



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTE E TERRITORIO,
ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Aspetti progettuali e gestionali sulla riduzione e la stabilizzazione del fango proveniente dal trattamento di percolato da discarica

About planning and management on sludge reduction and stabilization from landfill leachate treatment

Relatore:

Prof. Marco Bergonzoni

Correlatori:

Prof. Andrea Segalini

Ing. Stefano Salati

Tesi di laurea di
Romano Gianluca
Matricola: 223500

Anno Accademico 2011/2012

Sommario

Introduzione	5
CAPITOLO 1-ASPETTI GENERICI SUL PERCOLATO DA DISCARICA E IL FANGO DA DEPURAZIONE.....	6
1.1-Descrizione del percolato	6
1.1.1- I parametri di quantità e di qualità.....	8
1.1.2-I trattamenti del percolato.....	11
1.1.2.1- Metodi classici.....	12
1.1.2.2-Metodi innovativi.....	15
1.1.3-Considerazioni conclusive.....	17
1.2-Il fango: cos'è, come si forma e come è fatto.....	19
1.2.1- I fanghi primari e secondari.....	21
1.2.2-Parametri di interesse per l'analisi del fango.....	22
1.2.3-I trattamenti del fango.....	23
1.2.3.1-Il condizionamento	25
1.2.3.2- L'ispessimento.....	25
1.2.3.3- La digestione.....	27
1.2.3.4-La disidratazione e la disinfezione	29
1.2.4-Considerazioni sui trattamenti del fango	30
1.3-Fanghi da depurazione: la legislazione in materia.....	31
1.3.1-Il D.Lvo 152/2006: generalità.....	32
1.3.2-Il fango da depurazione nel D.Lvo 152/2006: Parte Quarta e il tema del sottoprodotto.....	33
1.3.3-Approfondimento: Nuove prospettive di gestione dei fanghi.....	34
1.3.4-Il decreto 99/1992	38
1.3.5-Considerazioni sugli aspetti legislativi	41
CAPITOLO 2-ANALISI DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE MBR E OSMOSI INVERSA .	42
2.1-L'azienda: S.A.Ba.R. s.p.a.....	42

2.2-L'impianto di depurazione in analisi	45
2.2.1-Lo schema e i costi dell'impianto.....	47
2.3-I dati e le condizioni di funzionamento dell' impianto.....	50
2.4-Determinazione del fango prodotto dall'impianto.....	53
2.5-MBR: funzionamento e modelli matematici.....	55
2.6-Analisi delle membrane	56
2.6.1-Modello matematico per dimensionamento delle membrane	61
2.7-Il reattore: funzionamento.....	64
2.8-Osmosi inversa.....	66
2.9-Le prestazioni dell'impianto: analisi delle offerte aziendali e i dati ottenuti da impianti in esercizio	67
2.10-Le prestazioni del trattamento MBR.....	69
2.11-Le prestazioni del trattamento ad osmosi	74
2.12-Il caso in esame: parametri del permeato effluente	75
2.13-Considerazioni conclusive	79
CAPITOLO 3-ANALISI E GESTIONE DEL FANGO PRODOTTO DALL'IMPIANTO	80
3.1-Considerazioni sulla quantità di fango in uscita.....	80
3.2-Il blocco dei trattamenti specifici dei fanghi	82
3.2.1-La digestione e la disidratazione.....	83
3.3-Soluzioni intelligenti e alternative per la gestione del fango.....	86
3.3.1-L'utilizzo in agricoltura	86
3.3.2-Il recupero energetico	89
3.4-Lo smaltimento in discarica.....	91
3.5-Individuazione dei costi di ciascun trattamento.....	93
3.6-Considerazione sulle possibili fasi di gestione	94
Riassunto dei contenuti della tesi.....	96
Conclusioni	98
Bibliografia	99

Appendice: Principali aziende operanti nel settore del trattamento acque e rifiuti 100

Introduzione

Questo lavoro ha l'obiettivo di analizzare alcuni aspetti del fango ottenuto dalla depurazione di percolato da discarica. La tesi si divide in tre capitoli: il primo ha carattere teorico, mentre il secondo e il terzo sono di interesse pratico e costituiscono l'analisi di un problema reale.

Il capitolo 1 serve ad inquadrare e definire l'oggetto della tesi e quello che ruota attorno ad esso; pertanto, si descrivono i seguenti aspetti: le caratteristiche quantitative e qualitative del percolato da discarica e i metodi per depurarlo, la composizione chimica del fango residuo, le sue tipologie e i metodi di trattamento specifici e, per ultima, la normativa italiana sull'argomento.

Il capitolo 2 si propone di analizzare un impianto di depurazione del percolato di tipo MBR, in progetto presso l'azienda S.A.Ba.R. s.p.a., che gestisce una discarica nei pressi del comune di Novellara (RE). Dopo una descrizione dell'azienda, della sua localizzazione, dell'impianto e delle sue peculiarità, in questo capitolo, si cerca di definire le prestazioni di tale impianto, in funzione delle caratteristiche quantitative e qualitative del percolato prodotto dalla discarica, descritto e analizzato ampiamente in un lavoro precedente a questo.

Il capitolo 3 ha l'intento di individuare l'entità del fango prodotto dall'impianto, di individuare il blocco dei trattamenti specifici e proporre le soluzioni per la gestione, definendo i costi di questa operazione: l'obiettivo di questo lavoro, infatti è fornire elementi di valutazione all'azienda, affinché la scelta sia indirizzata verso la soluzione compatibile con la legislazione vigente e l'ambiente, ed economicamente conveniente.

CAPITOLO 1-ASPETTI GENERICI SUL PERCOLATO DA DISCARICA E IL FANGO DA DEPURAZIONE

1.1-Descrizione del percolato



Figura 1-Foto di percolato

In via preliminare, è necessario richiamare gli aspetti più importanti legati al percolato da discarica, cioè il liquame che, una volta depurato, ha come residuo solido il fango.

Il percolato, in generale, è di colore scuro ed ha aspetto denso e torbido.



Figura 2-Campione di percolato

Dal punto vista ingegneristico, a proposito di questo oggetto, i temi ai quali si vuole dare una risposta sono:

- La stima della **quantità** del percolato;
- La stima della **qualità** del percolato.

La risposta è complicata; infatti, esistono (e coesistono) molti e diversi fattori che ne determinano sia la qualità sia la quantità: per questo motivo, è necessario indagare su questi due aspetti attraverso misure, prelievi ed analisi, che devono essere effettuate da laboratori competenti (e indipendenti), seguendo le metodiche ufficiali. Inoltre, la quantità e la qualità sono due variabili

fortemente non stazionarie: per questo, non si può prescindere dal monitorare la loro evoluzione temporale.

In generale, è possibile semplificare il problema individuando le cause dalle quali questi due parametri dipendono maggiormente:

- La quantità è legata all'**idrologia superficiale e sotterranea**, quindi al tenore e alla quantità di pioggia sulla discarica e alle costanti idrologiche del terreno, in particolare umidità, capacità di campo e permeabilità;



Figura 3-Schema del ciclo idrologico

- La qualità, qui intesa come la caratterizzazione chimica, è legata ai **rifiuti** in discarica, in termini in composizione, densità e decomposizione.

1.1.1- I parametri di quantità e di qualità

La stima della produzione del percolato prodotto da una discarica è tanto più complicata, quante più sono le variabili in gioco e, quindi, è legata al periodo di vita della discarica: fase di esercizio e periodo di post-chiusura.

Durante il periodo di post-chiusura i parametri fisici, geometri e qualitativi della discarica sono ben definiti e, quindi, la stima è possibile con una semplice equazione (deterministica) di *bilancio idrologico tra gli apporti in ingresso e i flussi in uscita*.



Figura 4-Foto di una discarica in fase di post-chiusura

Durante la fase di esercizio, la stima è più complicata, perché ci sono in gioco numerosi aspetti non trascurabili; per tenere conto di tutti questi aspetti, il metodo più indicato è la *modellazione numerica*: esistono a tal fine numerosi software, tra i quali il più accreditato è **HELP**, *sviluppato dall'Agenzia di Protezione Ambientale Americana (EPA)*. Questo software fornisce la stima desiderata a partire da input dettagliati sul clima (umidità, precipitazioni, radiazioni solari, temperature, ecc.), sul terreno (vegetazione, umidità, topografia, conducibilità, ecc.) e sui rifiuti.



Figura 5-Foto di discarica in esercizio

La caratterizzazione chimica del percolato, invece, è legata alla **composizione chimica dei rifiuti che vengono portati in discarica**, in parte alla densità (cioè alla compattazione: se i rifiuti sono ben compattati, l'acqua piovana ha meno pori attraverso i quali filtrare e quindi c'è meno scambio di sostanze tra rifiuto e acqua) e, soprattutto, alla decomposizione.

La decomposizione, secondo numerosi e accreditati studi, avviene in tre fasi:

1. *Fase AEROBICA*: in questa fase c'è un **alto BOD**¹, pertanto viene consumato l'ossigeno del rifiuto; questa fase è la più breve, perché in generale la disponibilità di ossigeno che c'è nei rifiuti è molto bassa rispetto alla domanda (cioè il BOD);
2. *Fase ACIDA*: esaurito l'ossigeno, i batteri iniziano a produrre *acidi grassi e biodegradabili* (per esempio, l'acido acetico[CH₃COOH]). I rifiuti sono caratterizzati da un valore di **pH² acido**;
3. *Fase METANOGENICA*: la produzione degli acidi rallenta e questi vengono trasformati dai batteri (per appunto, chiamati metanogenici) in *biogas*, un composto di **anidride carbonica**[CO₂] e **metano**[CH₄]. I rifiuti ora hanno un valore di **pH basico**.

Alla fine di queste tre fasi, i valori tendono a stabilizzarsi.

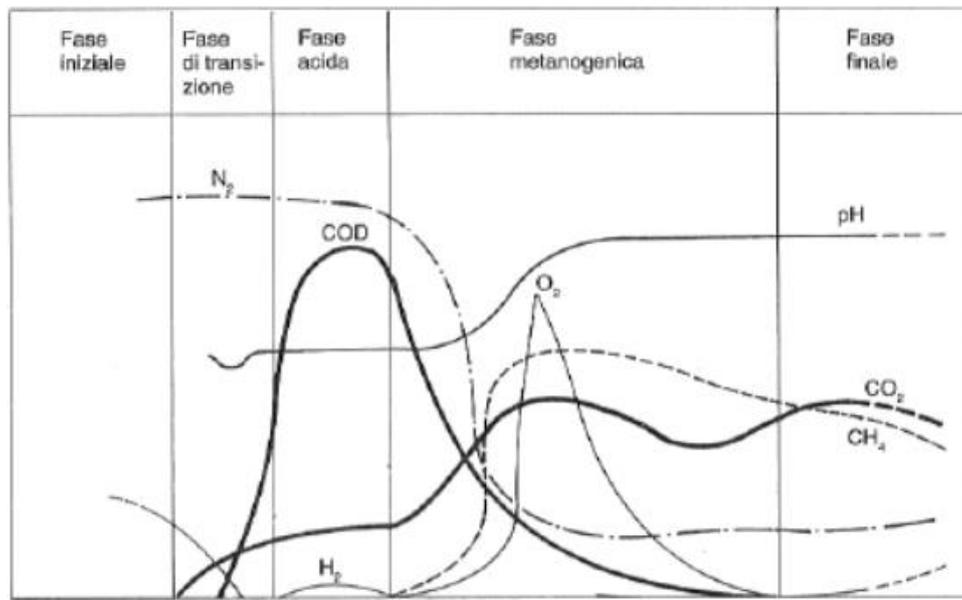


Figura 6-Grafico dell'andamento temporale della decomposizione di un refluo

Quindi, l'analisi di alcune informazioni (e della loro evoluzione temporale) sul percolato, è importante perché esse possono caratterizzare il **DNA della discarica**, e cioè fornire una stima dell'età e dei rifiuti che la compongono.

Pertanto, i parametri di qualità del percolato che bisogna conoscere e di cui bisogna osservare l'andamento con il tempo, sono:

- *pH*: tende ad aumentare (da valori acidi a valori basici);
- *Concentrazione di ione ammonio*[NH₃⁺], che tende a diminuire: questo ione si forma nella fase aerobica, che ha come 'effetto collaterale' la fermentazione di proteine che lo contengono;
- *Rapporto tra BOD e COD*³, che tende a diminuire, soprattutto nella fase aerobica, perché i rifiuti tendono a biodegradarsi nel tempo (ovviamente, in tempi ben diversi a seconda della tipologia);

¹ Il BOD è la domanda *biochimica* di ossigeno, ovvero la quantità di ossigeno, della quale i batteri, naturalmente presenti nell'acqua, hanno bisogno *per bio-degradare le sostanze organiche*, anch'esse presenti nell'acqua. Pertanto, essendo queste sostanze degli inquinanti, il BOD è un parametro significativo per stimare il carico degli *inquinanti biodegradabili* in un campione di acqua.

² Il pH è un indicatore della concentrazione di ioni H⁺ in una soluzione e misura il grado di acidità o di basicità di questa soluzione attraverso una scala di valori che va da 0 (fortemente acida) a 14 (fortemente basica), passando per 7 (neutra, cioè l'acqua pura a 25°C).

- *I solfati*, che tendono a trasformarsi in solfuri, perdendo ossigeno;
- *I cloruri*, che tendono a diminuire;
- *I metalli*, presenti in quantità nelle discariche giovani, tendono anch'essi a diminuire.

Bisogna specificare che alcuni di questi parametri hanno un ampio range di variabilità della concentrazione: pertanto, per far sì che i valori siano significativi, bisogna sempre descriverli con una media e un indice di dispersione da essa.

³ Il COD è la domanda *chimica* di ossigeno, ovvero la quantità di ossigeno necessaria per degradare gli inquinanti organici per via chimica, ovvero attraverso reazioni chimiche tra le sostanze presenti nel rifiuto, nel terreno della discarica e nell'acqua piovana. Il rapporto tra BOD e COD è un parametro importante perché, esprimendo la % di inquinante organico biodegradabile su quello totale, è un ottimo indicatore della *biodegradabilità* di un rifiuto. In generale, nei percolati di discariche di RSU questo rapporto è circa 1:4 e tende a diminuire nelle acque reflue industriali, nelle quali c'è minor sostanza biodegradabile.

1.1.2-I trattamenti del percolato

Per poter trattare il percolato è necessario prima di tutto intercettarlo; a tal fine, esiste una normativa⁴, che, tra le altre cose, stabilisce come questo deve essere fatto: il percolato viene intercettato in discarica con un sistema di **tubi macro fessurati**; il fondo della discarica è caratterizzato da **pendenze** che fanno in modo che il percolato finisca all'interno delle fessure di questi tubi, attraverso i quali è convogliato all'esterno della discarica, per essere poi prelevato e portato all'impianto di trattamento.



Figura 7-Foto di un tubo fessurato per la raccolta del percolato

Trattare il percolato è un problema complicato, perché, come spiegato nei paragrafi precedenti i parametri di qualità (caratterizzazione chimica) e di quantità (portata in uscita dalla discarica) sono difficili da stimare: il primo perché è figlio di processi lunghi, complicati e fortemente non-stazionari, il secondo perché è legato a variabili aleatorie (precipitazione) e a modelli approssimativi (idrologia del terreno).

Per questo motivo, è importante stabilire degli obiettivi⁵ di qualità e di quantità e operare in funzione di essi e del tipo di trattamento.

Prima della depurazione vera e propria, il percolato può essere soggetto a pre-trattamenti, che servono principalmente a:

- *Ridurre, se possibile, il volume percolato e carico di inquinante;*
- *Equalizzare il percolato, affinché sia compatibile con il processo depurativo.*

I metodi di trattamento, che sono descritti brevemente nelle pagine successive, possono essere raggruppati in due grandi famiglie: metodi classici e metodi innovativi.

⁴ La normativa a cui ci si riferisce è il *D.Lvo. 36/2003*, che recepisce la *Direttiva 1999/31/CE* “Relativa alle discariche di rifiuti”: il decreto stabilisce tutti i requisiti tecnici e operativi, le misure e le procedure, tali per cui la discarica abbia il minore impatto negativo possibile sull'ambiente e in particolare sulle acque di falda e superficiali.

⁵ Tali obiettivi sono dettati dal ben noto *D.Lvo 152 del 3 aprile 2006*, in particolare nella *PARTE TERZA*, che contiene tutti i limiti (di quantità e di concentrazione di determinate sostanze) che devono caratterizzare un liquame affinché possa essere immesso in un corpo idrico recettore.

1.1.2.1- Metodi classici

Il metodi classici sono:

- **Chimico fisico;**
- **Biologici.**

Il trattamento **chimico fisico** è la serie di questi processi:

- a. **Grigliatura.** Serve a trattenere il materiale il materiale più grossolano, quindi si installa a monte dell'impianto, con alcuni accorgimenti⁶.



Figura 8-Foto di una griglia

- b. **Disoleatura.** Serve ad eliminare oli e grassi: si fanno decantare, insufflando aria da alcuni diffusori presenti sul fondo;
- c. **Dissabbiatura.** Serve ad eliminare la sabbia⁷. Questo avviene per gravità in vasche rettangolari e profonde, attraverso le quali la corrente passa a basse velocità.



Figura 9-Modello di un dissabbiatore

⁶ La griglia deve essere progettata in modo che la velocità del liquame sia quasi la stessa a monte e valle di essa: Quando la corrente attraversa la griglia, velocità troppo alta significa eccessiva perdita di energia, mentre troppo bassa significa sedimentazione del materiale; un valore accettabile di velocità è compreso tra 0.6 e 0.9 m/s.

⁷ Per sabbia si intende tutto il materiale granulare avente diametro maggiore di 0.2 mm.

- d. *Sedimentazione primaria*. Serve ad eliminare i solidi sospesi sedimentabili (SSS). Questo fenomeno è ben descritto dalla legge di Stokes⁸ e il trattamento dà origine al **fango primario**, che viene aspirato e inviato ai suoi impianti specifici;



Figura 10-Foto di un sedimentatore

- e. *Filtrazione*. Serve ad eliminare il COD e alogeni: con il passaggio attraverso un filtro (quasi sempre è a carbone attivo) queste sostanze vengono trattenute;
- f. *Chiariflocculazione*. Serve eliminare i solidi sospesi non sedimentabili (SSNS); il trattamento consiste nel far reagire il liquame con sali (di calcio, ferro o di alluminio): si formano “fiocchi” costituiti dalle sostanze da eliminare, che vengono quindi separate dal liquame.



Figura 11-Foto di un chiarificatore

- g. *Trattamenti termici*. Eliminano alcune sostanze per evaporazione e distillazione;
- h. *Disinfezione*. Elimina i batteri patogeni mediante composti del cloro (come nelle piscine) o l'ozono[O₃].



Figura 12-Foto di una piscina per la disinfezione

⁸ La legge di Stokes esprime una proporzionalità tra la velocità di sedimentazione e le dimensione delle particelle: tanto più queste sono grandi tanto prima sedimentano.

Con i trattamenti **biologici**, si rimuovono gli inquinanti sfruttando il metabolismo⁹ dei batteri, che si trovano negli impianti di depurazione dispersi nel liquame, sotto forma di fiocchi o adesi ad una superficie a contatto con esso (per esempio biodischi).



Figura 13-Foto al microscopio di batteri

I principali esempi di questi processi sono:

- **Denitrificazione.** Consiste in una serie di processi, in condizioni *anaerobiche*, che servono ad eliminare i composti organici dell'ammoniaca, che i batteri trasformano, in successione, in ione ammonio[NH_4^+], ione nitrito[NO_2^-], ione nitrito[NO_3^-] e, infine, azoto[N_2], che viene rimosso facilmente in forma gassosa;
- **Processo a fanghi attivi.** Questo processo depurativo è uno dei più diffusi. Il metabolismo per eliminare gli inquinanti avviene in condizione *aerobiche*, garantite dall'aerazione da parte di diffusori in tali condizioni, i batteri (insieme anche ad altre sostanze) si aggregano sotto forma di fiocchi di fango, chiamati, per appunto, attivi, poiché con la loro azione eliminano l'inquinante. Questi fanghi quindi, giocano un ruolo fondamentale nel processo e nel dimensionamento dell'impianto¹⁰. Affinché questo processo funzioni bene e evitare alterazioni¹¹, è importante che la popolazione batterica abbia un ricambio: il fango in uscita pertanto può essere messo in ricircolo per un nuovo processo o può essere eliminato e inviato ai suoi trattamenti specifici: a seconda del caso prende il nome di *fango di ricircolo* o *fango di supero*.



Figura 14-Foto di un impianto a fanghi attivi

⁹ Il metabolismo è l'insieme di tutte le reazioni biochimiche che avvengono per eliminare l'inquinante in sintesi, si può riassumere in due processi: degradazione dell'inquinante (catabolismo) e, di conseguenza, produzione di energia, anidride carbonica[CO_2] e metano[CH_4] (anabolismo).

¹⁰ Per dimensionare un reattore a fanghi attivi è indispensabile conoscere, oltre che le caratteristiche qualitative (biodegradabilità) e quantitative (carico in ingresso) del percolato, le caratteristiche del fango: il carico di fango (CF), ovvero la quantità di batteri che è possibile introdurre giornalmente nel reattore, senza alterarne l'efficienza, e l'età del fango, ovvero il tempo medio di permanenza del fango all'interno del reattore, calcolato come il rapporto tra la massa di batteri che, nell'unità di tempo, resta nell'impianto e quella che viene allontanata.

¹¹ Per spiegare questo concetto, si può fare il paragone con una piccola comunità di persone, magari con legami di parentela, i cui accoppiamenti portano inevitabilmente alla nascita di figli che hanno, con alte probabilità, alterazioni genetiche; in fin dei conti, anche i batteri sono organismi.

1.1.2.2-Metodi innovativi

I metodi classici richiedono una vasca per ogni specifico trattamento e solo per quello. Quindi, per esempio, il metodo chimico fisico, può richiedere la costruzione di un sistema di 4 o 5 vasche, solitamente costoso e ingombrante. Il principio alla base dei sistemi innovativi consiste nell'unire due o più trattamenti in uno spazio compatto, per massimizzare l'efficacia di ciascuno di essi: questo è possibile, però, con una gestione più intelligente e complicata. I metodi sono:

- *Sequencing Batch Reactor (SBR)*. Questo sistema è vanta efficacia e semplicità; consiste nel depurare il percolato mediante processi a fanghi attivi e di sedimentazione che avvengono, in serie, **in un'unica vasca**;

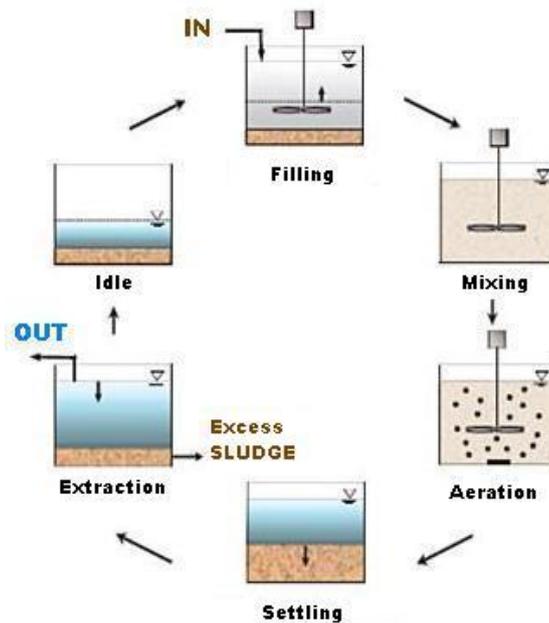


Figura 15-Schema del funzionamento di un impianto SBR

- *Membrane Biological Reactor (MBR)*. Unisce il processo a fanghi attivi e la microfiltrazione attraverso un **sistema di membrane**, che può stare all'interno o all'esterno del bacino in cui avviene il trattamento biologico;

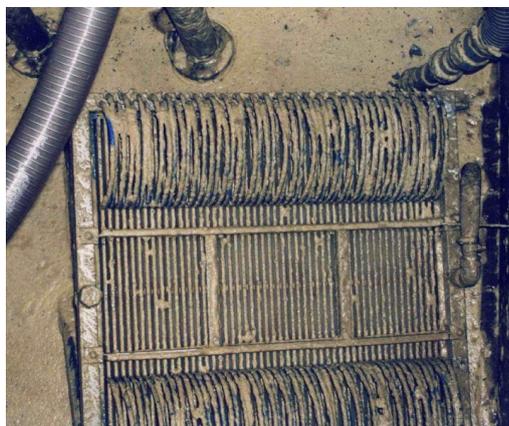


Figura 16-Foto di una membrana

- *Osmosi inversa*. L'osmosi è un processo spontaneo in che avviene in un sistema in cui ci sono due soluzioni separate da una membrana: secondo questo fenomeno, l'acqua passa dalla soluzione più diluita a quella più concentrata; l'osmosi inversa consiste nell'indurre il processo opposto, variando la pressione con un sistema meccanico: il risultato è il permeato, cioè il liquame depurato, che costituisce la soluzione diluita e il concentrato, che è caratterizzato da tutto il carico inquinante in ingresso.

