – riducendo, in tal modo, i corrispondenti costi di trasporto e smaltimento.

Per quanto attiene alle unità d'ispessimento, sono descritte le seguenti tipologie:

- a gravità per co-sedimentazione;
- a gravità con vasca dedicata;
- per flottazione;
- per addensamento dinamico;
- su nastri a gravità.

La disidratazione, invece, è discussa con riferimento alle seguenti opzioni tecnologiche: centrifughe, filtropresse a camera, nastropresse, letti di essiccamento, sacchi drenanti.

Nel volume sono svolte considerazioni utili per scegliere al meglio le unità d'ispessimento e di disidratazione. Il testo, inoltre, è corredato di esempi numerici sul dimensionamento di un ispessitore a gravità, e sul dimensionamento di un sistema di filtropresse, di nastropresse e di letti di essiccamento per la disidratazione dei fanghi prodotti da un impianto di depurazione per reflui urbani. Anche all'essiccamento termico, che sfrutta il calore (anche residuo) per far evaporare l'acqua presente nei fanghi di depurazione, è dedicata una certa attenzione. I processi di digestione biologica e i processi di condizionamento e stabilizzazione chimica sono sviluppati in funzione delle specifiche caratteristiche dei fanghi da trattare.

Per i piccoli e medi impianti di depurazione risulta particolarmente indicato il processo di digestione aerobica, per il quale è anche sviluppato un esempio numerico sul dimensionamento di uno stabilizzatore aerobico. L'importanza delle questioni concernenti il recupero energetico fa sì che la digestione anaerobica dei fanghi abbia assunto una tale rilevanza da meritare una trattazione approfondita. In particolare vengono approfonditi i seguenti aspetti della gestione anaerobica:

- il ruolo della temperatura;
- il metabolismo batterico;
- le fasi della digestione;
- le condizioni operative;
- i parametri di processo;

- l'inibizione e la tossicità;
- le principali modalità di digestione anaerobica;
- il dimensionamento dei volumi dei digestori anaerobici;
- la produzione di biogas;
- la potenza di miscelazione e il fabbisogno di calore per il riscaldamento;
- il rendimento della digestione;
- la produzione e la qualità del surnatante;
- la produzione teorica del fango digerito;
- le modalità realizzative e i particolari costruttivi;
- l'utilizzazione del biogas;
- la produzione di idrogeno (cenni);
- gli esempi di realizzazioni.

L'argomento è completato da un esempio numerico di dimensionamento di un digestore psicrofilo monostadio e un esempio di dimensionamento di un digestore mesofilo monostadio in un impianto di depurazione per reflui urbani.

Gli autori

# 1. PRODUZIONE, CARATTERIZZAZIONE E TRATTAMENTO DEI FANGHI DI DEPURAZIONE

## 1.1. Cenni introduttivi

Il principale residuo dei trattamenti depurativi è il fango di depurazione, ovvero una sospensione concentrata di solidi di varia natura, organici e inorganici, con una percentuale di sostanze secche (detta *secco*) variabile in funzione del processo che l'ha generato. I fanghi di depurazione sono principalmente prodotti nei processi di sedimentazione; si parla tipicamente di *fanghi primari* riferendosi ai fanghi prodotti nella sedimentazione primaria, di *fanghi secondari* (o anche *fanghi del biologico*) riferendosi, invece, ai fanghi prodotti nella sedimentazione secondaria e, infine, di *fanghi misti* riferendosi a un miscuglio di fanghi primari e secondari. In funzione del tipo di trattamento secondario, i fanghi secondari possono derivare da trattamenti a colture sospese (i *fanghi attivi* di ricircolo o di supero), a colture adese (i fanghi dei letti percolatori, dei biodischi, ecc.) o anche da trattamenti misti (ad esempio gli MBBR). I fanghi, inoltre, possono residuare oltre che da semplici operazioni di tipo fisico o di tipo biologico anche da processi di tipo chimico-fisico (fanghi di precipitazione o di chiariflocculazione). Anche le soluzioni di rigenerazione delle resine, i concentrati dei trattamenti evaporativi e dei trattamenti a membrana confluiscono all'interno della *linea fanghi*. Sono pochi i processi depurativi che non generano residui, né sotto forma di fanghi né sotto forma di soluzioni concentrate. Fanno eccezione una serie di reazioni di ossidazione (disinfezione, ossidazione con ozono e perossidi, trattamento con raggi UV, ecc.) e qualche altra reazione chimica come, ad esempio, la neutralizzazione.

È opportuno evidenziare che il fango rappresenta uno dei maggiori problemi gestionali degli impianti di depurazione dal punto di vista sia tecnico sia economico. È quanto mai emblematico a tal proposito un detto noto tra i gestori degli impianti di depurazione:

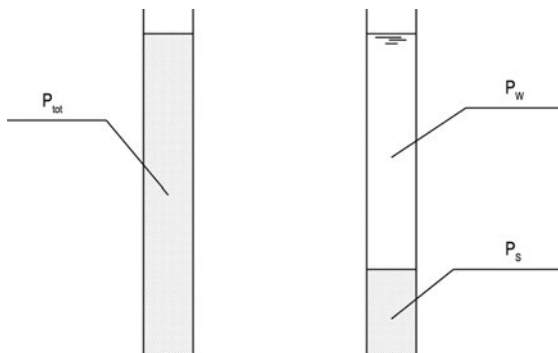


Figura 1.1  
Schema di riferimento  
per il calcolo del contenuto  
di secco e del contenuto di acqua  
di un campione di fango  
(nel campione di destra  
il secco e l'acqua sono stati  
idealmente separati)



“Sebbene i fanghi siano solo un centesimo rispetto alle acque reflue che arrivano in impianto, essi sono fonte di più del cinquanta per cento dei grattacapi del gestore!”. Lo smaltimento dei fanghi rientra nella più ampia attività di smaltimento dei rifiuti solidi, di cui essi fanno parte.

