

Relazione quadro sui trattamenti del ciclo fanghi

Giuseppe Mininni

Cnr – Istituto di Ricerca Sulle Acque

mininni@irsa.cnr.it

**La gestione dei sistemi fognari e depurativi:
sostenibilità ambientale, aspetti giuridici ed economici**
*venerdì 6 novembre 2009 - Centro Convegni IRIDE
Genova, Via Serra 3r*

Articolazione della presentazione

- ⇒ Produzione e caratteristiche dei fanghi urbani
- ⇒ Informazioni generali sul trattamento dei fanghi
- ⇒ Forme di smaltimento nei paesi europei
- ⇒ La normativa tecnica in Italia su recupero e smaltimento
- ⇒ Utilizzazione agricola
- ⇒ Smaltimento in discarica
- ⇒ Minimizzazione della produzione dei fanghi

Produzione e caratteristiche dei fanghi urbani

- ⇒ Il volume dei fanghi estratti dai sedimentatori primari e secondari è pari a circa il 2% del volume dello scarico trattato.
- ⇒ A dispetto di tale volume trascurabile, il trattamento e lo smaltimento dei fanghi comportano costi di gestione, che possono essere stimati pari al 50% del costo totale del trattamento, cioè 25-35 €/(ab. × anno).
- ⇒ Produzione complessiva di fanghi trattati: 45-65 g di secco/(ab. × giorno);
- ⇒ Concentrazione di solidi volatili di fanghi trattati: 50-70 % di SS;
- ⇒ Abbattimento di solidi volatili nella stabilizzazione biologica aerobica o anaerobica: 30-50 %;
- ⇒ Produzione di fanghi disidratati al 20% di secco: 80-120 kg/(ab. × anno);
- ⇒ Codice Cer dei fanghi urbani: 19 08 05

Situazione in Europa

	Discarica	Trattamenti termici	Compostaggio	Utilizzazione agricola	Utilizzazione non agricola	Altro
Unione Europea	18	23	7	45		7
Austria		35	50	15		
Belgio	55	15		29		1
Bulgaria	100			Pochi casi		
Danimarca	20	24		54		2
Fiandre		88			12	
Finlandia			73	3		
Francia	20	20		60		
Germania	3-6	20 (incenerimento on-site)+17 (altri trattamenti termici)		32	25 (recuperi ambientali)	
Grecia	90			10		
Italia	55	<1		33		11
Norvegia	7			65	12	16
Paesi Bassi		58 (incenerimento on-site + 27 (essiccamento termico)	15			
Repubblica Ceca	13	<1	50	17		20
Slovenia	30	47 (export all'incenerimento)	15	7		1
Spagna	35	5		50		10
U.K.	1.5	19.5		67	5.2	1.8
Ungheria	60	0.8		39		

Produzione fanghi pro-capite

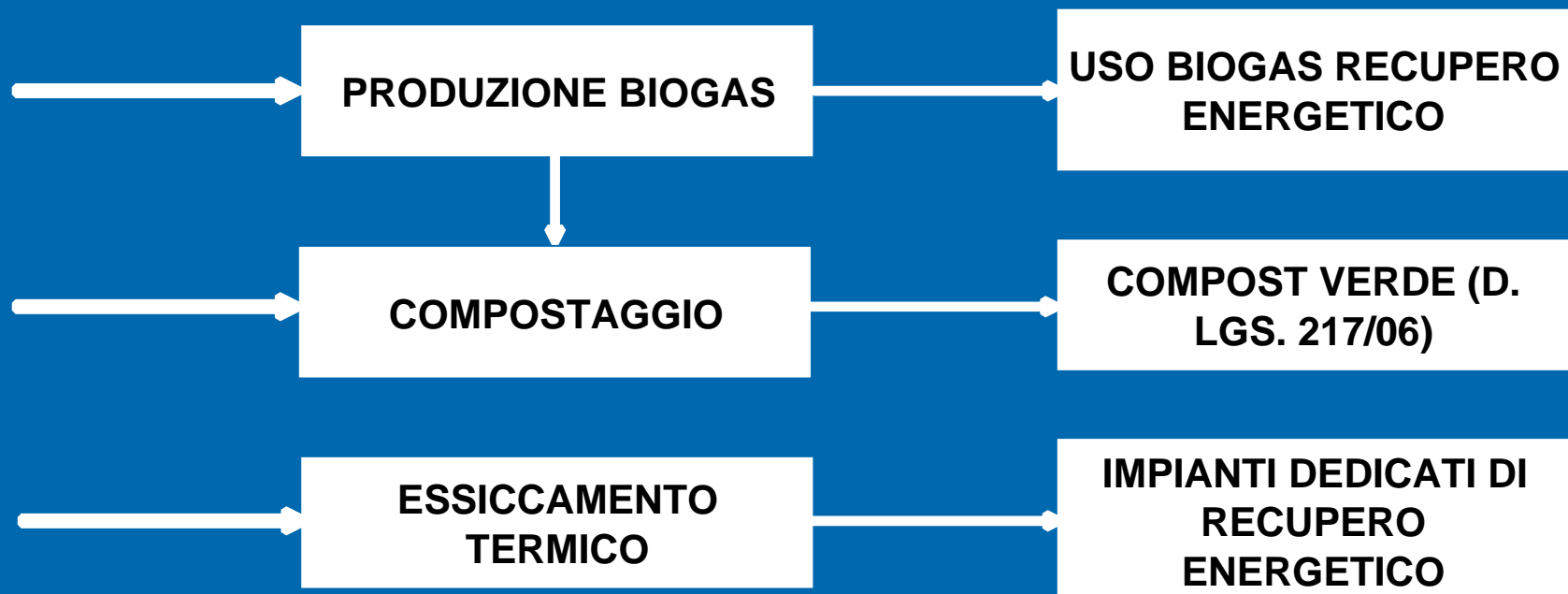
	Sludge production g/(person × d)
Austria	55
Brasile	33
Canada	76
Italia	38
Finlandia	94
Ungheria	48
Portogallo	60
Slovenia	20
Turchia	60
Valore medio	54

