

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI RIMINI  
**CONTRIBUTI OPERATIVI ALLA SALVAGUARDIA DELLE ACQUE DI  
BALNEAZIONE**

*RICCIONE – PALAZZO DEL TURISMO - Venerdì 4 aprile 2008*

**Ing. Maurizio Mancini \***

## **IMPATTO DEI FANGHI DI DEPURAZIONE**



\* DISTART-Department of Structure, Transport, Water, Survey and Territory Engineering-University of Bologna-Faculty of Engineering-Via Risorgimento n.2 - 20136-Bologna-ITALY. phone:+39 051 2093752;  
(E-mail: [maurizio.mancini@unibo.it](mailto:maurizio.mancini@unibo.it))

### **INTRODUZIONE**

Il controllo degli sversamenti delle componenti solide del liquame urbano in acque di balneazione è a tutt'oggi una delle azioni prioritarie da perseguire per garantire la qualità della balneazione lungo la costa romagnola. Flussi di rilascio fangoso possono essere prodotti, anche in tempo secco, dalla *presenza residua di solidi sospesi negli effluenti* dei grandi impianti di trattamento delle acque urbane. Le fasi depurative prevedono la rimozione della componente solida granulosa sedimentabile al primario e la rimozione della componente fioccosa, prodotta in aerazione, mediante sedimentatori secondari per lo più a flusso radiale. Non sono infrequenti tuttavia problemi di efficienza e salubrità delle biomasse attive in aerazione che, influenzando negativamente la sedimentabilità del fango, possono produrre incrementi nelle concentrazioni di solidi all'effluente. Il recapito a mare di significativi quantitativi di fango primario può avvenire anche a causa dell'*attivazione di sfioratori di piena in tempo di pioggia*. Il sistema di scarico delle acque urbane di Rimini, ad esempio, è caratterizzato da una rete di drenaggio principale costituita da scatolari ad elevata sezione ricettori di acque nere in tempo secco e di acque miste (bianche+nere) in tempo di pioggia. Tali scatolari occupano il corso di antichi torrenti che, solcando il territorio

in ragione della pendenza, recapitavano e recapitano tuttora le acque meteoriche direttamente a mare a Sud del Porto Canale di Rimini, a mare ma entro le scogliere frangiflutti a Nord. I tratti finali di tali collettori, ad ampia larghezza e bassa pendenza, fungono da veri e propri sedimentatori a canale che accumulano fango primario al fondo finché persistono condizioni di tempo secco. A ridosso della viabilità lungomare questi collettori principali sono provvisti di sistemi di sbarramento automatici che vengono aperti durante la pioggia per consentire il deflusso in sicurezza e a seguito di tali manovre il fango sedimentato viene sversato a mare. Ciò comporta accumulo e stratificazione di sostanza organica fine sul fondale con sgradevoli effetti per l'attività di balneazione. Peraltro le caratteristiche di tali fanghi, che alla componente organica domestica mescolano il detrito di dilavamento di strade e piazzali, non lasciano del tutto tranquilli dal punto di vista igienico sanitario per presenza di IPA e metalli pesanti. Infine esistono problemi generali di tipo territoriale e morfologico legati al recapito e trattamento delle acque reflue, in estate, nei grandi agglomerati turistici costieri che, per variazioni di apporto e tipologia di fognatura, mal si adattano ai trattamenti di depurazione spinti che sarebbero richiesti dall'uso di pregio dei corpi ricettori. Condizioni di particolare criticità, con rilascio a mare di componenti solide, sono prodotte dalla combinazione fra le variabilità giornaliera e settimanale dei carichi durante la stagione turistica estiva. Come noto gli impianti biologici di trattamento sono dimensionati in condizioni stazionarie e ciò corrisponde alle condizioni reali di esercizio quando risultano contenute le oscillazioni dei parametri in ingresso. Nei grandi centri urbani, dotati da estese reti di drenaggio quasi sempre di tipo misto, non si presentano grossi problemi a gestire impianti correttamente dimensionati in condizioni di tempo secco, grazie alle variabilità parametriche limitate dalla grande estensione della fognatura. Le città costiere ad elevato flusso turistico presentano invece problematiche particolari. Le alte densità abitative, le reti di drenaggio relativamente brevi e soprattutto le attività umane scandite da tempistiche comuni, quali i contemporanei rientri in massa in abitazioni private o in hotel, possono creare picchi serali di carico e portata molto elevati ed imprevisi in fase progettuale. Nel caso di località turistiche a ciò si assommano le fluttuazioni settimanali delle presenze. Le moderne tendenze turistiche producono incrementi di popolazione, nel fine settimana, anche dell'ordine del 300 % rispetto ai valori medi stagionali. Dunque tali condizioni di carico risultano assolutamente ingestibili con gli esistenti sistemi impiantistici a fanghi attivi, anche se correttamente dimensionati, per i quali, peraltro, il breve periodo di oscillazione rende impossibile anche l'avvio a regime di eventuali linee aggiuntive di trattamento. La composizione dell'oscillazione settimanale con quella giornaliera può portare a picchi di carico anche 7-8 volte superiori ai carichi medi giornalieri in tempo secco del periodo turistico. In questi casi non è solo il trattamento biologico a risultare impossibile ma spesso sono addirittura i sistemi di pompaggio e le condotte di mandata esistenti ad essere insufficienti.

