

**Tavolo Tecnico Interagenziale**  
**“Gestione Sostenibile delle Risorse Idriche”**

**RAPPORTO SULLE ATTIVITÀ DI RECUPERO DI MATERIA  
ED ENERGIA DAI FANGHI PRODOTTI DAGLI IMPIANTI DI  
TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE URBANE**

**(LINEA DI ATTIVITÀ 4)**

**Coordinamento attività:**

Paolo Parati – ARPA Veneto, Osservatorio Acque Interne

Marco Ostoich – ARPA Veneto, Osservatorio Acque Interne

Paolo Giandon – ARPA Veneto, Osservatorio Suoli e Rifiuti

Riccardo Infanti – ARPA Veneto, Osservatorio Acque Interne

**Partecipanti:**

ARTA Abruzzo, ARPA Basilicata, APPA Bolzano, ARPA Campania, ARPA Emilia Romagna, ARPA Friuli Venezia Giulia, ARPA Lazio, ARPA Liguria, ARPA Lombardia, ARPA Marche, ARPA Molise, ARPA Puglia, ARPA Sicilia, ARPA Toscana, ARPA Umbria, ARPA Veneto

**DICEMBRE 2006**

## ***Indice***

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2. IL QUADRO NORMATIVO</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 QUADRO NORMATIVO NAZIONALE</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.1 Normative sullo smaltimento dei rifiuti</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 QUADRO NORMATIVO REGIONALE</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.1 Quadro normativo in Veneto</b> .....	<b>11</b>
<b>3. LA PRODUZIONE, LO SMALTIMENTO ED IL DESTINO DEI FANGHI</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 IMPOSTAZIONE METODOLOGICA DELLA RACCOLTA DATI</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2 I RISULTATI DELLA RACCOLTA DATI SUL TERRITORIO NAZIONALE</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3 RISULTATI DELLA RACCOLTA DATI SUL TERRITORIO REGIONALE</b> .....	<b>18</b>
<b>4. CASI DI STUDIO</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1 IL MONITORAGGIO NELLO SMALTIMENTO IN AGRICOLTURA</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2 RECUPERO DI ENERGIA PER INCENERIMENTO DI FANGHI E RIFIUTI</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2.1 Tecnologie utilizzate nei processi di incenerimento</b> .....	<b>38</b>
4.2.1.1 Combustioni a griglia mobile .....	<b>38</b>
4.2.1.2 Combustori a letto fluido.....	<b>39</b>
4.2.1.3 Reattore a tamburo rotante.....	<b>40</b>
<b>4.2.2 Variabili che controllano il processo di incenerimento</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2.3 Casi di studio sull’incenerimento di fanghi e rifiuti</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3 TECNICHE DI COMPOSTAGGIO PER UTILIZZO DEI FANGHI DI DEPURAZIONE IN AGRICOLTURA</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3.1 Caso studio: descrizione del processo di compostaggio utilizzato in Umbria</b> .....	<b>43</b>
<b>4.4 PRODUZIONE DI BIOGAS PER RECUPERO ENERGETICO</b> .....	<b>45</b>
<b>4.4.1 I processi di digestione anaerobica sui fanghi di depurazione</b> .....	<b>45</b>
4.4.1.1 Casi di studio riportati in letteratura .....	<b>47</b>
4.4.1.2 Caso di studio sulla digestione anaerobica del depuratore di Verona .....	<b>51</b>
<b>4.4.2 Il processo BIO-STAB</b> .....	<b>55</b>
4.4.2.1 Caso di studio: il sistema Treviso .....	<b>57</b>
<b>5. I FANGHI DA DEPURAZIONE: IL QUADRO GENERALE ATTUALE</b> .....	<b>59</b>
<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>66</b>
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b> .....	<b>67</b>
<b>ALLEGATO_D_1 QUESTIONARIO QUADRO CONOSCITIVO</b> .....	<b>68</b>

<b>ALLEGATO_D_2</b> LINEA GUIDA DEL VENETO SUL RIUTILIZZO DEI FANGHI IN AGRICOLTURA .....	70
<b>ALLEGATO_D_3</b> SINTESI DELLE INFORMAZIONI RACCOLTE DAI QUESTIONARI .....	78
<b>ALLEGATO_D_4</b> PROTOCOLLO OPERATIVO ARPAV PER LA VALIDAZIONE DEL PIANO DI CAMPIONAMENTO DEI TERRENI E DEI RELATIVI RISULTATI ANALITICI .....	87
<b>ALLEGATO_D_5</b> PROTOCOLLO ARPAV DI CONTROLLO DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE .....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
<b>ALLEGATO_D_6</b> LINEE GUIDA SUL MONITORAGGIO DELLE EMISSIONI GASSOSE IN VENETO (PROTOCOLLO AZIENDE - ARPAV).....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
<b>ALLEGATO_D_7</b> RACCOLTA DELLE NORMATIVE REGIONALI SULLO SMALTIMENTO E RIUTILIZZO DEI FANGHI DI DEPURAZIONE .	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
<b>ALLEGATO_D_8:</b> RECUPERO DI ENERGIA NEL TRATTAMENTO INTEGRATO DI ACQUE REFLUE E RIFIUTI SOLIDI URBANI: IL CASO DEL PROCESSO AF-BNR-SCP APPLICATO ALL’IMPIANTO DI TREVISO.....	89

## 1. Premessa

La necessità di smaltire quantità sempre più consistenti di rifiuti rappresenta un problema di non facile soluzione nella maggior parte dei paesi industrializzati. Risulta utile sottolineare come il problema dei rifiuti debba essere affrontato con la stessa determinazione che ha caratterizzato tutti i movimenti collegati alla ricerca ed allo sviluppo della società, utilizzando tutti i mezzi che la tecnologia ed i criteri gestionali sono oggi in grado di offrire.

Quello della gestione dei fanghi e dei rifiuti è un problema che vede come primi protagonisti i cittadini, la società civile nel suo insieme e le istituzioni pubbliche a tutti i livelli.

Un altro problema caratteristico dei paesi industrializzati è quello dell’approvvigionamento di energia; ciò vale soprattutto per i paesi privi di fonti energetiche proprie o che hanno una quantità di energia insufficiente al proprio fabbisogno. I due problemi, smaltimento dei rifiuti ed approvvigionamento energetico, risultano in vario modo interconnessi ed il recupero di energia attraverso l’incenerimento e la digestione anaerobica dei fanghi (anche misti alla frazione organica dei rifiuti urbani) può contribuire, almeno in parte, alla soluzione di tali problemi.

Il Tavolo Tecnico Interagenziale (TTI) sulla “*Gestione sostenibile delle risorse idriche*” ha affrontato gli aspetti del riutilizzo delle acque reflue e del recupero di materia ed energia dai fanghi di depurazione. Le finalità generali delle attività sulla “*Gestione sostenibile delle risorse idriche*” mirano a creare:

- un quadro conoscitivo generale sulla depurazione, sul riuso, sulla produzione e sullo smaltimento dei fanghi da depurazione;
- predisporre l’impostazione metodologica per l’acquisizione informativa sulle tematiche sviluppate;
- scegliere ed analizzare casi di studio in materia di riuso delle acque reflue e recupero di materia ed energia dai fanghi di depurazione sulla base dell’esperienza delle Agenzie partecipanti.

**L’attività 4**, cui si riferisce il presente rapporto, ha come linea generale quella di effettuare prime valutazioni in merito ad interventi che consentano di recuperare materia ed energia dai fanghi di depurazione anche a valle di una ricognizione dei provvedimenti normativi regionali, in merito agli aspetti tecnici ed amministrativi relativamente al loro smaltimento finale.

L’**attività 4** prevede specificatamente che si ricostruisca un quadro sulle quantità, qualità, forme di smaltimento dei fanghi attualmente prodotti. Nella fase di impostazione dell’attività è stata valutata l’opportunità di avviare l’approfondimento di uno o più aspetti dello smaltimento/recupero dei fanghi di depurazione in ognuno dei seguenti filoni principali:

- minimizzazione della produzione;
- recupero di materia, con conseguente utilizzo dei fanghi in agricoltura, eventualmente previo compostaggio;
- recupero di energia attraverso l’incenerimento o la digestione anaerobica dei fanghi stessi;
- smaltimento in discarica, che contempra una ricognizione della normativa nazionale/regionale esistente in materia e valutazioni sugli aspetti qualitativi ed amministrativi coinvolti nello smaltimento finale.

Lo svolgimento dell’attività 4 ha come base di partenza le informazioni ed i dati raccolti attraverso l’**attività 1**, il cui coordinamento è affidato ad ARPA Lombardia. L’**attività 1** prevede di costruire un quadro conoscitivo dettagliato ed esaustivo a livello regionale sugli

impianti di depurazione. In questa prima fase si può partire dalle regioni cui appartengono le ARPA/APPa partecipanti al Tavolo o da una parte di esse. Per le regioni più grandi relativamente alla depurazione si è deciso di esaminare anche solo parte della regione stessa, sulla base della valutazione dell’impegno richiesto a fronte delle risorse finanziarie messe a disposizione dal progetto ed estendere lo studio in un momento successivo.

La struttura ed il contenuto del quadro conoscitivo, le tipologie di impianti su cui approfondire l’indagine e quali informazioni raccogliere sono stati definiti nella fase di impostazione dell’attività, tenendo conto delle particolarità di ciascuna regione.

Per ogni regione la base conoscitiva di partenza è costituita dal *Piano di Tutela delle Acque*, redatto ai sensi del D.Lgs. n. 152/1999, laddove esistente, o eventualmente dai documenti ufficiali disponibili se ancora in fase di redazione.

L’integrazione delle informazioni tratte dai Piani di Tutela è stata valutata regione per regione: alcune ARPA/APPa sono risultate in possesso di informazioni complete ed esaustive, mentre altre hanno dovuto richiedere la collaborazione delle Autorità d’Ambito Territoriale Ottimale (ATO) responsabili del servizio idrico integrato, delle Province o delle rispettive Regioni.

Nello studio si è cercato reperire, i dati sui fanghi di depurazione circa la quantità prodotta, trattamento/utilizzazione, modalità di smaltimento; tali informazioni sono, peraltro, risultate quelle più difficilmente reperibili, incomplete e disomogenee.

L’esame dei *Piani di Tutela delle Acque* già adottati o approvati dalle regioni ha riguardato anche gli aspetti del riutilizzo delle acque reflue urbane, aspetto sviluppato nell’attività 2.4.

La linea di **attività 4** prevede lo sviluppo dei seguenti punti:

- elaborazione delle informazioni relativamente ai quantitativi di fanghi prodotti, modalità di smaltimento, criticità nel reperimento dei dati;
- valutazione dei dati e delle informazioni contenute nelle normative regionali in merito allo smaltimento/riutilizzo dei fanghi di depurazione;
- esame della recente normativa sulle discariche per quanto riguarda le difficoltà di smaltimento dei fanghi di depurazione;
- esame di esperienze di monitoraggio degli effetti ambientali del riutilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura;
- esame di esperienze di termovalorizzazione e digestione anaerobica dei fanghi di depurazione.

All’**attività 4** hanno contribuito tutte le ARPA/APPa partecipanti al TTI “Gestione sostenibile delle risorse idriche” con il coordinamento di ARPA Veneto e partenariato di ARPA Emilia Romagna, ARPA Friuli Venezia-Giulia ed ARPA Umbria.

## 2. Il quadro normativo

I fanghi sono definiti come i residui derivanti dai processi di depurazione:

1. delle acque reflue provenienti esclusivamente da insediamenti civili come definiti dalla lettera b), art. 1-quater, L. 8/10/1976, n. 690;
2. delle acque reflue provenienti da insediamenti civili e produttivi: tali fanghi devono possedere caratteristiche sostanzialmente non diverse da quelle possedute dai fanghi di cui al punto 1.;
3. delle acque reflue provenienti esclusivamente da insediamenti produttivi, come definiti dalla L. n. 319/1976 e successive modificazioni ed integrazioni; tali fanghi devono essere assimilabili per qualità a quelli di cui al punto 1. sulla base delle caratteristiche fisico-chimiche e biologiche.

La destinazione dei fanghi di depurazione è ancora prevalentemente lo smaltimento in discarica di rifiuti speciali e, solo in misura molto minore, il recupero mediante utilizzo in agricoltura, compostaggio o digestione anaerobica e il recupero energetico.

Il D.Lgs. n. 36/2003 pone dei precisi limiti riguardo all'ammissibilità in discarica dei rifiuti non pericolosi, in particolare per i rifiuti con un elevato contenuto di sostanza organica, di cui i fanghi costituiscono una frazione di tutto rispetto, in particolare quelli civili o prodotti da industrie agroalimentari; si pone quindi la necessità di individuare valide alternative alla discarica per la gestione dei fanghi di depurazione.

### 2.1 Quadro normativo nazionale

Il riferimento normativo statale ad oggi vigente sull'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura è il D.Lgs. 27/01/1992 n. 99 di attuazione della Direttiva n. 86/278/CE. Tale decreto regola le condizioni per il recupero dei fanghi biologici mediante il loro spandimento sul suolo. Il presente decreto ha lo scopo di disciplinare l'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura in modo da evitare effetti nocivi sul suolo, sulla vegetazione, sugli animali e sull'uomo, incoraggiandone nel contempo la corretta utilizzazione. L'art. 3 del D. Lgs. n. 99/1992 ammette l'utilizzazione in agricoltura dei fanghi solo se concorrono le seguenti tre condizioni:

- sono stati sottoposti a trattamento;
- sono idonei a produrre un effetto concimante e/o ammendante e correttivo del terreno;
- non contengono 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.

L'utilizzazione dei fanghi è consentita qualora la concentrazione di uno o più metalli pesanti nel suolo non superi i valori limite fissati nell'allegato IA. 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 IB. I fanghi possono essere applicati nei terreni in dosi non superiori a 15 t/ha di sostanza secca nel triennio, purchè i suoli presentino le seguenti caratteristiche:

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

In caso di utilizzazione di fanghi su terreni il cui pH sia inferiore a 6 e la cui capacità di scambio cationico sia inferiore a 15, per tener conto dell'aumentata mobilità dei metalli

pesanti e del loro maggior 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 provenienti dall'industria agroalimentare possono essere impiegati in quantità massima fino a tre volte le quantità indicate in precedenza. In tal caso i limiti di metalli pesanti non possono superare valori pari ad un quinto di quelli di cui all'allegato IB.

I fanghi possono essere utilizzati quali componenti dei substrati artificiali di colture floricole su bancali, nel rispetto della presente norma; in particolare:

- i fanghi utilizzati devono essere disidratati ed il loro contenuto di umidità non deve superare il limite di 80% espresso su tal quale;
- i fanghi devono avere una composizione analitica che rientri nei limiti dell'allegato IB;
- il substrato artificiale deve contenere un quantitativo di fango non superiore al 20% del totale.

Le regioni ai sensi dell'art. 6 del citato decreto possono altresì:

- rilasciare le autorizzazioni per le attività di raccolta, trasporto, condizionamento ed utilizzazione dei fanghi in agricoltura, conformemente a quanto stabilito dalla normativa vigente;
- stabilire le distanze di rispetto per l'applicazione dei fanghi dai centri abitati, dagli insediamenti sparsi, dalle strade, dai pozzi di captazione delle acque potabili, dai corsi d'acqua superficiali, tenendo conto della zona, delle caratteristiche fisiche del fango e della qualità del terreno sulla quale viene applicato;
- stabilire ulteriori limiti e condizioni di utilizzazione in agricoltura per diversi tipi di fanghi;
- redigere piani di utilizzazione agricola dei fanghi tenendo conto delle caratteristiche qualitative degli stessi;
- redigere ogni anno una relazione riassuntiva sui quantitativi di fanghi prodotti in relazione alle diverse tipologie, sulle caratteristiche analitiche degli stessi, sulla quota fornita per usi agricoli.

L'autorizzazione all'utilizzo dei fanghi in agricoltura viene rilasciata dalla Regione. Ai fini di ottenere l'autorizzazione il richiedente deve indicare:

- la tipologia dei fanghi da utilizzare;
- le colture destinate all'impiego dei fanghi;
- le caratteristiche dell'impianto di stoccaggio;
- le caratteristiche dei mezzi impiegati per la distribuzione dei fanghi.

L'autorizzazione ha una durata massima di cinque anni. Negli allegati del D.Lgs. n. 99/1992, oltre ai limiti imposti per i metalli ci sono un registro dei terreni, dove vengono riportati tutti i dati relativi all'utilizzatore del fango e una scheda di accompagnamento che il produttore dei fanghi deve presentare nel momento in cui gli viene acquistato il fango.

A livello comunitario è in corso di revisione la Direttiva n. 86/278/CEE; l'ultima versione è del 26/04/2000.

### **2.1.1 Normative sullo smaltimento dei rifiuti**

Il D.Lgs. n. 22 del 5/02/1997 (oggi abrogato e sostituito dal D.Lgs. n. 152/2006) riguardante: “Attuazione delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio” disciplina la gestione dei rifiuti, dei

rifiuti pericolosi, degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggi. La gestione dei rifiuti costituisce attività di pubblico interesse ed è disciplinata dal citato decreto al fine di assicurare un'elevata protezione dell'ambiente e controlli efficaci tenendo conto della specificità dei rifiuti pericolosi. I rifiuti devono essere recuperati o smaltiti senza pericolo per la salute dell'uomo. Per il conseguimento delle finalità del presente decreto lo Stato, le Regioni e gli enti locali adottano ogni opportuna azione avvalendosi di soggetti pubblici e privati qualificati. Ai fini di una corretta gestione dei rifiuti le autorità competenti favoriscono la riduzione dello smaltimento finale dei rifiuti attraverso:

- il reimpiego ed il riciclaggio;
- le altre forme di recupero per ottenere materia prima dai rifiuti;
- l'adozione di misure economiche e la determinazione di condizioni di appalto che prevedano l'impiego dei materiali recuperati dai rifiuti al fine di favorire il mercato dei materiali medesimi;
- l'utilizzazione principale dei rifiuti come combustibile per la produzione di energia.

Lo smaltimento dei rifiuti deve essere effettuato in condizioni di sicurezza e costituisce la fase residuale della gestione dei rifiuti. I rifiuti da avviare allo smaltimento finale devono essere il più possibile ridotti potenziando la prevenzione e l'attività di riutilizzo, di riciclaggio e di recupero. Lo smaltimento dei rifiuti è attuato con il ricorso a una rete integrata ed adeguata di impianti di smaltimento, che tenga conto delle tecnologie più perfezionate a disposizione che non comportino costi eccessivi. A partire dal 1/01/1999 la realizzazione e la gestione di nuovi impianti di incenerimento possono essere autorizzate solo se il relativo processo di combustione è accompagnato da recupero energetico con una quota minima del potere calorifico dei rifiuti in energia utile, calcolata su base annuale, stabilita con apposite norme tecniche. Il DM 19/11/1997 n. 503 recante "*Norme per l'attuazione delle direttive 89/369/CEE e 89/429/CEE concernenti la prevenzione dell'inquinamento atmosferico provocato dagli impianti di incenerimento dei rifiuti urbani*", disciplina le emissioni e le condizioni di combustione degli impianti di incenerimento di rifiuti urbani, di rifiuti speciali non pericolosi, nonché di rifiuti sanitari contagiosi. A tal fine stabilisce:

- i valori limite di emissione;
- metodi di campionamento, analisi e valutazione degli inquinanti;
- i criteri temporali di adeguamento;
- i criteri e le norme tecniche generali riguardanti le caratteristiche costruttive e funzionali.

Agli impianti di incenerimento la cui costruzione viene autorizzata successivamente all'entrata in vigore del decreto si applicano le prescrizioni ed i valori limite di emissione di cui all'allegato 1. Le concentrazioni delle sostanze inquinanti devono essere misurate in continuo nell'effluente gassoso.

La decisione della Commissione 2000/532/CE del 3/05/2000 istituisce un elenco di rifiuti conformemente all'art. 1 della Direttiva 75/442/CE del Consiglio relativa ai rifiuti e la decisione 94/904/CE del Consiglio che istituisce un elenco di rifiuti pericolosi ai sensi dell'art. 1. I diversi tipi di rifiuto inclusi nell'elenco sono definiti specificatamente mediante un codice a sei cifre per ogni singolo rifiuto. Le prime due cifre riguardano l'origine e la provenienza di tali rifiuti; per esempio se il codice inizia con le cifre 02, significa che il rifiuto è stato prodotto da uno dei seguenti settori: agricoltura, orticoltura, acquacoltura, selvicoltura, caccia e pesca, trattamento e preparazione degli alimenti. In allegato a tale decisione della Commissione si può trovare l'indice completo di tutti i codici CER che identificano il tipo di fanghi.

## 2.2 Quadro normativo regionale

In alcune regioni, oltre alla normativa nazionale, è stata emanata una normativa specifica. In **tabella 2.1** viene riportato il quadro normativo delle regioni corrispondenti alle ARPA/APPA partecipanti al Tavolo Tecnico Interagenziale (TTI), riguardo allo smaltimento e recupero di fanghi, inoltre vengono inserite in colonna 3 le linee guida che ciascuna regione ha adottato per l'utilizzo e lo smaltimento dei fanghi (relative a standard e caratteristiche che devono possedere in base all'utilizzo che se ne vuole fare, metodi di campionamento diversi...).

**Tabella 2.1** Normativa sullo smaltimento e recupero fanghi adottata da ogni singola regione.

Regioni	Normative Regionali	Linee guida specifiche per ridurre le sostanze biodegradabili allo scarico
<b>Abruzzo</b>	Non c'è una normativa regionale specifica.	Seguono la linea guida imposta dal D.Lgs. n. 99/1992.
<b>Basilicata</b>	LR 2/03/1994 n. 12, <i>Norme per la utilizzazione in agricoltura dei fanghi di depurazione provenienti da insediamenti civili e produttivi.</i>	Delibera n. 1904 del 06/08/2004: “ <i>Adeguamento del piano regionale di gestione dei rifiuti, in conformità con il D.Lgs. n. 36/2003 art. 5</i> ”. Programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica.
<b>Prov. Bolzano</b>	Non c'è una normativa provinciale specifica.	Delibera n. 6801 dell'8 ottobre 1993: “ <i>Piano gestione rifiuti 2000</i> ”, dove si definiscono linee guida sulla gestione dei rifiuti.
<b>Campania</b>	Non c'è una normativa regionale specifica.	
<b>Emilia Romagna</b>		DGR 30/12/04 04 002773: “ <i>Primi indirizzi alle province per la gestione e l'autorizzazione all'uso dei fanghi di depurazione in agricoltura</i> ”. Delibera n. 1801 del 7/11/2005: “ <i>Integrazione delle disposizioni in materia di gestione dei fanghi di depurazione in agricoltura</i> ”. Delibera n. 11047 del 29/07/2005: “ <i>Orientamenti applicativi della fase transitoria e quesiti interpretativi in materia di utilizzo in agricoltura dei fanghi di depurazione ai sensi della Delibera n. 2773 del 30/12/2004, modificata in seguito dalla Delibera n. 285 del 14/02/2005</i> ”. Negli allegati contenuti nelle Delibere citate a fianco sono riportate le metodologie che vengono seguite dalla regione Emilia Romagna in materia di utilizzo di fanghi di depurazione in agricoltura.
<b>F.V.G.</b>	Non c'è una normativa regionale specifica.	
<b>Lazio</b>	Non c'è una normativa regionale specifica.	
<b>Liguria</b>	Non c'è una normativa regionale specifica.	Dispone di un programma per la riduzione e conferimento di rifiuti biodegradabili in discarica: DGR 2/08/2004 n. 856 BURL 18/08/2004 n. 33: <i>Programma regionale per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica. Sezione aggiuntiva al Piano regionale di gestione dei rifiuti approvato con D.C.R. 29.02.2000 n. 17.</i>
<b>Lombardia</b>	Legge Regionale n. 26/2003, <i>Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, dell'utilizzo del sottosuolo e delle risorse idriche.</i>	DGR 16/04/2003 n. 7/12764, DGR 9/05/2003 n. 12920, DGR 30/12/2003 n. 15994, DGR 31/03/2004 n.16983, DGR 17/05/2004 n. 17519.
<b>Marche</b>		Delibera n. 2557/93, sul riuso dei fanghi di depurazione.
<b>Molise</b>	Non c'è una normativa regionale specifica.	
<b>Puglia</b>	La regione Puglia ha regolamentato le modalità di recupero dei fanghi di depurazione mediante utilizzo su suolo agricolo o compostaggio attraverso la LR n. 29 del 1995.	Decreto Commissario Delegato Emergenza Ambientale del 26/03/2004 n. 56: “ <i>Piano di riduzione del conferimento in discarica dei rifiuti urbani biodegradabili in Puglia</i> ”
<b>Sicilia</b>		Decreto Assessoriale n. 771 del 12/07/2004: “ <i>Documentazione da allegare all'istanza di richiesta di utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura</i> ”. Circolare n. 38508 del 26/05/1993: “ <i>Prime direttive per il rilascio delle autorizzazioni per l'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.</i> ”

Regioni	Normative Regionali	Linee guida specifiche per ridurre le sostanze biodegradabili allo scarico
<b>Toscana</b>	Non c'è una normativa regionale specifica.	È stato approvato un Programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili in discarica.
<b>Umbria</b>	LR 31/07/2002, n. 14: " <i>Norme per la gestione integrata dei rifiuti e per l'approvazione del Piano regionale</i> ".	DGR 6/09/2006 n. 1492 Bollettino Ufficiale della Regione Umbria n.43 del 13/09/2006 <i>Norme per l'utilizzazione agronomica dei fanghi provenienti dagli impianti di depurazione di cui al D.Lgs. n. 99/1992.</i>
<b>Veneto</b>	LR n. 3/2000 sui rifiuti	Decreto n. 3247 del 06/06/1995: " <i>Norme tecniche in materia di utilizzo in agricoltura di fanghi di depurazione e di altri fanghi e residui non tossico e nocivi di cui sia comprovata l'utilità ai fini agronomici</i> " ha integrato la norma nazionale identificando ulteriori criteri di valutazione e limiti anche per altri metalli (arsenico e cromo). È stato approvato il Piano Regionale sulla gestione dei rifiuti urbani dalla delibera n. 59 del 22/11/2004. DGRV 9/08/2005 n. 2241 DGRV n. 568/2005 DGRV n. 1497/2006
<b>Prov. Trento</b>	Non c'è una normativa provinciale specifica.	

Nell'ambito della conferenza interregionale le regioni hanno ritenuto opportuno dotarsi di indirizzi comuni per la stesura del Programma, al fine di utilizzare procedure e modalità omogenee e confrontabili. In tal senso sono state predisposte delle linee guida denominate: "Documento interregionale per la predisposizione del programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili in discarica ai sensi dell'art. 5 del D.Lgs. n. 36/2003 approvate dalla Conferenza dei Presidenti in data 4/03/2004.

La Regione Veneto ha integrato la suddetta norma con la DGRV n. 3247 del 6/06/1995 modificata con DGRV 2241 del 9/08/2005; ha inoltre normato gli aspetti connessi con la gestione dei rifiuti (fino al momento del recupero i fanghi sono a tutti gli effetti rifiuti) con la LR 21/01/2000 n. 3, mentre con LR n. 15/1995 aveva delegato alle Province la competenza per il rilascio delle autorizzazioni all'impiego dei fanghi di depurazione in agricoltura. Con DGRV n. 568/2005 la regione Veneto ha inoltre approvato le "Norme tecniche ed indirizzi operativi per la realizzazione e la conduzione degli impianti di recupero e di trattamento delle frazioni organiche dei rifiuti urbani ed altre matrici organiche mediante compostaggio, biostabilizzazione e digestione anaerobica" che contiene le modalità per il recupero di fanghi di depurazione mediante compostaggio o digestione anaerobica.

Dall'indagine svolta, inoltre, emerge che:

- in Valle d'Aosta l'utilizzo in agricoltura di fanghi da impianti di depurazione è vietato; il Piano regionale di gestione dei rifiuti prevede la realizzazione di un impianto di compostaggio di tali fanghi (anche in considerazione del fatto che le caratteristiche dei fanghi sono buone non avendo realtà industriali importanti che scaricano in pubblica fognatura) ai fini del riutilizzo successivo per recuperi ambientali, manutenzione di piste forestali e piste da sci.
- Lombardia e Emilia-Romagna stanno elaborando le linee guida sui fanghi (l'Emilia Romagna ha approvato tali linee guida con Delibera di Giunta nel dicembre 2004).
- il Piemonte ha delegato alle province la potestà autorizzativa, presentando per molti versi una normativa analoga a quella attualmente vigente presso la regione del Veneto.

Si ritiene necessario come primo quadro conoscitivo utile all'orientamento del successivo lavoro dell'attività 4 del TTI raccogliere le normative o le linee guida, indirizzi e orientamenti che le varie regioni hanno prodotto riguardo alle modalità di gestione dei fanghi di depurazione, allo scopo di provvedere ad una loro comparazione ed individuare comuni punti di forza o di debolezza.

### 2.2.1 Quadro normativo in Veneto

Il quadro normativo sul controllo delle attività di utilizzo di fanghi di depurazione sul suolo agricolo è fissato dal D.Lgs. n. 99/1992 (si veda il § 2.1). In relazione ai requisiti posti da tale decreto, per determinare le modalità e le frequenze dei controlli sono state prese in considerazione:

- la classe di potenzialità degli impianti civili che producono i fanghi utilizzati in agricoltura (art. 11 del D.Lgs. n. 99/1992);
- le quantità di fanghi di cui è autorizzato l'utilizzo in funzione della superficie disponibile per la distribuzione;
- relativamente ai terreni le disposizioni di cui all'art. 3 punto d) di cui all'allegato A della DGRV n. 2241/2005 riguardo alle attività di validazione del piano di campionamento da parte di ARPAV.

In riferimento al primo aspetto è fatto obbligo al produttore dei fanghi destinati all'utilizzo in agricoltura di analizzare il fango almeno:

- ogni 3 mesi per gli impianti con potenzialità > 100.000 AE;
- ogni 6 mesi per gli impianti con potenzialità compresa tra 5.000 e 100.000 AE;
- ogni 12 mesi per gli impianti con potenzialità < 5.000 AE.

Nessuna indicazione viene data riguardo alla frequenza dei controlli da parte dell'ente autorizzante. Riguardo al secondo punto le autorizzazioni in essere in regione Veneto possono essere suddivise in 3 categorie in funzione del potenziale impatto sul suolo:

- quantità di fanghi autorizzate > 500 t/anno;
- quantità di fanghi autorizzate comprese tra 100 e 500 t/anno;
- quantità di fanghi autorizzate < 100 t/anno.

Anche in questo caso non è prevista una frequenza nei controlli da parte dell'ente autorizzante, ma devono essere rispettate le prescrizioni autorizzative, tenendo in considerazione anche uno standard di controllo basato su considerazioni derivate dall'esperienza tecnica acquisita dal gruppo di lavoro.

Per quanto riguarda l'analisi dei terreni la DGRV n. 2241/2005 prevede che l'analisi dei terreni interessati alla distribuzione dei fanghi di depurazione sia effettuata ogni 3 anni da parte della ditta autorizzata con la validazione del piano di campionamento e supervisione delle operazioni di campionamento ed analisi da parte di ARPAV. In **allegato 2** viene riportata l'intera documentazione relativa alla linea guida che si cerca di seguire in Veneto per quanto riguarda il riutilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura nella regione Veneto.

In **allegato 5** si riporta il protocollo di controllo dei depuratori pubblici, comprendente anche la parte relativa ai fanghi, sviluppato da ARPA Veneto in supporto alle proprie attività istituzionali di controllo.

### 3. La produzione, lo smaltimento ed il destino dei fanghi

#### 3.1 Impostazione metodologica della raccolta dati

L'impostazione metodologica per la raccolta dati ha fatto riferimento ad un percorso costituito dai seguenti punti:

1. in primo luogo si è cercato di capire la problematica che sta alla base dello smaltimento di fanghi prodotti da impianti di depurazione e la necessità che si presenta nell'affrontare tale problema attraverso tecniche di riduzione della propria produzione e del conseguente recupero;
2. in secondo luogo si ricostruisce una panoramica delle normative vigenti che vincolano l'utilizzo dei fanghi in agricoltura (si veda il capitolo 2);
3. successivamente è stata effettuata una raccolta di dati ed informazioni presso le ARPA relativamente allo smaltimento/recupero di fanghi in agricoltura;
4. stabilire riferimenti per la caratterizzazione dei fanghi per periodici controlli analitici per verificare la qualità dei fanghi destinati al recupero di materia o energia.

I primi due punti sono già stati ampiamente trattati in precedenza. Per quanto riguarda il 3° punto c'è da tener presente che il comma 5 dell'art. 6 del D.Lgs. n. 99/1992 attribuisce alle Regioni l'obbligo di redigere annualmente ed inviare al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio una relazione riassuntiva su:

- i quantitativi di fanghi prodotti in relazione alle diverse tipologie;
- la composizione e le caratteristiche dei fanghi,
- la quota fornita per gli usi agricoli;
- le caratteristiche chimiche e fisiche dei terreni a tal fine utilizzati.

Nel Veneto dal 1998, in adempimento al dettato del D.Lgs. n. 99/1992 che prevede l'obbligo da parte delle regioni di trasmettere annualmente i dati relativi a quantità e tipo di fanghi smaltiti in agricoltura, vengono raccolte sistematicamente presso le Province le seguenti informazioni:

- l'identificazione della ditta autorizzata;
- la tipologia dei fanghi (depurazione civile, industria agroalimentare, ecc.);
- le colture agricole interessate;
- la quantità di fanghi utilizzati;
- la superficie netta utilizzata;
- l'identificazione delle particelle catastali utilizzate.

Come si può vedere, rispetto alle informazioni richieste dal comma 5 dell'art. 6 del D.Lgs. n. 99/1992, mancano i dati necessari alla caratterizzazione analitica dei terreni e dei fanghi.

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio d'altra parte ha richiesto per diversi anni e in più riprese i seguenti dati:

#### 1. Fanghi: produzione e utilizzo in agricoltura:

- Fanghi di depurazione prodotti (sost. secca t/anno);
- Fanghi utilizzati in agricoltura (sost. secca t/anno);
- Superficie interessata (ha) (facoltativo)

#### 2. Caratterizzazione dei fanghi utilizzati in agricoltura (valori medi di concentrazione) per i seguenti parametri:

- METALLI (mg/kg ss): Cadmio, Rame, Nichel, Piombo, Zinco, Mercurio, Cromo;
- ELEMENTI (% ss): Azoto totale, Fosforo totale.

### 3. Eventuali altre informazioni/osservazioni (facoltativo)

- N. autorizzazioni rilasciate
- Tipi di fanghi prodotti (t/ss):
  - a) da insediamenti civili e assimilati
  - b) da industria agroalimentare
- Inoltre (facoltativo):
  - caratteristiche del suolo
  - colture interessate
  - altre informazioni ritenute utili.

Mentre si ritiene importante la raccolta di dati di sintesi quali la produzione totale di fanghi, attualmente ottenibile solo dai dati MUD che non sempre risultano però completi e precisi, e la quantità di fanghi distribuiti sul suolo e la superficie interessata, non altrettanto si può dire delle caratteristiche dei fanghi utilizzati, visto che non risulta utile calcolare la media delle concentrazioni di metalli o elementi nutritivi di materiali molto disomogenei e utilizzati in quantità fra loro molto diverse. Si ritiene che avrebbe più senso un dato sui carichi specifici dei metalli, ma per ricavarli sarebbe necessario disporre di molti più elementi informativi di quanti ad oggi sia possibile disporre.

La fonte dei dati raccolti dalle Province ed elaborati dal Centro è costituita dalla copia dei registri di carico e scarico che i produttori di fanghi destinati all'utilizzo in agricoltura hanno l'obbligo di inviare agli enti competenti, come previsto dall'art. 14 del D.Lgs. n. 99/1992, e che fornisce i dati limitatamente ai fanghi, effettivamente utilizzati in agricoltura.

I medesimi, dati esclusa la quantità totale di fanghi prodotti, potrebbero essere desunti dal registro di utilizzazione dei fanghi, previsto dall'art. 15 del D. Lgs. n. 99/92, ma per le sole ditte che già inviano i fanghi all'utilizzo agricolo.

Se ben strutturato tale registro offre il vantaggio di una più facile gestione e lettura e dei dati, comprensivi anche di precisi riferimenti ai terreni di utilizzazione (a rigore le annotazioni da aggiungere al registro di carico e scarico prescritte dal citato art. 14 sono relative ai luoghi previsti di utilizzazione dei fanghi) e alle loro caratteristiche analitiche, nonché alle colture effettivamente realizzate.