Alternative di utilizzo/smaltimento in Italia

- ⇒ **Recupero in procedura semplificata** (DM 5 febbraio 1998 e s.m.i.)
- ⇒ **Utilizzazione agricola** (D.Lgs. 99/92)
- ⇒ **Incenerimento** (D.Lgs. 133/05)
- ⇒ **Scarico controllato** (D.Lgs. 36/03 e DM 3 agosto 2005)

Smaltimento fanghi in procedura semplificata

PROCEDURE SEMPLIFICATE



Requisiti principali per l'utilizzazione agricola

- ⇒ I fanghi devono provenire dal trattamento di acque reflue domestiche e/o industriali, purché queste ultime siano assimilabili a quelle domestiche;
- ⇒ I fanghi devono essere stati preventivamente sottoposti ad un trattamento biologico, chimico, termico o altro opportuno procedimento che abbia consentito di ridurre la putrescibilità e gli inconvenienti sanitari;
- ⇒ Le concentrazioni di metalli nei fanghi e nei terreni non devono essere superiori a valori limiti;
- ⇒ Devono essere rispettati alcuni requisiti relativi alle caratteristiche agronomiche dei fanghi.

Valori massimi di concentrazione di metalli pesanti nei fanghi destinati all'utilizzazione

Metallo	Valore limite D. Lgs. 99/92 (mg/kg SS)	III draft della Commissione	
		(mg/kg SS)	(mg/kg P)
Cd	20	10	250
Cr	-	1.000	25.000
Cu	1.000	1.000	25.000
Hg	10	10	250
Ni	300	300	7.500
Pb	750	750	18.750
Zn	2.500	2.500	62.500

Valori massimi di concentrazione di metalli pesanti nei suoli destinati all'utilizzazione dei fanghi

Metallo	Valore limite D.Lgs 99/92 (mg/kg SS)	III draft della Commissione (mg/kg SS)		
		$5 \leq \text{pH} < 6$	$6 \leq \text{pH} < 7$	$\text{pH} \geq 7$
Cd	1,5	0,5	1	1,5
Cr		30	60	100
Cu	100	20	50	100
Hg	1	0,1	0,5	1
Ni	75	15	50	70
Pb	100	70	70	100
Zn	300	60	150	200

Caratteristiche agronomiche e microbiologiche nei fanghi ai fini dell'utilizzazione agricola

Parametro	Valore limite
Carbonio organico % SS (valore minimo)	20
Fosforo totale % SS (valore minimo)	0,4
Azoto totale % SS (valore minimo)	1,5
Salmonella MPN/g SS (valore massimo)	10 ³

Valori massimi di concentrazione di microinquinanti organici nei fanghi (III draft della Commissione)

Classe di composti	Limite conc. (mg/kg secco)
Somma dei composti organici alogenati (AOX)	500
Alchilbenzeni solfonati lineari (LAS)	2.600
Di(2-etilesil)ftalato (DEHP)	100
Nonilfenolo e nonilfenoloetossilato con 1 o 2 gruppi etossilici	50
Somma dei seguenti IPA: acenaftene, fenantrene, fluorene, fluorantene, pirene, benzo(b+j+k)fluorantene, benzo(a)pirene, benzo(ghi)terilene, indeno (1, 2, 3-c,d)pirene	6
Somma dei composti PCB con numeri 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180	0,8
PCDD/F	100 (ng/kg secco)

Requisiti principali per lo scarico controllato

- ⇒ I fanghi devono essere stati trattati;
- ⇒ Concentrazione di sostanza secca $> 25 \%$;
- ⇒ Concentrazione di PCB $\leq 10 \text{ mg/kg}$;
- ⇒ Concentrazione di diossine+furani (calcolata sulla tossicità equivalente) $\leq 2.000 \text{ ng/kg}$;
- ⇒ Concentrazione delle sostanze cancerogene riportate nella Tab. 1 della disciplina sulle bonifiche in concentrazione $< 1/10$ delle concentrazioni che renderebbero pericoloso il rifiuto e comunque con una concentrazione totale $< 1.000 \text{ ppm}$