I trattamenti cui i fanghi devono essere sottoposti dipendono, chiaramente, dalla loro natura, sebbene vi sono alcune operazioni comuni a tutti i tipi di fango, tra cui: l'ispessimento, finalizzato a una preliminare riduzione del contenuto di acqua dei fanghi e la disidratazione, che ha l'obiettivo di ridurre al minimo la presenza di acqua. Un minore contenuto di acqua, infatti, significa minori volumi da trasportare e da smaltire e, quindi, minori costi. A tal proposito s'introducono due definizioni fondamentali: il contenuto di solidi e il contenuto di acqua.

Con riferimento alla figura 1.1, il contenuto di solidi del fango, anche noto come *contenuto di sostanze secche* ( $S$ , %), o più semplicemente *secco*, è definito come segue:

$$S = \frac{P_S}{P_{tot}} \cdot 100 = \frac{P_S}{P_S + P_W} \cdot 100 = \frac{1}{1 + \frac{P_W}{P_S}} \cdot 100 \quad (1.1)$$

dove

$P_S$  = peso di solidi

$P_{tot} = P_S + P_W$  = peso totale

$P_W$  = peso d'acqua.

Il contenuto d'acqua del fango ( $W$ , %) è, ovviamente, pari a:

$$W = \frac{P_W}{P_{tot}} \cdot 100 = \frac{P_W}{P_S + P_W} \cdot 100 = \frac{1}{1 + \frac{P_S}{P_W}} \cdot 100 \quad (1.2)$$

Per la complementarietà che sussiste tra  $S$  e  $W$ :

$$S + W = 100 \rightarrow \begin{cases} S = 100 - W \\ W = 100 - S \end{cases} \quad (1.3)$$

Per prendere familiarità con questi semplici concetti e avere un'idea dell'importanza dei processi di riduzione del tenore d'acqua, si supponga di disporre di  $1 \text{ m}^3$  di fanghi corrispondenti a circa  $1000 \text{ kg}$  ( $P_{tot}$ ). In accordo con Bonomo (2008), infatti, per fanghi non disidratati si può assumere il peso specifico dell'acqua ( $1 \text{ t/m}^3$ ,  $1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $1 \text{ kg/l}$ ). Un tenore di secco dell'uno per cento nei fanghi ( $S = 1\%$ ), implica:

$$\begin{cases} P_S = \frac{1}{100} \cdot 1000 \text{ kg} = 10 \text{ kg} \\ P_W = 1000 - 10 = 990 \text{ kg} \end{cases} \quad (1.4)$$

Raddoppiando il secco si verificherà, ovviamente, un dimezzamento del peso e del volume totale di fanghi:

$$S = \frac{P_S}{P_{tot}} \cdot 100 \rightarrow P_{tot} = P_S \cdot \frac{100}{S} = 10 \text{ kg} \cdot \frac{100}{2} = 500 \text{ kg} \rightarrow 0,5 \text{ m}^3 \quad (1.5)$$

Passare dall'1% al 2% di secco, su 1 m<sup>3</sup> di fanghi, consente di evitare il trasporto e lo smaltimento di 500 litri d'acqua, sebbene aumentare il tenore di secco comporti, ovviamente, i suoi costi. È necessario, pertanto, saper bilanciare sapientemente vantaggi e svantaggi. Il presente capitolo intende fornire al tecnico gli elementi per le più appropriate valutazioni. Per quanto attiene alle unità di ispessimento, nel capitolo sono descritte le seguenti tipologie: a gravità per co-sedimentazione, a gravità con vasca dedicata, per flottazione, per addensamento dinamico, su nastri a gravità. La disidratazione, invece, è discussa con riferimento alle seguenti opzioni tecnologiche: centrifughe, filtropresse a camera, nastropresse, letti di essiccamento, sacchi drenanti.

Per ottenere valori di secco superiori rispetto a quelli ottenibili con i metodi convenzionali di disidratazione, si può fare ricorso all'essiccamento termico, che consiste nell'impiego di calore per l'evaporazione dell'acqua. A quest'argomento è dedicato uno specifico paragrafo, a valle del quale sono affrontati il trattamento dei fanghi primari, dei fanghi biologici e dei processi chimico-fisici. Nell'impostazione data al capitolo gli autori hanno previsto di inserire i trattamenti di digestione e condizionamento chimico tra i sistemi per il contenimento della produzione dei fanghi. Essi, infatti, sono comunque finalizzati alla riduzione della quantità di fanghi da smaltire. Alla digestione anaerobica, a ragione della sua importanza e delle sue peculiarità ai fini energetici, è dedicato il capitolo 2. Il capitolo si completa con la descrizione di altri sistemi per il contenimento della produzione dei fanghi:

- la stabilizzazione chimica (alcalinizzazione);
- l'ozonizzazione;
- l'ossidazione a umido;
- una particolare applicazione della digestione aerobica, nota con l'acronimo ATAD (*Au-tothermal Thermophilic Aerobic Digestion*);
- l'elettrocompostaggio;
- il sistema Cannibal®.

Il capitolo, infine, è corredato dai seguenti esercizi numerici:

- dimensionamento di un ispessitore a gravità;
- dimensionamento di uno stabilizzatore aerobico;
- dimensionamento di un sistema di filtropresse per fanghi prodotti da un impianto di depurazione per reflui urbani;
- dimensionamento di un sistema di nastropresse per fanghi prodotti da un impianto di depurazione per reflui urbani;
- dimensionamento dei letti di essiccamento per la disidratazione naturale dei fanghi prodotti da un impianto di depurazione.

## 1.2. Caratterizzazione dei fanghi

In primo luogo è bene sottolineare che la caratterizzazione quali-quantitativa dei fanghi è la prima operazione che deve essere portata a termine nella progettazione della linea di trattamento. La stima delle quantità di fanghi prodotti è il primo passo da compiere per procedere al dimensionamento delle fasi di trattamento, mentre la scelta del ciclo di trattamento dipende esclusivamente dalla natura del fango. Per gli impianti di tipo civile può essere sufficiente il ricorso a dati di letteratura, mentre per reflui industriali è sempre necessario procedere a prove di laboratorio, oppure, quando la situazione si presenta particolarmente complessa e qualora ci siano le necessarie risorse economiche, a prove su impianti pilota.

