



APAT

Agenzia per la protezione
dell'ambiente e per i servizi tecnici

Metodi di misura della stabilità biologica dei rifiuti

Informazioni legali

L'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

APAT

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici
Dipartimento di Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi
Via Viataliano Brancati, 48 – 00144 Roma

© APAT, Manuali e Linee Guide 25/2003

ISBN 88-448-0102-7

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina: Paolo Orlandi

Coordinamento tipografico

APAT

Impaginazione e stampa

I.G.E.R srl - Viale C.T. Odascalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TFC

Finito di stampare dicembre 2003

Testo disponibile su sito *web internet*: www.sinanet.apat.it

Il presente manuale è stato elaborato dall'**Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi tecnici** – *Servizio Rifiuti*, in collaborazione con l'Università degli studi di Milano - Dipartimento di Di.Pro.Ve – Prof. P.L. Genevini e Prof. Fabrizio Adani, con l'Università di Padova – Dipartimento di Ingegneria idraulica, marittima, ambientale e geotecnica – Ing. Prof. Raffaele Cossu, Dr. Federico Boscaro, Ing. Roberto Raga, Dr.ssa Annalisa Sandon, e con la Società GFAmbiente

L'impostazione, il coordinamento e la stesura finale sono a cura di:
Rosanna LARAIA, APAT

La Redazione è stata a cura del Gruppo di lavoro composto da:
Francesca **LUCIGNANO** (APAT)
Elisa **RASO** (APAT)

Indice generale

1.	INTRODUZIONE	1
2.	LA NORMATIVA COMUNITARIA E NAZIONALE	3
2.1	La direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti	3
2.2	Decisione del consiglio del 19/12/2002 relativa ai criteri e procedure per l'ammissione dei rifiuti in discarica	10
2.3	Decreto legislativo n.36 13 marzo 2003 "Criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica"	11
2.4	Decreto ministeriale 13 marzo 2003 "Criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica"	13
2.5	La normativa in materia di compost da rifiuti	14
2.5.1	La normativa nazionale sul compost da rifiuti	16
3.	METODOLOGIE RELATIVE ALLA CARATTERIZZAZIONE MERCEOLOGICA DEI RIFIUTI URBANI	19
3.1	L'indagine condotta da APAT	20
3.2	Scelta del campione e dell'ambito locale di indagine	20
3.2.1	Strumentazione e attrezzatura per le analisi merceologiche	24
3.3	Il metodo di campionamento: metodo IRSA – CNR, Norma UNI 9246	24
3.3.1	Modalità di esecuzione delle analisi merceologiche	25
3.3.2	Software di elaborazione dati	29
3.4	Il metodo di campionamento messo a punto da GFambiente	29
3.4.1	Modalità di preparazione del campione	29
3.4.2	Modalità di esecuzione delle analisi merceologiche	30
3.5	Risultati ottenuti con il metodo irsa cnr(norma ctn uni 9246)	31
3.6	Conclusioni	50
4.	METODOLOGIE DI TRATTAMENTO DEI RIFIUTI URBANI	53
4.1	Bioessiccamento	53
4.2	Biostabilizzazione	54
4.3	La discarica e il pretrattamento dei rifiuti	57
4.3.1	Aspetti quantitativi della produzione di biogas	58
4.3.2	Comportamento in discarica dei rifiuti pretrattati	59
4.3.3	Gli scenari futuri	61
5.	LA DETERMINAZIONE DELLA STABILITA' BIOLOGICA	63
5.1	Stabilità biologica	63
5.2	I metodi di determinazione della stabilità biologica	64
5.2.1	Determinazione dei solidi totali volatili	64
5.2.2	Determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili (S _{pt})	64
5.2.3	Metodi respirometrici	66
5.2.3.1	Il consumo orario di ossigeno:l'indice di respirazione	66

5.2.3.2	Principali metodiche in uso per la misura del consumo di ossigeno	68
5.2.4	Metodi biologici anaerobici: test di produzione residua di biogas	72
5.2.4.1	Test fermentativo di Binner	76
5.2.4.2	Test di fermentazione in reattore	77
5.2.4.3	Test di incubazione Zach e Binner	79
5.2.4.4	Test d'incubazione meto di Adani et al. (saltato metodo Zach Binner)	81
5.2.5	Test di cessione in acqua distillata	81
5.2.6	Test con cartina all'acetato di piombo	82
6.	MATERIALI E METODI (UNIVERSITÀ DI MILANO - DIPARTIMENTO DI PRODUZIONE VEGETALE)	83
6.1	Tipologia dei rifiuti trattati	83
6.2	Campionamento del rifiuto	86
6.3	Determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili	87
6.4	Determinazioni dei parametri chimici	88
6.5	Determinazione delle ceneri e dei solidi volatili	88
6.6	Test respirometrico	88
6.6.1	Determinazione dell'Indice di Respirazione Dinamico	90
6.7	Determinazione della produzione del biogas	93
6.7.1	Determinazione della produzione di biogas	93
7.	RISULTATI (UNIVERSITÀ DI MILANO - DIPARTIMENTO DI PRODUZIONE VEGETALE)	95
7.1	Tipologia dei campioni indagati	95
7.1.1	Rifiuti pretrattati	95
7.1.2	Rifiuti derivanti da raccolta differenziata	97
8.	DISCUSSIONE DEI RISULTATI (UNIVERSITÀ DI MILANO - DIPARTIMENTO DI PRODUZIONE VEGETALE)	101
8.1	I solidi volatili	101
8.2	I solidi potenzialmente fermentescibili (spf)	102
8.3	L'indice di respirazione	103
8.3.1	Indice di Respirazione Dinamico (IRD)	103
8.3.2	Indice di respirazione statico (IRS)	106
8.3.3	L'indice di respirazione dinamico e statico	108
8.3.4	Biogas residuo	112
9.	MATERIALI E METODI (DIPARTIMENTO IMAGE UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA)	123
9.1	Tipologia dei campioni trattati	123
9.2	Preparazione del campione	125
9.3	Determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili (Spf)	125
9.4	Determinazione dell'indice di respirazione Statico	126

9.5	Test di fermentazione in reattore	127
9.6	Test di cessione in acqua distillata	129
9.7	Test con cartina all'acetato di Pb - Black Index (BI)	129
9.8	Test di lisciviazione in colonna (Test IMAGE)	130
9.9	Test di fermentazione in colonna	131
10.	RISULTATI DIPARTIMENTO IMAGE UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA	133
10.1	Tipologia dei campioni indagati	133
10.1.1	Rifiuti pretrattati	133
10.1.2	Frazioni residue di rifiuti urbani a valle della raccolta differenziata	137
11.	DISCUSSIONE DEI RISULTATI UNIVERSITÀ DI PADOVA DIPARTIMENTO IMAGE	141
11.1	Rifiuti pretrattati	141
11.1.1	Solidi potenzialmente fermentescibili	141
11.1.2	Test Respirometrici	142
11.1.3	Test di fermentazione in reattore	152
11.1.4	Test di cessione in acqua distillata	155
11.1.5	Test con cartina all'acetato di piombo (Back Index)	156
11.2	Rifiuti urbani residui a valle della raccolta differenziata	156
11.2.1	Solidi potenzialmente fermentescibili	156
11.2.2	Test respirometrici	156
11.2.3	Test di fermentazione in colonna	156
11.2.4	Test di lisciviazione in colonna (Test IMAGE)	164
11.2.5	Test di cessione in H ₂ O distillata	165
11.2.6	Test con cartina all'acetato di piombo (Black Index)	165
11.3	Correlazioni	165
11.4	Conclusioni	169
12.	CONCLUSIONI RELATIVE ALLE METODOLOGIE UTILIZZATE PER LA MISURA DELLA STABILITÀ BIOLOGICA	175
12.1	Scelta dei campioni	175
12.2	Indice di respirazione	175
12.3	Solidi potenzialmente fermentescibili	178
12.4	Produzioni residue del biogas	178
12.5	Conclusioni	179
	APPENDICE	181
	BIBLIOGRAFIA	223

1. Introduzione

Tra gli obiettivi principali della normativa sulla gestione dei rifiuti, introdotta dal D.lgs 22/97, vi è la massimizzazione dei principi di prevenzione e recupero dei materiali e la relativa diminuzione dei rifiuti da avviare allo smaltimento finale, operazione principalmente praticata mediante l'utilizzo della discarica.

La determinazione sperimentale della qualità e della stabilità dei rifiuti, si pone come strumento indispensabile per una corretta pianificazione e per la verifica tecnica di tutte quelle iniziative che tendono ad applicare il concetto di prevenzione e recupero introdotto dal D.lgs 22/97.

Inoltre il decreto n.36 del 13 gennaio 2003, recepimento della direttiva 99/31/CE, stabilisce che i rifiuti possono essere collocati in discarica solo dopo trattamento, ad eccezione dei rifiuti inerti e dei rifiuti il cui trattamento non contribuisce alla riduzione della quantità dei rifiuti o ai rischi per l'ambiente e per la salute umana e non risulta indispensabile ai fini del rispetto dei limiti fissati dalla normativa vigente.

Per quanto riguarda i rifiuti urbani la direttiva 99/31/CE, prevede all'art.5, che nell'arco di 15 anni, i quantitativi di sostanza organica biodegradabile conferiti in discarica debbano essere progressivamente ridotti, con l'obiettivo quindi di limitare la presenza in discarica di sostanze che, sottoposte ai processi biochimici di degradazione, causino emissioni di biogas e determinino il carico inquinante del percolato.

Lo smaltimento in discarica sarà, quindi, ammissibile solo per i rifiuti che presentino alcune specifiche caratteristiche chimico fisiche che, ove non presenti, possono essere ottenute previo opportuno pretrattamento.

A tale scopo una delle prime operazioni che si rendono necessarie, è quella di quantificare, con le analisi merceologiche effettuate per le diverse tipologie di rifiuti urbani raccolti, le frazioni che compongono i rifiuti da smaltire in discariche, potendo così valutare anche l'efficienza degli impianti o dei sistemi di pretrattamento che consentono il recupero dei materiali e la possibilità di smaltire gli scarti in discarica.

E', comunque, necessario definire un criterio di classificazione dei rifiuti pretrattati, che consenta di valutarne l'idoneità al deposito in discarica.

Con lo scopo di definire i criteri di riferimento più idonei, in termini di efficacia rappresentativa, velocità di esecuzione, ripetibilità e costo, atti a valutare il grado di stabilizzazione dei rifiuti pretrattati da destinarsi in discarica, l'APAT, ha realizzato una specifica ricerca con la collaborazione di esperti qualificati e con Dipartimenti Universitari per determinare, sia la composizione merceologica dei rifiuti trattati, finalizzata a fornire elementi utili per poter definire aspetti relativi alle metodologie di campionamento e di analisi ed individuare valori di riferimento sui rifiuti sulla base delle diverse metodologie di raccolta a monte e/o di trattamento a valle, sia per acquisire le necessarie informazioni per la successiva definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti pretrattati da depositare in discarica ed in particolare di quelli che hanno subito un pretrattamento biologico.

In particolare una parte dello studio condotto, ha avuto l'obiettivo di definire una serie di dati analitici sperimentali tesi a verificare la composizione del rifiuto proveniente da diverse tipologie di raccolta e da diverse linee di pretrattamento prima dello smaltimento in discarica. Lo studio ha, inoltre, fornito utili informazioni relative alle metodiche per la fase di caratterizzazione del rifiuto urbano, attraverso il confronto tra le metodologie attualmente esistenti in relazione all'impegno, all'economia, ed alla qualità dell'indagine, in modo da fornire utili elementi ai fini di una definizione di normativa tecnica corretta e facilmente attuabile, verificando se a prescindere dalla tipologia di campionamento, l'applicazione di diverse metodologie di classificazione merceologica conduce a risultati finali con variazioni significative.

La seconda parte dello studio ha individuato alcuni parametri analitici in grado di descrivere le caratteristiche biologiche dei rifiuti urbani pretrattati, nonché le possibili tipologie di pretrattamento.

In merito ampia incertezza si può riscontrare, a livello internazionale, sia sui test da effettuare sui rifiuti, sia sui valori limite da adottare per i diversi parametri di controllo.

Una possibilità per ridurre il contenuto di sostanza organica biodegradabile nei rifiuti è rappresentata dal pretrattamento meccanico-biologico che, accanto al tradizionale pretrattamento termico, sta assumendo un ruolo sempre più rilevante nelle strategie di gestione dei rifiuti solidi. Con esso, si realizza la separazione del flusso di rifiuti in due frazioni, una ad alto potere calorifico, da avviare a pretrattamento termico con recupero energetico, e l'altra ad alto contenuto di sostanza organiche biodegradabili, da avviare a processi di stabilizzazione, di tipo aerobico od anaerobico, per ridurre la putrescibilità del materiale ed il suo potenziale inquinante prima del deposito in discarica.

Risultati di test preliminari in laboratorio per la simulazione del comportamento in discarica dei rifiuti pretrattati, mostrano una riduzione delle emissioni di biogas e del carico di COD, TOC e azoto totale nel percolato di circa il 90%, rispetto a quanto misurato in test con rifiuti tal quali. Alcuni autori ritengono che, nel caso di rifiuti sottoposti a pretrattamento meccanico-biologico, la discarica sarà caratterizzata da bassa permeabilità, a causa delle elevate densità (1,4 t/m³ circa) raggiungibili dai rifiuti dopo adeguato pretrattamento e compattazione. Questa situazione permetterebbe di considerare la stessa discarica come una barriera ben più efficace rispetto alle discariche tradizionali e porterebbe a pronosticare portate di percolato minime e quindi minori costi per il trattamento. Gli stessi autori ritengono che, le ridotte emissioni di biogas ipotizzabili in base a test di laboratorio (10÷15 NL /kg ST) possano permettere di raggiungere l'ossidazione del metano durante la sua migrazione attraverso la superficie della discarica e quindi rendere superflua l'installazione di un impianto di captazione e di smaltimento del biogas.

Per la fase di sperimentazione in laboratorio sono stati scelti, in collaborazione con l'ARPA Veneto, diversi campioni di rifiuti urbani rappresentativi di tre scenari di gestione diversi:

- frazioni residue di rifiuti urbani a valle della raccolta differenziata
- rifiuti urbani sottoposti a pretrattamento meccanico biologico di stabilizzazione
- rifiuti urbani sottoposti a processo di bioessiccamento.

Per la definizione di un criterio di valutazione del contenuto in materia biodegradabile sono state eseguite analisi merceologiche, indici di respirazione (statico e dinamico), determinazione dei solidi volatili, determinazione della produzione di biogas, determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili, test di liscivazione; i risultati ottenuti sono stati analizzati criticamente allo scopo di valutare l'affidabilità e la praticità dei diversi test per la definizione del grado di stabilità dei rifiuti pretrattati da allocare in discarica.

2. La normativa comunitaria e nazionale

2.1 La direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti

L'obiettivo principale della direttiva è quello di assicurare norme adeguate in materia di smaltimento dei rifiuti nell'Unione Europea introducendo misure, procedure, requisiti tecnici per gli impianti, al fine di evitare e/o ridurre effetti negativi sull'ambiente e rischi per la salute umana.

Altro obiettivo è quello di ottenere un prezzo dello smaltimento in discarica che rifletta i suoi costi reali derivanti non solo dall'impianto e dall'esercizio, ma anche dalla chiusura e dalla gestione successiva alla chiusura stessa. Tale impostazione mira ad ottenere un costo effettivo per l'intera vita utile della discarica, anche al fine di riequilibrare i costi relativi alle varie forme di smaltimento.

Il costo dello smaltimento in discarica tende infatti, al momento attuale, ad essere troppo basso rispetto ad altre forme di trattamento come, ad esempio, le forme di recupero ecocompatibili.

Di seguito vengono commentati i punti più significativi della direttiva.

Classificazione delle discariche e criteri per l'ammissibilità dei rifiuti in discarica

L'articolo 4 della direttiva classifica le discariche nelle seguenti categorie:

- discarica per rifiuti pericolosi
- discarica per rifiuti non pericolosi
- discarica per rifiuti inerti

Ai fini della definizione dei criteri per l'ammissibilità dei rifiuti nelle tre categorie individuate sono significative le disposizioni introdotte dagli articoli 5 e 6 e soprattutto dall'allegato II.

Già da alcuni anni, paesi come la Francia, la Germania, l'Austria, il Belgio hanno introdotto, nelle normative nazionali limitazioni sulle tipologie dei rifiuti ammessi in discarica, soprattutto per quanto attiene al contenuto di sostanze biodegradabili.

La direttiva, coerentemente con gli orientamenti internazionali in materia, introduce il principio secondo il quale i rifiuti, depositati in discarica dovrebbero costituire la prima barriera di un sistema di difesa in profondità e per questo motivo dovrebbero fornire garanzie sufficienti dal punto di vista della resistenza meccanica e nei confronti del rilascio di sostanze pericolose.

L'art. 5, relativo ai rifiuti e ai trattamenti non ammissibili in discarica, stabilisce che, non oltre due anni dal recepimento della direttiva stessa, gli Stati membri elaborino specifiche strategie finalizzate alla riduzione dei rifiuti biodegradabili destinati allo smaltimento in discarica.