La raccolta di tali informazioni presso tutte le ARPA mediante il **questionario** allegato può fornire un quadro più preciso della situazione nelle varie regioni necessario per qualsiasi proposta di gestione alternativa dei fanghi.

Per avere gli elementi necessari alla pianificazione del recupero dei fanghi di depurazione è necessario poter disporre dei risultati di indagini svolte per la caratterizzazione dei fanghi prodotti nelle diverse regioni. Come riportato nel punto 4 dell'impostazione metodologica di pagina precedente; si dovrà pertanto verificare, tramite le ARPA/APPA, la possibilità di raccogliere, qualora disponibili, i risultati di controlli, monitoraggi, verifiche analitiche eseguite sui fanghi di depurazione prodotti dai principali impianti di depurazione.

Il caso del Veneto è stato considerato come un caso di studio il cui modello potrebbe essere esteso nelle altre regioni: nel 2003 è stata svolta una campagna di monitoraggio che ha previsto il prelievo di un campione di fango da tutti gli impianti di depurazione civili con potenzialità >20.000 A.E. e la successiva analisi per tutti i parametri previsti dal D.Lgs. n. 99/92, oltre ad alcuni microinquinanti organici (PCDD/PCDF, IPA, PCB). Va aggiunto che dal 1998 presso tutti gli impianti di compostaggio del Veneto che trattano fanghi di

depurazione vengono prelevati con cadenza almeno semestrale campioni di fango in entrata allo scopo di verificare il rispetto dei limiti previsti dalla normativa regionale.

Un’efficace gestione del recupero/smaltimento dei fanghi di depurazione necessita di un adeguato sistema di controlli che preveda il monitoraggio delle situazioni più critiche e significative e sia in grado di dare sufficienti garanzie circa il rispetto delle normative e la riduzione degli impatti ambientali. Anche per questo aspetto il caso del Veneto è stato utilizzato nel presente rapporto come base di discussione del gruppo di lavoro allo scopo di sviluppare una proposta che potrà essere assunta dal TTI; in particolare sono stati considerati i Protocolli per il Controllo delle Fonti di Pressione (PCFP), che sono stati elaborati per i depuratori e per l’utilizzo in agricoltura dei fanghi di depurazione, oltre al disciplinare per gli impianti di compostaggio che aderiscono al marchio “Compost Veneto” per la parte relativa al controllo dei materiali in entrata.

Per una sistematica ed esaustiva raccolta di informazioni è stata messa a punto una specifica scheda (**Allegato 1**) distribuita a tutte le ARPA e APPA partecipanti al TTI, che riassume la situazione nelle ultime annate, per quanto concerne la produzione di fanghi ed il riutilizzo, eventuale, degli stessi in attività agricole o per il recupero di energia. Il questionario prevede la compilazione di sei punti:

1. un primo punto dove si chiede che siano forniti eventuali documenti sulla normativa adottata dalle singole regioni, per quanto riguarda lo smaltimento di fanghi e il loro riutilizzo in agricoltura o compostaggio;
2. nel secondo punto si chiede se le regioni hanno approvato un programma per la riduzione del conferimento in discarica di rifiuti biodegradabili;
3. nel terzo punto viene richiesta la compilazione di una tabella con i valori dei quantitativi di fango prodotti suddivisi per codici CER;
4. nel quarto punto viene richiesta la compilazione di una tabella con l’intento di delineare le quantità di fanghi prodotti destinate ai vari utilizzi;
5. nel quinto punto si chiede l’individuazione della superficie del suolo regionale in ha/annui interessata dall’applicazione dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione;
6. nell’ultimo e sesto punto si chiedono informazioni circa eventuali analisi effettuate per verificare l’idoneità dei fanghi utilizzati in agricoltura in base ai limiti di legge vigenti in ciascuna regione.

### **3.2 I risultati della raccolta dati sul territorio nazionale**

In **tabella 3.1** sono riportati per le ARPA/APPA partecipanti al TTI i dati relativi alla produzione e smaltimento di fanghi da depuratori pubblici (CER 190805). Si sottolinea che:

- i dati riportati non si riferiscono tutti allo stesso anno ma comprendono il triennio 2003-2005; per una valutazione complessiva e per un confronto tra anni risulta però necessario assumere l’ipotesi che la produzione sia costante;
- in alcuni questionari non sono stati inseriti tutti i dati; alcune regioni non sono riuscite a raccogliere un dato complessivo regionale, ma solo il dato di alcune ATO (per esempio, la Campania ha raccolto solo i dati di Caserta, l’Umbria ha fornito solo i dati di 3 ATO, le Marche hanno fornito i dati di 3 ATO su 5 complessivamente presenti nel territorio regionale).

**Tabella 3.1** Quadro generale sulla produzione/smaltimento fanghi di depurazione (codice CER 190805) delle acque reflue urbane nel territorio nazionale per le ARPA/APPA tecipanti al TTI.

Regione	Fanghi tot (ton/anno)	Discarica	Incenerimento	Utilizzo in agricoltura	Compost	Altri recuperi
<b>Abruzzo</b>	63.898,234* 54.240**	0*	0*	0*	11.229,74*	12,89*
<b>Basilicata</b>	32.000**#	-	-	190**	-	-
<b>Bolzano</b>	54.830* 59.716***	14* 200***	9.365* 9.367***	7.438* 19.468***	35.247* 24.732***	2.769* 5.947***
<b>Campania</b>	53.940,72* 45.884,36** 41.982,80***	1.457,48***	-	-	53.940,72* 45.884,36**40 .525,32***	-
<b>Emilia Romagna</b>	301.185** 382.677,44*	65.525**; 26.798,11*	24.101**; 39.895,59*	177.544**; 236.541,57*	28.599**; 21.849,66*	5.416**;
<b>F.V.G.</b>	41.008,58*	733,26*	0*	21.758,5*	2.805,68*	3.385,04*
<b>Lazio</b>	33.664,82*	-	-	2.028*	-	-
<b>Liguria</b>	55.552* 54.553,69**	961* 4.809,31**	0* 0**	119* 0**	0* 75,88**	0* 0**
<b>Lombardia</b>	380.408,14*	16.983,27 <sup>(1)</sup> *	336 <sup>(1)</sup> *	125.743 <sup>(1)</sup> *	133.987 <sup>(1)</sup> *	163.568 <sup>(1)</sup> *
<b>Marche</b>	21.093,806***	18.100,56*** 833,025 (altri smaltimenti)	-	199,6***	1.960,621***	-
<b>Molise</b>	10.511,34* 9.097,08***	1.258* 5.324,58***	-	3.798,9* 3.448,06***	3.195,2* 1.377,62***	1,18*
<b>Puglia</b>	59.415,1*; 6.842,53**	-	-	-	-	-
<b>Sicilia</b>	126.500***	-	-	-	-	-
<b>Toscana</b>	391.476,9**	29.320,16**	21.582,1**	60.722,836**	75.470,84**	204.380,96**
<b>Prov. Trento</b>	48.114,09***	1.868,97***	-	13.218,33***	537,86***	-
<b>Umbria</b>	30.166* 30.763***	18.216* 25.167,6***	-	19.873* 2.304***	584* _***	2.672* _***
<b>Veneto</b>	297.606,96* 301.705,4**	9.960,85* 5.148,98**	1.782,32* 1,9**	33.085,25* 14.714,31**	138.088,38* 178.086**	8.591,29* 9.539,91**

\* = 2003; \*\* = 2004; \*\*\* = 2005.

# = dato stimato

<sup>(1)</sup> Fanghi gestiti, cioè fanghi che sono prodotti all'interno della regione e quelli importati da altre regioni al fine del recupero e/o dello smaltimento.I risultati più significativi che si possono riassumere dalla **tabella 3.1** sono:

- dai dati pervenuti dalle ARPA/APPA risulta che nel 2003 si sono prodotte 1.463.679 ton/anno di fanghi di depurazione di acque reflue urbane (considerando i dati di 12 regioni), nel 2004 si sono prodotti 1.187.888 ton/anno (considerando i dati di 8 regioni), nel 2005, infine, si sono prodotti 337.267 ton/anno (considerando i dati pervenuti da 7 regioni);
- in discarica sono stati smaltiti il 5,12% della produzione totale nel 2003, l'8,82% nel 2004 e il 24,7% nel 2005; in agricoltura è stato recuperato il 30,8% dei fanghi prodotti nel 2003, il 21,3% nel 2004 e il 19,2% nel 2005; in incenerimento è stato smaltito il 3,51% nel 2003, il 4,16% nel 2004 e il 4,44% nel 2005; in compostaggio è stato recuperato il 26,6% nel 2003, il 27,6% nel 2004 e il 32% nel 2005;
- infine si osserva che in Veneto è molto frequente il recupero di fanghi per attività di compostaggio ed eventuale recupero in agricoltura, mentre in Emilia Romagna gran parte

dei fanghi di depurazione vengono conferiti in incenerimento, ma soprattutto in agricoltura.

Va puntualizzato che questi risultati sono incompleti, ma servono per dare un’idea della situazione generale al momento presente. In un secondo momento si auspica di disporre di una mole di dati più consistente e magari riferita allo stesso anno (per esempio 2003). Sarebbe utile, inoltre, per un miglioramento futuro, avere un quadro generale sui flussi di fanghi di depurazione importati ed esportati da ciascuna regione, in modo tale da conoscere la quantità di fanghi realmente prodotta all’interno di ciascuna regione e quella più generale “gestita” all’interno della stessa regione.

In **tabella 3.2** sono riportati gli ettari di superficie interessati dallo spargimento di fanghi di depurazione (dato richiesto al punto 5 del questionario – si veda l’allegato 1).

**Tabella 3.2** Quantità di superficie agricola complessivamente interessata allo spandimento dei fanghi di depurazione.

Regione	Abruzzo	Basilicata	Prov. Bolzano	Campania	Emilia Romagna	Lazio	Liguria	Lombardia	Marche	Molise	Puglia	Sicilia	Toscana	Prov. Trento	Umbria	Veneto	Friuli Venezia Giulia	Totale
Superficie in ha	0	11,67	8,5	-	5800	-	-	-	-	513,26	149,91	-	-	-	-	3000	-	8866,34

Questo dato conferma i dati riportati in **tabella 3.1**, come, per esempio, il notevole impiego dei fanghi di depurazione in agricoltura nella regione Emilia Romagna.

In **tabella 3.3** si riporta l’elenco delle categorie generali di codici CER (Decisione 2000/532/CE) riportate nella scheda di raccolta dati (vedi allegato 1). Ciascuna categoria di codici CER sta ad indicare la natura biologica e chimica del fango (ci dice se il fango è prodotto dal trattamento di acque reflue civili o industriali). Nella successiva **tabella 3.4** si riportano i dati relativi ai fanghi prodotti dal trattamento depurativo delle acque provenienti da cicli produttivi industriali (reflui di origine industriale); viene riportata la somma di tutti i fanghi relativi a ciascun codice CER, ad esclusione del fango CER 190805, già riportato in **tabella 3.1**. In questo modo è possibile fare una stima grossolana dei fanghi prodotti dai trattamenti di reflui industriali e dei fanghi provenienti dal trattamento di reflui urbani (quelli con codice CER 190805, si veda **tabella 3.1**), per valutare quanto incide l’attività industriale in ciascuna regione, anche se, si sottolinea, il quadro non può ritenersi esaustivo a causa della non omogenea disponibilità di dati (per il dettaglio sui dati si veda il quadro regionale nel § 3.3, in particolar modo i dati riportati nelle tabelle in **allegato 3**).

**Tabella 3.3** Classificazione dei fanghi prodotti per codici CER.

Codice CER	Tipologia di industria dalla quale proviene l’acqua da depurare
02	Industria alimentare/agricoltura
03	Industria della lavorazione del legno
04	Industria conciaria e tessile
05	Industria petrolifera, del gas naturale e del carbone
06	Industria dei processi chimici inorganici
07	Industria dei processi chimici organici
10	Industria dei processi termici
19	Industria di trattamento delle acque reflue, potabilizzazione

**Tabella 3.4** Quadro generale sulla produzione di fanghi negli impianti di trattamento dei reflui industriali.

Regione	Fanghi tot (t/anno)	Discarica (t/anno)	Incenerimento (t/anno)	Utilizzo in agricoltura (t/anno)	Compost. (t/anno)	Altri recuperi (t/anno)
<b>Abruzzo</b>	78.465,55**	1.158,5*	505*	1.025*	0*	2.070,1*
<b>Basilicata</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Bolzano</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Campania</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Emilia Romagna</b>	435.765,23*	42.080,43*	3.003,4*	217.355,3*	52.617,83*	12.295,4**;
<b>F.V.G.</b>	73.648,24*	2.020,65*	0*	5.117,42*	-	38.318,57*
<b>Lazio</b>	69.721,1*	437,2*	3.789*	14.902*	-	-
<b>Liguria</b>	42.833,71**	38.002,18**	0	3,56**	-	1353,75**
<b>Lombardia</b>	247.102*	-	-	-	-	-
<b>Marche</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Molise</b>	9.900,9***	9.914,4***	-	24,7***	-	-
<b>Puglia</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Sicilia</b>	172,072***	-	-	172,072***	-	-
<b>Toscana</b>	237.157**	56.304,24**	11,933**	2.974,38**	3.359,15**	174.507,3**
<b>Umbria</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Veneto</b>	627.365,7**	225.089,85**	19.494,77**	2.201,1**	43.861**	103.493**
<b>Prov. Trento</b>	42.625,35	12.057,72	-	-	-	-

\* = 2003; \*\* = 2004; \*\*\* = 2005 (anno di riferimento del dato).

Da quest'ultima tabella si evidenzia lo scarso dettaglio dei dati a disposizione dovuto alle difficoltà, riconducibili alla classificazione della tipologia di rifiuto, di reperire correttamente gli stessi dati. Ad esempio: in Molise è riportata una quantità di fango prodotta minore di quella destinata alle varie utilizzazioni. Ciò, si spiega, tenendo presente che il dato riportato sotto la voce: "quantità di fango totale prodotta", comprende non solo il fango che viene effettivamente prodotto all'interno della regione, ma anche quello che la regione riceve o esporta in altre regioni (per una valutazione completa occorre disporre di informazioni più dettagliate sul dato di fango esportato ed importato da/in altre regioni). Un'altra imprecisione è riconducibile alla quantità effettiva di fango che viene prodotta alla fine di un anno e che viene smaltita, almeno in parte, nell'anno successivo. Poiché il dato certo di produzione di fango si può calcolare solo quando si riferisce a quanto viene prelevato direttamente dall'impianto (il fango, soprattutto se sottoposto a disidratazione naturale, ha una forte variazione di peso dovuta alla disidratazione) è facile immaginare che la quantità di produzione a fine anno non è uguale a quella di smaltimento ad inizio anno e comunque nella produzione esiste una notevole variabilità che può non avere un esatto riscontro nella quantità smaltita.

Dal confronto della **tabella 3.4** con la **tabella 3.1**, si osserva una maggior produzione di fanghi di depurazione di reflui industriali nelle regioni settentrionali (circa i 2/3 del fango totale prodotto in Emilia Romagna e Veneto proviene da impianti di trattamento dei reflui industriali). Questo risultato è dovuto ad una presenza di attività industriali più consistente in tali regioni. Nel 2003 si sono registrati i seguenti risultati:

- il 62,25% del fango destinato in discarica risulta essere prodotto dal trattamento dei reflui industriali;
- il 17,2% del fango destinato al recupero energetico in incenerimento è fango prodotto da trattamento di acque reflue industriali;

- il 46,5% del fango destinato al riutilizzo in agricoltura è fango prodotto dal trattamento dei reflui industriali;
- il 70,7% del fango destinato al compostaggio è prodotto dal trattamento di acque reflue industriali;
- il 56% del fango destinato ad altri recuperi è prodotto dal trattamento di acque reflue industriali.

In questi risultati si osserva che le attività di incenerimento, altre attività di recupero in agricoltura vengono effettuati essenzialmente sui fanghi prodotti dal trattamento di acque reflue urbane. Questo risultato è spiegato dalla presenza più consistente di metalli pesanti ed altri contaminanti sui fanghi prodotti dal trattamento di depurazione dei reflui di origine industriale, che ne limitano e condizionano le operazioni di recupero. Questo ne limita il loro impiego in agricoltura, secondo quanto previsto dal D.Lgs. n. 99/1992. In **allegato 3** è riportata una tabella, dove sono stati raccolti i dati, meno importanti, relativi ad altre tipologie di smaltimento (le più frequenti) che ciascuna regione effettua, ad eccezione dello smaltimento in discarica ed in incenerimento già visto nella **tabella 3.1**.

### **3.3 Risultati della raccolta dati sul territorio regionale**

In questo paragrafo si riassume la situazione specifica per ciascuna regione partecipante ai TTI. I dati, a cui si riferiscono i vari commenti riportati su ciascuna regione, sono quelli reperiti nei questionari e riportati in **allegato 3**.

#### **Regione Abruzzo**

La regione Abruzzo non dispone di una normativa regionale specifica riguardante il recupero di fanghi di depurazione in agricoltura, inoltre non ha approvato un programma per la riduzione del conferimento di rifiuti biodegradabili in discarica. Sono presenti in **allegato 3** i dati relativi alla produzione di ciascuna tipologia di fanghi ed il dato di produzione complessiva relativo agli anni 2003 (solo per il fango codice CER 190805) e 2004. La produzione maggiore si ha per i fanghi con codice CER 190805 (fanghi derivati da processi di depurazione delle acque reflue urbane) e con codice CER 03 (fanghi prodotti dal trattamento di reflui da industria del legno). La **tabella A 3.3**, riportata in allegato 3, relativa alla destinazione del fango totale prodotto si riferisce all'anno 2003. In Abruzzo gran parte del fango prodotto viene riutilizzato per altri recuperi, solo i fanghi appartenenti alla classe 02 (prodotti dal trattamento di reflui industriali alimentari) vengono recuperati in agricoltura. L'unica tipologia di fango che viene recuperata come compost è il 190805, cioè il fango prodotto da trattamenti di depurazione di reflui civili. Non vengono praticate attività di smaltimento di fanghi in incenerimento per il recupero di energia. In tabella A 3.14 viene riportata la quantità di fango 190805 destinata ad altri smaltimenti (573 ton/anno vengono inviati al trattamento chimico-fisico, mentre 1,27 ton/anno vanno allo stoccaggio). Il dato di produzione totale dei fanghi fornito dal MUD comprende sia i fanghi che provengono da altre regioni, sia quelli che vengono destinati allo smaltimento in altre regioni, quindi più che parlare di dato di produzione, sarebbe più corretto dire che si tratta di un dato di gestione.

In provincia di Teramo esiste un impianto che effettua il recupero di fanghi di depurazione per la produzione di compost di qualità e F.O.S. I quantitativi riutilizzati nell'anno 2002 sono riportati in **tabella 3.5**.

**Tabella 3.5** Riutilizzo fanghi da depurazione – Provincia di Teramo 2002.

CODICE CER	Quantità (kg/anno)
190805	1.175.640
190812	389.720
190814	2.100.520

Inoltre, una piccola quantità di fanghi viene impiegata nel ciclo produttivo dei cementifici e negli impianti per la produzione di laterizi. Nel questionario inviato dalla regione Abruzzo non viene riportato il dato relativo alla superficie agricola complessivamente interessata allo spandimento dei fanghi di depurazione, inoltre non sono state effettuate, in tale regione, delle analisi che permettono di stabilire l' idoneità di un fango allo spandimento sul terreno agricolo conformemente a quanto riportato in allegato IB nel D.Lgs. n. 99/1992.

### **Regione Basilicata**

La Basilicata ha regolamentato le modalità di recupero dei fanghi di depurazione attraverso la LR n. 12 del 2/03/1994, inoltre la regione ha approvato un programma per la riduzione del conferimento di rifiuti biodegradabili in discarica con la delibera n. 1904 del 2004. Come riportato in **allegato 3**, è stato fornito il dato stimato per il 2004 relativo alla quantità totale di fanghi provenienti da trattamento di acque reflue, codice CER 190805. L'informazione è riportata nella seguente **tabella 3.6**:

**Tabella 3.6** Quantità totale di fanghi di depurazione prodotti in Basilicata nell'anno 2004.

Produzione fanghi stimata al 2004	Procapite (grammi/giorno)	Totale (t/anno)
	150	32.000

La maggior parte dei fanghi è smaltita in discarica, una piccola percentuale è destinata al compostaggio e sono presenti alcuni casi di riutilizzo in agricoltura, ma non sono disponibili i relativi quantitativi. Per quanto concerne lo smaltimento in agricoltura, per l'anno 2004, risulta che i fanghi prodotti in due depuratori della Val d'Agri (PZ), sono riutilizzati in aree limitrofe nel territorio del Comune di Aliano (MT). In **tabella 3.7** sono riportati i dati relativi alle quantità riutilizzate.

**Tabella 3.7** Quantità totale di fanghi di depurazione prodotti utilizzata in agricoltura (anno di riferimento: 2004)

Depuratore	QUANTITÀ TOTALE: 190 (t)
Sant'Arcangelo (PZ)	127
Spinoso (PZ)	63

Nuove richieste di autorizzazione al riutilizzo dei fanghi in agricoltura sono state avanzate nel corso del 2005, ma sono in attesa di approvazione da parte della Regione Basilicata. In **tabella 3.8** è riportato il quantitativo di superficie agricola complessivamente utilizzata all'applicazione di fanghi di depurazione per fonte di produzione.

**Tabella 3.8** Superficie totale interessata dallo spandimento dei fanghi di depurazione (anno di riferimento: 2004)

Depuratore	SUPERFICIE TOTALE: 11,67 ha
Sant'Arcangelo (PZ)	8,47
Spinoso (PZ)	3,20

Per quanto riguarda le analisi sui fanghi, non risultano eseguiti controlli specifici sul fango prodotto e sull' idoneità di quest'ultimo per utilizzi in agricoltura e compostaggio.

### **Provincia di Bolzano**

La provincia di Bolzano non ha regolamentato le modalità di recupero dei fanghi di depurazione, ma ha approvato un piano per la riduzione del conferimento di rifiuti biodegradabili in discarica con Delibera n. 6801 dell'8/10/1993.

Nella provincia di Bolzano nell'anno 2003 sono state prodotte circa 54.830 ton/anno di fanghi di depurazione con codice CER 190805, con un contenuto in sostanza secca del 18% corrispondente, quindi, a 10.757 ton/anno di sostanza secca. Nel 2005 si è verificato un leggero aumento della produzione passando a 59.716 ton/anno di fanghi prodotti, con un contenuto in sostanza secca del 19%, corrispondente a 11.346 ton/anno. Quasi tutti i maggiori impianti di depurazione presenti in provincia di Bolzano effettuano un trattamento anaerobico dei fanghi. Attualmente circa 3.000 ton di fango (pari a 750 tonnellate di sostanze secca all'anno) vengono conferite ad un impianto per la produzione di laterizi. Esistono, inoltre, alcuni piccoli impianti di compostaggio dei fanghi di depurazione. In particolare l'impianto di Prato allo Stelvio nel 2005 ha trattato circa 84 ton di sostanza secca. A Tires è in funzione un impianto di essiccamento solare, che nel 2005 ha trattato 13 ton di sostanza secca. La maggior parte del fango prodotto in provincia di Bolzano viene comunque conferita ad impianti di compostaggio o condizionamento, ubicati fuori provincia, per essere riutilizzati in agricoltura. Considerando che in Alto Adige risulta difficile riutilizzare i fanghi di depurazione nell'agricoltura, per via dei divieti posti nella produzione di prodotti di qualità e che il riutilizzo e smaltimento fuori provincia diventa sempre più problematico ed oneroso, il Piano Provinciale Gestione Rifiuti ha stabilito la necessità di adattare la tecnologia di incenerimento con recupero energetico.

In particolare il Piano ha definito la costruzione di due impianti di termovalorizzazione dei fanghi presso i depuratori di Termeno e Tobl, dato che qui sono già attivi degli impianti di essiccamento: così sarà possibile riutilizzare il calore prodotto come energia per l'impianto di essiccamento con una riduzione dell'energia primaria necessaria all'essiccamento di circa 70 - 80%. Nel questionario (**allegato 3**) sono stati richiesti i dati relativi alla quantità di fanghi con codice CER 190805 smaltiti in discarica o recuperati in agricoltura, compostaggio, incenerimento ed altri recuperi. Quest'ultimo dato fa riferimento al recupero di fango destinato alla produzione di laterizi, anche se il codice ufficiale è R3 (operazione di recupero di fanghi in compostaggio). Le osservazioni più significative, a tale proposito, sono un consistente aumento della quantità di fanghi recuperati in agricoltura (da 7.438 ton/anno a 19.468 ton/anno). La provincia di Bolzano ha effettuato anche dei controlli volti a caratterizzare i fanghi di depurazione in base ai parametri di cui all'allegato IB del D.Lgs. n. 99/1992.

### **Regione Campania**

Non è noto il quantitativo complessivo dei fanghi provenienti dagli impianti di depurazione presenti nella regione. La stessa Regione non ha assunto una specifica normativa per il

riutilizzo in agricoltura e comunque tale modalità di recupero dei fanghi non è utilizzata per quanto a conoscenza di ARPAC.

Gli unici dati disponibili sono relativi alla Provincia di Caserta: dagli stessi risulta che negli anni 2003 e 2004 la quasi totalità dei fanghi provenienti dagli impianti di depurazione di acque reflue urbane è stata recuperata mediante compostaggio. Nel 2005 tale quantità è calata a causa della chiusura, da parte dell'Autorità Giudiziaria, di n. 3 centri di compostaggio presenti sul territorio provinciale, mentre risulta incrementata la quantità smaltita in discarica. Al momento, non risultano disponibili dati sui fanghi provenienti da depurazione di acque reflue industriali.

### **Regione Emilia Romagna**

La regione Emilia Romagna ha regolamentato le modalità di recupero dei fanghi di depurazione attraverso diversi provvedimenti (si veda la **tabella 2.1**). La regione Emilia Romagna ha elaborato una proposta di Linee Guida per il programma di riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica: "Attuazione della Direttiva n. 31/1999 relativa alle discariche dei rifiuti", ma tale proposta non è consultabile in quanto non è stata proposta al parere delle province. Nell'**allegato 3** sono riportati i quantitativi di fango per codice CER prodotti nell'anno 2003; i fanghi maggiormente prodotti sono: CER 190805 (fanghi prodotti dal trattamento di acque reflue urbane), 02 (fanghi prodotti dal trattamento dei reflui provenienti da industrie alimentari), 190814 (fanghi prodotti da altri trattamenti delle acque reflue industriali diversi da quelli corrispondenti alla voce 190813 (fanghi contenenti sostanze pericolose prodotti dal trattamento di acque reflue industriali). La destinazione di tali fanghi è prevalentemente agricola, soprattutto per quanto concerne i fanghi prodotti dal trattamento degli effluenti urbani. I fanghi destinati all'attività di compostaggio sono quelli con codice CER 02 (reflui industriali di origine alimentare), mentre vengono destinati ad incenerimento essenzialmente fanghi provenienti da trattamento di acque reflue urbane. Nella tabella relativa all'utilizzo del fango prodotto (si veda l'**allegato 3**) risulta che nell'anno 2003 l'8,4% è stato smaltito in discarica, il 5,2% è stato smaltito con incenerimento, il 9,1 % è stato utilizzato per attività di compostaggio e il 55,5% è stato utilizzato in agricoltura.

Nel biennio 2003-2004 risulta stimata una superficie agricola complessivamente interessata allo spandimento dei fanghi di depurazione pari a 5.800 ha. Per ora non sono disponibili i dati analitici prodotti dalle diverse Sezioni Provinciali dell'ARPA EMR per verificare l'idoneità dei fanghi al loro utilizzo in agricoltura. Sempre in allegato 3 è riportata una tabella con le rispettive quantità di ciascuna tipologia di fango destinata a trattamenti biologici o chimico fisici o inviati allo stoccaggio prima di essere definitivamente smaltiti. Da un'analisi svolta nel 2005 sono stati reperiti, relativamente agli impianti di trattamento di potenzialità superiore a 15.000 AE in area normale (non sensibile ai sensi del D.Lgs. n. 152/2006) e 10.000 AE in area sensibile, i quantitativi di fango smaltiti in Emilia-Romagna nel 2004 e stimati quelli di impianti di potenzialità compresa fra 2.000-10.000 AE. Tali quantitativi risultano pari a circa 300.000 ton di fango tal quale (quindi nel peso è compreso quello dell'acqua presente) con un'umidità media di circa l'82%. La principale tipologia di smaltimento in Emilia-Romagna risulta essere lo spandimento agronomico, effettuato per il 59% dei quantitativi di fango prodotti. L'incenerimento viene attuato nell'impianto che opera al servizio del capoluogo regionale, oltre ad essere una tecnica di smaltimento effettuata, negli ultimi anni, anche per una parte dei fanghi prodotti dall'impianto di Piacenza.

Dal quadro emerge una sostanziale costanza nelle tipologie di smaltimento effettuate; in particolare si osserva come la quota parte dei fanghi che vengono riutilizzati in agricoltura (direttamente o previo compostaggio) sia lievemente diminuita nell'ultimo anno censito: dal 71% del 2002 al 68% del 2004. Risulta comunque notevole la riduzione dei fanghi portati a

compostaggio (da 18% a 9%), mentre quelli smaltiti direttamente in agricoltura sono leggermente aumentati (da 53% a 59%).

Visti i differenti trattamenti che tali fanghi subiscono prima dello smaltimento rispetto a quelli smaltiti in discarica, si è ritenuto necessario introdurre un'ulteriore voce “Altro” nella seguente **tabella 3.9**, differenziandola dalla colonna “Discarica”.

**Tabella 3.9** Quantitativi di fango tal quale (t/y) smaltiti, per classe di potenzialità dell'impianto di trattamento e per tipologia di smaltimento (anno 2004).

Classe (AE)	Fango tal quale (t/y)	Agricoltura		Compostaggio		Discarica		Incenerimento		Altro	
		(t/y)	(%)	(t/y)	(%)	(t/y)	(%)	(t/y)	(%)	(t/y)	(%)
2.000-10.000	55.002	36.394	66	3.429	6	14.405	26	773	1	0	0
10.001-15.000	13.021	7.981	61	2.759	21	2.281	18	0	0	0	0
15.001-100.000	68.295	54.280	79	4.229	6	7.540	11	55	0	2.192	3
>100.000	164.867	78.889	48	18.182	11	41.299	25	23.273	14	3.224	2
Totale	301.185	177.544	59	28.599	9	65.525	22	24.101	8	5.416	2

Nel 2004 è stata, inoltre, riscontrata per la provincia di Ravenna la presenza di fanghi utilizzati per la realizzazione di un sistema di copertura definitivo di una discarica (capping). Negli impianti analizzati, di potenzialità superiore a 10.000 AE, la linea di trattamento dei fanghi possiede quasi sempre un trattamento di disidratazione meccanica, che viene di norma eseguita tramite nastropressa o centrifuga. I letti di essiccamento presenti in molti impianti vengono di norma utilizzati solo in caso di emergenza o nei periodi in cui viene effettuata la manutenzione ordinaria degli apparecchi sopra citati.

### **Friuli Venezia-Giulia**

Nella regione Friuli Venezia-Giulia non si è regolamentata la modalità di recupero dei fanghi di depurazione mediante utilizzo su suolo agricolo o compostaggio. È stato realizzato da ARPA Friuli Venezia-Giulia e recentemente approvato dalla Giunta Regionale (ottobre 2006) il *Programma regionale per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica*, sulla base del D. Lgs. n. 36/2003. Per la sua realizzazione sono state seguite le regole previste nel documento di indirizzo approvato dalla conferenza Stato-Regioni, nel quale non si citano i rifiuti biodegradabili non urbani; pertanto i fanghi non vengono trattati. Gli stessi però sono oggetto di studio nel *Piano regionale di gestione dei rifiuti – Sezione rifiuti speciali non pericolosi e rifiuti speciali pericolosi, nonché Sezione rifiuti urbani pericolosi*. Anche questo piano è stato recentemente approvato dalla Giunta Regionale (ottobre 2006).

In **allegato 3** è riportata la quantità di ciascun fango prodotta nell'anno 2003. I fanghi provenienti dai trattamenti di depurazione dei reflui urbani sono i più rappresentativi. In Friuli Venezia-Giulia risulta che gran parte dei fanghi prodotti vengono utilizzati in agricoltura. Per quanto riguarda l'incenerimento, l'inceneritore di Trieste è stato autorizzato nel 2004, in via sperimentale e provvisoria, a trattare rifiuti classificati con CER 19 08 05 *fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane*. Allo stato attuale risulta in fase conclusiva uno studio tecnico-economico relativo all'implementazione tecnologica necessaria all'impianto stesso, al fine di gestire in maniera idonea tale tipologia di rifiuti.

Non sono stati raccolti nemmeno dati relativi al controllo sull'idoneità dei fanghi di depurazione applicati al terreno, per vedere se le concentrazioni dei metalli pesanti rientrano nei limiti di legge (allegato IB del D.Lgs. n. 99/1992).

### **Regione Lazio**

Nella regione Lazio non risulta regolamentato il recupero di fanghi di depurazione con normativa regionale specifica, nè è stato predisposto un programma per la riduzione del conferimento di rifiuti biodegradabili in discarica. In **allegato 3** si vede che i fanghi maggiormente prodotti nell'anno 2003 sono: CER 190805 (fanghi prodotti dal trattamento di acque reflue urbane), CER 190814 (fanghi prodotti da altri trattamenti di acque reflue industriali, diversi da quelli del CER 190813). Sono molto carenti e da considerare solo indicativi i dell'utilizzo che è stato fatto per i fanghi prodotti nell'anno 2003, inoltre mancano i dati relativi alla voce "altri recuperi"; alcuni tipi di fanghi vengono recuperati in agricoltura, anche se non si ha un dato preciso sulla quantità di fango utilizzato per tale attività. Non sono stati segnalati casi importanti di recupero fanghi in questa regione.

### **Regione Molise**

La Regione Molise non ha regolamentato il recupero di fanghi di depurazione ed attualmente non dispone di un programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili in discarica. Da parte della Direzione Generale dell'ARPA Molise (Sezione Catasto Rifiuti) è stato condotto nel 2005 uno studio sulle modalità di smaltimento dei fanghi prodotti da depuratori civili e dagli impianti industriali più importanti che insistono nel territorio regionale. Dallo studio è emerso che, per i fanghi di provenienza civile, la maggior parte dei depuratori ha come linea di trattamento fanghi solo i letti di essiccamento: il 66% per la provincia di Campobasso e il 68% per la provincia di Isernia. Da una valutazione delle quantità prodotte si è verificato che per la provincia di Campobasso il 69% dei fanghi provenienti da depuratori civili viene conferito presso un impianto di compostaggio e biostabilizzazione ed una piccola parte viene smaltita direttamente in discarica; il restante non è dichiarato. Solo una parte dei fanghi prodotti da un impianto industriale della provincia di Campobasso vengono recuperati in agricoltura.

Per la provincia di Isernia il 21% dei depuratori smaltisce i fanghi con operazione D9 (trattamento chimico-fisico non specificato altrove), presso altri impianti di depurazione, mentre per il restante 79% non è dichiarato lo smaltimento. Gli impianti di depurazione industriali, invece, sono tecnicamente più complessi e tutti hanno nella linea di trattamento fanghi la disidratazione meccanica. Questi, essendo impianti con maggiori capacità depurative, raccolgono spesso anche i fanghi prodotti dagli impianti di depurazione urbani. La destinazione dei fanghi prodotti da quest'ultimi, per la maggior parte, è la discarica.

In **allegato 3** vengono riportati i quantitativi di fanghi prodotti nell'anno 2005, distinti per codici CER, per quanto riguarda l'anno 2003, i dati sono stati riportati in **tabella 3.1**. La quantità totale di fanghi prodotti, con codice CER 190805, è stata di 10.511,34 t/anno, di cui 5.036,34 prodotti in depuratori urbani, mentre 5.475 prodotti in depuratori industriali, che trattano anche reflui urbani. Come si vede dalla tabella 3.1, gran parte del fango prodotto è stato recuperato in agricoltura e compostaggio; è da segnalare che 127,39 t/anno sono state destinate per altri smaltimenti e 1.834,52 t/anno sono state smaltite fuori regione (destinazioni non conoscibili). Nel 2005 è risultato che la quantità di terreno sulla quale sono stati applicati i fanghi di depurazione è di 513,26 ha. In regione, per il 2005, sono stati interessati 3 siti dedicati al riutilizzo dei fanghi in agricoltura:

- in Provincia di Isernia, in agro di Pozzilli, vengono smaltiti i fanghi prodotti da una ditta di lavorazione di pomodori (industria agroalimentare) che ha la sua sede di produzione in Campania;
- in agro di Petacciato (CB) vengono smaltiti i fanghi prodotti dall'impianto che depura e raccoglie fanghi prodotti in parte nella regione Molise, in parte nella regione Abruzzo;

- in agro di Campomarino (CB), infine, vengono smaltiti i fanghi prodotti da una ditta di lavorazione di sottoprodotti della macellazione.