Rifiuti contenenti idrocarburi, quale limite per la classificazione come rifiuti pericolosi e per l'accettabilità in discarica

- ⇒ Secondo quanto riportato nel parere espresso dall' Istituto Superiore di Sanità il 5 luglio 2006, prot. n. 0036565, il materiale contenente "Idrocarburi Totali" (THC) è da considerarsi pericoloso solo se la concentrazione degli stessi è maggiore di 1.000 mg/kg SS e contiene almeno uno degli Idrocarburi Policiclici Aromatici, classificati dalla UE "Carc. Cat. 1" oppure "Carc. Cat. 2" in base all'Allegato 1 direttiva 67/548/CEE aggiornato al 29° ATP recepito con DM 28/02/2006, in concentrazione superiore a quella indicata in Tabella. **Detta concentrazione andrà riferita al peso secco dell'intero campione di rifiuto.**
- ⇒ In attesa di specifiche metodiche di riferimento, gli Idrocarburi Totali (THC) sono indicativamente da considerare come sommatoria di Idrocarburi leggeri ($C \leq 12$) e di Idrocarburi pesanti ($C > 12$).

Limiti di concentrazione per gli IPA cancerogeni di categoria 2

Numero d'indice	Numero CAS	Nome sostanza	Valore limite (mg/kg)	Sinonimo
601-032-00-3	50-32-8	Benzo(a)pirene	100	Benzo(def)crisene
601-041-00-2	50-70-3	Dibenzo(ah)antracene	100	
601-034-00-4	205-99-2	Benzo(e)acefenantrilene	1000	Benzo(e)fluorantene
601-049-00-6	192-97-2	Benzo(e)pirene	1000	
601-035-00-X	205-82-3	Benzo(j)fluorantene	1000	
601-036-00-5	207-08-9	Benzo(k)fluorantene	1000	
601-033-00-9	56-55-3	Benzo(a)antracene	1000	
601-048-00-0	218-01-9	Crisene	1000	Benzo(a)fenantrene

Tali concentrazioni limite sono fissate in base all'art. 2, della decisione del Consiglio UE 2000/532/CE e s.m.i. e alla direttiva 67/548/CEE e s.m.i.

Limiti di concentrazione per gli idrocarburi cancerogeni di categoria 1 e mutageni di categoria 2

⇒ Benzene: 1.000 mg/kg di SS

⇒ 1,3 Butadiene: 1.000 mg/kg di SS (new entry!)

Ammissibilità dei rifiuti in discarica (test dell'eluato)

Inquinante	Concentrazione limite (mg/L)			Limiti (mg/L) allo scarico in acque superficiali (D.Lgs. 152/06 Tab. 3 Allegato 5 alla parte III)
	Discariche per rifiuti inerti	Discariche per rifiuti non pericolosi	Discariche per rifiuti pericolosi	
Arsenico	0,05	0,2	2,5	0,5
Bario	2	10	30	20
Cadmio	0,004	0,02	0,2 (0,5)*	0,02
Cromo	0,05	1	7	2
Rame	0,2	5	10	0,1
Mercurio	0,001	0,005	0,05 (0,2)*	0,005
Molibdeno	0,05	1	3	-
Nickel	0,04	1	4	2
Piombo	0,05	1	5	0,2
Antimonio	0,006	0,07	0,5	-
Selenio	0,01	0,05	0,7	0,03
Zinco	0,4	5	20	0,5
Cloruri	80	1.500	2.500	1.200
Fluoruri	1	15	50	6
Cianuri		0,5	5	-

Inquinante	Concentrazione limite (mg/L)			Limiti (mg/L) allo scarico in acque superficiali (D.Lgs. 152/06 Tab. 3 Allegato 5 alla parte III)
	Discariche per rifiuti inerti	Discariche per rifiuti non pericolosi	Discariche per rifiuti pericolosi	
Solventi organici aromatici**		0,4	4	0,2
Solventi organici azotati**		0,2	2	0,1
Solventi organici clorurati**		2	20	1
Pesticidi totali non fosforati**		0,05	0,5	0,05
Pesticidi totali fosforati**		0,1	1	0,1
Solfati	100	2.000	5.000	1.000
Indice fenolo	0,1			-
Carbonio organico disciolto***	50	80	100	-
Solidi disciolti (in alternativa a solfati e cloruri)****	400	6.000	10.000	-

* tra parentesi i corrispondenti limiti della Decisione del Consiglio del 19 dicembre 2002 (quando non riportati i limiti sono coincidenti o non previsti)

** parametri non previsti nella Decisione del Consiglio del 19 dicembre 2002. Le analisi di tali parametri possono essere disposte dall'autorità territorialmente competente qualora la provenienza del rifiuto possa determinare il fondato sospetto di un eventuale superamento dei limiti.