Tra le misure da utilizzare per attuare tale riduzione vengono indicati il riciclaggio, il trattamento biologico (compostaggio, digestione anaerobica), il recupero di materiali ed energia. Vengono, inoltre, fissati specifici target da raggiungere in relazione al volume complessivo dei rifiuti urbani biodegradabili da collocare in discarica:

- a) non più tardi di 5 anni dal recepimento della direttiva, la frazione biodegradabile del rifiuto urbano da collocare in discarica deve essere ridotta, per quanto possibile, al 75% del totale (in peso) di rifiuto urbano biodegradabile prodotto nel 1995 o nell'ultimo anno per cui si hanno i dati standardizzati dall'EUROSTAT;

- b) non più tardi di 8 anni dal recepimento della direttiva, la frazione biodegradabile del rifiuto urbano da collocare in discarica deve essere ridotta, per quanto possibile, al 50% del totale (in peso) di rifiuto urbano biodegradabile prodotto nel 1995 o nell'ultimo anno per cui si hanno i dati standardizzati dall'EUROSTAT;
- c) non più tardi di 15 anni dal recepimento della direttiva, la frazione biodegradabile del rifiuto urbano da collocare in discarica deve essere ridotta al 35% (in peso) di rifiuto urbano biodegradabile prodotto nel 1995 o nell'ultimo anno per cui si hanno i dati standardizzati dall'EUROSTAT.

Due anni prima della data di cui al paragrafo c), il Consiglio dovrà riesaminare i target su esposti, sulla base di un Rapporto della Commissione sull'esperienza pratica fatta dagli Stati Membri nel perseguire gli obiettivi di cui ai paragrafi a) e b).

Il riesame porterà ad una conferma o ad una modifica dei target, fermo restando l'obiettivo di assicurare un alto livello di protezione ambientale.

Gli Stati membri che nel 1995 o nell'ultimo anno prima del 1995 per il quale si hanno i dati standardizzati dall'EUROSTAT, smaltiscono oltre l'80% dei loro rifiuti urbani in discarica possono proporre di un periodo non superiore a 4 anni i target elencati nei paragrafi a), b) o c). Gli Stati membri che intendono far uso di questa deroga dovranno comunque informarne, con anticipo, la Commissione che renderà nota tale decisione agli altri Stati membri.

Riguardo alle citate disposizioni sui rifiuti biodegradabili, si può affermare in generale che, l'impostazione della direttiva appare complessa nella valutazione dei risultati che si vogliono raggiungere, pone chiari problemi in termini di monitoraggio degli obiettivi e non appare adeguata alla necessità di rendere residuale l'uso delle discariche per tipologie di rifiuti che dovrebbero più opportunamente essere sottoposti a differenti tipologie di trattamento.

Si può, inoltre, evidenziare che gli obiettivi fissati sono decisamente inferiori a quelli previsti dalle normative di diversi Stati membri quali la Francia, la Germania l'Austria e il Belgio.

Appare condivisibile, invece, l'ampia discrezionalità lasciata agli Stati membri nella scelta dei sistemi per ottenere una riduzione della collocazione in discarica dei rifiuti biodegradabili che potranno essere pertanto selezionati ed avviati a sistemi di riciclaggio o ad un processo di stabilizzazione biologica (aerobico o anaerobico) o ad un trattamento termico.

L'articolo 5 della direttiva elenca i rifiuti che non possono essere, in ogni caso, accettati in discarica:

- a) rifiuti liquidi;
- b) rifiuti che, in condizioni di smaltimento in discarica, sono ai sensi dell'Allegato III della direttiva 91/689/CEE, classificabili come esplosivi, corrosivi, ossidanti, altamente infiammabili o infiammabili;
- c) rifiuti sanitari che provengono da presidi medici o veterinari qualora siano infettivi ai sensi dell'Allegato III della direttiva 91/689/CEE con sigla di rischio H9 e rifiuti compresi nella categoria 14, All.I.A della stessa direttiva;
- d) pneumatici usati interi entro 2 anni dal recepimento della direttiva, esclusi pneumatici usati come materiali dell'ingegneria, e pneumatici usati triturati 5 anni dopo il recepimento della direttiva (escluse in entrambi i casi quelli per biciclette e quelli con diametro superiore a 1400 mm);
- e) ogni altro tipo di rifiuto che non soddisfi i criteri di ammissibilità stabiliti nell'allegato II alla stessa direttiva.

Per quanto attiene ai trattamenti non ammessi per lo smaltimento in discarica sono indicati la diluizione e la miscelazione dei rifiuti al fine di renderli conformi alle norme di ammissibilità. L'art. 6 contiene, invece, le disposizioni relative ai rifiuti ammessi nelle varie classi di discarica. Elemento di fondamentale importanza è l'introduzione, in coerenza con gli sviluppi e la prassi di diversi Stati membri, di una disposizione in forza della quale i rifiuti devono essere sottoposti a trattamento prima dello smaltimento in discarica.

Scopo del trattamento è quello di ridurre il volume e la pericolosità e quindi facilitarne la manipolazione all'interno dell'impianto.

Tale misura può non essere applicata ai rifiuti inerti non suscettibili di trattamento o a qualsiasi altro rifiuto per il quale non esista possibilità di trattamento che ne riduca la quantità e il rischio per la salute umana o l'ambiente.

Vengono poi individuati i rifiuti che possono essere smaltiti nelle diverse tipologie di discarica. Nella categoria di discarica per pericolosi possono essere smaltiti solamente i rifiuti pericolosi che rispettano i criteri dell'allegato II alla direttiva.

Un primo elenco provvisorio di rifiuti pericolosi potrebbe comprendere solo i rifiuti contemplati dalla direttiva 91/689/CEE, tuttavia, tali rifiuti dovrebbero essere ammessi, solo dopo preventivo trattamento, nel caso in cui essi contengano componenti potenzialmente pericolose in quantità tali da costituire un rischio a breve termine per la salute umana e per l'ambiente o da impedire una sufficiente stabilizzazione del rifiuto entro la prevista durata della discarica.

Le discariche per rifiuti non pericolosi possono ricevere rifiuti urbani, rifiuti non pericolosi di ogni origine che rispettino i criteri di ammissibilità dei rifiuti per discariche di non pericolosi e rifiuti pericolosi stabili e non reattivi (ad es. solidificati, vetrificati) con comportamento del lisciviato simile a quello dei rifiuti non pericolosi. Tali rifiuti pericolosi non devono essere depositati in aree destinate ai rifiuti non pericolosi biodegradabili.

La discarica per inerti deve ricevere solo rifiuti inerti così come definiti dalla direttiva all'articolo 2, lettera e): *"i rifiuti che non subiscono alcuna trasformazione fisica, chimica o biologica significativa. I rifiuti inerti non si dissolvono, non bruciano né sono soggetti ad altre reazioni fisiche o chimiche, non sono biodegradabili e, in caso di contatto con altre materie, non comportano effetti nocivi tali da provocare inquinamento ambientale o danno alla salute umana. La tendenza a dar luogo a percolati e la percentuale inquinante globale dei rifiuti nonché l'ecotossicità dei percolati devono essere trascurabili e, in particolare, non danneggiare la qualità delle acque superficiali e/o freatiche"*.

Nell'allegato II alla direttiva sono contenuti i principi generali per l'ammissione dei rifiuti nelle varie classi di discarica.

Fino a che non verrà stabilita al livello comunitario una procedura uniforme standard per la classificazione e l'ammissione dei rifiuti, devono essere applicate le linee guida preliminari sulle procedure di ammissione dei rifiuti indicate nello stesso allegato.

Il Comitato Tecnico di cui all'art. 18 della direttiva 91/156/CEE assisterà la Commissione nella definizione, entro due anni dall'entrata in vigore della direttiva, di una procedura uniforme per la classificazione e l'ammissione dei rifiuti negli impianti di discarica.

Sempre entro due anni dall'entrata in vigore della direttiva, il Comitato metterà a punto proposte di normalizzazione relative ai metodi di controllo, campionamento ed analisi, nonché i criteri che devono essere rispettati per alcuni rifiuti pericolosi ai fini del loro smaltimento in discariche per rifiuti non pericolosi.

I criteri di accettazione dei rifiuti dovranno essere fissati in funzione delle caratteristiche dell'eluato e, in particolare, dovranno prendere in considerazione il comportamento del rifiuto alla lisciviazione a breve, medio e lungo termine.

I principi generali fissati dall'allegato II stabiliscono che l'ammissibilità dei rifiuti in discarica dovrà esser basata su elenchi di rifiuti ammessi o esclusi, definiti secondo la loro natura ed origine, attraverso metodiche analitiche standardizzate e valori limite per le caratteristiche del rifiuto da ammettere in discarica. In ogni caso sarà necessario conoscere, con la migliore precisione possibile, la composizione, la lisciviabilità, il comportamento a lungo termine e le proprietà generali del rifiuto da smaltire.

Gli Stati membri dovranno almeno fissare delle liste nazionali di rifiuti ammessi e non ammessi per ogni classe di discarica o definire i criteri richiesti per appartenere alle liste, nonché metodi di analisi e valori limite.

I criteri di ammissibilità devono prendere in considerazione i seguenti fattori:

- protezione dell'ambiente circostante (in particolare acque sotterranee e acque superficiali)
- protezione dei sistemi di difesa ambientali (impermeabilizzazione, sistemi di trattamento del percolato ecc.)
- protezione dei processi di stabilizzazione dei rifiuti svolti all'interno della discarica
- protezione dai rischi per la salute umana.

Per quanto attiene alle caratteristiche dei rifiuti, i criteri di accettazione non possono prescindere da:

- conoscenza approfondita della composizione
- limiti sul quantitativo di sostanza organica
- limiti sulla biodegradabilità dei componenti organici
- limiti sulla quantità di componenti potenzialmente dannosi o pericolosi (in relazione coi sopra menzionati criteri di protezione)
- limiti sulla lisciviabilità potenziale e attesa di componenti potenzialmente dannose o pericolose (in relazione coi sopra menzionati criteri di protezione)
- caratteristiche ecotossicologiche del rifiuto e del risultante eluato.

I criteri di ammissibilità basati sulle caratteristiche dei rifiuti devono, generalmente, essere più completi possibile per discariche di inerti, possono esserlo meno per discariche di non pericolosi ed ancora meno per discariche di pericolosi, dato il più elevato livello di protezione ambientale richiesto da queste ultime due tipologie di discariche.

L'allegato II fissa anche le procedure generali per analizzare e ammettere i rifiuti.

Tali procedure sono articolate su 3 livelli:

1. *Caratterizzazione di base.* Consiste in una determinazione con metodi analitici standard, di tutte le proprietà del rifiuto e del comportamento a breve e lungo termine del suo eluato.
2. *Test di conformità.* Sono test periodici a mezzo di analisi standard che servono a verificare che il rifiuto sia conforme alle condizioni di autorizzazione e/o ai criteri di classificazione.
3. *Verifica in situ.* E' un metodo rapido di conferma che il rifiuto sottoposto al test di conformità coincida con quello descritto nei documenti di accompagnamento. Dovrebbe essere una semplice ispezione visiva del rifiuto prima e dopo lo scarico in discarica.

Per essere ammesso sulla lista di riferimento, ogni tipo di rifiuto dovrebbe subire la fase di caratterizzazione di base, quindi per rimanere sulla lista specifica del sito, dovrebbe essere sottoposto ad intervalli regolari (ad es. 1 anno) al test di conformità.

Ogni carico di rifiuti in ingresso in discarica deve essere sottoposto al livello 3 di verifica.

L'esenzione (temporanea o permanente) dal test di livello 1 è prevista in caso di impraticabilità del test, di non disponibilità di appropriate procedure di analisi e criteri o dell'esistenza di una normativa specifica.

Finché le procedure standardizzate non saranno complete sarà obbligatorio solo il livello 3, mentre i livelli 1 e 2 dovrebbero essere applicati con la maggiore estensione possibile.

Requisiti generali per le discariche

La proposta di direttiva, al fine di assicurare norme adeguate ed uniformi a livello dei vari Paesi dell'Unione, contiene precise disposizioni sui requisiti tecnici relativi alle diverse tipologie di discarica a partire dalla localizzazione, alla gestione del percolato e del biogas, alla protezione del terreno e delle acque, alla stabilità, al controllo di rischi provenienti dalla gestione dell'impianto.

Ubicazione

La direttiva, relativamente all'ubicazione delle discariche, prende in considerazione i seguenti fattori:

1. distanze fra i confini dell'area e le zone residenziali e di ricreazione, le vie navigabili, i bacini idrici e le altre aree agricole e urbane
2. esistenza di acque sotterranee e costiere e di zone di protezione naturale nelle vicinanze
3. condizioni geologiche e idrogeologiche

4. rischio di inondazione, cedimento, frane o valanghe nell'area della discarica
5. protezione del patrimonio naturale e culturale della zona.

La discarica dovrebbe essere autorizzata solo se le caratteristiche del luogo, per quanto riguarda i fattori summenzionati, indicano che la discarica non costituisce un rischio ambientale.

Controllo delle acque e gestione del percolato

In relazione alle caratteristiche e alla tipologia della discarica (per rifiuti pericolosi o per rifiuti non pericolosi) e alle condizioni meteorologiche del sito, la direttiva prevede che vengano prese adeguate misure per:

- limitare gli afflussi di acqua di origine meteorica che penetra nel corpo della discarica,
- impedire che le acque di superficie e/o sotterranee vengano a contatto con i rifiuti,
- raccogliere e trattare le acque di percolazione fino a raggiungere la qualità richiesta per lo scarico.

L'Autorità competente al rilascio dell'autorizzazione potrà non applicare tali disposizioni nel caso in cui l'ubicazione della discarica ed i rifiuti ammessi facciano sì che la discarica stessa non costituisca un potenziale rischio ecologico.

In ogni caso tali disposizioni possono non essere applicate nel caso di discariche per inerti.

Barriera geologica, impermeabilizzazione del fondo e raccolta del percolato

L'ubicazione e la progettazione di una discarica devono, in primo luogo, impedire l'inquinamento del terreno, delle acque sotterranee e delle acque di superficie; la protezione di dette matrici ambientali viene garantita, durante la fase attiva e di esercizio della discarica, dalla combinazione della barriera geologica e da un rivestimento della parte inferiore, durante la fase post-operativa, dalla combinazione della barriera geologica e dal rivestimento della parte superiore.

E' dunque fondamentale il ruolo svolto dalla barriera geologica, l'unica in grado di garantire nel lungo termine l'isolamento dei rifiuti ed un tasso di cessione di sostanze pericolose compatibile con la salvaguardia della salute umana e dell'ambiente.

La funzione del sito come barriera geologica, già da qualche anno presente nelle normative di alcuni tra i principali Paesi europei (Germania, Francia), viene ribadita nella direttiva.

La barriera geologica è determinata da condizioni geologiche e idrogeologiche che devono assicurare al di sotto ed in prossimità della discarica, una capacità di attenuazione sufficiente a limitare la diffusione degli inquinanti nell'ambiente.

Il substrato della base e dei lati della discarica deve consistere in uno strato minerale che risponda a requisiti di permeabilità (K) e spessore tali da assicurare sul piano della protezione del terreno, delle acque sotterranee e superficiali un effetto combinato equivalente a quello risultante dai seguenti criteri:

- discarica per rifiuti pericolosi: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s; spessore ≥ 5 m
- discarica per rifiuti non pericolosi: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s; spessore ≥ 1 m
- discarica per rifiuti inerti: $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s; spessore ≥ 1 m.

Nel caso in cui le caratteristiche del sito non rispondano ai requisiti richiesti, viene ammesso il ricorso a misure tecniche aggiuntive. In questo caso la barriera geologica può essere completata artificialmente e rinforzata con modalità diverse che forniscano una protezione equivalente.

Una barriera geologica creata artificialmente dovrà, comunque, avere uno spessore non inferiore a 0,5 metri.

La barriera geologica deve essere accompagnata da un sistema di impermeabilizzazione del

fondo e una rete di raccolta del percolato in modo da evitare rischi di contaminazione del suolo e delle acque sotterranee.

Il sistema di impermeabilizzazione artificiale del fondo è sempre richiesto per le discariche di rifiuti non pericolosi e per quelle di pericolosi, esso deve essere in grado di impedire per tutta la vita prevista per la discarica, la fuoriuscita di rifiuti e percolato.

Gli Stati membri potranno, comunque, fissare requisiti generali o specifici anche per le discariche di rifiuti inerti.

Allo stesso modo, in caso di possibili rischi ecologici, per evitare la produzione di percolato potrà essere prevista dall'Autorità competente un'impermeabilizzazione di superficie.

Anche in questo caso la direttiva fissa i requisiti dello strato di copertura differenziandolo in base alla categoria della discarica, prevedendo per rifiuti non pericolosi, uno strato di drenaggio dei gas, uno strato minerale impermeabile, uno strato di drenaggio e una ricopertura superficiale con spessori non inferiori a 0.5 m, mentre, per i rifiuti pericolosi, rispetto alle prescrizioni suddette, non è richiesto lo strato di drenaggio dei gas, ma è previsto un rivestimento impermeabile artificiale.

Gestione del biogas

Le discariche che accolgono rifiuti biodegradabili devono essere munite di sistemi per la raccolta e la gestione del biogas tali da perseguire i seguenti obiettivi:

- riduzione delle emissioni odorose
- sicurezza nell'area della discarica e nell'ambiente
- circostante recupero energia.