Fanghi con un elevato tenore di solidi volatili (vss) e, in particolare, solidi colloidali facil-

mente putrescibili, necessitano di trattamenti di digestione (di natura biologica). Fanghi con un elevato contenuto di solidi minerali, invece, non potendo essere digeriti per via biologica, sono tipicamente sottoposti a una stabilizzazione chimica.

I fanghi contengono, in forma concentrata, tutti gli inquinanti rimossi dalle acque reflue, per mezzo dei processi adottati nelle diverse unità di trattamento della linea liquami. In prima approssimazione, come anticipato, i fanghi si possono dividere in:

- fanghi primari, provenienti dai trattamenti corrispondenti (sedimentazione e flottazione primaria);
- fanghi di supero biologico ottenuti dai trattamenti di ossidazione biologica;
- fanghi chimici, conseguenti ai trattamenti chimico-fisici.

Ai fini del trattamento, essi possono essere gestiti separatamente o in combinazione (fanghi misti).

### 1.3. Caratterizzazione quantitativa

La quantità di fanghi varia in funzione del tipo di trattamento della linea acque che li produce. Negli impianti per acque reflue urbane le quantità prodotte variano significativamente, a seconda che l'impianto sia dotato o meno della sedimentazione primaria, come pure il trattamento biologico secondario sia a colture adese o sospese. In tal senso sono molto esplicitivi i dati riportati in tabella 1.1. A ragione degli elevati costi di smaltimento, sempre di più in fase di progettazione è necessario porre adeguata attenzione nella scelta dei sistemi di trattamento della linea liquami, al fine di ridurre il più possibile le quantità di fanghi prodotti. Oltre le motivazioni di carattere economico, la minore disponibilità di discariche e la maggiore attenzione del legislatore hanno ulteriormente reso difficile e delicata la fase di smaltimento finale dei fanghi, sebbene oggi vi siano molte più possibilità rispetto al passato.

La produzione di fango da processi chimici, quali la chiariflocculazione, dipende sia dal tenore di TSS presenti nel refluo da trattare sia dalla loro natura e dal conseguente dosaggio di reattivi chimici necessario per il loro abbattimento. La produzione di fango nel caso di trattamenti biologici, invece, è influenzata sia dalla tecnologia adottata per trattare i reflui sia dai parametri di processo. In particolare, il fattore di carico organico (o carico del fango) influenza notevolmente sia la quantità sia la qualità del fango prodotto nei sistemi a colture sospese, mentre per le colture adese il principale parametro di riferimento è il carico organico volumetrico.

Come già anticipato nell'introduzione e mostrato nella tabella 1.1 (alla voce secco), i solidi costituiscono solo una parte minoritaria del volume del fango.

**Tabella 1.1. Produzione pro-capite di fanghi su base secca e umida, in uscita dalla linea acque e riferita a liquami domestici (fonte: Bonomo, 2008)**

Tipo di impianto	Produzione pro-capite (g/ab/d)	Umidità (%)		Secco (%)	Volume pro-capite (l/ab/d)
		Intervallo	Valore tipico	Valore tipico	
Fango primario	50-55	93-96	95	5	1,00
Fango attivo di supero (su liquame chiarificato)	22-30	98,5-99	99	1	3,00
Fango biologico da percolatore a basso carico (su liquame chiarificato)	13-18	93-96	95	5	0,33

*segue*

segue

Tipo di impianto	Produzione pro-capite (g/ab/d)	Umidità (%)		Secco (%)	Volume pro-capite (l/ab/d)
		Intervallo	Valore tipico	Valore tipico	
Fango biologico da percolatore intensivo (su liquame chiarificato)	20-25	94-97	95	5	0,47
Fango attivo di supero in assenza di sedimentazione primaria	55-60	98,5-99	98,8	1,2	4,50
Fango attivo di supero da impianti ad aerazione prolungata	50-55	98,5-99	98,8	1,2	4,00
Fango misto primario e biologico da fanghi attivi	70-80	96-98	97	3	2,50
Fango misto primario e da percolatore a debole carico	65-70	95-96	96	4	1,30
Fango misto primario e da percolatore intensivo	70-80	95-96	96,5	3,5	1,70

#### 1.4. Caratterizzazione qualitativa

La caratterizzazione qualitativa dei fanghi deve, ovviamente, essere condotta per via analitica in laboratorio. Le caratteristiche di qualità del fango dipendono fortemente dalla qualità del refluo in ingresso, sia per i reflui industriali sia per i reflui urbani. In questi ultimi, infatti, oltre ai reflui di provenienza domestica, possono essere presenti gli scarichi d'insediamenti commerciali, artigianali e industriali. Molti inquinanti, tra cui i metalli e i composti organici liposolubili, si condensano nei fanghi dando luogo a concentrazioni elevate in fase solida. Notevole influenza sulle caratteristiche qualitative dei fanghi riveste anche il tipo di trattamento delle acque reflue, l'aggiunta di *chemicals*, l'attività biologica, ecc.

Alcuni parametri che caratterizzano i fanghi (come i solidi a 105 °C e a 600 °C) sono specificatamente legati alle modalità con le quali essi sono prodotti (ad esempio sono caratteristiche influenzate dalla presenza di fanghi primari o dall'età del fango biologico di supero) o, comunque, fortemente influenzati dai trattamenti subiti dagli stessi (digestione aerobica, digestione anaerobica, stabilizzazione chimica). Anche il tenore di macroelementi (carbonio organico, azoto totale e fosforo totale) deriva dai trattamenti subiti dal liquame, oltre che dalla natura del refluo di origine, basti pensare agli impianti con fasi di defosfatazione chimica o biologica che accumulano nei fanghi quantità di fosforo superiori a quelli degli impianti privi di tali fasi.