## **SMALTIMENTO DEI FANGHI DA DEPURAZIONE URBANA**

Normalmente lo smaltimento dei fanghi da depurazione urbana può avvenire in agricoltura, per incenerimento e/o termovalorizzazione, o in discarica previo trattamento.

## SMALTIMENTO IN AGRICOLTURA

Il quadro legislativo generale che regola tale tipo di attività è in forte evoluzione tuttavia può essere ricondotto alle norme principali di seguito riportate:

- *Direttiva 86/278/CEE*

in corso di revisione sulla base del principio di sostenibilità e precauzione “Working document on sludge: 3° Draft 27/4/2000“, si indica la necessità di prevedere valori limite per i fanghi non più limitatamente ai soli metalli pesanti ma anche per altri composti organici tra cui *i bifenili policlorurati, le diossine ed i benzofurani, i composti alogenati, gli ftalati*;

- *D.Lgs 99 del 27/1/1992*

che rimanda a direttive regionali in relazione alle caratteristiche dei suoli richieste per l'utilizzo dei fanghi in agricoltura sulla base delle seguenti tabelle:

### ALLEGATO I A: VALORI MASSIMI DI CONCENTRAZIONE DI METALLI PESANTI NEI SUOLI AGRICOLI DESTINATI ALL'UTILIZZAZIONE DEI FANGHI DI DEPURAZIONE

Elemento	u.d.m	Valore limite
Cadmio	(mg/kg ss)	1,5
Mercurio	(mg/kg ss)	1
Nichel	(mg/kg ss)	75
Piombo	(mg/kg ss)	100
Rame	(mg/kg ss)	100
Zinco	(mg/kg ss)	300

Nota: sui terreni destinati all'utilizzazione dei fanghi deve essere eseguito, prima della somministrazione, un test rapido di Barlett e James (allegato II A, rif. 3) per l'identificazione della capacità del suolo da ossidare il Cr III a Cr VI. I terreni che, sottoposti a tale test, producono quantità uguali o superiori a 1 M di Cr VI non possono ricevere fanghi contenenti cromo.

### ALLEGATO I B : VALORI MASSIMI DI CONCENTRAZIONE DI METALLI PESANTI NEI FANGHI DESTINATI ALL'UTILIZZAZIONE IN AGRICOLTURA

Elemento	u.d.m	Valore limite
Cadmio	(mg/kg ss)	20
Mercurio	(mg/kg ss)	10
Nichel	(mg/kg ss)	300
Piombo	(mg/kg ss)	750
Rame	(mg/kg ss)	1000
Zinco	(mg/kg ss)	2500

## Caratteristiche agronomiche e microbiologiche nei fanghi destinabili all'utilizzazione in agricoltura

Elemento	u.d.m	Valore limite
Carbonio organico	(% ss) min	20
Fosforo totale	(% ss) min	0.4
Azoto totale	(% ss) min	1.5
Salmonelle	(MPN /g ss) max	1000

È ammessa l'utilizzazione in deroga alla caratteristiche agronomiche indicate in allegato per i fanghi provenienti dall'industria agroalimentare. Per i parametri carbonio organico, azoto totale, fosforo totale i valori limite di cui all'articolo 3, comma 3, devono essere considerati quali limiti di concentrazione.

La Regione Emilia Romagna, per tener conto dell'evoluzione normativa europea, integra la tabella A ex 86/278/CEE ed aggiunge la Tabella B relativa a composti e sostanze organiche persistenti con:

- D.G.R.2773 del 30/12/04 Rettificata con D.G.R.285 del 14/2/05 "DISPOSIZIONI REGIONALI IN MATERIA DI GESTIONE ED AUTORIZZAZIONE ALL'USO DEI FANGHI DI DEPURAZIONE IN AGRICOLTURA" All.4:

**Tabella A - Caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche**

<b>Tabella A1 – Caratteristiche chimico-fisiche</b>	
Parametro	Valore di riferimento
pH	
Sostanza secca (residuo secco a 105°C)	
Residuo secco a 600°C	
Salinità (meq/100g)	
Indice SAR (da ricercare se il valore della salinità > 50)	< 20
Grado di umificazione DH	> 60 %
<b>Tabella A2 – Metalli e non metalli</b>	
Parametro	Valore di riferimento
Cadmio	≤ 20 mg / kg ss
Cromo totale	≤ 1000 mg / kg ss
Mercurio	≤ 10 mg / kg ss
Nichel	≤ 300 mg / kg ss
Piombo	≤ 750 mg / kg ss
Rame	≤ 1000 mg / kg ss
Zinco	≤ 2500 mg / kg ss
Arsenico	≤ 10 mg / kg ss
<b>Tabella A3 – Parametri agronomici</b>	
Parametro	Valore di riferimento

Carbonio organico	20 % ss
Azoto totale	1.5 % ss
Fosforo totale	0.4 % ss
<b>Tabella A4 – Caratteristiche microbiologiche</b>	
Parametro	Valore di riferimento
Salmonelle	≤ 1000 MPN / g ss

**Tabella B – Composti / sostanze organiche persistenti**

<b>Composti organici</b>	<b>Valori limite (mg/Kg ss)</b>
AOX 1	500
LAS 2	2600
DEHP 3	100
NPE 4	50
PAH 5	6
PCB 6	0.8
<b>Diossine / Furani</b>	<b>Valori limite (ng TE/kg ss)</b>
PCDD 5 / PCDF 8	100

1 - Sommatoria dei composti organici alogenati considerando almeno I seguenti: lindano, endosulfan, tricloroetilene, tetracloroetilene, clorobenzene.