Qualora il biogas raccolto non possa essere utilizzato per produrre energia deve essere avviato a termodistruzione; va comunque raccolto, trattato ed utilizzato in modo da ridurre al minimo i danni per l'uomo e per l'ambiente.

Stabilità

Uno dei requisiti importanti per un impianto di discarica è la stabilità.

Al riguardo, la direttiva prevede che lo scarico dei rifiuti nell'area sia effettuato in modo da garantire la stabilità della massa di rifiuti e delle strutture collegate in modo particolare per evitare slittamenti. Qualora si installi una barriera artificiale, bisogna accertarsi, a mezzo di specifiche indagini geotecniche, che il substrato geologico, in considerazione della morfologia della discarica, sia sufficientemente stabile da impedire assestamenti che possano danneggiare la barriera stessa.

Recinzione

La direttiva dispone, per ragioni di sicurezza e al fine di evitare scarichi illegali, la recinzione ed il controllo dell'accesso ai siti di discariche.

Limitazione dei rischi

Specifiche misure vanno adottate per ridurre i rischi provenienti da emissioni di odori e polveri, da materiali trasportati dal vento, da rumore e traffico, da uccelli, parassiti ed insetti, da formazione di gas e da incendi.

E', inoltre, vietata la dispersione dei rifiuti nei terreni circostanti il sito di discarica e sulla rete viaria.

Controllo e sorveglianza nella fase operativa

La direttiva, oltre a fissare precisi requisiti tecnici relativi all'impianto di discarica attribuisce grande importanza alla fase di gestione.

L'articolo 12, riconoscendo la necessità di procedure comuni di controllo e sorveglianza nella fase operativa con lo scopo di identificare qualsiasi effetto negativo della discarica sull'ambiente, dispone che il gestore esegua un Programma di controllo e di sorveglianza e comunichi, inoltre, all'Autorità competente eventuali significativi effetti negativi sull'ambiente riscontrati in seguito all'applicazione di detto Programma.

Il gestore della discarica deve, inoltre, con cadenza stabilita dall'Autorità competente e, comunque, alla fine di ogni anno, riferire sui risultati complessivi della sorveglianza al fine di dimostrare la conformità della discarica alle condizioni dell'autorizzazione e arricchire le conoscenze sul comportamento dei rifiuti in discarica.

Nell'allegato III vengono delineate le procedure minime per il controllo, sia nella fase operativa che post-operativa atte ad accertare:

- la conformità dello smaltimento dei rifiuti ai criteri relativi alla categoria della discarica
- l'efficienza dei processi di stabilizzazione all'interno della discarica
- il pieno funzionamento dei sistemi di protezione ambientale
- il rispetto delle condizioni di autorizzazione della discarica.

Il Programma di Controllo e Sorveglianza adottato dal gestore deve prevedere il reperimento di dati ed informazioni su:

- condizioni meteorologiche
- controlli ed analisi del percolato, della qualità delle acque superficiali, sotterranee e dell'aria
- topografia dell'area della discarica e dati circa il corpo della discarica.

La frequenza dei controlli analitici, sia per la fase operativa che post-operativa viene specificata per ciascun parametro nel medesimo allegato.

Viene, inoltre, disposto che le operazioni di analisi siano svolte da laboratori competenti.

Controllo e sorveglianza in fase post - operativa

L'articolo 13 della direttiva definisce le modalità relative alla procedura di chiusura delle discariche. In particolare viene previsto che, conformemente all'autorizzazione, la procedura di chiusura di una discarica o di una sua parte, possa essere avviata qualora le condizioni per la chiusura indicate nell'autorizzazione siano soddisfatte oppure a richiesta del gestore o per decisione motivata della stessa Autorità competente al rilascio dell'autorizzazione.

La discarica o una parte della stessa sarà, comunque, considerata definitivamente chiusa solo dopo che l'Autorità competente avrà eseguito un'ispezione finale sull'area, valutato tutte le relazioni presentate dal gestore e comunicato a quest'ultimo l'autorizzazione alla chiusura.

Dopo la chiusura definitiva della discarica, il gestore continuerà ad essere responsabile della manutenzione, della sorveglianza e del controllo nella fase della gestione successiva alla chiusura per tutto il tempo che sarà ritenuto necessario dall'Autorità competente, tenendo conto del periodo di tempo durante il quale la discarica può comportare rischi per l'ambiente e la salute umana.

Il gestore dovrà notificare all'Autorità competente eventuali significativi effetti negativi sull'ambiente riscontrati a seguito delle procedure di controllo e si dovrà conformare alla decisione dell'Autorità competente sulla natura delle misure correttive e sui termini di attuazione delle medesime.

Finché la discarica rappresenta un rischio per l'ambiente, il gestore dovrà controllare e analizzare il biogas e il percolato prodotti nonché la qualità delle acque sotterranee nelle vicinanze della discarica secondo le modalità fissate dall'allegato III alla direttiva.

Le citate disposizioni rappresentano uno degli aspetti più interessanti della direttiva miranti a considerare l'intero arco di tempo in cui la discarica rappresenta un rischio per la salute dell'uomo e dell'ambiente che non si esaurisce con la fase di realizzazione e gestione della stessa, ma comprende anche il periodo successivo alla chiusura.

Tale impostazione ha lo scopo di riequilibrare i costi dello smaltimento in discarica rispetto a quelli relativi ad altre forme di trattamento o recupero.

Discariche esistenti

Altro aspetto molto importante della direttiva è l'introduzione di norme severe sulle discariche esistenti, ossia quelle aventi già un'autorizzazione o siano già in funzione prima della sua recepimento.

Un piano di riassetto deve essere presentato dal gestore all'Autorità competente entro un anno dalla data di recepimento della direttiva; il piano deve contenere tutte le informazioni richieste per la concessione dell'autorizzazione dei nuovi impianti nonché le misure correttive che si ritengono necessarie per rispondere ai requisiti fissati dalla direttiva.

In seguito alla presentazione del piano, l'Autorità stabilisce se la discarica può continuare ad operare.

Gli Stati membri devono, invece, prendere le misure necessarie per far chiudere al più presto gli impianti che non ottengono l'autorizzazione a continuare la loro attività.

Sulla base del piano approvato, le stesse Autorità autorizzano i necessari lavori e stabiliscono un periodo di transizione per l'attuazione del piano che deve essere, comunque, completato entro otto anni dal recepimento della direttiva.

È, infine, previsto un preciso calendario per l'applicazione dei diversi articoli della direttiva e dell'allegato II alle discariche esistenti per rifiuti pericolosi, in particolare dette discariche dovranno adeguarsi:

- entro un anno dal recepimento della direttiva, alle disposizioni di cui agli articoli 4 (classificazione delle discariche), 5 (rifiuti e trattamenti non ammessi in discarica) e 11 (procedure di accettazione dei rifiuti) nonché all'allegato II relativo ai criteri e alle procedure di ammissione dei rifiuti
- entro tre anni dal recepimento della direttiva, alle disposizioni di cui all'articolo 6 relativo ai rifiuti ammissibili nelle varie categorie di discariche.

2.2 Decisione del consiglio del 19/12/2002 relativa ai criteri e procedure per l'ammissione dei rifiuti in discarica

La decisione del Consiglio del 19 dicembre 2002 stabilisce, ai sensi dell'articolo 16 della direttiva 99/31/CE, i criteri e le procedure per l'ammissione dei rifiuti in discarica.

Le sezioni 1 e 2 dell'allegato alla suddetta decisione stabiliscono la procedura ed i criteri di ammissibilità dei rifiuti in ciascuna categoria di discarica; la procedura comprende una caratterizzazione di base dei rifiuti, una verifica di conformità e una verifica in loco.

Nella sezione 3 sono riportati i metodi da utilizzare per il campionamento e la verifica dei rifiuti.

Il suballegato A definisce la valutazione di sicurezza da compiere per l'ammissione dei rifiuti nei depositi sotterranei, mentre il suballegato B, che ha carattere informativo, fornisce una sintesi delle opzioni di collocazione in discarica previste dalla direttiva.

La procedura di ammissione dei rifiuti in discarica, obbligatoria per ciascuna tipologia di rifiuti, prevede in primo luogo la caratterizzazione di base, ossia la determinazione di tutte le caratteristiche dei rifiuti realizzata con la raccolta delle informazioni necessarie per lo smaltimento sicuro dei rifiuti a lungo termine.

Per ottenere le informazioni di cui sopra è necessario sottoporre i rifiuti a prove specifiche, per determinare la composizione del rifiuto, oltre al comportamento del colatticcio.

Quando i rifiuti sono stati giudicati ammissibili a una determinata categoria di discariche, in base alla caratterizzazione di base precedentemente descritta, dovranno essere sottoposti ad una verifica di conformità per stabilire se possiedono le caratteristiche della relativa categoria e se soddisfino i criteri di ammissibilità stabiliti dalla sezione 2 dell'Allegato. Tale verifica è necessaria per accertare periodicamente le caratteristiche dei flussi di rifiuti e dovrà essere effettuata almeno una volta l'anno.

Infine, la verifica in loco prevede per ciascun carico di rifiuti, giunto in discarica, un'ispezione prima e dopo lo scarico.

Nella sezione relativa ai criteri di stabilità vengono definiti i criteri relativi alle discariche per

rifiuti inerti, per i rifiuti non pericolosi, per i rifiuti pericolosi ammissibili nelle discariche per rifiuti non pericolosi ai sensi dell'articolo 6 lettera c) punto iii) e per i rifiuti pericolosi, prevedendo dei limiti specifici del colaticcio, valori limiti del contenuto totale dei paramenti organici (nel caso di rifiuti inerti) e criteri specifici per ciascuna classe di rifiuti.

I metodi di campionamento ed analisi per la caratterizzazione di base e la verifica della conformità sono effettuati da persone ed istituzioni indipendenti e qualificate. I laboratori devono possedere una comprovata esperienza ed un efficace sistema di controllo qualità.

Essendo previsto, per l'ammissione dei rifiuti in depositi sotterranei, una valutazione della sicurezza specifica del sito, nel suballegato A sono definiti i principi ed i criteri di sicurezza per tutti i tipi di deposito sotterraneo.

2.3 Decreto legislativo n. 36 13 marzo 2003 "Criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica"

Il decreto legislativo n.36, attuazione della direttiva discariche 1999/31, relativo ai criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, stabilisce i requisiti operativi e tecnici per i rifiuti e le discariche, misure, procedure e orientamenti tesi a prevenire o a ridurre il più possibile gli effetti negativi sull'ambiente, nonché i rischi sulla salute umana risultanti dalle discariche di rifiuti durante l'intero ciclo vita della discarica.

Le discariche secondo quanto previsto dall'art 4 della direttiva 99/31/CE sono classificate in:

- discariche per rifiuti inerti
- discariche per rifiuti non pericolosi
- discariche per rifiuti pericolosi

Inoltre, relativamente alla riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica il decreto fissa i seguenti obiettivi specifici da raggiungere a livello di Ambito Territoriale Ottimale, ove non costituiti a livello provinciale:

- entro 5 anni dall'entrata in vigore del presente decreto i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a 173 kg/ab anno per abitante;
- entro 8 anni dall'entrata in vigore del presente decreto i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a 115 kg/ab anno per abitante;
- entro 15 anni dall'entrata in vigore del presente decreto i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a 81 kg/ab anno per abitante.

Per il raggiungimento di tali obiettivi le Regioni dovranno elaborare ed approvare un programma per il trattamento e in particolare per il riciclaggio, il trattamento aerobico o anaerobico ed il recupero di energia da tali rifiuti. Ciò dovrebbe garantire una riduzione dei rifiuti smaltiti in discarica.

Inoltre l'art.6, in conformità con la direttiva europea e soprattutto con il principio secondo il quale i rifiuti nella discarica dovrebbero costituire la prima barriera di un sistema di difesa in profondità, prescrive che i rifiuti ammessi in discarica siano sottoposti ad un preventivo trattamento.

I rifiuti che non possono essere comunque ammessi in discarica sono:

- rifiuti allo stato liquido
- rifiuti classificati come Esplosivi (H1), Comburenti (H2) e Infiammabili (H3-A e H3-B), ai sensi dell'allegato I al decreto legislativo n. 22 del 1997;
- rifiuti che contengono una o più sostanze corrosive classificate come R35 in concentrazione totale $\geq 1\%$;
- rifiuti che contengono una o più sostanze corrosive classificate come R34 in concentrazione totale $> 5\%$
- rifiuti sanitari pericolosi a rischio infettivo - Categoria di rischio H9 ai sensi dell'allegato I al decreto legislativo n. 22 del 1997 e ai sensi del decreto del Ministro dell'ambiente 26 giugno 2000, n.219;

- rifiuti che rientrano nella categoria 14 dell'allegato G1 al decreto legislativo 5 n. 22 del 1997;
- rifiuti della produzione di principi attivi per biocidi, come definiti ai sensi del decreto legislativo 25 febbraio 2000, n. 174, e per prodotti fitosanitari come definiti dal decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 194;
- materiale specifico a rischio di cui al decreto del Ministro della sanità 29 settembre 2000, e successive modificazioni, e materiali ad alto rischio disciplinati dal decreto legislativo 14 dicembre 1992, n. 508, comprese le proteine animali e i grassi fusi da essi derivati;
- rifiuti che contengono o sono contaminati da PCB come definiti dal decreto legislativo 22 maggio 1999, n. 209, in quantità superiore a 50 ppm;
- rifiuti che contengono o sono contaminati da diossine e furani in quantità superiore a 10 ppb;
- rifiuti che contengono fluidi refrigeranti costituiti da CFC e HCFC, o rifiuti contaminati da CFC e HCFC in quantità superiore al 0,5 % in peso riferito al materiale di supporto;
- pneumatici interi fuori uso a partire dal 16 luglio 2003, esclusi i pneumatici usati come materiale di ingegneria ed i pneumatici fuori uso triturati a partire da tre anni da tale data, esclusi in entrambi i casi quelli per biciclette e quelli con un diametro esterno superiore a 1400 mm;
- rifiuti con PCI (Potere calorifico inferiore) > 13.000 kJ/kg a partire dal 1/1/2007.

In particolare il decreto nell'allegato 1 stabilisce i criteri generali costruttivi e gestionali degli impianti di discarica per le tre diverse categorie di discariche relativi ai criteri per l'ubicazione, alle modalità di protezione del terreno, delle acque e delle matrici ambientali, al controllo dei gas, alla protezione fisica degli impianti e alla dotazione di attrezzature e personale. Le discariche di rifiuti non pericolosi e pericolosi, al fine di garantire la protezione delle matrici ambientali, devono possedere un sistema di regimazione e convogliamento delle acque superficiali, l'impermealizzazione del fondo e delle sponde, un impianto di raccolta e gestione del percolato ed un impianto di captazione e gestione del gas di discarica, solo negli impianti in cui vengono smaltiti rifiuti biodegradabili.

In particolare nelle suddette discariche, la protezione del suolo, delle acque sotterranee e delle acque superficiali viene assicurata, durante la fase operativa, dalla combinazione della barriera geologica e del rivestimento impermeabile del fondo e delle sponde della discarica e, a chiusura dell'impianto, dalla copertura superficiale che controlla la penetrazione delle acque meteoriche. Sempre in linea con la direttiva viene sottolineato il ruolo fondamentale svolto dalla barriera geologica, l'unica in grado di garantire nel lungo termine l'isolamento dei rifiuti ed un tasso di cessione di sostanze pericolose compatibile con la salvaguardia della salute umana e dell'ambiente. Le caratteristiche della barriera riguardo ai requisiti di permeabilità (k) e spessore (s) sono differenti a seconda della categoria di discarica e riprendono quanto disposto dalla stessa direttiva (discarica per rifiuti inerti: $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s e $s \geq 1$ m; discarica per rifiuti non pericolosi: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s e $s \geq 1$ m; discarica per rifiuti pericolosi: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s e $s \geq 5$ m). Qualora la barriera geologica non dovesse soddisfare naturalmente le condizioni previste può essere completata artificialmente attraverso un sistema barriera di confinamento opportunamente realizzato che fornisca una protezione equivalente.

Nell'allegato 2 si pone particolare attenzione alle modalità di gestione e alle procedure comuni di sorveglianza e controllo durante la fase operativa e post operativa di una discarica al fine di prevenire qualsiasi effetto negativo sull'ambiente e si individuano le adeguate misure correttive. L'allegato inoltre disciplina gli adempimenti a carico del gestore relativi alle procedure di chiusura di una discarica e individua gli adempimenti durante la fase post-operativa e per il ripristino ambientale del sito medesimo, nonché i programmi di sorveglianza e controllo. Le procedure di controllo, in linea con quanto stabilito dall'allegato III alla direttiva, dovranno, in particolare, accertare:

- la conformità dello smaltimento dei rifiuti ai criteri stabiliti per la specifica categoria di discarica;

- il pieno funzionamento dei sistemi di protezione ambientale;
- il rispetto delle condizioni di autorizzazione della discarica;
- il corretto sviluppo dei processi di stabilizzazione all'interno della discarica

Il decreto individua, inoltre, i parametri e la periodicità dei controlli che dovranno riguardare le acque sotterranee, il percolato, le acque di drenaggio superficiale, i gas di discarica, la qualità dell'aria, i parametri meteo-climatici, lo stato del corpo della discarica.