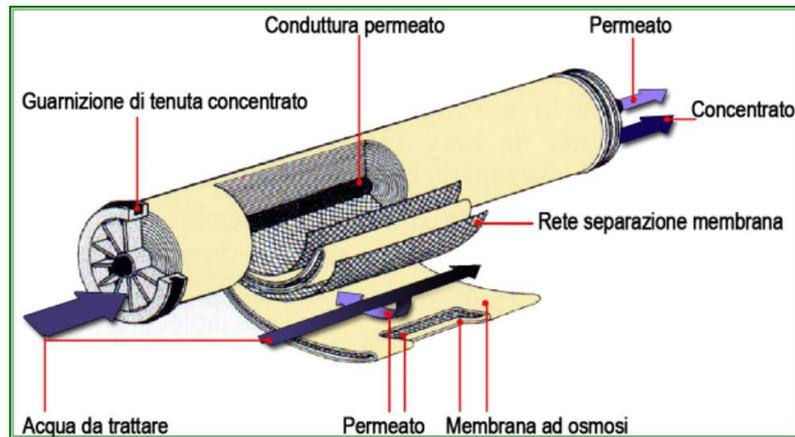


Figura 17-Modello di membrana per osmosi inversa

1.1.3-Considerazioni conclusive.

Per concludere la trattazione degli aspetti relativi al percolato, è bene osservare che i trattamenti di depurazione sono vari e ognuno ha le sue peculiarità, vantaggi e svantaggi, difficoltà tecniche e di realizzazione; tutte caratteristiche che si traducono in un concetto molto semplice: costi diversi.

Vale la pena riflettere su un aspetto che costituisce una notevole differenza tra i metodi classici e i metodi innovativi: la **flessibilità**¹²; i metodi classici sono ormai consolidati e, per questo motivo, la loro efficacia è garantita e le problematiche che possono presentare sono già state affrontate e risolte; tuttavia le tecniche che li caratterizzano sono tali da renderli *poco flessibili*, perché lavorano bene solo a schemi fissi e, quindi, la gestione si limita al monitoraggio e alla manutenzione; questo giustifica la costruzione di grandi impianti di depurazione, ai quali ogni giorno è necessario garantire il funzionamento in condizioni stazionarie e, pertanto, quasi sempre lo stesso carico di liquame in ingresso. I metodi innovativi sono *flessibili*, perché la gestione è libera, quindi possono prendere vita in impianti di dimensioni più ridotte.

Questa differenza fornisce la risposta ad un tema attuale e di grande interesse: la possibilità di depurare il percolato direttamente in discarica. Ovviamente questo è impossibile con un metodo tradizionale, poiché una discarica non può garantire ogni giorno un carico quasi costante all'ingresso dell'impianto; i metodi innovativi, proprio perché flessibili, rendono possibile il trattamento in situ. Pertanto, nonostante i costi di quest'operazione (per esempio, i costi delle membrane per un impianto MBR) siano ancora elevati e tutti gli aspetti e le difficoltà di gestione e della manutenzione, i gestori di discariche tendono a realizzare impianti interni, con i quali possono gestire e trattare il percolato che, durante il periodo di vita e, soprattutto, gli anni di post-chiusura, la discarica produce.

L'intero processo di depurazione del percolato è costituito **da una parte dei trattamenti** descritti brevemente in precedenza, **messi in cascata**. Riportiamo in *figura 18* lo schema a blocchi di due classiche tipologie di impianti per il trattamento in situ; nel primo (A) il cuore del processo è di tipo biologico, mentre nel secondo (b) è un impianto a osmosi inversa.

¹² Per flessibilità si intende la capacità di un metodo di depurazione e del rispettivo impianto, di fronteggiare la variabilità del carico in ingresso; i metodi tradizionali sono poco flessibili e, pertanto, funzionano bene in condizioni stazionarie, cioè con un carico in ingresso costante; i metodi innovativi sono più flessibili, ma richiedono una maggiore cura agli aspetti tecnici e gestionali, a causa delle problematiche che presentano più di frequente.

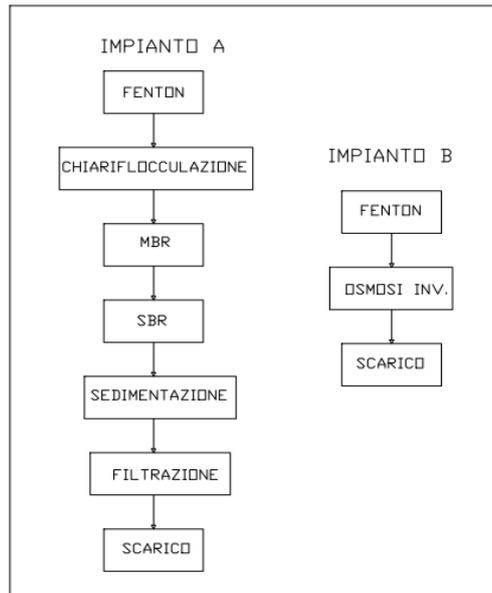


Figura 18-Schema di due classici schemi a blocchi per la depurazione di percolato da discarica

Si specifica che il trattamento di tipo Fenton (dal nome dello studioso che lo ha introdotto) è un trattamento preliminare che serve a rimuovere parte dell'ammoniaca, utilizzando dei reagenti, come l'acido solforico[H_2SO_4] e il cloruro di ferro[$Fe Cl_2$].

La descrizione, anche se breve, degli aspetti legati al percolato e ai suoi metodi di depurazione è fondamentale. La ragione è presto spiegata: lo studio dei metodi di trattamento del fango non può prescindere da essi, perché il suo volume, la composizione chimica e, di conseguenza, la sua destinazione, lo smaltimento e i tutti i costi annessi, sono strettamente legati ai processi di trattamento del percolato, dei quali il fango è figlio.

Ogni processo di depurazione dà origine al fango, in base al tipo di trattamento è possibile aspettarsi determinate caratteristiche chimiche del fango ottenuto: una distinzione netta è quella tra il fango ottenuto da un processo chimico-fisico (primario) e quello ottenuto da un processo biologico (secondario). Bisogna tenere presente non è possibile stabilire, senza analisi, i dettagli qualitativi del fango (e neanche del percolato); inoltre, fare considerazioni sullo studio di casi simili non fornisce informazioni accurate, poiché le variabili sono troppe e pertanto ogni caso deve essere trattato a sé; qualora si voglia qualsiasi informazione relativa a quello che viene fuori da un impianto, la soluzione è una prova pilota effettuata con modellazioni numeriche (con software appositi) o, ancora meglio, con un modello fisico. Fortunatamente, questo il settore della depurazione è oggi in forte espansione, pertanto molte aziende propongono soluzioni impiantistiche (soprattutto di piccole dimensioni, pertanto adatte al trattamento in sito) 'chiavi in mano' e forniscono e garantiscono le più importanti di queste informazioni.

Una considerazione a parte va fatta per il trattamento a osmosi inversa; questo ha come residuo il concentrato, che non è un vero e proprio fango perché ha in sé tutto il carico inquinante che non viene degradato (come accade in un processo biologico), ma trattenuto a monte della membrana (se non viene trasformato il carico inquinante resta nell'impianto, dato che il principio di conservazione della massa è inequivocabile); per questo motivo il sistema di gestione non è semplice, data la necessità di lavaggi continui del concentrato e delle membrane, che devono essere spesso cambiate e hanno costi elevati; il problema che però rende ancora più complicata questa situazione è lo smaltimento del concentrato: dato l'elevatissimo contenuto di carico inquinante è altamente improbabile che questo sia conforme ai limiti di accettabilità di rifiuti in discarica.

1.2-Il fango: cos'è, come si forma e come è fatto.



Figura 19-Foto di fango essiccato

La prima cosa da fare è definire il fango: è la **frazione di materia solida** contenuta nei liquami, che viene rimossa durante i trattamenti depurativi e trattata adeguatamente in modo da ridurre il suo volume e renderla inerte.



Figura 20-Foto di fango essiccato e digerito

A priori, non è facile stabilire quanta frazione solida, e quindi quanto fango, viene fuori da un certo volume di liquame depurato e che composizione chimica lo caratterizza; il fango è il prodotto di un processo complicato, le cui variabili non permettono di definirne qualità e quantità con accuratezza; sono necessarie analisi effettuate con le metodiche ufficiali, descritte nelle norme tecniche UNI.

Tuttavia, esistono dei criteri generali che forniscono un'idea sulla qualità del fango prodotta che bisogna aspettarsi al termine di un determinato trattamento.

Si riportano qui gli aspetti dai quali il fango dipende.

- ✓ *La quantità di percolato.* L'esperienza ha mostrato che su un volume unitario di liquame è possibile stabilire l'ordine di grandezza della frazione di fango residua: quest'a frazione è dell'ordine del 10%. Questo numero oscilla lievemente a seconda della stagione: per esempio, durante la stagione invernale, a causa dell'alto tasso di umidità del terreno, delle piogge, seppur blande, ma durature, la frazione liquida del percolato prodotto tende ad aumentare sul volume unitario; durante la stagione estiva, le condizioni sono esattamente l'opposto: il risultato è un

percolato che ha meno frazione liquida e, in questo caso, la percentuale di fango sul volume unitario è lievemente maggiore;

- ✓ *La qualità del percolato.* Il fango ha in sé quello che l'acqua piovana dilava dalla discarica e conserva parte delle caratteristiche dei reflui in discarica: per esempio, il fango derivato da una discarica di materiali inerti è caratterizzato dalle componenti del terreno; il fango derivato da una discarica di rifiuti industriali pericolosi è caratterizzato dall'abbondante concentrazione di metalli inquinanti;



Figura 21- Esempi di campioni di percolato con caratteristiche diverse

- ✓ *Il tipo di trattamento del percolato.* Le tecniche di depurazione hanno alla base principi diversi, in particolare quella della sedimentazione, che ha base fisica, e quella dei fanghi attivi, che ha base biologica.

La sedimentazione è il processo con il quale vengono rimosse dal liquame le particelle più grossolane, per gravità; questo trattamento di solito è a monte del processo depurativo vero e proprio, nel quale vengono coinvolte le particelle meno grossolane. Il fango che viene fuori dal sedimentatore è ricco di solidi sospesi sedimentabili e prende il nome **fango primario**. Ben diverso è, invece, il fango derivato da un processo a fanghi attivi: questo prevede l'utilizzo di colonie batteriche, aggregate sottoforma di fiocchi di fango, che degradano gli inquinanti; una volta finito il processo, questi fiocchi di fango possono essere riutilizzati per depurare altro liquame o essere eliminati: nel primo caso prendono il nome di fanghi di ricircolo, nel secondo fanghi di supero e costituiscono il **fango secondario**, caratterizzato da un'altissima concentrazione di batteri. Queste due tipologie fango, hanno peculiarità diverse; pertanto; sono diversi i trattamenti, le caratterizzazioni, gli utilizzi possibili e i costi ad essi legati.

- ✓ *Il tipo di trattamento del fango.* I trattamenti del fango, servono ridurre il volume in uscita dal depuratore e a stabilizzare la colonia batterica presente, ovvero renderla inerte con il tutto ciò che verrà a contatto con il fango successivamente. Per ridurre il volume e “placare i batteri” esistono tecniche, rispettivamente, di inspessimento e stabilizzazione, che possono essere fatte in diversi modi.

1.2.1- I fanghi primari e secondari

Un'importante differenza è quella che intercorre tra le caratteristiche dei fanghi primari e quelle dei fanghi secondari.

Generalmente, un sistema di depurazione del percolato è costituito da due sedimentatori, ai quali sono associate due linee di uscita dei fanghi: uno di questi è a monte della vasca del trattamento biologico, il cuore del processo, mentre l'altra è a valle di esso; *i fanghi primari sono quelli che non hanno ancora subito il processo biologico, mentre quelli secondari si.*

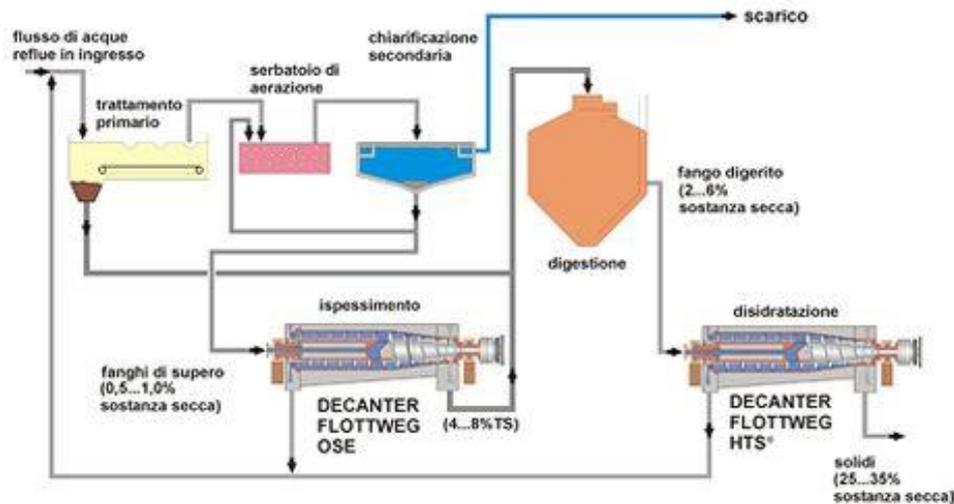


Figura 22-Esempio di uno schema di un impianto di trattamento di acque reflue e fango

I fanghi primari hanno un basso contenuto di solidi sospesi sedimentabili, ma mai nullo poiché il rendimento del sedimentatore primario non è mai unitario¹³; sono una miscela di:

- Composti organici facilmente degradabili, come proteine, lipidi, zuccheri e cellulosa;
- Sostanze inorganiche inerti come sabbia, metalli e composti del carbonio;
- Composti organici difficilmente degradabili, come fibre e gomma.

I fanghi secondari sono costituiti principalmente dai prodotti del trattamento biologico, ovvero sostanze che non vengono attaccate dai batteri, né sedimentabili, né biodegradabili, oltre che una parte di microrganismi.

Da quanto appena detto, è possibile evidenziare le differenze tra i fanghi primari e secondari che sono queste:

- Le concentrazioni di inquinanti organici sono inferiori nei secondari;
- I secondari più ricchi di nutrienti, pertanto sono più idonei all'utilizzo in agricoltura, che deve essere conforme al D.Lvo 99/1992.

¹³ Vuol dire che non è possibile far sedimentare tutti i solidi sospesi sedimentabili.

- Il potere calorifero dei fanghi primari è maggiore, pertanto sono più idonei all'incenerimento.

1.2.2-Parametri di interesse per l'analisi del fango

Il fango è una sostanza chimica formata da più composti, organici e inorganici, e da microrganismi. Inoltre, i solidi possono trovarsi in forma sospesa o disciolta, e in forma di ioni o molecole.

Per identificare un fango, bisogna guardare i seguenti parametri, che per essere significativi, devono essere descritti da un valore medio e da un indice di dispersione:

- *Solidi sospesi*, che possono essere sedimentabili (SSS), più grossolani, o non sedimentabili (SSNS), che si trovano in forma colloidale; queste categorie possono essere suddivise, inoltre, in solidi sospesi volatili o non volatili, a seconda che costituiscono o no il residuo fisso, ovvero la frazione solida che si ottiene in seguito all'incenerimento a 600 °C;
- *Sostanza secca*: è la percentuale di frazione solida su quella totale;
- *pH*: è l'indice dell'acidità/della basicità del fango; il pH varia tra i valori 0 (fortemente acido) e 14 (fortemente basico), passando per il valore 7 (neutro);
- *BOD₅*: è la quantità di ossigeno richiesta dai batteri il quinto giorno per demolire le sostanze biodegradabili;
- *COD*: è la quantità di ossigeno necessaria a demolire chimicamente gli inquinanti;
- *Nitrati*: sono gli inquinanti più importanti, si trovano in forma di ammoniaca, nitriti, nitrati, ione ammonio;
- *P₂O₅ e K₂O*: sono i composti più diffusi in cui si trovano fosforo e il potassio, che insieme all'azoto, costituiscono i principali nutrienti;
- *Metalli pesanti*, che costituiscono un'ulteriore ed importante famiglia di inquinanti; i più importanti sono: arsenico, rame, cromo, piombo, cobalto, zinco, mercurio, manganese, molibdeno, nickel, stagno, vanadio, zinco;
- *Potere calorifico*: è la massima energia che si può ricavare per incenerimento di un volume di fango unitario; questo è un parametro fondamentale, poiché fino al 31 dicembre 2013, è un discriminante sull'ingresso di un rifiuto in discarica: sono ammessi, infatti i rifiuti che hanno un potere calorifico specifico inferiore a 13000 kJ/m³.

1.2.3-I trattamenti del fango

Come è stato detto in precedenza, i fanghi in uscita da un processo di depurazione devono essere trattati con metodi specifici, prima giungere a fine vita o, se possibile, essere riutilizzati.

Il fango, appena fuori dal sistema di depurazione del liquame, è ricco di acqua: circa il 95% del volume totale è infatti costituito dalla fase liquida; inoltre esso è una sostanza putrescibile; se lasciato a sé, subisce un processo di fermentazione da parte di battere acidofili, diventando una massa maleodorante, che non si riduce di volume e può essere pericolosa per l'ambiente e la salute. Nella tabella sottostante, sono elencati i batteri che possiamo trovare nel fango, con associate le malattie:

Tabella 1-Elenco dei batteri con malattie associate

GRUPPO	GENERE	MALATTIA / SINTOMI
BATTERI	Salmonella	Tifo, paratifo, enterite
	Shigella	Dissenteria batterica
	Escherichia	Enterite (solo alcuni ceppi)
	Clostridium	Gangrena, tetano botulismo
	Mycobacterium	Tubercolosi, granuloma della pelle
PROTOZOI	Entamoeba	Dissenteria americana
	Giardia	Amebiasi
	Toxoplasma	Toxoplasmosi
NEMATODI	Ascaris	Ascariidosi
	Toxocara	Miasi rampante

I trattamenti hanno questi due obiettivi:

- *Ridurre il volume* della frazione liquida e solida del fango; eliminare l'acqua non è sempre facile, perché questa è legata al fango in modi diversi: essendo quest'ultimo un insieme di particelle, l'acqua si può trovare principalmente in tre modi; uno schema è riportato in *figura 23*: legata chimicamente alle sostanze che compongono le particelle (C), adesa alla loro superficie per via della tensione superficiale (B) e tra gli interstizi, cioè i vuoti (A).

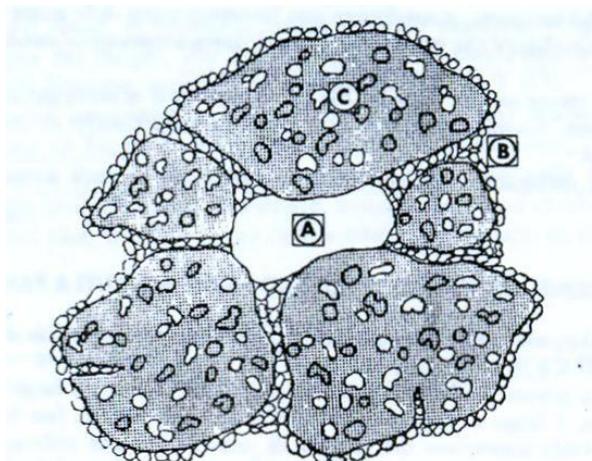


Figura 23-Schema dell'interazione tra acqua e fango

A titolo di esempio, è riportata la *figura 24*, attraverso la quale è possibile cogliere immediatamente le proporzioni tra la fase liquida (u) e quella secca (SS) di alcuni volumi di fango noti.

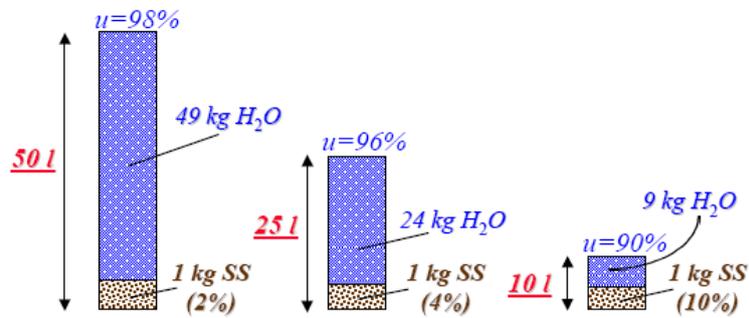


Figura 24-Esempi di rapporti tra volumi di sostanza secca e acqua nel fango

- *Stabilizzare i batteri*, mettendo fine al processo di putrefazione e rendendo, perciò, il fango inerte con le sostanze con le quali sarà messo a contatto successivamente, proteggendo ambiente e salute.

I trattamenti che servono a raggiungere questi scopi sono:

- Condizionamento;
- Ispessimento;
- Digestione;
- Disidratazione;
- Disinfezione.

1.2.3.1-Il condizionamento

Lo scopo del condizionamento è quello di **ridurre il volume della frazione liquida** del fango, aumentando la percentuale di frazione solida e, in parte, migliorando automaticamente la qualità, poiché una parte delle sostanze inquinate se ne va con fase liquida (che viene immessa ancora nell'impianto di depurazione).



Figura 25-Foto di un condizionatore per fango

Questo trattamento consiste nel separare i colloid¹⁴, dei quali il fango è ricco, dall'acqua, facendoli coagulare e sedimentare. Per fare questo, si può procedere per via termica, riscaldando il fango a 200 °C, o per via chimica, utilizzando questi reagenti; chiamati *condizionanti*:

- I derivati dell'alluminio, in particolare il solfato di alluminio[Al₂SO₄];
- Derivati del ferro, in particolare il cloruro ferrico[FeCl₂];
- Calce viva[CaO] e calce spenta[Ca (OH)₂].

Solitamente si tende a utilizzare il condizionamento chimico poiché i condizionanti, in particolare la calce, costano poco.

1.2.3.2- L'ispessimento

Lo scopo di questo trattamento è quello **di ridurre l'umidità del fango** di una piccola frazione, che seppur modesta, provoca una significativa riduzione del volume, che dà notevoli vantaggi nei trattamenti successivi, in termini di gestione e costi.

Questa separazione avviene in vasche aventi la forma di un tronco di cono, sfruttando la differenza di peso specifico dei materiali che compongono il fango. Questa differenza è naturale o indotta. Se è naturale, il fango sedimenta per gravità; questa tecnica è parente della sedimentazione per i liquami, anch'essa funzionante per gravità; ovviamente in questo caso si tratta di una sostanza in cui la frazione solida è maggiore, pertanto i tempi di sedimentazione sono più lunghi. Il sedimentato viene poi raccolto da un apposito sistema di pettini.

¹⁴ I colloid¹⁴ sono sostanze di piccole dimensione tali per cui prevalgono le forze di superficie su quelle di massa: per questo motivo tendono ad *adsorbire* le molecole d'acqua, ovvero formano con essa sostanze stabili, dotate da carica elettrica.

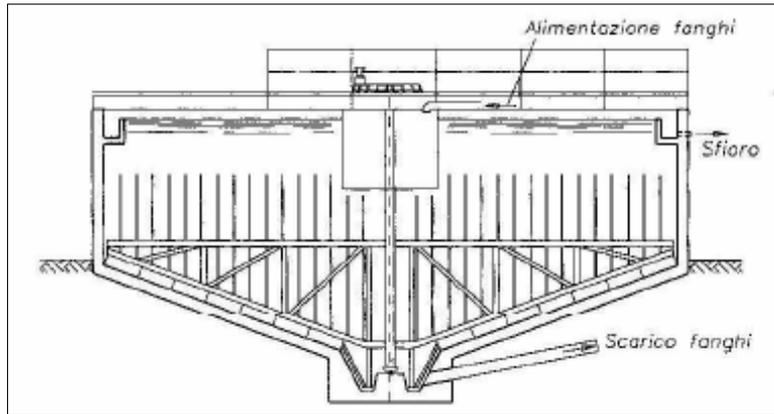


Figura 26-Schema di un impianto di ispessimento

Se invece la differenza di peso specifico è indotta, l'ispessimento avviene per flottazione, ovvero viene portato in superficie con dei getti d'aria, insufflati in acqua in seguito ad una manovra che provoca una brusca riduzione di pressione; questo metodo funziona bene per i fanghi aventi maggior concentrazione di SSNS che di SSS.