Le tabelle 1.2, 1.3 e 1.4 riportano, rispettivamente, il contenuto di solidi e nutrienti dei fanghi di depurazione non stabilizzati, la composizione chimica media di fanghi non trattati e digeriti e il contenuto medio di metalli nei fanghi di depurazione di reflui urbani.

**Tabella 1.2. Contenuto di solidi e nutrienti dei fanghi di depurazione non stabilizzati (fonte: Bonomo, 2008; Metcalf & Eddy, 2006)**

Parametro	Unità	Fango primario	Fango attivo
Solidi volatili	% su TSS	60-80	65-85
Azoto totale	% su TSS	1,5-4,0	2,4-6,0
Fosforo totale (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	% su TSS	0,8-2,8	2,8-7,0
Potassio totale (K <sub>2</sub> O)	% su TSS	0-1,0	0,5-0,7

## Fanghi di depurazione

**Tabella 1.3. Composizione chimica media di fanghi non trattati e digeriti (fonte: modificato da Metcalf & Eddy, 2006)**

Voce	Fanghi primari non trattati		Fanghi primari digeriti		Fanghi attivi non trattati
	Intervallo di variazione	Valore medio	Intervallo di variazione	Valore medio	Intervallo di variazione
Solidi totali o sostanza secca (ST), %	5-9	6	2-5	4	0,8-1,2
Solidi volatili (% degli ST)	60-80	65	30-60	40	59-88
Oli e grassi solubili in etere (% degli ST)	6-30	18	5-20	18	-
Oli e grassi solubili estratto etero (% degli ST)	7-35	21	-	-	5-12
Proteine (% degli ST)	20-30	25	15-20	18	32-41
Azoto (N, % degli ST)	1,5-4	2,3	1,6-3,0	3,0	2,4-5,0
Fosforo (% degli ST)	0,8-2,8	1,8	1,5-4,0	2,5	2,8-11
Potassio (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % degli ST)	0-1	0,05	0-3,0	1,0	0,5-0,7
Cellulosa (% degli ST)	8-15	11,5	8-15	10	-
Ferro (esclusi solfuri)	2,0-4,0	3	3,0-8,0	4,0	-
Silice (SiO <sub>2</sub> , % degli ST)	15-20	17,5	10-20	15	-
pH	5,0-8,0	6,5	6,5-7,5	7,0	6,5-8,0
Alcalinità (mg/l come CaCO <sub>3</sub> )	500-1500	1000	2500-3500	3000	580-1100
Acidi organici (mg/l come HAc)	200-2000	1100	100-600	200	1100-1700
Potere calorifico (kJ/kg ST)	23.000-29.000	26.000	9000-14.000	12.000	19.000-23.000

**Tabella 1.4. Contenuto medio di metalli nei fanghi di depurazione**

Metallo	Sostanza secca (mg/kg)	
	Intervallo di variazione	Valore medio
Arsenico	1,1-230	10
Cadmio	1-3410	10
Cobalto	11,3-2490	30
Cromo	10-99.000	500
Ferro	1000-154.000	17.000
Manganese	32-9870	260
Mercurio	0,6-56	6
Molibdeno	0,1-214	4
Nichel	2-53.000	80
Piombo	13-26.000	500
Rame	84-17.000	800
Selenio	1,7-17,2	5
Stagno	2,6-239	14
Zinco	101-49.000	1700

### 1.5. La produzione di fanghi da trattamenti primari

Talvolta si includono tra i fanghi primari anche le frazioni ottenute da grigliatura, dissabbiatura, disoleatura oltre, naturalmente, ai fanghi derivanti dalla sedimentazione primaria. Tuttavia, dal momento che i suddetti residui rientrano nella categoria dei rifiuti solidi e, quindi, possono essere avviati allo smaltimento come tali, senza la necessità di subire ulteriori trattamenti, in questa sede non sono presi in considerazione.

Con l'aggettivo *primari* si qualificano i fanghi ottenuti dalla sedimentazione naturale dei liquami nelle unità demandate al trattamento primario e, naturalmente, le caratteristiche di questa frazione di fanghi rispecchiano quelle del liquame influente. In alcuni casi la sedimentazione primaria può essere per così dire "assistita", mediante un leggero dosaggio di prodotti chimici, al fine di aumentarne il rendimento o per intercettare inquinanti particolari.

In tal caso si parla di CAPS, acronimo dell'inglese *Chemically Assisted Primary Sedimentation*, ovvero *sedimentazione primaria chimicamente assistita*. Le caratteristiche del fango ottenuto da CAPS tendono ad avvicinarsi a quelle di un fango chimico, anche se i dosaggi nella sedimentazione assistita sono molto lontani da quelli della chiariflocculazione vera e propria, applicata a reflui industriali.

La produzione di fanghi primari dipende da numerosi fattori che possono essere raggruppati in due macrocategorie:

- caratteristiche del liquame in ingresso;
- rendimenti delle vasche di sedimentazione.

Per quanto attiene alle caratteristiche del liquame influente, bisogna innanzitutto va-

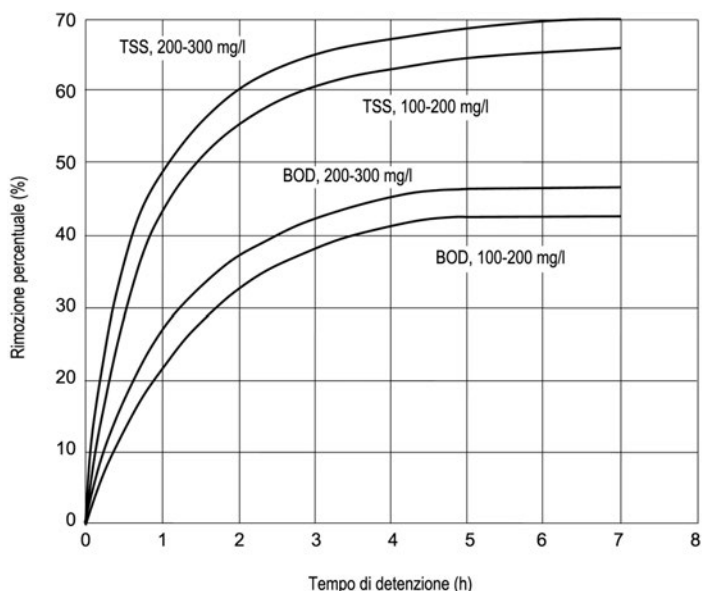


Figura 1.2. Campo di rimozione percentuale dei solidi sospesi totali (TSS) e del BOD<sub>5</sub> al variare del tempo di detenzione in sedimentatori primari (fonte: modificato da Metcalf & Eddy, 2003)