2.4 Decreto ministeriale 13 marzo 2003 "Criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica"

Il decreto ministeriale 13 Marzo 2003 definisce i criteri di ammissibilità dei rifiuti in ciascuna categoria di discarica (inerti, non pericolosi e pericolosi).

Tale decreto recepisce di fatto le disposizioni dell'Allegato II alla direttiva così come integrate dalla decisione 2003/33/CE del Consiglio Europeo sui criteri e le procedure per l'ammissione dei rifiuti nelle discariche.

È prevista la caratterizzazione di base del rifiuto prodotto, ossia la determinazione delle caratteristiche dei rifiuti, realizzata con la raccolta di tutte le informazioni necessarie per uno smaltimento finale in condizioni di sicurezza. Tale caratterizzazione deve essere effettuata in corrispondenza del primo conferimento e ripetuta ad ogni variazione del processo che origina i rifiuti.

Solo se i rifiuti soddisfano, in base alle loro caratteristiche di base, i criteri di ammissibilità per una categoria di discarica, potranno essere ammessi nella corrispondente categoria di discarica. La mancata conformità ai criteri comporta, invece, l'inammissibilità dei rifiuti a tale categoria.

Relativamente agli impianti per rifiuti inerti i seguenti rifiuti sono ammessi, senza essere sottoposti ad alcun accertamento analitico in quanto ritenuti conformi ai criteri specificati all'art.2 della direttiva 1999/31/CE ed ai criteri di ammissibilità.

Codice	Descrizione	Restrizioni
01 04 13	Rifiuti derivanti dalla lavorazione della pietra	
10 11 03	Scarti di materiali in fibra a base di vetro	Solo se privi di leganti organici
15 01 07	Imballaggi in vetro	
17 01 01	Cemento	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione e demolizione*
17 01 02	Mattoni	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione e demolizione*
17 01 03	Mattonelle e ceramiche	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione e demolizione*
17 01 07	Miscugli di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione e demolizione*
17 02 02	Vetro	
17 05 04	Terre e rocce	Esclusi i primi 30 cm di suolo, la torba e purchè non provenienti da siti contaminati
17 09 04	Rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione e demolizione*
19 12 05	Vetro	
20 01 02	Vetro	Solamente vetro proveniente da raccolta differenziata
20 02 02	Terre e rocce	Solo rifiuti di giardini e parchi; eccetto terra vegetale e torba

Note:

* Rifiuti selezionati prodotti dalla costruzione e dalla demolizione: rifiuti contenenti una bassa percentuale di altri tipi di materiali (come metalli, plastica, terra, sostanze organiche, legno, gomma, ecc.). L'origine dei rifiuti deve essere nota.

- Esclusi i rifiuti prodotti dalla costruzione e dalla demolizione provenienti da costruzioni contaminate da sostanze pericolose inorganiche o organiche, ad esempio a causa dei processi produttivi adottati nell'edificio, dell'inquinamento del suolo, dello stoccaggio e dell'impiego di pesticidi o di altre sostanze pericolose, eccetera, a meno che non sia possibile escludere che la costruzione demolita fosse contaminata in misura significativa.

- Esclusi i rifiuti prodotti dalla costruzione e dalla demolizione provenienti da costruzioni trattate, coperte o dipinte con materiali contenenti sostanze pericolose in quantità notevole.

Sono inoltre ammessi nella suddetta tipologie di discarica i rifiuti inerti che sottoposti al test di cessione previsto nell'allegato 2 secondo la metodica UNI 10802 presentino un eluato conforme ai limiti di concentrazione fissati dal decreto di alcuni parametri chimici e non contengano contaminanti organici in concentrazioni superiori ai limiti di accettabilità stabiliti.

Analogamente a quanto descritto per i rifiuti inerti vengono stabiliti i criteri di ammissibilità dei rifiuti accettati nelle discariche per rifiuti non pericolosi.

In particolare nelle discariche per rifiuti non pericolosi possono essere smaltiti, senza essere sottoposti alla caratterizzazione di base, i rifiuti urbani come definiti all'art.2 lettera b) del D.lgs. n. 36 del 2003, classificati come non pericolosi nel capitolo 20 dell'elenco europeo dei rifiuti, le porzioni non pericolose dei rifiuti domestici raccolti separatamente e gli stessi rifiuti non pericolosi di altra origine, ma di analoga composizione.

Con un decreto ministeriale, sentito il parere della Conferenza Stato-Regioni sarà inoltre individuata una lista positiva di rifiuti non pericolosi ammessi in discarica senza preventiva caratterizzazione.

Anche i rifiuti non pericolosi dovranno essere sottoposti al test di cessione e l'eluato deve rispettare i limiti di concentrazione fissati dal decreto stesso ed il loro contenuto di sostanza secca non deve essere inferiore al 25%.

Possono inoltre essere ammessi:

- i rifiuti contenenti fibre minerali artificiali, ma il loro deposito deve avvenire in celle apposite ed esclusivamente dedicate e deve essere evitata la frantumazione del materiale;
- i materiali non pericolosi a base di gesso che non devono essere depositati in aree destinate ai rifiuti biodegradabili;
- i materiali edili contenenti amianto legato a matrice cementizie o resinoidi in conformità con l'art.6 lettera c) punto iii) senza essere sottoposti a prove.

Riguardo ai criteri di accettabilità dei rifiuti nelle discariche per i rifiuti pericolosi, analogamente per quanto disciplinato per le altre tipologie di discarica, viene previsto che i rifiuti ammessi, sottoposti al test di cessione, abbiano un eluato conforme ai limiti stabiliti dal decreto. Inoltre dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- il contenuto dei PCB, definiti dal decreto n. 209 del 22 maggio 1999, non dovrà essere superiore a 50 mg/kg;
- diossine e furani calcolati secondo i fattori di equivalenza previsti, non dovranno avere concentrazioni superiori a 50 mg/kg;
- la percentuale della sostanza secca sul totale non deve essere inferiore al 25%;
- il TOC non deve essere superiore al 6% con riferimento alle sostanze chimicamente attive.

Il decreto, inoltre, nell'allegato 1 prevede dei criteri specifici per i rifiuti contenenti amianto che potranno essere conferiti in discariche per rifiuti pericolosi dedicate o dotate di cella dedicata o in discariche di rifiuti non pericolosi anch'esse dedicate; in questo caso i rifiuti dovranno essere sottoposti a processi di trattamento finalizzato al contenimento delle sostanze potenzialmente inquinanti, sia rispondere a specifici criteri di ammissibilità indicati nel decreto stesso. Invece i rifiuti con codice 17 06 05 potranno essere sempre smaltiti in discariche per rifiuti non pericolosi dedicate o dotate di cella dedicata.

2.5 La normativa in materia di compost da rifiuti

La regolamentazione in materia di produzione e impiego del compost è affidata, ad oggi, ai diversi Stati Membri, non essendo stata emanata alcuna direttiva in materia di qualità del compost atta ad armonizzare le normative nazionali.

Il recupero della frazione biodegradabile dei rifiuti al fine di ridurre i quantitativi avviati a

smaltimento riveste un ruolo primario per attuare quanto previsto dalla strategia europea in materia di rifiuti. Inoltre la direttiva 1999/31/CE in materia di discariche introduce specifici obiettivi di riduzione dei rifiuti organici da avviare a discarica.

A livello di Commissione Europea tale problema è ben presente, tanto che sono stati avviati i lavori per pervenire a uno strumento normativo comune relativo alla gestione dei rifiuti organici biodegradabili che ha comportato l'elaborazione, da parte della DG Ambiente, di un documento di lavoro portato alla discussione con gli Stati Membri (seconda bozza del 12 febbraio 2001).

Tale documento introduce disposizioni atte a regolamentare in maniera completa le attività di compostaggio e digestione anaerobica individuando la lista positiva dei rifiuti biodegradabili ammessi al trattamento biologico (allegato 1), i requisiti relativi all'igienizzazione sia in termini di validazione del processo (allegato 2), le classi di qualità del compost digestato e dei rifiuti biostabilizzati (allegato 3), i metodi di analisi e campionamento dei rifiuti trattati biologicamente (allegato 4), i requisiti generali degli impianti di trattamento biologico (localizzazione, trattamento delle acque reflue e del percolato, controllo degli odori- allegato V) e i requisiti per l'utilizzazione del biogas.

Gli obiettivi della presente proposta sono :

- favorire il trattamento biologico dei rifiuti biodegradabili per ridurre qualsiasi impatto negativo sull'ambiente,
- proteggere il suolo assicurando che l'impiego dei rifiuti biodegradabili comporti benefici all'agricoltura o un miglioramento ecologico senza effetti negativi sulla salute umana, animale e delle piante
- garantire il corretto funzionamento del mercato interno.

Il documento affronta in modo approfondito la tematica della gestione dei rifiuti biodegradabili nel suo complesso, dalla prevenzione nella produzione dei rifiuti, alla attuazione della raccolta differenziata dei rifiuti organici, ai trattamenti biologici, aerobici e anaerobici e quindi alla produzione e all'impiego del compost e del digestato, alla gestione delle frazioni organiche derivanti da separazione meccanica e/o del rifiuto residuo.

Il "compost" viene definito come il prodotto ottenuto da rifiuti organici separati alla fonte, che risulta stabile, igienizzato, privo di cattivi odori e che rispetta i requisiti riportati nell'allegato 3 (Tab.2.1). In tale allegato sono previsti due diverse classi di compost, ed entrambe possono essere impiegate seguendo i criteri della buona pratica agricola senza alcuna restrizione (classe I), all'uso controllato non più di 30 tonnellate di sostanza secca per ettaro in tre anni (classe II).

Anche il digestato, ovvero il materiale risultante dalla digestione anaerobica di rifiuti organici raccolti separatamente, se risponde ai requisiti indicati per valori limite di metalli pesanti, e ai requisiti igienici (di prodotto e di processo) si configura come prodotto liberamente commercializzabile e utilizzabile.

Relativamente ai rifiuti biostabilizzati, vengono consentiti apporti quantitativi di 200 t/ha, a condizione di non ripetere la somministrazione per almeno 10 anni, per l'utilizzo in rimodellamenti morfologici, ricopertura di discariche, ripristini ambientali di cave e miniere, costruzioni di strade, campi da golf e similari.

Altre importanti disposizioni riguardano il rifiuto urbano residuo della raccolta differenziata ed i requisiti degli impianti di trattamento meccanico/biologico.

Infatti, il documento prevede che il rifiuto residuo possa essere allocato in discarica solo dopo preventivo trattamento meccanico/biologico, presentando un grado di stabilità biologica misurata attraverso metodi respirometrici quali l'attività respiratoria (AT_4) o l'indice di respirazione dinamico.

Nel caso di un pretrattamento termico il rifiuto urbano potrà essere smaltito in discarica solo se il contenuto di carbonio organico totale non sia superiore al 5% in peso.

In accordo con la direttiva 99/31/CE entrambi i pretrattamenti consentono al rifiuto residuo di non essere considerato biodegradabile ai sensi dell'art.2 della citata direttiva.

Per quanto riguarda i requisiti igienici è prevista la validazione dell'efficienza del processo mediante organismo test, da attuarsi entro 12 mesi dalla messa in funzione dell'impianto; il

processo di validazione deve essere ripetuto ogni qualvolta intervengano modifiche sostanziali nel processo. Per l'effettuazione del test si utilizza *Salmonella senftenberg*¹.
Vengono, anche, indicati requisiti igienici (soggetti a revisione) per il prodotto finale, compost/digestato: Salmonelle e Clostridium perfigens.
Inoltre, i semi di infestanti in 1 litro di prodotto devono risultare assenti.
Sempre con l'obiettivo di garantire l'igienizzazione vengono indicate alcune condizioni di processo per il compostaggio devono essere adottati accorgimenti che garantiscano condizioni termofile, di umidità e struttura ottimali, per un periodo adeguatamente prolungato, nonché una sufficiente disponibilità di nutrienti.

Tabella 2.1: Valori limiti previsti dal documento di lavoro 2 sulla gestione dei rifiuti organici biodegradabili della DG ambiente della Commissione

Parametro	Compost/digestato (*)		Rifiuto stabilizzato(*)
	Classe 1	Classe 2	
Cd (mg/kg s.s.)	0,7	1,5	5
Cr (mg/kg s.s.)	100	150	600
Cr VI (mg/kg s.s.)	-	-	-
Cu (mg/kg s.s.)	100	150	600
Hg (mg/kg s.s.)	0.5	1	5
Ni (mg/kg s.s.)	50	75	150
Pb (mg/kg s.s.)	100	150	500
Zn (mg/kg s.s.)	200	400	1.500
PCBs (mg/kg s.s) (**)	-	-	0,4
PAHs (mg/kg s.s) (**)	-	-	3
materiali indesiderati	<0,5% s.s. (vetri, plastica metalli)	<0,5% s.s. (vetri, plastica metalli)	<3% s.s. (vetri, plastica metalli)
inerti > 5 mm	<5% s.s. (pietrisco e terra)	<5% s.s. (pietrisco e terra)	

(*): riferito a un contenuto di sostanza organica del 30%.

(**): il limite di questi inquinanti sarà stabilita in accordo con quanto verrà previsto dalla modifica della Direttiva sui fanghi di depurazione 86/278/CEE.

2.5.1 La normativa nazionale sul compost da rifiuti

La normativa di riferimento in materia di compost da rifiuti, ossia il compost ottenuto da matrici organiche ottenute per selezione meccanica all'impianto, o, comunque, da matrici le cui caratteristiche non consentano di ottenere compost con i requisiti di ammendante commerciale, sono il Decreto legislativo 5 Febbraio 1997 n.22 e successive modifiche e integrazioni (D.lgs 389/97 e L.426/1998) e la Deliberazione 27 Luglio 1984. Delibera interministeriale per la prima applicazione del DPR 915/82.

Come precedentemente evidenziato, per tale tipologia di compost è consentito, ancora, il recupero mediante utilizzo sul suolo, ma è previsto che esso sia gestito come rifiuto e sia, quindi, soggetto a limitazioni all'uso (limiti della quantità utilizzabile, caratterizzazione analitica dei siti recettori etc.).

La realizzazione e la gestione dell'impianto di compostaggio sono, quindi, sottoposte alla disciplina autorizzativa di cui agli artt.27 e 28 del Dlgs.22/97.

Per quanto riguarda i requisiti di qualità del compost da rifiuti e le condizioni di utilizzazione in agricoltura, ad oggi, il riferimento normativo è ancora rappresentato dalla Deliberazione 27 Luglio 1984, che richiede un aggiornamento e una armonizzazione rispetto alle normative entrate in vigore negli ultimi anni in materie analoghe.

¹ Si precisa che tale indicazione è soggetta a revisione.

Per il compost da rifiuti indifferenziati un impiego di elezione può essere rappresentato, piuttosto, dalla destinazione ad attività paesistico ambientali, esigenti in termini quantitativi, per le quali viene richiesta la disponibilità di sostanza organica stabilizzata al fine di migliorare le caratteristiche dei materiali inerti impiegati. Tra queste:

- la sistemazione di aree di rispetto di autostrade e ferrovie (scarpate, argini, terrapieni);
- la costituzione di aree verdi di grandi dimensioni: costituzione di parchi pubblici, campi da golf, campi da calcio;
- il recupero ambientale di cave esaurite;
- il ripristino ambientale di aree inquinate, conformemente a quanto previsto da D.lgs 22/97 (art. 22) che menziona esplicitamente l'opportunità di privilegiare l'impiego di materiali provenienti da attività di recupero di rifiuti urbani;
- la sistemazione post chiusura di discariche esaurite.

Il Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio ha elaborato una bozza di decreto relativo.

3. Metodologie relative alla caratterizzazione merceologica dei rifiuti urbani

La caratterizzazione della composizione merceologica dei rifiuti, prevede delle metodologie specifiche ben definite, raggruppabili nelle seguenti azioni: campionamento, separazione delle frazioni ed elaborazione statistica dei dati.

Da un punto di vista applicativo due sono i metodi maggiormente utilizzati.

Il primo è il *metodo sperimentale diretto* che prevede il campionamento e la susseguente separazione manuale delle frazioni che compongono il rifiuto.

L'altro, *metodo per flussi di materiale* (material flows methodology) introdotto dall' E.P.A. americana (Environmental Protection Agency), fa riferimento all'elaborazione dei dati in peso, della produzione per i materiali e i prodotti presenti nel flusso dei rifiuti, ai quali vengono applicati particolari indici correttivi che tengono conto dell'importazione, dell'esportazione e della vita utile dei prodotti. Tale metodo viene di norma utilizzato con l'intento di determinare la composizione complessiva dei rifiuti in ambiti territoriali vasti, quali quelli inerenti un intero Stato e non viene di norma utilizzato per caratterizzare i rifiuti urbani di uno specifico ambito locale. Per un territorio specifico delimitato, l'unico metodo utilizzabile è quello sperimentale, dal quale, oltre alla merceologia, è possibile determinare la composizione chimico fisica del rifiuto attraverso particolari forme di campionamento e normali procedure di laboratorio.