2 – Alchilbenzensolfonato lineare.

3 – Di(2-etilesil)ftalato.

4 – Comprende le sostanze: nonilfenolo e nonilfenolo etossilato con 1 o 2 gruppi etossi.

5 – Sommatoria dei seguenti idrocarburi policiclici aromatici: acenaftene, fenantrene, fluorene, fluorantene, pirene, benzo(b+j+k)fluorantene, benzo(a)pirene, benzo(g,h,i)perilene, indeno (1.2.3-c,d)pirene

6 – Sommatoria dei componenti dei policlorobifenili numeri 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180.

7- Policloridibenzodiossine.

8 – Policlorodibenzofurani.

Per valutare la possibilità complessiva di smaltimento dei fanghi in agricoltura in territorio roma-gnolo occorre tenere conto anche dell'effettiva praticabilità dell'attività di spandimento sia in ordine alla continuità temporale garantita sia alla disponibilità di suolo idoneo. Si riportano sinteticamente di seguito I principali vincoli normativi introdotti dalla direttiva regionale di cui sopra.

#### **1 – DIVIETO D'USO E PERIODO DI DIVIETO -**

**PERIODO DI DIVIETO:** • Dal 1 novembre a fine febbraio. La Provincia può derogare per fanghi palabili in pre-senza di particolari caratteristiche agro pedologiche dei suoli (a.e.

terreni sabbiosi) e di favorevoli condizioni atmosferiche.

**DIVIETO D'USO:** • fanghi tal quali da vasche settiche / biologiche, da vasche tipo Imhoff adibite al trattamento delle acque reflue domestiche di case sparse, insediamenti, nuclei isolati o di acque reflue urbane da agglomerati di ridotte dimensioni (< 200 AE) • fanghi di depurazione derivanti dal trattamento delle acque reflue industriali in applicazione di quanto previsto dall'art.2, comma 1, lettera a) punto 3 del decreto; fanno eccezione quelli dei settori produttivi elencati.

## **2 – FANGHI DI DEPURAZIONE IDONEI PER SETTORE PRODUTTIVO**

⇒ preparazione e trattamento di carne, pesce ed altri alimenti di origine animale, (codice CER 02 02 04)

⇒ preparazione e trattamento di frutta, verdura, cereali, oli alimentari, cacao, caffè, tè e tabacco; produzione di conserve alimentari; produzione di lievito/estratto di lievito; preparazione/fermentazione della melassa (codice CER 02 03 05)

⇒ raffinazione dello zucchero (codice CER 02 04 03)

⇒ industria lattiero-casearia (codice CER 02 05 02)

⇒ industria dolciaria e della panificazione (codice CER 02 06 03)

⇒ produzione di bevande alcoliche ed analcoliche (codice CER 02 07 05)

⇒ produzione e lavorazione di polpa, carta e cartone (codice CER 03 03 11).

⇒ depurazione biologica degli effluenti di allevamento (codice CER 19 08 99)

## **3 AREE / TERRENI SOGGETTI A DIVIETO DI UTILIZZO**

◇ - superfici non interessate dall'attività agricola (compresi terreni in setaside);

◇ - zone di divieto di cui all'art.2 delle Norme tecniche di attuazione-Piano Stralcio per il Comparto zootecnico deliberazione del CR n.570/97; zone di rispetto di cui all'art.21 del decreto legislativo 152/99;

◇ - a meno di 10 metri dalle sponde dei corpi idrici superficiali ed a meno di 100 metri dal perimetro dei centri abitati escluse le case e gli insediamenti produttivi isolati;

◇ - a meno di 30 metri dall'arenile per le acque marino-costiere e lacuali;

◇ - in terreni allagati o saturi d'acqua, gelati, innevati, soggetti ad esondazioni o con falda acquifera affiorante, comprese le zone in fascia A del -P.A.I.-AdB del Po;

◇ - in terreni con pendenze medie maggiori del 20% (Del.1801/2005 -Fanghi palabili);

◇ - in terreni con pH minore di 5;

◇ - in terreni con Capacità di Scambio Cationico minore di 8 meq/100g;

◇ - sui suoli aventi una dotazione naturale di sostanza organica superiore al 5%. A

**FANGHI NON PALABILI** (terreno con pendenza >10% senza sistem.-golene)

## **5 – DIVIETI /PRESCRIZIONI D'USO PER COLTURE**

E' vietato applicare fanghi sugli stessi terreni per un periodo massimo continuo superiore a tre anni.Va prevista poi la messa a riposo per almeno due anni, esclusi i fanghi del comparto agroalimentare (buona qualità). (DELIBERA 1801/2005). E' vietato utilizzare fanghi di depurazione: • sui terreni con colture orticole e frutticole i cui prodotti sono normalmente a contatto con il terreno e consumati crudi; • sui pascoli e prati stabili • La distribuzione dei fanghi su medica e graminacee foraggere deve avvenire entro sei settimane dall'inizio della raccolta. E' ammesso esclusivamente l'impiego di fanghi palabili provenienti da impianti di depurazione di industrie agro alimentari nei seguenti casi: ♦ su terreni destinati a colture orticole da industria; ♦ su terreni con colture da frutto non a contatto con il terreno.