lutare se si tratta di liquami eminentemente domestici o di reflui con una significativa componente industriale. In questo secondo caso, infatti, il tenore di TSS può essere molto variabile e in grado di condizionare in maniera molto significativa la produzione del fango e le sue caratteristiche qualitative.

Le caratteristiche delle vasche di sedimentazione e i parametri progettuali (tempo di residenza idraulica e carico idraulico superficiale) influenzano i rendimenti depurativi delle vasche stesse e, quindi, la quantità di TSS rimossi. Il rendimento depurativo può essere influenzato, come discusso, dall'uso di adiuvanti alla sedimentazione. La quantità di TSS presenti nel liquame influente determina la quantità di fango prodotta dalla sedimentazione primaria. Dati di letteratura indicano in 90 g/ab/d il carico di solidi prodotto da un abitante equivalente (AE). In condizioni ottimali di sedimentazione, cioè con almeno due ore di tempo di detenzione e velocità ascensionali inferiori ai 5 m/h (Masotti, 1993), vengono rimossi dalle acque reflue circa il 60% dei solidi sospesi, ovvero circa 54 g/ab/d. La produzione di fango può variare da 0,6 a 2,1 l/ab/d, con un contenuto di secco compreso tra il 2,5 e il 9%.

La figura 1.2 mostra il campo di rimozione percentuale dei solidi sospesi totali (TSS) e del  $BOD_5$  al variare del tempo di detenzione in sedimentatori primari.

Il fango primario è ricco di sostanze organiche facilmente putrescibili, contiene generalmente un 20-30% di ceneri minerali e un 70-80% di sostanze organiche volatili (VSS). Di queste ultime il 50% è costituito da sostanze organiche umificabili, mentre il restante 50% da sostanze organiche facilmente biodegradabili, che vengono degradate a composti semplici (acqua e anidride carbonica, nel caso di digestione aerobica e acqua, anidride carbonica e metano, nel caso di digestione anaerobica).

L'utilizzo della sedimentazione assistita incide in modo sensibile sulla produzione di fango: la rimozione dei TSS varia dal 60-70% in condizioni naturali all'80-90% con la CAPS, con un incremento medio del 20%. Il relativo incremento nella produzione di fango va dal 30% al 50% e oltre (in peso di sostanza secca) in funzione del dosaggio e della natura dei *chemicals* utilizzati. Le variazioni in termini di volume sono molto meno evidenti, poiché la presenza di cationi metallici e/o polielettroliti condiziona il fango, facendo in modo che sia rilasciata una buona parte dell'acqua colloidale, aumentandone l'ispessimento già nella fase di sedimentazione. Prove condotte sperimentalmente hanno evidenziato che, nonostante l'aumentata quantità di secco, i volumi in gioco non subiscono consistenti variazioni, per cui il vantaggio della sedimentazione assistita è che non sono necessari adeguamenti strutturali né dei volumi né delle apparecchiature di trasporto. Un'ulteriore differenza nella produzione di fanghi primari si verifica nel caso di fanghi ottenuti per flottazione. In questo caso nel fango sono intrappolate anche le particelle grasse e oleose che nella sedimentazione sfuggono ed, eventualmente, sono raccolte come schiume. Inoltre, difficilmente la flottazione di un fango avviene senza l'aggiunta di additivi, per cui il rendimento di rimozione dei TSS è elevato e si attesta sui livelli della sedimentazione assistita. Sebbene l'uso di *chemicals* incrementi la quantità di sostanze solide nel fango, per effetto del maggiore ispessimento rispetto al fango da sedimentazione naturale, il fango prodotto da unità di flottazione presenta volumi relativamente contenuti.

## 1.6. La produzione di fanghi da trattamenti biologici

La produzione del fango biologico è strettamente legata alle cinetiche delle popolazioni batteriche e della loro crescita. Nel diagramma di figura 1.3 è mostrata la curva di crescita batterica, in funzione della concentrazione del substrato in condizioni stazionarie. Nella

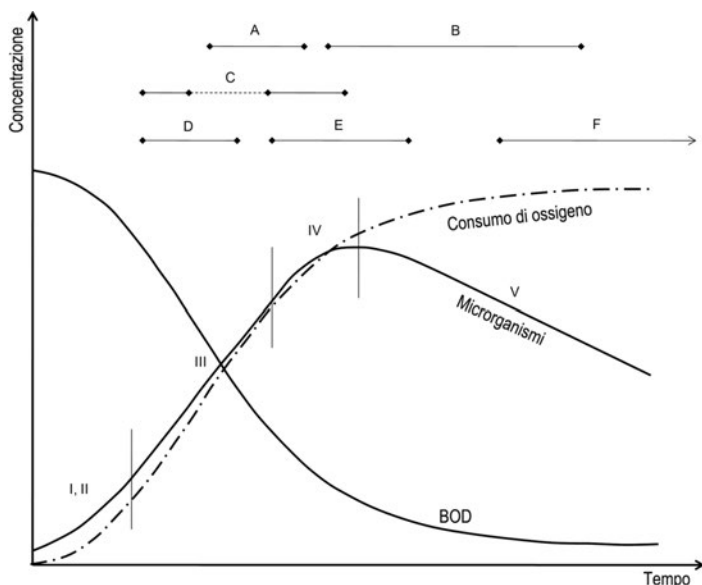


Figura 1.3. Curva della crescita dei microrganismi nei processi di depurazione aerobi, con le fasi successive indicate con numeri romani. Le lettere indicano gli intervalli della curva sfruttati dai più comuni sistemi: A = filtri percolatori o doppia filtrazione alternata; B = filtri percolatori convenzionali; C = stabilizzazione per contatto; D = fanghi attivi rapidi; E = fanghi attivi convenzionali; F = ossidazione totale (fonte: modificato da Bianucci e Ribaldone Bianucci, 1998)