Il fango ispessito infine può essere centrifugato: in questo modo è ulteriormente disidratato.



Figura 27-Foto di una centrifuga

1.2.3.3- La digestione



Figura 28-Foto di un digestore

La digestione è il processo che serve a **stabilizzare i batteri**. Per fare questo si utilizzano dei batteri adatti a mineralizzare il fango, ovvero, trasformare le sue sostanze putrescibili in sostanze più semplici, che si stabilizzano e si degradano più semplicemente, proprio come avviene nei processi di metabolismo umano (del quale la fase più importante è chiamata, non a caso, digestione).

Nella pratica, questa operazione avviene quasi esclusivamente in condizioni anaerobiche; il motivo è tecnico: il processo funziona a bassi carichi di fango fresco in ingresso nel sistema, pertanto l'energia necessaria ad alimentare il sistema è minore di quella che si avrebbe in condizione aerobica, nella quale per di più, è necessaria ulteriore energia per l'aerazione.

Nonostante ciò la digestione anaerobica è un processo delicato: è necessario monitorare la temperatura (dalla quale dipende il risultato in termini di concentrazione di sostanza organica, tempi e costi) e la concentrazione di fango fresco rispetto a quello in digestione, in modo che non prevalga la fase acida su quella alcalina.

La putrescibilità è dovuta all'azione dei batteri acidofili, che producono in particolare acido solfidrico[H_2S], il principale responsabile del cattivo odore. La mineralizzazione avviene con un processo di fermentazione alcalina (il pH deve essere compreso tra i valori 7 e 7.5), da parte dei batteri metanigeni, che riducono drasticamente il volume del fango (fino al 90%), abbattano i batteri e gli agenti patogeni (fino al 70%).

Pertanto, la digestione anaerobica avviene in tre fasi:

1. Degradazione delle molecole complesse (proteine, carboidrati e grassi) in sostanze più semplici (zuccheri, amminoacidi);
2. Demolizione ulteriore in acidi;
3. Demolizione acidi e formazione del biogas, formato al 70% da metano[CH_4] e anidride carbonica[CO_2].

Quanto detto è schematizzato in *figura 29*.

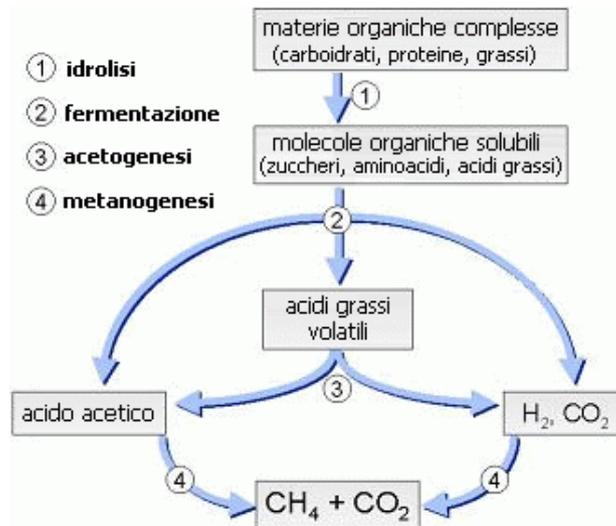


Figura 29-Schema del processo di digestione anaerobica

Alla fine del trattamento il fango ha l'aspetto di un terriccio, secco e inerte.



Figura 30-Risultato del processo di digestione

1.2.3.4-La disidratazione e la disinfezione

Il processo di digestione completa la trasformazione della massa liquefatta e maleodorante in terriccio secco, poroso e inerte.

Il fango stabilizzato, viene fatto essiccare naturalmente su letti adatti o meccanicamente tramite centrifughe, che **scaricano l'acqua residua** all'esterno, o filtropresse, che la eliminano comprimendo il fango.

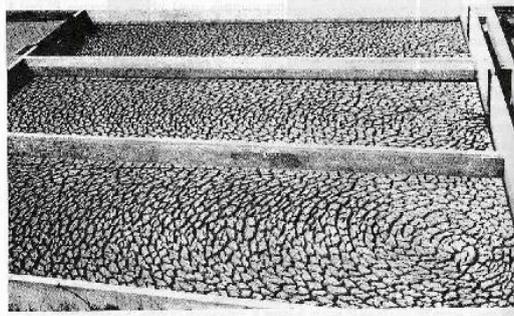


Figura 31-Foto di un letto per l'essiccazione del fango



Figura 32-Foto di una filtropressa

La disinfezione, come per i liquami, serve ad **eliminare i batteri patogeni**. I disinfettanti più utilizzati sono la calce e i composti del cloro; per una vera e propria sterilizzazione, si ricorre alle radiazioni ionizzanti.

1.2.4-Considerazioni sui trattamenti del fango

Un'aspetto importante da chiarire è che per eliminare l'acqua e stabilizzare i batteri non è necessario disporre di tutte le tecniche appena elencate. I trattamenti di cui il fango ha bisogno devono essere funzionali alla sua destinazione d'uso; nelle pagine successive sono spiegate quali sono quelle legittime e a quali condizioni.

Attraverso la *figura 33*, è possibile individuare i blocchi dei trattamenti in funzione dello smaltimento in discarica, dell'impiego agricolo o dello smaltimento per combustione.

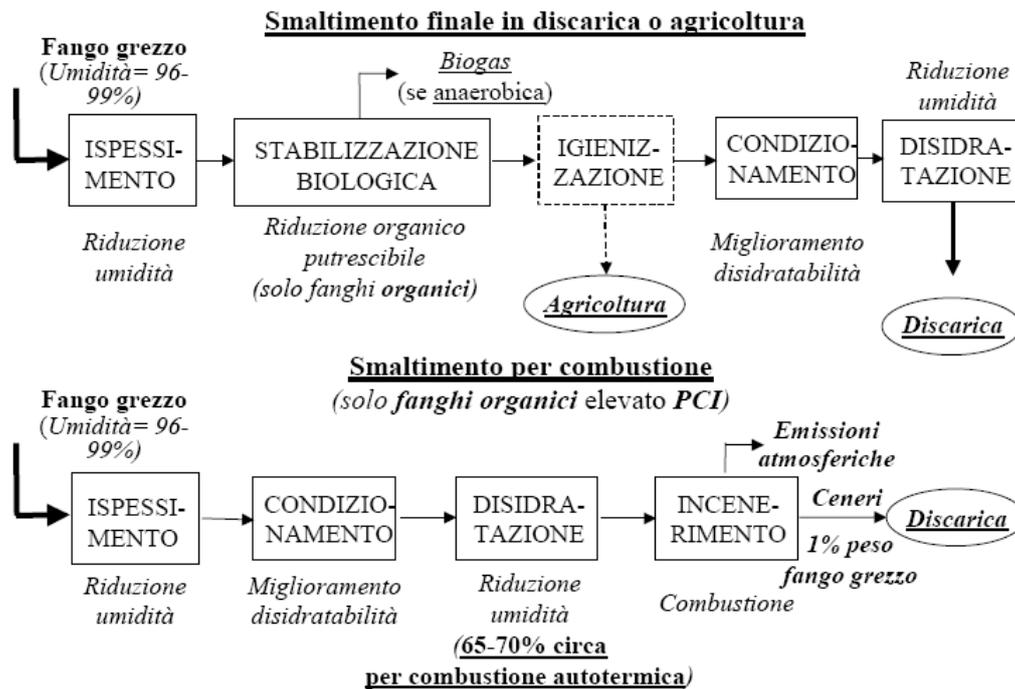


Figura 33-Schema dei possibile trattamenti in funzione della gestione successiva

1.3-Fanghi da depurazione: la legislazione in materia

L'intento di questo capitolo è riportare gli aspetti legislativi, italiani e comunitari, che riguardano i fanghi da depurazione, per dare una risposta alle seguenti domande, che hanno un grande interesse pratico:

1. I fanghi da depurazione si possono riutilizzare in qualche modo?
2. Se sì, per quali scopi?
3. Se no, dove devono andare a finire?

Per rispondere a queste domande, bisogna cercare le normative che si occupano in modo diretto o indiretto di questo tema; queste normative sono:

- *Il D.Lvo 152 del 3 aprile 2006, "Norme in materia ambientale";*
- *Il D.Lvo 99 del 27 aprile 1992, "Attuazione della direttiva 86/278/CEE, concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi da depurazione in agricoltura".*

Bisogna specificare che entrambi i decreti fanno parte della categoria delle **leggi speciali**; come tali si occupano di un tema specifico, in questo caso l'ambiente, e contengono i valori tabellari devono essere rispettati.

1.3.1-Il D.Lvo 152/2006: generalità

Il decreto legislativo 152 del 3 aprile 2006 “Norme in materia ambientale” costituisce la colonna portante della normativa italiana in materia ambientale. Questo decreto, in vigore dal 29 aprile 2006, è una vera e propria pietra miliare, perché è il risultato di un importantissimo passaggio: ha abrogato e sostituito la vasta e complicata costellazione di normative su questo tema.

Il decreto si articola in 318 articoli e 45 allegati, suddivisi in sei parti, che sono qui descritte in breve.

Parte Prima. Contiene le **disposizioni comuni**. L’*art. 1* descrive in breve il contenuto delle sei parti del decreto, l’*art. 2* espone la ratio¹⁵ del provvedimento: la promozione dei livelli della qualità della vita umana, da realizzare attraverso la salvaguardia e il miglioramento delle condizioni dell’ambiente e l’utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali. Gli articoli successivi sono dedicati ai quattro principi fondamentali¹⁶ sui quali si basa il decreto: sviluppo sostenibile¹⁷, “chi inquina paga”, prevenzione, precauzione.

Parte Seconda. Descrive le procedure VIA, VAS, IPPC¹⁸.

Parte Terza. Si occupa della difesa del **suolo** e della gestione delle **acque**, in particolare della tutela dall’inquinamento da acque da scarico.

Parte Quarta. Questa parte si occupa di tutto quello che riguarda il mondo dei **rifiuti** e delle **bonifiche** dei siti contaminati; è di sicuro la parte che interessa maggiormente gli argomenti di questa tesi.

Parte Quinta. Si occupa della tutela dell’**aria**, una risorsa indispensabile, ma la più fragile¹⁹.

Parte Sesta. Si occupa dei **danni** ambientali.

Nonostante il decreto 152 sia senza dubbio il più importante in materia, è importante specificare che non si occupa di tutti gli aspetti del mondo ambiente: pertanto non è esaustivo²⁰; per questo motivo non può essere considerato un testo unico, nonostante sia comunemente conosciuto con il nome, improprio, ‘Testo Unico Ambientale (TUA)’.

¹⁵ La ratio è la *volontà del legislatore*.

¹⁶ I principi sono elaborati in modo astratto, sono universalmente riconosciuti e il loro rispetto non è vincolato da verifiche di carattere giurisdizionale o a sanzioni; i principi del diritto ambientale sono stati elaborati a partire dal primo programma ambientale dell’Unione Europea, nel 1973.

¹⁷ Lo sviluppo sostenibile è il concetto principe del mondo dell’ecologia: si tratta di uno sviluppo che risponde alle necessità delle generazioni presenti, senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare le proprie esigenze.

¹⁸ La Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) è una procedura con la quale si stabilisce se un’opera è compatibile con l’ambiente; la Valutazione Ambientale Strategica (VAS) è una procedura che valuta la sostenibilità ambientale di un piano o un programma; la procedura di IPPC (Integrated Pollution Prevention Control) serve a valutare la compatibilità ambientale di un impianto industriale che potrebbe avere effetti negativi sulla salute e sull’ecosistema.

¹⁹ Nel momento in cui si scrive la pianura padana è il terzo al mondo per cattiva qualità dell’aria(dopo Shangai e Rio de Janeiro).

²⁰ Il decreto 152 non si occupa dei seguenti temi, che hanno una legislazione a parte, ma che costituiscono la *disciplina complementare*: inquinamento acustico ed elettromagnetico, edilizia e urbanistica, beni culturali e paesaggio, aree protette, protezione della fauna, O.G.M., energia, Adr, Reach e incidenti rilevanti, le norme internazionali UNI EN ISO 1400 e il regolamento comunitario EMAS, l’informazione ambientale.

1.3.2-Il fango da depurazione nel D.Lvo 152/2006: Parte Quarta e il tema del sottoprodotto

Il fango da depurazione trova il suo posto nella *Parte Quarta* del decreto, quella che tratta il tema dei rifiuti. Il concetto chiave è proprio la **definizione di rifiuto**, che ha subito diverse modifiche e definisce il rifiuto *una qualsiasi sostanza od oggetto il cui detentore si disfi, abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi*.

Ai sensi di questo decreto, il fango è classificato come **rifiuto speciale**; questa classificazione è definita dall'*art. 184*, che prevede, **in funzione della provenienza**, due categorie: urbani e speciali; in particolare, tra i rifiuti speciali sono espressamente riportati *i rifiuti derivanti dalle attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento fumi*.

Queste due categorie sono ulteriormente suddivise in due sotto categorie: rifiuti pericolosi e non pericolosi, qualora abbiano in se o no una o più caratteristiche di pericolo²¹. I rifiuti possono rientrare nella categoria pericolosi qualora superino la concentrazione di alcune sostanze o a prescindere.

Il concetto di sottoprodotto ha un'importanza notevole nella disciplina dei rifiuti; questo aspetto è paradossale perché, ai sensi dell'*art. 184-bis* del D.Lvo 152, **il sottoprodotto non è un rifiuto**, ma una sostanza o un oggetto che soddisfa queste quattro condizioni:

1. La sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza o oggetto;
2. E' certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
3. La sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente, senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
4. L'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

In questa tesi, è stata posta l'attenzione su questo tema perché, secondo alcuni pareri legali, alcuni tipi di fango possono rientrare nella categoria di sottoprodotto e, quindi, non essere rifiuto. L'utilizzo del fango per un nuovo scopo, comporta, qualora sia possibile, notevoli vantaggi ambientali ed economici.

²¹ Le caratteristiche di pericolo sono elencate nell'Allegato I del D.Lvo 152: tossico, molto tossico, corrosivo, irritante, cancerogeno, tossico per la riproduzione, mutageno, eco tossico. L'attribuzione di una o più di queste caratteristiche deve essere conforme a criteri comunitari (descritti nella Allegato VI della Direttiva 67/548/CE).

1.3.3-Approfondimento: Nuove prospettive di gestione dei fanghi

Per chiarire quanto è stato appena detto, a titolo di approfondimento, è riportato qui un parere legale in cui ci si chiede se un fango composto principalmente da proteine e grassi, derivato da acque reflue di un allevamento, può essere utilizzato per produrre biogas, e rientrare, ai sensi del D.Lvo 152, nella categoria di sottoprodotto.

Il caso: in molti stabilimenti per la produzione di carne e derivati a partire dalla materia prima allevata sono utilizzati impianti di depurazione di proprietà per trattare le acque reflue e consentire lo scarico delle stesse nei corpi idrici superficiali. La depurazione delle acque genera un materiale secondario costituito prevalentemente da grassi e proteine di consistenza “fangosa”. In alcuni casi questo materiale è riutilizzato per la produzione di Biogas sfruttando un processo biologico di digestione anaerobica.

La problematica è questa: sotto il profilo giuridico questo fango è rifiuto o può essere classificato come sottoprodotto?

Il parere legale: per definire la natura giuridica dei fanghi in ingresso alla digestione anaerobica occorre partire dalla corretta identificazione dei materiali che a monte fanno ingresso alla flottazione, ordinariamente riconosciuti come scarichi.

È sempre da tener presente che - visto che il ciclo della lavorazione e della depurazione sono “chiusi” - non vi sarebbe necessità di classificare a monte della flottazione e della digestione i singoli materiali, poiché non vi è alcuna necessità di gestirli fuori dal ciclo chiuso della lavorazione e soprattutto non è intenzione dell’azienda “disfarsene”, bensì valorizzarli all’interno dal punto di vista energetico.

Tale necessità nasce in seguito al tipo di trattamento che si intende svolgere in alternativa alla depurazione vera e propria, ovvero la digestione anaerobica, la cui disciplina amministrativa autorizzatoria è differente in base alla classificazione dei materiali in ingresso, come pure la qualificazione IAFR ai fini dell’ottenimento degli incentivi.

Dal ciclo produttivo della carne durante i turni lavorativi diurni si generano i reflui della macellazione costituiti da acqua contenente residui di carne e sangue, mentre nei turni notturni tali reflui sono principalmente rappresentati dal lavaggio dei sistemi di lavorazione della carne.

Entrambe le tipologie di reflui vengono usualmente avviate alla depurazione in qualità di scarichi industriali.

Lo "sgrondo" proviene dai residui delle lavorazioni di macellazione classificati come S.O.A. (sottoprodotti di origine animale) quali sangue, piume, teste, zampe, viscere e grasso ed i residui di sezionamento, come pelli e ossa che vengono convogliati all'impianto di rendering che li trasforma in farine proteiche e grasso animale, recuperando il loro alto valore nutrizionale e trasformandoli in pet-food.

Tale processo tecnologico è costituito da due linee: una specificatamente dedicata al trattamento delle piume e l'altra al trattamento dei sottoprodotti carnei.

Entrambi i S.O.A. in ingresso subiscono diverse fasi di lavorazione fino ad una separazione grossolana della fase liquida dalla massa solida.

L’acqua di lavorazione ovvero derivante dalla separazione grossolana della fase liquida dalla massa è detta sgrondo, ed è un residuo semiliquido ricco di grassi animali e ad alto contenuto di COD e Azoto e per tali sue caratteristiche può essere direttamente avviato alla digestione anaerobica.

Nonostante esistano rapporti di prova ed analisi che da un lato confermano la composizione chimica dello sgrondo dall'altro ne attribuiscono un codice CER (02.02.04 o 16.10.02 anche se non totalmente corretto) non è affatto automaticamente dimostrata la sua qualificazione giuridica come rifiuto.

Si deve infatti rammentare che è rifiuto, secondo le disposizioni vigenti (art. 183 co. 1 lett. a) del TUA: *“qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi”*, senza alcuna connessione con l'esistenza o meno di un codice CER adatto.

Posto che nel caso di specie è evidente la volontà di non disfarsi dello “sgrondo” (né tanto meno la presenza di un obbligo di legge in tal senso) si può escludere a monte la sua classificazione come rifiuto.

È quindi possibile verificarne la classificazione o come S.O.A. o come sottoprodotto tout court ex art. 184-bis TUA.

Appare percorribile – ferma restando la dimostrazione alla amministrazione competente al rilascio dell'atto autorizzatorio della sussistenza di tutti i requisiti di legge – che i reflui dell'impianto di rendering siano classificabili come sottoprodotti tout court ai sensi dell'art. 184 bis del TUA²², dimostrando che:

- i reflui del rendering costituiscono parte integrante del processo di trattamento dei SOA condotto al fine di ottenere le farine proteiche e il grasso animale, che ne costituiscono il prodotto primario, poiché ne derivano come residui non programmati ma comunque decadenti da tale processo produttivo;
- tale liquido verrà utilizzato (non importa più se in modo integrale o meno) in un successivo processo di produzione, quello del biogas, presumibilmente senza alcun trattamento preventivo e comunque non diverso dalla normale pratica industriale;
- non sono noti – a che risulti - dati tecnici che sconsigliano l'utilizzazione dello sgrondo in digestione anaerobica per motivi di impatto ambientale e/o di tutela della salute umana, ed è anzi dimostrabile il contrario, ovvero la non nocività di questi materiali per l'uso prestabilito.

Una volta ottenuto dall'Amministrazione pubblica il nulla osta alla classificazione dello sgrondo come sottoprodotto questo non solo potrà essere utilizzato per la produzione di biogas in ciclo chiuso nell'impianto da cui origina (peraltro dando luogo ad una produzione di biogas non da

²² Art. 184-bis: “1. E' un sottoprodotto e non un rifiuto ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera a), qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa tutte le seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- b) è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
- c) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

2. Sulla base delle condizioni previste al comma 1, possono essere adottate misure per stabilire criteri qualitativi o quantitativi da soddisfare affinché specifiche tipologie di sostanze o oggetti siano considerati sottoprodotti e non rifiuti. All'adozione di tali criteri si provvede con uno o più decreti del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, ai sensi dell'articolo 17, comma 3, della legge 23 agosto 1988, n. 400, in conformità a quanto previsto dalla disciplina comunitaria”.

rifiuto) ma soprattutto potrà essere conferito da impianti terzi come prodotto, quindi con DDT e non con FIR.

Per lo sgrondo è poi sempre ipotizzabile l'applicazione della generica definizione di biomassa, in quanto: *“frazione biodegradabile di un residuo animale di origine biologica”*; tale definizione riportata è un estratto di quanto disposto nella vigente nozione di biomassa contenuta all'art. 2 comma 1 lett. e) del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28 *“Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”*. Secondo tale norma biomassa è: *“la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”*²³.

Esclusa la natura di rifiuto per lo sgrondo direttamente convogliato alla digestione e una volta classificati giuridicamente come non rifiuti i materiali in ingresso alla flottazione, resta da verificare la natura giuridica dei **fanghi primari estratti dalla flottazione stessa**, tenendo conto che la giurisprudenza e la dottrina tendenzialmente confermano la natura di “rifiuto” dei fanghi finali della depurazione.

È a maggior ragione quindi necessario partire dal presupposto che la depurazione - di cui la flottazione è la prima fase - è il sistema tecnico che si attiva per eliminare dai corpi liquidi sostanze estranee o inquinanti.

Tale processo trattamento delle acque reflue di origine industriale consiste in una successione di più fasi (o processi) durante le quali da questa vengono rimosse le sostanze inquinanti, concentrandole sotto forma di fanghi, e dando luogo ad un effluente finale idoneo allo sversamento in un corpo recettore (terreno, lago, fiume o mare).

Il trattamento genera automaticamente la produzione di fanghi i quali, con tecnologie sempre più moderne, possono anche essere avviati alla digestione anaerobica sulla base di scelte virtuose delle aziende per la produzione di energia da fonti rinnovabili, ma senz'altro ciò non rende di per sé l'impianto di depurazione un **processo produttivo vero e proprio**, poiché la depurazione delle acque reflue non può certo definirsi *“attività di produzione”*.

Di conseguenza, per i fanghi della depurazione che si generano al termine del percorso non è configurabile la classificazione come sottoprodotti (della depurazione²⁴), e allo stesso modo ciò è da escludersi per i fanghi derivati anche solo dalla prima fase della flottazione.

I fanghi della depurazione sono usualmente classificati come rifiuti a tutti gli effetti.

Non sono mancate pronunce della Cassazione a conferma del fatto che devono essere ricondotti alla disciplina dei rifiuti sia i “fanghi” sia le “soluzioni acquose” (cfr. *Cass. Pen. sez. III, 27 marzo*

²³ Risulta così ampliata la precedente definizione resa dall'art. 2, comma 1, lett. a) del D.Lgs. n. 387 del 29 dicembre 2003, n. 387 che così la definiva: *“la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze animali e vegetali) e dalla silvicoltura e da industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”*.

²⁴ Sul punto peraltro si deve registrare una sentenza di Cassazione Penale, della III sezione, la n. 27085, del 4 luglio 2008, nella quale i giudici confermano che *“... la disciplina in materia di rifiuti si applica ai fanghi della depurazione, ... non è pertinente per escludere i suddetti materiali dalla disciplina dei rifiuti il riferimento alla nozione di sottoprodotto”*.

2007, n. 21774, seppur in tema di fanghi degli autolavaggi e conseguenti soluzioni acquose di scarto).

Vi è anche chi²⁵ (trattasi però di giurista e non di tecnico) ha sostenuto che il processo della depurazione è unico e quindi le sue fasi intermedie (tra cui la flottazione) non possono essere considerate autonomamente ai fini della valutazione sul determinarsi del rifiuto o meno; valutazione che dovrà necessariamente essere effettuata al termine del ciclo della depurazione; di tal che è “*al momento della conclusione del ciclo trova piena applicazione la disciplina rifiuti e, ove e per quanto applicabile, quella prevista dal D. Lgs. n. 99/1992*”.