Sulla base di numerose esperienze gestionali e di alcune recenti indagini all'uopo condotte su impianti lombardi e piemontesi dall'Università di Pavia (Ariati 2007) non sembrano evidenziarsi particolari problemi a rispettare, per i fanghi da trattamento urbano, i valori limite dei metalli pesanti di cui alla tabella in all.1B. Emergono invece criticità singolari sul Boro, probabilmente a causa di peculiarità tipologiche del suolo. A risultati simili giunge anche una indagine svolta sui fanghi dell'impianto di Fusina (VE). (Chinellato 2006) L'introduzione della Tabella B rende conto invece dell'insorgenza di problematiche significative in ordine alla presenza di microinquinanti organici in fanghi di origine urbana. Tali composti, di indiscussa pericolosità sanitaria, vengono sovente riscontrati in concentrazione significativa soprattutto nei fanghi primari veicolati dalle grandi reti miste di drenaggio urbano. Provenienti da una molteplicità di fonti (combustioni parziali, emissioni da traffico veicolare, emissioni in atmosfera da lavorazioni industriali o artigianali), tali sostanze ricadono su suoli urbani in buona parte impermeabilizzati e da lì vengono dilavate e trasportate in fogna durante gli eventi di pioggia. Il contatto in fogna e in impianto con il detrito organico domestico (fango primario) ne procura l'adsorbimento e l'accumulo da parte del fango stesso. Tipico è il caso dei PAH (idrocarburi policiclici aromatici) che sovente vengono riscontrati in quantità significative anche nei sedimenti marini di zone soggette ad accumulo di detrito fangoso. Ciò avviene specialmente in corrispondenza delle bocche a mare degli sfioratori di piena delle reti miste. Lo sviluppo normativo di alcuni paesi europei conferma la dimensione del problema. Ad esempio la Danimarca dal 1995 ha posto limiti per DHEP, LAS, NPE, PAH. In alcuni lander tedeschi è vietato ogni tipo di spandimento, negli altri dal 1997 sono stati introdotti limiti per AOX, PCB e PCDD/F. In Gran Bretagna, dal 1999, è vietato il trattamento superficiale con fanghi di depurazione di terreni adibiti a pascolo. In Svezia esistono protocolli fra enti che includono raccomandazioni relative a NPE-PAH-PCB. In Svizzera infine è vietato ogni spandimento

## **IL PROBLEMA DEI LAS**

Gli Alchilbenzensolfonati o LAS derivano dalla presenza nelle acque reflue, e nelle componenti solide dei liquami, di tensioattivi anionici usati nei detergenti domestici. Possono essere presenti nelle acque in maniera anche disomogenea e presentare variazioni giornaliere di concentrazione. L'alterazione dell'assetto ionico che procurano sia alle acque trattate che ai fanghi di depurazione (composti prevalentemente da acqua) si traduce in aumento della tensione superficiale con effetti negativi sulle possibilità di aerazione e sulla biodegradabilità. Anche l'utilizzo massiccio nel trattamento delle acque urbane di polielettroliti e coadiuvanti della flocculazione, in particolare se introdotti a monte della sedimentazione primaria, induce all'aumento della presenza di queste sostanze nei fanghi. Inoltre la somministrazione di polielettroliti in eccesso, in sedimentazione secondaria e a valle della vasca di aerazione, per la rimozione chimica del fosforo, può ottenere indesiderati incrementi di tensione superficiale non solo sui fanghi ma anche nelle acque di scarico trattate.

### **LAS e fanghi di depurazione**

Sui suoli agricoli i LAS operano impaccando il terreno ed ostacolano significativamente la capacità ossidativa naturale riducendo in maniera significativa la profondità dello strato aerato utile alla coltivazione. Dal punto di vista della trattabilità risultano *degradabili in condizioni aerobiche, mentre mostrano caratteristiche di elevata*

*persistenza se permangono in condizioni anaerobiche.* I LAS, pertanto, non vengono degradati durante la fase settica di sedimentazione primaria che produce così un fango carico di tali sostanze per adsorbimento delle stese dalla fase solida. La degradazione comincia quando le condizioni aerobiche vengono indotte o ripristinate e cioè:

- nel trattamento aerobico delle acque - nel trattamento aerobico fanghi - durante lo stoccaggio in letti - durante il compostaggio - dopo l'applicazione al terreno.

Per quanto concerne le modalità di degradazione, sperimentazioni recenti indicano che fanghi, mantenuti in condizioni aerate sull'intera massa, presentano degradazioni del 90 % in 10 gg. In condizioni normali di esposizione all'atmosfera in basso spessore si sono ottenute degradazioni di circa 80% in 30 gg.

tempo	degradazione	% ossidazione
0 - 10	veloce	30 - 40
10 - 30	media	30 - 40
30 - 100	lenta	5 - 10
> 100	lentissima	persistenza sul suolo

**Tab. 1** – Modalità di degradazione dei LAS.

I LAS residui vengono incorporati nelle particelle del suolo o legati alla frazione organica del suolo, diventando praticamente indisponibili alla biodegradazione. Indagini recenti su terreni oggetto di spandimento ne rivelano persistenza anche ad un anno dall'applicazione. Da quanto sopra appare fondamentale operare mediante compostaggio aerato del fango di depurazione prima dello smaltimento sul terreno agricolo utilizzando biomasse vegetali o cippati legnosi utili a mantenere anche dopo lo spandimento un buon grado di porosità e una buona aerazione naturale.