fase iniziale, con un rapporto substrato/biomassa ( $F/M$ ) elevato, si ha una fase di crescita illimitata logaritmica della popolazione batterica. Man mano che il rapporto  $F/M$  decresce, la crescita batterica rallenta fino a stabilizzarsi, la curva s'inverte quando oramai il substrato è ridotto a concentrazioni molto basse.

Da quanto appena osservato si può affermare che la produzione di fango biologico è, quindi, proporzionale alla velocità di crescita batterica. Sia ai fini del dimensionamento degli impianti sia ai fini della valutazione della produzione di fango, è necessario valutare opportunamente il rapporto  $F/M$ .

Nei primi tratti della curva (fasi I e II) il rapporto  $F/M$  è massimo ed è caratteristico degli impianti ad altissimo carico, che hanno un rendimento molto basso e possono avere solo funzione di pretrattamenti. Nella fase I della curva, i microrganismi elaborano gli esoenzimi necessari per degradare il materiale particellare e polimerico rendendolo idoneo al successivo metabolismo batterico. Non vi è, quindi, una rimozione reale del substrato, per cui il rendimento depurativo appare trascurabile. Nella fase III della curva, invece, si osserva un'attività batterica massima sia con la fase di accrescimento logaritmico illimitato sia con l'instaurarsi di fenomeni di bioflocculazione, che, nel formare il fiocco, inglobano anche una parte dei solidi sospesi e colloidali presenti nei reflui: è in questa fase che la produzione di fango è massima, il rendimento di rimozione della sostanza organica comincia a essere elevato, anche se non ancora paragonabile a quello delle fasi successive; il fango prodotto presenta caratteristiche tali da richiedere ulteriori trattamenti, prima di essere inviato alla disidratazione. Nella fase successiva (IV) il substrato tende a esaurirsi e la crescita batterica rallenta: con essa rallenta la produzione di fango



e cambiano le sue caratteristiche (si è nella fase di medio e basso carico). Nella fase V il substrato è praticamente degradato e i batteri non crescono più, anzi per sopravvivere devono metabolizzare il carbonio endogeno, per cui il fenomeno di accrescimento diventa addirittura negativo. È questa la fase a bassissimo carico (a ossidazione totale), dove la produzione di fango è minima e le caratteristiche del fango sono tali da non richiedere ulteriori trattamenti prima della disidratazione.

Per quanto attiene al rapporto  $F/M$ , in questa sede s'illustrano esclusivamente i problemi che si riferiscono alla produzione e al trattamento del fango biologico di supero.

Nel caso degli impianti a colture sospese, i parametri che maggiormente hanno influenza sul processo di produzione del fango sono il carico del fango e la concentrazione delle sostanze solide nella miscela aerata (misura indiretta della concentrazione della biomassa). Nel diagramma logaritmico di Imhoff, riportato in figura 1.4, sono mostrate le principali variabili di processo in funzione del carico del fango (o fattore di carico organico) tra cui la produzione di fango espressa in  $\text{kgSS}/\text{kgBOD}_5$  rimosso al giorno. Nel caso degli impianti a biomassa adesa il principio è identico, anche se i parametri e il rapporto con la produzione di fango sono definiti secondo i casi in maniera diversa.

Un ulteriore contributo alla produzione di fango biologico (che incide anche sulle caratteristiche finali del fango) si registra, soprattutto su impianti che trattano reflui industriali, quando si esegue una fase ossidativa con colture sospese in letto fluido di materiale adsorbente.

È il caso tipico dell'uso del carbone attivo in polvere, introdotto nella fase di ossidazione biologica, in presenza di elevate concentrazioni di tensioattivi, di coloranti o di composti bioinibenti (scarichi di conceria, industria tessile, ecc). Il carbone attivo funge da adsorbente dei composti, che allo stato libero inibiscono la popolazione batterica o provocano separazioni della miscela acqua-fango. Una parte dell'adsorbente è rimossa con il fango di supero e deve essere reintegrata. Altri adsorbenti usati con fine analogo sono la ben-

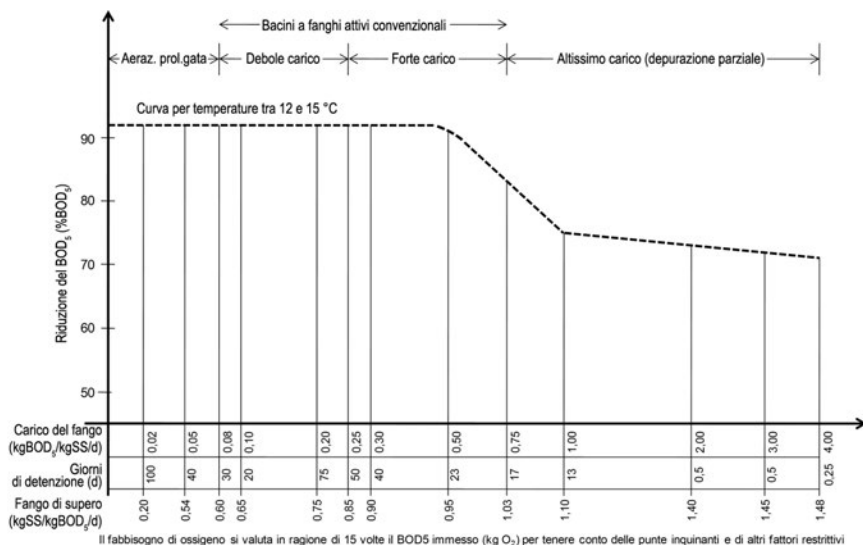


Figura 1.4. Curva di correlazione tra carico del fango, produzione di fanghi di supero e abbattimento del  $\text{BOD}_5$  (fonte: modificato da Raso, 1983)

tonite, il caolino e il talco, al quale si ricorre soprattutto per appesantire fanghi eccessivamente leggeri.