*** Nel caso in cui i rifiuti non rispettino i valori riportati per il DOC al proprio valore di pH, possono essere sottoposti ai test con una proporzione L/S = 10 L/kg e con un pH compreso tra 7,5 e 8,0. I rifiuti possono essere considerati conformi ai criteri di ammissibilità per il carbonio organico disciolto se il risultato della prova non supera 100 mg/L. (E disponibile un metodo in corso di sperimentazione basato sulla norma prEN 14429).

**** È possibile servirsi dei valori per il TDS (Solidi disciolti totali) in alternativa ai valori per il solfato e per il cloruro.

**La gestione dei sistemi fognari e depurativi:
sostenibilità ambientale, aspetti giuridici ed economici**

venerdì 6 novembre 2009 - Centro Convegni IRIDE
Genova, Via Serra 3r

Aspetti peculiari di recepimento della direttiva 99/31 e della decisione del 19/12/2002 ai fini dello smaltimento dei fanghi urbani di depurazione

⇒ L'art. 6 esclude dallo smaltimento in discarica le seguenti tipologie di rifiuti, che non erano state previste nella Direttiva:

- ✧ rifiuti che contengono o sono contaminati da diossine e furani in quantità superiore a 10 µg/kg (2 µg/kg per le discariche di rifiuti non pericolosi);
- ✧ rifiuti con PCI (Potere calorifico inferiore) > 13.000 kJ/kg. Per questi ultimi vale la deroga al 31/12/2009 fissata con la L. 27 febbraio 2009, n. 13 (art. 6).

⇒ Obbligo del rispetto degli standard del test dell'eluato per tutti i rifiuti non pericolosi.

Gradi di libertà per regioni e province autonome

⇒ il D.M. 3 agosto 2005 prevede (art. 7) che le Autorità territorialmente competenti (essenzialmente le Regioni e le Province autonome) possano autorizzare specifiche sottocategorie di discariche per rifiuti non pericolosi, con deroga tra l'altro al parametro DOC adibite allo smaltimento di:

- a) rifiuti con basso contenuto di sostanza organica;
- b) rifiuti prevalentemente organici (discariche apprestate come bioreattori o discariche per rifiuti organici pretrattati);
- c) rifiuti misti, con presenza sia di rifiuti solidi urbani sia di rifiuti inorganici.

Il problema del trattamento dei fanghi

- ⇒ Generalmente gli impianti di depurazione appaiono inadeguati soprattutto nella linea fanghi;
 - ✧ Gli impianti sono stati progettati secondo schemi convenzionali senza riguardo al destino dei fanghi;
 - ✧ Molti digestori operano senza riscaldamento e senza agitazione ed il biogas prodotto non è valorizzato energeticamente;
- ⇒ L'uso agricolo non è considerato con favore dalle associazioni degli agricoltori e dei portatori d'interesse;
 - ✧ Può essere consentito l'uso agricolo solo per i fanghi prodotti dalla depurazione di un refluo civile o ad esso assimilabile;
 - ✧ In alcuni casi anche le norme regionali hanno determinato una progressiva restrizione all'uso dei fanghi in agricoltura;
 - ✧ È stato verificato che il test di fitotossicità è positivo per molti fanghi non ben stabilizzati;
- ⇒ Lo smaltimento in discarica è interdetto dal 30 giugno 2009 (si è in attesa dell'emanazione di un nuovo DM di revisione del DM 3 agosto 2005);
- ⇒ Il costo dello smaltimento è perciò aumentato in modo considerevole negli ultimi anni. Una recente indagine di Federutility ha evidenziato che l'intervallo dei costi di smaltimento è il seguente: discarica 70-150 €/t, uso agricolo 60-130 €/t, compostaggio 95-125 €/t.

Prevenzione

- ⇒ L'obiettivo principale da perseguire oggi nella gestione dei fanghi di depurazione è la prevenzione, cioè ridurre al minimo la produzione.
- ⇒ Questo obiettivo è ben evidenziato nella gerarchia della gestione dei rifiuti nella recente Direttiva 2008/98.

Trattamenti biologici in linea acque

- ⇒ Lisi cellulare;
- ⇒ Metabolismo di disaccoppiamento;
- ⇒ Metabolismo di mantenimento.

Lisi cellulare

- ⇒ La lisi può portare ad una riduzione globale della produzione di fango;
- ⇒ La lisi del fango può essere favorita da trattamenti meccanici, termici e chimici, basati sull'aumento della concentrazione di ossigeno;
- ⇒ Il processo di biolisi, messo a punto da ONDEO Degremont, si basa su uno stress della biomassa, con ozono o con enzimi. Il meccanismo si basa sul danneggiamento della membrana cellulare che i batteri sono così costretti a ricostituire traendo l'energia a spese del substrato organico presente in fase disciolta con conseguente riduzione della produzione di biomassa.
- ⇒ L'azione chimica ed enzimatica si esercita più efficacemente sui batteri filamentosi consentendo perciò di risolvere anche i problemi di bulking.
- ⇒ Secondo Degremont i suddetti processi consentono di ridurre la produzione di fanghi secondari fino all'80%.