La fase del campionamento può avvenire attraverso due metodologie di riferimento: il sistema che prevede i successivi inquartamenti di una torta preformata di rifiuti (Indagine CNR) ed il sistema a campioni randomizzati su diverse sezioni trasversali di un intero cumulo di rifiuti.

Negli ultimi venti anni, un gran numero di accertamenti finalizzati alla determinazione della composizione merceologica dei rifiuti è stato svolto dalla Gfambiente, che recentemente oltre ad operare secondo la metodologia dell'inquartamento, ha sviluppato metodi alternativi a questo, per consentire di raggiungere risultati più accurati e precisi.

L'attività svolta, ha permesso la realizzazione di una banca dati nella quale sono inseriti, per luogo e livello cronologico, le caratteristiche dei rifiuti di grandi centri urbani, quali ad esempio Palermo, Milano, Roma, Genova, Firenze, e tantissimi altri Comuni di medie e piccole dimensioni, per tutte le zone d'Italia. L'uso di software, appositamente realizzati, ha inoltre consentito la comparazione dei dati ottenuti per la presente indagine mediante diverse metodologie di analisi.

Per ciò che riguarda i sistemi di classificazione merceologica, esistono allo stato attuale in letteratura diversi metodi, che si distinguono per il numero di frazioni che, volta per volta, prendono in considerazione. La scelta del numero di frazioni merceologiche, con cui classificare il rifiuto urbano, è di fondamentale importanza e sostanzialmente connessa alle elaborazioni finali che devono essere effettuate ed al contesto specifico, in particolare impiantistico, del territorio. Un modello di calcolo ottimale standardizzato deve necessariamente basarsi su uno schema di classificazione avente un adeguato livello di dettaglio, corrispondente al numero delle frazioni prescelte.

In particolare, ogni analisi merceologica deve classificare in modo specifico i rifiuti almeno in tre grandi categorie: rifiuti inerti, rifiuti non putrescibili ma reattivi a determinate sollecitazioni fisiche, rifiuti putrescibili. All'interno di tali categorie si rende necessario procedere ad una ulteriore classificazione delle frazioni contenute, tesa ad individuare i materiali recuperabili e quelli individuabili ai fini del trattamento e/o lo smaltimento finale.

L'IPLA, Istituto per le piante da legno e l'ambiente, ha effettuato una serie di indagini, riportate in una pubblicazione dell'ottobre 1992, per l'acquisizione di nuovi elementi conoscitivi sulla caratterizzazione qualitativa dei rifiuti urbani ed ha messo a punto una nuova tecnologia per l'analisi merceologica che trae spunto dall'analisi del CNR, ma che si differenzia da essa, per una più articolata determinazione delle diverse frazioni merceologiche (diciotto frazioni).

Il metodo di frazionamento utilizzato nel presente studio è stato quello IPLA.

3.1 L'indagine condotta da Apat

Nella fase iniziale dello Studio, si sono definiti i siti presso cui effettuare le indagini, il programma temporale degli interventi e le metodologie da utilizzare durante le diverse fasi sperimentali. Per avere una buona rappresentatività della produzione dei rifiuti nel contesto territoriale prescelto per l'intera indagine, particolare attenzione è stata rivolta allo studio dei luoghi di conferimento e tipologia di raccolta dei rifiuti oggetto del campionamento.

Sulla base della classificazione relativa alla diversità delle zone di raccolta, alla tipologia di raccolta effettuata ed agli impianti di trattamento/selezione/smaltimento a valle della raccolta, si sono individuate, le zone osservatorio più rappresentative dove avviene la raccolta dei rifiuti.

Sono stati quindi contattati i responsabili degli impianti o le Aziende preposte al servizio di raccolta dei rifiuti scelti per le analisi e concordata la tipologia di trasporto del rifiuto a tali sedi.

Su ogni zona campione si è inoltre eseguito l'accertamento sulla tipologia di servizio erogata da parte dei soggetti gestori.

I rifiuti sono stati trasportati, seguendo il calendario predisposto sulla base dei giorni di raccolta dei diversi comuni, presso il sito di destinazione concordato e qui è stato effettuato il campionamento.

3.2 Scelta del campione e dell'ambito locale di indagine

Le analisi merceologiche effettuate sono state classificate in due gruppi distinti:

- analisi di frazioni residue di rifiuti urbani a valle della raccolta e della raccolta differenziata;
- analisi di scarti da piattaforme di selezione.

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche dell'intera fase analitica:

Provenienza rifiuto: comuni o zone di provenienza del rifiuto;

Impianto sede di analisi: sito presso cui è stata effettuato il rilevamento analitico;

Tipologia del campione analizzato: riporta la modalità di raccolta/trattamento sul rifiuto che è stato campionato in ciascuna analisi;

Tipologia e modalità di raccolta: modalità di effettuazione della raccolta rifiuti nella zona campionata.

Tabella 3.1: Caratteristiche indagine				
Progr. Analisi	Provenienza rifiuto	Impianto sede analisi	Tipologia campione	Tipologia e modalità di raccolta
1/1	Badia Polesine	Sarzano	Tal Quale	cassonetto tal quale; cassonetti da 1.300 e 1.700 lt per tal quale, campana vetro-lattine, campana carta, ecocentro per verde, ingombranti, batterie, oli, ecc
1/2	Rovigo	Sarzano	Tal Quale	cassonetto tal quale; campana multimateriale, campana carta, porta a porta verde ingombranti e ferro, ecocentro
1/3	Zevio (Vr)	Amia Verona	Tal Quale	cassonetto tal quale, campana vetro-lattine, cassone plastica, pile, farmaci, ecocentro
1/4	Verona	Amia Verona	Tal Quale	cassonetto tal quale, campana vetro-lattine, campana plastica, umido grandi utenze, T/F, pile, farmaci, ecocentro
1/5	Comuni Misti	Sarzano	Sottovaglio	da trattamento secco umido;
1/6	Comuni Misti	Sarzano	Sopravaglio	da trattamento secco umido
2/1	Spinea	Noale	Rur Secco	secco da doppio cassonetto, raccolta a doppio cassonetto secco umido, campane carta, plastica, vetro-alluminio, RUP

segue

**METODOLOGIE RELATIVE ALLA CARATTERIZZAZIONE
MERCEOLOGICA DEI RIFIUTI URBANI**

segue

Progr. Analisi	Provenienza rifiuto	Impianto sede analisi	Tipologia campione	Tipologia e modalità di raccolta
2/2	Comuni Misti	Noale	Rur Secco	secco da doppio cassonetto, raccolta a doppio cassonetto secco umido, campane carta, plastica, vetro-alluminio, RUP
2/3	Noale	Noale	Forsu	umido da doppio cassonetto, raccolta a doppio cassonetto secco umido, campane carta, plastica, vetro-alluminio, RUP
2/4	Comuni Misti	Noale	Forsu	umido da doppio cassonetto, raccolta a doppio cassonetto secco umido, campane carta, plastica, vetro-alluminio, RUP
2/5	Comuni Misti	Noale	Sottovaglio	da trattamento FOS, raccolta a doppio cassonetto secco umido, campane carta, plastica, vetro-alluminio, RUP
2/6	Comuni Misti	Noale	Sopravaglio	da trattamento FOS, raccolta a doppio cassonetto secco umido, campane carta, plastica, vetro-alluminio, RUP
3/1	Colle Sant'umberto (Tv)	Vitt. Veneto	Rur Secco	secco da doppio cassonetto, raccolta a doppio cassonetto secco umido, campane carta, plastica, vetro-alluminio, RUP
3/2	Godega Sant'urbano (Tv)	Vitt. Veneto	Rur Secco	secco da doppio cassonetto, raccolta a doppio cassonetto secco umido, campane carta, plastica, vetro-alluminio, RUP
4/1	Ponzano Veneto	Vedelago	Rd Multimateriale	rd porta a porta multimater.; cassonetti tal quale, porta a porta multimateriale plastica, vetro, lattine
4/2	Loreggia	Vedelago	Rd Multimateriale	rd campane multimater.; cassonetti tal quale, campane multimateriale
5/1	Campo San Martino (Pd)	Reschigliano	Secco	secco da porta a porta secco-umido; cassonetti per tal quale, campana vetro-lattine, cassone plastica, pile, farmaci, ecocentro
5/2	Vigodarzere (Pd)	Reschigliano	Secco	secco da porta a porta secco-umido; cassonetti per tal quale, campana vetro-lattine, cassone plastica, pile, farmaci, ecocentro
5/3	Villa Del Conte (Pd)	Reschigliano	Secco	secco da porta a porta secco-umido; cassonetti per tal quale, campana vetro-lattine, cassone plastica, pile, farmaci, ecocentro
5/4	Villanova Di Camposampiero (Pd)	Reschigliano	Secco	secco da porta a porta secco-umido; cassonetti per tal quale, campana vetro-lattine, cassone plastica, pile, farmaci, ecocentro

Inoltre, su ogni zona campione, è stato eseguito l'accertamento sulla tipologia di servizio erogata da parte dei soggetti gestori, da cui sono emerse le seguenti informazioni:

BADIA POLESINE, 10.000 abitanti

Cassonetti per tal quale da 1300 lt (maggior parte, oltre 400) e da 1700 lt.

Campana stradale per vetro e lattine.

Campane stradale per la carta.

Campane stradale per la plastica.

Presenza di un ecocentro che raccoglie: ramaglie, ingombranti, batterie, olio da cucina, olio motore, altri materiali raccolti con campane stradali.

Raccolta: effettuata della ditta SIT di Brendola (VI) con subappalto per carta e altro.

ROVIGO, 52.000 abitanti

Cassonetti tal quale, svuotati tutti i giorni in centro e tre volte/settimana in altre zone.

Campane stradali per la raccolta multimateriale (plastica, vetro, lattine, banda stagnata).

Campane stradali per la carta.
Ritiro a domicilio gratuito di erba, ramaglie e ingombranti.
Ecocentro custodito con ritiro olio motore, batterie, T/F ecc.
Ritiro ferro a domicilio.
Raccolta a carico di ASM Rovigo.

VERONA, 250.000 abitanti

Campane stradali per vetro/alluminio/banda stagnata.
Campane stradali per la plastica.
Raccolta umido di grandi utenze.
Contentori stradali per T/F, farmaci, pile esauste.
Ecocentro presso l'AMIA (ingombranti anche a domicilio, oli esausti, pneumatici, oli, sanitari).
raccolta effettuata da AMIA Verona.

ZEVIO, 11.650 abitanti

Vetro: Campane stradali.
Carta: raccolta da associazioni parrocchiali.
Plastica: Cassone stradale.
Contentore stradale tipo "Bobo" per pile, medicinali.
Ecocentro che raccoglie ingombranti, durevoli, matrici a sostegno di campane stradali, ramaglie.
Compostaggio domestico (sconto 25% su TARSU).
Cassonetti tal quale: 3 svuotamenti/settimana centro e 2 in periferia.
Ditta svuotamento cassonetti: Ecovam.

GODEGA SANT'URBANO, COLLE UMBERTO, COMUNI MISTI CHE SCARICANO ALLA SERTA DI NOALE

FORSU con cassonetto stradale
SECCO con cassonetto stradale.
Campane stradali per carta, plastica, vetro, alluminio, RUP.

BACINO PD1: VILLANOVA DI CAMPOSAMPIERO, VIGODARZERE, CAMPO SAN MARTINO, VILLA DEL CONTE

Raccolta FORSU porta a porta con sacchetto biodegradabile.
Raccolta secco non riciclabile porta a porta con sacco trasparente.
Raccolta frazione secca riciclabile (vetro, plastica...) porta a porta.
Raccolta verde a domicilio.
Compostaggio domestico.
Ecocentri di appoggio.

Gli impianti considerati, sono, brevemente descritti di seguito:

Impianto di selezione secco-umido di SARZANO

Il rifiuto tal quale viene scaricato su una fossa, prelevato da benna multivalve, triturato e quindi vagliato a 100 mm. Il sottovaglio è igienizzato e il sopravaglio viene avviato in discarica.

Impianto di VERONA

È presente una ricicleria aperta ai cittadini presso cui è possibile conferire RUP, ingombranti, oli..., e un vaglio con maglie del diametro di 100 mm che è utilizzato per separare meccanicamente i rifiuti.

Impianto di NOALE

All'impianto sono destinate le seguenti tipologie di rifiuti provenienti da raccolta secco-umido a cassonetti:

- Secco da cassonetto stradale;
- FOS da cassonetto stradale.

Del rifiuto urbano residuo secco (RUR viene effettuato il semplice stoccaggio in attesa di essere travasato e trasportato in discarica).

La FOS, viene vagliata a 100 mm, prima di esser inviata ad un impianto di compostaggio per la trasformazione in compost di qualità.

Centro di travaso di VITTORIO VENETO

Nel Centro di travaso si effettua il semplice travaso del rifiuto raccolto nel bacino Treviso 1 dagli autocompattatori su autoarticolati per il successivo avvio in discarica.

Centro Riciclo VEDELAGO

Arriva secco riciclabile raccolto con modalità "multimateriale" (vetro, plastica, alluminio e banda stagnata) attraverso campane o raccolta porta a porta.

Il processo è costituito dalle seguenti fasi:

- carico su nastri trasportatori,
- eliminazione manuale di scarti,
- separazione magnetica materiali ferrosi,
- separazione alluminio con correnti parassite di Foucault,
- separazione plastica attraverso aspiratore, pressatura e imballaggio,
- separazione per gravità vetro,
- conferimento in cassoni scarrabili dei materiali spuri.

Al fine di fornire un maggior dettaglio rispetto a quanto valutato attraverso la fase di indagine sperimentale, nel presente studio, si è ritenuto opportuno inserire ulteriori fasi di campionamento presenti nella banca dati di GFambiente effettuate su impianti scelti sulla base della tipologia di raccolta ed in tempi recenti.

Le analisi selezionate sono riassunte nella tabella seguente (Tab.3.2):

Tabella 3.2: Altre analisi merceologiche

Progr. Analisi	Provenienza rifiuto	Impianto sede analisi	Tipologia campione	Tipologia e raccolta
6/1	Comuni misti	Sassuolo	Tal Quale	Cassonetto tal quale
6/2	Comuni misti	Sassuolo	Sottovaglio	Da trattamento secco umido
6/3	Comuni misti	Sassuolo	Sopravaglio	Da trattamento secco umido
7/1	Comuni misti	Carpi	Tal Quale	Cassonetto tal quale
7/2	Comuni misti	Carpi	Sottovaglio vaglio primario	Da trattamento secco umido
7/3	Comuni misti	Carpi	Sopravaglio vaglio primario	Da trattamento secco umido
7/4	Comuni misti	Carpi	Sottovaglio vaglio secondario	Da trattamento secco umido
7/5	Comuni misti	Carpi	Sopravaglio vaglio secondario	Da trattamento secco umido

In particolare, sono state selezionate analisi merceologiche effettuate nei contesti territoriali e impiantistici

Impianto di selezione secco umido di SASSUOLO (MO)

L'impianto di pre-selezione realizzato e gestito dalla S.A.T. Sassuolo per conto dei Comuni di Sassuolo, Fiorano, Formigine, Maranello, Serramazzoni, tutti nella Provincia di Modena, prevede immissione e flusso continuo di materia attraverso il seguente ciclo operativo: i rifiuti urbani in arrivo all'impianto vengono scaricati direttamente dai mezzi di trasporto in una vasca di accumulo. Mediante un carro ponte con benna plurivalve tali rifiuti vengono addotti dapprima, in una tramoggia di alimentazione e, successivamente con nastro trasportatore in un mulino trituratore che consente la riduzione della pezzatura per la susseguente fase di vagliatura. All'uscita del mulino i rifiuti vengono deferrizzati per mezzo di un elettromagnete, successivamente entrano nel vaglio a dischi che consente la separazione del materiale fine, prevalentemente composto da scarti organici putrescibili (sottovaglio), e da materiale grossolano leggero quali plastiche, tessili, pannolini ecc. che costituiscono il sopravaglio. Le analisi

prese in considerazione per l'impianto, riguardano l'intero flusso di rifiuti ovvero, il campionamento dei rifiuti urbani in ingresso, del sottovaglio umido proveniente dalla fase di trattamento, del sopravaglio secco proveniente dalla stessa fase.

Impianto selezione secco umido e produzione compost di qualità di CARPI (MO)

L'impianto di pre-selezione realizzato e gestito dal Consorzio Smaltimento Rifiuti di Carpi (MO) prevede il seguente ciclo di lavorazione: i rifiuti urbani trasportati dagli automezzi vengono scaricati in una fossa di ricezione e caricati per mezzo di una benna plurivalve in una tramoggia con dispositivo apri sacchi. Con sistema di nastri trasportatori il rifiuto passa attraverso i seguenti macchinari: vaglio primario, da cui il sopravaglio va in discarica (80 mm x 180 mm) ed il sottovaglio ad un biostabilizzatore e ad una successiva fase di vagliatura (30 mm). Il sovravaglio di tale fase di vagliatura va in discarica ed il sottovaglio va ad alimentare la linea di produzione del compost. In sintesi, le analisi in oggetto hanno previsto quanto riportato nella Tabella 3.2.

3.2.1 *Strumentazione e attrezzatura per le analisi merceologiche*

L'area di esecuzione di ciascuna analisi è stata ricavata di norma all'interno degli impianti prescelti. Ciò ha permesso di evitare qualsiasi influenza da parte delle condizioni meteorologiche esterne.