### **LAS e qualità delle acque marine costiere**

Il rilascio, in estate, in acque marine costiere di reflui d'impianto caratterizzati da alta tensione superficiale produce negativi anche sulla qualità delle acque di balneazione. La persistenza in superficie in prossimità della costa di tali sostanze in masse idriche provenienti da terra e dunque più calde e a bassa salinità favorisce l'aggregazione e la flottazione superficiale del detrito prodotto per mortalità fisiologica del fitoplancton marino. Ne risultano formazioni, in superficie, di aggregati gelatinosi che possono dare origine a schiume persistenti se inter-vengono azioni di aerazione meccanica indotte dalle attività natatorie dei bagnanti o più significativamente dalle eliche dei motori marini fuoribordo.

### **DISCARICA, VALORIZZAZIONE ENERGETICA**

Il recapito in discarica rappresenta da sempre una delle forme più diffuse e praticate di smaltimento, tuttavia persistono e sono difficilmente superabili le difficoltà riscontrate a gestire in discarica fanghi spesso ancora fortemente putrescibili o ad alto tenore d'acqua. Inoltre il D.M. 3 agosto 2005 che recita: "I rifiuti possono essere collocati in discarica solo dopo trattamento" non prevede lo smaltimento in discarica sulla base di una tipologia espressamente prevista "fanghi da depurazione" ed impone per i fanghi i limiti previsti per qualunque sostanza da conferirsi in discarica.



TOC max sul tal quale	DOC max sull'eluato	SS
%	mg/l	%
5	80	> 25
Non rispettato in fanghi ordinari	Non rispettato in fanghi ordinari	Rende necessaria la disidratazione

**Tab. 2** – Limiti alle sostanze da conferirsi in discarica ex D.M. 3.8.2005.

Allo stato attuale, peraltro, anche i volumi di materiale solido richiesti per il ricoprimento dei singoli strati di rifiuto durante la coltivazione della discarica risultano ampiamente soddisfatti dai grandi quantitativi di compost di bassa qualità proveniente dagli impianti di pretrattamento rifiuti. Sulla base di tutto quanto sopra evidenziato i costi medi per lo smaltimento in discarica di fanghi disidratati sono soggetti a continui incrementi e sono ormai prossimi a 100 Euro / ton. L'entità di tali costi e le difficoltà sopra discusse, connesse allo smaltimento in agricoltura prevedibilmente destinate a crescere anche in un futuro prossimo, inducono crescente interesse verso i trattamenti di tipo termico in particolare verso le ben note e collaudate tecniche di incenerimento fanghi. Una elencazione semplificata di tali processi può comprendere:

#### **Essiccamento**

a fini di smaltimento in discarica, in agricoltura, con produzione di laterizi, asfalti, argille espanse

#### **Essiccamento parziale**

fino al raggiungimento di umidità adatte ad operare con fasi successive di combustione autarchica.

#### **Combustione in forni rotanti, a letto fluido, a piani multipli**

In funzione del contenuto d'acqua, degli inquinanti, del potere calorifico, del grado di corrosività.

#### **Cocombustione in impianti di termovalorizzazione rifiuti**

Presenta il vantaggio di poter utilizzare impianti esistenti di incenerimento RU magari adeguati nei sistemi di trattamento emissioni. Inoltre il recupero di calore può essere convenientemente destinato, con effetti energeticamente vantaggiosi, al preessiccamento del fango. Esperienze condotte presso il termovalorizzatore di Cremona recentemente presentate a Brescia alla 35ma Giornata Ingegneria Sanitaria (2007) indicano che non è necessario procedere a disidratazioni che portino i fanghi al di sopra del 16-20% di secco e che l'impianto può accettare senza scompenso una quantità in peso di fango fino al 35% del peso del rifiuto solido incenerito. A conclusioni simili si era giunti anche attraverso ricerche condotte presso il termovalorizzatore di Piacenza (Pilò 2005) ove la gestione del tenore di umidità del fango mantiene il potere calorifico all'interno dei range di progetto previsti.

#### **Co digestione con altri substrati organici (es. FORSU)**

Presenta il vantaggio di un aumento in resa in Biogas e produce un digestato compostabile, previa disidratazione, utilizzabile come ammendante di qualità con riduzione dei costi di smaltimento.

## COSTI DI SMALTIMENTO

Tipologia	Euro/ton	prospettive
Conferimento in agricoltura t.q.	30-40	Difficoltà
Attività compostaggio	60-70	
Smaltimento in discarica	85-90	Aumento costi
Disidratazione meccanica	10-12	Necessaria
Incenerimento in impianto senza recupero	70-80	Aumento costi combustibile
Trasporto	10-12	Aumento costi

**Tab. 3** – Costi relativi alle attività necessarie allo smaltimento dei fanghi di depurazione al 2007

### MINIMIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE DI FANGHI NELLA DEPURAZIONE URBANA

I costi di smaltimento fanghi sopra menzionati rendono convenienti anche interventi di tipo gestionale o di adeguamento volumetrico sugli impianti esistenti. Essi possono riguardare la linea acque o la linea fanghi.