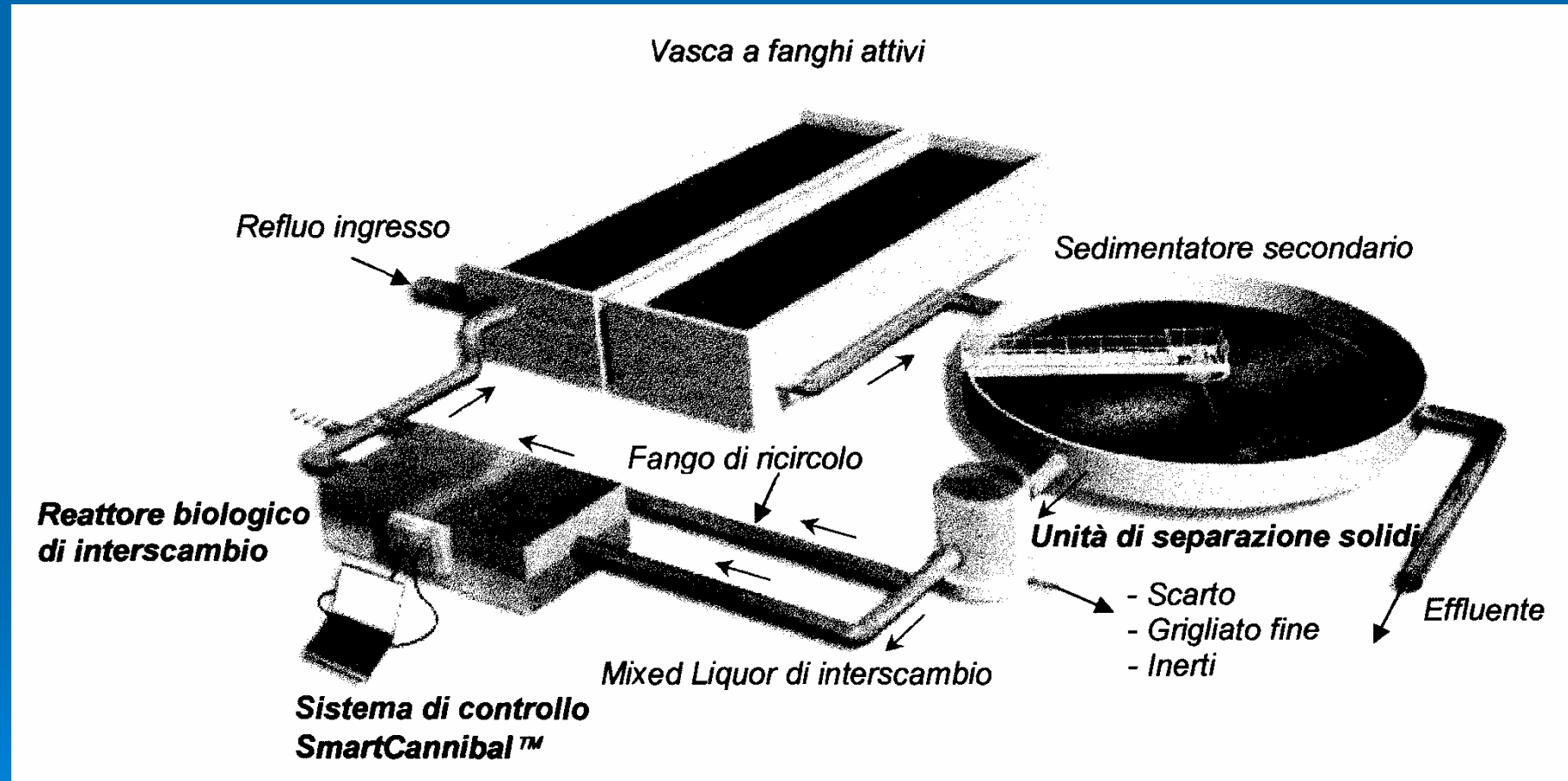
Metabolismo di disaccoppiamento (processi in fasi alternate)

- ⇒ Catabolismo: insieme di processi metabolici che presiedono l'abbattimento del substrato;
- ⇒ Anabolismo: uso dell'energia libera prodotta nell'ossidazione del substrato per la produzione di nuova biomassa;
- ⇒ Il disaccoppiamento tra consumo di substrato e crescita della biomassa può essere realizzato ricorrendo:
 - ✧ all'uso di composti chimici specifici;
 - ✧ alla conduzione dei processi biologici con elevati rapporti tra concentrazione di substrato e di biomassa;
 - ✧ inducendo nella biomassa uno stress metabolico mediante l'alternanza di fasi aerobiche e anossiche.

Riduzione produzione biomassa

Il coefficiente di crescita passa da 0,28 - 0,47 kg SS/kg COD rimosso (sistema convenzionale) a 0,13 - 0,29 kg SS/kg COD rimosso (sistema OSA).