Sul punto, peraltro, si è pronunciata anche *Cass. Pen. sez. III, sentenza 14 febbraio 2011 n. 5356*, affermando: “*Ai sensi dell'art. 127 del D.Lgs. n.152 del 2006, i fanghi derivanti dal trattamento delle acque reflue sono sottoposti alla disciplina dei rifiuti alla fine del complessivo processo di trattamento effettuato nell'impianto di depurazione. (Nella fattispecie, relativa al deposito incontrollato dei fanghi, il Tribunale del Riesame non aveva accertato se i fanghi ritrovati nelle vasche annessi ai depuratori comunali fossero quelli esitati al termine del processo di trattamento delle acque reflue effettuato negli impianti di depurazione e quindi il ricorso era stato respinto)*”.

Quindi i fanghi della depurazione e della flottazione non possono accedere alla qualificazione di sottoprodotti; in particolare i fanghi che si generano al termine del processo produttivo (fanghi della depurazione vera e propria) devono essere senz'altro classificati come rifiuti ed a parere di chi scrive lo stesso varrebbe anche per i fanghi della flottazione, seppur rientranti nella fase primigenia della depurazione.

Quanto sopra potrebbe essere confutato solo dimostrando:

- la diversa composizione fisico-chimica delle due tipologie di fanghi dalla quale consegue una possibile diversa classificazione giuridica;
- il fatto che i fanghi della flottazione non giungono tecnicamente al termine del ciclo della depurazione quindi – in una interpretazione letterale della norma – si potrebbe ritenere inapplicabile l'art. 127 del TUA (rubricato *Fanghi derivanti dal trattamento delle acque reflue*) secondo cui: “*Ferma restando la disciplina di cui al decreto legislativo 27 gennaio 1992, n. 99, i fanghi derivanti dal trattamento delle acque reflue sono sottoposti alla disciplina dei rifiuti, ove applicabile e alla fine del complessivo processo di trattamento effettuato nell'impianto di depurazione. I fanghi devono essere riutilizzati ogni qualvolta il loro reimpiego risulti appropriato*”; consentendo ancora una volta una diversa classificazione giuridica;

entrambe le condizioni sono vincolate, nella ricostruzione teorica di questa diversa classificazione giuridica, al requisito della continuità e chiusura del ciclo di lavorazione tra gli scarichi che vanno a depurazione e la digestione anaerobica; è dunque tassativamente da escludersi che possa accedere a tale qualificazione il fango flottato eventualmente trasportato da altri stabilimenti del gruppo, che pertanto rimane assoggettato alla disciplina sui rifiuti.

Si potrebbe sostenere in sede di istruzione della pratica autorizzatoria che essi costituiscono un materiale che viene ulteriormente ri-processato in un impianto diverso, seppur tecnicamente connesso al depuratore, a ciclo chiuso, verso la digestione anaerobica.

²⁵ C. PARODI, “Fanghi di depurazione: quale disciplina applicabile?” in *Ambiente&Sicurezza*, n. 2/2010, pagg. 98 e ss.

Del resto, come già anticipato sopra, solo da un punto di vista formale (e potremmo quasi dire a contrario) è necessario trovare una definizione giuridica di questo materiale: ovvero è necessario classificarlo correttamente poiché i riferimenti normativo-autorizzatori per gli impianti alimentati a fonti rinnovabili mutano a seconda che i materiali in ingresso alla digestione siano classificati come rifiuti o meno, indipendentemente dalla possibilità di utilizzarli – ed ottenere le incentivazioni di legge - che è prevista in entrambi i casi.

Tenuto conto che i materiali in ingresso alla depurazione non sono classificati a monte come “rifiuti” ma come scarichi industriali, nonché delle tre condizioni sopra evidenziate, e del fatto che non vi è alcuna intenzione aziendale di disfarsi di questo materiale, a parere di chi scrive, è possibile escludere la qualificazione del flottato come rifiuto.

Peraltro, si può accedere anche in questo caso alla generica nozione di biomassa, come più sopra riportata, poiché le acque in ingresso al depuratore dalle quali, di fatto, proviene il fango sono residui di origine biologica provenienti dal trattamento delle materie prime animali.

1.3.4-Il decreto 99/1992

Come già detto, il fango, ai sensi del D.Lvo 152, è classificato come rifiuto speciale; pertanto, dopo essere stato adeguatamente trattato, deve essere smaltito, in discarica o nel termovalorizzatore.

Talvolta, però, può essere utilizzato come fertilizzante, a patto che questo impiego sia conforme ad una legge importante: il decreto 99/1992. Questo decreto ha recepito la direttiva 86/278/CEE e concerne *la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.*

La normativa è composta da 16 articoli e 6 allegati.

L'art. 1 descrive la finalità del decreto che **incoraggia il corretto impiego dei fanghi**, per evitare effetti nocivi sull'ambiente, sulla flora sulla fauna e sul suolo. **L'art. 2** contiene le **definizioni** di fanghi, fanghi trattati, agricoltura e utilizzazione. I fanghi sono definiti i residui derivanti dai processi di depurazione delle acque reflue provenienti da insediamenti civili e produttivi; i fanghi trattati sono i fanghi sottoposti a trattamento biologico, chimico o termico, tale ridurre in maniera rilevante il loro potere fermentiscibile e gli inconvenienti sanitari della loro utilizzazione; per agricoltura, si intende qualsiasi tipo di coltivazione a scopo commerciale e alimentare e zootecnico; l'utilizzazione è, infine, il recupero dei fanghi mediante il loro spandimento sul suolo o qualsiasi altra applicazione sul suolo e nel suolo. **L'art 3** è importante perché contiene **le condizioni per l'utilizzazione**. La prima condizione è sulle caratteristiche del fango: deve essere stati sottoposti a trattamento, essere idonei a produrre un effetto concimante e/o ammendante e correttivo del terreno e non devono sostanze tossiche e nocive e/o persistenti, e/o bioaccumulabili in concentrazioni dannose per il terreno, per le colture, per gli animali, per l'uomo e per l'ambiente in generale. La seconda è relativa alla concentrazione di uno o più metalli pesanti nel suolo, che non devono superare questi valori:

3. Possono essere utilizzati i fanghi che, al momento del loro impiego in agricoltura, non superino i valori limite per le concentrazioni di metalli pesanti e di altri parametri stabiliti nell'allegato I B.

La terza condizione è sulla dose massima, che non deve essere superiore a 15 t/ha di sostanza secca nel triennio, purché, i suoli presentino le seguenti caratteristiche:

- capacità di scambio cationico (c.s.c.) superiore a 15 meg/100 gr;
- pH compreso tra 6,0 e 7,5;

Qualora il pH sia inferiore a 6 e la c.s.c. sia inferiore a 15, per tenere conto dell'aumentata mobilità dei metalli pesanti e del loro maggiore assorbimento da parte delle colture sono diminuiti i quantitativi di fango utilizzato del 50%. Nel caso in cui il pH del terreno sia superiore a 7,5 si possono aumentare i quantitativi di fango utilizzato del 50%.

I fanghi, invece, provenienti dall'industria agroalimentare possono essere impiegati in quantità massima fino a tre volte le appena descritte, purché i metalli pesanti superino valori pari ad un quinto di quelli di cui all'allegato I B.

L'ultima condizione è sull'utilizzo dei fanghi come componenti dei substrati artificiali di colture floricole su bancali qualora:

- a) siano disidratati e il loro contenuto di umidità non superi il limite di 80% espresso sul tal quale;
- b) abbiano una composizione analitica che rientri nei limiti dell'allegato I B;
- c) il substrato artificiale di coltura contenga quantitativo di fango non superiore al 20% del totale.

L'art. 4 contiene i **divieti**:

1. È vietata l'utilizzazione dei fanghi sui terreni agricoli se non ricorrono le condizioni previste dall'art. 3.
2. È vietata l'utilizzazione dei fanghi tossici e nocivi.
3. È vietato applicare i fanghi ai terreni:
 - a) allagati, soggetti ad esondazioni e/o inondazioni naturali, acquitrinosi o con falda acquifera affiorante, o con frane in atto;
 - b) con pendii maggiori del 15% limitatamente ai fanghi con un contenuto in sostanza secca inferiore al 30%;
 - c) con pH minore di 5;
 - d) con C.S.C. minore di 8 meg/100 gr;
 - e) destinati a pascolo, a prato pascolo, a foraggiere, anche in consociazione con altre colture, nelle 5 settimane che precedono il pascolo o la raccolta di foraggio;
 - f) destinati all'orticoltura e alla frutticoltura i cui prodotti sono normalmente a contatto diretto con il terreno e sono di norma consumati crudi, nei 10 mesi precedenti il raccolto e durante il raccolto stesso;
 - g) quando è in atto una coltura, ad eccezione delle colture arboree;
 - h) quando sia stata comunque accertata l'esistenza di un pericolo per la salute degli uomini e/o degli animali e/o per la salvaguardia dell'ambiente.
4. È vietata l'applicazione di fanghi liquidi con la tecnica della irrigazione a pioggia, sia per i fanghi tal quali che per quelli diluiti con acqua.

I seguenti **art. 5, 6, 7** contengono le **competenze** dello Stato, che promuove e organizza quanto esplicitato nella direttiva, delle Regioni, che si occupano principalmente di rilasciare le autorizzazioni su tutte le attività relative ai fanghi e di stabilire eventualmente limiti ancora più restrittivi, e delle Province, che provvedono al controllo di tali attività.

Gli *art. 8 e 9* descrivono la procedura che serve ad ottenere l'**autorizzazione**, per la quale devono essere specificati più aspetti, su tutti le caratteristiche del fango e della coltura sulla quale impiegarlo.

L'*art. 10* esplicita che il terreno sul quale impiegare il fango deve essere analizzato preventivamente e almeno ogni 3 anni.

L'*art. 11* esplicita che i fanghi impiegati devono essere regolarmente analizzati, e la ricorrenza con cui fare le analisi dipende dalla portata dell'impianto di depurazione.

L'*art. 12* specifica che le operazioni di raccolta, trasporto, stoccaggio, condizionamento ed applicazioni devono avvenire in conformità alle norme tecniche e devono essere svolte in modo da garantire la massima sicurezza.

Gli *art. 13, 14 e 15* specificano che il fango deve essere accompagnato da una scheda tecnica, dai registri di utilizzazione e di carico/scarico.

L'ultimo articolo, l'*art. 16* infine contiene le sanzioni; qualora qualsiasi operazione non sia conforme alle decreto, si va incontro ad una contravvenzione²⁶, tranne qualora si ottemperi agli obblighi relativi alla compilazione dei registri e della scheda di accompagnamento: in tal caso la sanzione prevista è di tipo amministrativo.

²⁶ Gli illeciti possono essere di tipo amministrativo, civile e penale: questi ultimi si dividono in due categorie, discriminate dal tipo di sanzione prevista: i delitti sono sanzionati con multa, reclusione o ergastolo, mentre le contravvenzioni con l'arresto o l'ammenda. Queste sanzioni possono essere applicate alternativamente o in concorso.

1.3.5-Considerazioni sugli aspetti legislativi

Detto questo, si cerca ora di dare una risposta alle domande poste all'inizio del paragrafo:

- I fanghi da depurazione si possono riutilizzare in qualche modo?
- Se sì, per quali scopi?
- Se no, dove devono andare a finire?

Prima di tutto, è opportuno ribadire questo concetto: i fanghi di depurazione sono rifiuti speciali e devono essere smaltiti in discariche controllate di rifiuti speciali o per incenerimento in un termovalorizzatore, un tipo di smaltimento che è finalizzato al recupero energetico.

L'unico impiego alternativo è agricolo, che, però, è possibile solo se conforme al D.Lvo 99/1992; questo utilizzo può avvenire in modo diretto o dopo un trattamento adeguato in un impianto di compostaggio.

In Italia, il fango risulta in generale ricco di metalli; questo compromette l'impiego agricolo, per il quale il fango dovrebbe avere una maggior quantità di nutrienti.

Pertanto, in generale, il fango viene smaltito. Lo smaltimento può avvenire in discarica o in termovalorizzatore: questa scelta in particolare è legata alle caratteristiche del rifiuto, che devono essere indagate e devono rispettare i criteri di accettabilità nei rispettivi impianti. In particolare un parametro chiave è il potere calorifero, ovvero la massima energia in kJ che si ottiene incenerendo un 1 kg di un dato rifiuto. Questo parametro discrimina se un rifiuto come deve essere smaltito; un provvedimento legislativo aveva asserito che i rifiuti aventi un potere calorifico maggiore²⁷ di 13000 kJ/kg sarebbero dovuti finire in termovalorizzatore e non in discarica, per alimentare gli impianti a mantenere i forni a regime quando hanno meno carico in ingresso. Questa decisione ha mandato in crisi il sistema di gestione di numerose discariche italiane, poiché gran parte dei rifiuti ha potere calorifico superiore a 13000 kJ/kg: per questo motivo, con il decreto legge n. 1 del 14 gennaio 2013, questa decisione è stata differita al 31 dicembre 2013, dando la possibilità ai gestori di adeguare il proprio sistema.

Un dettaglio da sottolineare è che questo parametro non deve essere riferito al rifiuto *tal quale*, ma sull'*eluato*, ovvero una soluzione ottenuta bagnando il rifiuto; il motivo per il quale si ritiene più significativo analizzare l'eluato è chiaro: questo simula il comportamento del rifiuto in condizioni di pioggia.

²⁷ Sono proprio i rifiuti più comuni: plastica, carta e simili.

CAPITOLO 2-ANALISI DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE MBR E OSMOSI INVERSA

2.1-L'azienda: S.A.Ba.R. s.p.a.



Figura 34-Foto aerea dell'azienda

La S.A.Ba.R. s.p.a. è un'azienda municipalizzata²⁸, che fornisce servizi ambientali nella bassa reggiana; si occupa principalmente della gestione di una discarica e, pertanto, gran parte delle attività consistono nel controllo degli aspetti legati ad essa: su tutti, lo smaltimento (coatto o in seguito a un *ricondizionamento* del rifiuto, che avviene attraverso la triturazione) di rifiuti solidi urbani (RSU), rifiuti speciali provenienti dalla provincia di Reggio Emilia, e rifiuti speciali non pericolosi di provenienza extra provinciale.

²⁸ Un'azienda municipalizzata è di proprietà del sindaco o dei sindaci dei comuni a cui fa riferimento; in particolare, la S.A.Ba.R. è gestita da un direttore generale esterno al comune, che si occupa della gestione operativa e da un consiglio di amministrazione i cui membri sono eletti dai sindaci dei comuni di Boretto, Brescello, Gualtieri, Guastalla, Luzzara, Novellara, Poviglio e Reggiolo.

La discarica non è l'unica ricchezza dell'azienda; infatti le altre attività sono:

- Deposito preliminare di rifiuti speciali pericolosi e non pericolosi;
- Messa in riserva di rifiuti recuperabili;
- Trattamento di rifiuto destinato al recupero;
- Recupero di biogas per alimentare un impianto che produce energia elettrica (immessa nella rete nazionale) riscalda delle serre, gestite una cooperativa sociale, in cui si coltiva basilico;
- Produzione di energia elettrica, tramite un impianto fotovoltaico da 2 MW.



Figura 35-Foto dell'impianto fotovoltaico in esercizio presso l'azienda

L'azienda e la discarica, sono localizzate in un territorio agricolo, prevalentemente argilloso, di 50 ha, a 4 km dal centro di Novellara (RE). Il bacino d'utenza servito è di 72000 abitanti.

Tutte le attività sono autorizzate dall' Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) rilasciata dalla Provincia di Reggio Emilia nel 2009: questo documento contiene tutti i dettagli relativi alle condizioni sotto le quali l'azienda può svolgere le sue attività.

La S.A.Ba.R. alto livello di prestigio: nel 2003 ha cominciato l'iter di certificazione ambientale e registrazione al regolamento EMAS.

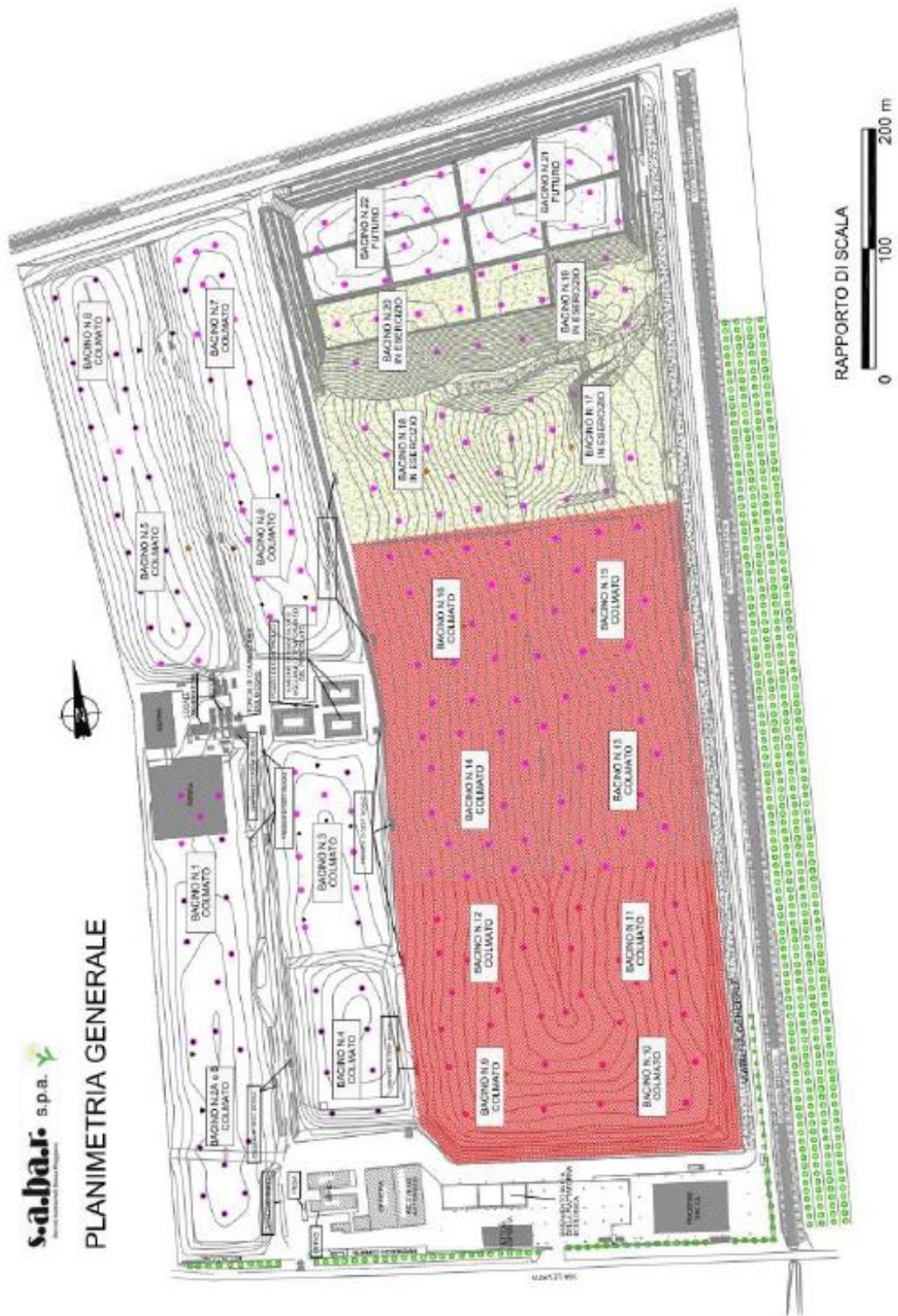


Figura 36-Planimetria del territorio sul quale opera l'azienda

2.2-L'impianto di depurazione in analisi

In questo paragrafo, si analizza l'impianto di depurazione del percolato nei confronti del quale l'azienda è interessata.

Prima di tutto, è opportuno sottolineare l'utilità e l'importanza che avrebbe l'impianto in un contesto come quello della S.A.Ba.R.; per fare questo è utile spiegare brevemente come funziona il sistema di raccolta del percolato prodotto dalla discarica; il fondo della discarica è impermeabilizzato e ha le pendenze tali per cui il tutto il percolato finisce, per gravità, in un sistema di tubi fessurati; i tubi sono collegati ai pozzi di raccolta più vicini ai rispettivi bacini; questi fungono da serbatoi temporanei e sono utili per il monitoraggio; quando il livello del battente nei serbatoi supera un certo valore, in automatico, entra in azione un sistema di pompe, con il quale il percolato viene convogliato in due vasche di raccolta.



Figura 37-Foto di un pozzo di raccolta del percolato

Nel momento in cui si scrive, con una certa periodicità e in particolare quando le vasche si colmano, in particolare in seguito a giorni piovosi, il percolato viene prelevato da un operatore di un'azienda esterna per essere depurato.

Questa operazione ha **un costo non trascurabile**; la possibilità di poter depurare il percolato direttamente in S.A.Ba.R. si traduce in **risparmio**; infatti questo liquame viene prodotto dalla discarica non solo durante la fase di esercizio, ma anche durante tutta la fase di post-chiusura: durante questa fase, che, per legge, deve durare 30 anni, la discarica deve essere comunque monitorata e gestita in modo da ridurre gli impatti ambientali, e le risorse per farlo sono minori rispetto a quelle disponibili durante fase di esercizio.

Pertanto l'impianto di depurazione in progetto è un valido investimento per il futuro dell'azienda.

L'impianto da realizzare è rientra nella categoria di quelli innovativi, descritta nella capitolo 1 della tesi: pertanto di piccole dimensioni e flessibile.

Le possibilità sono molteplici; in un studio precedente a questo, l'autore Stefano Salati, tra le varie soluzioni impiantistiche, ne mette in luce tre:

1. Impianto con cuore biologico e microbio flottazione;
2. Impianto con reattore MBR e osmosi inversa;
3. Impianto con evaporimetro e SBR.

Queste soluzioni sono evidentemente differenti; insieme ai tecnici dell'azienda sono stati analizzati questi aspetti:

- Caratteristiche tecniche;
- Fattibilità tecnica;
- Costi di realizzazione: progetto, costruzione, avviamento, collaudo, manutenzione e gestione;
- Tasso di ammortamento annuo;
- Costo di smaltimento del percolato con il nuovo impianto.

I dati relativi ai costi sono stati ottenuti ad aziende leader del settore della progettazione di impianti di trattamento sanitario ambientale.

Dopo una serie di discussioni e considerazioni, si è stabilito che, in un'ottica futura, l'azienda è interessata all'**impianto a reattore MBR e osmosi inversa**.

2.2.1-Lo schema e i costi dell'impianto.

In questo paragrafo si analizza l'impianto.

Quest'ultimo si può schematizzare con il sistema a blocchi riportato in *figura 40*. Il cuore dell'impianto è caratterizzato, nell'ordine, da:

1. *Trattamento MBR*, costituito dal reattore, con il quale si rimuove soprattutto l'ammoniaca, e dalle membrane per l'ultrafiltrazione (a $0.01\ \mu\text{m}$), con la quale si eliminano i macroinquinanti (oli, grassi, colloidali) **riducendo significativamente il COD**;

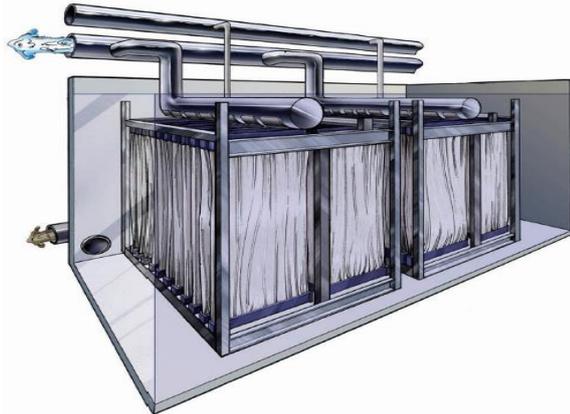


Figura 38-Modello di un impianto MBR

2. *Due stadi per l'osmosi inversa*; per la **rimozione dei microinquinanti**: il primo avviene con la pressione a 20 e 40 bar, e separa permeato (che può essere ulteriormente messo in ricircolo) e concentrato; il secondo a 70 bar per l'ulteriore trattamento del concentrato; questa divisione in 2 stadi è giustificata dall'esperienza: più step garantiscono il miglior funzionamento del sistema; in questo modo, si riducono le problematiche legate alla gestione concentrato, che in questo caso, non presenta gravi problemi di inquinamento perché ha subito a monte il processo a membrana e un ulteriore trattamento a osmosi (il primo stadio): quindi non ha in sé la totalità del carico inquinante come quella che avrebbe se uscisse da un impianto con un solo stadio di osmosi.