L’ARPA Molise non effettua ancora analisi sui fanghi che vengono smaltiti in agricoltura se non su richiesta di altri organi esterni.

### Regione Liguria

La Regione Liguria non ha regolamentato il recupero di fanghi di depurazione. In Liguria i fanghi sono, per la quasi totalità, inviati allo smaltimento in discarica, salvo alcuni casi in cui vengono recapitati ad impianti di compostaggio al di fuori della regione Liguria (nel Piano di Tutela delle Acque, al paragrafo 4.4.1.1.3, si legge “Al momento è noto che sul territorio regionale non vengono utilizzati in agricoltura fanghi di depurazione e che, quando la tipologia del fango lo consente, vengono recapitati ad impianti specializzati nell’ulteriore trattamento ai fini del riutilizzo in agricoltura localizzati fuori regione”).

Si noti, inoltre, che in Liguria non esiste alcun impianto di incenerimento. Non sono ad oggi disponibili dati relativi alla produzione di fanghi direttamente dai gestori: gli unici dati disponibili sono quelli ricavati dalla dichiarazione MUD (codice CER 190805 “fanghi prodotti dal trattamento di acque reflue urbane”) e, quindi, di difficile correlazione con il depuratore che li ha prodotti ed analogamente di difficile individuazione della destinazione finale. Nella seguente **tabella 3.10** è riportato il quantitativo di fanghi di depurazione prodotti tra il 1998 e il 2004 nella regione Liguria. In **allegato 3** sono riportate le quantità di fanghi, per codici CER, prodotti in Liguria nell’anno 2004 ed il loro smaltimento e recupero. In un secondo momento, ci sono pervenuti i dati del 2003; tali dati si riferiscono alla quantità totale di fanghi di depurazione civili prodotti e le rispettive destinazioni di quest’ultimi (si veda la **tabella 3.1**). Inoltre, si vuole evidenziare che 18.988 t/anno di fango con codice CER 190805 sono state destinate ad altri smaltimenti: 12.004 t/anno passano attraverso un trattamento biologico, 91 t/anno vanno al trattamento chimico-fisico ed, infine, 6.893 t/anno vengono raggruppati prima di essere sottoposti a qualche altro tipo di smaltimento.

**Tabella 3.10** Andamento temporale del fango prodotto in Liguria.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<b>fanghi prodotti (t)</b>	50.451	41.847	46.138	53.106	51.855	56.219	54.554

Relativamente agli impianti di compostaggio sono presenti 4 impianti le cui caratteristiche sono riportate nella **tabella 3.11**.

**Tabella 3.11** Caratteristiche dimensionali degli impianti di compostaggio

Impianti	Rifiuto trattato (t/a)	Tipologie del rifiuto trattato (t/a)				Tecnologia		Output dell'impianto (t/a)	Stato operativo
		Fraz. org. Selez. CER 200108	Verde CER 200201	Fanghi	Altro	Tecnologia fase di bio-ossidazione	Insufflazione aria	Prodotti in uscita	
<b>Impianto 1</b>	< 3000	030101-030105-030301-030199-150103-200138-200101				Cumolo statico areato	X	ammendante compostato verde	operativo
<b>Impianto 2</b>						Biocelle	X	ammendante compostato verde	in costruzione
<b>Impianto 3</b>	< 3000	200201				Cumolo statico		ammendante compostato verde	operativo
<b>Impianto 4</b>	< 9000	200108-200302-020103-030101-030105-030301-020304-020501-020701-020702-020704-150103-200138-200201				Cumolo con rivoltamento areato	X	ammendante compostato verde	Operativo

### **Regione Sicilia**

In Sicilia sono state recuperate delle informazioni dal Dipartimento Territorio ed Ambiente della Regione Siciliana sui fanghi di depurazione prodotti dalle industrie alimentari e riutilizzati in agricoltura. Tali fanghi sono rappresentati con il codice CER 020305 e risultano, nell'anno 2005, pari a 172,072 t/anno; la totalità di questi fanghi è stata utilizzata in agricoltura. Per quanto riguarda il fango 190805, l'unico dato stimato in Sicilia è stato quello relativo alla produzione totale di tale fango; essa è risultata pari a 126.500 t/anno. Questo dato è relativo all'anno 2005 e copre soltanto circa il 50% dei comuni siciliani.

### **Regione Puglia**

In Puglia non si hanno dati relativi alle quantità di fanghi prodotte suddivise per tipologia secondo i codici CER (la gestione del Catasto Rifiuti presso ARPA Puglia non è ancora iniziata). Per quanto concerne l'utilizzo dei fanghi prodotti nei processi di trattamento delle acque reflue civili, la pratica è già in atto presso quasi tutti gli impianti di depurazione, con l'intenzione di riutilizzarli in agricoltura. È in corso l'attuazione di un progetto-studio promosso dal gestore AQP SpA (Acquedotto Pugliese) con la partecipazione dell'ARPA per la produzione di compost dai fanghi di depurazione.

### **Regione Lombardia**

La regione Lombardia ha regolamentato il riutilizzo di fanghi di depurazione in agricoltura e compostaggio, inoltre ha predisposto un programma per la riduzione di rifiuti biodegradabili in discarica. I dati pervenuti da tale regione si riferiscono ai fanghi di depurazione prodotti dal trattamento di acque reflue urbane (quelli con codice CER 190805). I valori sono quelli riportati nella precedente **tabella 3.1**.

In Lombardia gran parte dei fanghi gestiti viene recuperata come compost per attività agricole. Solo una piccola percentuale viene bruciata all'inceneritore, o viene smaltita in trattamenti biologici e chimico-fisici effettuati. Non è stato riportato nel questionario il dato relativo alla quantità di superficie agricola interessata allo spandimento dei fanghi di depurazione prodotti: se si considerano i quantitativi dichiarati per lo spandimento in terreno, ipotizzando un contenuto del 20% in secco, si ottiene una superficie di spandimento pari a circa 16.000 ha; se si considerano, invece, i quantitativi di fango autorizzati allo spandimento, ipotizzando sempre un contenuto in secco del 20%, si ottiene una superficie di spandimento pari a 32.000 ha. In Lombardia si sta attuando una raccolta di dati più precisa, basata sul recupero dei dati inerenti al fango prodotto da ciascun gestore presente nel territorio regionale ed i rispettivi destinatari a cui il gestore invia il fango prodotto: questo è importante per stabilire se i fanghi prodotti all'interno di una regione sono gestiti dalla stessa, oppure vengono destinati ad altre regioni.

### **Regione Toscana**

La Regione Toscana non ha una specifica regolamentazione per l'impiego dei fanghi di depurazione in agricoltura e per il compostaggio, ma ha approvato un programma per la riduzione di rifiuti biodegradabili in discarica. I dati relativi al quantitativo di fango prodotto per codice CER sono stati riportati nell'**allegato 3**. Oltre alla notevole quantità di fango prodotto dalla depurazione del refluo urbano, vi è una notevole quantità di fanghi provenienti dal trattamento di reflui industriali, in particolare da industrie che lavorano le pelli, la carta e quelli provenienti da processi di natura inorganica. Le diverse destinazioni di tali fanghi sono riportate in **allegato 3**. Vi è una sostanziale omogeneità nel recupero/smaltimento dei fanghi. Quello che si osserva di positivo è la scarsa quantità di fanghi che vengono immessi in discarica, soprattutto quelli con codice CER 190805. Nel questionario non è stato riportato il

dato relativo alla quantità di superficie interessata allo spandimento del fango di depurazione prodotto.

### **Regione Umbria**

In Umbria è stata emanata una specifica normativa per il riutilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura, inoltre sono state imposte delle norme sulla gestione integrata dei rifiuti e sull'approvazione del Piano Regionale. Per l'Umbria sono pervenuti dati relativi al quantitativo di fanghi prodotti per singola Autorità d'ATO. Nel 2005 si è registrata una produzione complessiva di fanghi di depurazione pari a 30.763 t/anno, di cui 81,8% va in discarica, 10,7% viene conferito presso terzi e 0,75% viene utilizzato in agricoltura. Nelle **tabelle 3.12, 3.13 e 3.14** vengono riportati alcuni dati significativi riprodotti dalla regione Umbria.

**Tabella 3.12** Produzione BIOGAS da impianti di trattamento reflui zootecnici.

<b>Ente /Aziende</b>	<b>Produzione Annu</b>
S.I.A. - MARSCIANO Azienda che tratta reflui zootecnici provenienti da allevamenti convenzionati.	<u>2.500.000 m<sup>3</sup>/anno</u>
C.O.D.E.P. -BETTONA Azienda che tratta reflui zootecnici provenienti da allevamenti convenzionati	<u>2.425.428 m<sup>3</sup>/anno</u>
Impianti Dep. civile	<u>Non rilevata dai gestori.</u>

**Tabella 3.13** Produzione di COMPOST da reflui zootecnici.

<b>Ente /Aziende</b>	<b>Produzione Annu</b>	<b>Utilizzo</b>
S.I.A. - MARSCIANO Azienda che tratta reflui zootecnici provenienti da allevamenti convenzionati. Utilizza frazione solida del processo integrando con lettiera avicole provenienti da altre sedi	<u>3.000 t/anno</u>	<u>100% agricoltura</u>
C.O.D.E.P. -BETTONA Azienda che tratta reflui zootecnici provenienti da allevamenti convenzionati	<u>13.000 t/anno</u>	<u>100% agricoltura</u>
Compostaggio del liquame tal quale prodotto da allevamenti suinicoli (7 aziende)	<u>4.000 t/anno</u>	<u>100% agricoltura</u>

**Tabella 3.14** Reflui suinicoli trattati in impianti di depurazione.

<b>Ente /Aziende</b>	<b>Refluo in ingresso</b>	<b>Effluente trattato</b>	<b>Utilizzo</b>
S.I.A. - MARSCIANO Azienda che tratta reflui zootecnici provenienti da allevamenti convenzionati. Utilizza frazione solida del processo integrando con lettiera avicole provenienti da altre sedi	<u>146.000 m<sup>3</sup>/anno</u>	<u>116.000 m<sup>3</sup>/anno</u>	<u>100% agricoltura</u>
C.O.D.E.P. -BETTONA Azienda che tratta reflui zootecnici provenienti da allevamenti convenzionati	<u>400.000mc/anno</u>	<u>320.000mc/anno</u>	<u>100% agricoltura</u>

Queste tabelle mettono in evidenza che in regione Umbria è molto utilizzata la tecnica di recupero dei fanghi di depurazione in agricoltura e compostaggio. Nel successivo Capitolo 4 viene trattato un caso di studio inerente alla tecnica di compostaggio che viene utilizzata in Umbria, evidenziando i vantaggi e gli svantaggi che questa può comportare.

### **Regione Marche**

La regione Marche ha regolamentato il riutilizzo ed il recupero dei fanghi di depurazione in agricoltura ed il compostaggio. Il dato riportato in **tabella 3.1** riguarda la quantità totale di fanghi prodotta nel 2005, comprendente i dati parziali di tre Autorità d'ATO su cinque presenti nella regione Marche. Dai dati relativi allo smaltimento e recupero dei fanghi di depurazione, si vede che, in tale regione, gran parte del fango prodotto viene inviato in discarica. Solo una piccola percentuale viene recuperata per la produzione di compost e di questa piccola quantità solo 1/8 circa viene applicato come fertilizzante e concimante nei terreni agricoli. Nel questionario non è presente il dato relativo alla quantità di superficie in cui si è utilizzato il fango recuperato, inoltre non sono stati riportati i risultati delle analisi sui controlli effettuati per verificare l'idoneità del fango utilizzato in agricoltura.

### **Regione Veneto**

In Veneto si è regolamentato il recupero dei fanghi di depurazione attraverso la Deliberazione della GRV n. 3247/1995 (si veda l'**allegato 2**), inoltre è stato approvato un programma per la riduzione del conferimento di rifiuti biodegradabili in discarica. In **allegato 3** sono riportati i quantitativi di fango prodotti nell'anno 2004, suddivisi per codici CER. I fanghi maggiormente prodotti in Veneto sono: codice CER 190805 (fanghi prodotti dal trattamento di acque reflue urbane), codice CER 190814 (fanghi prodotti da altri trattamenti di acque reflue industriali diversi da quelli del codice CER 190813), CER 03 (fanghi prodotti dal trattamento dei reflui da industria del legno). Gran parte di tali fanghi va in discarica, oppure viene recuperato in agricoltura e compostaggio. A tale proposito nel successivo punto verrà approfondito un caso di studio relativo al monitoraggio sul riutilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura. In **tabella 3.1** sono stati riportati i dati del fango CER 190805 relativi all'anno 2003. Gran parte del fango prodotto viene recuperato come compost prodotto in attività agricola, per proteggere il terreno da sostanze che possono nuocere ai prodotti agricoli.

### **Provincia di Trento**

La provincia di Trento non ha predisposto una normativa sul recupero e riutilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura e compostaggio. I dati pervenuti sono risultati incompleti e riguardano la produzione di fanghi relativi solo ad alcuni codici CER (riportati in **allegato 3**). Mancano informazioni sulla modalità di smaltimento e recupero che si fa dei fanghi prodotti.

## 4. Casi di studio

Nell'ambito del TTI, dovendo produrre un rapporto esemplificativo e di supporto a livello Italiano, si è deciso di presentare con il supporto delle Agenzie partecipanti al TTI alcuni esempi specifici ritenuti di validità ed interesse generale e significativi quali casi di studio relativamente al recupero di materia ed energia dai fanghi da depurazione pubblica. Le attività di recupero individuate si possono sintetizzare nelle seguenti:

- recupero di materia:
  - smaltimento dei fanghi in agricoltura;
  - compostaggio
- recupero di energia:
  - incenerimento;
  - digestione anaerobica.

Tali esperienze vengono riportate a livello esemplificativo anche per costituire indirizzi e linee guida di riferimento. I casi di studio sono stati ricercati nei territori di competenza delle Agenzie partecipanti all'attività 4 (Veneto, Emilia-Romagna, Friuli Venezia-Giulia, Umbria). Sono stati scelti dei casi di studio specifici per tipologia di utilizzo e recupero dei fanghi prodotti nei processi di depurazione delle acque reflue urbane. I casi di studio scelti riguardano:

- Veneto: un caso di studio sulla caratterizzazione dei fanghi da impianti di trattamento delle acque reflue urbane di potenzialità > 25.000 AE contenente anche le procedure di controllo dei fanghi;
- Veneto: protocollo operativo per la validazione del piano di campionamento dei terreni e dei relativi risultati analitici (vedi **allegato 4**); quest'ultimo più che caso di studio, può risultare utile come linea guida per il monitoraggio sui terreni cui viene applicato il fango di depurazione;
- Friuli Venezia-Giulia: caso di studio sull'incenerimento di fanghi e rifiuti (inceneritore di Trieste).
- Umbria: un caso di studio relativo al riutilizzo dei fanghi di depurazione in attività di compostaggio.

Inoltre è stato approfondito il trattamento biologico di digestione anaerobica dei fanghi di depurazione, in particolare sono stati riportati, da casi di studio reperiti in letteratura, dati caratteristici relativi a tale processo. Relativamente a tale argomento è stato riportato un caso di digestione anaerobica effettuata nell'impianto di depurazione di Verona e un caso di studio relativo all'impianto di Treviso, dove viene recuperata energia dal contenuto organico presente nei fanghi di depurazione e nella frazione biodegradabile dei rifiuti urbani.

### 4.1 Il monitoraggio nello smaltimento in agricoltura

Nel mese di giugno 2003 ARPAV ha presentato alla Regione Veneto una proposta di monitoraggio dei fanghi di depurazione prodotti nel Veneto, in particolare per quelli destinati all'utilizzo in agricoltura, per l'attuazione di una campagna di indagine, prevedendo un'analisi presso tutti i depuratori di acque reflue civili, o miste civili ed industriali, con potenzialità elevata ( $\geq 25.000$  AE).

In Veneto attualmente sono 51 gli impianti di depurazione con tale capacità di trattamento. A questi sono stati aggiunti altri due depuratori, Porto Viro e Badia Polesine (RO), con

potenzialità vicina a quella individuata o che trattano oltre a reflui civili anche reflui extra-fognari. L'elenco suddiviso per provincia è riportato nella **tabella 4.1**.

Il monitoraggio dei fanghi di depurazione proposto è stato strutturato su tre livelli fra loro integrati:

- 1) primo livello: prelievo ed analisi di un campione di fango presso tutti gli impianti di depurazione con potenzialità di trattamento superiore a 25.000 abitanti equivalenti; sui campioni prelevati è prevista l'analisi dei parametri previsti dalla tabella B1/1 della DGRV n. 3247/1995 (**allegato 1**); come prima campagna analitica l'indagine è estesa anche ai parametri IPA, PCB e diossine, inquinanti considerati prioritari, previsti dalla proposta di revisione della Direttiva 278/86/CEE (**allegato 2**). Potrebbero essere previsti anche alcuni prelievi a campione di fosse settiche, sicuramente civili, con le medesime analisi;
- 2) secondo livello: prelievo ed analisi di fanghi utilizzati in agricoltura, diversi da quelli già analizzati al livello 1, e può riguardare sia altri depuratori civili del Veneto di dimensioni inferiori ai 25.000 a.e., sia fanghi di depuratori civili provenienti da altre regioni, in particolare nel caso di impianti che eseguono il trattamento-miscelazione di fanghi (es. quelli in provincia di Rovigo), sia infine fanghi da depuratori di aziende agroalimentari; per questo livello il programma dovrebbe essere concordato per tempo, in modo da coprire nel tempo la maggior parte delle autorizzazioni esistenti; anche in questo caso è prevista l'analisi dei parametri di cui alla tabella B1/1 della DGRV n. 3247/1995, oltre ai microinquinanti organici nel primo anno con le stesse modalità del livello 1;
- 3) terzo livello: prelievo ed analisi di fanghi in entrata ad impianti di compostaggio e di compost ottenuti da fanghi di depurazione; sui campioni prelevati è prevista l'analisi dei parametri di cui alla tabella B della DGRV n. 766/2000 (allegato 3) con esclusione dei parametri microbiologici; in questo caso il campionamento e l'analisi è a cura dell'Osservatorio Rifiuti di ARPAV ad eccezione dei microinquinanti organici, da eseguire secondo le modalità già previste per i livelli precedenti.

**Tabella 4.1** Depuratori presso i quali sono stati prelevati i campioni di fango.

Provincia	N. depuratori >25.000 a.e	Località
<b>Belluno</b>	2	Feltre, Belluno
<b>Padova</b>	8	Padova, Codevigo, Cittadella, Vigonza, Conselve, Monselice, Abano, Cadoneghe
<b>Rovigo</b>	4	Rovigo Porta Po, Rovigo S. Apollinare, Castelmasa, Rosolina Mare, Porto Viro, Badia Polesine
<b>Treviso</b>	7	Conegliano, Castelfranco Salvatonda, Treviso, Paese, Castelfranco B. Padova, Cordignano, Montebelluna
<b>Venezia</b>	11	Fusina, Jesolo, Chioggia, S. Michele al T., Campalto, Caorle, Cavallino, Lido, S. Donà, Eraclea, Quarto d'Altino
<b>Verona</b>	8	Peschiera (2), Verona, S. Giovanni L., Legnago, Sommacampagna, Povegliano, S. Bonifacio, Cologne
<b>Vicenza</b>	11	Arzignano, Montebello, Trissino, Thiene, Vicenza Casale, Montecchio M., Bassano, Schio, Vicenza S. Agostino, Lonigo, Isola V.

Erano proposti, inoltre, degli approfondimenti sulla possibilità di utilizzo di test ecotossicologici per la valutazione della tossicità del fango che possano, in modo diretto, consentire l'individuazione di composti pericolosi senza la necessità di costose analisi chimiche. La Giunta Regionale con deliberazione 11/07/2003 n. 2090 ha finanziato il monitoraggio dei fanghi incaricando l'ARPAV di eseguire il primo livello della campagna sugli impianti pubblici di depurazione dei reflui civili ed assimilabili con potenzialità superiore a 25.000 AE.

#### **MODALITÀ DI ESECUZIONE DEL MONITORAGGIO**

I prelievi e sopralluoghi sono stati eseguiti dai Servizi Territoriali dei Dipartimenti Provinciali (DAP) dell'ARPAV sulla base di un programma concordato e coordinato dall'Osservatorio Regionale Suolo e Rifiuti.

L'attività è consistita in un prelievo di fango presso gli impianti di depurazione preventivamente individuati, con redazione del relativo verbale e consegna presso i laboratori; eventuali azioni aggiuntive relative a verifiche amministrative sono state rimandate ad una fase successiva se ritenute importanti in funzione dei risultati delle analisi e per una completa conoscenza della situazione.

Allo scopo di garantire la massima confrontabilità dei risultati sono state definite prima dell'avvio delle attività le modalità operative per l'esecuzione dei prelievi e la gestione dei campioni; si è costituito per questo un gruppo di lavoro, coordinato dall'Osservatorio Regionale Suolo e Rifiuti di ARPA, composto dai referenti di ciascun Dipartimento ARPAV Provinciale (DAP) per definire la procedura per il prelievo e la gestione dei campioni, i parametri da analizzare per ciascun prelievo, e per seguire la realizzazione del programma.

### Calendario dei prelievi

**Tabella 4.2** – Programma di esecuzione dei prelievi dei fanghi nelle varie province.

Settimana	BL	PD	RO	TV	VE	VR	VI	TOT
14-18 luglio	1	1	2				3	7
21-25 luglio	1			4			2	7
28 luglio-1 agosto			2	1	1	2		6
4-8 agosto				2	2	3		7
18-22 agosto		2			2		2	6
25-29 agosto		2			3		1	6
1-5 settembre		3			2		2	7
8-12 settembre			2		1	4		6
15-19 settembre							1	1
<b>TOTALE</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>54</b>

Il prelievo dei campioni è stato eseguito secondo il calendario riportato nella **tabella 4.2**, tenendo conto della necessità di limitare il numero di campioni consegnati ad un massimo di 7 per settimana e concentrando le consegne nella stessa giornata. I prelievi sono stati eseguiti presso i 53 depuratori elencati in **tabella 4.1**; presso il depuratore di Peschiera del Garda (VR) sono stati prelevati due campioni, per un totale complessivo di 54 campioni.

I campioni per le analisi delle diossine sono stati consegnati al laboratorio Co.Inca nel Venerdì della settimana prestabilita.

I campioni solidi sono stati congelati nei pochi casi in cui l'apertura era prevista dopo più di 7 giorni, altrimenti sono stati conservati a 4°C.

I campioni liquidi sono stati conservati solo a 4°C e, quindi, sono sempre stati avviati all'analisi entro la settimana del prelievo.

Il trasporto, anche per campioni congelati, è stato fatto a 4°C, temperatura a cui sono stati poi mantenuti fino al momento dell'apertura.

L'aliquota A (vedi procedura di campionamento) è stata suddivisa nelle seguenti tre frazioni:

- A/1 – frazione dell'aliquota A per il laboratorio DAP, contenitore in PET;

- A/2 – frazione dell'aliquota A per il laboratorio DAP che esegue l'analisi di IPA e PCB, contenitore in vetro (tipo Bormioli);
- A/3 – frazione dell'aliquota A per il laboratorio INCA, contenitore in vetro (tipo Bormioli).

Le aliquote A/2 predisposte dai DAP di Belluno, Rovigo, Treviso e Venezia sono state consegnate i campioni al Servizio Laboratorio del DAP di Venezia che ha provveduto all'analisi di IPA e PCB per tutti i 25 campioni dei 4 DAP. I DAP di Padova, Verona e Vicenza hanno consegnato invece al proprio Servizio Laboratorio.

L'apertura dei campioni c/o il laboratorio Co.Inca è stata eseguita alle ore 10<sup>00</sup> del martedì successivo al venerdì in cui è stato consegnato del campione, mentre per l'aliquota analizzata presso i laboratori ARPAV l'apertura è stata gestita da ciascun DAP.

## Risultati

Il dettaglio dei risultati ottenuti per ciascun parametro e campione è riportato nelle tabelle in appendice; di seguito si riportano alcune statistiche riassuntive accompagnate da brevi considerazioni tecniche con riguardo al rispetto dei limiti normativi di riferimento descritti nei paragrafi precedenti. Per comodità di rappresentazione i parametri sono stati considerati in quattro gruppi principali: diossine, IPA e PCB, metalli pesanti, altri parametri.

## Diossine

### *Riferimenti bibliografici*

Alcuni dati di bibliografia riferiscono di contenuti medi di diossina nei fanghi di depurazione civili o industriali attorno ai 50 ng TE/kg s.s., con valori che oscillano da un minimo di 7,6 ad un massimo di 192; l'EPA indica in 300 ng TE/kg il limite massimo accettabile di diossine in fanghi di depurazione destinati all'utilizzo in agricoltura. L'EPA ha condotto due campagne di monitoraggio sui fanghi di depurazione, la prima nel 1988 ha interessato 174 depuratori mentre la seconda nel 2001 ha coinvolto 94 depuratori; i risultati sono riportati nella tabella 3. L'Associazione delle Agenzie Metropolitane per la depurazione delle acque degli USA (AMSA) ha condotto due indagini sulla concentrazione di diossine nei fanghi di depurazione la prima nel 1995 su 74 campioni e la seconda nell'ottobre 2000 su 201 campioni di fango provenienti da 171 impianti di depurazione; i risultati sono riportati nella **tabella 4.3**.

**Tabella 4.3** Risultati di indagini condotte negli Stati Uniti sul contenuto di diossine (in ng TE/kg) nei fanghi di depurazione.

	<b>EPA 1988</b>	<b>EPA 2001</b>	<b>AMSA 1995</b>	<b>AMSA 2000</b>
N. depuratori	174	94	74	171
Media	46,5	21,7	60,5	41,1
Deviazione standard	153,0	47,5	--	--
Mediana	5,68	15,5	37,0	13,3

## RISULTATI DEL MONITORAGGIO NEL VENETO

I risultati del monitoraggio regionale sono riassunti nella **tabella 4.4**; il valore medio è pari a 11,28 ng TE/kg ma risente del valore massimo (80,61), notevolmente più elevato di tutti gli altri, ed infatti la mediana è pari a 8,07. La deviazione standard è relativamente elevata proprio per la presenza di alcuni campioni con concentrazioni superiori a 40 ng TE/kg.

**Tabella 4.4** Principali statistiche relative ai risultati dell’analisi delle diossine sui 54 campioni analizzati.

STATISTICHE	PCDD-PCDF TOTALI (ng TE/kg)
Media	11,28
Mediana	8,07
Deviazione Standard	12,37
Minimo	0,40
Massimo	80,61

Nella **tabella 4.5** è riportata una suddivisione in classi di concentrazione proposta sulla base del valore di 100 contenuto nella bozza di revisione della direttiva europea fanghi; dei 54 campioni analizzati nessuno presenta concentrazioni superiori a 100 mentre è stato riscontrato un solo valore (Fusina-Porto Marghera-VE) superiore ai 50 ng TE/kg, due valori (Schio e Thiene-VI) compresi fra 25 e 50, 13 (1 BL, 2 RO, 1 TV, 2 VE, 6 VI e 1 VR) fra 10 e 25, 30 fra 5 e 10 e 8 con meno di 5. La maggioranza dei campioni (55,6%) presenta valori di diossine compresi fra 5 e 10 ng TE/kg, dieci volte inferiori al valore di 100 proposto nella revisione della Direttiva Europea.

**Tabella 4.5** Suddivisione in classi sulla base della proposta di revisione della normativa europea.

Classi di concentrazione (ng TE/kg)	Numero campioni	%
<5	8	14,8
5-10	30	55,5
10-25	13	24,0
25-50	2	3,8
50-100	1	1,9
>100	0	0

### **Policlorobifenili (PCB) e Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)**

I risultati del monitoraggio sono riassunti nella **tabella 4.6** per i PCB e nella **tabella 4.8** per gli IPA; per entrambe le classi di composti sono state riportate le statistiche elaborate sia sui soli composti indicati dalla bozza di revisione della direttiva fanghi europea sia sul totale dei composti analizzati che, in alcuni casi, erano più di quelli indicati dalla citata proposta di norma. Per i PCB il valore medio è pari a 0,2 mg/kg e risente del valore massimo riscontrato pari a 1,2; la mediana infatti è pari a 0,1. Nella **tabella 4.7** è riportata una suddivisione in classi di concentrazione proposta sulla base del valore di 0,8 mg/kg contenuto nella bozza di revisione della direttiva europea fanghi; come fatto anche per gli altri elementi analizzati la classificazione è stata fatta considerando come limite superiore il limite di legge aumentato del 50%, quindi, per le classi via via inferiori, il limite di legge, lo stesso limite ridotto del 50% e dell’80%. Dei 54 campioni analizzati solamente uno (depuratore di Montecchio Maggiore-VI) presenta concentrazioni superiori a 0,8, 11 sono compresi tra 0,4 e 0,8, 10 tra 0,16 e 0,4 e la maggioranza dei campioni (59,2%) presenta valori inferiori a 0,16 mg/kg.

Per gli IPA il valore medio è pari a 1,8 mg/kg con un massimo di 9,3 ed una mediana è pari a 1,3. Nella **tabella 4.9** è riportata la suddivisione in classi di concentrazione proposta sulla base del valore di 6 mg/kg contenuto nella bozza di revisione della direttiva europea fanghi. Dei 54 campioni analizzati solamente due (depuratori di Fusina-VE e di Legnago-VR) presentano concentrazioni superiori a 6, 4 sono compresi tra 3,1 e 6, 21 tra 1,2 e 3 e la maggioranza dei campioni (50%) presenta valori inferiori a 0,16 mg/kg.

**Tabella 4.6** Principali statistiche relative ai risultati dell'analisi dei PCB sui 54 campioni analizzati.

STATISTICHE	PCB (mg/kg) DIRETTIVA UE	PCB (mg/kg) TOTALI
Media	0,2	0,4
Mediana	0,1	0,1
Deviazione Standard	0,2	0,5
Minimo	0,077	0,091
Massimo	1,2	1,4

**Tabella 4.7** Suddivisione in classi sulla base della proposta di revisione della normativa europea.

Classi di concentrazione (mg/kg)	Numero campioni	%
0,16	32	59,2
0,16-0,40	10	18,5
0,41-0,80	11	20,4
0,81-1,2	1	1,9
>1,2	0	0

**Tabella 4.8** Principali statistiche relative ai risultati dell'analisi degli IPA sui 54 campioni analizzati.

STATISTICHE	IPA (mg/kg) DIRETTIVA UE	IPA (mg/kg) TOTALI
Media	1,8	2,8
Mediana	1,3	2,0
Deviazione Standard	1,7	2,8
Minimo	0,25	0,50
Massimo	9,3	18,2

**Tabella 4.9** Suddivisione in classi sulla base della proposta di revisione della normativa europea.

Classi di concentrazione (mg/kg)	Numero campioni	%
<1,2	27	50
1,2-3,0	21	38,8
3,1-6,0	4	7,4
6,1-9,0	1	1,9
>9,0	1	1,9

### Metalli pesanti

I risultati relativi ai metalli pesanti sono riassunti nella **tabella 4.10**; il valore medio risulta particolarmente elevato per arsenico (10,96 mg/kg) e cromo (1771 mg/kg) se confrontati con i limiti di legge (rispettivamente 10 e 750 mg/kg). Nel caso dell'arsenico risente del valore già mediamente elevato dei terreni del Veneto che, in forma di sedimenti e particelle in sospensione, rappresentano una parte cospicua dei fanghi; il valore della mediana è di circa il 20% più basso (7,8) ad indicare la presenza di alcuni valori particolarmente elevati (massimo pari a 55). Per il cromo la media risente di alcuni valori molto elevati (massimo pari a 40000 mg/kg) riscontrati in sei depuratori della provincia di Vicenza; la mediana infatti è pari a 61

mg/kg, più di dieci volte inferiore al limite di legge. Anche per gli altri metalli il valore mediano è sempre di un 5-30% inferiore a quello medio e risulta comunque abbondantemente al di sotto del limite previsto per l'utilizzo di fanghi in agricoltura.

Nella **tabella 4.11** è riportata una suddivisione in classi di concentrazione strutturata considerando come limite superiore il limite di legge aumentato del 50%, quindi, per le classi via via inferiori, il limite di legge, lo stesso limite ridotto del 50% e dell'80%.

**Tabella 4.10** Principali statistiche relative ai risultati dell'analisi dei metalli pesanti sui 54 campioni analizzati e suddivisione in classi sulla base dei limiti normativi (DGRV n. 3247/1995).

Parametro	media	mediana	deviazione standard	minimo	massimo
<b>Arsenico (As)</b>	10,96	7,8	10,39	1,5	55
<b>Cadmio (Cd)</b>	2,48	1,7	2,06	0,4	11
<b>Cromo (Cr)</b>	1771	61	7181	10	40000
<b>Mercurio (Hg)</b>	2,50	1,8	2,15	0,1	9
<b>Nichel (Ni)</b>	81,62	40,5	127,0	11	674
<b>Piombo (Pb)</b>	105,2	81,5	79,46	15	460
<b>Rame (Cu)</b>	376,2	352,5	202,5	55	1100
<b>Selenio (Se)</b>	3,48	3,0	3,20	0,2	20
<b>Zinco (Zn)</b>	1359	1086	1071	260	7095

**Tabella 4.11** Suddivisione per classi con limiti di legge aumentati del 50%.

<b>Arsenico (As)</b>	classe	<2	2-5	5-10	10-15	>15
L.L.: < 10 mg/kg s.s.	numero	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>11</b>
<b>Cadmio (Cd)</b>	classe	<4	4-10	10-20	20-30	>30
L.L.: < 20 mg/kg s.s.	numero	<b>42</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Cromo (Cr)</b>	classe	<150	150-375	375-750	750-1125	>1125
L.L.: < 750 mg/kg s.s.	numero	<b>41</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>7</b>
<b>Mercurio (Hg)</b>	classe	<2	2-5	5-10	10-15	>15
L.L.: < 10 mg/kg s.s.	numero	<b>31</b>	<b>17</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Nichel (Ni)</b>	classe	<60	60-150	150-300	300-450	>450
L.L.: < 300 mg/kg s.s.	numero	<b>37</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>
<b>Piombo (Pb)</b>	classe	<150	150-375	375-750	750-1125	>1125
L.L.: < 750 mg/kg s.s.	numero	<b>42</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Rame (Cu)</b>	classe	<200	200-500	500-1000	1000-1500	>1500
L.L.: < 1000 mg/kg s.s.	numero	<b>6</b>	<b>41</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>Selenio (Se)</b>	classe	<1	1-2,5	2,5-5	5-7,5	>7,5
L.L.: < 5 mg/kg s.s.	numero	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
<b>Zinco (Zn)</b>	classe	<500	500-1250	1250-2500	2500-3750	>3750
L.L.: < 2500 mg/kg s.s.	numero	<b>3</b>	<b>31</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>2</b>

Dai risultati di tale suddivisione si evidenzia come per cadmio, mercurio e piombo tutti i campioni analizzati sono conformi ai limiti stabiliti dalla norma per l'utilizzo in agricoltura non essendovi nessun caso ricadente nelle due classi superiori; per selenio, rame e zinco solo due casi (entrambe in provincia di Verona per il primo, entrambe in provincia di Vicenza per il secondo e uno in provincia di Vicenza e uno di Verona per il terzo) sono oltre il limite di legge e riguardano campioni che presentano anche altri metalli oltre il limite. Come già sopra accennato sono arsenico e cromo i metalli che più spesso presentano valori oltre il limite di legge, rispettivamente 17 e 7 casi; mentre per il cromo il fenomeno è limitato alla provincia di Vicenza e un caso in provincia di Verona, per l'arsenico è diffuso su tutto il territorio veneto con l'esclusione dei depuratori delle province di Belluno, Treviso e Verona.

### Altri Parametri

I risultati relativi ad altri parametri previsti dalla DGRV n. 3247/1995 sono riassunti nella **tabella 4.12**; il residuo secco presenta valori intorno al 20%, con un minimo di 11,2 ed un massimo di 67,4; il pH presenta valori tra 6,5 e 8,5 con un media di 7,5 e solo alcuni casi anomali. La salinità presenta una media pari a 35,72 meq/100g, con un solo valore anomalo di 602, riscontrato nel fango del depuratore di Codevigo (PD), ed una mediana di 20,5.