Dove ciò non è stato possibile (Bacino Treviso¹, Bacino Padova 1) e si è quindi lavorato all'esterno, si è sempre lavorato in condizioni meteorologiche favorevoli che hanno permesso il normale svolgimento delle operazioni e l'ininfluenza di questa nei risultati ottenuti.

Nell'area di intervento stabilita con i Responsabili degli impianti, si è provveduto all'installazione di un piccolo cantiere-laboratorio mobile dotato di tutte le attrezzature necessarie di seguito descritte:

- superficie vagliante con maglie da mm 20;
- scope, forche, pale e rastrelli;
- recipienti di diversa capacità per le frazioni merceologiche separate;
- tavolo attrezzato;
- bilance di varia portata (fino a 100 kg) e sensibilità (fino a 50 grammi);
- pinze speciali per la selezione delle frazioni merceologiche;
- moduli prestampati per l'inserimento immediato dei dati rilevati;
- cutter, penne e pennarelli indelebili;
- teli per la protezione della zona di lavoro;
- tute, guanti e stivali resistenti;
- mascherine per la polvere e gli odori;
- cassetta di pronto soccorso.

3.3 **Il metodo di campionamento: metodo IRSA – CNR, Norma UNI 9246**

La metodologia utilizzata per il campionamento è stata quella prevista dalle linee guida indicate nelle metodiche IRSA-CNR, Norma CTI-UNI 9246 (inquartamento).

Di seguito si riporta una breve descrizione del metodo IRSA – CNR.

La prima fase dell'indagine prevede l'individuazione di un campione di rifiuti su cui effettuare l'analisi merceologica (*campionamento*).

Per campionamento di una massa di rifiuti si intende, il prelievo di una o più aliquote di rifiuto tali che, l'analisi condotta su di esse sia rappresentativa dell'intera massa, ovvero dell'universo rifiuti che si vuole sottoporre ad analisi.

L'operazione del campionamento condiziona il procedere dell'esperienza statistica, legata com'è alla composizione merceologica, alle modalità di prelievo ed alle variazioni qualitative e quantitative, legate a cicli settimanali e stagionali.

Prima di procedere all'operazione di campionamento, si rende necessario svolgere un'inda-

gine preliminare sul grado di omogeneità e/o eterogeneità della composizione della massa del rifiuto. Infatti, il volume dei rifiuti prodotti in un determinato contesto, città o zone specifiche, varia considerevolmente. Per avere un alto livello di confidenza sulla caratterizzazione, è necessario operare su grandi campioni: questi, oltre a garantire la presenza di tutte le categorie di rifiuti presenti nella massa in modo sparso, consentono la minimizzazione degli errori grossolani, causa principale dell'inattendibilità dei dati. La norma CNR indica come campione una massa di 3-4 tonnellate, costituente il carico di un automezzo il cui percorso di raccolta sia stato scelto come rappresentativo della composizione media dei rifiuti della zona presa in esame.

Gli automezzi, seguendo le normali procedure di raccolta, prelevano il rifiuto nella zona campionata e lo trasportano sino all'area adibita per le indagini.

Il monte rifiuti di partenza, conferito dal mezzo e pesato, è raccolto sopra una superficie piana, all'interno di un'area messa a disposizione nell'impianto.

Le modalità operative sono dettate dalla diversa giacitura del materiale da campionare. Nella norma vengono richieste giaciture piane ed il campionamento da cumuli rappresenta, sia la situazione dei rifiuti in ingresso, sia quella dei prodotti delle lavorazioni.

Vengono separati e pesati i materiali ingombranti presenti nel cumulo che possono intralciare le successive operazioni di campionatura, ripartiti secondo la categoria di appartenenza come specificato in seguito.

I sacchetti presenti nel cumulo vengono successivamente dilacerati attraverso l'uso di cutter, coltelli e forconi.

Con una pala gommata si provvede a mescolare i rifiuti e preparare il campione da analizzare operando diversi prelievi sul monte rifiuto, di peso complessivo pari a circa 900 kg e creando una torta il più possibile omogenea di altezza non superiore ai 50-60 cm.

Il monte rifiuti, viene quindi trattato per "inquartamento" della massa, sparsa come una torta sul pavimento. Sulla torta si tracciano due linee diametrali ad angolo retto e si allontana in modo completo con pala e scopa il materiale costituente due quadranti opposti. Il materiale dei due quadranti rimasti viene sparso sui semiquadranti adiacenti. Successivamente vengono tracciati sulla massa, due diametri ortogonali sfalsati di 45° rispetto ai due tracciamenti precedenti. Il materiale costituente due quadranti opposti viene scartato completamente con pulizia del pavimento, come nel caso precedente. La massa rimasta (un quarto circa di quella di partenza) viene rimescolata nuovamente ed accumulata verso il centro riducendo quindi il diametro del cerchio a circa 7/10 di quello iniziale. In questa massa circolare vengono ripetute le stesse operazioni effettuate precedentemente sulla superficie iniziale. Con l'ultimo inquartamento, si giunge ad un residuo di 200-250 kg costituente il materiale di riferimento per l'analisi merceologica.

3.3.1 *Modalità di esecuzione delle analisi merceologiche*

Il campione residuo dalle operazioni di inquartamento, viene posto sulla superficie vagliante. Una volta sparsi i rifiuti sulla superficie e movimentati per permettere ai materiali inferiori ai 20 mm di filtrare e ricadere in apposito telone posto sotto, vengono prelevate manualmente con apposite pinze le diverse frazioni che sono successivamente poste nei rispettivi contenitori.

Completata tale operazione, i singoli contenitori, di cui si conosce la tara, vengono pesati utilizzando una bilancia elettronica con tolleranza di 50 gr.

I risultati di volta in volta ottenuti sono stati registrati in una scheda cartacea, riportata nella figura 3.1.

Successivamente i dati raccolti, sono stati caricati su PC per l'elaborazione mediante apposito software.

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Analisi Apat composizione merceologica dei rifiuti						
Sede analisi _____						
Zona provenienza rifiuti _____						
Data analisi _____						
Peso totale _____						
Peso campione _____						
Frazione	Tesi 1 (kg)	Tesi 2 (kg)	Tesi 3 (kg)	Tesi 4 (kg)	Tesi 5 (kg)	Tesi 6 (kg)
mm20						
Organico						
Carta						
Cartone						
Contenitori in plastica						
Plastica in film						
Altra plastica						
Contenitori T/F						
Vetro						
Inerti pesanti						
Alluminio						
Metalli						
Tessili						
Pelle, Cuoio						
Legno						
Altri rifiuti pericolosi						
Pile/batterie						
Farmaci						
Pannolini						
NOTE						

Figura 3.2: Scheda rilevamento dati

Le frazioni merceologiche analizzate, seguono la **metodica IPLA** che prevede 18 classi merceologiche di cui si riassumono le caratteristiche principali:

- **Sottovaglio mm 20:** è il materiale che filtra attraverso le maglie del vaglio, costituito prevalentemente da materiale organico, polveri varie di lavorazioni industriali/artigianali, mozziconi di sigarette, ecc.
- **Organico putrescibile:** composto prevalentemente da rifiuti organici di origine biologica vegetale ed animale, quali scarti alimentari, foglie secche, potature di alberi, ecc.
- **Carta:** giornalame, carta da imballo, sacchi di carta, ecc.
- **Cartone:** costituiti da scatole per imballo, cartoncino, poliaccoppiati a prevalenza cartone, ecc.
- **Contenitori in plastica:** contenitori vari per liquidi costituiti da bottiglie, flaconi, ecc.
- **Plastica in film:** è composta prevalentemente da sacchetti, sportine, film plastici, ecc.
- **Altra plastica:** contenitori vari non per liquidi, plastica rigida per imballi, polistirolo ed altri poliespansi, oggetti in plastica pesante, ecc.
- **Contenitori T/F:** contenitori di sostanze tossiche ed infiammabili.
- **Vetro:** lampadine, lastre, bottiglie liquidi, ecc.
- **Inerti:** derivanti prevalentemente da attività di muratura, spazzamento e giardinaggio (pietrisco, sassi, cocci, ceramica, ecc.).

- **Alluminio:** lattine, imballaggi di alluminio, vaschette, ecc.
- **Metalli:** oggetti come ferri da stiro, posateria ed elementi d'arredo. I principali scarti in metallo sono in ferro e sue leghe (spesso rivestito superficialmente con altri metalli più "nobili" quali cromo, nichel e zinco) a cui seguono quelli composti d'acciaio inox.
- **Tessili:** sono di diversa provenienza e costituiti da fibre naturali o sintetiche. Scarti tipici che rientrano in questa categoria sono gli indumenti, i tendaggi, la moquette, il pezzame da ritagli artigianali o industriali, ecc. A volte si riscontrano stracci imbevuti d'olio o solventi provenienti da officine meccaniche, carrozzerie ed altre attività simili.
- **Pelle, Cuoio:** fanno parte di questa categoria scarpe, articoli per uso domestico, cinture e pezzi di varia origine.
- **Legno:** costituito prevalentemente da scarti della lavorazione del legno, parti di oggetti di mobilio, compensato, cassette
- **Altri rifiuti pericolosi:** tubi fluorescenti, termometri, lampade a vapori metallici, siringhe, ecc.
- **Pile/batterie:** ad esclusione delle pile a bottone che passano nel sottovaglio.
- **Farmaci:** confezioni con medicinali interi

Rispetto alle 18 categorie prevista dal metodo IPLA è stata inserita la categoria dei **Pannolini**, in quanto la presenza continua di tale scarto nei rifiuti urbani ha consigliato di inserirli fra le frazioni più significative, soprattutto per le proprietà chimico fisiche peculiari (es.: alto potere calorifico). Tutti gli oggetti misti ed accoppiati vengono inclusi nella categoria alla quale, a valutazione visiva, il peso del materiale di appartenenza superi il 50% del peso dell'oggetto stesso. Alle quantità delle varie frazioni vanno aggiunte le aliquote, proporzionali al peso del campione iniziale, dei rifiuti ingombranti accantonati prima delle operazioni di inquarteramento. Per quanto riguarda il contenuto in vetro, poiché con le operazioni di inquarteramento con la pala meccanica una buona parte di esso si frantuma e passa nel sottovaglio, occorre aggiungere alla relativa frazione merceologica la relativa percentuale di presenza rispetto al totale del sottovaglio. Nella Figura 3.2 si riporta lo schema di flusso dell'intera fase analitica.

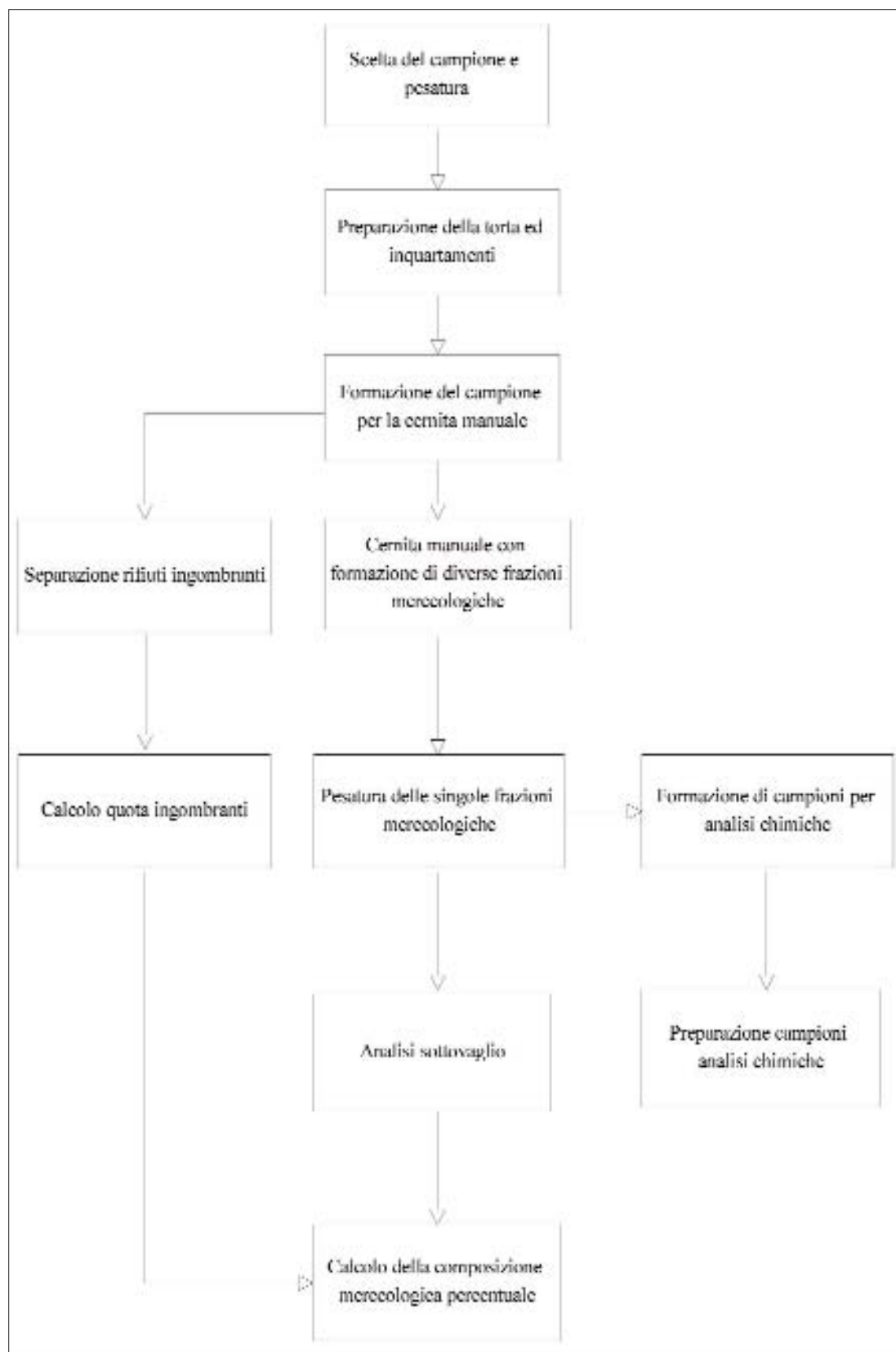


Figura 3.2: Schema di flusso delle analisi merceologiche (metodo tradizionale inquartamento).

3.3.2 Software di elaborazione dati

Il software di proprietà GFambiente effettua una serie di controlli sui dati inseriti, attraverso l'elaborazione statistica di informazioni contenuti in un database.

Il database contiene le informazioni relative alle analisi merceologiche che la Società ha effettuato sul territorio nazionale, dettagliate secondo standard stabiliti.

Tramite tale software è possibile operare delle specifiche richieste in grado di aggregare le informazioni contenute: dettagliare le analisi per tipologia di Comune o per zone del Comune, sia a livello di numero abitanti che per tipologia (industriale, agricolo, residenziale, ecc.), o elaborare piani statistici di previsione dell'andamento della composizione merceologica e chimico-fisica dei rifiuti nel tempo.

Tutti i dati provenienti da nuove analisi, inseriti nel modulo di caricamento dati, vengono gestiti da apposito software in grado di elaborare tutte le informazioni e quindi di interfacciarsi con i dati contenuti in tale database per controlli di congruità.

Alla base della gestione dei dati è lo sviluppo della "curva normale o degli errori accidentali (gaussiana)".

Secondo tale metodo il programma calcola il numero delle osservazioni rispetto al totale ricadenti all'interno dell'area sulla base del 90% di probabilità.

Un eventuale punto all'esterno dell'area così identificata, viene subito segnalato ed eventualmente rivisto con le indicazioni statistiche che dall'elaborazione dei dati provengono.

In questo modo, dati non correttamente riportati su supporto cartaceo in seguito ad errori di trascrizione o di pesatura, vengono valutati su base statistica per il loro eventuale aggiornamento.

Il programma di calcolo ha inoltre la possibilità, sempre a partire dai dati statistici propri della situazione in oggetto, di distribuire parte dei residui della cernita manuale sulle frazioni indagate: ad esempio, nel sottovaglio potranno essere presenti ad esempio schegge di vetro o residui di plastica frantumati nelle operazioni di preparazione del campione. Una quota parte di tali quantità, variabile in relazione alla specifica indagine, viene distribuita con appositi coefficienti mutuati dalla statistica sulle singole frazioni.

3.4 Il metodo di campionamento messo a punto da GFambiente

Parte delle analisi merceologiche sono state effettuate anche con la modalità di campionamento messa a punto da GFambiente per permettere un raffronto tra le metodiche.

Il raffronto è stato effettuato per rifiuti tal quali e i rifiuti urbani residui secchi ovvero per i comuni di Badia Polesine (prog. analisi 1/1), Rovigo (prog. analisi 1/2) e per Colle Sant'Umberto (prog. analisi 3/1) e Godega Sant'Urbano (3/2).

3.4.1 Modalità di preparazione del campione

Il monte rifiuti di partenza, conferito dai mezzi, viene raccolto sopra una superficie piana in battuto, precedentemente pulita evitando l'eccessiva compattazione degli stessi per facilitare le successive operazioni di prelievo.