Nel caso d'impianti di tipo industriale, il fango biologico si può presentare in maniera deflocculata e scarsamente sedimentabile, per cui una sedimentazione naturale può non produrre effetti depurativi apprezzabili. In questo caso si usano polimeri come flocculanti (poliammine, resine, dicianidammide formaldeide, polimeri cationici o miscele di composti inorganici e organici, polimeri di origine naturale) ed è evidente che tale attività condiziona non poco sia le quantità di fango prodotto sia la qualità. In alcuni casi, nonostante i condizionamenti chimici, le caratteristiche del fango in sedimentazione risultano mutevoli e di difficile gestione, per cui, sempre di più, nonostante le indubbie complicazioni del processo e l'incremento dei costi di gestione, ci si avvale della flottazione anche per gestire il fango biologico. Questa soluzione si diffonde sempre di più anche per effetto dei cronici fenomeni di *bulking* che si riscontrano in alcuni impianti industriali. In alcuni casi il trattamento di flottazione viene inserito a valle di un precedente trattamento di sedimentazione, per recuperare il fango sfuggito dalla fase precedente.

### 1.7. La produzione di fanghi da trattamenti chimico-fisici

La produzione di fanghi nei trattamenti chimico-fisici non può essere stimata a priori, ma deve essere valutata caso per caso. La produzione di fanghi nei trattamenti di precipitazione chimica può essere valutata sulla base delle regole stechiometriche della reazione, se questa è ben individuata o, comunque, conosciuta. Nel caso di trattamenti più generici come la chiariflocculazione, invece, bisogna tener conto di vari fattori non sempre ben noti. In ogni caso, oltre la quantità di solidi sospesi che vengono rimossi, bisogna valutare la quantità dei reattivi aggiunti che dà luogo a precipitati (anche perché i dosaggi in questo tipo di trattamento sono per nulla trascurabili come, invece, in alcuni casi si può avere con la sedimentazione assistita) e, infine, va stabilito se vi sono consistenti fenomeni di co-precipitazione di componenti solubili, che incrementano ulteriormente la quantità di fango prodotto. Un ulteriore contributo alla produzione di fango si registra nel caso in cui la chiariflocculazione sia preceduta da adsorbimento in letto fluido. In questo caso consistenti quantità di materiale solido adsorbente (carboni attivi in polvere, bentoniti o argille attivate e anche zeoliti nel caso si voglia sfruttare lo scambio ionico tipico di tali materiali) precipitano nei fanghi insieme agli altri composti rimossi.

### 1.8. Trattamenti comuni a tutti i tipi di fango

Il fango derivato dalle varie fasi di trattamento della linea acque di un depuratore è una sospensione liquida più o meno ricca di solidi. La fase prevalente è l'acqua, che determina anche il volume del fango da trattare. I trattamenti comuni a tutti i tipi di fango sono due: l'ispessimento e la disidratazione. A questi trattamenti sono, rispettivamente, dedicati i prossimi due paragrafi di approfondimento.

#### 1.8.1. *Ispessimento*

La concentrazione di secco sia dei fanghi primari sia di quelli secondari è molto variabile, per cui gli stessi fanghi misti, derivanti dal mescolamento delle due tipologie, possono avere variazioni consistenti. L'ispessimento è un'operazione che si attua per incrementare il contenuto di solidi nel fango, in modo da ridurne consistentemente il volume.

Un fango misto con un contenuto in secco dell'1% circa può essere concentrato senza eccessive difficoltà, fino a un tenore del 4%, con la corrispondente riduzione del volume da trattare al 25% di quello originario. L'ispessimento può avvenire sia a monte sia a valle di ulteriori trattamenti (generalmente di digestione e stabilizzazione). Nel primo caso si parla di *pre-ispessimento* e nel secondo di *post-ispessimento*. L'acqua rilasciata dai fanghi nel corso dell'ispessimento è del tipo "non legata" e, quindi, può essere estratta anche senza alcun condizionamento chimico. L'ispessimento è un'operazione di tipo fisico nella quale non si procede, tipicamente, a dosaggi di reattivi chimici, come in altre fasi della linea fanghi. In alcuni casi, tuttavia, si ricorre all'aggiunta di polielettroliti e cloruro ferrico per ottenere percentuali di secco più elevate. Un tale tipo di trattamento, però, andrebbe più propriamente annoverato tra i processi di condizionamento chimico che, spesso, si attuano prima della disidratazione. La riduzione del contenuto d'acqua del fango e la conseguente riduzione di volume consentono sia di operare in maniera più contenuta con le operazioni di trasporto e movimentazione sia di contenere i volumi delle unità successive, con notevole risparmio dei costi d'investimento. Si riescono, inoltre, a contenere anche i costi di gestione sia nel caso di condizionamento chimico (per effetto di dosaggi più contenuti) sia di digestione per la ridotta necessità di combustibile esterno (per la digestione anaerobica) o di energia elettrica (per la digestione aerobica). Le modalità di conduzione dell'ispessimento sono di seguito descritte.