Il carbonio organico e l'azoto presentano valori medi elevati rispetto al limite minimo di legge (35,9% rispetto a 20% per il carbonio e 4,5% rispetto a 1,5% per l'azoto), con un rapporto C/N generalmente tra 7 e 10. Anche il fosforo presenta un valore medio elevato (1,76%) rispetto al limite (0,4%), mentre il potassio presenta concentrazioni intorno a 0,4%.

Per il boro la concentrazione media rilevata è di 74,9 mg/kg s.s., del 25% superiore al limite massimo di 60; è necessario sottolineare la scarsa importanza di questo parametro che viene considerato dalla norma perché potenzialmente fitotossico ma del quale i terreni del Veneto sono generalmente carenti e quindi potrebbe essere tollerato a valori ben più elevati.

La suddivisione in classi è stata effettuata in modo analogo a quanto già visto per i metalli, anche quando il limite previsto dalla normativa è minimo anziché massimo.

Riguardo alla sostanza secca 50 campioni su 54 hanno valori compresi tra 10 e 30; per il pH nessun campione è fuori limite e 49 campioni su 54 sono compresi tra 6,5 e 8,5.

Per la salinità un solo campione è abbondantemente fuori limite, tutti gli altri sono inferiori alla metà del limite di legge; per carbonio, azoto e fosforo un solo campione per ciascun parametro non rispetta i limiti, mentre una larga maggioranza presenta valori elevati (79,6% per il carbonio, 90,7% per l'azoto e 96,3% per il fosforo i campioni con concentrazione superiore al limite di legge aumentato del 50%) indice di ottima qualità agronomica dei fanghi. Per il boro 25 campioni su 54 presentano concentrazioni superiori al limite di legge.

**Tabella 4.12** Principali statistiche relative ai risultati dell'analisi degli altri parametri previsti dalla normativa regionale sui 54 campioni analizzati e suddivisione in classi sulla base dei limiti di legge (DGRV n. 3247/1995).

Parametro	u.m.	media	mediana	deviazione standard	minimo	massimo
<b>Residuo secco a 105 °C</b>	%	21,24	19,6	8,546	11,2	67,4
<b>pH</b>		7,47	7,43	0,781	6,1	11,2
<b>Salinità</b>	meq/100g s.s.	35,72	20,5	81,55	2,9	602
<b>Carbonio organico</b>	% s.s.	35,88	36	7,319	19,8	55,3
<b>Azoto totale (N)</b>	% s.s.	4,48	4,45	1,406	1,3	7,7
<b>Rapporto C/N</b>		9,02	7,95	5,165	4,9	37,0
<b>Fosforo totale (P)</b>	% s.s.	1,76	1,82	0,604	0,14	2,7
<b>Potassio (K)</b>	% s.s.	0,39	0,35	0,276	0,1	2
<b>Boro (B)</b>	mg/kg s.s.	74,89	59,7	50,64	25,8	290
<b>SOSTANZA SECCA</b>	<b>CLASSE</b>	<b>&lt;10</b>	<b>10-20</b>	<b>20-30</b>	<b>30-40</b>	<b>&gt;40</b>
%	<b>NUMERO</b>	0	29	21	3	1
<b>PH</b>	<b>CLASSE</b>	<b>&lt;5,5</b>	<b>5,5-6,5</b>	<b>6,5-7,5</b>	<b>7,5-8,5</b>	<b>&gt;8,5</b>
L.L. > 5,5	<b>NUMERO</b>	0	3	26	23	2
<b>SALINITÀ</b>	<b>CLASSE</b>	<b>&lt;40</b>	<b>40-100</b>	<b>100-200</b>	<b>200-300</b>	<b>&gt;300</b>
L.L.: < 200 MEQ/100 G S.S.	<b>NUMERO</b>	41	12	0	0	1
<b>CARBONIO ORGANICO</b>	<b>CLASSE</b>	<b>&lt;4</b>	<b>4-10</b>	<b>10-20</b>	<b>20-30</b>	<b>&gt;30</b>
L.L. < 20 % S.S.	<b>NUMERO</b>	0	0	1	10	43
<b>AZOTO TOTALE (N)</b>	<b>CLASSE</b>	<b>&lt;0,3</b>	<b>0,3-0,75</b>	<b>0,75-1,5</b>	<b>1,5-2,25</b>	<b>&gt;2,25</b>
L.L.: > 1,5 % S.S.	<b>NUMERO</b>	0	0	1	4	49

Parametro	u.m.	media	mediana	deviazione standard	minimo	massimo
Rapporto C/N	classe	<5	5-12,5	12,5-25	25-37,5	>37,5
L.L. < 25	numero	2	49	1	2	0
<b>Fosforo totale (P)</b>	classe	<0,08	0,08-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	>0,6
L.L.: > 0,4 % s.s.	numero	0	1	0	1	52
<b>Potassio totale (K)</b>	classe	<0,08	0,08-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	>0,6
% s.s.	numero	0	10	24	16	4
<b>Boro (B)</b>	classe	<12	12-30	30-60	60-90	>90
L.L.: < 60 mg/kg s.s.	numero	0	3	26	14	11

## CONCLUSIONI

Il monitoraggio ha fornito i primi dati sul contenuto in diossine, IPA e PCB dei fanghi prodotti dai maggiori depuratori del Veneto; le concentrazioni riscontrate sembrano essere relativamente basse e compatibili, con alcune eccezioni, con l'utilizzo in agricoltura.

L'analisi dei parametri previsti dalla normativa ha messo in evidenza la presenza di alcuni fanghi che non hanno i requisiti per l'utilizzo in agricoltura a causa dell'elevato contenuto in metalli; è stata altresì evidenziata la diffusione di concentrazioni elevate di arsenico e di boro, che nel primo caso sono da considerarsi accettabili in quanto legate ad un parimenti elevato livello di fondo dell'elemento nei suoli del Veneto che si traduce in un elevato livello medio di arsenico nei fanghi civili, e nel secondo caso non comportano alcun particolare problema ai suoli che risultano spesso carenti di boro.

Infine è stata evidenziata anche una elevata qualità agronomica dei fanghi per la presenza di elevate concentrazioni di sostanza organica, azoto e fosforo che possono contribuire a migliorare le caratteristiche dei suoli.

## 4.2 Recupero di energia per incenerimento di fanghi e rifiuti

Uno dei sistemi di recupero energetico è l'incenerimento di fanghi provenienti dall'impianto di depurazione o dei rifiuti (termovalorizzatore). Nel presente paragrafo si fornisce una sintetica rassegna delle tecnologie relative all'incenerimento dei rifiuti e si delincono anche le linee guida per il monitoraggio nell'ambito del recupero energetico dei fanghi.

Sono stati censiti gli impianti di trattamento degli RSU che nel 1997 sono risultati operativi, o in fase di collaudo (Caggiano e Motawi, 1999). A tale epoca erano stati censiti 60 impianti di cui 41 operativi, 14 non ancora operativi ma in fase di progettazione e 5 temporaneamente inattivi. La potenzialità nominale totale dei 60 impianti censiti ammontava a circa 4,5 milioni di t/anno, la produzione di energia totale assomma a 300.000 MWh elettrici e a 150.000 MWh termici. Riguardo alle tecnologie utilizzate, il 70% degli impianti funzionava a griglia, l'11,7% a tamburo rotante, il 13,3% a letto fluido ed il 5% gassificatore. In **tabella 4.13** si dà un quadro generale degli impianti di incenerimento presenti nel territorio nazionale, con riportate le rispettive caratteristiche.

**Tabella 4.13** Quadro generale degli impianti di incenerimento nel territorio nazionale per l'anno 1997.

Comune	Prov.	Tecnica	Pot. nom. t/anno	Quant.trat. t/anno	Rec. Elettrico MWh	Rec.ter. MWh
Abbiategrosso	MI	rotante	18600	12240	0	0
Arezzo	AR	griglia	37200	0	0	0
Bergamo	BG	griglia	46500	46500	16775	0
Bologna	BO	griglia	186000	139209	40555	42851
Bolzano	BZ	griglia	62000	58000	25264	0
Brescia	BS	Griglia	342240	0	0	0

Tavolo Tecnico Interagenziale "Gestione Sostenibile delle Risorse Idriche

Comune	Prov.	Tecnica	Pot. nom. t/anno	Quant.trat. t/anno	Rec. Elettrico MWh	Rec.ter. MWh
Busto Arsizio	VA	Griglia	31000	4000	0	0
Cagliari	CA	Griglia	110880	91200	22372	0
Castel Garfagnana	LU	Griglia	10850	9600	2688	3722
Como	CO	Griglia	31000	39560	0	29871
Coriano/Rimini	RN	Griglia	136400	99200	0	0
Cremona (linea 1)	CR	Griglia	59520	3000	0	0
Cremona (linea 2)	CR	Griglia	59520	0	0	0
Desio	MI	Griglia	74400	64678	12368	0
Ferrara	FE	Griglia	31000	10229	0	0
Ferrara	FE	Griglia	46500	37308	0	26170
Forlì	FO	Griglia	62000	52589	0	11628
Greve in Chianti	FI	Gassificatore	62000	33150	17472	14
Gorizia	GO	Rotante	12400	12400	0	0
La Spezia	SP	Griglia	100000	0	0	0
Livorno	LI	Griglia	62000	41400	11020	0
Macomer	NU	Letto fluido	62000	43500	0	0
Massa/Valpiana	GR	Griglia	18600	15500	0	0
Melfi	PZ	Griglia	37200	0	0	0
Mergozzo	VB	Griglia	37200	29244	5679	0
Messina	ME	Griglia	62000	0	0	0
Messina	ME	Griglia	46500	18450	0	0
Milano	MI	Griglia	148800	86261	24294	0
Milano	MI	Griglia	186000	77952	27167	0
Milano	MI	Griglia	279000	0	0	0
Modena	MO	Griglia	166780	120000	37000	0
Montale/Agliana	PT	Rotante	26500	27900	4564	0
Morato/Grandisca	GO	Rotante	11470	12400	0	0
Padova	PD	Griglia	46500	34258	7000	0
Parma	PR	Rotante	93000	62000	0	0
Piacenza	PC	Griglia	48360	0	0	0
Pisa	PI	Griglia	74400	63583	0	0
Poggibonsi	SI	Griglia	24800	21000	0	0
Pontedera	PI	Letto fluido	148800	0	0	0
Porto azzurro	LI	Gassificatore	27000	0	11160	0
Potenza	PZ	Letto fluido	37200	0	0	0
Ravenna (linea 1)	RA	Letto fluido	44640	0	0	0
Reggio Emilia	RE	Griglia	62000	45496	4028	38576
Rende	CS	Griglia	20150	20150	2016	0
Rufina/Pontas.	FI	Griglia	11625	9920	0	0
Sassari	SS	Rotante	37200	0	0	0
Scarlino	GR	Letto fluido	100000	0	0	0
Schio	VI	Griglia	29760	37000	8259	0
Sesto S.Giov	MI	Griglia	55800	0	0	0
Taranto	TA	Griglia	62000	0	0	0
Terni	TR	Griglia	37200	0	0	0
Tolentino/Pollenz a	MC	Griglia	18600	24800	6000	0
Trieste 1	TS	Rotante	105400	110000	0	0
Trieste 2	TS	Griglia	126480	0	0	0
Valmedrara	LC	Griglia	74400	64906	1277	0
Venezia/Mestre	VE	Griglia	54000	0	0	0
Verbiana	VB	Gassificatore	31000	0	0	0
Vercelli	VC	Griglia	69750	41131	6113	0

Comune	Prov.	Tecnica	Pot. nom. t/anno	Quant.trat. t/anno	Rec. Elettrico MWh	Rec.ter. MWh
Verona	VR	Letto fluido	155000	0	0	0
Versilia	LU	Letto fluido	59520	0	0	0

Dalla **tabella 4.13** si nota che sono pochi gli impianti che effettuano recupero termico dal processo di incenerimento. È da precisare che questo quadro generale è stato fatto nell’anno 1997, quindi non è esclusa la possibilità che potrebbero esserci state delle modifiche nel corso di questi anni: per esempio dalle informazioni recepite l’impianto di Gorizia è stato disattivato, mentre altri impianti sono diventati operativi.

In Veneto si è realizzato un “progetto protocollo di controllo” che ha portato a riunire in un unico protocollo tutto ciò che riguarda i controlli sulle aziende, compresi gli inceneritori. In **allegato 6** è riportato il presente documento, che può essere utile come linea guida sul monitoraggio dei fumi in uscita dall’inceneritore.

#### 4.2.1 Tecnologie utilizzate nei processi di incenerimento

In questo paragrafo si vuole descrivere le tecnologie di incenerimento maggiormente utilizzate, per poter farne un confronto cercando di capire in quali situazioni una risulta preferibile all’altra.

##### 4.2.1.1 Combustioni a griglia mobile

La combustione su griglia rappresenta la tecnologia più consolidata nel campo della termoutilizzazione dei rifiuti e loro derivati (Zannier e Savoldi, 1999). Il processo si articola nelle seguenti fasi:

- i rifiuti, stoccati nella fossa, vengono alimentati alla tramoggia di carico mediante un carroponente munito di benna a polipo;
- nella zona di transizione tra la tramoggia ed il canale di carico è installata una serranda a battente; il canale a forma tronco-piramidale rovesciato, è raffreddato da una camicia d’acqua;
- uno spintore a cassetto, a comando idraulico trasferisce i rifiuti dal canale alla griglia di combustione;
- la griglia consiste di una serie di elementi disposti su file alternativamente fisse e mobili. Il movimento reciproco di tali elementi causa un rivoltamento continuo della massa in combustione e permette l’avanzamento del materiale, che oramai combusto, viene scaricato come scoria tramite un estrattore a bagno d’acqua. La griglia è suddivisa in sezioni indipendenti di movimento dei rifiuti, è dotata di varie zone di iniezione dell’aria ed è racchiusa dalla camera di combustione, le cui pareti sono in genere costituite da tubi d’acqua, protetti da rivestimento refrattario;
- a valle della zona di combustione i fumi prodotti entrano nella zona di post-combustione dove, grazie all’immissione di un flusso di aria secondaria ad alta velocità, subiscono un’intensa miscelazione turbolenta. Questa ulteriore ossidazione garantisce il completamento della combustione della frazione volatile e la termodemolizione dei micro-inquinanti organoclorurati presenti nei fumi.

La griglia raffreddata ad acqua è prevista soprattutto per il trattamento di combustibile ad alto potere calorifico (15.000-19.000 KJ/Kg). Essa è essenzialmente costituita da piastre ad acqua che permettono di assorbire calore, controllando i picchi termici generati durante il processo

di combustione, riducendo, quindi, la possibilità di usura della griglia stessa. I principali vantaggi riscontrati nell'utilizzo di tale tecnologia sono:

- possibilità di sopportare elevati carichi termici specifici;
- elevata flessibilità in relazione al controllo dei parametri di processo;
- ridotti livelli di temperatura e di stress termico, ottenuti mediante una combustione multistadio dove l'aria viene inviata in più zone;
- minor slagging sulle pareti membranate, grazie all'assorbimento di calore operato dalle piastre che si traduce in uno smorzamento dei picchi termici;
- profili di concentrazione dell'ossigeno e di temperatura più uniformi, sia nella zona di combustione, sia nella zona di post-combustione;
- minori temperature superficiali, quindi minore usura degli elementi della griglia;
- distribuzione più omogenea della temperatura attraverso l'intero elemento di griglia, quindi minor stress delle piastre;
- il sistema di recupero termico, nel caso di combustione a griglia, avviene in un generatore di vapore a sviluppo orizzontale.

#### **4.2.1.2 Combustori a letto fluido**

Il sistema di combustione a letto fluido (Piantanida e Pizzoli, 1999) utilizza un letto di materiale costituito essenzialmente da sabbia riscaldata e mantenuta in sospensione da una colonna ascendente di aria. Combustibili di caratteristiche diverse sono introdotti nel letto dove avviene la combustione. L'azione di continuo sfregamento esercitata dal materiale del letto sulle particelle di combustibile ed il flusso d'aria di fluidizzazione favoriscono il processo di combustione asportando continuamente le molecole di diossido di carbonio e gli strati di materiale carbonizzato che normalmente si formano intorno alle particelle; ciò consente all'ossigeno di raggiungere nuovo materiale combustibile molto velocemente ed incrementa l'efficienza del processo di combustione. Durante l'esercizio normale, un sistema di riciclo consente un'uniforme asportazione dal basso del materiale grossolano, mentre il processo di combustione procede ininterrottamente. L'elevata temperatura può causare processi di clinking di alcuni materiali presenti nel letto e a lungo andare si formano degli agglomerati che, se non allontanati, potrebbero influire sulle proprietà di fluidificazione del letto causandone una perdita di efficienza. La turbolenza nella parte del combustore al di sopra del letto, combinata con il tumultuoso effetto di strofinio e con l'inerzia chimica del materiale del letto determina un'uniforme e controllata combustione. A tal fine sono stati adottati degli accorgimenti fra cui:

- uniformare la distribuzione dell'aria comburente suddivisa in più stadi;
- uniformare la distribuzione del combustibile nel letto;
- adeguare il giusto tempo di permanenza del materiale da incenerire nel combustore;
- combustione di rifiuti di diversa natura;
- basse emissioni.

Le emissioni da una caldaia a letto fluido sono sensibilmente più basse rispetto ad altre tecnologie e garantiscono il mantenimento di valori entro i limiti di legge:

- le basse temperature di combustione ed i bassi eccessi d'aria all'interno del letto riducono la formazione di ossidi di azoto, il cui abbattimento può essere realizzato attraverso l'iniezione di reagenti a base di ammoniacale nel plenum;
- l'alta efficienza di combustione produce gas combustibili con basso contenuto di monossido di carbonio (le emissioni di quest'ultimo sono indicatrici della potenziale produzione di diossine, furani ed idrocarburi policiclici aromatici);

- le anidridi dello zolfo possono essere abbattute direttamente nel combustore mediante l’iniezione di additivi a base di ossido di calcio nel letto.

Lo svantaggio che presenta tale tecnica rispetto alla tecnica a griglia è l’elevato costo che richiede la preparazione del combustibile prima del processo di combustione. La combustione nel letto fluido infatti, richiede l’utilizzo di materiali trattati e caratterizzati da una certa omogeneità; tale trattamento può essere molto semplice, comprendendo solamente una separazione magnetica del materiale metallico, oppure più accurato prevedendo: vagliatura, separazione del materiale inerte e separazione del materiale riciclabile. Oggi, in presenza di una nuova filosofia di trattamento dei rifiuti che comprende la riduzione della produzione all’origine, il riciclaggio e metodi di recupero vari, il combustibile molto spesso arriva alla fase di combustione adeguatamente preselezionato. In quest’ottica il costo aggiuntivo necessario per la preparazione del combustibile non è più imputabile unicamente alla necessità dell’inceneritore a letto fluido di avere a disposizione un combustibile omogeneo ma diventa una fase dell’intero processo di trattamento. Una delle principali obiezioni all’utilizzo di questa tecnologia viene a cadere e così oggi, i sistemi tradizionali a griglia tendono sempre più ad essere utilizzati solo per la combustione dei rifiuti non trattati e, quindi, con qualità e potere calorifico bassi. I sistemi a griglia che trattano combustibile derivato da rifiuti (CDR), potrebbero andare incontro ad inconvenienti causati proprio dalla diversa natura del rifiuto, infatti l’alto potere calorifico e l’assenza di inerti, impediscono alla griglia di formare quello strato poroso di materiale non combustibile che la protegge da un eccessivo riscaldamento. Inoltre l’assenza di inerti diminuisce la porosità del rifiuto ostacolando quindi maggiormente il raggiungimento della parte più interna del materiale da parte dell’aria.

La tecnologia a letto fluido consente una costante miscelazione tra aria e combustibile, grazie all’elevata turbolenza, che consente di risolvere questi inconvenienti; inoltre l’azione erosiva delle particelle di sabbia rimuove continuamente dal combustibile gli strati di cenere che tendono a ricoprire la superficie, consentendo un intimo contatto tra aria e nuovo carbonio. Questa tecnologia, a parità di combustibile bruciato, ha il vantaggio di avere un minor impatto sull’ambiente rispetto alla tecnologia a griglia, che quindi necessita di un trattamento fumi a valle della caldaia più complesso e costoso. In conclusione i maggiori costi della tecnologia a letto fluido sono controbilanciati dalla semplicità ed economicità del sistema di trattamento fumi.

#### **4.2.1.3 Reattore a tamburo rotante**

Il cuore del sistema è formato da uno o più tamburi rotanti (Marino, 1999). Il tamburo è fissato ad un albero azionato dall’esterno e circondato da una scatola fissa cilindrica. Il tamburo è montato con un angolo d’inclinazione regolabile, quindi è possibile adattare la velocità e il tempo di sosta della sostanza da trattare nel reattore a seconda del genere della stessa. L’interno del reattore viene direttamente scaldato da gas di combustione caldi. L’afflusso delle sostanze residue da trattare avviene tramite una coclea. L’inclinazione e la rotazione continua costituiscono presupposti per uno scambio termico e di materiale ottimale. Le sostanze rimanenti cadono in un imbuto di scarico situato sul lato di fronte e vengono portati via attraverso una coclea refrigerante. Per mantenere costante la temperatura del reattore e per rimuovere i gas distillati a bassa temperatura e i gas di combustione si fornisce la quantità di aria fresca al sistema di trasformazione del gas. Il reattore a tamburo rotante presenta dei vantaggi rispetto alla tecnica a letto fluidizzato:

- le parti metalliche che inevitabilmente tendono a fondere alle alte temperature, nel processo a tamburo rotante (550-600 °C) non si presentano tali inconvenienti;

- la tecnica è molto flessibile in quanto a seconda delle esigenze il range di lavoro può essere rispettivamente impostato sull'utilizzo termico delle sostanze residue della produzione, con relativo utilizzo del calore, oppure sul recupero dei materiali;
- notevole semplicità di costruzione: lo stoccaggio e l'isolamento avvengono in zone al di fuori della zona calda;
- il contenuto di ossigeno è variabile (a seconda del carbonio nel residuo finale può essere regolata la quantità di ossigeno tra lo 0 e il 21%).

La gassificazione non viene trattata in quanto non è una tecnica molto diffusa.

#### **4.2.2 Variabili che controllano il processo di incenerimento**

I *dati di input* in un processo di incenerimento sono rappresentati da:

- caratteristiche dell'aria comburente;
- quantità di combustibile ausiliario utilizzato;
- quantità di RSU conferita all'impianto di incenerimento;
- composizione merceologica degli RSU;
- composizione delle merceologie degli RSU in termini di frazione combustibile, inerti ed umidità;
- composizione elementare della frazione combustibile delle diverse merceologie;
- percentuale delle scorie pesanti generate dagli inerti presenti nelle singole merceologie;
- elementi strutturali dell'impianto;
- parametri di gestione del processo.

I *parametri di output* del processo di incenerimento sono:

- portata dei fumi nelle varie sezioni;
- composizione dei fumi ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ );
- il potere calorifico dei rifiuti nelle varie modalità di espressione;
- peso molecolare medio dei fumi;
- tempi di permanenza;
- turbolenza dei flussi riferita alla velocità d'ingresso al postcombustore espressa in m/s;
- determinazione del calore necessario a raggiungere le temperature d'incenerimento in Mcal/h;
- il fabbisogno stechiometrico d'aria comburente in Nmc/h;
- stima della produzione di inquinanti per  $\text{NO}_x$ , HCl,  $\text{SO}_x$ , Particolato, Metalli.

Questi parametri permettono di esprimere le condizioni di massimo carico d'impianto, non semplicemente come quantità di rifiuti alimentati al forno, ma con una rappresentazione più reale che correla le quantità di rifiuti alimentati al forno, la loro composizione, i parametri di conduzione del processo ed i singoli inquinanti osservati. Per il calcolo di tali parametri in letteratura esistono specifici testi che indicano come determinarli.

Una volta dimensionato il forno sulla base della conoscenza dei parametri di esercizio, viene condotta una verifica sulla funzionalità o meno del forno stesso. Dalla conoscenza delle dimensioni del forno si possono ricavare importanti parametri di funzionamento del forno quali tempo di permanenza e velocità d'ingresso alle camere di post-combustione. Per queste determinazioni è sufficiente calcolare la portata dei fumi alle condizioni di lavoro dell'inceneritore e dividere rispettivamente per il volume geometrico della camera di post-combustione e per la sezione d'ingresso per ottenere il tempo di permanenza e la velocità di

ingresso. Questo calcolo è fondamentale per verificare la corretta funzionalità del forno in quanto permette di conoscere il fabbisogno termico per mantenere la temperatura operativa ottimale. Il fabbisogno si ottiene dall'elaborazione dei seguenti dati di input:

- portata dei fumi;
- composizione dei fumi alla temperatura di esercizio;
- temperatura di ingresso della materia;
- temperatura operativa del forno;
- quota d'acqua presente nei fumi;
- quota di ceneri ottenuta.

Partendo dai calori sensibili di ciascun componente presente nei fumi è possibile calcolare il fabbisogno termico della miscela aeriforme di reazione per raggiungere la temperatura operativa. I dati relativi ai calori sensibili alle varie temperature si ottengono da specifiche relazioni polinomiali ottenute per fitting dei dati sperimentali.

#### 4.2.3 Casi di studio sull'incenerimento di fanghi e rifiuti

Per quanto riguarda i casi di studio sullo smaltimento di fanghi e rifiuti in incenerimento, viene riportato il caso relativo all'inceneritore di Trieste.

##### 4.2.3.1 Caso di studio sull'inceneritore di Trieste (TS)

Prima di trattare specificatamente il caso di studio sull'inceneritore di Trieste, viene riportata la **tabella 4.14**, che rappresenta lo stato attuale per quanto riguarda la produzione di energia da rifiuti nella regione Friuli Venezia Giulia.

**Tabella 4.14** Bilancio energetico attuale nella regione Friuli Venezia Giulia.

Comune	Prov.	Tecnica	Pot. nom. t/anno	Quant. trat. t/anno	Rec. Elettrico MWh	Rec. ter. MWh
Trieste (3 linee)	TS	Griglia	612 t/giorno (204 t/giorno per linea)	162.310 (nel 2005)	92.400 (nel 2005)	0

Al momento non si dispone di informazioni; dalle informazioni acquisite da ARPA FVG risulta in fase conclusiva uno studio tecnico-economico relativo all'implementazione tecnologica necessaria all'impianto stesso, al fine di gestire in maniera idonea rifiuti classificati con CER 19 08 05.

### 4.3 Tecniche di compostaggio per utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura

In Umbria sono state studiate delle nuove tecnologie per riutilizzare i fanghi di depurazione come concime dall'allevamento di suini. Molte ricerche sono state condotte al fine di poter utilizzare i fanghi in agricoltura senza incidere negativamente sulla salvaguardia dell'ambiente o sulla qualità delle acque, cercando di mantenere accettabili i costi di gestione di tali processi. In Umbria su 300.000 ha interessati ad attività agricole, 200.000 ha sono dichiarati aree sensibili e 77.000 ha sono zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola. In particolare, un'indagine effettuata sul lago di Trasimeno mostra la notevole influenza

esercitata dalla qualità del concime per allevamento di suini sul livello di inquinamento dello stesso lago.

Un dato statistico indica che più di 250.000 suini sono allevati in industrie di allevamento piuttosto che in aree agricole, mancando, appunto, su queste ultime una buona irrigazione fertile. Sempre in Umbria sono stati realizzati due digestori anaerobici che trattano circa il 50% delle deiezioni suinicole; queste presentano l'inconveniente di un notevole eccesso di azoto ammoniacale, con il conseguente rischio di aumentare l'inquinamento del sottosuolo e delle acque correnti. In tutto il distretto regionale umbro si registrano più di 100 esposti all'anno a causa degli odori sgradevoli che derivano dai liquami suinicoli. Per tali ragioni è risultato necessario trovare una soluzione attraverso delle tecnologie innovative, onde ridurre l'inquinamento nell'ambiente acquatico ed i disagi igienico-sanitari.

Si è cercato di studiare delle tecniche di compostaggio al fine di migliorare il compost finale. I vantaggi della tecnica del compostaggio sono:

- ridurre la massa ed il volume del fango, migliorando la sua trasportabilità;
- ridurre gli odori;
- diminuire la disponibilità di nutrienti (i nutrienti stabili sono rilasciati lentamente, mentre l'azoto volatile è catturato all'interno di particolari proteine, riducendo così la sua potenziale perdita);
- ridurre l'inquinamento producendo un prodotto fangoso risulta adatto all'applicazione su terreni;
- vi è un aumento dell'acqua trattenuta dal terreno (migliore fertilità del terreno stesso).

Assieme a tali vantaggi, bisogna tener conto anche degli svantaggi come per esempio:

- perdita di azoto ammoniacale;
- tempi e lavoro complicati;
- costo del personale necessario per effettuare controlli sull'andamento del processo;
- deve essere garantita una buona richiesta nel mercato, onde coprire i costi dell'operazione;
- il terreno deve essere adatto per quel particolare compost prodotto.

#### **4.3.1 Caso studio: descrizione del processo di compostaggio utilizzato in Umbria**

Il digestore che effettua il compostaggio è un serbatoio della profondità di 1 m, riempito con della segatura o miscela di segatura e paglia e ricoperto con un tetto, in modo da ripararlo da eventuali agenti atmosferici. Il processo è automatizzato: si miscelano materiali cellulosici con concime; all'interno della miscela viene insufflata una certa portata di aria, assicurando un buon controllo della temperatura e dell'umidità del fango aerato. La quantità di fango trattata al giorno è di 22l per m<sup>3</sup> di segatura. In un giorno vengono effettuati circa tre cicli lavorativi che constano di:

- un primo passaggio durante il quale avviene la miscelazione della biomassa;
- un secondo passaggio nel quale il fango viene impaccato su materiale cellulosico;
- un terzo passaggio nel quale avviene l'aerazione.

La tecnica sembra richiedere volumi minori e quindi costi di impianto minori, infatti l'elevata superficie di contatto che genera la presenza di segatura, accelera la diffusione di ossigeno nel fango, favorendo un'elevata crescita di alcune specie batteriologiche ed un aumento di temperatura in seguito all'esotermicità del processo. La temperatura, grazie ad una parte di acqua che evapora, si mantiene, comunque, pressoché ottimale intorno a valori di 40-70°C. Il

processo deve essere completato in tre mesi se la sua gestione risulta essere corretta. L'efficacia e la convenienza di tale trattamento si possono vedere nei controlli basati sull'analisi dei parametri di cui alla L. n. 748/1984 modificata dai D.Lgs. 27/03/98 e D.Lgs. 3/11/2000. La presenza di sostanze inibitrici o tossiche apportate da mangimi di maiale o da maturazioni incomplete del prodotto (presenza di acidi grassi per esempio), fu determinata sulla base di un test misurando l'indice di germinazione di tali sostanze su un estratto di compost. In **tabella 4.15** vengono riportati i risultati ottenuti sull'analisi effettuata in 4 campioni provenienti da tre impianti prelevati in 4 periodi che coprono una fascia temporale di 3 mesi. Questi risultati sono stati messi a confronto con i valori riportati dalla normativa precedentemente citata.

**Tabella 4.15** Confronto tra risultato delle analisi e valori limite di legge.

Parametri	Limiti	Impianto 1	Impianto 1	Impianto 3	Impianto 4
N organico	>80% N <sub>tot</sub>	99	86	92	98
Umidità	<50% stq	44		42	48
C organico	>25% su secco	40	39	48	34
Acidi umici e fulvici	>7% su secco	9,8	27,2	32,4	11
C/N	<25	19		17	24,1
PH	6-8,5	7,76		7,5	8,4
Cu mg/Kg di secco	<230	91,5	86,3	53,6	62,9
Zn mg/Kg di secco	<500	445	452	327	369
Pb mg/Kg di secco	<140	4,1	3,9	2,5	1,7
Cd mg/Kg di secco	<1,5	0,337	<MDL	<MDL	<MDL
Ni mg/Kg di secco	<100	4,3	<MDL	<MDL	4,3
Hg mg/Kg di secco	<1,5	0,0085		<MDL	<MDL
Cr(VI) mg/Kg di secco	<0,5	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Plastica Ø<3,33 mm	<0,45% in secco	assenti		assenti	0,02
Plastica Ø 3,33-10 mm	0,05% in secco	assenti		assenti	assenti
Inerti Ø<3,33 mm	0,9% in secco	assenti		assenti	assenti
Inerti Ø 3,33-10 mm	0,1% in secco	assenti		assenti	assenti
Plastiche inerti>10 mm	assenti	assenti		assenti	assenti
Salmonella	assenti in 25g	assenti		assenti	
Escherichia coli	<10 <sup>2</sup> UFC/g	97		80	
Streptococchi fecali	<10 <sup>3</sup> MPN/g	700		800	
Nematodes	assenti in 50g	assenti		assenti	
Trematodes	assenti in 50g	assenti		assenti	
Cestodes	assenti in 50g	assenti		assenti	
Sedimenti					assenti
Grow <i>Lepidium sativum</i>	100%	100%		100%	100%
Germination <i>L.sativum</i>	100%	100%		100%	100%

Nella seguente **tabella 4.16** sono riportati i valori nei parametri nella fase iniziale della maturazione per 2 impianti diversi.

**Tabella 4.16** Confronto dei risultati di alcuni campioni prelevati nella fase iniziale del processo di maturazione per 2 impianti diversi.

Parametri	Limiti di L.	Impianto 1	Impianto 1	Impianto 2	Impianto 2
N organico	>80% N <sub>tot</sub>	23,1	82	2,1	71,4
Umidità	<50% stq	96,2	69	82	74,1
C organico	>25% in secco	85	42,3	39	43

Acidi umici e fulvici	>7% in secco	8	6,5	9,2	4
C/N	<25	4	24	14	20
PH	6-8,5				
Cu mg/Kg di secco	<230	130	76	105	40
Zn mg/Kg di secco	<500	896	340	586	211
Pb mg/Kg di secco	<140	0,8	2,3	1,1	11,7
Cd mg/Kg di secco	<1,5	<MDL	<MDL	0,171	0,153
Ni mg/Kg di secco	<100	<MDL	<MDL	<MDL	
Hg mg/Kg di secco	<1,5				<MDL
Cr(VI) mg/Kg di secco	<0,5	<MDL	<MDL	<MDL	<MDL
Grow <i>Lepidium sativum</i>	Sopravvivenza %			0	0
Germination <i>L.sativum</i>	100%			0	0

Dai risultati delle tabelle si deduce che tale processo di compostaggio ha portato dei buoni risultati soprattutto per quanto riguarda l'impatto che tali parametri esercitano sulla qualità delle acque presenti nel sottosuolo, laddove il compost viene applicato.

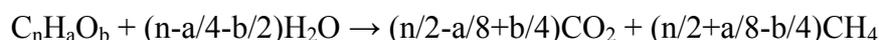
#### 4.4 Produzione di biogas per recupero energetico

La produzione di biogas per recuperare energia termica o elettrica si realizza attraverso il processo di digestione anaerobica delle sostanze organiche biodegradabili. Tali sostanze possono essere presenti nei rifiuti provenienti dalla raccolta differenziata, oppure in misura decisamente minore nei fanghi prodotti dal processo di depurazione delle acque reflue. Nel primo caso si parla di digestione anaerobica dei rifiuti solidi urbani, mentre nel secondo caso si parla di digestione anaerobica dei fanghi di depurazione.

##### 4.4.1 I processi di digestione anaerobica sui fanghi di depurazione

Il processo di digestione anaerobica (Malpei, 2005) avviene ad opera dei batteri che, in assenza di ossigeno e nitrati, degradano la sostanza organica a metano, anidride carbonica ed acqua, attraverso le tre fasi:

- idrolisi di composti organici sospesi in composti solubili più semplici (zuccheri, grassi, proteine);
- fermentazione di tali composti e loro conversione in acidi volatili ed idrogeno;
- conversione degli acidi volatili a CH<sub>4</sub> e riduzione della CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> attraverso la reazione chimica riportata qui sotto:



Sono coinvolti diversi ceppi batterici che lavorano in serie: i batteri che svolgono l'ultima fase (metanogenesi) sono quelli a crescita più lenta e ridotta, per cui costituiscono l'elemento limitante dell'intero processo. Inoltre, lavorano in un campo di pH tra 7 e 7,5. Se si crea un accumulo di acidi volatili il pH diminuisce ed i batteri che producono metano vengono inibiti con la conseguenza che non convertono più gli acidi volatili a metano causando un continuo accumulo di acidi e diminuzione del pH. Di solito si opera in campo mesofilo (T=35°C). In questo caso, si ottimizza la resa di conversione (quest'ultima crescente con la temperatura) con la stabilità del processo e la necessità di riscaldare il digestore ed il fango in ingresso. I benefici della digestione anaerobica sono:

- stabilizzazione, ovvero non putrescibilità, dei fanghi (anche se la conversione è del 50% e non totale);

- riduzione della massa e dei volumi del fango;
- migliore disidratabilità del fango;
- produzione di metano, che può essere utilizzato come fonte energetica.