I restanti sono i trattamenti accessori: non contribuiscono direttamente alla rimozione degli inquinanti, ma servono a garantire il corretto funzionamento e la massima efficienza dei processi primari (MBR e osmosi inversa). I trattamenti accessori sono i seguenti: grigliatura a monte del reattore MBR, per la rimozione del materiale più grossolano, l'impianto di aerazione che serve a garantire le condizioni aerobiche del percolato nel reattore e una vasca di correzione del pH con acido solforico [H_2SO_4], posta a monte del primo stadio di osmosi, che serve ad limitare fenomeni di corrosione proprio durante questo stadio.

Quindi, per quanto riguarda il fango, sono previste **tre linee**: una per la frazione solida trattenuta dalla membrana ad ultrafiltrazione, e altre due per i due stadi di osmosi; queste linee convergono poi in una principale; è opportuno evidenziare ancora che il trattamento del concentrato può essere trattato come un fango perché, grazie al trattamento MBR, subisce una notevole riduzione del COD e, quindi del carico di inquinanti.

Infine, è previsto che l'impianto scarichi in fognatura, rispettando i limiti imposti dal D.Lvo 152.



Figura 39-Foto di uno scarico tramite fognatura in un corpo idrico

In base alle condizioni di lavoro dell'impianto, descritte nelle pagine successive, tramite un'indagine di mercato, per l'impianto i costi stimati sono i seguenti:

- Costi fissi di realizzazione: 705.000 euro; sono divisi in
 - Costo opere edili: 40.000 euro;
 - Costo opere elettromeccaniche: 400.000 euro;
 - Costo di progettazione, montaggio, avviamento e collaudo: 90.000 euro;
 - Costo fognatura: 175.000 euro.
- Costi annui:
 - Costo di ammortamento (20 anni) per la realizzazione dell'impianto e della fognatura: 55.250 euro;
 - Costo del conferimento in fognatura per ogni m³ di liquame trattato: 0,40 euro;
 - Costo manutenzione dell'impianto: 40.800 euro;
 - Costo di gestione dell'impianto: 90.000 euro.
- Costo di smaltimento del percolato al m³: 10,75 euro.

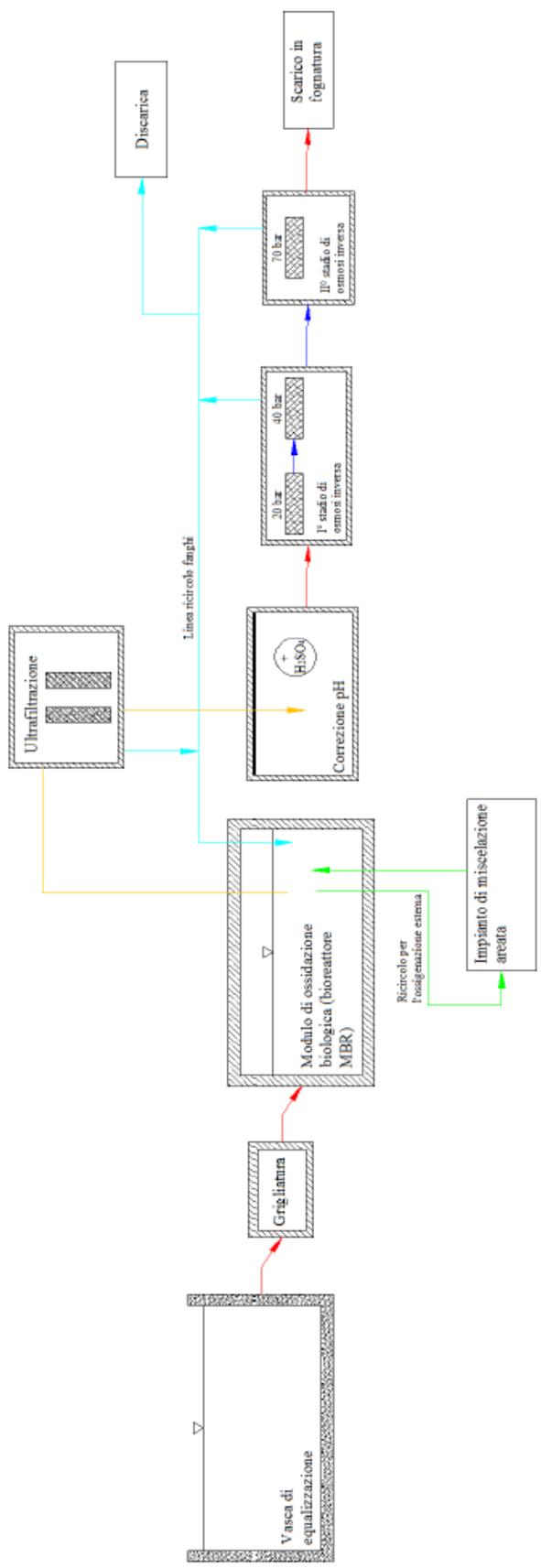


Figura 40-Schema dell'impianto di depurazione in analisi

2.3-I dati e le condizioni di funzionamento dell' impianto

Per stabilire le condizioni di lavoro dell'impianto, si fa riferimento ai dati relativi al percolato prodotto dalla discarica.

Il carico di percolato viene misurato direttamente in discarica con strumenti adatti, posti direttamente nelle vasche di raccolta, che sono due e hanno una capacità di 1500 m³; ovviamente i responsabili dell'impianto fanno in modo che queste vasche non siano mai piene, ma che il livello sia sempre sotto un limite di sicurezza. Per fare questo, si controllano manualmente i livelli nelle vasche e nei pozzetti di accumulo. La possibilità di questa regolazione è importantissima, perché permetterebbe di garantire una certa portata per far lavorare l'impianto di depurazione.

Per stabilire la portata di progetto si fa riferimento alla **serie storica** riportata in *tabella 2*, nella quale è sono indicate le quantità di rifiuti e di percolato prodotto; la scelta del periodo 1989-2005 è motivata dal fatto che questi dati si possono ritenere validi per considerazioni attendibili.

Quello che salta immediatamente all'occhio è che il percolato aumenta con l'aumentare del carico di rifiuti: il picco di percolato si è avuto nel 2004, anno in cui c'è stato il maggior conferimento di rifiuti in discarica.

Tabella 2-Produzione di percolato dal 1989 al 2005

ANNO	RIFIUTI PARZIALE (t)	RIFIUTI PROGRESSIVO (t)	PERCOLATO (m ³)
1989	52569	52569	3370
1990	85108	137677	5015
1991	67785	205462	5710
1992	71063	276525	9353
1993	62645	339170	8057
1994	84043	423213	7508
1995	76569	499782	6972
1996	65827	565609	10862
1997	63843	629452	9509
1998	61794	691246	6611
1999	67083	758329	8622
2000	70050	828379	8534
2001	89860	918239	11221
2002	92948	1011187	12826
2003	138367	1149554	15228
2004	216007	1365561	23293
2005	203118	1568679	19303

Osservando il grafico che descrive l'andamento di questi dati, si nota che il percolato prodotto aumenta anno per anno; pertanto verrebbe da pensare che la tendenza sia questa e che potrebbe essere descritta da una funzione interpolante di tipo lineare o, più accurata, polinomiale; questa considerazione, in questo caso non è attendibile, poiché la discarica è destinata a chiudere nel 2015: una volta colmati tutti i bacini la produzione del percolato si stabilizzerà e tenderà a gradualmente a

diminuire. Sulla base di queste considerazioni, rafforzate dai monitoraggi sul campo dei conferimenti che sono avvenuti dal 2006 al 2012, si stabilisce che un valore sensato di percolato medio annuo prodotto è **18000 m³**.

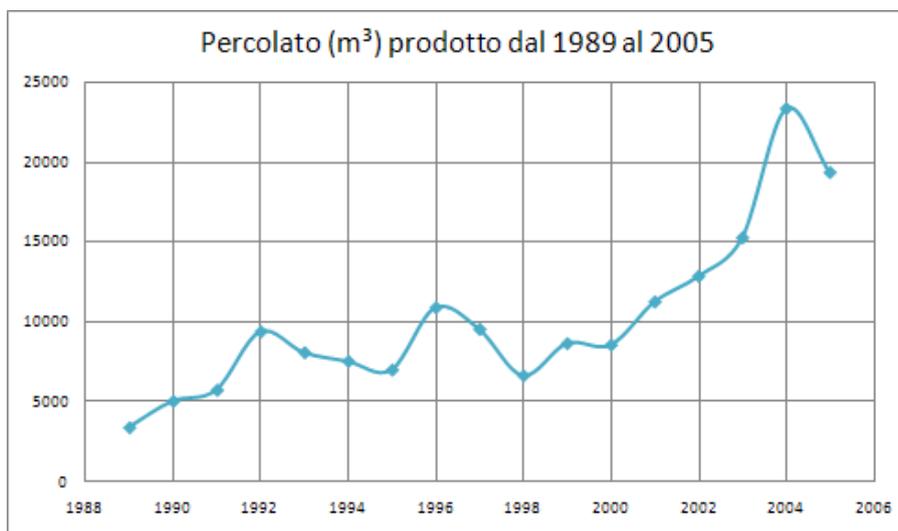


Figura 41-Grafico rappresentante il volume di percolato prodotto dalla discarica

Per determinare la portata media giornaliera Q_p , si divide per il numero di giorni all'anno:

$$Q_p = \frac{18000}{365} = 49.3 \cong 50 \frac{m^3}{g}$$

Il valore di portata giornaliera calcolato è stato proposto ai responsabili della discarica: è stato ritenuto sensato ed attendibile; inoltre è possibile garantirlo regolando i livelli nei serbatoio di accumulo e nelle vasche di raccolta, immagazzinando volume quando c'è abbondanza di percolato e, viceversa, rilasciandone quando questo è carente. Si ricorda che l'impianto in analisi ha il pregio della flessibilità, quindi potrebbe anche non lavorare a portata costante; tuttavia, per questioni di semplicità gestionale e di manutenzione è sempre meglio far lavorare l'impianto in modo regolare. Per quanto riguarda invece gli aspetti qualitativi, il liquame viene campionato ed analizzato da un laboratorio esterno, con cadenza trimestrale; il laboratorio esterno ha sede a Reggio Emilia, è un laboratorio qualificato e, pertanto, tutte le metodologie di analisi, di ogni parametro indagato, sono codificate secondo le norme tecniche UNI.

Tali dati, pertanto, sono affidabili e sono importanti perché devono essere inseriti nella Relazione Annuale, che i gestori della discarica devono redigere per comunicare alle Pubbliche Amministrazioni i dettagli sulla loro attività.

La serie storica scelta è quella riportata in tabella ed è riferita al periodo che va dal mese di marzo del 1998 a dicembre 2011. Come si evince dalla tabella, riferimento ad una parte delle date, mancano dei dati; questo è giustificato dal fatto che alcuni parametri possono essere indagati con cadenze più ampie.

I parametri fondamentali per individuare il tenore di inquinamento del percolato sono, tutti:

- *Il COD*, che è la misura indiretta dell'ossigeno necessario per ossidare le sostanze inquinanti tramite reazioni chimiche;
- *I nitrati*, la cui eliminazione è delicata e i cui limiti di legge sono molto restrittivi.

Il rapporto BOD/COD è un indice delle biodegradabilità del refluo; in questo caso si parla di percolato di discarica, quindi non bisogna aspettarsi valori elevati di questo rapporto: infatti, in riferimento alle prime indagini, questo è molto minore del 10%, tende ad aumentare con gli anni, ma mediamente è circa il 20%; se stessimo analizzando acque reflue di diversa origine, per esempio di un allevamento, troveremmo dei valori più alti di questo parametro e questo aprirebbe nuove prospettive sull'impiego del fango derivato dalla depurazione di tali acque.

2.4-Determinazione del fango prodotto dall'impianto

In questo paragrafo, l'intento è quello di capire l'**entità della frazione solida**, in termini di qualità e quantità, che viene prodotto dall'impianto, in riferimento le condizioni descritte in precedenza.

Il problema non è semplice, data la moltitudine di aspetti tecnici e, soprattutto, multidisciplinari, che regolano in problema; per questo motivo, è necessario fare una premessa: il metodo migliore per avere la risposta più accurata possibile è, senza dubbio, una simulazione, o prova pilota, con un modello fisico dell'impianto; realizzare un modello fisico, però, è complicato e fuori la portata di questa tesi: richiede prima la disponibilità di spazio per la localizzazione e di denaro per la realizzazione; successivamente è necessaria la conoscenza e l'applicazione della teoria della similitudine, qui ancora più complicata per gli aspetti chimici e biologici; infine, richiede continue prove, calibrazione, collaudi e pertanto, tempi molto lunghi.



Figura 42-Rappresentazione di un MBR di un'azienda leader

Tuttavia, non c'è da scoraggiarsi perché l'intento di questo lavoro non è quello di fornire i valori accurati di ogni parametro relativo al fango (informazione che si può ottenere solo con le analisi di un laboratorio qualificato), ma individuare la soluzione di smaltimento legalmente compatibile, e il costo. Tutto ciò deve avvenire fornendo alla fine dei dati semplici e facilmente interpretabili, con i quali è possibile trarre conclusioni in modo inequivocabile.

Quindi per fare questo, il metodo di lavoro scelto è questo:

- *Passo 1.* Si applicano modelli matematici, principalmente bilanci di massa, che sono stati sviluppati da ricercatori in materia di MBR e impianto a osmosi inversa, in modo da capire quali sono le **prestazioni dell'impianto**, in termini di rimozione degli inquinanti;
- *Passo 2.* Si effettua un lavoro di **ricerca aziendale**, contattando le aziende del settore, per completare le informazioni i risultati ottenuti con i modelli con i dati forniti dalle ditte: gran parte di questi impianti (di piccole dimensioni) sono già progettati e in vendita con la formula "chiavi in mano"; pertanto, le aziende hanno tutto l'interesse a fornire e, soprattutto,

garantire le prestazioni dei loro impianti, mettendo a disposizione in dati con i quali fare i confronti.

- *Passo 3.* Si individuano **i trattamenti specifici del fango e le possibili soluzioni di smaltimento**, in conformità con le priorità relative alla gestione dei rifiuti contenute nel decreto legislativo 152.

Per quanto riguarda il lavoro di ricerca aziendale, è importante specificare che non tutte le ditte si sono dimostrate disponibili, probabilmente per questo non è un lavoro professionale ma è una tesi di laurea; per questo motivo, per mantenere la **riservatezza su tali aziende**, sono riportati solo i dati utili per fare i confronti, senza indicare la provenienza. Tuttavia, in allegato alla tesi, è riportato un elenco di aziende del settore ai quali è possibile dare riferimento per approfondire eventualmente l'argomento.



Figura 43-Foto di un MBR in esercizio

2.5-MBR: funzionamento e modelli matematici

Come già anticipato nel capitolo 1, l'impianto MBR (Membrane Biological Reactor) è un sistema che unisce il trattamento di depurazione a fanghi attivi a quello per ultrafiltrazione; questo comporta notevoli vantaggi dovuti al fatto che la separazione del fango non avviene per gravità; prima di tutto è svincolata dalle caratteristiche di sedimentabilità, risolvendo le problematiche annesse di quest'ultima; l'ingombro, proprio per la mancanza di un sedimentatore, è minore; questo si traduce in due aspetti fondamentali:

- ✓ Possibilità di aumentare il carico di biomassa nell'impianto (circa 15 kg/m³ di liquame, contro i 4-5 kg/m³ dei trattamenti tradizionali), rendendolo flessibile ai sovraccarichi;
- ✓ Possibilità di un alto valore dell'età del fango (30 giorni), cioè il rapporto tra il fango che permane nell'impianto e quello allontanato, durante un ciclo di depurazione: questo significa maggior tempo di permanenza del liquame, consentendo l'eliminazione di sostanze più difficilmente degradabili.

In generale, questi aspetti fanno in modo che l'impianto MBR abbia prestazioni elevate e che la depurazione sia efficace, in termini di inquinanti organici, nitrati, solidi sospesi e microrganismi; questo rende il trattamento particolarmente indicato quando è richiesta un'elevata qualità del liquame chiarificato.

2.6-Analisi delle membrane

Il vero punto di forza dell'impianto, rispetto ad uno a fanghi attivi tradizionale, è la presenza delle membrane, ovvero le barriere fisiche attraverso le quali alcune sostanze passano più difficilmente di altre.

Da questo punto di vista, esistono due configurazioni: una con membrane esterne (side stream) e una con membrane immerse nel reattore. Nell'impianto in analisi, sono esterne al reattore. Le membrane hanno il problema dell'usura e del costo elevato; tuttavia, quest'ultimo tende a diminuire negli anni; si riporta in *figura 44* un grafico, preso dalla letteratura, ma risultato di un'indagine di mercato, dal quale si evince che dal 1991 al 2005 il prezzo al m² di tali membrane si è ridotto di circa 85%.

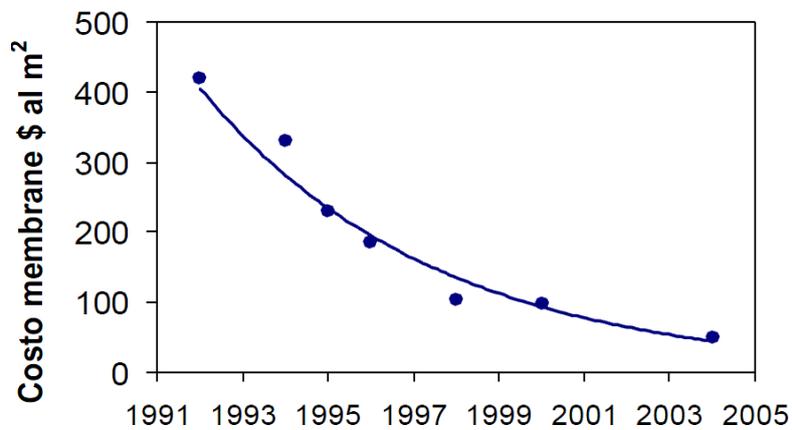


Figura 44-Grafico che descrive il costo delle membrane nel tempo

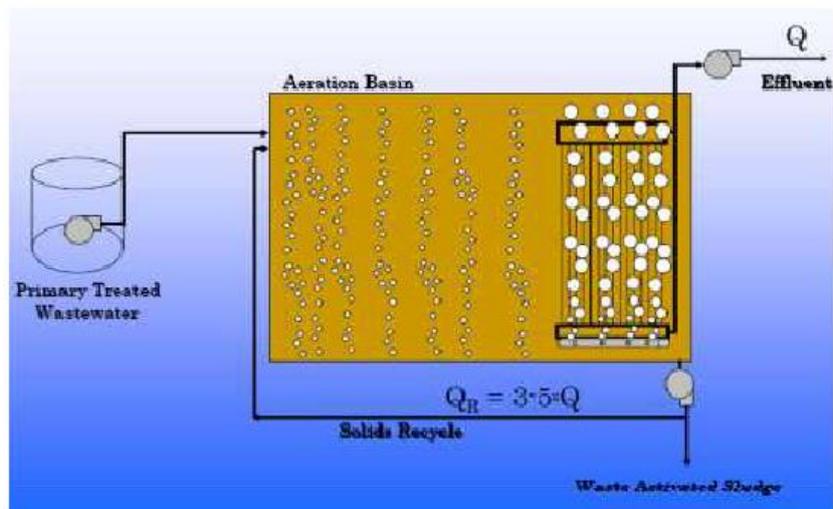


Figura 45-Rappresentazione di una configurazione con membrana sommersa

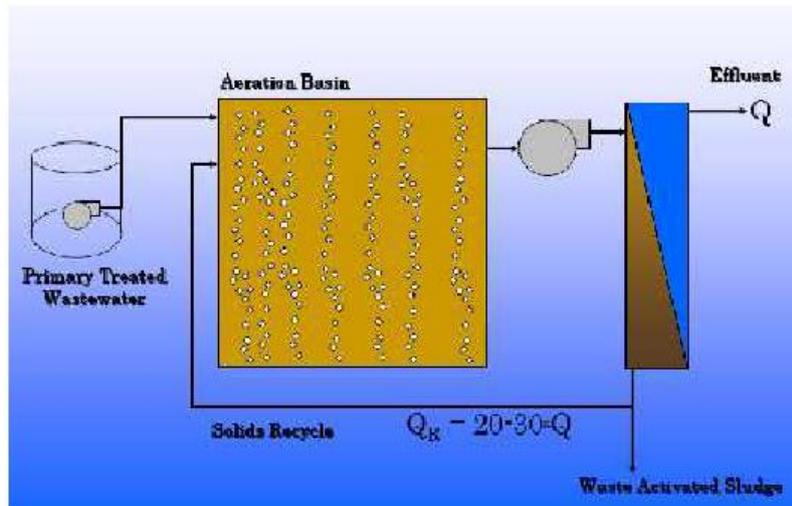


Figura 46-Rappresentazione di una membrana esterna (side stream)

La membrana industriali sono caratterizzate da questi tre aspetti:

- *Dimensione dei pori.* In base a questo parametro le membrane sono dense, cioè con pori di dimensioni di 1 nm o porose con dimensioni maggiori di 1nm, fino a 10 μ m; ciò che differenzia queste due tipologie è la natura del processo di separazione degli inquinanti: per la prima è di tipo chimico fisico, nella seconda è meccanico;
- *Forza motrice che conduce la filtrazione.* Può essere un differenziale (gradiente) di pressione, di campo elettrico (elettrodialisi) o di concentrazione (dialisi);
- *Materiale di fabbricazione.* In generale è di tipo organico, per lo più polimerici: PTFE (politetrafluoroetilene), polipropilene, poliammide, acetato di cellulosa, polisolfone; può essere anche di tipo inorganico, di materiali ceramico o metallico (in particolare biossido di titanio e biossido di zirconio).

In generale, il processo di filtrazione si distingue in tre sottoprocessi: microfiltrazione, ultrafiltrazione e nanofiltrazione; i parametri che li distinguono sono le dimensioni dei pori e le pressioni di esercizio e, da questi, dipende la tipologia e la quantità di inquinanti rimossi.

L'impianto in progetto prevede le **membrane ad ultrafiltrazione**: pertanto i pori devono avere dimensioni dell'ordine dei 10 μ m e, per un buon funzionamento, pressione di esercizio compresa tra 1 e 7 bar e velocità di filtrazione compresa tra 1 e 5 m/s. Sotto queste condizioni il sistema ha elevate prestazioni, ovvero rimozione del 100% di batteri patogeni e solidi sospesi e di circa 95% di COD.



Figura 47-Foto delle dimensioni di una membrana ad ultrafiltrazione

Per completare il processo di depurazione del percolato bisogna aggiungere i due stadi di osmosi inversa: questi trattamenti sono necessari per la rimozione degli inquinanti in forma colloidale, non eliminabili con le membrane.

Per ultimo, è opportuno elencare le principali proprietà che migliorano le caratteristiche delle membrane, che possono essere utili criteri di valutazione per la scelta effettiva dell'impianto:

- Elevata superficie specifica della membrana;
- Elevato grado di turbolenza della superficie di alimentazione, per favorire il trasferimento di massa;
- Basso consumo energetico per unità di volume trattato;
- Basso costo per unità di superficie della membrana;
- Design che favorisca l'assemblaggio, la manutenzione e il lavaggio.