Processo Cannibal



La gestione dei sistemi fognari e depurativi:
sostenibilità ambientale, aspetti giuridici ed economici
venerdì 6 novembre 2009 - Centro Convegni IRIDE
Genova, Via Serra 3r

Processo Cannibal

- ⇒ Il cuore del processo è un reattore biologico detto di “interscambio”, realizzato a lato della tradizionale vasca di ossidazione, che può operare parallelamente a qualsiasi impianto a fanghi attivi municipale o industriale.
- ⇒ Nel bacino di interscambio sono create e mantenute condizioni che comportano la conversione della popolazione batterica dominante da aerobica a facoltativa con conseguente rallentamento dell’attività dei batteri aerobici.
- ⇒ I batteri facoltativi, divenuti dominanti nella vasca d’interscambio, sono quindi ricircolati alla vasca d’ossidazione dove trovano condizioni sfavorevoli alla loro sopravvivenza. Grazie al continuo ricircolo tra le due vasche, si crea un regime d’equilibrio tra distruzione e sviluppo batterico con conseguente riduzione della produzione di fanghi.

Processo Cannibal

- ⇒ Secondo Siemens la riduzione annua della produzione di fango sarebbe superiore al 50% anche nelle applicazioni più sfavorevoli.
- ⇒ Il funzionamento del processo è stato verificato in numerosi impianti americani di differenti potenzialità. In alcuni casi per oltre tre anni non sono state operate estrazioni di fango di supero.

Incremento dell'età della biomassa

- ⇒ L'incremento nel reattore biologico dell'età della biomassa (SRT) e quindi la riduzione del carico organico sul fango può consentire di ridurre la produzione di fango nei processi aerobici;
- ⇒ Una riduzione della produzione di biomassa di circa il 12% è possibile aumentando la concentrazione in vasca di aerazione da 3 a 6 g/L, mentre con un incremento da 1,7 a 10,3 g/L la riduzione di produzione raggiunge il 44%;
- ⇒ Non è possibile però aumentare indefinitamente la concentrazione in vasca in quanto da questa dipendono le caratteristiche di sedimentabilità: quando la concentrazione aumenta oltre un certo limite i solidi sono perduti con l'effluente.
- ⇒ Questo problema può essere superato mediante l'adozione di bioreattori a membrana.

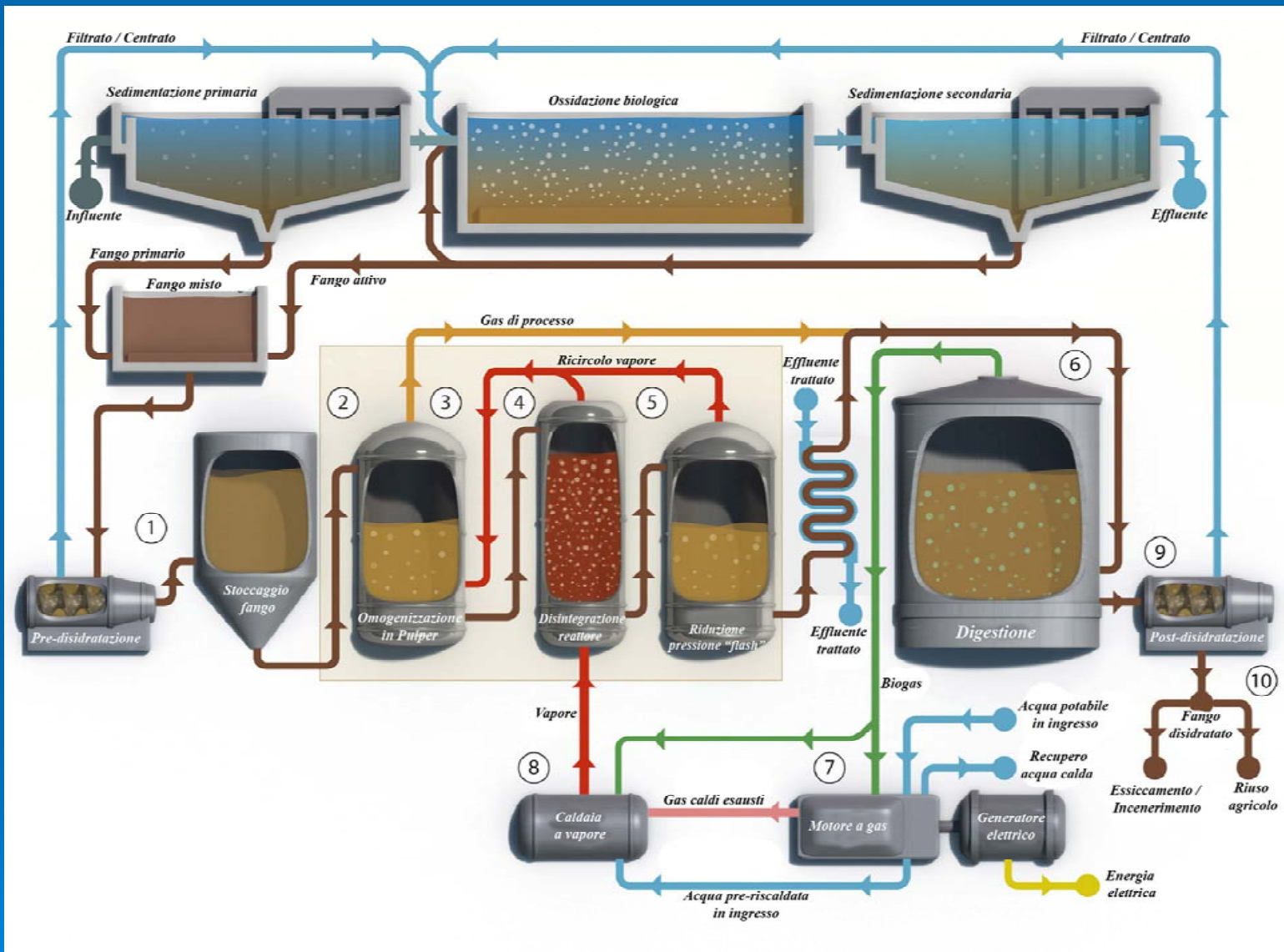
Trattamenti di disintegrazione del fango: pre-trattamenti termici