Questo trattamento rappresenta la più diffusa soluzione per impianti con potenzialità maggiori dei 30.000 AE, grazie alla relativa stabilità del processo ed al basso costo di esercizio, che compensano l'elevato costo di costruzione e la conduzione più complessa se confrontata con la digestione aerobica. I fanghi primari, costituiti da sostanza organica fresca, sono più rapidamente degradati anaerobicamente e producono più biogas, rispetto ai fanghi biologici, a parità di SSV alimentati. Si distinguono tre tipi di processo:

- basso carico ( $<1 \text{ KgSSVm}^{-3}\text{d}^{-1}$ ): digestore non riscaldato né miscelato, tempi di residenza idraulica molto lunghi, minore efficienza di processo. Poco in uso, solo per climi caldi ed impianti molto piccoli;
- medio carico ( $<1,5-2 \text{ KgSSVm}^{-3}\text{d}^{-1}$ ): riscaldati e miscelati, ma in un unico stadio, con alimentazione non continua per poter scaricare un surnatante chiarificato. Il tempo di residenza è di 20 d;
- alto carico e due stadi ( $<3-4 \text{ KgSSVm}^{-3}\text{d}^{-1}$  per il primo stadio): alimentazione continua del 1°stadio, riscaldato e miscelato dove il fango permane per un tempo  $<15$  d. Il 2°stadio ha funzione di separazione del fango e può quindi avere volume minore del 1°stadio, oppure servire come riserva (identico volume).

Il biogas che viene prodotto è formato da metano per il 60-75%, anidride carbonica per il 25-40% e piccoli quantitativi di azoto, idrogeno ed idrogeno solforato. Il potere calorifico del biogas è di circa  $5.500 \text{ Kcal/Nm}^3$ . L'utilizzo energetico del biogas, conveniente al di sopra del 100.000 A.E., è soprattutto utile per il riscaldamento del digestore e del fango in ingresso o per l'alimentazione di motori al servizio dei compressori per l'aerazione.

In **tabella 4.17** vengono elencati gli impianti che prevedono tale trattamento dei fanghi di depurazione nella regione Veneto.

**Tabella 4.17** Elenco degli impianti di depurazione che effettuano la digestione anaerobica in Veneto.

Impianto_nome	Località	AE_progetto	AE_effettivi
BELLUNO-VISOME VIA S. DANIELE	VISOME VIA S. DANIELE	700	600
BELLUNO-MARISIGA VIA COL DA REN	MARISIGA VIA COL DA REN	27.000	24.000
CADONEGHE-VIA MATTEOTTI	VIA MATTEOTTI	32.000	25.000
CARMIGNANO DI BRENTA-VIA OSPITALE	VIA OSPITALE	13.000	
CASTEL D'AZZANO-SAN MARTINO	SAN MARTINO	12.000	12.000
CAVARZERE-CAVARZERE-VIA PIANTAZZA	CAVARZERE-VIA PIANTAZZA	17.500	8.300
CHIOGGIA-BRONDOLO	BRONDOLO	160.000	105.000
CITTADELLA-VIA DELLE SANSUGHE	VIA DELLE SANSUGHE	60.000	32.000
CODEVIGO-VIA ALTIPIANO	VIA ALTIPIANO	65.000	38.250
CONSELVE-VIA DELL'INDUSTRIA Z.I.	VIA DELL'INDUSTRIA Z.I.	46.880	19.000
CORDIGNANO-VIA PALU'	VIA PALU'	108.000	20.000
ENEGO-VALDIFABBRO	VALDIFABBRO	5.000	1.500
ERACLEA-ERACLEA MARE - VIA DEI PIOPPI	ERACLEA MARE - VIA DEI PIOPPI	32.000	32.000
FARRA DI SOLIGO-VIA BOSCHET	VIA BOSCHET	4.293	4.293
FELTRE-STAZIONE FERROVIARIA	STAZIONE FERROVIARIA	102.600	102.600

Impianto_nome	Località	AE_progetto	AE_effettivi
FELTRE-STAZIONE FERROVIARIA	VIA CALLESELLA	77.800	55.000
PESCANTINA-SETTIMO	SETTIMO	6.000	6.000
PESCHIERA DEL GARDA-PARADISO	PARADISO	330.000	330.000
ISOLA VICENTINA-VIA VICENZA	VIA VICENZA	40.288	13.450
IESOLO-VIA ALEARDI	VIA ALEARDI	185.000	185.000
LEGNAGO-PORTO	PORTO	7.000	7.000
LEGNAGO-VANGADIZZA	VANGADIZZA	40.000	40.000
MERLARA-VIA ZURLARA	VIA ZURLARA	4.000	2.500
SAN DONA' DI PIAVE-VIA TRONCO	VIA TRONCO	45.000	45.000
SAN MARTINO BUON ALBERGO-CA' DELL'AGLIO	CA' DELL'AGLIO	15.000	6.000
SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO-VIA ALDO MORO	VIA ALDO MORO	6.400	6.400
SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO-BIBIONE, VIA PARENZO	BIBIONE, VIA PARENZO	150.000	150.000
SCHIO-VIA CA' CAPRETTA	VIA CA' CAPRETTA	85.000	23.682
SELVAZZANO DENTRO-VIA MONTEGRAPPA	VIA MONTEGRAPPA	20.000	10.000
THIENE-SANTO	SANTO	127.000	112.255
TREVISO-SANT'ANTONINO, VIA PAVESE	SANT'ANTONINO, VIA PAVESE	110.000	50.000
TRISSINO-PRANOVI	PRANOVI	127.500	127.500
VENEZIA-LIDO	LIDO	60.000	13.000
VENEZIA-FUSINA VIA DEI CANTIERI	FUSINA VIA DEI CANTIERI	330.000	325.807
VERONA-VIA AVESANI	VIA AVESANI	330.000	330.000
VICENZA-CASALE	CASALE	72.000	55.123
PORTO VIRO-OVEST S.S. ROMEA	OVEST S.S. ROMEA	50.000	20.000
ROVIGO-S. APOLLINARE	S. APOLLINARE	35.000	35.000
ABANO TERME-VIA MONTEGROTTO	VIA MONTEGROTTO	35.000	35.000
ASIAGO-LOC. MOSELE	LOC. MOSELE	10.000	10.000
BADIA POLESINE-VIA CA' MIGNOLA	VIA CA' MIGNOLA	25.000	25.000
BASSANO DEL GRAPPA-VIA SAN LAZZARO	VIA SAN LAZZARO	100.000	80.000

Per dare un'idea numerica basti sapere che 1 Kg di COD produce 0,35 Nm<sup>3</sup> di CH<sub>4</sub>.

#### 4.4.1.1 Casi di studio riportati in letteratura

In letteratura sono presenti numerosi casi di studi relativi al recupero di energia dal processo di digestione anaerobica dei fanghi biologici provenienti dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane. In questo paragrafo si vuole riportare un caso di studio significativo effettuato in Veneto sull'impianto di depurazione di Fusina-VE (circa 250.000 AE), riguardante il trattamento biologico di digestione anaerobica dei fanghi di depurazione (Bolzonella *et al.*, 2002). Lo scopo di questo lavoro consiste nel vedere come varia la qualità del processo anaerobico al variare dei parametri operativi (caratteristiche chimico-fisiche del fango trattato, temperatura, volume del reattore o tempo di ritenzione del solido trattato, ecc.). Inoltre è stata effettuata un'analisi energetica per vedere se il bilancio complessivo dell'operazione di digestione anaerobica risulta positivo ed in quali circostanze, rapportandolo al bilancio energetico di un trattamento aerobico. L'analisi ha prodotto nel corso dell'anno i seguenti valori medi: una riduzione del 21% di TVS, con produzione dello 0,19 m<sup>3</sup> biogas/m<sup>3</sup> reattor.d di GPR, uno 0,18 m<sup>3</sup>/KgTVS<sub>feed</sub> di SGP e uno 0,86 m<sup>3</sup>/KgTVS<sub>cons</sub> di SGP\*. I dati sono in accordo con quelli riportati in letteratura, tipici di un processo di digestione anaerobica. Alcuni riferimenti bibliografici sono riportati nei seguenti punti:

- Metcalf e Eddy (1991) riportano per il parametro SGP\* valori tipici per un processo di digestione anaerobica con tempi di ritenzione del solido di 21-25 giorni, con alimentazione al digestore di sostanza volatile pari a  $1,9-2,5 \text{ Kg TVS/m}^3_{\text{reactor d}}$  e di  $0,75-1,12 \text{ m}^3/\text{KgVSS}_{\text{cons}}$ ;
- Brunetti *et al.* (1988) riporta per un fango con alto tenore di sostanze volatili (75%) un consumo di VVS tra 27-80%, con una produzione specifica di biogas pari a  $0,6-0,8 \text{ m}^3/\text{KgVVS}_{\text{cons}}$ . Questo risultato stupisce se confrontato con il precedente, infatti quello che ci si aspettava erano valori elevati di biogas prodotto, visto che si è considerato un fango ricco in SSV, invece al contrario si sono prodotti valori decisamente più bassi. Questo si spiega dicendo che la resa in biogas prodotto non dipende solo dalla concentrazione di SSV nel fango trattato, ma anche dalla sua composizione chimica;
- Bixio *et al.* (1999) riporta valori ricavati dal trattamento di digestione anaerobica di un fango al 29-36% in secco, con carico biodegradabile basso ( $0,02 \text{ KgBOD/KgMLSS*d}$ ). L'acqua trattata corrisponde ad una capacità di 175.000 AE e la digestione in campo mesofilo ( $T=35^\circ\text{C}$ ) è avvenuta con tempo di ritenzione pari a 20 giorni. L'intero processo ha prodotto una resa in gas di  $0,6 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{KgVS}_{\text{cons}}$ .

I dati riportati in **tabella 4.18** sono stati ricavati per quattro valori diversi di temperatura del refluo, in modo da coprire l'intero range di temperature che si registrano nel corso dell'anno. I quattro valori di temperatura scelti sono: 10, 14, 18 e  $22^\circ\text{C}$

**Tabella 4.18** Influenza dei parametri operativi e caratteristici del reflue e del fango trattato sulla resa del processo.

Parametri	Periodi			
	1°	2°	3°	4°
<b>Caratteristiche refluo</b>				
Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	10,3	13,7	18,3	22,5
Portata idraulica $\text{m}^3/\text{d}$	103.727 $\pm$ 4.904	98.390 $\pm$ 7.925	101.541 $\pm$ 8.759	95.390 $\pm$ 12418
Solidi totali sospesi $\text{Kg/d}$	19.916 $\pm$ 3.368	18.006 $\pm$ 3.836	25.791 $\pm$ 11.386	20.509 $\pm$ 9.511
Organico $\text{KgCOD/d}$	35.889 $\pm$ 5.766	36.503 $\pm$ 4.433	35.641 $\pm$ 12.377	29.762 $\pm$ 7.562
Azoto $\text{KgN/d}$	3.437 $\pm$ 526	2.765 $\pm$ 700	2.716 $\pm$ 342	2.585 $\pm$ 376
Fosforo $\text{KgP/d}$	156 $\pm$ 30	217 $\pm$ 60	254 $\pm$ 97	172 $\pm$ 75
<b>Caratteristiche alimentazione</b>				
Totale solidi $\text{Kg/m}^3_{\text{reactor d}}$	1,2	1,6	1,9	2
Tot.solido volatil $\text{Kg/m}^3_{\text{reactor d}}$		0,8	1	1,2
<b>Caratteristiche digestore</b>				
Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	33-34	36-37	37	37
PH	7,3	7,5	7,4	7,2
Tempo di ritenzione d	21	19	20	21
GPR $\text{m}^3_{\text{biogas}}/\text{m}^3_{\text{reactor d}}$	0,18	0,23	0,24	0,17
SGP $\text{m}^3_{\text{biogas}}/\text{KgTVS}_{\text{feed}}$	0,22	0,23	0,2	0,15
SGP* $\text{m}^3_{\text{biogas}}/\text{KgTVS}_{\text{cons}}$	1,36	1,29	0,88	0,67
% TVS in ingresso	57,3	56,7	53,7	50,8
% TVS consumati	16,1	17,8	22,6	22,5
<b>BNR reactor</b>				
SRT (d)	18	16	17	12
MLVSS (mg/l); %MLSS	3.858; 67,2	4.379; 64,9	5.388; 60,2	3.935; 56,5
F/M ( $\text{KgCOD/KgMLVSS*d}$ )	0,27	0,25	0,21	0,26
$Y_{\text{obs}}$ ( $\text{KgMLVSS/KgCOD}$ )	0,18	0,22	0,26	0,28

Dalla **tabella 4.18** si osserva che il pH si mantiene pressochè nel range di 7,2 e 7,5, quindi il processo di digestione anaerobica è stabilizzato su tali valori (si veda il § 4.4.1). La

percentuale di solido sospeso volatile nella miscela liquida di acqua trattata diminuisce dal periodo 1 al periodo 4, viceversa la quantità di solido nel reattore aumenta, quindi, grosso modo, la quantità di solido volatile al reattore si mantiene costante (la sua variazione è compresa nel range di valori da 0,8 a 1,2). Anche il tempo di permanenza è mantenuto pressoché costante (19-21). Dall’ultima riga della **tabella 4.15** si nota che la resa di biomassa aumenta all’aumentare della temperatura. Questo, ad un certo punto della reazione biologica, è in contraddizione, per il semplice motivo che, se si aumenta la temperatura, si aumenta la velocità di reazione e quindi si raggiunge in minor tempo l’istante in cui ha inizio la fase di estinzione dei batteri che trovano sempre meno substrato disponibile per la loro crescita, quindi la resa in biomassa ad un certo punto dovrebbe diminuire. Questo non accade, poiché ad una maggior temperatura si accompagna un minor SRT: questi parametri hanno un effetto opposto sulla resa in biomassa del fango trattato (si veda la **tabella 4.15**). Si è inoltre scoperto che riportando in un diagramma gli andamenti delle variabili TVS<sub>consumati</sub> %GPR, SPG, SPG\* in funzione della resa di biomassa ( $Y_{obs}$ ), si delineano due zone delimitate dal valore di  $Y_{obs}$  pari a 0,25, in cui il comportamento di tutti i parametri si sovrappone. Infatti per valori minori di 0,25 l’efficienza di TVS consumati aumenta con  $Y_{obs}$ , GPR aumenta, SGP rimane costante, mentre SGP\* diminuisce. Per valori maggiori di 0,25 la quantità di biogas prodotta inizia a diminuire. Questa osservazione ci consiglierebbe di scegliere un valore di  $Y_{obs}$  ottimale per il processo pari a 0,25. Queste osservazioni probabilmente si spiegano per due motivi:

- la diversità qualitativa del fango trattato;
- la diversità dei valori dei parametri caratteristici del refluo depurato.

L’incremento dell’efficienza di TVS demoliti contrasta con la quantità di MLVSS contenuti nel refluo, la quale diminuisce con l’aumentare della temperatura (vedi terzultima riga, 2° numero di **tabella 4.15**). Questo è sorprendente, in quanto il rapporto VSS/TS è essenziale per definire il tasso di biodegradabilità del fango, a sua volta fondamentale per capire la qualità o meno del trattamento di digestione anaerobica. In questo caso è difficile stabilire una relazione tra attività del fango e biodegradabilità dello stesso; il motivo può stare a monte del processo anaerobico (parte della biodegradabilità della frazione volatile potrebbe essere stata demolita nel processo di depurazione del refluo). Questo fenomeno accade essenzialmente nella stagione estiva, quando la velocità di decantazione è più elevata.

Successivamente, è stata fatta un’analisi energetica sul processo di digestione anaerobica, per vedere in quali condizioni il bilancio energetico risulta positivo e quindi il recupero di energia per digestione anaerobica dei fanghi di depurazione risulta favorevole. Le ipotesi assunte per l’impostazione del bilancio energetico sono state:

- si è assunta un’efficienza per lo scambio termico necessario a scaldare il sistema dell’80%;
- le tre maggiori perdite di calore derivano da dispersioni termiche attraverso le pareti del digestore, del tetto e del fondo;
- il calore speso per scaldare il fango in ingresso ed il calore prodotto dalla combustione del biogas prodotto sono stati considerati fra i termini del bilancio.

Il bilancio termico è stato calcolato per i quattro periodi presi in considerazione al punto precedente. Quello che è emerso è una mancanza da parte del sistema di autosostenersi termicamente quando si trova ad una temperatura di 10°C. Il deficit energetico è stato calcolato pari a 750 KWh/d e quindi, per portare il sistema da 10 a 35°C (temperatura di processo), è necessario fornire calore attraverso la combustione di metano. Nei periodi più caldi il bilancio dà risultati positivi, quindi da un punto di vista energetico il processo funziona. I punti ricavati sperimentalmente sono regrediti bene da una relazione lineare,

eccetto il 4° punto (Estate). Da tale regressione si vede che per temperature maggiori di 12,6°C il bilancio risulta essere positivo. Questa osservazione, anche in questo caso, come si è visto in precedenza, non vale per la stagione estiva, in cui si verifica un comportamento anomalo da parte del processo. Alla luce dei risultati, si ha, quindi, la possibilità che il bilancio termico possa risultare fallimentare in certi periodi dell'anno per tale processo. Per ovviare a tale inconveniente si è visto che migliorando il pretrattamento del fango, si ottengono fanghi più concentrati nel solido: per esempio se si passa da 1 a 2 Kg TVS/m<sup>3</sup>d (6% di TS), è possibile dimezzare il volume del digestore con la conseguenza di dover scaldare molto meno fango, ottenendo così un bilancio decisamente migliore rispetto al caso precedente (il punto che dava precedentemente un bilancio negativo, ora dà un bilancio attivo di 2.300 KWh/d). Oltre a questi casi è stato approfondito lo studio considerando la possibilità di associare alla digestione anaerobica un co-generatore di calore ed energia elettrica. La resa di produzione di energia elettrica è del 35%, mentre il rendimento termico è del 55% (Kubler *et al.*, 1999). Considerando un fango trattato al 6% di TS (2Kg TVS/m<sup>3</sup><sub>reactor</sub>), il risultato del bilancio energetico è minore rispetto al caso precedente, anche se comunque sempre positivo, con il vantaggio però che ora si produce energia elettrica (3.100 KWh/d nei primi tre periodi e 200KWh/d in Estate). Ciò comporta una produzione annua pro-capite di 4,5 KWh/AE. Se si pensa che il costo per l'energia industriale è di 220 L/KWh, l'investimento complessivo assomma a circa 125.000 €/anno. Infine, è stato calcolato il bilancio energetico per un processo di stabilizzazione aerobica, considerando le stesse condizioni operative che erano state utilizzate per la digestione anaerobica. Considerando un 20% di TVS demoliti, pari circa a 500.000 KgTVS/anno ed un consumo di O<sub>2</sub> di 2 Kg/KgVS<sub>demoliti</sub> si ha un consumo energetico di 1.000.000 KWh/anno, ovvero un consumo giornaliero per miscelare e aggiungere ossigeno di 2.700 KWh. Al contrario, in questo caso la digestione anaerobica richiede per la miscelazione 727 KWh/giorno. In **tabella 4.19** è riportato un bilancio per i due processi, considerando il recupero energetico attraverso un'unità di co-generazione per il processo anaerobico.

**Tabella 4.19** Bilancio energetico per trattamento aerobico e anaerobico dei fanghi di depurazione.

	Aerobico	Anaerobico
Energia consumata per add. di O <sub>2</sub> e miscelamento (KWh/A.E.anno)	-4,2	-1,1
Energia recuperata con co-generazione (KWh/A.E.anno)	-	+4,5
Bilancio complessivo (KWh/A.E.anno)	-4,2	3,4

I valori di **tabella 4.19** sono espressi sulla base di un impianto di capacità pari a 250.000 AE. Come si nota il processo anaerobico presenta un bilancio complessivo migliore e la differenza che intercorre tra i due processi è di 7,6 KWh/AE anno. Questo corrisponde a circa 210.000 €/anno. Si è considerato anche un bilancio ecologico espresso in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> per i due processi. Il punto di partenza considera 2.500.000 KgTVS/anno e un fango al 6% di TS. Il bilancio per il calcolo della CO<sub>2</sub> complessivamente emessa considera il processo biologico, il calore e l'energia prodotti e la fonte energetica esterna utilizzata. Dal punto di vista del processo biologico, in entrambe i processi si è considerata un'emissione di CO<sub>2</sub> uguale pari a 2.400.000 Kg/anno. Tale valore è stato stimato considerando l'assunzione che 1 Kg di refluo contiene circa un 45% di carbonio, del quale un 40% può essere rimosso. Nel caso della digestione anaerobica parte della CO<sub>2</sub> emessa proviene dalla combustione del metano (circa un 50%). Nel caso della stabilizzazione aerobica si è detto che il totale fabbisogno energetico si aggira su 1.000.000 KWh/anno, quindi sulla base di una produzione specifica di CO<sub>2</sub> di 0,61 Kg/KWh, risulta che la CO<sub>2</sub> emessa è pari a 610.000 Kg/anno. Dalla

combustione di biogas prodotto (500.000 m<sup>3</sup>/anno) si ottengono 3.250.000 kWh/anno, di cui 1.137.500 di energia elettrica e 1.787.500 di energia termica, nel caso in cui ci sia l'unità di co-generazione dell'energia prodotta. L'energia recuperata è pari a 887.500 kWh/anno di energia elettrica e di 287.500 kWh/anno di energia termica. Questo recupero energetico comporta una riduzione di CO<sub>2</sub> emessa di circa 541.000 Kg/anno per recupero elettrico e 98.000 Kg/anno per recupero termico. La **tabella 4.20** riporta le emissioni di CO<sub>2</sub> per i due processi.

**Tabella 4.20** CO<sub>2</sub> prodotta per stabilizzazione aerobica e digestione anaerobica.

	Stabilizzazione aerobica	Digestione anaerobica
CO <sub>2</sub> emessa da stabilizzazione biologica (Kg/anno)	2.400.000	2.400.000
CO <sub>2</sub> emessa da energia elettrica esterna usata (Kg/anno)	610.000	-
CO <sub>2</sub> sottratta dal recupero di energia elettrica (Kg/anno)	-	-541.000
CO <sub>2</sub> sottratta dal recupero di energia termica (Kg/anno)	-	-98.000
CO <sub>2</sub> complessivamente emessa (Kg/anno)	3.010.000	1.761.000
CO <sub>2</sub> specifica pro-capite prodotta (Kg/AE anno)	12	7

La produzione specifica pro-capite di CO<sub>2</sub> (si veda la **tabella 4.19** ultima riga) è stata determinata sulla base di 250.000 A.E.. Dai risultati della tabella si può concludere che, anche dal punto di vista delle emissioni di CO<sub>2</sub>, la stabilizzazione aerobica è un trattamento meno favorevole, infatti nella digestione anaerobica si ha una riduzione del 40% delle emissioni di CO<sub>2</sub>. In conclusione di questo lavoro si è visto che:

- la digestione anaerobica con co-generazione per il recupero energetico è un buon processo sia dal punto di vista energetico, sia dal punto di vista ecologico;
- si è stabilita una relazione tra la quantità di gas prodotto dalla digestione anaerobica e la resa di biomassa, considerando gli effetti di temperatura e di tempo di ritenzione della massa solida per un processo di riduzione del carico organico biodegradabile presente nei fanghi di depurazione. Si è visto che il miglior risultato si ottiene con  $Y_{obs}$  di 0,25, producendo 0,22 m<sup>3</sup>/KgVS<sub>feed</sub>;
- questo studio è risultato utile per definire un legame funzionale tra la sezione di trattamento delle acque e la sezione di trattamento biologico dei fanghi, infatti questo lavoro può risultare utile come modello matematico per predire la produzione di biogas dalla conoscenza delle condizioni operative nella linea di trattamento di depurazione del refluo.

#### 4.4.1.2 Caso di studio sulla digestione anaerobica del depuratore di Verona

Il depuratore “Città di Verona” è l'impianto di trattamento centralizzato dei reflui civili ed industriali confluenti nella rete fognaria del Comune di Verona, ed è sito in Verona, località Basso Acquar. L'impianto, entrato in esercizio nel 1983, ha una potenzialità di trattamento di progetto pari a 330.000 AE, per una portata media di tempo di 900 l/s. Esso è dotato dei seguenti trattamenti:

- linea acque: sollevamento con coclee, grigliatura fine automatizzata, dissabbiatura e disoleatura, sedimentazione primaria, trattamento a fanghi attivi con predenitrificazione, sedimentazione secondaria e defosfatazione biologica;
- linea fanghi: pre-ispessimento a gravità ed addensamento dinamico, digestione anaerobica mesofila, gasometro, disidratazione meccanica ed impianto di essiccamento termico;

- servizi vari: impianto centralizzato di aspirazione e deodorizzazione dell'aria, centrale di cogenerazione a biogas per la produzione di energia termica ed energia elettrica, impianto di pre-trattamento liquami di pozzo nero, laboratorio di analisi chimiche e biologiche.

L'impianto è telecontrollato e tutti i segnali di funzionamento ed anomalia vengono costantemente ed in tempo reale inviati alla centrale operativa di controllo dell'A.G.S.M., che è presidiata per 24 ore al giorno.

La linea di trattamento dei fanghi è incentrata sull'unità di digestione anaerobica, che è costituita da due reattori anaerobici a struttura cilindrica, di capacità utile pari a 5.000 m<sup>3</sup> ciascuno. La digestione anaerobica avviene in fase mesofila, a temperatura dell'ordine dei 35°C. I digestori sono configurati come reattori a miscelazione perfetta (CSTR), ottenuta mediante ricircolazione forzata del biogas. Per il riscaldamento dei fanghi di alimentazione e per il mantenimento della temperatura di esercizio si utilizza il calore recuperato dal raffreddamento dei gruppi di cogenerazione, alimentati a biogas. Lo scopo di questi gruppi di cogenerazione è quello di recuperare nella misura massima possibile la risorsa energetica prodotta dalla digestione anaerobica. Tale recupero viene effettuato attraverso la produzione simultanea di energia elettrica e di calore destinato al riscaldamento dei digestori. L'unità di cogenerazione del depuratore di Verona è essenzialmente costituita da due gruppi di cogenerazione a ciclo otto, ciascuno in grado di erogare una potenza elettrica di 500 KW ed una potenza termica di 700 KW con temperatura dell'acqua di 90°C.

Alla linea fanghi di tale depuratore vengono inviati tutti i fanghi estratti durante le varie fasi di trattamento, e cioè i fanghi primari, provenienti dalla sedimentazione dei liquami di fognatura, ed i fanghi biologici di supero, provenienti dal trattamento dei fanghi attivati. I fanghi così ottenuti presentano un elevato tenore di sostanza organica e sono caratterizzati da un'elevata tendenza alla putrescibilità, che di fatto ne impedisce lo smaltimento. Come abbiamo già detto, nella digestione anaerobica si cerca di sfruttare il fatto che le sostanze organiche presenti nel fango da trattare, qualora si trovino in condizioni ambientali di mancanza di un sufficiente apporto di ossigeno, diventano presto sede di fenomeni riduttivi anaerobici, che portano ad una progressiva riduzione della sostanza organica presente, e quindi ad una progressiva stabilizzazione del fango.

Nell'ambiente chiuso del digestore, privo di ossigeno disciolto, microrganismi anaerobici e facoltativi utilizzano l'ossigeno presente nelle molecole biodegradabili ed inducono quindi un'effettiva riduzione delle sostanze organiche contenute nel fango. Ciò comporta, per esempio, la trasformazione di composti organici a base di zolfo in idrogeno solforato e mercaptani, dei composti azotati in ammoniaca, dei carbonati in metano ed anidride carbonica. Il processo, dopo una prima fase di liquefazione, o fase idrolitica delle sostanze organiche sospese operata da vari tipi di batteri, si sviluppa in due fasi successive, per opera dei batteri che vivono in simbiosi. Un primo gruppo di batteri (batteri acidogeni) provvede ad un'ulteriore degradazione delle sostanze organiche complesse, scomponendole in acidi organici semplici, quali l'acido acetico, l'acido propionico, l'acido butirrico, ed in alcoli. Un secondo gruppo, composto da batteri strettamente anaerobici (batteri metanigeni), utilizza gli acidi organici prodotti dal primo gruppo provvedendo alla loro gassificazione, scomponendoli in metano ed anidride carbonica. Tra i due gruppi si stabilisce un equilibrio dinamico, che sta alla base dello sviluppo di tutto il processo. Ciò significa che gli acidi grassi devono essere convertiti a metano e CO<sub>2</sub> alla stessa velocità con la quale si formano, altrimenti il pH tenderebbe ad abbassarsi e causerebbe l'inibizione della fase metanigena ed il fallimento del processo. La quantità di fanghi che può essere alimentata al reattore, deve essere limitata in funzione della velocità della fase acidogena (fase che controlla l'intero processo). Si ricorda che i batteri acidogeni hanno velocità di raddoppio dell'ordine dei giorni, mentre i metanigeni

hanno velocità di raddoppio dell'ordine dei giorni. Si riporta in **tabella 4.21** i principali dati caratteristici registrati nel 1997, per quanto concerne la linea fanghi e la cogenerazione.

**Tabella 4.21** Bilancio dei solidi sospesi totali nella linea fanghi.

Parametro	Unità misura	Valori
Carico di solidi dalle fognature	ton	5.292
Carico residuo scaricato in Adige	ton	262
Solidi inviati alla linea fanghi	ton	5.030
Solidi da pozzi neri e supero	ton	305
Solidi smaltiti come fango	ton	2.370
Solidi gassificati	ton	2.965
Biogas prodotto	m <sup>3</sup>	2.079.000
Rendimento di gassificazione	m <sup>3</sup> /kg <sub>SSV</sub>	0.70

La riduzione dei solidi da smaltire è risultata pari al 45,6%. La quantità di fanghi inviati a smaltimento (compostaggio) è stata di 10.636 ton/anno di fango disidratato al 16,7% di sostanza secca e di 2.088 ton/anno di fango essiccato all'85% di sostanza secca. Il rendimento di gassificazione della frazione organica volatile è risultato di circa 0,70 m<sup>3</sup>/kg<sub>SSV</sub>. La produzione specifica di biogas è risultata pari a 18,5 l/ab giorno. La composizione media del biogas prodotto mette, infine, in evidenza che la digestione anaerobica ha funzionato con regolarità garantendo un buon tenore di metano (tra il 62 e il 65%). Nella **tabella 4.22** vengono riportate le caratteristiche e composizioni medie del biogas.

**Tabella 4.22** Caratteristiche medie del biogas prodotto.

Parametri	Unità di misura	Valori
CH <sub>4</sub>	% v.v.	62-65
CO <sub>2</sub>	% v.v.	24-32
H <sub>2</sub>	% v.v.	0,02
N <sub>2</sub>	% v.v.	0,4
O <sub>2</sub>	% v.v.	0,005
H <sub>2</sub> S	% v.v.	0,02
PCI	Kcal/m <sup>3</sup>	5.200-6.000

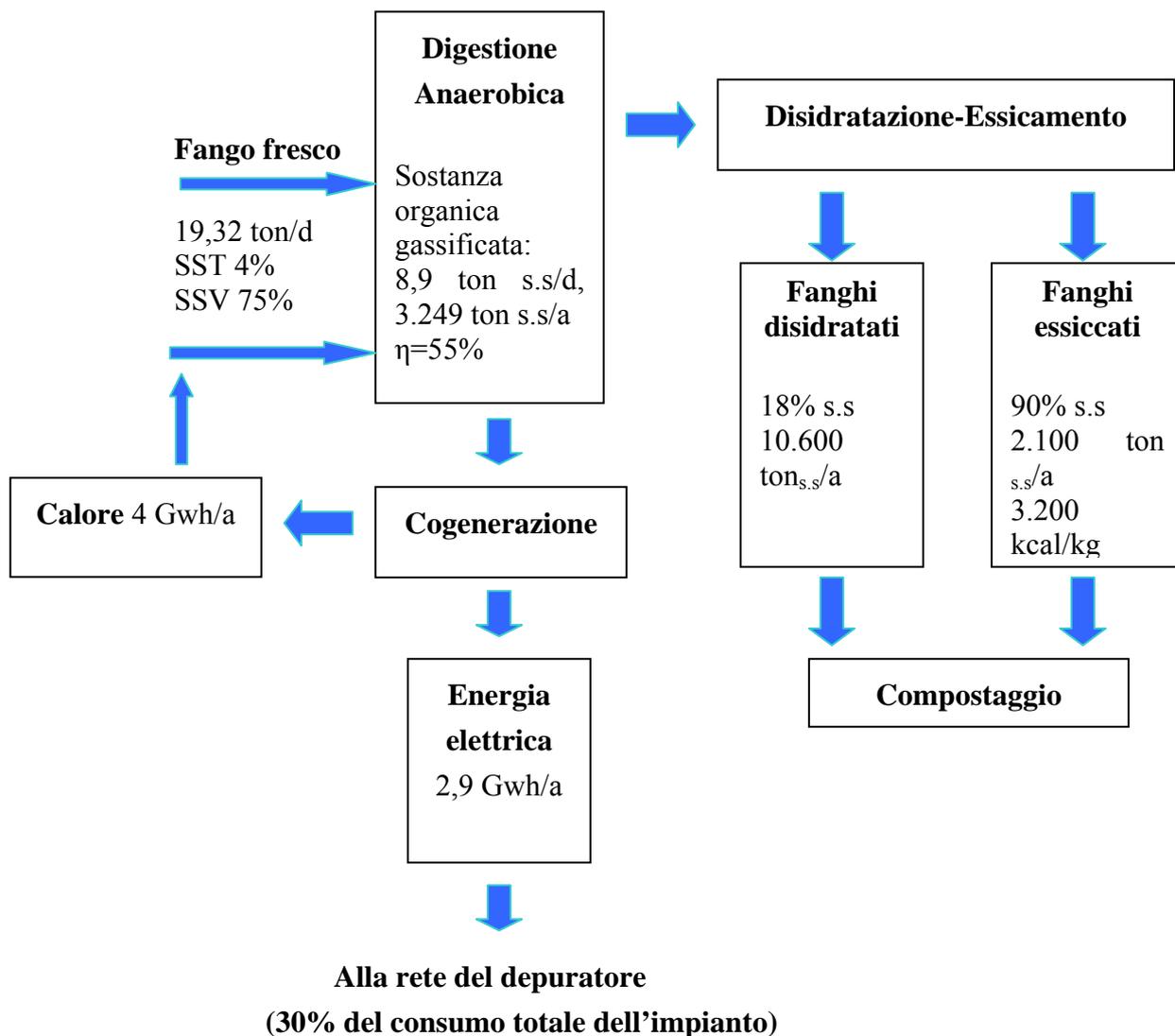
Altri parametri di funzionamento della digestione anaerobica sono stati:

- tempo di permanenza: 19,5 d;
- carico volumetrico: 1,6 kg<sub>SSV</sub>/m<sup>3</sup>d;
- siccità in ingresso: 4,0% di sostanza secca;
- siccità in uscita: 2,9% di sostanza secca;
- acidità volatile: 0,7-23 meq;
- alcalinità totale: 48-85 meq;
- N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 870-1.035 mg/l;
- COD: 1.500-1950 mg/l.

Il biogas prodotto ha presentato un basso contenuto di idrogeno solforato che ne ha consentito il riutilizzo nei gruppi di cogenerazione senza alcun trattamento supplementare di desolfurazione. Il biogas è stato utilizzato nei gruppi di cogenerazione, producendo oltre 2,9 GWh, pari al 25% del consumo totale di energia elettrica, che è, invece, risultato di 10,9 GWh. I dati di collaudo funzionale hanno evidenziato un rendimento elettrico pari al 33,9% ed un rendimento termico massimo pari al 57,1%. Pertanto il rendimento totale di centrale si attesta ad un valore nominale del 91%. Nella normale pratica di esercizio, soprattutto per

esigenze gestionali in termini di riutilizzo del calore disponibile, si riscontrano valori intorno al 33% per il rendimento elettrico e del 50% per il rendimento termico. In **figura 4.1** viene riportato uno schema a blocchi rappresentativo della linea fanghi. I valori sono il frutto di un bilancio di materia ed energia fatto sulla stessa linea fanghi.