L'area di campionamento, preferibilmente interna ad un capannone coperto, sarà sufficientemente larga da poter permettere al mezzo di raccolta di depositare il carico dei rifiuti, il movimento di una pala meccanica per effettuare il campione e la predisposizione da parte del personale del cantiere lavoro.

Allo scopo di conoscere la modalità di raccolta effettuata da parte dei mezzi, vengono operate interviste da parte degli operatori preposti alle analisi ai responsabili della raccolta o agli autisti degli stessi mezzi. Le informazioni riguarderanno i pesi dei rifiuti da caratterizzare (peso netto e peso lordo), ma anche notizie che permettano di correlare la quantità di rifiuti raccolti alla zona su cui è stato operato il servizio.

Ciò permette di avere gli elementi necessari per conoscere il percorso di raccolta effettuato dal mezzo ed, in particolare, notizie riguardo alla specificità della zona di raccolta (centro storico, zona popolare, residenziale, artigianale, ecc.). Nel caso di mezzo autocompattante,

la conoscenza del percorso di raccolta del mezzo, permette di avere un'idea rispetto ai diversi strati del rifiuto presenti sul mezzo (successivi in base alle susseguenti zone di raccolta) e in seguito scaricato al fine dei successivi prelievi.

Per le finalità specifiche del presente metodo, si rende preferibile organizzare il ciclo di raccolta con mezzi non compattanti, in modo da avere il rifiuto integro così come presente nei contenitori della raccolta.

Con l'ausilio della pala meccanica si provvede a mescolare i rifiuti al fine di preparare il campione da analizzare.

Successivamente, su indicazione da parte degli operatori preposti, vengono operati una serie di prelievi sul monte rifiuti iniziale.

Il numero dei prelievi dipenderà dalla natura del campione da analizzare: nella norma vengono eseguiti più prelievi distinti, in punti diversi del cumulo, al fine di separare una quantità di rifiuti da 1.500 a 2.000 kg.

Ovviamente, se il mezzo prescelto in fase organizzativa, ha una portata di 20 quintali, l'intero rifiuto scaricato viene analizzato.

Nel campione così creato, nella norma della raccolta a contenitori, si potranno individuare sacchi, sportine e materiale sfuso.

Sia lo scarico dei materiali dal mezzo di trasporto, che la fase di prelievo per il campionamento da parte della pala, deve avvenire cercando di evitare la compattazione dei rifiuti al fine di facilitare le successive fasi di lavoro.

Successivamente, si procede al conteggio di tutti i sacchetti chiusi contenuti nel campione, distinguendo le sportine dai sacchi neri o comunque dai sacchi di grande dimensione: dall'esperienza si è infatti rilevato che, mentre le sportine (di peso medio intorno ai 2-3 kg) contengono rifiuto proveniente da utenza domestica familiare, i sacchi di peso superiore alla norma (6-8 kg) normalmente contengono rifiuto urbano prodotto da utenze di tipo non domestico oppure contengono più sportine di tipo domestico. La differenziazione permette quindi di operare nella successiva separazione, la giusta proporzione riferibile a tali tipologie di utenza sulla base della provenienza del rifiuto.

Operato il conteggio di tutti i sacchetti presenti nel campione, ne vengono isolati un numero corrispondenti a circa il 30% del totale.

Questi sacchetti vengono tutti pesati, registrati, ed il peso medio ottenuto con la somma dei singoli pesi diviso il numero totale dei sacchetti pesati, consente di stabilire statisticamente il peso relativo al numero totale dei sacchetti contenuti nel campione.

Note le dimensioni della pala, che eseguirà i diversi prelievi sul cumulo cercando di mantenere la stessa volumetria utile, e misurata la densità del materiale da campionare con una prova sperimentale rilevante il peso di un campione di rifiuto del cumulo su un contenitore di data capacità, si risale, conoscendo il peso totale dei sacchetti, al peso del materiale sfuso esterno.

Sul materiale esterno presente nel campione, verranno eseguiti diversi prelievi per una quantità in peso di almeno il 30% del materiale. Su questa quantità verrà operata la successiva fase di analisi merceologica.

Le analisi esterne permettono di valutare la presenza di rifiuti la cui mole non ne permette l'inserimento nei sacchetti, quali materiali ingombranti, imballaggi secondari in cartone ondulato, cassette da ortofrutta in legno o plastica, ecc.

3.4.2 Modalità di esecuzione delle analisi merceologiche

Le analisi merceologiche verranno effettuate sui sacchetti pesati (sportine e sacchi neri) e sul materiale esterno prelevato.

Tutti i sacchetti pesati, vengono posti sulla superficie vagliante e dilacerati attraverso i cutter. Una volta sparsi i rifiuti sulla superficie e movimentati per permettere ai materiali inferiori ai 20 mm di filtrare e ricadere in apposito telone posto sotto il vaglio, vengono prelevate con apposite pinze le diverse frazioni e poste nei rispettivi contenitori.

Completata tale operazione, i singoli contenitori, di cui si conosce la tara, vengono pesati utilizzando una bilancia elettronica con tolleranza di 50 gr.

I risultati di volta in volta ottenuti sono registrati nella scheda cartacea.

Successivamente si opera l'analisi merceologica per i campioni selezionati dai rifiuti esterni, le quali vengono accuratamente pesate ed i valori espressi in kg sono registrati nelle apposite schede.

Alle quantità delle varie frazioni vanno aggiunte le aliquote, proporzionali al peso del campione iniziale, dei rifiuti ingombranti accantonati prima delle operazioni di campionamento. Tutti i dati raccolti, sono caricati su PC per l'elaborazione mediante apposito software. Ovviamente, data la rappresentabilità del campione analizzato, il peso totale dei rifiuti campionati è riferibile all'intero campione prelevato dalla pala, attraverso l'inferenza statistica operata a partire dai sacchetti e dal materiale esterno realmente pesati.

Noto il peso dei rifiuti annuali riferiti alla zona oggetto di indagine (comune, ambito territoriale, singola zona territoriale, ecc) sarà possibile, attraverso una media pesata, riferire le singole analisi al contesto territoriale ed operare il ricalcolo della media percentuale delle frazioni.

In definitiva, su ogni campione le analisi prevedono le seguenti fasi operative:

1. intervista degli autisti del mezzo di raccolta;
2. spargimento rifiuti in area battuta e piana;
3. prelevamento con pala gommata di una quantità di rifiuti pari a circa 2 tonnellate in punti diversi del cumulo formatosi durante lo svuotamento del mezzo adibito alla raccolta;
4. estrazione e conteggio di tutti i sacchi neri e/o sportine dal cumulo;
5. pesatura di circa il 30% delle sportine e/o dei sacchi neri ed analisi merceologica del loro contenuto;
6. pesatura di circa il 30% del materiale esterno ai sacchi presente nel cumulo e relativa analisi merceologica;
7. definizione finale del peso totale campionato attraverso la seguente formula:

$$P_T = P_{ms} * N_{ts} + P_{te}$$

dove:

P_T è il peso totale del campione,

N_{ts} è il numero totale dei sacchi contati nel campione,

P_{te} è il peso totale dell'esterno ottenuto per differenza dal peso totale del cumulo (ottenuto nota la dimensione della pala e la densità del rifiuto) e il peso delle sportine,

P_{ms} è il peso medio della sportina ottenuto con la seguente formula:

$$P_{ms} = P_{ts} / N_s$$

dove:

P_{ts} è il peso totale dei sacchi campionati,

N_s è il numero totale dei sacchi campionati.

8. Riferimento dei valori riscontrati per le diverse frazioni all'intero rifiuto oggetto dell'indagine mediante il metodo delle medie pesate.

3.5 Risultati ottenuti con il metodo IRSA CNR(norma UNI 9246)

Nell'Appendice vengono riportate le tabelle concernenti i dati rilevati per singola analisi e le tabelle di riepilogo conclusive, unitamente ai grafici aventi lo scopo di consentire una immediata comprensione dei risultati ottenuti.

Per fornire una visione di insieme delle rilevazioni sperimentali effettuate, la successiva tabella mostra in dettaglio i singoli campionamenti effettuati con la tipologia di rifiuti campionati ed il riferimento alle tabelle dei dati.

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 3.3: Tipologia di rifiuti e campionamenti effettuati

Progressivo	Tipo di analisi	Provenienza rifiuti	Impianto		Tipologia di raccolta/trattamento	Prog. analisi	riepiloghi
1	Tal quale	Badia	Sarzano	*	Cassonetto tal quale	1/1	R/1
2	Tal quale	Rovigo	Sarzano	*	Cassonetto tal quale	1/2	R/1
3	Tal quale	Zevio	Verona	*	Cassonetto tal quale	1/3	R/1
4	Tal quale	Verona	Verona	*	Cassonetto tal quale	1/4	R/1
5	sottovaglio	Misti	Sarzano	**	Da trattamento secco umido	1/5	R/7
6	sopravaglio	Misti	Sarzano	**	Da trattamento secco umido	1/6	R/6
7	RUR secco	Spinea	Noale	*	Secco da doppio cassonetto	2/1	R/2
8	RUR secco	Misti	Noale	*	Secco da doppio cassonetto	2/2	R/2
9	FOS	Noale	Noale	**	Umido da doppio cassonetto	2/3	R/4
10	FOS	Misti	Noale	**	Umido da doppio cassonetto	2/4	R/4
11	sottovaglio	Misti	Noale	**	Da trattamento FOS	2/5	R/8
12	sopravaglio	Misti	Noale	**	Da trattamento FOS	2/6	R/8
13	RUR secco	Colle Umberto	Vittorio Veneto	*	Secco da doppio cassonetto	3/1	R/2
14	RUR secco	Godega di Sant'Urbano	Vittorio Veneto	*	Secco da doppio cassonetto	3/2	R/
15	RD multimateriale	Ponzano	Vedelago	**	RD campane multimateriale	4/1	R/5
16	RD multimateriale	Loreggia	Vedelago	**	RD porta a porta multimat.	4/2	R/5
17	secco	Campo San Martino	Reschigliano	*	Secco da porta a porta secco/umido	5/1	R/3
18	secco	Vigodarzere	Reschigliano	*	Secco da porta a porta secco/umido	5/2	R/3
19	secco	Villa del Conte	Reschigliano	*	Secco da porta a porta secco/umido	5/3	R/3
20	Secco	Villanova di Camposanpietro	Reschigliano	*	Secco da porta a porta secco/umido	6/1	R/3
21	Tal quale	Sassuolo	Sassuolo	*	Cassonetto tal quale	6/2	R/1
22	sottovaglio	Sassuolo	Sassuolo	**	Da trattamento secco umido	6/3	R/7
23	sopravaglio	Sassuolo	Sassuolo	**	Da trattamento secco umido	7/1	R/6
24	Tal quale	Carpi	Carpi	*	Cassonetto tal quale	7/2	R/1
25	sottovaglio	Carpi	Carpi	*	Da trattamento secco umido	7/3	
26	sopravaglio	Carpi	Carpi	*	Da trattamento secco umido 1 vagl	7/4	
27	sottovaglio	Carpi	Carpi	*	Da trattamento secco umido 1 vagl	7/5	R/7
28	sopravaglio	Carpi	Carpi	*	Da trattamento secco umido	7/6	R/6

Note:

* = analisi di frazioni residue a valle della raccolta differenziata

** = analisi di scarti da paiffaforme di selezione

Con riferimento alle tabelle riportate in appendice, si analizzano nel dettaglio le singole analisi effettuate. In particolare, viste le differenti tipologie di materiale campionato, per ciascun gruppo di campionamento verranno valutati i risultati maggiormente indicativi.

Ogni tabella è costituita da più parti: la prima parte riepilogativa dei dati concernenti la specifica indagine (zona e data di esecuzione, provenienza del rifiuto), la tipologia territoriale in oggetto (normalmente residenziale), la modalità di raccolta (cassonetti tal quale, cassonetti secco e/o umido, porta a porta, ecc., mezzo di trasporto utilizzato) ed i pesi dei rifiuti relativi al conferimento da parte dei mezzi e dei rifiuti totali campionati. In particolare, l'analisi delle raccolte differenziate effettuate a monte, permette di acquisire elementi utili in riferimento alla merceologia riscontrata (bassa presenza di vetro ove effettuata la raccolta a campane, ecc.).

Le parti successive sono state denominate:

Tabella A: riporta i pesi rilevati durante i campionamenti effettuati per lo specifico territorio. Di norma sono stati effettuati 5 campionamenti (tesi) distinti sul rifiuto totale per un peso complessivo di circa 200 kg di rifiuto campionato;

Tabella B: riporta percentuale in peso delle singole frazioni rispetto alla singola tesi e rispetto alla media pesata sul totale dell'intero rifiuto campionato.

Tabella C e Tabella D: presente solo nel caso in cui è stato effettuato il campionamento sul flusso di materiale organico proveniente da impianto di selezione secco-umido, avente lo scopo di fornire una analisi merceologica del sottovaglio da 20 mm campionato (Tabella C: peso in kg rilevato e Tabella D: relativa media percentuale).

Tablelle 1-7

Nelle tabelle da 1 a 7 si riportano i campionamenti effettuati presso l'impianto di selezione secco-umido di Sarzano, aventi ad oggetto l'analisi merceologica sul rifiuto tal quale proveniente da raccolta a cassonetti per i Comuni di Badia Polesine, Rovigo, Zevio e Verona, e l'analisi del sopravaglio e sottovaglio dall'impianto di selezione secco umido di Sarzano (Prog. Analisi da 1/1 a 1/6).

Le analisi effettuate sui rifiuti tal quali provenienti dalla raccolta tramite unico cassonetto (**Tablelle 1-4**), conducono a dei risultati simili con riferimento ai diversi contesti territoriali campionati: i valori del sottovaglio sono tutti intorno all'11%, i valori della frazione organica oscillano dal 24% di Verona al 31% di Zevio, i valori del secco recuperabile (carta, cartone, contenitori in plastica, vetro, alluminio, metalli e legno) vanno dal 37% di Zevio al 52% di Rovigo. Per quanto riguarda i flussi che si ottengono dalla separazione secco umido effettuata sui rifiuti che arrivano all'impianto di Sarzano, ovvero il sopravaglio secco ed il sottovaglio umido costituenti i flussi finali dei rifiuti trattati, le **Tablelle 5, 6 e 7** riportate in Appendice ne riportano l'analisi merceologica.

In particolare, con riferimento alla **Tabella 5** contenente l'analisi merceologica del sottovaglio umido, si riscontra circa il 50% di frazione organica omogenea. A questa ci sarà da aggiungere la frazione organica contenuta nel sottovaglio a 20mm (complessivamente pari al 21%): allo scopo (**Tabella 6**), unicamente per tale tipologia di indagine, si è operata una ulteriore analisi merceologica sul sottovaglio tesa a distinguerne la parte organica putrescibile (circa il 62%) dalle altre componenti secche (soprattutto rottame vetroso ottenuto per la triturazione del vetro contenuto nel rifiuto urbano). Complessivamente quindi la frazione organica putrescibile contenuta nel complessivo rifiuto campionato, comprensiva della frazione organica selezionata (49%) e della frazione organica contenuta nel sottovaglio (13%), ammonta a circa il 62%.

La **Tabella 7** riporta la composizione merceologica del sopravaglio secco ottenuto dalla fase di separazione meccanica: in particolare, a fronte di una bassa presenza di materiale organico (circa il 5%) e di sottovaglio (circa il 3%), contenente comunque materiale prevalentemente secco, si riscontra la presenza preponderante di carta (24%), cartone (25%), plastiche (23%) e materiale tessile (9%).

Tablelle 8-14

Nelle tabelle da 8 a 14 si riportano i campionamenti effettuati presso l'impianto di selezione secco-umido di Noale (VE), aventi ad oggetto l'analisi merceologica sul rifiuto proveniente da raccolta a doppio cassonetto secco-umido per alcuni Comuni conferenti presso tale impianto (Spinea, Noale, altri) e l'analisi del sopravaglio e sottovaglio dall'impianto di selezione. In particolare sono stati effettuati due campionamenti sul rifiuto proveniente da cassonetto secco (destinato allo smaltimento finale), due campionamenti sul rifiuto proveniente da cassonetto umido (FOS) destinato al trattamento per la formazione di compost e due campionamenti sul sottovaglio e sopravaglio provenienti dalla separazione meccanica della FOS (Prog. Analisi da 2/1 a 2/6).

Le **Tablelle 8 e 9** riportano i campionamenti effettuati sul materiale proveniente dal cassonet-

to secco. Si nota una percentuale decisamente elevata nei campionamenti effettuati per la frazione organica, 14% e 24% dovuta principalmente ad errati conferimenti da parte delle utenze. È evidente che l'intera indagine sperimentale effettuata per ottenere risultati maggiormente rappresentativi riferibili per lo meno ad un arco temporale annuale, andrebbe ripetuta nel tempo e nelle stagioni. La tipicità di un solo dato sperimentale riferibile, oltre che al contesto territoriale specifico anche al contesto temporale, potrebbe condurre a dati poco significativi se non raffrontabili con altre analisi effettuate.

Le rimanenti frazioni secche sono principalmente costituite da carta, cartone, plastiche e vetro (percentuale elevata se si considera che viene effettuata la raccolta differenziata di tale materiale).