- ⇒ La fase controllante nella digestione anaerobica è l'idrolisi del substrato.
- ⇒ Questa fase può essere accelerata mediante processi di disintegrazione che possono essere condotti per via meccanica, termica o chimica.
- ⇒ Il processo Cambi avviene a 170-190°C a 8 bar per 30-60 minuti.
- ⇒ Il processo termico consente di migliorare l'abbattimento di solidi volatili in digestione di almeno il 50%.
- ⇒ È possibile ottenere anche una sensibile riduzione della viscosità del fango che consente di operare nel digestore anche con concentrazioni di solidi del 10%.

Fasi del processo Cambi

- 1) Pre-disidratazione meccanica fino al 15-20% di secco;
- 2) Omogeneizzazione e preriscaldamento nel Pulper dove è alimentato il vapore prodotto nel reattore e nel serbatoio di flash (vds. successivi punti 2 e 3);
- 3) Dissoluzione nel reattore ad elevata pressione e temperatura per effetto di alimentazione diretta di vapore vivo;
- 4) Raffreddamento nel serbatoio di flash per riduzione della pressione a 4 bar da cui è recuperato vapore da utilizzare nel reattore;
- 5) Ulteriore raffreddamento a temperatura di 35-38°C in uno scambiatore prima dell'alimentazione al digestore anaerobico mesofilo convenzionale.

Processo Cambi



La gestione dei sistemi fognari e depurativi:
 sostenibilità ambientale, aspetti giuridici ed economici
 venerdì 6 novembre 2009 - Centro Convegni IRIDE
 Genova, Via Serra 3r

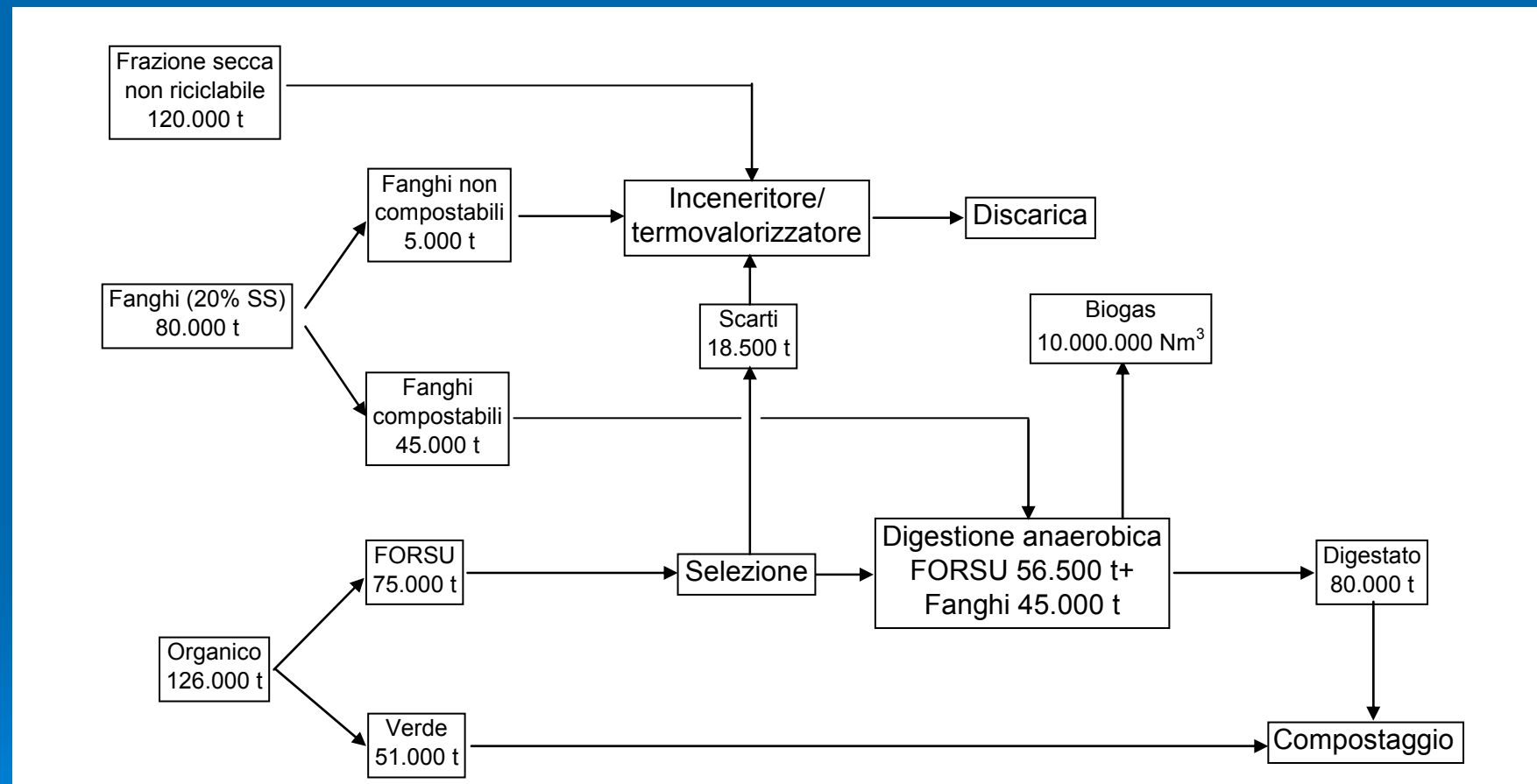
Trattamenti di sonicazione: risultati di prove di laboratorio