**Figura 4.1** Schema a blocchi con bilancio di massa ed energia sulla linea fanghi.



Nella **tabella 4.23** vengono riportati i consumi di energia elettrica autoprodotta relativa agli anni che vanno dal 1993 al 1998. Ora ovviamente, tali dati sono stati sicuramente aggiornati, ma per ora non disponiamo di dati più recenti.

**Tabella 4.23** Bilancio di consumi e dell'energia elettrica autoprodotta.

Anno	Ore di esercizio	Energia elettrica prodotta			Consumi	
		biogas	metano	Totale	Totale	autoprod./consumi
1993	7.766	2.399	266	2.665	10.533	23%
1994	7.107	2.414	121	2.535	11.131	22%
1995	7.923	2.896	21	2.917	11.176	26%

Anno	Ore di esercizio	Energia elettrica prodotta			Consumi	
		biogas	metano	Totale	Totale	autoprod./consumi
1996	8.219	3.103	21	3.124	11.838	26%
1997	8.136	2.744	173	2.917	10.948	25%
1998	8.300	2.850	150	3.000	9.000	30%

I risultati del 1998 sono decisamente migliori, e ciò grazie alla riduzione dei consumi di energia elettrica per l'unità di ossidazione biologica dei liquami. Tale unità, infatti, è stata ristrutturata mediante la sostituzione del sistema di somministrazione dell'ossigeno originale (turbine superficiali), con un nuovo sistema più efficace (turbocompressori centrifughi e diffusori a microbolle). Nel 1998 pertanto l'energia autoprodotta con l'unità di cogenerazione ha consentito di far fronte al 30% dei consumi complessivi dell'impianto. Infine, in **tabella 4.24** vengono sintetizzati i principali dati di funzionamento dell'impianto nel corso temporale compreso fra gli anni 1993 e 1998.

**Tabella 4.24** Principali dati caratteristici del depuratore di Verona fra gli anni 1993 e 1997.

	1993	1994	1995	1996	1997
<b>Dati di Processo</b>					
Liquami trattati (L)	26.615	28.111	30.109	30.723	29.078
Pozzi neri civili (ton)	23.159	21.306	18.192	17.174	14.858
Reflui speciali (ton)	16.303	20.583	11.986	7.278	9.130
Totale reflui speciali (ton)	39.462	41.889	30.178	24.452	23.988
Carico COD all'ossidazione (ton COD)	6.583	7.773	8.215	7.711	7.301
Fango disidratata smaltito (ton)	9.447	14.997	20.700	8.891	10.636
Fango essiccato smaltito (ton)	2.194	1.619	623	2.461	2.088
<b>Dati energetici</b>					
Consumo di energia elettrica (MWh)	10.533	11.131	11.176	11.838	10.948
Potenza media prelevata (kW)	1.202	1.270	1.275	1.350	1.250
Consumo specifico (kW/kg COD)	1,60	1,43	1,36	1,54	1,50
Biogas prodotto (L)	1.828	1.824	2.359	2.420	2.079
<b>Energia elettrica autoprodotta in cogenerazione</b>					
da biogas (MWh)	2.399	2.414	2.896	3.103	2.744
da metano (MWh)	266	121	21	21	173
e.e. da biogas/consumo	23	22	26	26	25

#### 4.4.2 Il processo BIO-STAB

Il processo BIO-STAB per il trattamento dei rifiuti organici provenienti dalla raccolta differenziata, consiste in un pretrattamento dei rifiuti e nella loro digestione anaerobica monostadio, con conseguente produzione di biogas e compost (Aigner e Martin, 1999).

In linea con il D.Lgs. n. 22/1997 sullo smaltimento dei rifiuti art. 5 comma 6 dove si stabilisce che è consentito smaltire in discarica solo i rifiuti individuati da specifiche norme tecniche ed i rifiuti che residuano dalle operazioni di riciclaggio, di recupero e di smaltimento, risulta preferibile sottoporre la frazione organica ad un opportuno trattamento.

Il processo di stabilizzazione anaerobica è una tecnologia che serve per produrre biogas e stabilizzare i fanghi biologici. Nell'ambito dello smaltimento sui rifiuti organici questo processo si pone come soluzione ottimale per certe frazioni di rifiuti. Per esempio, per i rifiuti organici del tipo ligneo-cellulosici e scarti di potatura è consigliabile l'uso del compostaggio aerobico, in quanto molto semplice dal punto di vista impiantistico, ma senza produzione

significativa di biogas. I rifiuti organici provenienti dalla raccolta differenziata sono molto umidi e poveri di sostanza strutturale. Un materiale di questo tipo, se sottoposto a compostaggio, deve essere ventilato e rivoltato periodicamente, oppure deve essere combinato in grande quantità con materiale aggiuntivo di alleggerimento (paglia o trucioli di legno). Se non sono garantite queste condizioni, nelle trincee si hanno i ben noti problemi di non completa stabilizzazione della sostanza organica e quindi di sola parziale igienizzazione, accompagnata da odori sgradevoli. È perciò logico pensare che in questo caso sia più conveniente una digestione anaerobica.

Da un punto di vista impiantistico la digestione anaerobica secondo il processo BIO-STAB consiste in:

- un trattamento dei rifiuti organici;
- una stabilizzazione nel bioreattore;
- un recupero energetico.

Di seguito vengono descritti alcuni aspetti del processo e dell'impianto della tecnologia BIO-STAB. Gli automezzi provenienti dalle operazioni di pesatura scaricano i rifiuti in una fossa dotata di un sistema di aspirazione dell'aria, al fine di evitare la fuoriuscita di odori sgradevoli. Quindi il materiale viene convogliato in un vaglio a tamburo rotante con fori di diametro 200-300 mm, in cui vengono separati pezzi di legno o comunque sostanze di carattere ligneo-cellulosico. Il materiale così preparato viene ancora sottoposto ad una separazione automatica dei materiali ferrosi e successivamente passa per un'ulteriore macchina trituratrice. Per mezzo di un trasportatore a catena il materiale organico tritato viene trasformato in una miscela pompabile, necessaria per il processo di fermentazione. Rifiuti organici molto fluidi possono essere pompati direttamente al bioreattore. In uscita dal pretrattamento la miscela passa in un dissabbiatore, quindi, pronta per la digestione, passa in un apposito serbatoio di accumulo da cui successivamente va ad alimentare il digestore. Lo scopo del processo di selezione e trasformazione è quello di eliminare tutto il materiale indesiderato. Dal serbatoio di accumulo la sospensione viene inviata nel digestore, dopo essere stata preventivamente miscelata con una soluzione di ricircolo. Una digestione molto spinta, indispensabile per un buon funzionamento dell'impianto, è garantita dai seguenti provvedimenti atti a raggiungere e mantenere le condizioni ottimali per i microrganismi all'interno del reattore:

- il preriscaldamento della soluzione fresca fino alla temperatura di reazione e la miscelazione con la sospensione di ricircolo (portano ad ottenere un'elevata superficie di contatto tra le sostanze organiche contenute nella sospensione ed i micro
- rganismi contenuti in quella di ricircolo);
- la miscelazione della sospensione all'interno del digestore attraverso insufflazione di gas (operazione che rimedia alle perdite per irraggiamento di calore e contribuisce a stabilizzare la temperatura).

I prodotti della digestione vengono equamente distribuiti sulla massa batterica e il reattore viene sfruttato in tutta la sua estensione.

L'insufflazione del biogas presenta i seguenti vantaggi:

- sfruttare al meglio il volume del reattore per miscelazione intensa che tuttavia non danneggia la struttura fioccosa della sospensione;
- eliminare le zone morte all'interno del reattore;
- impedire con l'alta velocità di salita la formazione di bolle di gas sulla superficie dei fiocchi in sospensione (in questo modo si aumenta la resa di biogas e si elimina la necessità di effettuare una postdegassazione del compost);

- evitare la formazione di strati galleggianti e depositi di fango.

La produzione di biogas e la composizione del compost dipendono strettamente dalla qualità dei rifiuti organici in entrata nell’impianto e dalla durata del processo di stabilizzazione. La sospensione proveniente dai digestori entra in un serbatoio di stoccaggio da dove viene inviata all’unità di disidratazione. La sospensione disidratata viene trasportata in appositi capannoni, dove, dopo una fase di stabilizzazione, si ottiene il prodotto finale (compost), che può essere utilizzato in agricoltura.

#### 4.4.2.1 Caso di studio: il sistema Treviso

Il lavoro presenta i risultati principali derivanti dall’implementazione della logica di gestione integrata acque-rifiuti solidi urbani attuata presso l’impianto di Treviso. L’approccio processistico utilizzato prevede l’utilizzo della frazione organica dei RSU secondo due logiche distinte: la promozione delle fasi di denitrificazione e defosfatazione biologica in linea acque e la massimizzazione del recupero energetico attraverso la codigestione.

I dati sperimentali raccolti hanno portato ad importanti evidenze riguardo alla fattibilità del processo ed alle rese ottenibili. In particolare, le principali evidenze riscontrate in termini di recupero energetico possono essere sintetizzate nella verifica di un aumento del 400-500 % della produzione di biogas, ottenendo il raggiungimento della piena autonomia energetica del digestore, anche con notevoli esuberi, senza alcuna evidenza di instabilità nel processo. L’articolo contenente la descrizione del processo ed i dati caratteristici di tale tecnica applicata all’impianto di depurazione di Treviso, sono riportati in **allegato 8**. Di seguito (**tabelle 4.25 e 4.26**) vengono riportati dei dati caratteristici relativi al sistema Treviso, che danno un’idea di alcuni risultati molto vantaggiosi che tale sistema è riuscito a realizzare.

**Tabella 4.25:** Dati di progetto dell’impianto(\*)

Sezioni	Comparto	Volumetrie/potenzialità
Linea	Popolazione servita, AE	50.000 + 20.000 (**)
Acque: rispetto i limiti del D.Lgs. n. 152/1999 aree sensibili	Portata trattata, m <sup>3</sup> /d Zona anossica secondaria, m <sup>3</sup> Zona anaerobica, m <sup>3</sup> Zona anossica, m <sup>3</sup> Zona di ossidazione/nitrificazione, m <sup>3</sup>	14.000+5.600 (**) 800-600 1.600-1.200 1.600-1.200 5.500
Linea fanghi	Pre-ispessimento gravitazionale seguito da digestione anaerobica volume utile digestore, m <sup>3</sup>	2.200
Area FORSU Collaudata a 2 t/h, quindi sufficiente a coprire la produzione totale di FORSU della città, pari a 20 t/d	Portata trattata, tonn/d	10
Area di recupero del fosforo dai surnatanti anaerobici	Portata trattata, m <sup>3</sup> /h	Fino a 8 m <sup>3</sup> /h (copre totalmente la produzione complessiva dei surnatanti dell’impianto)

(\*) l’impianto, che tratta i reflui civili e liquami provenienti dalla pulizia delle fosse settiche della città di Treviso è stato realizzato tra il 1998 e il 2000, a fronte di un finanziamento regionale per l’ampliamento della vecchia linea. Il processo adottato prevede una linea acque BNR basata su schema di Johannesburg (non prevedendo quindi il sedimentatore primario) e una linea fanghi con digestione anaerobica. A questa filiera di processo è stata integrata una sezione di pretrattamento FORSU a bassa potenza specifica. I fanghi prodotti in uscita dal digestore vengono utilizzati a fini agricoli. Nell’impianto è inoltre presente una sezione di recupero del fosforo dai surnatanti anaerobici, basata sulla cristallizzazione controllata di struvite/idrossiapatite su reattore a letto fluido. L’abbattimento avviene senza alcuna aggiunta di chemicals esterni e porta alla produzione di un fertilizzante a lento rilascio in forma granulare.

(\*\*) l’incremento di potenzialità è proveniente dal recupero delle volumetrie del vecchio impianto, operante con processo convenzionale

**Tabella 4.26:** Dati di esercizio del sistema di cogenerazione (\*)

Parametro	Senza FORSU	Con FORSU
Tipo di processo (con previsione del passaggio a termofilo (55°C) nel 2007)	Mesofilo (35°C)	
FORSU tratta, tonn/d	0	8-10
Biogas prodotto, m3/d	150	650
Percentuale di CH <sub>4</sub> nel biogas, %	65	62
Fanghi prootti, tonn/d (al 21%TS)	11	13
Scarti linea di selezione, %	-	30 (**)

(\*) i dati sono medi annui sul lungo periodo

(\*\*) dato ottenuto con FORSU raccolta da cassonetti stradali. Il valore può ridursi al 15 % passando al porta a porta.

**Ricavi energetici:**

a 8-10 t FORSU/d: 1440 kWh elettrici/d, 1.800.000 kcal termiche/d

a 20 t FORSU/d: 2550 kWh elettrici/d, 3.160.000 kcal termiche/d (stimate)

**Rendimento energetico:** 4 kWh resi per ogni kWh speso per il trattamento.

**Costi industriali di trattamento:**

a 8-10 t FORSU/d: 50 €/t (inclusi smaltimento scarti e maggiore produzione fanghi, personale ed energia).

a 20 t FORSU/d: 35 €/t (stimati).

**Ricavi economici:**

Prezzo di conferimento

all'impianto di Treviso: 49 €/t.

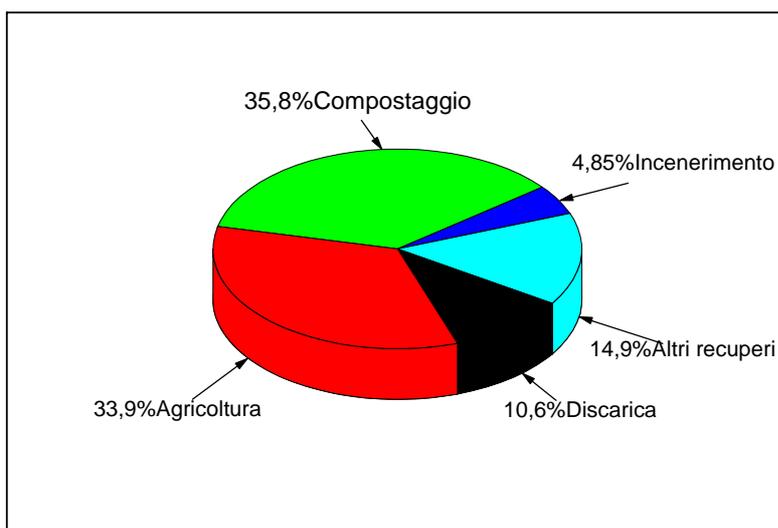
Vendita energia: fino a 93 €/t FORSU (certificati verdi a 109 euro/MW, vendita energia circa 60 euro/MW).

Potere calorifero fanghi disidratati: 3500 kj/kg, considerando un fango disidratato al 25% TS (solidi totali stimato).

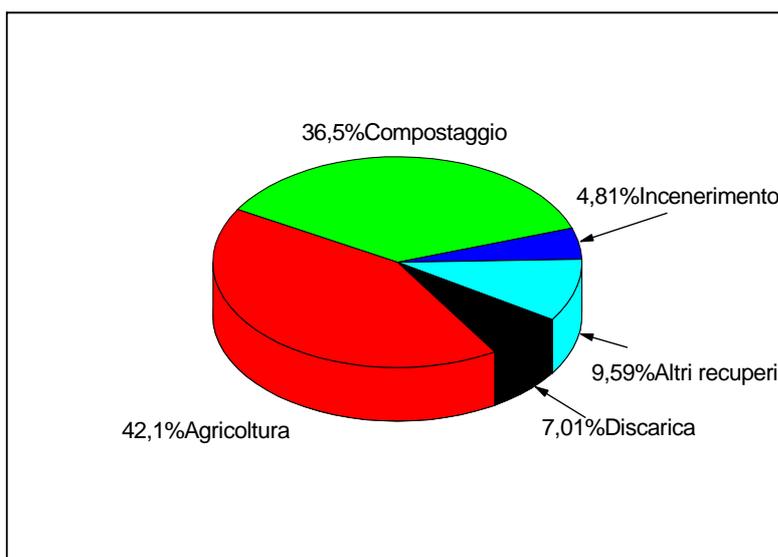
Il risultato di queste ricerche è stato brevettato, come riportato in bibliografia.

## 5. I fanghi da depurazione: il quadro generale attuale

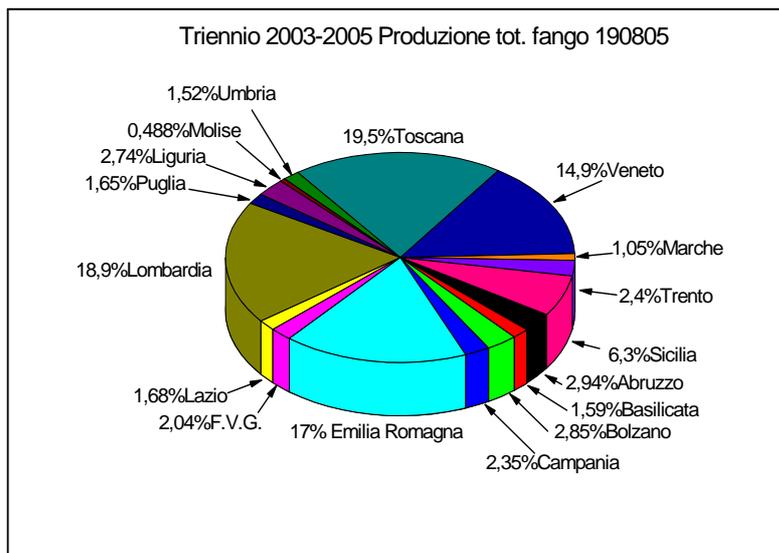
In questo ultimo capitolo sono presentati tutti i dati relativi alla produzione, smaltimento e recupero del fango da depurazione (codice CER 190805) e si è cercato di delineare un quadro generale per descrivere la situazione attuale, in merito a tale produzione, nel territorio nazionale, in particolar modo per quelle regioni che hanno partecipato all'attività del TTI "Gestione sostenibile delle risorse idriche". I dati raccolti sono relativi al triennio 2003-2005. Nelle figure seguenti viene delineato il quadro generale della situazione relativa alla produzione e smaltimento dei fanghi: sono stati diagrammati i valori mediati nel triennio 2003-2005 di produzione, smaltimento e recupero del fango CER 190805, inoltre sono stati riportati anche i risultati relativi all'anno 2003 (anno per cui si dispone di più dati). I risultati sono rappresentati in percentuale di quantità di fango prodotta o recuperata.



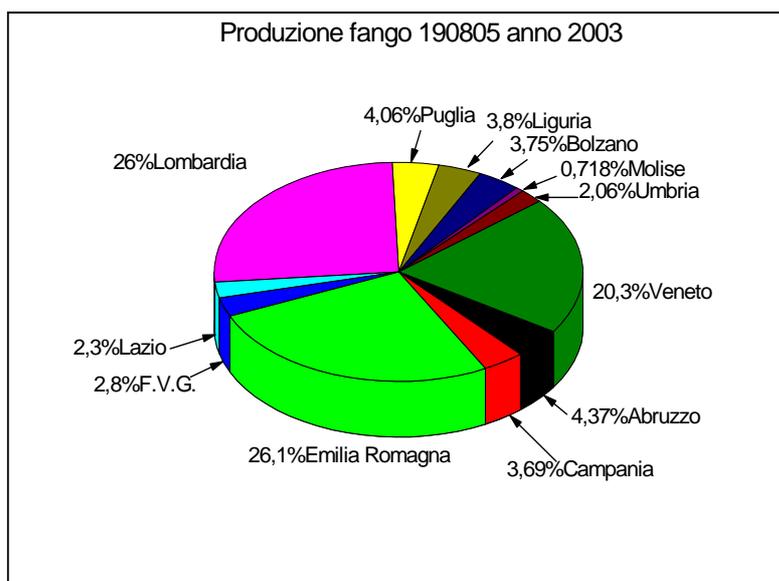
**Figura 5.1** Destinazione del fango 190805 prodotto mediamente nel territorio nazionale nel triennio 2003-2005.



**Figura 5.2** Destinazione del fango 190805 prodotto nel territorio nazionale nell'anno 2003.



**Figura 5.3** Percentuale di fango 190805 prodotto mediamente nel triennio 2003-2005 in ciascuna delle regioni considerate.



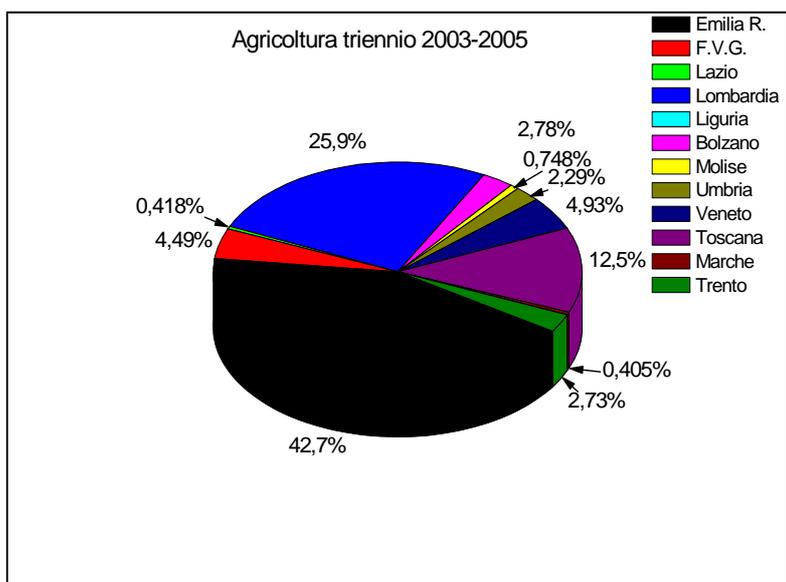
**Figura 5.4** Percentuale di fango codice CER 190805 prodotto mediamente nel triennio 2003-2005 in ciascuna delle regioni considerate.

In **figura 5.1** e **5.2** sono raffigurate le percentuali relative alla destinazione del fango prodotto, rispettivamente nel triennio 2003-2005 e nell'anno 2003. Quello che si vede in tali figure è una notevole tendenza al recupero di fango prodotto per utilizzi agricoli, previo compostaggio. Viceversa, risulta modesta la percentuale di fango smaltito in incenerimento. Si sottolinea però, che per questo tipo di attività di recupero (tramite incenerimento), da quanto emerso in tale lavoro, si è riusciti ad ottenere una quantità di informazioni insufficiente per stabilire l'effettiva natura del fango smaltito.

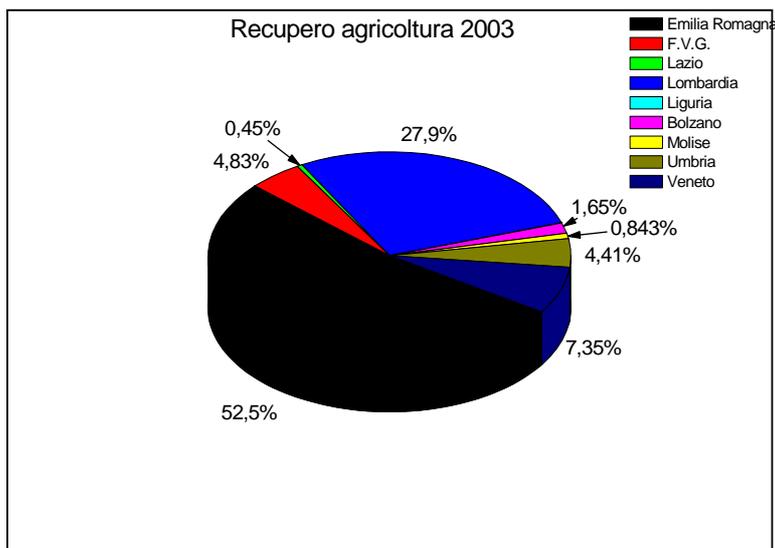
In **figura 5.3** e **5.4** sono rappresentati i maggiori produttori di fango nel triennio 2003-2005 e nell'anno 2003. A quanto si osserva dalla **figura 5.3** la Toscana è al primo posto con una produzione totale di fango 190805 del 19,5%, seguono Lombardia con il 18,9% ed Emilia

Romagna con il 17%. La minor produzione di fango si è avuta in Molise con il 0,488%. Nell'anno 2003 (**figura 5.4**), la regione che ha prodotto la maggior quantità di fango è stata l'Emilia Romagna con il 26,1%, insieme alla Lombardia con il 26%. Il Molise resta sempre all'ultimo posto nella produzione di fango 190805, con il 0,718%. Nelle figure seguenti vengono riportate le quantità di fango destinate ai vari utilizzi.

Recupero R10 (Agricoltura)



**Figura 5.5** Quantità di fango codice CER 190805 mediamente recuperate in agricoltura nel triennio 2003-2005.



**Figura 5.6** Quantità di fango 190805 destinate al recupero in agricoltura nell'anno 2003.

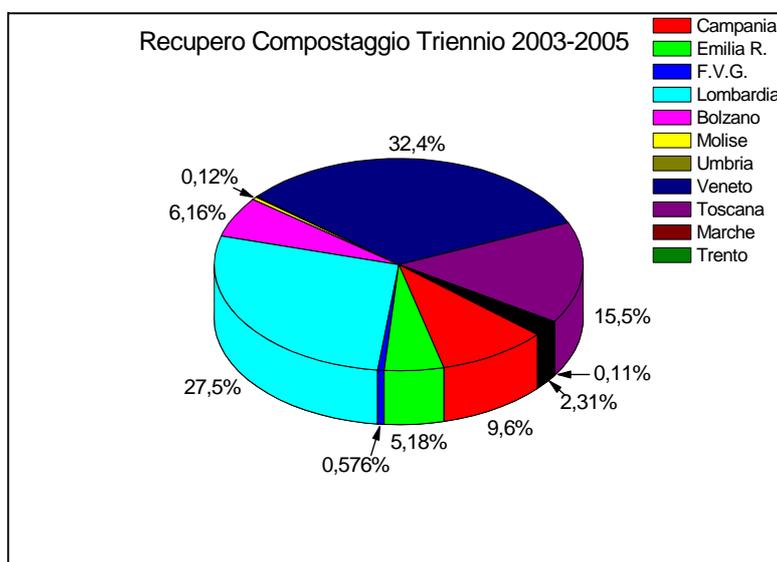
In **figura 5.5** sono riportate le percentuali di fango 190805 che sono state destinate al recupero in agricoltura. Come si osserva dal grafico, al primo posto c'è l'Emilia-Romagna con il 42,7% di fango recuperato in agricoltura, seguono la Lombardia con il 25,9% e la Toscana con il 12,5%. Il recupero minore di fango si è registrato in Liguria (contrassegnata nel grafico con il color celeste che non si vede poiché la percentuale è sotto lo 0,1%).

In **figura 5.6** sono riportate le percentuali di fango 190805 destinate al recupero agricolo nell'anno 2003. Grosso modo questi risultati rispecchiano quelli del triennio (**figura 5.5**). Si sottolinea che questi risultati danno un'idea approssimativa della situazione relativa al recupero di tale fango nel territorio nazionale, in quanto mancano i dati di alcune regioni. Si è, comunque, voluto considerare i dati di tale anno per la maggior consistenza e mole di questi.

### Recupero R3 (Compostaggio)

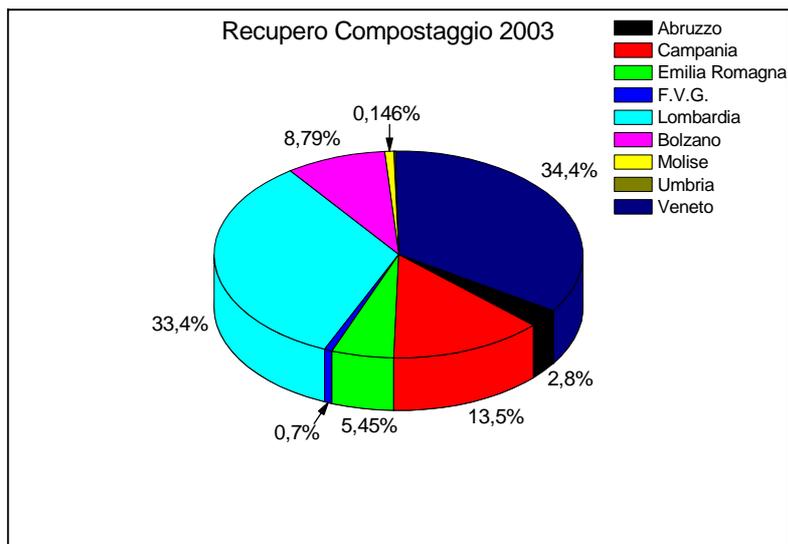
Anche per il recupero di fango 190805 prodotto nel triennio 2003-2005 sono stati riportati i grafici dei dati pervenuti dalle varie regioni. In **figura 5.7** sono riportate le percentuali di fango 190805 recuperate mediamente nel triennio considerato in attività di compostaggio per ciascuna regione. Come si osserva dalla figura al primo posto si trova il Veneto con il 32,4% di fango recuperato. Seguono Lombardia e Toscana rispettivamente con il 27,5% e il 15,5% di fango destinato al compostaggio. Le regioni che hanno effettuato il minor recupero nel triennio considerato sono state le Marche e il Molise con una percentuale inferiore allo 0,1%.

In **figura 5.8** viene riportato il quadro generale sul recupero in compostaggio per l'anno 2003. Grosso modo i risultati rispecchiano quelli rilevati nel triennio. Anche in questo caso mancano i dati di alcune regioni.



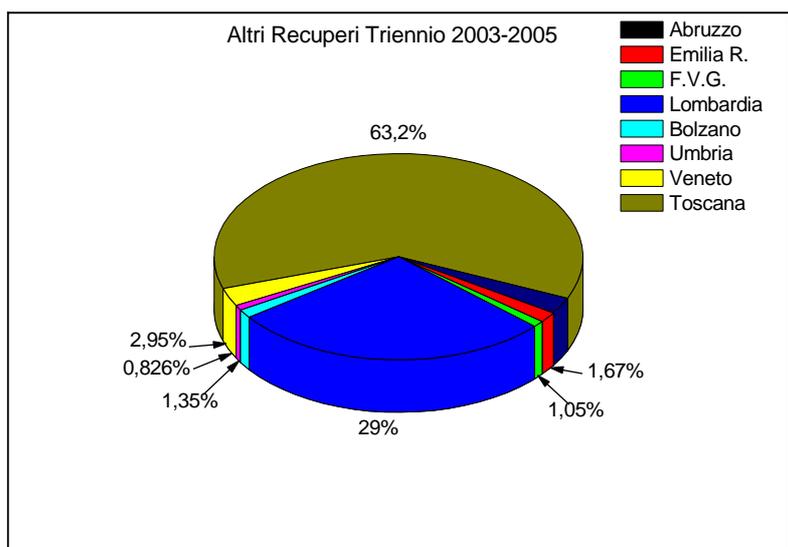
**Figura 5.7** Recupero di fango 190805 in compostaggio durante il triennio 2003-2005.

Sotto questa voce, sono stati considerati i quantitativi di fango CER 190805 che sono stati destinati ad altri recuperi, in particolar modo quelli messi in riserva R13. Le regioni che maggiormente effettuano un'attività di recupero di questo genere sono la Toscana con il 63,2% e la Lombardia con il 29%. Non sono stati riportati i dati dell'anno 2003, in quanto in numero insufficiente per trarre delle informazioni utili.



**Figura 5.8** Quantità di fango CER 190805 recuperata in compostaggio nell'anno 2003.

Altri recuperi



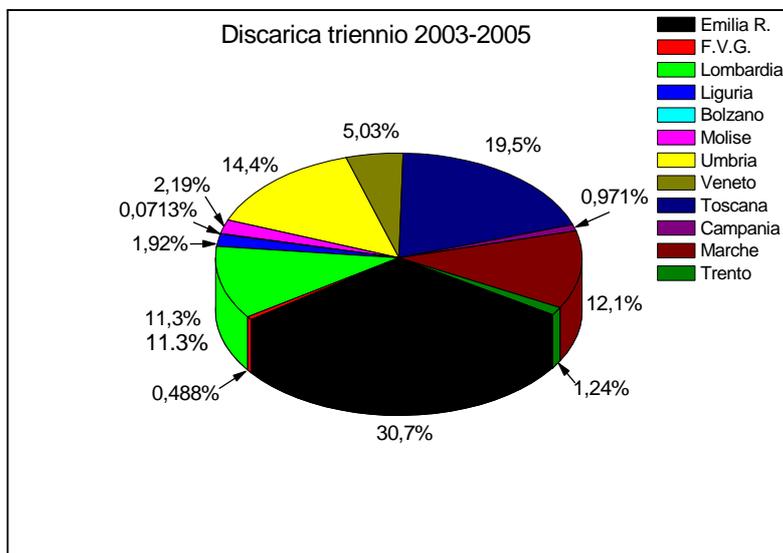
**Figura 5.9** Quantità di fango CER 190805 destinata ad altri recuperi nel triennio 2003-2005.

Smaltimento D1 (discarica)

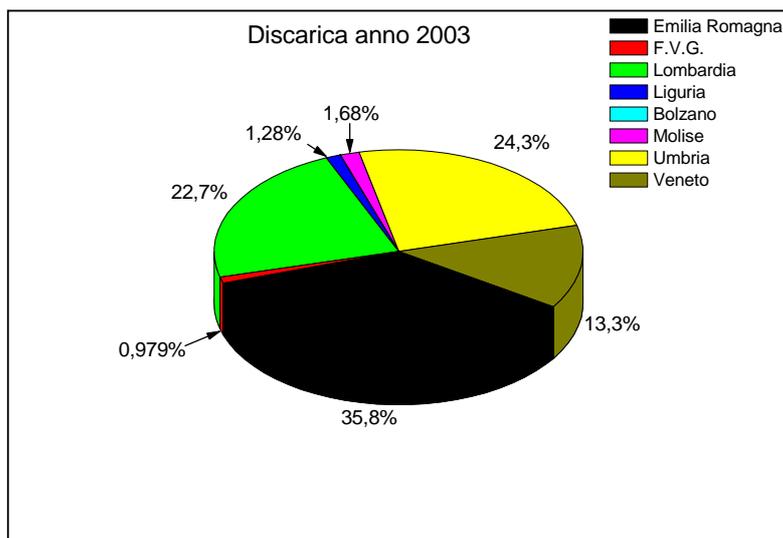
In **figura 5.10** è rappresentato il quadro generale per il triennio 2003-2005, relativo alla quantità di fango CER 190805 smaltita in discarica per ciascuna regione. Dalla figura si osserva che l'Emilia Romagna è al primo posto con il 30,7% del fango complessivamente prodotto. Seguono la Toscana con il 19,5% e le Marche con il 12,1%. La Liguria e la Campania, dai dati raccolti ed effettivamente disponibili in questo lavoro (in Campania solo una provincia), risultano smaltire poco fango.

In **figura 5.11** sono riportate le quantità di fango smaltite in discarica nell'anno 2003. La differenza sostanziale tra i due grafici è dovuta alla quantità smaltita in discarica nell'anno

2003 nella regione Umbria (vedi **figura 5.11**), risultata decisamente maggiore rispetto alla media considerata nel triennio.



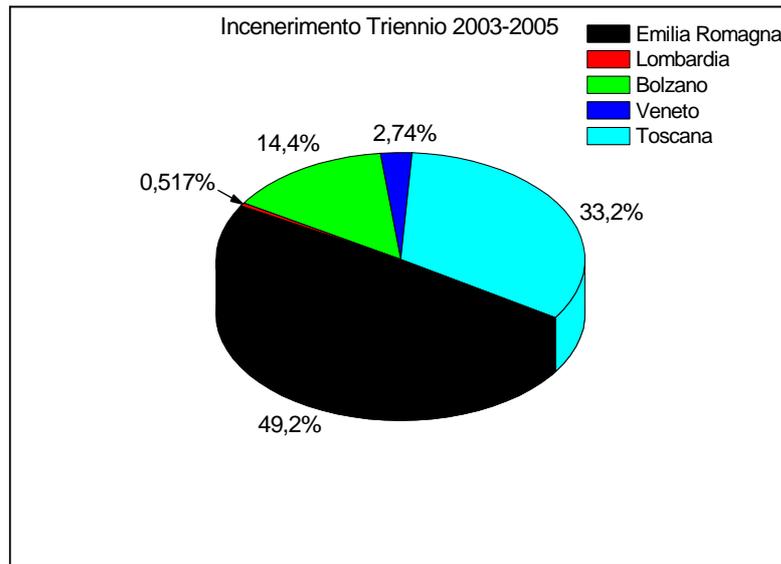
**Figura 5.10** Quantità di fango 190805 smaltita in discarica nel triennio 2003-2005.