Per spiegare quanto appena detto, si riportano qui le tipologie di membrane più diffuse:

- A. Plate and frame. Sono membrane disposte tra un certo numero di lamine;



Figura 48-Foto di membrana Plate and frame

- B. Membrane sommerse con flusso out/ in;



Figura 49- Foto di membrana con flusso out/in

C. Membrane a spirale avvolta;

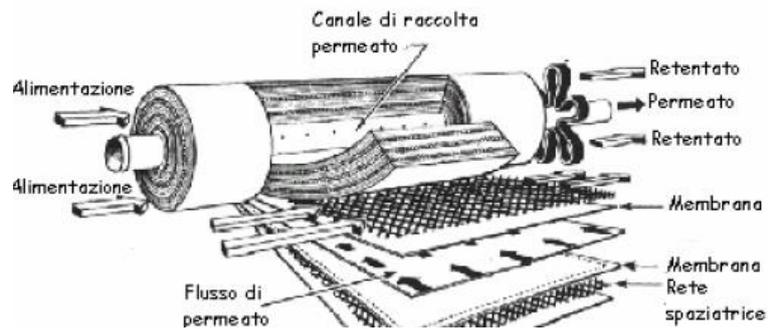


Figura 50-Rappresentazione di una membrana a spirale

D. Membrane tubolari;

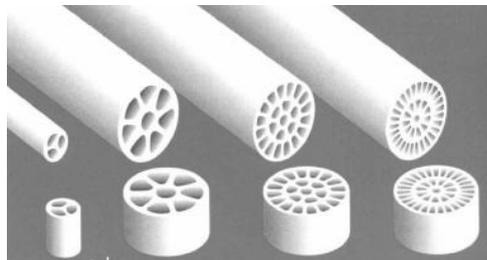


Figura 51-Rappresentazione di una membrana tubolare

E. Membrane a fibre cave sottili.



Figura 52-Rappresentazione di una membrana a fibra cava

Si riporta la tabella comparativa delle membrane più diffuse:

Tabella 3-Confronto tra le tipologie di membrana più diffuse

TIPOLOGIA	AREA/VOLUME	COSTO	GRADO TURBOLENZA	VANTAGGI	SVANTAGGI
Plate and frame	400-600	ELEVATO	DISCRETO	Facile da lavare	Costo
Membrane sommerse	800-1000	RIDOTTO	MOLTO RIDOTTO	Robusta e compatta	Assemblaggio
Membrane a spirale	800-1000	RIDOTTO	RIDOTTO	Basso consumo energetico, robusta e compatta	Assemblaggio
Membrane tubolari	20-30	MOLTO ELEVATO	MOLTO ELEVATO	Facile da lavare	costo
Membrane a fibre cave	50000-40000	MOLTO RIDOTTO	MOLTO ELEVATO	Compatta, facile da lavare	Sensibile alle variazioni di pressione

Un appunto merita un problema comune alle membrane: l'usura e la necessità di lavaggi e manutenzione; questo dà origine ad un fenomeno chiamato fouling, che consiste nella perdita di efficienza delle membrane a causa del deposito di sostanze sulle superfici esterne, sulle aperture dei pori e all'interno dei pori, che favorisce la proliferazione di microrganismi. Il fouling deve essere monitorato e per controllarlo e ridurlo bisogna effettuare lavaggi (meccanici e con additivi chimici) e mantenere le condizioni idrodinamiche del sistema (pressione, velocità) tra i valori ottimali, garantendo la turbolenza.



Figura 53-Effetti del fouling

2.6.1-Modello matematico per dimensionamento delle membrane

Lo scopo di questo paragrafo è effettuare un primo dimensionamento delle membrane; per fare questo si fa riferimento a qualche modello matematico che descrive il funzionamento di quest'ultime: tale modello è basato su un semplice bilancio di massa.

In quest'analisi, bisogna tenere presente che il modello matematico non rappresenta la realtà, ma una sua semplificazione: tanti aspetti che regolano il processo vengono trascurati per semplificare la trattazione; pertanto è opportuno verificare sempre i risultati con i numeri forniti modelli più sofisticati (fisici o numerici), che di sicuro sono più accurati.

Prima di tutto bisogna definire i valori dei dati di progetto: percolato da trattare e condizioni operative.

- Q_i : portata in ingresso da trattare;
- V_i : velocità in ingresso del refluo da trattare;
- P : pressione operativa;
- F : fattore di permeazione, cioè il rapporto di volume di permeato che si vuole ottenere dal liquame totale e il volume di quest'ultimo;
- D : dimensione pori della membrana.

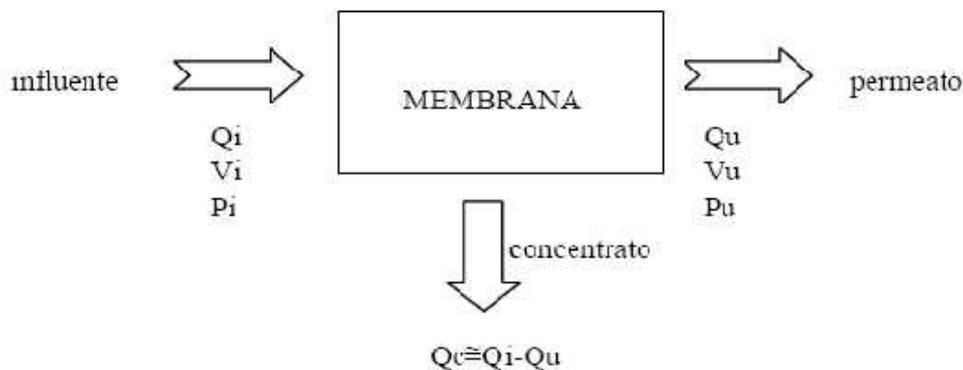


Figura 54-Schema della filtrazione attraverso membrana

A questo punto si può seguire questa semplice procedura:

- 1) Si fissano i valori di velocità e pressione entro i range ottimali;
- 2) Si ipotizza, a favore di sicurezza che il fattore di permeazione sia 1 (in realtà è 0.7-0.8);
- 3) Si calcola la superficie S necessaria alla filtrazione di tutto il refluo;
- 4) Si confronta la superficie con quella messa a disposizione dai modelli di un costruttore, scegliendo una (quella con la superficie appena maggiore) o eventualmente scegliendo più membrane;
- 5) Si verificano la portata e la pressione per la membrana scelta.

Per quanto riguarda il caso in esame:

$$Q_i = 50 \frac{m^3}{giorno}$$

Si considera un valore ottimale di V_i :

$$V_i = 3 \frac{m}{s} = 259200 \frac{m}{giorno}$$

Si calcola la superficie della sezione trasversale di filtrazione:

$$S = \frac{Q_i}{V_i} = 1.9 \text{ cm}^2 \cong 2 \text{ cm}^2$$

Si confronta il risultato con questa tabella fornita da un produttore di membrane:

Tabella 4- Caratteristiche di membrane commerciali

DESIGNAZIONE	NUMERO DI MODULI	SUPERFICIE DI FILTRAZIONE MODULO (m ²)	AREA DELLA SEZIONE TRASVERSALE DEL MODULO (cm ²)
025	1	0.022	0.28
050	7	0.15	2
080	23	0.5	6.5
100	55	1.2	16
150	131	2.8	37
200	289	6.2	82

La membrana è tra le più piccole messe a disposizione da questo produttore, data la portata ridotta di liquame da trattare.

La portata risulta verificata, perché il valore ottenuto coincide con uno dei modelli indicato, il numero 050.

Si calcola ora la superficie A necessaria affinché si abbia fattore di permeazione pari 1; per fare ciò si divide la portata per la permeabilità delle membrane, un dato di progetto, fornito dal produttore:

$$K = 60 \frac{m}{g}$$

$$A = \frac{Q_i}{K} = 0.84 m^2$$

Dividendo quest'ultimo valore per la superficie di filtrazione del modulo (fornita dal produttore) si ottiene il numero di membrane:

$$n = \frac{0.84}{0.15} = 6$$

Per verificare la pressione si può fare riferimento a questa equazione:

$$P = 0.04 V_i^{1.87}$$

In quest'equazione V_i deve essere espressa in m/s; il risultato è espresso in bar.

$$P = 0.4 \times 3^{1.87} \cong 3 \text{ bar}$$

Il valore di pressione ottenuto è dentro il range ottimale.

Se ben dimensionata, la membrana **rimuove il 95% del COD e il 100 % dei solidi sospesi totali e dei microrganismi.**

2.7-Il reattore: funzionamento

Il reattore, posto a valle delle membrane serve ad **abbattere i nitrati**.

Il principio alla base del suo funzionamento è analogo a quello di un impianto tradizionale a fanghi attivi: la degradazione dell'inquinante avviene tramite la degradazione di sostanza organica da parte di un gruppo di batteri (biomassa). Tra i due sistemi esistono però delle differenze:

- La scelta dei batteri: nei reattori tradizionali avviene in base alle caratteristiche di sedimentabilità, mentre, come già è stato detto, il processo MBR non richiede un sedimentatore a valle, pertanto avviene in funzione della capacità di degradazione;
- Per motivi tecnici dovuti al funzionamento dei processi, nel reattore tradizionale la concentrazione di biomassa è limitata, mentre per MBR è elevata; valori indicativi di questa concentrazione sono rispettivamente 3-5 g/l e 8-30 g/l;
- La residenza della biomassa, nel reattore tradizionale dura qualche giorno, mentre nel reattore MBR qualche decina di giorni e questo è dovuto all'assenza di sedimentazione;
- Il reattore tradizionale, produce fango da stabilizzare, mentre MBR produce una quantità di fango stabilizzato, poiché una parte dei microrganismi viene catturata dalle membrane;

Il funzionamento del processo è retto oltre che dalle note equazioni di bilancio della massa di liquame e dalle conservazione della sua energia, dall'equazione di bilancio della massa per la biomassa. Questa equazione permette di ricavare, nota la portata in arrivo, il volume del reattore; il bilancio è però complicato, poiché dipende dalle grandezze che descrivono la cinetica del processo di degradazione da parte dei microrganismi: queste grandezze (tempo di decadimento della sostanza organica e di crescita della biomassa) devono essere valutate sperimentalmente; per completare quanto appena detto, si riporta qui l'espressione del volume del reattore, derivato dall'equazione di bilancio della massa per la biomassa (detta equazione di Michealis-Menten):

$$V = \frac{Q \left[SB + PB - \left(\frac{SB}{1-F} \right) \right] Y T}{(1 + k_d T)x}$$

In questa equazione V è il volume del reattore, Q è la portata di liquame in arrivo, x è la concentrazione di biomassa che in questo caso è compresa tra 5-30 g/l, k_d è un parametro cinetico avente le dimensioni fisiche T^{-1} , F è il fattore di permeazione (è un rendimento di filtrazione e vale circa 0.6-0.8), T è tempo medio di permanenza di una colonia batterica nel reattore (circa 20-30 giorni) e y è una grandezza adimensionale da determinare sperimentalmente, legata alla velocità con la quale i batteri degradano la sostanza organica.

I restanti termini sono i più complicati da valutare e costituiscono alcune delle frazioni (in quanto tali sono termini adimensionali) del COD che caratterizza il liquame: solubile biodegradabile (SB) e particolata biodegradabile (PB)

Per avere un dato significativo di primo dimensionamento del reattore, sarebbe necessario determinare sperimentalmente il valore delle grandezze sperimentali.

Il reattore deve funzionare in condizioni aerobiche, pertanto tali condizioni devono essere garantite da un sistema di aerazione; per un impianto MBR questo sistema è efficiente quanto fornisce al reattore 3-5 kg di O₂ per kW.

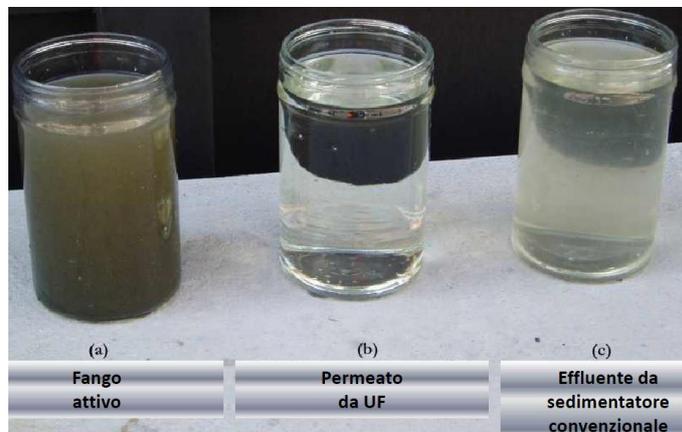


Figura 55-Foto di permeato proveniente da diversi trattamenti

2.8-Osmosi inversa

Il blocco a valle del trattamento MBR è costituito da due stadi di trattamento ad osmosi inversa.

L'osmosi inversa è un processo secondo il quale in un sistema con due soluzioni separate da una membrana il solvente passa dalla soluzione più concentrata a quella meno concentrata; questo passaggio deve essere indotto esercitando meccanicamente una pressione.

Dal punto di vista fisico il processo a osmosi inversa funziona come l'**ultrafiltrazione**, perché in fin dei conti si tratta sempre di un passaggio attraverso una membrana; la differenza è nei parametri: la pressione di esercizio qui è molto più elevata e le dimensioni dei pori sono di qualche ordine di grandezza più piccole; queste condizioni giustificano l'utilità di questo trattamento: l'eliminazione degli inquinanti che si trovano in forma di colloidali e ioni, che filtrano attraverso la membrana MBR.

L'impianto in analisi prevede due stadi di trattamento con pressione indotta crescente. Il primo stadio comprende due filtrazioni a 20 e 40 bar, mentre il secondo è a 70 e serve per ridurre ulteriormente il carico di inquinante nel concentrato, in modo che non costituisca un problema per il trattamento successivo.

Dimensionare le membrane in questo caso non è semplice; in questo caso il processo di filtrazione avviene attraverso pori di piccolissime dimensioni; ne consegue che nel processo intervengono le forze di natura chimica, che ne complicano la trattazione con modelli matematici. Quello che è importante ai fini di questo lavoro è definire un parametro di dimensione dei pori, in riferimento alla documentazione offerta dai produttori di impianti, un parametro idoneo a tale scopo è **0.0001 μm** .

L'impianti ad osmosi in generale utilizzano membrane tubolari.

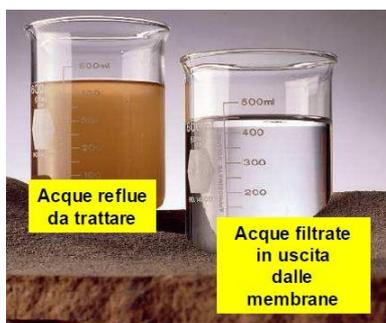


Figura 56-Effetti dell'osmosi sul liquame

2.9-Le prestazioni dell'impianto: analisi delle offerte aziendali e i dati ottenuti da impianti in esercizio

Prima di proseguire è importante sottolineare il seguente concetto: la trattazione relativa all'impianto di depurazione e delle sue caratteristiche è fondamentale perché **la tipologia e la quantità di fango dipendono dal processo depurativo**.



Figura 57-Impianto di depurazione gestito da un'azienda leader del settore

Una volta descritto l'impianto in analisi, avendo un'idea più chiara sulle sue dimensioni, il passo successivo è determinare le prestazioni dell'impianto in termini di rimozione degli inquinanti: lo scopo di questa operazione è quello di capire l'entità del fango prodotto in termini di quantità e qualità, per poi individuare la soluzione di trattamento e smaltimento compatibile con le sue caratteristiche.

Per avere un il riscontro diretto sulle prestazioni di tale impianto, il miglior metodo è di sicuro una prova pilota, effettuata con un modello fisico. Il modello fisico non è giustificato, date le dimensioni ridotte dell'impianto, e la sua realizzazione è costosa e richiede tempi lunghi, continui collaudi e processi di calibrazione.

Pertanto, la strada intrapresa per reperire queste informazioni è quella dell' analisi aziendale: si sono interrogate le aziende riguardo le prestazioni di tali impianti, per poi riportare tali informazioni con il caso in esame.

Questa strada è idonea allo scopo de lavoro, per i seguenti motivi:

- Le aziende mettono a disposizione i dati relativi alle prestazioni di tali impianti, in vendita con la formula 'chiavi in mano', occupandosi del progetto, della posa, delle autorizzazioni, del montaggio e del collaudo; è nel loro interesse, infatti, fornire le più significative di queste informazioni e soprattutto garantirle;
- Questi impianti sono in esercizio già da tempo e pertanto si può fare riferimento ai risultati che hanno prodotto durante la fare di esercizio.



Figura 58-Impianto in esercizio

Quindi, dato che questo lavoro ha un tono pratico e deve fornire una risposta semplice, facilmente interpretabile e reale, il confronto con gli impianti esistenti (in esercizio o in vendita) permette di individuare la tipologia di fango in modo più diretto ed immediato, di quello che fornirebbe un complicato modello matematico di bilancio di massa, che servirebbe ad analizzare il problema soltanto dal punto di vista teorico.

Si ricorda, si riporta solo l'elaborazione personale dei dati e dei risultati, senza citare direttamente, per riservatezza, le aziende che le hanno fornite. Tutte le aziende a cui fare riferimento per questi temi, sono elencate in appendice.

2.10-Le prestazioni del trattamento MBR

Si riportano qui le elaborazioni dei dati sulle relativi ad impianti venduti 'chiavi in mano' da aziende italiane e impianti in esercizio.

- Impianto in esercizio A.

Tabella 5- Impianto in esercizio A

Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
TSS (solidi sospesi totali)	350	<1	>99
COD	4700	<250	>95
CODsolubile	4000	<250	>95
N totale	65	<10	>85
N.NO3	40	<10	>75
P totale	35	<2	>75

- Impianto in esercizio B; localizzazione: Florida.

Tabella 6- Impianto in esercizio B

Parametro	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
Alcalinità (mgCaCO3/l)	238	85	65
Durezza totale (mgCaCO3/l)	316	24	92
Cloruri (mg/l)	64	22	65
Solfati (mg/l)	20	8	60
TDS (mg/l) (Solidi totali disciolti)	396	134	66
Colore (cpu)	38	2	95
TOC (mg/l)	15.4	1.5	90

- Impianto in esercizio C; localizzazione: Genova Voltri.

Tabella 7- Impianto in esercizio C

Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
azoto tot.	40	15	63
azoto ammoniacale.	40	0	100
alluminio	0.4	0.05	88
bario	0.4	0.03	93
boro	0.4	0.15	63
ferro	0.15	0.05	67
manganese	0.3	0.02	93
nicel	0.06	0.03	50
rame	0.05	0.01	80
stagno	0.06	0.02	67
zinco	0.4	0.08	80
cianuro	0.05	0.02	60
solfiti	3.75	0.5	87
solfati	97	50	48
cloruri	130	60	54
fluoruri	0.05	0.02	60

- Impianto in esercizio D; localizzazione: Capri.

Tabella 8- Impianto in esercizio D

Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
BOD5	350	17.5	95
COD	600	30	95
SST	350	3.5	99
Azoto Totale	60	24	60
P	15	4.5	70

- Impianto in esercizio E; localizzazione: Portofino.

Tabella 9- Impianto in esercizio E

Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
BOD5	30	1.5	95
COD	600	30	95
SST	450	4.5	99
Azoto Totale	60	24	60
P	15	4.5	70

- Impianto in esercizio F; localizzazione: Taormina.

Tabella 10- Impianto in esercizio F

Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
BOD5	183	9.15	95
COD	600	30	95
SST	237	2.37	99
Azoto Totale	52	20.8	60
P	15	4.5	70

- Impianto in esercizio G; localizzazione: Como.

Tabella 11- Impianto in esercizio G

Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
BOD5	190	12	93.
COD	400	60	85
SST	120	10.7	91
Azoto Totale	40	10.7	73
P tot	4.1	0.5	87

- Impianto in prova.

Tabella 12- Impianto in prova

PROVA1 Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
BOD5	70	1	99
SST	299	0	100
NH4	46.6	0.5	99
PROVA2 Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
BOD5	180	3.5	98
SST	242	0	100
NH4	30	0.5	98
PROVA3 Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
BOD5	141	3	98
SST	132	0	100
NH4	24	0.5	98
PROVA4 Parametro in mg/l	Dati in ingresso	Dati in uscita	Rimozione (%)
BOD5	212	3	98
SST	156	0	100
NH4	56	0.5	99
BO5	37.1	2.83	40
SST	46.7	0	80
N-NH4	15	0.5	15

- Impianto chiavi in mano A (confronto con impianto fanghi attivi).

Tabella 13- Impianto chiavi in mano A

	Kg fango tot	Kg SS/M³
IMPIANTO FANGHI ATTIVI	41.979	0.2
IMPIANTO MBR	17460	0.083

- Impianto chiavi in mano B.

Tabella 14- Impianto chiavi in mano B

kgSS per kg COD	0.3-0.6
-----------------	---------

- Impianto chiavi in mano C.

Tabella 15- Impianto chiavi in mano C

Rimozione COD	90-98
kgSS per kg COD	0.05-0.35

- Impianto chiavi in mano D (confronto con chimico-fisico e fanghi attivi).

-

Tabella 16- Impianto chiavi in mano D

	MBR	CHIMICO FISICO	FANGHI ATTIVI
kgSS per kg COD	0.08	1	0.6

- Impianto chiavi in mano D.

Tabella 17- Impianto chiavi in mano D

PARAMETRO	Rimozione %
COD	92
BOD5	94
SST	99.9

2.11-Le prestazioni del trattamento ad osmosi

In questo paragrafo si riportano le prestazioni del blocco a osmosi inversa.

Tabella 18-Prestazione dell'impianto a osmosi

PARAMETRO	RIMOZIONE %	PARAMETRO	RIMOZIONE %
ACRILLAMIDE	98	MANGANESE	97
AMIANTO	99.6	MERCURIO	97
AMMONIACA	80	NITRATI	85
ARGENTO	98	NITRITI	95
ARSENICO	99	PIOMBO	99
BARIO	99.9	RADIO	80
CADMIO	99.4	RAME	99
CLORURI	94	SELENIO	98
CRYPTOSPORIDIUM	99.9	SOLFATI	99
CROMO	87	ZINCO	99
FERRO	96	RESIDUO FISSO A 180°	97
FLUORO	97	SOLVENTI CLORURATI	99
FOSFORO	99	AMTIPARASSITARI	99
MAGNESIO	91		

2.12-Il caso in esame: parametri del permeato effluente

Lo scopo di questo paragrafo è individuare le caratteristiche chimiche che il percolato in analisi avrebbe una volta depurato.

I dati, relativi alle caratteristiche, sulla base dei quali si conduce quest'analisi, sono risultato di esami chimici, svolti da un laboratorio certificato, con una data periodicità; il periodo di osservazione va da marzo del 1998 a dicembre del 2011; la serie storica è fornita dalla S.A.Ba.R., in questo lavoro, riporta solo l'elaborazione di quest'ultima, ritenuta significativa, in *tabella 19*.

Tale elaborazione consiste nel calcolare i seguenti indici statistici:

- *Media aritmetica*, indicatore del valore verso il quale si addensano i dati del campione e che corrisponde al momento del primo ordine;
- *Deviazione standard*, indicatore della dispersione dalla media del campione e che corrisponde al momento del secondo ordine;
- *Mediana*, il valore che ha il 50% di probabilità di essere superato e il 50 % di non essere superato.

Questi indicatori si calcolano banalmente utilizzando le funzioni di un foglio di calcolo elettronico

Lo scopo dell'analisi consiste nel rapportare i dati relativi a parametri del percolato analizzato con le prestazioni dell'impianto indagate. Per fare questo e semplificare la trattazione, è bene avere un dato rappresentativo per ogni parametro, scelto, in funzione della deviazione standard, tra media e mediana

Tabella 19-Caratteristiche chimiche del percolato

PARAMETRO (in mg/l)	MEDIA	DEV. ST	MEDIANA
Ph(-)	7.975	0.35	7.9
Conducibilità (µS/cm)	14700	4848	14950
SST	308.	152	295
COD	3628	2372	3354
BOD	686	694	715
Sb	0.045	0.03	0.045
As	2.251	9.4	0.055
Cd	0.004	0.006	0.002
Cr-6	0.215	0.14	0.235
Cr tot	0.981	0.66	0.885
Fe	4.2	2.36	4.095
Mn	0.704	0.9	0.447
Hg	0.060	0.2	0.005
Ni	7.525	45.2	0.26
Pb	0.053	0.047	0.04
Cu	0.190	0.35	0.051
Zn	0.573	0.339	0.451
P	9.37	4.5	9.2
N	5.008	5.4	3.95
Cl-	1849	579	1825
SO4--	80.8	35	91
F-	0.288	0.33	0.115
NH4+	1535	693	1440

Dall'analisi dei valori in tabella, si possono fare le seguenti osservazioni:

- Il **pH è neutro**, leggermente basico;
- I dati risultano essere molto dispersi dalla media e questa caratteristica di **irregolarità** è dovuta al fatto si sta analizzando un percolato da discarica;
- Media e mediana possono ritenersi circa uguali in valore, pertanto la distribuzione dei dati **può assomigliare ad una gaussiana**; i casi in cui questi due valori sono di ordine di grandezze, sono relativi al nichel e all'arsenico, ma questo è dovuto ad anomalie rilevate in alcune date, in cui si sono registrati dei picchi ben lontani dal valore più frequente.