#### INTERVENTI SULLA LINEA ACQUE:

##### Controllo e minimizzazione del dosaggio dei reattivi chimici flocculanti

◆ in sedimentazione primaria    ◆ in sedimentazione secondaria    ◆ per rimozione del fosforo

tali sostanze in verità frequentemente introdotte in eccesso e talvolta con finalità non conformi ai processi previsti, possono produrre incrementi di fango chimico dal 20 al 120% (Bertanza 2007)

##### Controllo convenzionale delle fasi ossidative

Attraverso un controllo adeguato del livello ossidativo ed il conseguente condizionamento del bilancio carbonioso possono essere mantenuti livelli autossidativi e di respirazione per le bio-masse tali da accrescere significativamente le uscite da sistema in CO<sub>2</sub>. Ciò può realizzarsi attraverso il mantenimento di età del fango medio alte, mediante la produzione di adeguate concentrazioni di ossigeno in vasca necessarie peraltro ad una completa nitrificazione, ed operando adeguati smorzamenti delle punte di carico organico in ingresso. Va detto che, per una parte significativa degli impianti esistenti, il raggiungimento delle condizioni di funzionamento di cui sopra può implicare importanti adeguamenti d'impianto. (aumento dei volumi e delle potenze di ossigenazione). Il quantitativo di fango prodotto in un impianto di trattamento acque a fanghi attivi per acque urbane completo di denitrificazione può essere rappresentato (Metcalf & Eddy 2006) dalla:

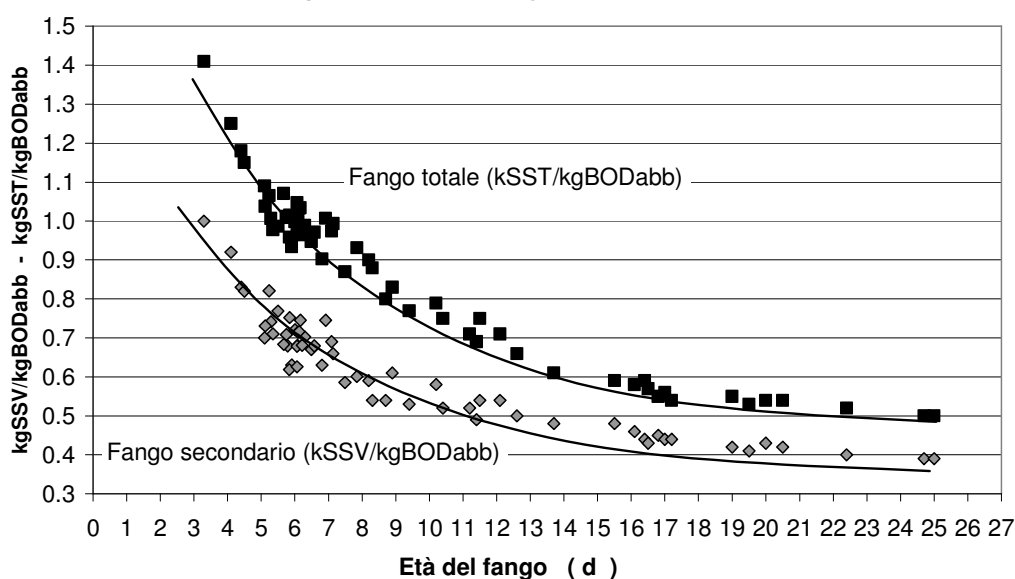
$$P_{x,SSV} = \frac{Q \cdot Y(S_0 - S)}{1 + k_d SRT} + \frac{f_d k_d Q \cdot Y(S_0 - S) \cdot SRT}{1 + k_d SRT} + \frac{Q \cdot Y_n (N - NO_x)}{1 + k_{dn} SRT} + Q \cdot SSV_{nb}$$

con  $P_{x,SSV}$  = Produzione netta di fango ( $gSSV \cdot d^{-1}$ );  $Q$  = Portata ( $m^3 \cdot d^{-1}$ );  $Y$ =Coeff. resa

cellulare eterotrofi ( $\text{gSSV} \cdot \text{gBOD}_{\text{rim}}^{-1}$ );  $S$  = Concentrazione BOD effluente ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $S_0$  = Concentrazione BOD influente ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $k_d$  = Coeff. mortalità biomassa eterotrofa ( $\text{d}^{-1}$ );  $\text{SRT}$  = Età del fango ( $\text{d}$ );  $f_d$  = Coeff. detrito resi-duo ( );  $Y_n$  = Coeff. resa cellulare autotrofi nitrificanti ( $\text{gSSV} \cdot \text{gN} - \text{NH}_4\text{rim}^{-1}$ );  $k_{\text{dn}}$  = Coeff. mortalità bio-massa autotrofa nitrificante ( $\text{d}^{-1}$ );  $\text{N} - \text{NO}_x$  = Concentrazione di azoto ammoniacale nitrificata ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $\text{SSV}_{\text{nb}}$  = Concentrazione di solidi non biodegradabili all'influente ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

A secondo membro, il primo termine rappresenta il fango secondario prodotto dalle popolazioni eterotrofe ossidanti, il secondo termine esprime la corrispondente quantità di residuo cellulare dovuto a mortalità (respirazione), il terzo quantifica il fango da sintesi di biomassa nitrificante ed il quarto la quota entrante di secco non biologicamente degradabile che sedimenta col fango. Il gra-fico In Fig.1 rappresenta i quantitativi di fango prodotti nella depurazione classica a fanghi attivi in funzione dell'età del fango in impianto ( $\text{SRT}$ ). Gli andamenti teorici, calcolati secondo la formula-zione precedente, sono confrontati con i dati sperimentali di funzionamento relativi ad una serie di impianti emiliano romagnoli di potenzialità medio grande (100.000-200.000-300.000-500.000 AE)-

### PRODUZIONE SPECIFICA DI FANGHI impianti ordinari a fanghi attivi > 100.000 AE



**Fig. 1** - Produzione totale e produzione di fango secondario in funzione dell'età del fango ( $\text{SRT}$ ). Dati Hera 2004-2006.