**Figura 5.11** Quantità di fango 190805 smaltita in discarica nell'anno 2003.

Smaltimento D10 (incenerimento).

Come già detto per questo tipo di smaltimento con recupero energetico non si sono potute acquisire informazioni sufficienti per poterlo caratterizzare. In **figura 5.12** sono diagrammati i risultati di sole 5 regioni su 16 complessivamente considerate. La regione con maggior ricorso allo smaltimento mediante incenerimento risulta l'Emilia-Romagna con il 49,2%; questi dati per quanto appena detto debbono essere considerati solamente indicativi e non esaustivi.



**Figura 5.12** Quantità di fango smaltita in incenerimento durante il triennio 2003-2005.

## Conclusioni

La situazione delineata a livello nazionale italiano sulla produzione, recupero/smaltimento dei fanghi è risultata poco precisa ed insoddisfacente a causa della mancanza o incompletezza dei dati disponibili. Le motivazioni che hanno condotto a ritenere il quadro generale poco chiaro e preciso sono:

- la disomogeneità dei dati raccolti nelle singole regioni (spesso i dati forniti mancano di un riferimento temporale e spaziale ben preciso);
- la mancanza in alcune regioni di un quadro generale sulla produzione/smaltimento dei fanghi che ha portato a ricorrere alla consultazione diretta delle singole Autorità d’ATO;
- in alcune regioni risulta poco chiara la destinazione del fango prodotto, l’effettiva quantità di fango prodotto, la loro vera origine e provenienza;
- non è presente in tutte le regioni un approccio metodologico comune per la raccolta dei dati relativi alla produzione, smaltimento e recupero di fanghi di depurazione;
- in alcune regioni il dato di produzione è incoerente con i dati di smaltimento e di recupero (non si ha alcuna informazione o si hanno informazioni incomplete sulla destinazione del fango prodotto);
- si riscontrano dati mancanti o incompleti sullo smaltimento tramite incenerimento (operazione D10).

Nonostante le problematiche riscontrate durante il lavoro svolto, si è comunque cercato di elaborare e fornire un quadro generale alla situazione presente in maniera più esaustiva possibile. Tale quadro deve essere inteso come indicativo e come punto di partenza per migliorare l’informazione, evidenziando la necessità di uno sforzo ulteriore di produzione e raccolta dati.

In questo elaborato, sono state raccolte tutte le normative e le linee guida disponibili di cui le regioni si sono dotate, sia per il recupero del fango in agricoltura, sia per lo smaltimento di rifiuti mediante incenerimento. Di fatto si è constatata una grossa carenza conoscitiva di dati sulla conformità del fango prodotto alle varie possibili operazioni di smaltimento/recupero ed in particolare per lo smaltimento in agricoltura, sul rispetto dei limiti di legge consentiti (molte regioni praticano il recupero in agricoltura secondo il rispetto della normativa nazionale e/o regionale, ma non hanno fornito informazioni sulle caratteristiche dei fanghi recuperati).

Come sviluppo futuro del lavoro si ritiene che, oltre ai dati di produzione e smaltimento generali per singola regione/provincia autonoma, si debba cercare di migliorare la situazione conoscitiva relativa al recupero energetico dal processo di trattamento dei fanghi di depurazione mediante incenerimento e digestione anaerobica. Si è constatata una scarsa diffusione dello smaltimento dei fanghi mediante incenerimento con recupero energetico, mentre numerosi sono i casi di studio, anche riportati nel presente elaborato, riguardanti il recupero energetico dal processo di digestione anaerobica.

## Riferimenti bibliografici

Aigner e Martin, 1999 in Atti secondo Convegno Nazionale “*Utilizzazione termica dei rifiuti*” Abano Terme 20-21/05/1999.

Bixio, D., De Deken, B. e van Hauwermeiren, P. (1999). Anaerobic digestion in low loaded system- A case study. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.*, **64/5a**, 99-102.

Bolzonella, D., Innocenti, L. e Cecchi, F. (2002). Biological nutrient removal wastewater treatments and sewage sludge anaerobic mesophilic digestion performances. *Water Science and Technology*, **vol 46**, 199-208.

Brunetti, A., Lore, F. e Lotto, V. (1988). Methanogenic potential of substrate in anaerobic digestion of sewage sludge. *Env. Tech. Letters*, **9**, 753-762.

Caggiano e Motawi, 1999, in Atti Secondo Convegno Nazionale “*Utilizzazione termica dei rifiuti*” Abano Terme 20-21/05/1999.

Kubler, H. e Rumphorst, M. (1999). Evaluation of processes for treatment of biowaste under the aspects of energy balance and CO<sub>2</sub> emission. In: *Proc. II Int. Symp. on Anaerobic Digestion of Solid Waste (II ISAD-SW)*. Barcelona, Spain, 15-17 June, 1999; 405-410.

Malpei, 2005, Trattamento dei fanghi derivanti da impianti di depurazione acque reflue de impianti di potabilizzazione, dispensa Corso di Ingegneria Sanitaria Ambientale 2, [www.amb.polimi.it/malpei/Imp-Tratt-Cremona/LezioneISA2Crem051205.pdf](http://www.amb.polimi.it/malpei/Imp-Tratt-Cremona/LezioneISA2Crem051205.pdf).

Marino, 1999 in Atti secondo Convegno Nazionale “*Utilizzazione termica dei rifiuti*” Abano Terme 20-21/05/1999.

Metcalf e Eddy Inc. (1991). *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw-Hill Int. Editions, pp. 1334.

Piantanida e Pizzoli, 1999 in Atti secondo Convegno Nazionale “*Utilizzazione termica dei rifiuti*” Abano Terme 20-21/05/1999.

Zannier e Savoldi, 1999 in Atti secondo Convegno Nazionale “*Utilizzazione termica dei rifiuti*” Abano Terme 20-21/05/1999.

Brevetto RN 2004°000038, F.Cecchi, P.Pavan, P.Battistoni (2004). “Metodo di pretrattamento a bassa potenza specifica della frazione organica di rifiuto solido urbano finalizzato al processo di codigestione e/o all’ottimizzazione delle fasi di denitrificazione e defosfatazione biologica”.

Brevetto RN 2004°000034, P.Battistoni, F.Cecchi (2004). “Procedimento di produzione di sali di fosforo e azoto da reflui contenenti ortofosfati senza aggiunta di reagenti chimici”.

Ingegneria Ambiente srl (brevetto a cura di), via del consorzio, 39 60015 Falconara Marittima (AN).

## **Allegato\_D\_1 QUESTIONARIO QUADRO CONOSCITIVO**

- 1) **La vostra Regione ha regolamentato le modalità di recupero dei fanghi di depurazione mediante utilizzo su suolo agricolo (D. Lgs. n. 99/92) o compostaggio (D. lgs. n. 22/97 e DM 05.02.98)?**

 SI NO

**Se SI allegare copia della normativa**

- 2) **La vostra Regione ha approvato un Programma per la riduzione del conferimento di rifiuti biodegradabili in discarica sulla base del D. Lgs. n. 36/2003?**

 SI NO

**Se SI tale Programma prende in considerazione anche i fanghi di depurazione prevedendone la destinazione a forme diverse di recupero/smaltimento?**

 SI NO

**In caso affermativo allegare copia del documento**

- 3) **Riportare nella tabella seguente la quantità di fanghi prodotta per l'anno più recente disponibile, per ciascuno dei codici CER indicati**

<b>ANNO DI RIFERIMENTO:</b>	
<b>CER</b>	<b>Quantità tal quale (t/anno)</b>
02 02 04	
02 03 05	
02 04 03	
02 05 02	
02 06 03	
02 07 05	
03 03 11	
04 01 06	
04 01 07	
04 02 19	
04 02 20	
05 01 09	
05 01 10	
06 05 02	
06 05 03	
07 01 11	
07 01 12	
07 02 11	
07 02 12	
07 03 12	
07 04 11	
07 05 12	

07 06 11	
07 06 12	
07 07 12	
10 01 20	
10 01 21	
10 12 13	
19 06 04	
19 06 06	
19 08 05	
19 08 11	
19 08 12	
19 08 13	
19 08 14	
19 09 02	
19 11 05	
19 11 06	
<b>TOTALE</b>	

4. Indicare nella tabella seguente la destinazione del totale dei fanghi prodotti, per l'anno più recente disponibile, suddivisa per classi di codici CER (quantità tal quale in t/anno):

ANNO DI RIFERIMENTO:					
Classi di codici CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
02					
03					
04					
05					
06					
07					
10					
19 06					
19 08 05					
19 08 11 e 19 08 12					
19 08 13 e 19 08 14					
19 09 02					
19 11 05 e 19 11 06					

5. Indicare la superficie agricola complessivamente interessata all'utilizzo di fanghi di depurazione per l'anno più recente disponibile:

ANNO DI RIFERIMENTO:	SUPERFICIE: _____ ha
----------------------	----------------------

6. Inviare, se disponibili, i risultati di indagini svolte dall'ARPA per la caratterizzazione dei fanghi di depurazione civili relativamente ai parametri di cui all'Allegato IB del D. Lgs. n. 99/1992.

## **Allegato\_D\_2 LINEA GUIDA DEL VENETO SUL RIUTILIZZO DEI FANGHI IN AGRICOLTURA**

### **Riferimenti tecnici normativi**

I principali riferimenti sono costituiti dalle seguenti norme:

- Direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell’ambiente, in particolare del suolo, nell’utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.
- D.Lgs. n. 99/1992 Attuazione della Direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell’ambiente, in particolare del suolo, nell’utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.
- DGRV n. 2241/2005 Direttiva B – “*Norme tecniche in materia di utilizzo in agricoltura di fanghi di depurazione e di altri fanghi e residui non tossico e nocivi di cui sia comprovata l’utilità ai fini agronomici*”.

### **Individuazione delle attività di controllo specifiche**

Rifacendosi alla normativa precedentemente citata, ai requisiti di controllo dettati dalla Comunità Europea, a considerazioni tecniche ed alle procedure già consolidate all’interno dei Servizi Territoriali dell’ARPAV, nel piano delle ispezioni sono stati inseriti i seguenti tipi di controllo: documentale, gestionale, tecnico e analitico.

Il personale addetto ai controlli provvederà alla:

- compilazione della check-list di controllo;
- compilazione di una scheda sintetica relativa alle conformità ed alle non conformità riscontrate con la motivazione della valutazione espressa.

Per quanto riguarda il controllo analitico, l’allegato A della DGRV n. 2241/2005 all’articolo 10 stabilisce che “Il gestore dell’impianto di depurazione deve effettuare l’analisi dei fanghi, così come prodotti dall’impianto, con la frequenza indicata al punto 1 dell’art. 11 del D.Lgs. n. 99/1992. Gli stessi devono altresì essere analizzati dopo essere stati sottoposti al trattamento di cui all’articolo 3, punto 1, lettera a) del D.Lgs. n. 99/1992, e alle altre operazioni di cui all’articolo 11, punto 2, del D.Lgs. n. 99/1992 prima del loro utilizzo in agricoltura, al fine di verificare il rispetto dei limiti fissati nella **tabella A 2.3**. Le analisi dei terreni dovranno essere ripetute almeno ogni tre anni, con le stesse modalità previste per il campionamento e l’analisi al precedente articolo 3 punto d), per i parametri indicati nella **tabella A 2.3** della Direttiva B e presentate alla Provincia. Il campionamento e le analisi previste dovranno essere effettuate dai laboratori dell’ARPAV ovvero dai laboratori privati che possiedono i requisiti di cui all’art. 54 della LR n. 33/1985 e s.m.i.”.

### **Individuazione della frequenza delle attività di controllo**

Come definito al paragrafo 1, le categorie di riferimento per la definizione delle frequenze dei controlli sono le quantità di fanghi autorizzate secondo le seguenti classi:

- quantità di fanghi autorizzate > 500 t/anno;
- quantità di fanghi autorizzate comprese tra 100 e 500 t/anno;
- quantità di fanghi autorizzate < 100 t/anno.

### **Controlli documentali tecnici e gestionali**

Per queste tipologie di controllo non esistono dei riferimenti normativi; in questo documento vengono definite delle frequenze sulla base di considerazioni di carattere tecnico-operativo derivate dall’esperienza maturata dalle strutture dell’Agenzia. Le frequenze fissate tengono

conto della classificazione dell'impianto nella scala gerarchica (per quantità di fanghi autorizzate).

I controlli documentali, tecnici e gestionali devono essere effettuati con una frequenza che corrisponde al grado di complessità degli impianti di stabilizzazione e quindi alle quantità trattate e gestite.

Per gli impianti che trattano meno di 100 t/anno risulta sufficiente un controllo della documentazione (controllo documentale) e delle strutture impiantistiche, nonché del funzionamento (controllo tecnico) una volta ogni tre anni (tempo di validità dell'autorizzazione), mentre non si ritiene necessaria la verifica del sistema di gestione.

### **Controllo analitico dei fanghi**

I fanghi devono essere sottoposti ad analisi di caratterizzazione alla produzione, a cura del gestore o del richiedente l'autorizzazione, con la seguente frequenza:

- potenzialità > 100.000 A.E.: 1 campione ogni 3 mesi;
- potenzialità da 5.000 a 100.000 A.E.: 1 campione ogni 6 mesi;
- potenzialità < 5.000 A.E.: 1 campione all'anno.

I fanghi inoltre devono essere analizzati dopo essere stati sottoposti al trattamento di stabilizzazione e/o condizionamento prima del loro utilizzo in agricoltura ai fini della verifica del rispetto dei limiti fissati dalla tabella B1/1 di cui alla DGRV 2241/05. In caso di miscelazione con altri materiali ciascuno di essi deve essere sottoposto alla verifica del rispetto dei limiti di cui alla tabella B1/1.

Nel caso in cui sia richiesto dall'Autorità competente, ARPAV esegue il prelievo ed analisi del fango di depurazione secondo la procedura operativa specifica (Piano Regionale Monitoraggio Fanghi, 2003) con la seguente frequenza indicativa:

- potenzialità > 50.000 A.E.: 1 campione l'anno;
- potenzialità da 10.000 a 50.000 A.E.: 1 campione ogni 2 anni;
- potenzialità < 10.000 A.E.: solo su specifica richiesta dell'A.C.

Ad ARPAV inoltre può essere richiesto di provvedere al prelievo ed analisi di un campione di fango dopo il trattamento di stabilizzazione e/o condizionamento presso l'impianto o in fase di distribuzione in campo con la seguente frequenza indicativa:

- quantità di fanghi autorizzate > 500 t/anno: 1 campione l'anno;
- quantità di fanghi autorizzate comprese tra 100 e 500 t/anno: 1 campione ogni 2 anni;
- quantità di fanghi autorizzate < 100 t/anno: 1 campione ogni 3 anni.

### **Controllo analitico dei terreni**

La DGRV n. 2241/2005 prevede che nella domanda di autorizzazione sia contenuta una relazione sull'idoneità dei terreni sui quali è previsto l'apporto dei fanghi, corredata dalle analisi dei terreni per i parametri di cui alla tabella B1/2, eseguite utilizzando procedure di campionamento e metodi di analisi conformi al DM 13/09/1999; in particolare il verbale di campionamento deve essere conforme al modello A allegato alla DGRV n. 2241/2005, le operazioni di campionamento concordate con ARPAV-Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti, e la supervisione del campionamento e l'analisi del 10% dei campioni prelevati è a cura di ARPAV. Il numero di controlli prevedibili per ciascuna autorizzazione è il seguente:

**Tabella A 2.1** Numero di controlli previsti per ciascuna autorizzazione.

quantità di fanghi autorizzate (t/anno)	Superficie richiesta	N. campioni di terreno a carico del richiedente	N. campioni a cura di ARPAV
> 500	>20 ha	>4	1 + 1 oltre i 10 camp.
100-500	4-20 ha	1-4	1
< 100	<4 ha	1	1

La procedura da seguire per la validazione del piano di campionamento è riportata all'allegato A al presente protocollo. Dopo tre anni dal primo campionamento deve essere ripetuto il controllo seguendo le stesse modalità di campionamento adottate durante la prima caratterizzazione.

### Controlli teorici

In conclusione si riporta il quadro sintetico dei controlli annuali sui fanghi autorizzati all'utilizzo in agricoltura.

**Tabella A 2.2** Frequenza dei controlli documentali, tecnici, gestionali e analitici dei fanghi autorizzati all'utilizzo in agricoltura.

Quantità autorizzate (t/anno)	Tipo di controllo (numero/anno)					
	Documentale	Tecnico	Gestionale	Analitico		
				Fanghi alla produzione	Fanghi all'utilizzo	Terreni
< 100	0,25	0,25	-	-	-	0,3
100-500	1	0,25	0,25	-	1	0,3
>500	1	1	1	1	1	0,5

**TABELLA A 2.3** Parametri e valori limite nei fanghi (Direttiva B del 2241/05).

Elemento	Valore limite
PH	>5,5
Sostanza Secca	-----
Arsenico	<10 mg/kg secco
Cadmio	<20 “
Cromo totale	<750 “
Mercurio	<10 “
Nichel	<300 “
Piombo	<750 “
Rame	<1000 “
Zinco	<2500 “
Boro	<60 “
Selenio	<5 “
Salinità	<200 meq/100 g
Rapporto C/N	<25
Carbonio organico	>20% Sul secco

Elemento	Valore limite
P tot	>0,4% Sul secco
N tot	>1,5% Sul secco
K tot	-----
Salmonella	>1000 MPN/g SS
Grado di umificazione	-----
Indice di germinazione	>60%

Per le determinazioni analitiche dei fanghi si seguono le metodiche del C.N.R.-I.R.S.A., per la determinazione della salinità il metodo è riportato in appendice alla Direttiva B. In **tabelle A 2.4 e A 2.5** sono riportati i limiti per diossine e composti organici.

**Tabella A 2.4** Valori limite per composti organici presenti nei fanghi destinati all'utilizzo sui suoli

Composti organici	Valori limite (mg/kg ss)
AOX <sup>1</sup>	500
LAS <sup>1</sup>	2 600
DEHP <sup>2</sup>	100
NPE <sup>3</sup>	50
PAH <sup>4</sup>	6
PCB <sup>5</sup>	0,8

**Tabella A 2.5** Valori limite per diossine presenti nei fanghi destinati all'utilizzo sui suoli

Diossine	Valori limite (ng TE/kg ss)
PCDD/F <sup>6</sup>	100

<sup>1</sup> Somma dei composti organici alogenati

<sup>1</sup> lineari alchilbenzen-solfonati

<sup>2</sup> Di(2-etilexil)ftalato

<sup>3</sup> Comprende le sostanze nonilfenoliche e nonilfenoli etossilati con 1 o 2 gruppi etossilici.

<sup>4</sup> Somma dei seguenti idrocarburi policiclici aromatici: acenafte, fenantrene, fluorene, flourantrene, pirene, benzo(b+j+k)fluorantrene, benzo(a)pirene, benzo(ghi)perilene, indeno(1, 2, 3-c, d)pirene.

<sup>5</sup> Somma dei composti bifenili policlorurati numeri 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180.

<sup>6</sup> Dibenzodiossine policlorurate/ dibenzofurani.

Per le attività di compostaggio i fanghi di depurazione devono rispettare i limiti riportati nella **tabella A 2.6**.

**Tabella A 2.6** Limiti di accettabilità per l'Ammendante Compostato di Qualità conforme all'allegato 1 C della L. 748/84, così come modificata dal D.M. del 27/03/98.

ELEMENTO	UNITÀ DI MISURA	Ammendante compostato misto
<b>pH</b>		6,0-8,5
<b>Umidità</b>	%	<50
<b>Carbonio Organico</b>	% s.s.	>25
<b>Azoto Organico</b>	% s.t.	>80
<b>Cadmio</b>	mg/kg s.s.	<1.5
<b>Rame</b>	mg/kg s.s.	<150
<b>Mercurio</b>	mg/kg s.s.	<1.5
<b>Nichel</b>	mg/kg s.s.	<50
<b>Piombo</b>	mg/kg s.s.	<140
<b>Zinco</b>	mg/kg s.s.	<500
<b>Cromo VI</b>	mg/kg s.s.	<0,5
<b>Rapporto C/N</b>		<25
<b>Inerti (&gt;10 mm)</b>	% s.s.	assenti
<b>Acidi umici e fulvici</b>	% s.s.	>7
<b>Salmonelle</b>	n° / 25g	assenti
<b>Enterobacteriacee totali</b>	UFC/g	<100
<b>Streptococchi fecali</b>	MPN/g	<1000
<b>Nematodi</b>	n° /50 g	assenti
<b>Trematodi</b>	n° /50 g	assenti
<b>Cestodi</b>	n° /50 g	assenti

## Allegato A.2

### PROGRAMMA REGIONALE MONITORAGGIO FANGHI DI DEPURAZIONE PRIMO LIVELLO

#### *PROCEDURA PER IL CAMPIONAMENTO DEI FANGHI DI DEPURAZIONE Revisione 02 del 25.06.03*

#### **1. Definizioni**

*Campione elementare*: quantità di materiale proveniente da ogni singolo prelievo dal lotto o partita in esame.

*Campione composito*: quantità di materiale ottenuta dal rimescolamento di tutti i campioni singoli o elementari.

*Campione finale o ridotto*: quantità complessiva di materiale prelevato, costituito da più aliquote da inviare al laboratorio per l'analisi o da conservare per analisi successive.

*Aliquota*: parte in cui è suddiviso il campione di peso e volume omogeneo.

*Frazione*: parte in cui può essere suddivisa una aliquota allo scopo di consentire l'analisi da parte di diversi laboratori

## **2. Considerazioni generali**

Per campionamento si intende il prelievo di una o più aliquote di fango di depurazione in uscita dalla linea fanghi di un impianto autorizzato al trattamento delle acque reflue, condotto in modo tale che il campione di cui si esegue l'analisi sia rappresentativo della massa da caratterizzare.

Il campionamento rappresenta pertanto l'operazione preliminare di ogni determinazione analitica avente lo scopo di caratterizzare un fango di depurazione; esso condiziona in modo sostanziale il significato e la rappresentatività dei risultati ottenuti.

Le modalità di campionamento devono tenere conto di alcuni fattori: natura e pezzatura del materiale, tecnica di produzione (ciclo continuo o discontinuo) e tipo di giacitura del materiale (cumuli, vasche, ecc.).

Occorre quindi valutare, prima di iniziare le operazioni di prelievo:

- le dimensioni delle particelle elementari che compongono il fango, aspetto particolarmente importante nel caso di materiali disomogenei;
- l'entità della massa da campionare in relazione al tempo di produzione;
- la giacitura del materiale: cumuli, container per materiali in stoccaggio o scarico da un nastro trasportatore.

Per tutti i casi valgono comunque le seguenti indicazioni:

- i punti di campionamento dovranno essere tanto più numerosi quanto più elevata è l'eterogeneità del materiale;
- il prelievo deve interessare tutta la massa (zone interne, intermedie ed esterne), con l'esclusione dello strato superficiale (circa 10 cm) soprattutto in caso di materiali in deposito da parecchi giorni.

## **3. Campionamento da cumuli o container**

E' necessario innanzi tutto circoscrivere la massa da campionare che deve essere costituita da materiale di età non superiore a 15 giorni, come tempo trascorso dall'uscita dall'impianto di pressatura.

Per il campionamento della massa individuata si deve procedere nel seguente modo:

- individuare diverse sezioni (almeno 3) equidistanti lungo la massa;
- in corrispondenza di ogni posizione prelevare almeno 4 campioni (a due altezze e due profondità) tenendo presente che ogni campione elementare deve essere di almeno 1 kg.

Il numero minimo da prelevare sarà pertanto pari a 12; in relazione al volume della massa in esame, si consiglia il prelievo di almeno 12 campioni elementari ogni 200 m<sup>3</sup>.

Nel caso di cumuli di grosse dimensioni è consigliabile prevedere un'accurata miscelazione con pala meccanica prima di procedere al prelievo dei campioni elementari, soprattutto nel caso in cui il perimetro del cumulo non sia completamente accessibile.

Il campione composito (previa omogeneizzazione) è ripartito nelle aliquote e frazioni, e poi ciascuna frazione è ridotta di dimensioni se troppo voluminosa.

In alternativa il campione composito (previa omogeneizzazione) viene ridotto di dimensioni se troppo voluminoso, e poi ripartito nelle aliquote e frazioni.

La riduzione volumetrica deve essere eseguita con il metodo della quartatura di seguito riportato.

In particolare il campione composito deve essere accuratamente rimescolato su una superficie dura e pulita per formare un cono; si procede quindi al rivoltamento per formare un nuovo cono e si ripete l'operazione per 3 volte. Il cumulo viene poi suddiviso, in modo il più possibile omogeneo, in quarti; due quarti diametralmente opposti vengono conservati e riuniti mentre gli altri due vengono scartati. Si ripete l'operazione fino a quando gli ultimi due quarti producono la massa di campione richiesta.

#### **4. Campionamento da sistemi chiusi e impianti a ciclo continuo e discontinuo**

Nel caso di sistemi di trattamento nei quali non è previsto lo stoccaggio finale dei fanghi è consigliabile eseguire il campionamento all'atto dello scarico, che può essere continuo o discontinuo.

Il campione composito deve essere costituito da campioni elementari prelevati durante l'operazione di scarico; i campioni elementari in attesa di essere uniti e miscelati per la formazione del campione composito devono essere adeguatamente conservati.

Se il campionamento viene eseguito sul lotto giornaliero scaricato già messo a parco, i campioni elementari sono prelevati con lo stesso criterio indicato al paragrafo 3.

In alternativa si può procedere al prelievo di una quota significativa di materiale da una intera sezione verticale centrale della porzione scaricata (cumulo a sezione troncoconica) da cui prelevare poi i campioni elementari.

Si consiglia il prelievo di almeno 1 campione elementare ogni 10 m<sup>3</sup> di materiale.

#### **5. Confezionamento, trasporto e stoccaggio**

Il campione finale sarà suddiviso e introdotto in contenitori di vetro per la determinazione analitiche di IPA, PCB e diossine, oppure in contenitori in PET per le altre determinazioni. Tutte le aliquote o frazioni in cui è stato suddiviso il campione, nel numero necessario per i laboratori che devono eseguire l'analisi, per la controparte, l'aliquota per l'eventuale ripetizione di analisi e quella a disposizione dell'Autorità Giudiziaria, sono inserite in idonei sacchetti di polietilene resistenti allo strappo che devono essere sigillati.

Tutte le operazioni di prelievo e confezionamento dei campioni e delle diverse aliquote o frazioni devono essere eseguite in presenza del rappresentante legale dell'impianto di trattamento presso il quale è eseguito il prelievo o di persona da lui delegata.

Il tempo intercorrente tra il prelievo e l'analisi deve essere il più breve possibile onde evitare alterazioni del campione; se non si possono effettuare rapidamente le determinazioni analitiche è necessario conservare il campione alla temperatura di 4°C.

Il campione solido deve essere congelato nel caso in cui tra il prelievo e l'apertura del campione per l'analisi intercorra un periodo superiore a 10 giorni; in questo caso il contenitore in vetro deve essere riempito non oltre il 75% del volume complessivo. Il campione congelato può essere trasportato al laboratorio che effettua le analisi in frigorifero portatile qualora l'apertura del campione sia prevista entro 3 giorni dalla consegna.

Il campione liquido può essere conservato a 4°C per un periodo non superiore a 7 giorni.

Il campione deve essere trasportato e stoccato in modo tale da non alterarne le caratteristiche e quindi deve essere previsto il trasporto in frigoriferi portatili in grado di mantenere la temperatura sotto i 10°C; una volta giunto in laboratorio il campione deve essere conservato in frigorifero a temperature di 1-4°C.

## **6. Etichettatura del campione finale, delle aliquote e verbale di campionamento**

Le diverse aliquote o frazioni in cui è stato suddiviso il campione devono essere contrassegnate con etichetta che riporti chiaramente il numero progressivo attribuito dagli esecutori del prelievo corrispondente al numero riportato in ciascun verbale di campionamento e attribuito come numero progressivo annuo dei campioni prelevati dal Servizio Territoriale del DAP; a ciascuna aliquota o frazione verrà attribuito oltre al numero del campione una lettera progressiva per le aliquote e un numero progressivo per le frazioni:

- A/1 – frazione dell'aliquota A per il laboratorio DAP, contenitore in PET;
- A/2 – frazione dell'aliquota A per il laboratorio DAP che esegue l'analisi di IPA e PCB, contenitore in vetro;
- A/3 - frazione dell'aliquota A per il laboratorio INCA, contenitore in vetro.
- B** – aliquota per la controparte, contenitore in PET e contenitore in vetro;
- C** – aliquota per la revisione delle analisi (al DAP), contenitore in PET e contenitore in vetro;
- D** – aliquota a disposizione dell'Autorità Giudiziaria (al DAP), contenitore in PET e contenitore in vetro

Il verbale di campionamento deve essere redatto utilizzando l'apposito modulo in uso presso il ST del DAP e compilando tutte le parti in esso previste, prestando attenzione a descrivere in modo dettagliato le modalità con cui è stato eseguito il prelievo e costituito il campione composito e le diverse aliquote per l'invio al laboratorio.

Copia del verbale, ad esclusione degli eventuali allegati, deve accompagnare ciascuna aliquota o frazione in cui è suddiviso il campione (ad eccezione di quella per l'eventuale ripetizione di analisi).

## Allegato\_D\_3 SINTESI DELLE INFORMAZIONI RACCOLTE DAI QUESTIONARI

**Tabella A 3.1** Quantità di fanghi prodotti per ciascun codice CER.

CER	Abruzzo	EMR	FVG	Lazio	Liguria
020204	6.648**	79.619,78*	1.162,05*	2.954,43*	23,27**
020305	4.106**	53.183,16*	11,66*	5.426,37*	14,49**
020403	0**	39.682,98*	0*	0,02*	0
020502	144**	18.427,56*	2.777,14*	4.746,39*	1.098,15**
020603	258**	1.629,89*	3.038,94*	154,2*	167,2**
020705	1592**	86657,75*	712,34*	3805,67*	0**
030311	35.999**	5.380,14*	37.547,89*	4.759,8*	0**
040106	0**	3,62*	3.765,33*	0*	0**
040107	0**	92,58*	521,4*	0*	0**
040219	0**	-	29,91*	0*	0**
040220	1.108**	1.444,04*	324,76*	3.887,37*	0**
050109	187**	173,94*	0*	0*	0**
050110	44**	200,95*	0*	0*	77,12**
060502	73**	2.294,43*	37,28*	300,94*	0,01**
060503	4.903**	9.057,63*	3.736,16*	1.628,16*	1.928,031**
070111	0**	5,69*	0,10*	0*	0**
070112	0**	8.927,68*	24,76*	1.405,22*	0**
070211	0**	324,01*	0*	5,25*	0**
070212	0**	673,8*	382,29*	23,75*	0**
070312	570**	303,89*	121,24*	1,7*	18,308**
070411	0**	20*	0*	0*	0**
070512	176**	1.333,52*	15,6*	11.680,34*	9,87**
070611	3,5**	90,87*	0*	0,44*	463,084**
070612	776**	10.223,43*	556,2*	1.189,1*	1.400,964**
070712	330**	-	0*	580,46*	798,04**
100120	0**	317,54*	0*	0*	0**
100121	0**	2.153,94*	766,95*	668*	7.020,42**
101213	11**	14.439,93*	865,82*	8,08*	659,32**
190604	0**	2.280,28*	0*	155,7*	0**
190606	0**	-	0*	71,81*	0**
190805	63.898,234* 54.240**	382.677,44*	41.008,6*	33.664,82*	55.552* 54.533,69**
190811	0**	0,05*	0*	9,34*	0,023**
190812	2.816**	4.879,44*	4.537,24*	14.762,42*	4.479,97**
190813	733**	9.027,36*	187,45*	449,67*	31,251**
190814	17.938**	7.1804,6*	12.447,39*	11.032,26*	20.578,48**
190902	61**	11.134,98*	56,9*	2,8*	3.975,707**
191105	0**	-	0,9*	0*	90**
191106	0,054**	5,8*	20,56*	1,39*	0**
Totale	132.705,6	818.442,67*	114.656,82*	103.385,9*	97.387,398**

\* = dato relativo al 2003; \*\* = dato relativo al 2004; \*\*\* = dato relativo al 2005;

# = dato stimato.

**Tabella A 3.2** Continuazione della tabella precedente.

CER	Molise	Sicilia	Veneto	Prov.Trento	Toscana
020204	-	-	57.795,16**	1.785,63***	715,45
020305	176,38***	172,072***	13.412,45**	2.525,49***	5.643,59**
020403	-	-	723,52**	-	88,8**
020502	-	-	20.416,91**	4.347,63***	4.421,66**
020603	-	-	969,8**	180***	410,08**
020705	-	-	24.444,44**	1.534,43***	671,17**
030311	-	-	128.299,16**	17.290,49***	35.596,64**
040106	-	-	71.976,84**	-	6.429,992**
040107	-	-	2.902,32**	-	15.841,8**
040219	-	-	0*	-	4,32**
040220	-	-	11.355,27**	-	480,81**

CER	Molise	Sicilia	Veneto	Prov.Trento	Toscana
050109	-	-	844,97**	-	4.274,58**
050110	-	-	0*	-	2.980,5**
060502	-	-	2.918,46**	5,91***	252,1655**
060503	-	-	46.883,79**	1.144,46***	15.466,38**
070111	-	-	637,44**	-	-
070112	-	-	10.986,05**	-	3.366,155**
070211	-	-	18,78**	-	-
070212	-	-	1.949,52**	37,92***	82,14**
070312	-	-	974,36**	23,28***	118,595**
070411	-	-	0*	-	-
070512	-	-	2.027,94**	10.700,2***	589,17**
070611	-	-	13,55**	2,03***	100,538**
070612	-	-	1.844,36**	38,69***	714,9665**
070712	-	-	8.878,12**	-	99,182**
100120	-	-	113,51**	-	-
100121	-	-	7.705,78**	-	2.303,3**
101213	-	-	605,78**	-	35,116**
190604	-	-	1.868,18**	-	-
190606	-	-	18.613,14**	-	-
190805	10.511,34* 9.097,08***	126.500***	297.606,96* 301.705,4**	48.114,09***	391.476,9**
190811	424***	-	0,09**	120***	5,15**
190812	-	-	24.108,12**	2.047,09***	58.346,06**
190813	9.300,5***	-	1.560,75**	2,54***	1.343,576**
190814	-	-	153.132,18**	83,56***	53.647,74**
190902	-	-	9.182,95**	756***	23.074,01**
191105	-	-	0,54**	-	1,49**
191106	-	-	197,4**	-	51,882**
Totale	18.997,96***	126.672***	929.071,09**	42.625,35***	628.633,9**

\* = dato relativo al 2003; \*\* = dato relativo al 2004; \*\*\* = dato relativo al 2005;

# = dato stimato.

In queste tabelle sono stati riportati i dati relativi alla quantità di fanghi prodotta, classificati ciascuno per codice CER. Non tutte le regioni hanno fatto tale suddivisione, quindi per queste è stato riportato solo il dato relativo al fango 190805 nelle tabelle 3.1 e 3.4 inserite nel testo. Da questa suddivisione per codice CER, si può stimare le attività maggiormente presenti nelle varie regioni: per esempio il fango avente codice 02 è principalmente prodotto in Emilia Romagna e Veneto; questo può essere determinato dalla consistente presenza di attività industriali nel settore alimentare. Il fango con codice 03 è maggiormente prodotto nel Veneto; questo può essere dovuto alla notevole presenza di attività industriali specifiche del settore immobiliare. Questo ragionamento può essere fatto per ciascuna regione.