A questo punto si sono scelti i valori mediani per il nichel e l'arsenico e medi per i restanti parametri; per ognuno di essi si è scelto un valore intero rappresentativo; sulla base dei dati raccolti con l'indagine aziendale, si sono calcolati i valori di progetto del permeato; per determinare i valori di COD, BOD₅, SST (solidi sospesi totali), nitrati a azoto ammoniacale si è fatto riferimento alle prestazioni dell'impianto MBR, per i restanti, invece, alle prestazioni dell'impianto ad osmosi inversa.

Infine, questi valori sono stati confrontati con i valori limite per l'emissione in fognatura e in acque superficiali, contenuti nel D. Lvo 152, parte III, Allegato V.

Tabella 20-Caratteristiche chimiche del permeato

PARAMETRO in mg/l	Dati in ingresso	Rimozione(%)	Dati in uscita	LIM. C. IDRICO	LIM. FOGNATURA
SST	300	99.99	0.03	≤80	≤200
COD	3500	95	175	≤160	≤500
BOD	700	95	35	≤40	≤250
Sb	0.05	99	0.0005	-	-
As	0.05	99	0.0005	≤0.5	≤0.5
Cd	0.002	99.4	0.000012	≤0.02	≤0.02
Cr-6	0.3	87	0.039	≤0.2	≤0.2
Cr tot	1	87	0.13	≤2	≤4
Fe	4	96	0.16	≤2	≤4
Mn	0.5	97	0.015	≤2	≤4
Hg	0.05	97	0.0015	≤0.005	≤0.005
Ni	0.02	99	0.0002	≤2	≤4
Pb	0.05	99	0.0005	≤0.2	≤0.3
Cu	0.1	99	0.001	≤0.1	≤0.4
Zn	0.5	99	0.005	≤0.5	≤1.0
P	10	99	0.1	≤10	≤10
N	5	90	0.5	≤0.6	≤0.6
Cl-	1800	94	108	≤1200	≤1200
SO4--	90	99	0.9	≤1000	≤1000
F-	0.2	97	0.006	≤6	≤12
NH4+	1500	99	15	≤15	≤30

I limiti relativi allo scarico in corpo idrico superficiale sono al limite per quanto riguarda l'azoto ammoniacale, mentre sono oltre per il COD; nel caso in analisi, questo non rappresenta un problema poiché è previsto che l'impianto scarichi in fognatura, condizione per la quale tutti i limiti sono rispettati.

Da aggiungere, è un appunto relativo ai parametri pH, colore e odore, che rispettano i limiti; ai sensi del decreto, il valore di pH massimo è 9.5; nel caso in esame, il pH è neutro; il colore e l'odore devono, ovviamente, essere valutati con mezzi più potenti.

2.13-Considerazioni conclusive

In via preliminare, si può ritenere che **l'impianto funziona in modo ottimo** e la depurazione è conforme ai limiti di legge; tuttavia, è bene effettuare una prova pilota per verificare l'effettivo funzionamento e poter valutare i parametri per i quali non è possibile fare questo con la metodologia adottata (per esempio, l'odore).

Prima di concludere la trattazione, si propone analizzare una soluzione alternativa che prevede un blocco SBR in sostituzione del trattamento ad osmosi; pertanto, si tratta di sostituire due stadi di filtrazione con un insieme di processi che avvengono in modo sequenziale in un'unica vasca; sarebbe interessante un raffronto tra l'impianto in progetto e quello alternativo proposto, in termini di costi e prestazioni: questo fornirebbe ulteriori elementi di valutazione, in modo da indirizzare i gestori della S.A.Ba.R. verso una scelta ancora più chiara e consapevole.

CAPITOLO 3-ANALISI E GESTIONE DEL FANGO PRODOTTO DALL'IMPIANTO

3.1-Considerazioni sulla quantità di fango in uscita

Il terzo e ultimo capitolo della tesi si occupa in maniera diretta dell'analisi dell'entità del fango prodotto dall'impianto in progetto.

Lo scopo di tale operazione è individuare la migliore soluzione per la fine del ciclo di vita di quest'ultimo, tenendo conto dei seguenti criteri:

- Costi;
- Impatto ambientale.

Questi due aspetti sono strettamente legati alle caratteristiche del fango e ai suoi trattamenti specifici.

In base alle indagini sulle prestazioni dell'impianto in analisi, è evidente che la quasi totalità del fango è prodotto dal reattore MBR, che abbatte il 95% del COD. Tuttavia la linea fanghi prevista è unica e include il fango dell'intero impianto, quindi compreso il concentrato del trattamento osmosi.

Un altro aspetto del quale tenere conto è il ricircolo del fango nel reattore; per semplificare il problema, si stabilisce che il fango di ricircolo sia una frazione di quello prodotto dal trattamento MBR. Pertanto, la restante frazione e il concentrato prodotto dell'osmosi sono allontanati dalle membrane, con opportuni sistemi a gravità o pompaggio e vengono convogliati, attraverso la linea fanghi, all'esterno del sistema.

Per determinare la frazione del fango di ricircolo si può fare riferimento all'età del fango, che come già detto è più elevata rispetto ai classici impianti a fanghi attivi: maggiore o uguale di 30 giorni; a questo parametro sono collegati i seguenti ed importantissimi aspetti:

- Se l'età del fango è elevata, allora il tasso di crescita dei microrganismi è ridotto, perché se staziona la biomassa per più tempo e la proliferazione batterica tende a stabilizzarsi;
- La considerazione precedente fa in modo che siano possibili concentrazioni della biomassa molto maggiori rispetto a sistemi tradizionali (10-30 g/l), poiché la proliferazione incontrollata non è un problema;
- Sfruttando quanto più possibile la biomassa, a parità di altri parametri, **la produzione di fango che si ottiene è bassa**, rispetto ad altre tecnologie.

Come già anticipato nel capitolo 1, il fango è una sostanza composta da più fasi, principalmente una solida, la sostanza secca, che costituisce il fango vero e proprio, e da una fase liquida. La fase liquida costituisce il 90% del volume e tende ad aumentare se aumenta il volume totale dell'intero fango; è legata alla sostanza secca attraverso le seguenti tipologie di interazione:

- Costituzionale, ovvero legata chimicamente, pertanto immobile;
- Igroscopica, ovvero di ritenzione, legata da forze elettrochimiche;

- Capillare, legata dalla tensione superficiale;
- Gravitazionale, non legata, ma mobile attraverso gli interstizi.

In riferimento ai dati rilevati dall'analisi di impianti in esercizio e in vendita, il quantitativo di fango prodotto, e dell'ordine del 10% si sostanza secca per kg di COD abbattuto, con lievi oscillazioni che dipendono dal costruttore.

Pertanto **si assume che il quantitativo di sostanza secca prodotta dall'impianto è 0.1 kg di sostanza secca per ogni kg di COD abbattuto.**

Sulla base di questa considerazione, con semplici calcoli si può **stimare** il carico di sostanza secca prodotta dall'impianto in un anno.

La portata Q di progetto vale:

$$Q = 50 \frac{m^3}{giorno} = 50000 \frac{l}{giorno}$$

Per quanto riguarda il COD, un dato significativo e ben rappresentativo è 3500 mg/l. Pertanto la portata in ingresso di COD giornaliera Q_{COD} vale:

$$Q_{COD} = 3500 \times 50000 = 175 \times 10^6 \frac{mg}{giorno} = 175 \frac{kg}{giorno}$$

Considerando la frazione di COD degradata pari al 96%, la portata di COD rimossa ($Q_{COD,RIM}$) dall'impianto è:

$$Q_{COD,RIM} = 0.96 \times 175 = 166 \frac{kg}{giorno}$$

Avendo assunto che l'impianto produce una frazione in kg di sostanza secca, pari a 0.1 per ogni kg di COD abbattuto, carico di sostanza secca giornaliero Q_{SS} vale:

$$Q_{SS} = 0.1 \times 166 \cong 17 \frac{kg}{giorno}$$

Pertanto, il carico di sostanza secca SS prodotto in un anno vale:

$$SS = 17 \times 365 = 6068 \text{ kg} \cong 6 \text{ t}$$

In definitiva, si stima una produzione annua di sostanza secca pari a **6 tonnellate**, lavorando in funzione delle condizioni di progetto. Si specifica che per determinare l'entità del carico di sostanza secca, si è tenuto conto dei valori forniti e garantiti dalle aziende: questi dati tengono conto del fenomeno dello fouling delle membrane e del ricircolo di una frazione del fango.

Per quanto riguarda gli aspetti qualitativi, i parametri da indagare dipendono dalla fase di gestione successiva.

3.2-Il blocco dei trattamenti specifici dei fanghi

Come già detto, il fango e la sostanza secca non sono la stessa cosa: il fango prima di trasformarsi in sostanza secca, deve subire trattamenti specifici: solo successivamente può essere gestito per il riutilizzo o lo smaltimento.

Il quantitativo di sostanza secca stimato non viene fuori tal quale dall' impianto in analisi, ma è frutto di analisi e prove pilota sul fango, effettuate dalle aziende che vendono chiavi in mano tali impianti.

La linea fanghi dell'impianto in analisi, è progettata per raccogliere il fango prodotto dai trattamenti MBR e osmosi, per esempio, con un opportuno sistema di pompaggio (da dimensionare nel dettaglio qualora si decida l'effettiva realizzazione dell'impianto). Il fango deve essere convogliato, attraverso la linea specifica, verso il blocco dei trattamenti specifici, a valle dei quali viene prodotta la sostanza secca.

Tale blocco prevede **due trattamenti**, nel seguente ordine:

- *Digestione* (stabilizzazione anaerobica), per ridurre il potere fermentiscibile dovuto all'azione dei microrganismi;
- *Disidratazione*, per riduzione del tenore di umidità

3.2.1-La digestione e la disidratazione

Come già è stato spiegato nel capitolo 1, questo trattamento serve a stabilizzare i batteri, abbattendo le caratteristiche di putrescibilità del fango. Questo avviene in funzione di determinate condizioni di temperatura e potenziale redox (potenziale di ossido-riduzione, che favorisce il verificarsi di date reazioni chimiche), tali da non bloccare la produzioni di sostanze utili ai batteri per la sopravvivenza; da questo consegue che, in tal modo, le sostanze complesse e di difficile degradazione, che rendono il fango putrescibile, vengono scomposte in sostanze più semplici, che rendono il fango privo di batteri patogeni.



Figura 59-Foto di un digestore

Il parametro più importante per tale processo è la temperatura; proprio in funzione di questo parametro, infatti si hanno diverse tipologie di questi trattamento:

- Digestione PSICROFILA, intorno a 20 °C;
- Digestione MESOFILA, intorno a 32 °C;
- Digestione TERMOFILA, intorno a 50°C.

Il funzionamento del processo è molto semplice: aumentando la temperatura aumentano le specie di batteri patogeni abbattute, ma l'energia, richiesta per alimentare il sistema e mantenere la costanza della temperatura fa aumentare i costi; pertanto, un buon compromesso tra efficienza e costo del processo si ottiene con la digestione MESOFILA, che, non a caso, avviene ad una temperatura uguale a quella corporea, simulando il processi di metabolismo che caratterizzano la digestione nel corpo umano.

La degradazione avviene in tre fasi:

1. Fase IDROLITICA; attraverso l'azione di particolari enzimi le macromolecole si dividono in sostanze solubili: i carboidrati diventano zuccheri, le proteine aminoacidi e i grassi acidi grassi;
2. Fase ACIDA; in un ambiente acido (pH intorno a 5), i prodotti dell'idrolisi vengono ulteriormente trasformati in alcoli e acidi organici volatili;
3. Fase METANIGENA; in ambiente neutro, le sostanze vengono trasformate in biogas: metano e anidride carbonica.

La digestione è un processo lungo, in cui le tre fasi coesistono; pertanto è importante trovare l'equilibrio biologico tra le fasi, in particolare tra la fase ACIDA e quella METANIGENA; il

problema principale per cui è difficile equilibrare le fasi e dovuto al fatto che la fase ACIDA avviene in molto meno tempo di quella METANIGENA, ma ha meno capacità di degradazione; inoltre, gestione del processo è legata anche alla temperatura: aumentando la temperatura, diminuiscono i tempi con i quali avvengono tali reazioni.

In *figura 60* è schematizzato il digestore convenzionale, detto a basso carico: questa tipologia è quella convenzionale, in uso presso impianti di piccole dimensioni; i motivi per i quali è molto usato sono il costo ridotto e la semplicità di gestione; nel reattore le sostanze non sono miscelate e il fango digerito sedimenta sul fondo.

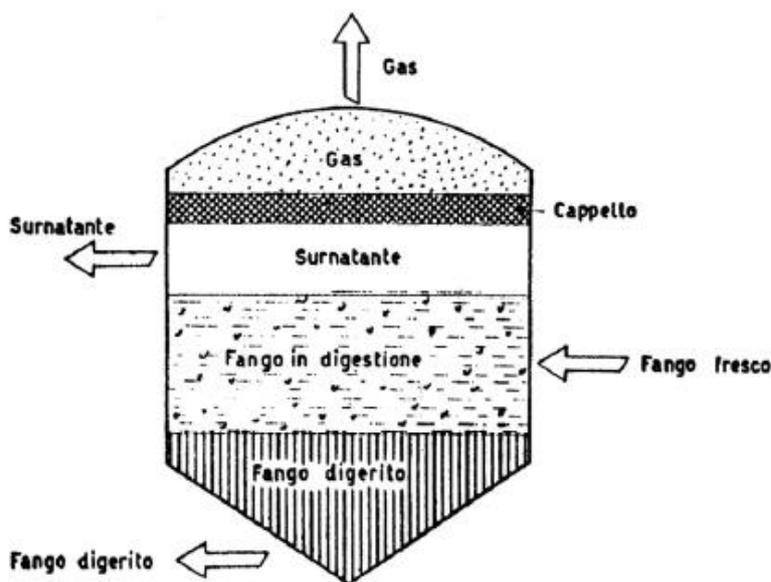


Figura 60-Schema di un impianto di digestione

A questo sistema va aggiunto il sistema di raccolta del biogas prodotto e di raccolta dei fanghi.

Per stimare il volume del digestore si può fare uso di un'equazione empirica di Popel, che lega tale grandezza, in m^3 , alla portata giornaliera di fango fresco Q_{ff} , alla temperatura T di digestione e a coefficienti:

$$V_d = 175 Q_{ff} 10^{-0.03 T}$$

Come valore di temperatura si sceglie $32^\circ C$, poiché le condizioni MESOFILIE sono quelle che caratterizzate dal miglior compromesso tra costo ed efficienza del processo.

Per valutare la portata di fango fresco si può banalmente aggiungere un alla portata di sostanza secca determinata in precedenza un tenore d'acqua del 90 %:

$$ff = \frac{17}{0.1} = 170 \frac{m^3}{giorno}$$

Il volume del digestore, secondo Popel, pertanto, vale:

$$V_d \cong 3260 m^3$$

Nella pratica si possono fare due digestori con un volume effettivo $V_{d,e}$, pari circa $2/3$ di quello ottenuto; pertanto:

$$V_{d,e} = \frac{2}{3} V_d \cong 2000 \text{ m}^3$$

Il volume può sembrare elevato se rapportato al carico di fango; tuttavia bisogna tenere conto della moltitudine di sostanze coinvolte nel processo (fango fresco, fango digerito, surnatante, biogas) e del tempo di permanenza del fango. Inoltre, con questa formula il volume è di primo dimensionamento; bisognerebbe, pertanto, raffinare i calcoli con dati più accurati e metodi di simulazione più potenti.

Il processo di digestione anaerobica prevede un tempo di permanenza di circa **15 giorni** del fango nel digestore; inoltre, produce biogas: le quantità sono circa **0.8-0.9 Nm³/kg**²⁹ di sostanza abbattuta, pertanto non c'è una produzione elevata; si ricorre pertanto alle tecniche di co-digestione, che prevedono una maggiore produzione di biogas da una miscela solida formata da fango e altri rifiuti di tipo organico.

La disidratazione, invece, ha lo scopo eliminare la fase liquida presente nel fango, che come già detto, costituisce almeno il 90% del volume totale.

La disidratazione può essere naturale, quindi su letti di essiccamento, o artificiale, per via termica o meccanica; i metodi termici sono l'essiccamento e l'incenerimento, mentre per i trattamenti meccanici si ricorre ai seguenti sistemi: filtropresse, nastropresse, filtri a vuoto e centrifughe.

Per l'impianto in analisi, una buona soluzione è un **letto di essiccamento**: questa ha come risultato il fango caratterizzato da 40% di sostanza secca, eliminando quindi il 30% di umidità; nonostante sia presente ancora il 60% della fase liquida, il risultato rende idoneo il fango allo smaltimento in discarica, per il quale il quantitativo di sostanza secca minimo deve essere il 25%.



Figura 61-Foto di un letto per essiccazione

Risultati migliori si otterrebbero con l'**essiccazione termica**: il fango risultante ha frazione secca pari al 90%; questo trattamento però è meno economicamente ed energeticamente sostenibile.

²⁹ Nm³: è 1 NORMAL-METROCUBO, un'unità di misura del volume di un gas in condizioni NORMALI, ovvero pressione atmosferica e temperatura pari a 0°C.

3.3-Soluzioni intelligenti e alternative per la gestione del fango

Per quanto riguarda la fase successiva, bisogna fare riferimento al D. Lvo 152, che, nell'art. 179, definisce i criteri di priorità nella gestione dei rifiuti; la gerarchia è la seguente:

1. Prevenzione;
2. Preparazione per il riutilizzo;
3. Riciclaggio;
4. Recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
5. Smaltimento.

Da quello che si evince, lo smaltimento deve essere la soluzione da mettere in atto qualora non siano realizzabili tutte le altre scelte.

Prima di tutto è necessario fare prevenzione e quindi ridurre a monte il carico di rifiuti prodotti, o, comunque, cercando di limitarlo quanto più possibile; questo non è sempre facile da mettere in atto; nel caso in esame, la scelta della soluzione MBR e osmosi inversa, di sicuro è da ritenersi idonea alla prevenzione, perché questa tecnologia è tale produrre minore quantità di fango, rispetto a quella di un impianto tradizionale.

La preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e il recupero di altro tipo, rappresentano le soluzioni alternative allo smaltimento e sono da privilegiare rispetto a quest'ultimo; tali soluzioni consistono in :

- Utilizzo in agricoltura;
- Recupero energetico in seguito a trattamenti termici.

3.3.1-L'utilizzo in agricoltura

Per poter utilizzare il fango come fertilizzante agricolo bisogna verificare la conformità con il decreto legislativo 99/1992. L'art.3 di questo decreto contiene tutte le condizioni per l'utilizzazione.

Le condizioni da verificare sono:

- *Condizioni sul fango*; deve essere trattato: quindi, disidratato (il tenore d'acqua non deve superare 80%), e stabilizzato, e, pertanto non contenere batteri patogeni; inoltre le concentrazioni devono essere tali da rispettare i valori limite per i metalli e gli elementi elencati nelle *tabelle 21 e 22*.

Tabella 21-Limiti relativi ai metalli nel fango imposti dal D. Lvo 99/1992

METALLI	LIMITE IN mg/kgSS
CADMIO	20
MERCURIO	10
NICHEL	300
PIOMBO	750
RAME	1000
ZINCO	2500

Tabella 22- Limiti relativi ai parametri agronomici e microbiologici del fango imposti dal D. Lvo 99/1992

PARAMETRI AGRONOMICI E MICROBIOLOGICI	LIMITE in %SS
CARBONIO ORGANICO % SS	20
FORSFORO TOTALE %SS	0.4
AZOTO TOTALE %SS	1.5
SALMONELLE MPN/gSS	103

- *Condizioni sul terreno destinatario del fango*; il fango non può essere impiegato in quantità maggiori di 15 t/ha, a patto che il terreno non abbia pH compreso tra 6 e 7.5 e capacità di scambio cationico superiore a 15 meg/100 g;
- *Condizioni sulle analisi sul fango e terreno*; il decreto stabilisce quali parametri bisogna analizzare e con quali metodiche bisogna effettuare tali analisi; tali dettagli non sono qui riportati, ma qualora sia necessario approfondire quest'aspetto, si specifica che sono elencati nel decreto 99/1992.

Pertanto, l'obiettivo è cercare di capire se il fango prodotto dall'impianto può essere utilizzato in agricoltura come fertilizzante.

Bisogna assolutamente specificare che, per verificare la conformità con i limiti del decreto 99/1992, l'unica metodologia corretta è l'analisi del fango e del terreno, secondo le metodologie descritte; questo non è ovviamente possibile; tuttavia, si può provare a stimare il valore dei parametri da verificare, assumendo che i quantitativi rimossi dall'impianto costituiscano le concentrazioni la sostanza secca; senza analisi questa è l'unica operazione che è possibile fare, ma idonea a capire se l'entità del fango è tale da poter stabilire in via preliminare se potrebbe essere utilizzato in agricoltura.

I valori limite del decreto, per i metalli, sono espressi in mg/l; pertanto, bisogna convertire i valori di concentrazione del percolato in ingresso in mg/kg di sostanza secca; l'impianto per 50000 l/giorno produce 17 kg di sostanza secca; il rapporto tra questi due valori è circa 3000, pertanto, la conversione può essere fatta moltiplicando i valori in mg/l per questo fattore. I risultati sono riportati in *tabella 23*:

Tabella 23-Stima della concentrazione dei metalli nel percolato in analisi

METALLO	U.M. mg/l	U.M. mg/kgSS	Limite in mg/kgSS
Ni	0.02	60	300
Pb	0.05	150	750
Cu	0.1	300	1000
Zn	0.5	1500	2500
Hg	0.05	150	10

Da quanto ottenuto con questa stima preliminare, cinque valori su sei, per i metalli pesanti, risultano inferiori dei limiti importi; bisogna cercare di capire se il valore di concentrazione di mercurio è dovuto ad un'anomalia e se è possibile che, in altre occasioni, ci sia la possibilità che il limite sia rispettato.

Per quanto riguarda i parametri agronomici (carbonio, fosforo e azoto) e batteriologici (salmonelle), il rispetto dei limiti normativi è più strettamente legato al processo di trattamento specifico dei fanghi, che deve essere calibrato in modo che le concentrazioni di tali parametri risultino minore dei valori imposti; questo può essere verificato con le analisi. Inoltre bisogna tenere presente che anche la scelta del terreno è vincolata dalla normativa, pertanto deve essere un terreno idoneo all'utilizzo del fertilizzante.

Si può concludere, che nel caso in esame, la strada relativa al riutilizzo in agricoltura del fango, è la principale possibilità di gestione da prendere in considerazione, perché **le concentrazioni dei metalli sono tali da non compromettere tale utilizzo**; inoltre durante la fase di post chiusura della discarica, la gestione si semplifica e, quindi, tali valori tendono a stabilizzarsi e a non aumentare; bisogna però scegliere un terreno idoneo e, soprattutto ,approfondire l'analisi del processo dei fanghi, con metodologie dirette, che diano risultati più accurati, poiché tale processo deve essere calibrato affinché le concentrazioni dei parametri agronomici e batteriologici rispettino i limiti imposti.

3.3.2-Il recupero energetico

Il tema del recupero energetico dei fanghi ha acquistato importanza negli ultimi anni e continua a farlo, poiché la gestione dei fanghi è sempre più complicata, date le quantità prodotte sempre crescenti: questo ha reso necessario individuare nuove strategie ed ottimizzare quelle esistenti.

I trattamenti per il recupero energetico sono di tipo:

- ✓ Termico: *combustione*;
- ✓ Biologico: *digestione*.

La combustione. Il trattamento termico ha elevate prestazioni in termini di essiccamento: il fango ottenuto ha concentrazione di sostanza secca pari a 90% ed è stabilizzato e igienizzato e con granulometria tale da rendere agevole la gestione successiva.

La combustione avviene nei classici forni termovalorizzatori, sistemi in cui il calore derivato dalla reazione, viene utilizzato per produrre energia; i termovalorizzatori più diffusi sono:

- Forni a tamburo rotante: il più semplice dei forni, in cui la combustione avviene in camere a tamburo rotante.