E' possibile osservare che le condizioni operative prevalenti presentano età del fango variabili fra 5 e 8 giorni cui corrispondono carichi del fango medio alti in vasca di aerazione. Già apprezzabili riduzioni nei quantitativi di fango biologico prodotto sono ottenibili procedendo verso il limite superiore di tale intervallo, altri ampi margini di riduzione sono convenientemente prevedibili spostando le condizioni operative ad età del fango fino a 15 gg. A parità di substrato abbattuto ciò si ottiene attraverso incrementi dei volumi di aerazione.

### Controllo e condizionamento delle biomasse.

Da alcuni anni, allo scopo di ridurre i quantitativi di fango prodotti nella depurazione

biologica, vengono proposti processi distruttivi delle cellule batteriche costitutive del fango. Si tratta principalmente di processi ossidativi basati su ossidanti energici di vario tipo, di tecniche capaci di operare la distruzione meccanica delle pareti cellulari o anche di processi enzimatici orientati a favorire il catabolismo cellulare. Questi sistemi sono attualmente oggetto di grande interesse da parte dei gestori d'impianto perché promettono incrementi ossidativi e dunque risparmi di gestione senza intervenire sulle volumetrie esistenti. Ora, se da un lato possono essere ipotizzabili ottimizzazioni dei rendimenti ossidativi, anche attraverso l'aggiunta di processi ossidativi molto meno economici della classica vasca di ossidazione, specialmente se si parte stati di fatto poco virtuosi, dall'altro occorre tenere ben presente che la depurazione biologica è fondata sulla rimozione dai liquami delle masse organiche disciolte attraverso la trasformazione delle stesse in fango sedimentabile ed ogni processo distruttivo della cellula tale da restituire all'acqua masse in forma di-sciolta non può che essere limitato a frazioni molto esigue dei carichi trattati pena il crollo dei rendimenti d'impianto.

### **Ossidazione chimica dei fanghi di ricircolo**

#### **Trattamento con ozono**

Vantaggi: mineralizzazione di parte del fango, solubilizzazione (lisi cellulare) di una parte in composti degradabili in vasca di ossidazione. Svantaggi: rischio di produzione di composti carboniosi refrattari all'ossidazione ordinaria. Elevati costi per energia elettrica e per ossigeno da cui produrre Ozono. Alcune sperimentazioni effettuate su impianti del Nord Italia indicano positivi effetti di riduzione delle biomasse filamentose con riduzione del 27-30% del fango prodotto (da 0.331 KgSS/Kg COD abb a 0.243 Kg SS/Kg COD abb). A ciò corrispondono innalzamenti dei tenori di fosforo ed azoto ammoniacale in uscita rispettivamente da 1 a 2.5 mg/l e da 1 a 3.5 mg/l con diminuzione della velocità nitrificazione da 2.1 a 1 mgN-NH<sub>4</sub>/g SS/h. Esperienze presentate da costruttori effettuate su impianti inglesi confermerebbero la riduzione delle biomasse filamentose con riduzione fango prodotto del 30% al 90% ma con P in uscita molto alto pari a 8-10 mg/l e ammoniaca quasi assente (N-NH<sub>4</sub> 0.6-0.7 mg/l) ma omettono di riportare la concentrazione corrispondente di nitrati. Tali caratteristiche in uscita (peraltro ottenibili a costi notevolmente inferiori in impianti ad aerazione prolungata) sembrano però indicare una vera e propria trasformazione del processo depurativo. Si passa cioè da impianto biologico con aerazione meccanica ad impianto sostanzialmente chimico basato su ossidazione spinta ad ozono.

### **Idrolisi termo chimica dei fanghi di ricircolo**

E' un trattamento che utilizza idrossido di sodio. Vantaggi: mineralizzazione di parte del fango, lisi cellulare. Svantaggi: sviluppo di fenomeni corrosivi diffusi a meno di non impiegare materiali particolari

### **Ultrasonificazione del fango di ricircolo**

Gli ultrasuoni consentono la disgregazione meccanica dall'esterno del fiocco di fango e favoriscono la lisi cellulare. Essi provocano la cavitazione e la riduzione locale della pressione a valori inferiori a quelli di evaporazione con formazione di bolle di vapore che pulsano in risonanza con l'oscillazione degli ultrasuoni. Quando le bolle raggiungono una dimensione critica, determinata dal raggio di risonanza, implodono generando localmente altissime temperature e pressioni, che possono arrivare fino a 500 bar. Si generano così sforzi meccanici di taglio capaci di operare la lisi per rottura delle pareti cellulari ( $f > 20$  KHz). Svantaggi: alte energie richieste 8-10 Kwh/mc  $\Rightarrow$  3-4 Euro / mc. Applicati al supero migliorano la digestione anaerobica. Le forze

meccaniche agenti sui fiocchi ne riducono le dimensioni trasformando il COD particellato in COD solubile e più velocemente degradabile. Viene così ottimizzata la digestione anaerobica con incremento della quota di metano prodotta rispetto al contenuto secco dei fanghi stabilizzati da smaltire.

#### **Immissione di “metabolic uncoupler”**

Paranitrofenolo, triclorofenolo, aminofenolo sono sostanze che operano sul metabolismo cellulare inducendo la trasformazione dell'energia ricavata dall'ossidazione della sostanza organica in calore anziché in ATP utilizzabile per la sintesi di nuova biomassa.