Test #	Durata test	Durata digestione	Carico org.	Energia	Gra do disi nt.	*	Abb SV	Prod. tot. biogas	Produzione specifica biogas	
									Nm ³ /kg SV abb	Nm ³ /kg SV alim
	d	d	g SV/(L×d)	kJ/kg ST	%		%	NL		
1	67	20	0,7	5.000	8	N	34	85	0,76	0,26
						S	37	116	0,97	0,36
2	34	10	1,4	5.000	8	N	36	64	0,56	0,21
						S	40	83	0,67	0,27
3	63	10	1,4	2.500	4	N	32	129	0,65	0,21
						S	39	163	0,67	0,26
4	76	10	3	1.200	2	N	35	362	0,72	0,25
						S	36	394	0,77	0,28

Trattamenti di sonicazione in impianti in piena scala

- ⇒ Il pretrattamento di sonicazione del fango è stato applicato anche in impianti in piena scala, soprattutto in Germania.
- ⇒ L'impianto di depurazione di Bamberg, avente una potenzialità di circa 330.000 a.e., è dotato di tre digestori mesofili.
 - ✧ Nell'agosto 2004 sono stati installati due sonicatori (2 x 5 kW) dove è trattata una portata di fanghi ispessiti al 5,8% pari al 30% di quella complessiva in ingresso ai digestori.
 - ✧ È stato possibile incrementare l'abbattimento dei solidi volatili dal 34% al 45% e la produzione di biogas del 16%.
- ⇒ L'applicazione della tecnica degli ultrasuoni sull'impianto di depurazione di Meldorf da 65.000 a.e. ha consentito di ridurre la concentrazione di SV dopo digestione dal 60 al 45% di ST.

Digestione combinata con la Forsu



Conclusioni

- ⇒ Sono numerosi gli esempi in letteratura di interventi mirati sulla linea acque per stressare la biomassa dal normale metabolismo in modo che il processo catabolico (consumo di substrato) prevalga su quello anabolico (produzione di nuova biomassa).
- ⇒ I processi brevettati hanno l'obiettivo di produrre un danneggiamento della membrana cellulare tale che i microrganismi siano costretti a consumare energia e substrato per la ricostituzione della membrana stessa, rallentando così la crescita. Questi processi si basano su trattamenti chimici, termici o enzimatici o su alternanza di fasi aerobica e anaerobica. I primi risultati appaiono interessanti anche se l'applicazione su scala nazionale è scarsa.

- ⇒ Altri approcci consistono nell'incremento molto sensibile dell'età della biomassa in vasca con conseguente incremento della concentrazione. I reattori a membrana consentono di trattenere la biomassa nel reattore realizzando teoricamente anche età del fango infinita. Naturalmente questo approccio si paga con un maggiore consumo di energia.
- ⇒ Infine meritano attenzione gli interventi in linea fanghi volti al miglioramento delle prestazioni della digestione anaerobica (maggiore produzione di biogas) e delle caratteristiche di stabilità dei fanghi. Tali obiettivi possono essere conseguiti, anche in questo caso, mediante un'azione di distruzione della membrana cellulare per accelerare il processo di idrolisi che è appunto quello limitante in digestione. Sono stati applicati al riguardo processi termici e processi meccanici, tra i quali si è senz'altro affermato il trattamento di disintegrazione con ultrasuoni.