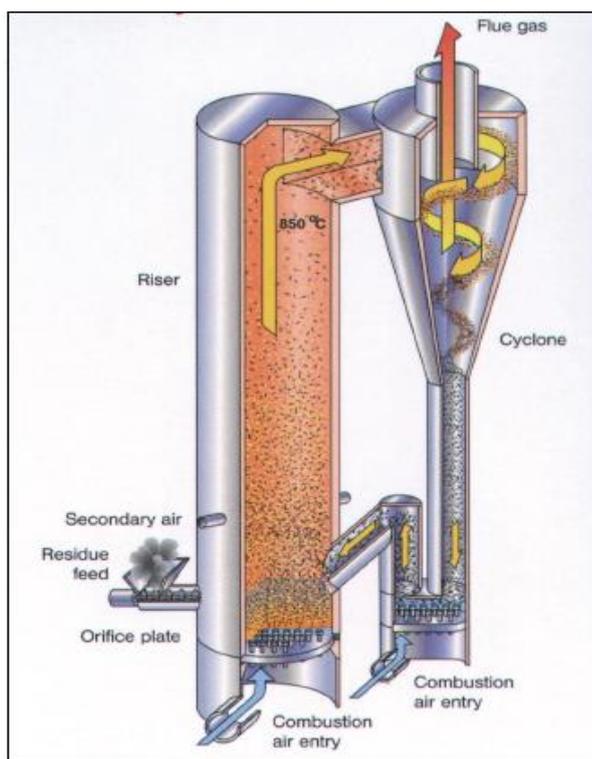


Figura 62-Modello di un forno a tamburo

- Forni a griglia: sistema in cui la combustione avviene su una griglia, sulla quale i rifiuti vengono mescolati.
- Forni a letto fluido, solo per fanghi già essiccati, il più efficace, ma il meno sperimentato.

Questo trattamento ha un legame diretto con un parametro: il PCI, il potere calorifico, ovvero una grandezza intensiva che indica la massima energia che si ottiene per combustione da kg di rifiuto; un valore del PCI che rende idoneo un refluo alla combustione è 13000 kJ/kg, cioè quello medio di

un kg si RSU selezionato; il fango ha PCI legato alla % di SS e fase liquida; per un fango avente il 25% di sostanza secca tale valore è circa 3000 kJ/kg, pertanto non sarebbe idoneo alla combustione.

Tuttavia, per rendere energeticamente (e quindi economicamente sostenibile) la combustione di fango, le nuove metodologie consistono in una co-combustione con RSU, in impianto a griglia mobile, per favorire la miscelazione ed ottimizzare il processo; in tal modo la miscela solida raggiunge valori di PCI tali da rendere la co-combustione energeticamente sostenibile; alcune sperimentazioni hanno riportato sulla combustione di miscele di RSU selezionato e fango hanno dato i seguenti risultati:

Tabella 24-Caratteristiche di miscele di RSU e fango

MISCELA	PORTATA (kg/ora)	PCI (kJ/kg)	RENDIMENTO NETTO	CO2 (kg/ora)
RSU	14344	12913	23,05 %	16304
RSU+FANGO 90%SS	15791	13318	23,09 %	18975
RSU+FANGO 70%SS	16204	12569	21,94 %	18354
RSU+FANGO 25%SS	19552	10338	22,63 %	18354

La digestione. In generale la digestione del fango produce biogas, circa 0.8 Nm³/kg abbattuto; per aumentare questa produzione, si fa riferimento alla co-digestione tra fango e rifiuti organici.

Le sperimentazioni hanno dimostrato che, con l'aggiunta di una quantitativo di organico uguale in kg al fango ,si produce quasi 3 volte il quantitativo di biogas (in Nm³/kg) che si deriva dalla digestione del solo fango.

3.4-Lo smaltimento in discarica

La soluzione dello smaltimento, ultima nella scala delle priorità in discarica è regolata dal decreto legislativo del 27 settembre 2010 che stabilisce i criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica. Ai sensi di tale decreto, secondo quanto scritto nell'*art.6, comma 4*, il fango da depurazione può essere smaltito in discariche di rifiuti non pericolosi, purché:

- Abbia subito trattamenti di solidificazione e stabilizzazione;
- Abbia pH non inferiore a 6 e concentrazione di sostanza secca non inferiore a 25%;
- Rispetti i seguenti limiti di concentrazione per l'*eluato*:

Tabella 25-Limiti di concentrazione per l'eluato imposti per l'accettabilità di un rifiuto in discarica

PARAMETRO	LIMITE in mg/l
ARSENICO	0.2
BARIO	10
CADMIO	0.1
CROMO TOTALE	1
RAME	5
MERCURIO	0.02
MOLIBDENO	1
NICHEL	1
PIOMBO	1
ANTIMONIO	0.07
SELENIO	0.05
ZINCO	5
CLORURI	1500
FLUORURI	15
SOLFATO	2000
DOC	80
TDS	6000

Per quanto riguarda il parametro DOC (Carbonio Organico Disciolto) il fango presenta in media concentrazioni maggiori di 3000 mg/l, quindi ben più elevate del valore limite di 80 mg/l; pertanto, il decreto stabilisce che tale limite NON si applica per i fanghi caratterizzati dai seguenti codici CER: 040106, 040107, 040220, 050110, 050113, 070112, 070212, 070312, 070412, 070512, 070612, 070712, 170506, 190812, 190814, 190902, 190903, 191304, 191306.

Si specifica che tali fanghi devono avere comunque subito tali da ridurre al massimo il carico organico.

Si ricorda inoltre che l'*eluato* è una miscela liquido solida ottenuta bagnando il refluo ed è utile per simulare il comportamento del rifiuto in caso di pioggia; i valori limite del decreto sono riferiti ad una soluzione che ha un rapporto di 10 l di fase liquida per ogni kg di fase solida.

I criteri di ammissibilità in discarica sono regolati da decreti continuamente aggiornati; ogni discarica ha la propria AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) che contiene i dettagli relativi

alle condizioni su ogni attività della discarica e pertanto contiene anche il riferimento normativo sui limiti di accettabilità dei rifiuti.

Il valore del PCI che, come spiegato nella conclusione della PARTE I, vincolerà notevolmente la possibilità di poter smaltire un refluo e condizionerà il sistema di gestione delle discariche, non presenta problemi per il fango, che ha PCI di circa 3000 kJ/kg, quindi, inferiore al limite.



Figura 63-Foto di una discarica in realizzazione

3.5-Individuazione dei costi di ciascun trattamento

In questo paragrafo, si riportano i costi dei trattamenti specifici del fango, suggeriti per completare la linea fanghi dell'impianto in progetto, e delle possibili soluzioni di gestione successiva; tali costi sono da intendersi come medi, poiché variano a seconda dell'azienda o della regione di riferimento.

Costo dell'essiccamento termico: 300 euro/t

Costo dello smaltimento in discarica 80-100 euro/t

Costo dell'utilizzo agricolo: 150 euro/t

Costo dello smaltimento per combustione: 400 euro/t

3.6-Considerazione sulle possibili fasi di gestione

La tabella, questo paragrafo riassume i dati relativi alla gestione dei fanghi prodotti (in migliaia di tonnellate per anno) nella Comunità Europea dal 1984 al 2005.

Tabella 26-Dati relativi alle gestione di fango

ANNO	1984		1992		2000		2005	
	10 ³ t/anno	%						
RIUTILIZZO	2057	37	2054	39	3617	40	4576	45
INCENERIMENTO	518	9	715	11	2088	24	3872	38
SMAL. DISCARICA	2988	54	3257	50	3200	36	1615	17
TOTALE	5563	100	6476	100	8906	100	10036	100

La quantità di fango prodotta tende ad aumentare negli anni e dal 1984 al 2005 è addirittura raddoppiata; tuttavia, la gestione tende meno allo smaltimento in discarica: nel 2005 il fango smaltito è il 17% del totale, contro il 54% nel 1984.

Un dato sicuramente positivo è che la gestione comunitaria tende sempre più al riciclaggio; l'Italia tuttavia è ancora indietro, dove lo smaltimento in discarica è la soluzione ancora più impiegata. Questo, invece, non è un dato positivo, poiché la tendenza comunitaria è quella di chiudere le discariche; **è opportuno quindi incentivare la realizzazione di soluzioni alternative.**

Nel caso analizzato, le possibilità di gestione sono le seguenti:

- *Smaltimento in discarica*, vincolato dai limiti di concentrazione dell'eluato; tale soluzione è quella per la quale bisogna trovare delle alternative.
- *Smaltimento in termovalorizzatore*: questa soluzione dal punto di vista ambientale è più virtuosa dello smaltimento in discarica, sia per l'aspetto del recupero energetico, sia per l'aspetto dell'inquinamento: una concetto che può sembrare banale, ma estremamente efficace è il seguente: in caso di imprevisti e problemi, il termovalorizzatore si può spegnere; la discarica no. Bisogna ricordare , inoltre, che le emissioni del termovalorizzatore rispettano i limiti di concentrazione del decreto legislativo 152 e sono continuamente monitorate. Tuttavia, dato il potere calorifico del fango, che non è molto elevato, e i costi di combustione, questa soluzione **non risulta economicamente ed energeticamente sostenibile.**
- *Riutilizzo in agricoltura*: questa soluzione è la migliore al punto di vista ambientale ed economico; tuttavia è quella vincolata dai limiti più restrittivi; pertanto bisognerebbe calibrare i processi affinché il fango risultante abbia concentrazioni ad essi inferiori.

Quindi, le alternative allo smaltimento dovrebbero essere le soluzione verso le quali si dovrebbe tendere; in particolare il riutilizzo in agricoltura aprirebbe nuove prospettive relativamente al fango

come sottoprodotto, ampliando questo tema che per ora riguarda solo i fanghi provenienti da depurazioni di acque ad uso zootecnico: questo porterebbe notevoli vantaggi ambientali ed economici, poiché, si ricorda dietro il sottoprodotto, c'è un mercato.

Riassunto dei contenuti della tesi

In questi paragrafi conclusivi, sono riportati brevemente i contenuti di rilievo di questo lavoro, le considerazioni sulle analisi e le proposte, con lo scopo di approfondire la trattazione di questo problema e realizzare la soluzione.

Questo lavoro ha analizzato **un impianto di trattamento del percolato da discarica di tipo MBR ed osmosi inversa**, in progetto presso l'azienda S.A.Ba.R. s.p.a., che, tra le tante attività, gestisce una discarica nei pressi del comune di Novellara; l'obiettivo di tale analisi è quello di individuare l'entità del fango prodotto dall'impianto e mettere in luce i trattamenti specifici e le possibili soluzioni per la successiva gestione; per tali soluzioni si cerca di evidenziare gli aspetti più significativi e rilevanti che conviene approfondire concludere al meglio quest'analisi.

I dati utilizzati per le elaborazioni sono stati attraverso **un'indagine aziendale**, che ha riguardato impianti in vendita e impianti in esercizio; in più sono stati utilizzati i dati forniti dalla S.A.Ba.R., relativi alle **analisi quantitative e qualitative del percolato** prodotto dalla discarica.

L'impianto è progettato per il trattamento *in situ* ed è costituito da un blocco MBR e due stadi di osmosi inversa; è prevista una portata media di **50 m³/giorno**. Si sono analizzate le prestazioni dell'impianto e **sono risultate ottime** in termini di abbattimento di COD e dei restanti inquinanti; secondo quest'analisi preliminare, sono **rispettati i limiti imposti dal decreto 152 per gli scarichi in fognatura**.

Il passaggio successivo riguarda la produzione di fango: analizzando le prestazioni dell'impianto si stima una produzione di **0.1 kg di sostanza secca per ogni kg di COD abbattuto**; pertanto il carico di sostanza secca previsto è di circa **6 t all'anno**.

Per il fango un blocco di trattamenti specifici, da effettuare prima della gestione successiva: il primo è la **digestione anerobica**, che rende il fango stabile e privo di batteri patogeni, producendo biogas; per tale trattamento si possono considerare due digestori con un volume stimato di circa 2000 m³; il secondo trattamento è la **disidratazione**: può essere tipo naturale, cioè avvenire su un **letto di essiccazione**, che porta il tenore di sostanza secca dal 10% al 40%, rendendolo compatibile con qualsiasi fase di gestione successiva, oppure di tipo **termico**, che porta il tenore di sostanza secca al 90%, ma è più costoso e più complesso.

Una volta stabilizzato e ridotto in termini di volume, il fango deve essere gestito; le soluzioni individuate sono le seguenti:

- Smaltimento in discarica;
- Smaltimento in termovalorizzatore;
- Riutilizzo in agricoltura.

Lo **smaltimento in discarica** è la **soluzione meno compatibile con l'ambiente**, da mettere in pratica solo se non è possibile intraprendere altre strade.

Lo **smaltimento in termovalorizzatore** risulta maggiormente compatibile con l'ambiente di quello in discarica, a causa del minore impatto e della gestione di imprevisti più agevole; tuttavia, il fango

ha basso potere calorifico, pertanto questa soluzione **non è da ritenersi energeticamente ed economicamente sostenibile.**

Il riutilizzo in agricoltura è la soluzione che meglio concilia sostenibilità ambientale ed economica, tuttavia è quella che ha i **vincoli più restrittivi:** per questo motivo merita di essere studiata; da un'analisi preliminare è risultato che le concentrazioni di metalli sono tali da non compromettere tale l'utilizzo; per continuare le analisi **bisogna verificare i parametri agronomici del fango e le caratteristiche del terreno;** per fare questo sono necessari strumenti di lavoro più potenti e dati più dettagliati; in questo modo è possibile fare un'analisi puntuale ed approfondita, studiando e calibrando il processo specifico dei trattamenti del fango, in funzione del rispetto dei vincoli imposti dal decreto.

Conclusioni

Alla luce delle considerazioni e dei risultati, si riportano qui le proposte e i suggerimenti per migliorare l'analisi e per approfondire questo lavoro.

- ✓ Raffrontare i costi e le prestazioni dell'impianto di depurazione con quelli relativi ad un alternativo, che prevede un blocco SBR al posto dei due stadi di osmosi; questo confronto fornirebbe ulteriori elementi per una valutazione migliore e una scelta dell'impianto ancora più consapevole da parte della azienda; sarebbe inoltre utile per permettere a paragone due tecnologie innovative, considerando la scarsità di informazioni e dati a riguardo;
- ✓ La digestione merita un approfondimento: questo trattamento produce biogas, pertanto è indispensabile prevedere un sistema di captazione e recupero; inoltre per aumentare la produzione, **sarebbe opportuno studiare e valutare gli effetti di un sistema di co-digestione del fango con rifiuti organici.**
- ✓ Lo smaltimento per co-combustione è una buona alternativa allo smaltimento in discarica; **sarebbe interessante individuare quali miscele tra fango e RSU ottimizzano il rendimento energetico e l'aspetto economico.**
- ✓ Il riutilizzo in agricoltura è di sicuro l'aspetto più interessante da approfondire in un lavoro successivo; **bisognerebbe individuare un terreno** (che potrebbe essere situato nella stessa azienda) idoneo allo scopo e **verificare, con metodi più accurati, la conformità del fango con la normativa.**

In definitiva, sarebbe necessario disporre di mezzi più potenti per approfondire gli aspetti dell'analisi, che forniscano risultati più accurati: su tutti bisognerebbe effettuare una prova pilota perché tale metodologia fornisce i risultati più significativi; per arrivare in fondo al problema è necessario sempre osservare sperimentalmente il comportamento reale dell'oggetto di studio, perché, per la realizzazione, è fondamentale avere informazioni relative al solo caso di studio; infatti, la materia della depurazione ha un evidente carattere multidisciplinare, che complica le trattazioni teoriche, pertanto ogni caso è da considerarsi pratico ed estremamente particolareggiato; è importante che ogni informazione abbia un riscontro concreto e ogni conclusione abbia basi sperimentali, direttamente collegate al solo caso in analisi.

Per fare questo, sarebbe utile l'intervento di aziende del settore; bisogna evidenziare che non tutte le aziende si sono mostrate interessate al lavoro, poiché non ha carattere professionale, ma è una tesi di laurea; dall'altra parte esistono anche aziende disposte a fornire aiuti concreti e bisognerebbe rivolgersi ad esse: questa mentalità lungimirante è estremamente positiva, poiché è specchio della consapevolezza che la disponibilità dimostrata e le indicazioni fornite ad un possibile richiedente, possono trasformarsi in lavoro quando l'opera deve essere realizzata.

Per concludere, con idee più chiare, elaborate sulla base di dati relativi al caso in studio, sarebbe utile **individuare un vero e proprio piano di gestione del fango**, che preveda, per un determinato arco di tempo, tutte le strategie che ottimizzano gli aspetti economici e la sostenibilità ambientale, conciliandoli con le condizioni operative della discarica.

Bibliografia

- Salati Stefano , *Confronto tra le soluzioni innovative per il trattamento di percolato da discarica*, tesi di laurea magistrale in ingegneria per l'ambiente e il territorio, Università degli Studi di Parma, A.A. 2011/2012.
- Sirini Pietro, *Ingegneria sanitaria ambientale*, Ed. McGraw Hill, Milano, 2002.
- Bonomo Luca, *Trattamenti delle acque reflue*, Ed. McGraw Hill, Milano, 2007.
- Metcalf & Eddy, *Ingegneria delle acque reflue*, Ed. McGraw Hill, Milano 2006.
- Misiti Aurelio, *Fondamenti di ingegneria ambientale*, NIS, Roma, 1994.
- Bonomo Luca, Antonelli Manuela, *Trattamenti di affinamento per il riuso delle acque reflue*, presentazione del Politecnico di Milano, 2007.
- Bonomo Luca, **Tipologie degli impianti di depurazione e riutilizzo dei reflui**, presentazione del Politecnico di Milano, 2007.
- Maglia Stefano, *Diritto ambientale*, IPSOA, Milano, 2011.
- **Relazione annuale 2011 di S.A.Ba.R. Spa.**
- **Dichiarazione ambientale 2011 di S.A.Ba.R. Spa.**
- Cossu, R., He, P., L.F., Stegmann, R., Kjeldsen, P., Matsufuji, Y., Reinhart, D., *Sardinia 2011 Symposium*, CISA PUBLISHER, Padova, 2011.
- Cossu, R., Raga, R., *Leachate generation, Collection and Treatment*.
- Lombardi, L., Pecorini, I., *Il percolato da discarica*.
- Plano, S., *Descrizione del principio di funzionamento dei sistemi SBR*.
- Durante Francesca, Torregrossa Michele, *Trattamenti a membrana*, dispense del corso di impianti di trattamento sanitario ambientale, Università degli Studi di Palermo, A.A. 2004/2005.
- Andreottola Gianni, Vian Marco, *Trattamenti meccanici avanzati per la lisi del fango*, pubblicazione dell' Università degli Studi di Trento, 2009.
- Fenu , G. Guglielmi, J. Jimenez , M. Spe`randio, D. Saroj , B. Lesjean ,C. Brepols, C. Thoeys , I. Nopens , *Activated sludge model (ASM) based modelling of membrane bioreactor (MBR) processes: A critical review with special regard to MBR specificities*, Articolo della rivista Water Research, Aprile 2011.
- Wouter Ghyoot, *Reduced sludge production in a two-stage membrane-assisted bioreactor*, Marzo 1999.
- Seong-Hoon Yoon, *Important operational parameters of membrane bioreactor-sludge disintegration (MBR-SD) system for zero excess sludge production*; Articolo della rivista Water Research, Novembre 2011.
- Vitanza Rosa, *Innovazione di processo del trattamento aerobico di reflui civili ed industriali*, tesi di Dottorato, in scienze e tecnologie farmaceutiche, Università degli Studi di Trieste, A.A. 2009/2010.
- Pannocchia Benedetta, *Studio di un impianto biologico di depurazione a membrana*, tesi di laurea in ingegneria dei processi industriali e dei materiali, Università degli Studi di Padova, A.A. 2011/2012.
- Sguoto Nicolò, *Impianto biologico a membrana per la depurazione e il riutilizzo delle acque reflue*, tesi di laurea in ingegneria chimica, Università degli Studi di Padova, A.A. 2011/2012.
- Zerbinati, Milovic, *Misurazione e sperimentazione negli impianti MBR*, 2007.

Appendice: Principali aziende operanti nel settore del trattamento acque e rifiuti

Siemens Water Technologies Spa

Ingegneria Ambiente srl

Via del Consorzio, 39
60015 Falconara Marittima (Ancona)
Telefono: 071 9162094

Alfa Laval Spa

Via Pusiano, 2
20052 Monza
Telefono 03927041
Fax 0392781000
Web www.alfalaval.com

Diemme Spa

Via Bedazzo, 19
48022 Lugo - Ravenna
Telefono 054520611
Fax 054530358
Web www.diemme-spa.com

La Biodepuratrice S.p.A.

Via S. Vincenzo de' Paoli n. 4
24023 Clusone - Bergamo
Telefono 034621226
Fax 034625618
Web www.labiodepuratrice.com

Verlicchi Srl

Filtropresse e filtri pressa industriali per impianti di depurazione e separazione fanghi

Sede legale:

Via Reale, 38/a
48011 Alfonsine - Ravenna

Magazzino:

Via della Cooperazione, 5
48100 Alfonsine - Ravenna

Telefono 054484820

Telefax 054484697

Web www.verlicchisrl.it

Matec Srl

Via S.Colombano, 13
54100 Massa (MS)
Telefono 0585831034
Telefax 0585835598
Web www.matecitalia.com

Severn Trent Italia Spa

Via Ticino n. 9 Z.I.
25015 Desenzano del Garda - Brescia
Telefono 0309990553
Telefax 0309990563
Web www.severntrentitalia.it
www2.severntrent.com

Severn Trent Water Purification Spa

Via Isola Guarnieri, 13
20063 Cernusco sul Naviglio - Milano
Web www.severntrentservices.it

VRV SpA

Via Burago, 24
20060 Ornago - Milano
Telefono 0396025.1
Fax 0396025499
Web www.vrv-group.com

Naldi Ecologia Srl

Via Colombarotto, 1 40026 Imola - Bologna
Telefono 0542640138
Fax 0542640871
Web www.naldiecologia.it

Idee e Prodotti Srl

Piazza Volta, 6
20040 Agrate Brianza - Milano
Telefono 0295335210
Fax 0295336168
Web www.ideeeprodotti.it

Vomm Impianti E Processi Spa

Via Curiel, 252
20089 Rozzano - Milano
Telefono 0257510808
Fax 0257510909
Web www.vomm.it

Sernagiotto Technologies Spa

via Torino, 114
27045 Casteggio - Pavia
Telefono 0383806711
Fax 038383782
Web www.sernagiotto.it

Huber Technology srl

*impianti di depurazione centrali,
scarichi e rifiuti nell'industria,
depurazione acque di scarico decentrali,
approvvigionamento acqua - trattamento e rielaborazione, immagazzinamento e distribuzione,
riutilizzo acque di scarico,
trattamento fanghi.*

Zona Produttiva Vurza, 22 Pineta di Laives 39055 Laives (BZ)

Telefono: 0471 590107 Telefax: 0471 594280

www.hubertec.it

Torchiani Impianti Srl

via Milano 87

25126 Brescia

Telefono 030318241

Fax 030030318176

Web www.torchiani.it

G.O.S.T. Srl Gruppo Operatori Servizi Tecnologici

Via Romana

06080 Capodacqua di Assisi - Perugia

Telefono 0758064198

Fax 0758064143

Web <http://www.gost.it>

Fraccaroli e Balzan Spa

Via Ospedaletto, 113

CAP 37026 Pescantina - Verona

Telefono 0456767309

Fax 0456767410

Web <http://www.fraccarolibalzan.it>

Watropur AG**Ecoteam SPA**

Via del Padule 23/F

CAP 50018 Scandicci (Firenze)

Telefono 0557355550

Fax 05573555500

Web www.ecoteam.it

**Biological sludge, Fanghi biologici
Società Impianti Depuratori Industriali**

Via Moneta (Q.re SPIP)

43100 Parma

Telefono 0521600711

Fax 0521600712

Web www.gruppointini.com

COOMI Soc. Coop.

Via Castellani, 26
48018 Faenza - Ravenna
Telefono 054625203
Fax 054623730
Web <http://www.coomi.it>

WTE Waste To Energy Srl

via S. Michele, 15
21052 Busto Arsizio - Varese
Telefono 0331670066 oppure 0331653558
Fax 0331320296
Web <http://www.wastetoenergy.it>

Ladurner

Zona Industriale 11 39011 Lana (BZ)
Telefono 0473567800
Fax 0473567800
Web www.ladurner.it

Gruppo Zilio

Sede Legale:
Via Santa Maria in Colle, 13
31044 Montebelluna (Treviso)
Web www.gruppozilio.com
(Tecnologia essiccamento fanghi tedesca)

Zilio S.p.A.

Sede operativa ed amministrativa:
Via Ferrarin, 73 36067 Cassola (Vicenza)
Tel. 0424.818111 Fax 0424.818180
Filiale: Viale Druso, 21/A 39100 Bolzano
Telefono 0471400763
Fax 0471406339
Web www.ziliospa.com