#### **Immissione di miscele enzimatiche batteriche**

Velocizzano l'idrolisi dei solidi sospesi ed incrementano i processi demolizione ossidativa enzimatica (rilascio di CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>O a scapito delle reazioni di crescita protoplasmatica). I produttori indicano come raggiungibili riduzioni del 30% del fango prodotto in impianti ordinari a f.a. Il condizionamento esercitato da queste miscele migliora la sedimentabilità del fango e può portare ad incrementi anche del 50% biogas prodotto.

#### **Digestione anaerobica/anossica dei fanghi di ricircolo**

Trattamento ottenuto con inserimento di un reattore ana/anossico nella corrente di ricircolo. L'alternanza di fasi anossiche ed anaerobiche rende prevalente l'attività catabolica rispetto a quella di sintesi, infatti i microrganismi, depauperati di riserve energetiche, devono ricostruirle a spese di una parte del substrato prima di poter procedere anabolicamente.

#### **INTERVENTI SULLA LINEA FANGHI:**

##### **Ispessimento dinamico**

Rappresenta l'evoluzione tecnologica (centrifugazioni, staccature cilindriche) dell'ispessimento convenzionale

##### **Disidratazione mediante centrifughe ad alta concentrazione**

Operando in continuo, arrivano a tenori di secco prossimi a quelli delle filtropresse (fino al 30% di secco)

##### **Essiccamento termico ottimizzato con ricircolo dei gas esausti**

Il ricircolo dei gas viene effettuato sia a fini di recupero energetico che per mitigazione dell'impatto odoroso.

##### **Ossidazione a umido**

Opera con processo continuo in fase liquida a 230-250°C a 60 bar con HRT = 20-100 min. Ottiene gas di combustione a basso impatto scaricabili senza trattamento in atmosfera, una fase liquida carica di composti organici facilmente ossidabili da inviare alla linea acque e residui inerti smaltibili in discarica.

## RIFERIMENTI

- Ariati L., Borlone G. (2007). Caratteristiche qualitative dei fanghi di depurazione. *XXXV Gior-nata di Studio di Ingegneria Sanitaria Ambientale su: La gestione dei fanghi di depurazione: aspetti tecnici, economici e di pianificazione*.-BRESCIA 30 nov.2007
- Barone F. (2007). Efficienza ed applicabilità di tecniche di riduzione e condizionamento fanghi di depurazione urbana. *Tesi di laurea* -Fac.Ingegneria-Bologna.
- Bertanza G. (2007). La minimizzazione della produzione di fanghi:interventi sulla linea acque.  
*XXXV Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria Ambientale su: La gestione dei fanghi di depurazione: aspetti tecnici, economici e di pianificazione*.-BRESCIA 30 nov.2007
- Bragadin G.L., Mancini M.L. (2007). Carico organico, portata, concentrazione in: *Depurazione e Smaltimento degli Scarichi Urbani*. Pitagora Editrice Bologna pp.47-61 ISBN 88-371-1704-3
- Bragadin G.L., Mancini M.L. (2004). Wastewater characteristics and biomass efficiency in oxidization-nitrification tank. Experimentation in activated sludge treatment plant applied to municipal wastewater in Bologna. *International Symposium on Sanitary & Environmental Engineering-SIDISA-TAORMINA* 23-26 Jun 2004 proceed pp.124/1-8
- Bragadin G.L., Mancini M.L.,Turchetto A.(2003). A new settlement for sea-water quality and transport in coastal area facing Cesenatico.-*Sixth International Conference on the Mediter-ranean Coastal Environment-MEDCOAST* 03-RAVENNA 6-11 oct 2003, proceed.Vol.II pp. 1201-1210
- Bragadin G.L., Mancini M.L.(1998). I processi nelle acque confinate e di transizione: un progetto per Rimini.-*Atti del Convegno: Contributi operativi alla salvaguardia delle acque di balneazione*.1988-1998-RICCIONE 4 apr 98-pp.29-32
- Chinellato M. S. (2006).Microinquinanti organici ed inorganici e smaltimento fanghi di depu-razione. Il caso di Fusina e Campalto. *Tesi di laurea* - Fac.Ingegneria-Bologna.
- Mancini M.L.(2002). Water quality in unsteady estuarine tidal flow: Nitrogen modeling and field experiences into the intake channel of Cervia Saline in Adriatic Sea. *Symposio Italo-Brasileiro De Engenharia Sanitaria e Ambiental-VI SIBESA -VITORIA-* ES 1-5 sept 2002, pp.174/1-6
- Mancini M.L.(2002).Discharge, in coastal seawater, of treated wastewater from Riccione WWTP by estauarine transition flow-*International Symposium on Sanitary and Environmental Engine-ering-SIDISA-TAORMINA* 23-26 Jun 2004 proceed pp.69/1-8
- Mancini M.(2001). Recapito di acque reflue e sensibilità trofica dell'Adriatico. XVII Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria Ambientale su: Scarico di acque reflue in aree sensibili.-BOLOGNA 12 ott.2001 pp.25-42
- Metkalf & Eddy (2006).Ingegneria delle acque reflue, trattamento e riuso. *Quarta Edizione-Mc Graw Ill*.
- Pilò F. (2005). Smaltimento di fanghi di depurazione nell'impianto di termoutilizzazione per RSU di Piacenza. *Tesi di laurea* - Fac.Ingegneria-Bologna.