#### 1.8.1.1. Ispezzimento a gravità per co-sedimentazione

La co-sedimentazione è una tecnica adottata in alcuni impianti dove, grazie alla presenza di vasche di sedimentazione primaria, è possibile mescolare una parte dei fanghi di supero del biologico con il liquame influente alla sedimentazione: in questo modo si sfruttano i processi di bioflocculazione per favorire la sedimentazione dei solidi sospesi presenti nel refluo e, contemporaneamente, si favorisce l'addensamento dello stesso fango biologico. Inoltre i rendimenti di rimozione dei solidi sedimentabili diventano paragonabili, se non superiori alla sedimentazione assistita. Il vantaggio di tale tecnica è legato al fatto che non occorre realizzare un ispessitore *ad hoc* e in alcuni casi, laddove esiste un ispessitore dedicato, si aumenta la potenzialità dello stesso inviando all'ispessitore un fango con un contenuto di secco più elevato di quello del fango biologico. Di contro, la presenza di fanghi biologici in vasca di sedimentazione, specialmente se ben nitrificati, richiede uno spurgo abbastanza frequente, altrimenti fenomeni di risalita (soprattutto per denitrificazione) possono ridurre anche in maniera consistente il rendimento del sedimentatore primario, con il possibile invio alla fase biologica anche di fanghi settici, che possono innescare fenomeni di *bulking* filamentoso. A tal riguardo, risultano particolarmente adatte le unità di sedimentazione a rimozione rapida del fango. Un inadeguato allontanamento del fango rischia di inficiare i vantaggi legati all'ispessimento e creare una maggiore difficoltà nelle operazioni di trasporto che, non sempre, possono essere temporizzate a priori e richiedono, quindi, una maggiore presenza di personale.

Esperienze condotte dagli autori su un impianto di depurazione di medie dimensioni, dotato di fase di pre-aerazione, hanno evidenziato come il ricircolo di fango di supero, a monte della fase di pre-aerazione, contribuisca ulteriormente sia alla produzione di fango primario sia all'ispessimento dello stesso, determinando delle condizioni che potrebbero essere paragonate alla stabilizzazione per contatto, in cui non si ha un'ossidazione della sostanza organica, ma piuttosto una sua separazione per gravità. Un fango ben nitrificato, anche per l'assenza della denitrificazione, tenuto in aerazione e successivamente inviato a una fase di vera e propria anaerobiosi, può sviluppare velocemente una fase di denitrificazione incontrollata all'interno della massa del fango, con la formazione, anche consistente, di bolle

di azoto molecolare che alleggeriscono il fango e lo fanno velocemente risalire. Questo fenomeno di disfunzione del fango biologico, conosciuto come *rising*, si verifica anche nel caso dell'ispessimento con co-sedimentazione nelle vasche primarie e produce, inoltre, il trascinarsi del fango primario sedimentato. Come rilevato, ciò non solo provoca una riduzione dell'efficienza dei primari, ma anche un aumento della richiesta di ossigeno nel biologico e del rischio d'innescare del *bulking* filamentoso. Nelle esperienze condotte dagli autori, infatti, si è registrato un incremento dei filamentosi, tipici dei liquami settici, quali soprattutto il *Thiotrix* e il Type O21N. Con fanghi non nitrificati o con un impianto dotato della fase di denitrificazione è possibile operare con tempi di detenzione del fango pari a 12-24 ore, ottenendo così un buon ispessimento pari al 2-3%, che può essere incrementato se il fango viene anche condizionato chimicamente. Nel caso già citato di fanghi che possono denitrificare, è necessario scendere di sotto alle 12 ore di tempo di ritenzione, con un rendimento dell'ispessimento ridotto all'1-2% di secco.

Naturalmente, nel caso in cui si intenda ricircolare il fango di supero in testa ai sedimentatori primari, è necessario valutare debitamente le variazioni del carico idraulico superficiale applicato alle vasche. Quando le vasche di sedimentazione primaria sono progettate senza tener conto di eventuali ricircoli del fango di supero, si adottano tipicamente elevati valori di carico idraulico superficiale (fino a 2 m/h sulla portata media e fino a 5 m/h sulla portata di punta). Tuttavia, se in fase di gestione nelle vasche di sedimentazione primaria sono adottati fanghi più leggeri, anche in assenza di fenomeni di denitrificazione, si può assistere a un intenso fenomeno di trascinarsi di solidi sospesi nell'effluente e sovraccarico della successiva fase biologica.

#### 1.8.1.2. Ispessimento a gravità con vasca dedicata

L'ispessimento a gravità con vasca dedicata è il sistema più diffuso d'ispessimento dei fanghi, presso impianti sia di piccole sia di grandi dimensioni. Concettualmente è analogo al processo di sedimentazione. Esso consente consistenti riduzioni volumetriche del fango anche misto e non crea problemi particolari per tempi lunghi di detenzione, ad eccezione dei cattivi odori che però possono essere controllati in vario modo, anche con la copertura delle vasche. In tabella 1.5 sono riportati i tipici valori della concentrazione di secco nei fanghi prima e dopo l'operazione unitaria in oggetto e i valori del carico dei solidi per ispessitori a gravità.

**Tabella 1.5. Tipici valori della concentrazione di secco nei fanghi prima e dopo l'ispessimento (in parentesi sono riportati i valori medi degli intervalli); valori del carico di solidi per ispessitori a gravità<sup>a)</sup> (in parentesi i valori medi) (fonte: modificato da Metcalf & Eddy, 2006)**

Tipologia di fango		Concentrazione in secco (%)		Carico di solidi (kg/m <sup>2</sup> /d)
		Non ispessiti	Ispessiti	
Separati	Fanghi primari	2-6 (4)	5-10 (7,5)	100-150 (125)
	Fanghi da letti percolatori	1-4 (2,5)	3-6 (4,5)	40-50 (45)
	Fanghi da biodischi	1-3,5 (2,25)	2-5 (3,5)	35-50 (42,5)
	Fanghi attivi da processi a biomassa sospesa (aria)	0,5-1,5 (1,0)	2-3 (2,5)	20-40 (30)
	Fanghi attivi da processi a biomassa sospesa (ossigeno puro)	0,5-1,5 (1,0)	2-3 (2,5)	20-40 (30)
	Fanghi attivi da processi a biomassa sospesa (aerazione prolungata)	0,2-1,0 (0,6)	2-3 (2,5)	25-40 (32,5)
	Fanghi primari da digestione anaerobica (primo stadio)	8	12	120