### DESTINAZIONE DEL TOTALE DEI FANGHI PRODOTTI

#### Regione Abruzzo

**Tabella A 3.3** Destinazione dei fanghi prodotti nell'anno 2003 nella regione Abruzzo.

Classi di codici CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
02	250,18	0	0	1.025	696,3
03	13	0	0	0	0
04	0	0	0	0	52
05	0	0	0	0	0
06	261,2	0	0	0	956,2

Classi di codici CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
07	328,07	0	0	0	11,6
10	0	0	0	0	0
19 06	0	0	0	0	0
19 08 05	0	0	11.229,74	0	12,89
19 08 11	218	0	0	0	0
19 08 12					
19 08 13	34,045	505	0	0	354
19 08 14					
19 09 02	54	0	0	0	0
19 11 05	0	0	0	0	0
19 11 06					

### Provincia di Bolzano

**Tabella A 3.4** Destinazione dei fanghi prodotti in provincia di Bolzano negli anni 2003 e 2005.

Classi di codici CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
02					
03					
04					
05					
06					
07					
10					
19 06					
19 08 05	14 200	9.365 9.367	35.247 24.732	7.438 19.468	2.769 5.947
19 08 11 e 19 08 12					
19 08 13 e 19 08 14					
19 09 02					
19 11 05 e 19 11 06					

### Regione Emilia Romagna (anno di riferimento 2003).

**Tabella A 3.5** Destinazione dei fanghi prodotti in Emilia Romagna nel 2003.

Codici CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
020204	332,32	-	42.645,71	6.340,56	-
020305	1.850,70	-	210,12	34.912,02	-
020403	-	-	68,11	8.084,84	-
020502	4,25	-	760,84	2.206,62	-
020603	-	-	-	-	-
020705	115,42	-	5.196,44	78.539,18	-
030311	22,92	-	1.371,57	55.073,44	7.043,36
040106	-	-	1.485,75	-	-
040107	-	-	40,85	-	-
040220	83,54	-	71,76	-	-
050109	111,28	-	-	-	-
050110	-	-	-	-	-
060502	6,26	-	-	-	23,94

060503	5.786,86	-	-	4.808,71	108,02
070111	-	76,26	-	-	-
070112	2.936,00	-	-	-	-
070211	-	1.233,04	-	-	-
070212	-	184,96	-	-	-
070312	387,36	-	-	-	-
070411	-	-	-	-	-
070512	-	-	-	-	-
070611	-	-	-	-	-
070612	746,61	-	-	-	27,80
100120	252,94	-	-	-	-
100121	359,78	-	-	-	1.508,15
101213	-	-	-	10.887,96	3.162,07
190604	-	-	-	-	-
190805	26.798,11	39.895,59	21.849,66	236.541,57	-
190812	1.676,40	-	762,07	-	-
190813	-	-	-	-	-
190814	25.874,37	1.509,12	4,61	-	222,12
190902	1.533,42	-	-	16.501,94	199,95
191106	-	-	-	-	-
<b>Totale produzioni</b>	<b>68.878,54</b>	<b>42.898,97</b>	<b>74.467,49</b>	<b>453.896,84</b>	<b>12.295,41</b>

**Tabella A 3.6** Trattamenti e stoccaggi in attesa dello smaltimento o recupero finale.

CER	Trattamenti/stoccaggi in attesa dello smaltimento/recupero finale			
	Messa in Riserva:R13	Trattamento biologico:D8	Trattamento fisico-chimico:D9	Stoccaggio:D13-D14-D15
020204	58,90	39.378,01	1.989,48	3.075,50
020305	266,44	4.185,25	564,21	62,43
020403	-	95,08	57,98	-
020502	516,89	11.197,04	2.136,85	1.481,65
020603	-	1.359,90	128,88	515,98
020705	7.981,90	4.217,30	120,72	-
030311	-	3,88	33,48	-
040106	-	-	143,24	-
040107	-	-	75,76	-
040220	-	337,28	17,94	-
050109	-	-	18,14	117,41
050110	-	-	368,02	115,13
060502	-	-	2.171,74	4,02
060503	2,38	-	2.858,14	437,14
070111	-	-	1,92	4,49
070112	-	4,70	41,02	15,02
070211	-	-	2,26	197,82
070212	-	-	146,25	64,92
070312	-	157,42	166,60	9,83
070411	-	-	21,80	-
070512	-	1.962,42	359,34	32,80
070611	-	-	130,18	-
070612	-	10.747,89	1.153,03	29,73

CER	Trattamenti/stoccaggi in attesa dello smaltimento/recupero finale			
	Messa in Riserva:R13	Trattamento biologico:D8	Trattamento fisico-chimico:D9	Stoccaggio:D13-D14-D15
100120	-	-	-	27,32
100121	-	-	4.437,88	-
101213	19,10	-	39,46	-
190604	-	1.180,20	-	-
190805	14.520,33	91.328,98	17.710,60	17.551,81
190812	11,72	1.055,80	757,26	17,08
190813	-	-	5.509,15	3.541,35
190814	20,32	706,65	16.901,05	3.897,71
190902	-	117,76	1.975,70	15,51
191106	-	-	5,80	-
<b>Totale produzione</b>	<b>23.397,98</b>	<b>168.035,56</b>	<b>60.043,86</b>	<b>31.214,62</b>

### Regione Friuli Venezia Giulia

**Tabella A 3.7** Destinazione dei fanghi prodotti in Friuli Venezia Giulia nell'anno 2003.

Codice CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
020204	-	-	-	718,00	12,66
020305	-	-	-	-	627,22
020403	-	-	-	-	-
020502	-	-	-	1.772,36	269,67
020603	-	-	-	449,50	82,84
020705	-	-	-	507,40	270,55
030311	23,54	-	-	-	21.805,68
040106	-	-	-	-	594,84
040107	-	-	-	-	218,94
040219	67,78	-	-	-	-
040220	-	-	-	-	371,75
050109	-	-	-	-	-
050110	-	-	-	-	-
060502	-	-	-	-	1,93
060503	567,00	-	-	-	1.792,18
070111	-	-	-	-	-
070112	-	-	-	-	-
070211	-	-	-	-	-
070212	-	-	-	-	27,83
070312	-	-	-	-	6,90
070411	-	-	-	-	-
070512	-	-	-	-	-
070611	-	-	-	-	-
070612	254,52	-	-	-	447,83
070712	-	-	-	-	-
100120	-	-	-	-	-
100121	24,41	-	-	-	170,85
101213	-	-	-	-	-
190604	-	-	-	-	-
190606	-	-	-	-	-
190805	733,26	0	2.805,68	21.758,5	3.385,04

<b>Codice CER</b>	<b>Discarica</b>	<b>Incenerimento</b>	<b>Compostaggio</b>	<b>Utilizzo in agricoltura</b>	<b>Altri recuperi</b>
190811	-	-	-	-	-
190812	57,64	-	-	1.670,16	1.155,28
190813	-	-	-	-	41,40
190814	1.025,76	-	-	-	10.321,07
190902	-	-	-	-	99,15
191105	-	-	-	-	-
191106	-	-	-	-	-

### Regione Lazio

**Tabella A 3.8** Destinazione dei fanghi prodotti nella regione Lazio nell'anno 2003.

<b>Classi di codici CER</b>	<b>Discarica</b>	<b>Incenerimento</b>	<b>Compostaggio</b>	<b>Utilizzo in agricoltura</b>	<b>Altri recuperi</b>
02	184,22	0		5325	
03	0	0		-	
04	0	0		0	
05	0	0		0	
06	0	0		0	
07	0	3789		7549	
10	-	0		0	
19 06	0	0		0	
19 08 05	-	0		2028	
19 08 11 e 19 08 12	0	0		0	
19 08 13 e 19 08 14	252,98	0		0	
19 09 02	0	0		0	
19 11 05 e 19 11 06	0	0		0	

### Regione Liguria

**Tabella A 3.9** Destinazione dei fanghi prodotti nella regione Liguria nell'anno 2004.

<b>Classi di codici CER</b>	<b>Discarica</b>	<b>Incenerimento</b>	<b>Compostaggio</b>	<b>Utilizzo in agricoltura</b>	<b>Altri recuperi</b>
02	5,35	0	0	3,56	0
03	0	0	0	0	0
04	1461,52	0	0	0	0
05	0	0	0	0	0
06	18472,24	0	0	0	57,9
07	8867,52	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1117,17
19 06	0	0	0	0	0
19 08 05	4809,31	0	75,88	0	0
19 08 11 e 19 08 12	3370,4	0	0	0	0
19 08 13 e 19 08 14	4016,9	0	0	0	178,68
19 09 02	1808,25	0	0	0	0
19 11 05 e 19 11 06	0	0	0	0	0

Regione Molise**Tabella A 3.10** Destinazione dei fanghi prodotti nella regione Molise nell'anno 2005.

Classi di codici CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
02	176,38			24,70	
03					
04					
05					
06					
07					
10					
19 06					
19 08 05	5324,58		1377,62	3448,06	
19 08 11 e 19 08 12	535,12				
19 08 13 e 19 08 14	9202,90				
19 09 02					
19 11 05 e 19 11 06					

Regione Toscana**Tabella A 3.11** Destinazione dei fanghi prodotti in Toscana nell'anno 2004.

Classi di codici CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
02	22,28	0,05	1431,59	1373,8	9123,03
03	0	0	0	0	35596,64
04	108,08	0	796,5	0	21852,34
05	0	0	0	0	7255,08
06	9734,98	2,0907	0	0	5981,4784
07	2440,55	0,091	0	0	2630,1055
10	228,65	0	0	0	2109,766
19 08 05	29320,16	21582,1	75470,84	60722,836	204380,96
19 08 11 e 19 08 12	295,03	0,05	1131,06	1600,58	55324,486
19 08 13 e 19 08 14	39606,87	9,651	0	0	15374,798
19 09 02	3822,34	0	0	0	19251,665
19 11 05 e 19 11 06	45,46	0	0	0	7,912

Regione Sicilia**Tabella A 3.12** Destinazione dei fanghi prodotti in Sicilia nell'anno 2005.

Classi di codici CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
02 03 05				172,072	
03					
04					
05					
06					
07					
10					
19 06					
19 08 05					
19 08 11 e 19 08 12					
19 08 13 e 19 08 14					

19 09 02					
19 11 05 e 19 11 06					

### Regione Veneto

**Tabella A 3.13** Destinazione dei fanghi prodotti nella regione Veneto dell'anno 2004.

Codici CER	Discarica	Incenerimento	Compostaggio	Utilizzo in agricoltura	Altri recuperi
02	4,24	0	67	67	56377
03	7081,99	0	11	11	27196
04	19981,86	0	17	17	11465
05	0	0	3	3	0
06	29616,89	0	41	41	4533
07	13046,98	8335,3	31	31	1609
10	465,32	0	4	4	172,2
19 06	0	0	20485,84	0	23,98
19 08 05	5148,98	1,9	178086,22	14714,31	9539,91
19 08 11 e 19 08 12	1687,62	11155,05	9811,83	57,66	610,85
19 08 13 e 19 08 14	151954,8	4,42	7034,37	0	1394,71
19 09 02	1250,15	0	6354,93	109,4	111,57
19 11 05 e 19 11 06	0	0	0	1860	0

**Tabella A 3.14** Altre tipologie di smaltimento dei fanghi di depurazione in ciascuna regione.

Regioni	Smaltimento D8	Smaltimento D9	Smaltimento D15	Smaltimento fuori regione
<b>Abruzzo</b>	-	573*	1,27*	-
<b>Basilicata</b>	-	-	-	-
<b>Bolzano</b>	-	-	-	-
<b>Campania</b>	-	-	-	-
<b>E.Romagna</b>	91.328,98*	17.710,6*	17.551,81*	-
<b>F.V.G.</b>	-	-	-	17.290,27*
<b>Lombardia</b>	14.170,73*	49.775,34*	5.956,77*	-
<b>Molise</b>	47,57*	64,00*	15,82*	1.834,51*
<b>Liguria</b>	12.004*	91*	-	-
<b>Marche</b>	833,025*	-	-	-
<b>Veneto</b>	-	-	-	-
<b>Trento</b>	-	-	-	-
<b>Puglia</b>	-	-	-	-
<b>Sicilia</b>	-	-	-	-
<b>Umbria</b>	-	-	-	-
<b>Toscana</b>	-	-	-	-
<b>Lazio</b>	-	-	-	-

D8: trattamento biologico, che dia origine a composti o a miscugli che vengono eliminati, secondo uno degli usuali processi possibili.

D9: trattamento chimico-fisico, che dia origine a composti o miscugli che vengono eliminati, secondo uno degli usuali processi possibili.

D15: stoccaggio del fango.

**RISULTATI DI INDAGINI SVOLTE DALLE VARIE ARPAV PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI FANGHI DI DEPURAZIONE CIVILI SECONDO I PARAMETRI DELL'ALLEGATO IB DEL D.LGS. N. 99/1992**

**Tabella A 3.15** Risultati delle analisi sui fanghi di depurazione prodotti nella regione Emilia Romagna.

	Anno 1998	Anno 1999	Anno 2000	Valore limite
<b>METALLI</b>				
Cadmio (mg/kg SS)	4,19	3,35	2,85	20
Rame "	303,72	240,25	274,71	1000
Nichel "	64,09	44,76	62,72	300
Piombo "	78,55	70,01	77,22	750
Zinco "	766,37	706,07	687,26	2500
Mercurio "	1,18	1,04	1,10	10
Cromo "	105,05	84,44	135,51	-
<b>ELEMENTI</b>				
Azoto totale (%SS)	4,23	4,58	4,61	Min 1.5
Fosforo totale (%SS)	1,69	1,45	1,60	Min 0.4

Da questa tabella si osserva che i metalli pesanti sono in quantità inferiore rispetto al limite previsto dal D.Lgs. n. 99/1992. Quello che si nota è una leggera sovrabbondanza di azoto e fosforo rispetto al limite consentito.

## **Allegato\_D\_4 PROTOCOLLO OPERATIVO ARPAV PER LA VALIDAZIONE DEL PIANO DI CAMPIONAMENTO DEI TERRENI E DEI RELATIVI RISULTATI ANALITICI**

1. Predisposizione da parte del richiedente del piano di campionamento dell'area per cui si richiede la possibilità di utilizzo dei fanghi, con una relazione esplicativa che descriva come si intende eseguire le operazioni di campionamento, e i motivi delle scelte operate, con particolare riferimento a tutti gli aspetti riportati nello schema di verbale di campionamento di cui al Modello A allegato alla direttiva B approvata con DGRV 2241/2005. Il richiedente deve formalmente indicare:
  - un referente unico incaricato di coordinare tutte le fasi di progettazione ed esecuzione del piano di campionamento, comprese le determinazioni analitiche di laboratorio;
  - il laboratorio incaricato dell'esecuzione del campionamento e delle analisi dei terreni.
2. Invio del piano ad ARPAV-Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti comprensivo di:
  - inquadramento territoriale (cartografia CTR 1:10.00 con indicazione del numero di sezione);
  - inquadramento catastale (cartografia);
  - ordinamento culturale in atto (cartografia CTR 1:10.00 con indicazione del numero di sezione);
  - zone omogenee di campionamento, vale a dire rappresentazione delle aree all'interno delle quali sono prelevati i campioni elementari che formano il campione composito (cartografia CTR 1:10.00 con indicazione del numero di sezione);
  - zone anomale escluse dal campionamento (cartografia CTR 1:10.00 con indicazione del numero di sezione);
  - schema di prelievo dei campioni (per es.: campionamento sistematico, altro) e rappresentazione su cartografia
  - superficie e numero minimo di sottocampioni per ciascuna zona omogenea;
  - profondità a cui si intende prelevare i campioni;
  - attrezzature che si prevede di utilizzare (vanga, trivella o altro);
  - modalità di formazione del campione composito a partire dai campioni elementari.
  - lettera di incarico al referente unico del coordinamento di tutte le tutte le fasi di progettazione ed esecuzione del piano di campionamento, comprese le determinazioni analitiche di laboratorio.
  - lettera di incarico a un laboratorio accreditato per l'esecuzione del campionamento e le analisi dei terreni.
3. Esame ed approvazione del piano proposto da parte di ARPAV-Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti; l'approvazione può essere preceduta da una richiesta di integrazione (anche via posta elettronica), cui il richiedente deve dare risposta per il proseguimento dell'esame. Di norma è prevista l'esecuzione di un sopralluogo sui terreni. Questa fase si conclude con l'invio di una nota di approvazione relativa alla identificazione delle aree di campionamento.
4. Incontro tra laboratorio incaricato dell'esecuzione del campionamento, della preparazione e delle analisi dei terreni per conto del richiedente e laboratorio ARPAV-Unità Terreni e Compost di Castelfranco Veneto allo scopo di verificare i metodi di preparazione e analisi utilizzati; il laboratorio incaricato nel corso della riunione fornisce le informazioni necessarie al fine della verifica della qualità dei dati (carte di controllo, risultati su materiali di riferimento certificati, rapporti di partecipazione a circuiti interlaboratorio) relativi alle prove previste che sono state preventivamente concordate.

5. Il laboratorio ARPAV consegna al laboratorio incaricato per conto del richiedente un campione di controllo sul quale dovranno essere eseguite tre misure indipendenti i cui risultati saranno confrontati con i valori di riferimento (= valori di consenso da circuiti interlaboratorio) mediante il calcolo dell'errore normalizzato ( $IENI < 1,0$ ).
6. Esecuzione del campionamento secondo le modalità previste dal piano approvato; il laboratorio incaricato dovrà comunicare ad ARPAV-Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti con almeno due settimane di anticipo la data in cui prevede di dare inizio alle operazioni di prelievo, ogni eventuale posticipo dovrà essere tempestivamente comunicato via fax, dovranno essere predisposte due aliquote per ciascun campione prelevato, di cui una va consegnata al laboratorio ARPAV–Unità Terreni e Compost. Personale ARPAV potrà supervisionare le operazioni di campionamento ed apporre sigilli ai campioni prelevati e confezionati alla propria presenza.
7. ARPAV-Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti seleziona il 10% dei campioni da sottoporre ad analisi e lo trasmette al laboratorio ARPAV–Unità Terreni e Compost.
8. Confronto da parte di ARPAV-Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti dei risultati trasmessi dal laboratorio incaricato per conto del richiedente con i risultati del laboratorio ARPAV–Unità Terreni e Compost e validazione dei risultati. Nel caso di risultati non conformi potrà essere richiesta la ripetizione dei campioni o dell'analisi.
9. Comunicazione al richiedente e alla Provincia competente per territorio dell'avvenuta validazione del piano di campionamento o richiesta di integrazioni.

# **Allegato\_D\_8: Recupero di energia nel trattamento integrato di acque reflue e rifiuti solidi urbani: il caso del processo AF-BNR-SCP applicato all'impianto di Treviso**

## **Autori:**

P. Pavan<sup>1</sup>, D.Bolzonella<sup>2</sup>, L.Innocenti<sup>1</sup>, F.Cecchi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Dipartimento di Scienze Ambientali – Università di Venezia  
Dorsoduro, 2137 – 30123 Venezia*

<sup>2</sup>*Dipartimento Scientifico e tecnologico – Università di Verona  
Strada Le Grazie - 37134 Verona*

## 1 INTRODUZIONE

Il D.Lgs. n. 152/1999 recepisce due serie di direttive comunitarie in materia di acque ed ha assunto immediatamente un ruolo di primaria importanza poiché con la sua emanazione sono state abrogate le norme pre-vigenti (L. 10/05/1976, n. 319 (“Legge Merli”, ecc.). Tra le innovazioni più significative è da segnalare l’obbligo di rispetto dei valori limite di emissione stabiliti in funzione degli obiettivi di qualità dei corpi idrici (art. 28, comma 1) che verranno definiti dalle Regioni. In particolare, l’attenzione viene posta nel controllo dei nutrienti, per i quali i limiti diventano decisamente più stringenti rispetto al passato (<10 mg/l per l’azoto, <1 mg/l per il fosforo su impianti con potenzialità maggiore di 100.000 AE). Parallelamente, gli obblighi del D.Lgs. n. 22/1997 (decreto “Ronchi”) hanno imposto alle municipalità obblighi riguardo alle modalità di gestione della frazione umida dei RSU, forzando di fatto il ricorso a trattamenti alternativi per questa frazione rispetto agli smaltimenti massivi, non più in linea con le attuali direttive della Comunità Europea. E’ in questo scenario che nasce e si sviluppa l’idea di integrazione dei cicli di trattamento acque/rifiuti, che ha portato allo sviluppo del processo AF-BNR-SCP, prima studiato a livello pilota ed infine concretizzato in piena scala nell’impianto di Treviso. Il lavoro illustra sinteticamente i vantaggi ottenibili sotto il profilo del recupero energetico derivanti dall’implementazione di questo approccio processistico.

## 2 DESCRIZIONE DEL PROCESSO AF-BNR-SCP ED APPLICAZIONE NELL’IMPIANTO DI TREVISO

Il nuovo impianto di trattamento delle acque reflue di Treviso è un’opera concepita e realizzata nel rispetto della direttiva CEE 91/271 e quindi, con riferimento alla normativa attuale, del D.L.vo 152/99. In particolare, le scelte progettuali dell’impianto tengono conto dei risultati ottenuti da precedenti sperimentazioni riguardo la rimozione biologica di azoto e fosforo assistita dal dosaggio di effluente liquido proveniente dalla fermentazione dei rifiuti solidi urbani [1,2,3]. I carichi in base ai quali è stato progettato il dimensionamento dell’impianto vengono definiti con riferimento ad una popolazione da servire pari a 70.000 AE. L’impianto è stato realizzato secondo la seguente logica:

- linea acque da 50.000 AE in grado di rimuovere carbonio, azoto e fosforo per via biologica (BNR);

- possibilità di estendere la potenzialità dell'impianto fino a 70.000 AE rispettando, in questo caso, i soli limiti del Piano Regionale di Risanamento delle Acque (PRRA);
- linea fanghi adeguata alla potenzialità dell'impianto, con digestione anaerobica dei fanghi e co-substrati.

Il carico totale è quindi suddiviso in due parti: 50.000 AE su linea BNR e 20.000 AE su linea convenzionale (pre-esistente). I dati di progetto prevedono un apporto di BOD dal trattamento di un definito quantitativo di frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) e dal comparto espurgo pozzi neri. I dati di progetto utilizzati per il dimensionamento sono riportati in **tabella 1**.

**Tabella 1:** Dati di progetto utilizzati per il dimensionamento dell'impianto di Treviso

<b>Abitanti equivalenti</b>	<b>AE</b>	<b>70.000</b>
Trattamento FORSU	kgBOD/d	570
Portata media:		
Linea BNR	m <sup>3</sup> /d	14.000
Linea vecchia	m <sup>3</sup> /d	5.600
Portata di punta	l/s	340
Carico giornaliero BOD	Kg/d	4.770
Concentrazione solidi sospesi	Mg/l	250
Concentrazione azoto totale	Mg/l	43
Concentrazione fosforo totale	Mg/l	6

La linea BNR prevede il convogliamento del liquame dopo grigliatura, nel dissabbiatore, ricavato dal sedimentatore primario preesistente, e poi direttamente al trattamento biologico, che è progettato con caratteristiche modulari in modo da poter variare il volume delle vasche destinate alle fasi anaerobica e anossiche del processo. Lo schema di processo adottato per la linea acque è il Johannesburg. In **tabella 2** sono illustrate le principali volumetrie delle vasche e le condizioni di esercizio. La linea fanghi prevede il ricorso alla digestione anaerobica a fase unica operante in mesofilia. I fanghi sono inviati alla digestione. In uscita dalla digestione anaerobica, il fango è inviato alla disidratazione meccanica.

**Tabella 2:** Volumetrie (m<sup>3</sup>) e condizioni operative.

<b>Linea</b>	<b>Comparto</b>		
<b>Linea acque</b>	Grigliatura e sollevamento, m <sup>3</sup>	181	
	Pre-trattamenti, m <sup>3</sup>	628	
	Zona pre-anossica, m <sup>3</sup>	400-1.200	
	Portata ricircolo fanghi, m <sup>3</sup> /d	Fino a 23.760	
	Zona anossica, m <sup>3</sup>	1.600-1.200	
	Portata ricircolo miscela aerata, m <sup>3</sup> /d	Fino a 37.440	
	Zona di ossidazione/nitrificazione, m <sup>3</sup>	5.500	
	Carico del fango, kgBOD <sub>5</sub> /kgMLSSd	0,125	
	Volume totale reattore biologico, m <sup>3</sup>	9.000	
	Area sedimentazione secondaria, m <sup>2</sup>	1.300	
	Carico superficiale, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	0,45	
	Disinfezione/vasca di contatto, m <sup>3</sup>	250	
	<b>Linea fanghi</b>	Pre-ispessitore, m <sup>3</sup>	210
		Digestore anaerobico, m <sup>3</sup>	2.200
OLR digestore, kgTS/m <sup>3</sup> d		1,75	
HRT, d		23	

Parallelamente all'impianto BNR, operano due sezioni aggiuntive: la prima consente il trattamento della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU), la seconda ha lo scopo di bloccare il fosforo nei surnatanti di ricircolo dalla nastropressa.

Il trattamento della FORSU avviene utilizzando una linea di selezione meccanica e successivamente uno stadio di fermentazione controllata. Il rifiuto entra in impianto con una concentrazione in secco pari a circa il 250-300 g/Kg, viene sottoposto a blanda triturazione con un romipisacchi e successivamente deferrizzato e vagliato con un vaglio a tamburo. In questa fase vengono eliminati i materiali più grossolani. In uscita dal vaglio il rifiuto viene nuovamente deferrizzato, questa volta con un sistema adatto alla cattura dei materiali a permeabilità magnetica bassa, e poi triturato nuovamente per la riduzione di pezzatura. La biomassa viene così inviata ad un miscelatore/separatore, dove il contenuto in secco viene abbassato al 7-8 % circa e la parte flottante residua ed i fondami vengono allontanati. A questo punto la miscela può seguire vari percorsi:

- trasferimento diretto in linea fanghi previa miscelazione con fanghi di supero;
- prefermentazione in reattore agitato (HRT=3-6giorni, OLR 20-60 KgTVS/m<sup>3</sup> d) ed invio in linea fanghi;
- prefermentazione e separazione di fase attraverso screw-press, invio della fase liquida in denitrificazione e della fase solida in linea fanghi.

A seconda del percorso scelto, viene privilegiata la logica di promozione dei processi di rimozione dei nutrienti ovvero del recupero energetico.

L'altra sezione aggiuntiva consente il trattamento dei surnatanti provenienti dalla disidratazione dei fanghi dopo digestione anaerobica in un FBR per il blocco del fosforo attraverso la cristallizzazione controllata di struvite/idrossiapatite [4]. La cristallizzazione viene condotta in assenza di aggiunte di chemicals esterni, modificando attraverso lo stripping dell'anidride carbonica il pH della soluzione e creando così le condizioni ottimali per la formazione dei sali di fosforo.

### 3 RESE DEL PROCESSO INTEGRATO RELATIVAMENTE ALLA FASE DI CODIGESTIONE

L'area di trattamento della FORSU ha operato utilizzando il rifiuto raccolto presso la città di Treviso. La raccolta è del tipo separato, utilizzando cassonetti stradali e quindi non la logica porta a porta. Per questo motivo la qualità del rifiuto in ingresso all'impianto non è ottimale, e sono state riscontrate percentuali di scarto anche superiori al 30%. Tuttavia, il grado di selezione meccanica operato dalla linea è più che soddisfacente. In tabella 3 sono riportate le caratteristiche medie del rifiuto ottenuto dopo il trattamento, a valle quindi della diluizione operata per rendere il materiale trasportabile in linea fanghi.

**Tabella 3:** Caratteristiche della FORSU inviata alla vasca di miscelazione.

Parametro	Unità di misura	Valore medio
TCOD	g/l	192.5
SCOD	g/l	19.7
TKN	g/l	3.0
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	49.3
P <sub>tot</sub>	gP/l	1.2
TS	g/kg	90.0
TVS	%TS	86.8
VFA	mgCOD/l	1123

Come si può notare, la selezione operata sul substrato ha portato ad un effluente di eccellente qualità sotto il profilo della biodegradabilità: il materiale è quasi interamente biodegradabile (TVS=86.7%TS) e contiene circa 20 g/l di SCOD, che ragionevolmente sarà costituito

completamente da frazioni biodegradabili velocemente (RBCOD) e quindi con una valenza aggiuntiva legata alla possibilità di utilizzare la linea nella configurazione che prevede l'invio dell'effluente liquido in linea acque. La concentrazione di VFA, considerata la diluizione con cui è stato portato il rifiuto da una concentrazione in secco intorno al 25-30% ad un valore di circa 10%TS, è interessante ed indica una buona conversione del substrato già in fase di pretrattamento del materiale. Va sottolineato il fatto che in questa fase non è stato utilizzato il fermentatore, allo scopo di verificare la possibilità di ridurre ulteriormente i costi di impianto nel caso di finalizzare il processo al solo recupero energetico via codigestione. In questo caso, infatti, la prefermentazione più spinta del materiale non risulta strettamente necessaria, in quanto gli elevati tempi di residenza del digestore (> 20 giorni) e l'alta biodegradabilità del materiale consentono comunque di sfruttare a fondo il contenuto di sostanze organiche per la conversione a biogas. Infatti, in questa parte dell'esercizio (2003-2004), il rifiuto è stato utilizzato unicamente per il processo di codigestione anaerobica, finalizzando quindi la gestione dell'impianto alla massimizzazione del recupero energetico. In questi termini, i risultati ottenuti possono essere meglio messi in evidenza considerando un confronto tra le condizioni di funzionamento della linea fanghi con e senza aggiunta dell'effluente del trattamento rifiuti. La tabella 4 riporta una sintesi dei principali parametri di esercizio, di stabilità e di resa ottenuti nelle diverse condizioni di esercizio. In particolare, vengono confrontati i dati ottenuti con e senza integrazione dei cicli di trattamento.

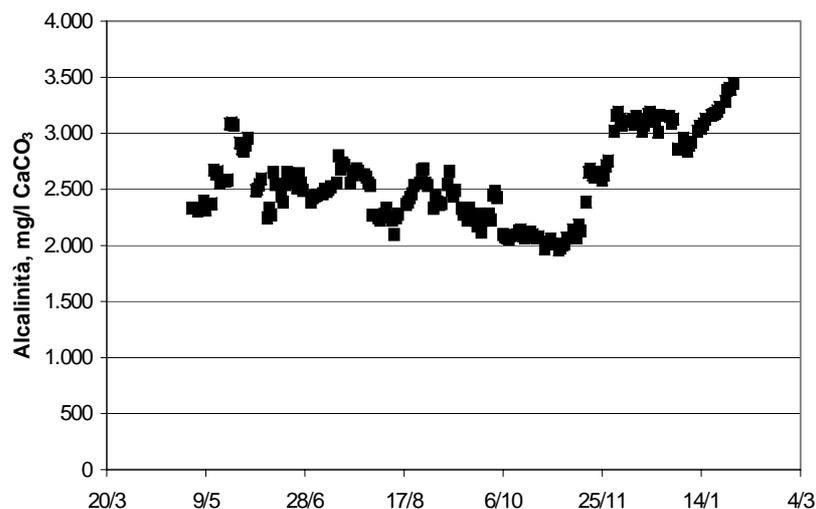
Ciò che si evidenzia immediatamente dal confronto dei risultati riportati in tabella è l'incremento sostanziale delle rese. L'utilizzo della FORSU porta a notevoli aumenti nella produzione di biogas. La produzione specifica per m<sup>3</sup> di reattore (GPR) passa infatti da 0.07 a 0.32 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> d, quindi un aumento pari ad oltre il 350 %. In termini specifici, la SGP passa da 0.22 a 0.39 m<sup>3</sup>/KgTVS alimentati, grazie alle notevoli caratteristiche di biodegradabilità del materiale. Determinando separatamente le produzioni specifiche dei due substrati, si ottengono infatti 0.22 m<sup>3</sup>/kgTVS per i fanghi e 0.67 m<sup>3</sup>/kgTVS per la FORSU. Tradotto su base mensile, ciò significa passare da 4500 a 19000 m<sup>3</sup> di biogas prodotti. Le caratteristiche del biogas, in termini di contenuto in metano, e quindi di potere calorifico, rimangono praticamente inalterate (da 65 al 62 % di metano). Dal punto di vista della stabilità non si evince alcun problema: il pH rimane entro i normali intervalli di esercizio, e così pure i VFA, che risultano avere una concentrazione in reattore intorno ai 100 mgCOD/l. L'alcalinità rimane sostanzialmente inalterata tra i due periodi, ed è a valori più che soddisfacenti considerando le condizioni di esercizio applicate.

**Tabella 4:** Caratteristiche medie in ingresso ed uscita digestore e condizioni operative.

<b>Parametro</b>	<b>Senza FORSU</b>	<b>Con FORSU</b>
T, °C	36.0	37.3
HRT, d	35.1	26.6
OLR <sub>tot</sub> , kg/m <sup>3</sup> d	0.72	0.98
OLR <sub>fanghi</sub>	0.72	0.71
OLR <sub>FORSU</sub>		0.27
TS <sub>in</sub> , g/kg	28.3	37.6
TVS <sub>in</sub> , %TS	59.1	59.4
TCOD <sub>in</sub> , g/kgTS	1133	
VFA <sub>in</sub> , mg/l		1738
pH <sub>in</sub>	6.7	6.5
TKN <sub>in</sub> , g/kg	38.5	43.2
TS <sub>out</sub> , g/kg	29.3	30.2
TVS <sub>out</sub> , %TS	52.9	51.4
TCOD <sub>out</sub> , g/kgTS	838	
VFA <sub>out</sub> , mg/l	82.0	94.8
pH <sub>out</sub>	7.2	7.1

Parametro	Senza FORSU	Con FORSU
TA <sub>out</sub> , mgCaCO <sub>3</sub> /l	2403	2318
N-NH <sub>3out</sub> , mg/l		600.4
GPR, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	0.07	0.32
GPR <sub>FORSU</sub> , m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		0.18
SGP, m <sup>3</sup> /kgTVS <sub>alimentati</sub>	0.22	0.39
SGP <sub>FORSU</sub> , m <sup>3</sup> /kgTVS <sub>alimentati</sub>		0.67
Biogas, m <sup>3</sup> /mese	4500	19340
CH <sub>4</sub> , %	65.6	62.0

Un’osservazione di carattere generale emerge dalla visione d’insieme degli andamenti dei parametri considerati, che in questa sede può venir evidenziata considerando, a titolo di esempio, l’andamento dell’alcalinità riportato in Figura 1, relativo ad entrambe le condizioni di funzionamento, con e senza codigestione. Si noti che, nell’ultima parte del grafico (da novembre 2003 in poi), relativa al passaggio al regime di codigestione a pieno carico (10 t FORSU/giorno), il parametro tende a salire in tempi relativamente lunghi, e non raggiunge un valore di plateau neppure dopo 3 mesi di alimentazione del digestore in condizioni costanti. Ciò porta a pensare che il sistema mantenga le condizioni di transiente per tempi significativamente maggiori del semplice ricambio del fango all’interno del digestore (1 HRT, circa 27 giorni in questo caso). Ciò potrebbe essere legato, oltre al lento acclimatamento del fango al nuovo substrato, anche alla scarsa miscelazione del digestore stesso, che quindi viene a trovarsi in condizioni diverse dall’idealità.



**Figura. 1:** Andamento dell’alcalinità del digestore

Una nota aggiuntiva va legata al carico finora applicato al digestore. Tutti i parametri considerati, sia quelli di stabilità che di resa, testimoniano l’ottima risposta del processo in relazione al substrato. Considerando congiuntamente questi risultati a quelli ottenuti dall’esercizio della linea di selezione (non riportati in questa sede), si evince chiaramente la possibilità di aumentare sensibilmente i carichi organici applicabili al processo (attualmente ancora inferiori a 1 kgTVS/m<sup>3</sup> d, vedi tabella 4), portando l’impianto nelle condizioni di poter produrre quantitativi notevoli di energia elettrica attraverso l’opzione della cogenerazione, oltre al calore da utilizzare per il riscaldamento del digestore e per il teleriscaldamento dei laboratori e palazzina servizi dell’impianto stesso.

## BIBLIOGRAFIA

1. Cecchi, F., Battistoni, P., Pavan, P., Fava, G., Mata-Alvarez, J. *Anaerobic digestion of OFMSW and BNR processes: a possible integration. Preliminary results.* Wat.Sci.Tech., **30**, 8, (1994), 65-72.
2. Pavan, P., Battistoni, P., Traverso, P., Musacco, A., Cecchi, F., *Effect of addition of anaerobic fermented OFMSW on BNR process: preliminary results.* Water Science and Technology, 38, 1, (1998), 327-334.
3. Pavan P., Battistoni P., Bolzonella D., Innocenti L., Traverso P., Cecchi F., *Integration of wastewater and OFMSW treatment cycles: from the pilot-scale experiment to the industrial realisation. The new full-scale plant of Treviso (Italy).* Water Science & Technology, **41**(12), (2000), 165-173.
4. P. Battistoni, P. Pavan, M. Prisciandaro and F. Cecchi. *Struvite crystallization: a feasible and reliable way to fix phosphorus in anaerobic liquors.* Water Research, **34** (11), (2000), 3033-3041.