La raccolta della frazione umida, **Tabella 10 e 11**, possiede invece delle qualità superiori per il materiale che si intende differenziare. Infatti, la frazione organica contenuta in tale cassonetto supera, per i Comuni su cui è stato effettuato il campionamento (rifiuto proveniente da Noale e rifiuto in attesa della lavorazione meccanica proveniente da diversi comuni dello stesso ambito), il 70% in entrambi i casi.

Per quanto riguarda i flussi che si ottengono dalla lavorazione della FOS effettuata sui rifiuti che arrivano all'impianto di Noale, ovvero il sopravaglio secco ed il sottovaglio umido costituenti i flussi finali dei rifiuti da tale lavorazione, le **Tabella 12, 13 e 14** ne riportano l'analisi merceologica.

In particolare, con riferimento alla **Tabella 12** contenente l'analisi merceologica del sottovaglio umido, si riscontra circa il 58% di frazione organica omogenea. Analogamente a quanto già detto per l'impianto di Sarzano, a questa ci sarà da aggiungere la frazione organica contenuta nel sottovaglio (complessivamente pari al 24%): allo scopo (**Tabella 13**), l'analisi merceologica sul sottovaglio quantifica la parte organica putrescibile in circa il 65% e le altre componenti secche (ancora soprattutto rottame vetroso) nel rimanente 35%. Complessivamente quindi la frazione organica putrescibile contenuta nel complessivo rifiuto campionato, comprensiva della frazione organica selezionata (58%) e della frazione organica contenuta nel sottovaglio (16%), ammonta a circa il 74%.

La **Tabella 14** riporta la composizione merceologica del sopravaglio secco ottenuto dalla fase di separazione meccanica della FOS: in particolare, a fronte di una bassa presenza di materiale organico (circa il 3%) e di sottovaglio (circa il 5%), contenente comunque materiale prevalentemente secco, si riscontra la presenza preponderante di carta (28%), cartone (20%), plastiche (21%) e materiale tessile (9%).

Tabella 15-16

Nelle tabelle 15 e 16 si riportano i campionamenti effettuati presso l'impianto di trasferimento sito a Vittorio Veneto a servizio del bacino dei Comuni Treviso 1 (Prog. Analisi 3/1 e 3/2). Presso tale impianto viene operato il travaso da parte dei mezzi di raccolta in autoarticolati per l'avvio in discarica dei rifiuti.

I campionamenti sono stati effettuati per due Comuni distinti, Colle Umberto e Godega di Sant'Urbano, presso cui viene effettuata la raccolta a doppio cassonetto secco umido su materiale proveniente dalla raccolta del secco destinato alla discarica.

Da tali analisi emerge un valore modesto per la frazione organica (11-12%) ed una buona qualità del materiale secco prevalentemente costituito da carta, cartone, plastiche, tessuti e legno.

Tabella 17-18

In tali tabelle vengono mostrati i risultati delle analisi merceologiche effettuate presso l'impianto di selezione secco dei soli materiali provenienti da raccolta differenziata multimateriale (vetro, lattine, banda stagnata, plastica), tramite raccolta porta a porta (Ponzano Veneto) e raccolta a campane (Loreggia) (prog. Analisi 4/1 e 4/2).

La differenza sostanziale fra le due tipologie di raccolta risiede nella qualità del materiale raccolto: nella raccolta a campane si nota infatti, la maggiore presenza di sottovaglio costituito per lo più da rottame ferroso in seguito al conferimento ed alla movimentazione dei contenitori (circa il 13% contro il 2% della raccolta porta a porta).

Per quanto riguarda gli altri materiali è scontata la maggiore percentuale in peso dei conte-

nitori di vetro rispetto soprattutto alla presenza di contenitori di plastica. Nel materiale campionato risultano quasi del tutto assenti la frazione organica e le altre frazioni estranee, indice di una buona qualità di raccolta.

Tabelle 19-22

Nelle suddette tabelle vengono mostrati i risultati delle analisi merceologiche effettuate presso la discarica di Reschigliano (PD) in cui vengono conferiti i rifiuti del bacino Padova 1 ed in particolari dei Comuni analizzati di Campo San Martino, Vigodarzere, Villa del Conte, Villanova di Camposampiero, in cui viene effettuata una raccolta porta a porta spinta di tre frazioni: secco, umido, secco riciclabile (Prog analisi da 5/1 a 5/4).

Le analisi hanno avuto ad oggetto la valutazione merceologica delle frazioni contenute nel sacco del porta a porta della frazione secca non riciclabile.

Per tali indagini la frazione organica va da valori compresi fra il 10% ed il 14%, il sottovaglio ha valori dal 2% al 4%, la rimanente frazione secca contiene comunque alte percentuali di frazioni recuperabili (soprattutto carta e cartone).

Tabelle 23-26

Le tabelle 23-26 riportano analisi merceologiche effettuate nell'anno 2000 e presenti nella Banca Dati GFambiente presso impianti di selezione secco umido posti a Sassuolo (**Tabelle 23-25**; prog analisi da 6/1 a 6/3) e a Carpi (**Tabella 26** prog. analisi da 7/1 a 7/5).

Per quanto riguarda i campionamenti effettuati presso l'impianto di Sassuolo, le tre tabelle mostrano le analisi merceologiche per le diverse fasi di selezione dell'impianto, cui arriva il materiale dal cassonetto tal quale: RSU da triturazione ed i due flussi costituiti dal sottovaglio umido e sopravaglio secco.

Per il tal quale, le percentuali inerenti le frazioni riportano il 30% di materiale organico ed il 19% di sottovaglio (il materiale campionato è già tritato), il sottovaglio umido è costituito per il 52% circa di frazione organica omogenea più quella contenuta nel sottovaglio (circa il 60% di 23% pari al 14%), il sopravaglio secco ha una bassa percentuale di frazione organica pari a circa il 4%. La **Tabella 26** riporta le medie riscontrate per le diverse fasi dell'impianto di Carpi dall'alimentazione ai diversi flussi di materiali post-vagliature.

La prima colonna riporta i pesi e le medie per il rifiuto tal quale. Questo subisce una fase di vagliatura con vaglio rettangolare 80x180 mm: il sopravaglio costituisce il primo flusso del secco che va in discarica (terza colonna), il sottovaglio (seconda colonna) viene avviato tramite nastri alla successiva lavorazione ed in particolare alla seconda vagliatura. Da tale vaglio da 30 mm si crea una frazione umida con alte percentuali di sottovaglio (vista la pezzatura ridotta a 30 mm) avviata alla stabilizzazione (quarta colonna), ed un sopravaglio da avviare in discarica (quinta colonna).

Tabelle 27-33 e Grafici 1-15

Le tabelle 27-33 riepilogative ed i relativi grafici, permettono, per tipologia di raccolta o per lavorazione, di raggruppare omogeneamente le analisi e valutarne un raffronto per le medie ottenute. Si rimanda al successivo paragrafo il commento di tali dati.

Per fornire un quadro generale dei dati e dei risultati le analisi merceologiche sono state raggruppate a livello tabellare ed i dati confrontati per gruppi omogenei, in base a:

tipologia di raccolta effettuata: cassonetto tal quale, RUR (rifiuto urbano residuo) secco da doppio cassonetto, RUR secco da porta a porta, RUR umido da doppio cassonetto, RD multimateriale;

tipologia di trattamento dei materiali: sopravaglio secco da selezione secco-umido, sottovaglio umido da selezione secco-umido, sottovaglio umido da trattamento FOS e sopravaglio secco da trattamento FOS.

Per ciascuno di tali gruppi omogenei viene riportata la tabella con la media delle diverse analisi effettuate e la media aritmetica dei dati riscontrati. Dati atipici e valori che escono fuori dai range valutati attraverso il software di GFambiente, verranno in tale paragrafo segnalati e giustificati.

Unitamente alle tabelle, si riportano i grafici riepilogativi con riferimento ai valori medi per-

centuali della frazione organica, del sottovaglio e della rimanente frazione secca (recuperabile e non). In particolare, per la frazione sottovaglio, variabile anche sostanzialmente in relazione alle diverse tipologie di analisi, si rende necessario volta per volta una valutazione tesa ad individuarne la merceologia, se il rifiuto campionato è organico, o se proviene dalla selezione secco umido nel flusso dell'organico, in media tale frazione è costituita per valori superiori al 60%, da frazione organica putrescibile. Viceversa se si considera la raccolta del secco o il rifiuto proviene dalla selezione secco umido per il flusso secco, tale frazione è principalmente costituita da materiale secco soprattutto inerte (es.: rottame vetroso). Tutti i grafici e le tabelle sono poi riportate in appendice (**Tablelle 27-33 e Grafici 1-15**), unitamente ai pesi in kg dei rifiuti campionati.

Cassonetto tal quale

Per quanto riguarda le analisi sul rifiuto tal quale, i risultati ottenuti confermano in modo abbastanza significativo una composizione media tipica delle zone del Nord Italia.

I dati riportati in **Tabella (27 - R/1)** in Appendice raffrontano sei analisi merceologiche sperimentali: alle quattro analisi effettuate a Rovigo e Verona si aggiungono infatti i campionamenti sul tal quale effettuati presso gli impianti di Sassuolo e di Carpi.

La sostanza organica putrescibile ha un valore medio pari a circa il 27%, il sottovaglio intorno al 12%, il rimanente secco intorno al 61% (Tabella 3.4).

In relazione in particolare ai dati riscontrati per l'impianto di Sassuolo, si fa notare che le analisi sono state effettuate a partire dal rifiuto tale quale, ma già triturato da apposita macchina con dispositivo aprisacchi: ciò porta a dei valori leggermente più elevati soprattutto per il sottovaglio (la media è pari all'11,57% se non si considera tale analisi, contro il 12,80%) ed alla composizione merceologica leggermente diversa di tutte le rimanenti frazioni.

Nella tabella, (Tab. 3.4) sintesi della tabella R/1, e nei successivi grafici si riportano le medie aritmetiche riscontrate nei due casi (includendo e non includendo i dati rilevati presso l'impianto di Sassuolo) ed il confronto fra le varie analisi. Nei grafici, Figura 3.3 inoltre, sono confrontate le quantità di organico putrescibile, di materiale secco e di sottovaglio a 20 mm.

Tabella 3.4: Medie aritmetiche calcolate considerando e non considerando i dati relativi all'impianto SAT

Calderara di Reno (BO)	Analisi n°:	
CASSONETTO TAL QUALE	R/1	
Frazione	% in peso sul totale campionato MEDIA % con SAT	% in peso sul totale campionato MEDIA % senza SAT
umido	12,80%	11,57%
Organico	28,30%	27,84%
Carta	19,21%	19,07%
Cartone	8,57%	9,28%
Contenitori in plastica	2,89%	2,88%
Plastica in film	5,82%	6,24%
Altra plastica	2,80%	2,83%
Contenitori T/F	0,43%	0,48%
Vetro	4,21%	4,06%
Inerti pesanti	1,13%	1,25%
Alluminio	1,11%	1,30%
Metalli	1,99%	2,21%
Tessili	4,41%	4,30%
Pelle, Cuoio, gomme	1,21%	1,22%
Legno	2,01%	2,15%
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%
Filo/batterie	0,06%	0,05%
Farmaci	0,14%	0,15%
Pannolini	2,92%	3,12%
TOTALE	100,00%	100,00%

**METODOLOGIE RELATIVE ALLA CARATTERIZZAZIONE
MERCEOLOGICA DEI RIFIUTI URBANI**

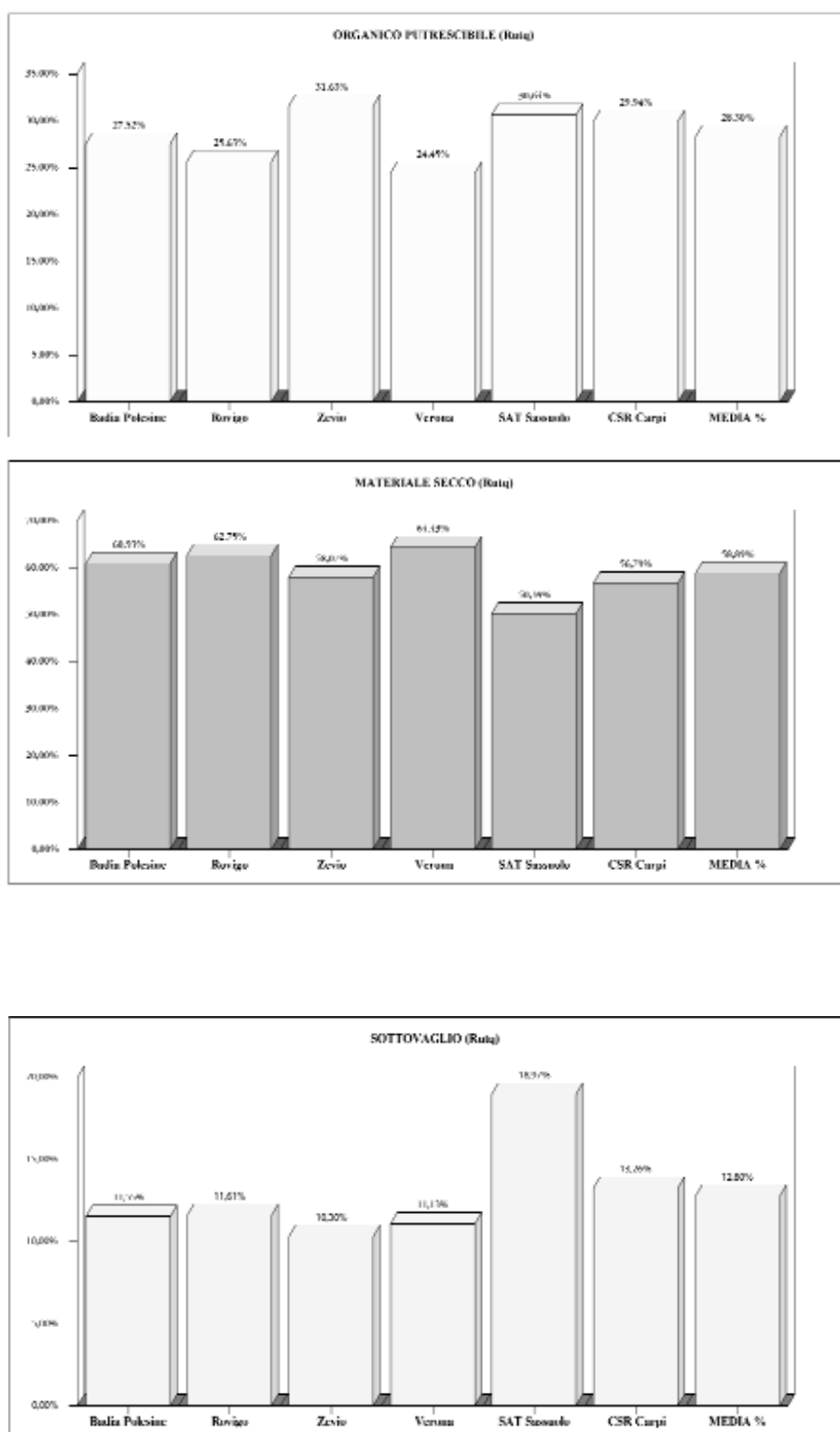


Figura 3.3: Confronto tra i valori medi di organico putrescibile, materiale secco e sottovaglio contenuti nel campione di rifiuto urbano tal quale.

RUR secco da doppio cassonetto

Tali analisi sono state effettuate sui rifiuti provenienti da territori comunali in cui è presente una raccolta a doppio cassonetto: uno per la frazione umida ed uno per la rimanente frazione secca (RUR secco).

La merceologia di tale rifiuto campionato, del tutto correlata alla "qualità" della raccolta della frazione umida, può variare notevolmente in base al contesto territoriale di riferimento, soprattutto in relazione al grado di sensibilità da parte delle utenze nei corretti conferimenti.

In particolare, nel caso specifico, in uno dei campioni analizzati si è riscontrato un valore del tutto superiore alla norma (Spinea) rispetto ai contesti territoriali in cui tale raccolta è attuata. Peraltro, come è evidente, per avere un dato maggiormente significativo da un punto di vista statistico, si renderebbe necessario ripetere tali analisi per i territori già campionati in periodi diversi dell'anno: dati "fuori range" potrebbero, infatti, essere collegati alla specificità del rifiuto raccolto in quel contesto territoriale nel dato momento.

I dati riportati in **Tabella 28 R/2** in Appendice raffrontano quattro analisi merceologiche sperimentali: le due effettuate presso l'impianto di Noale (Spinea e Comuni misti) ed altre due analisi del bacino Treviso 1 in cui viene effettuata la stessa raccolta (Colle Sant'Umberto e Godega Sant'Urbano).

Nella successiva tabella, sintesi della R/2 (Tab.3.5), e nei successivi grafici, si riportano le medie aritmetiche riscontrate sia prendendo in considerazione il dato "anomalo" di Spinea, sia senza considerarlo.

Considerando tutte le analisi effettuate, si riscontrano i seguenti valori medi (): la sostanza organica putrescibile ha un valore pari a circa il 16% (pari al 13% se non si considera Spinea), il sottovaglio intorno al 9% (8,5%), il rimanente secco intorno al 75% (78,5%).

Tabella 3.5: Medie aritmetiche calcolate considerando e non considerando il dato anomalo di Spinea

Calderara di Reno (BO)	Analisi n.:	R/2
RUR SECCO DA DOPPIO CASSONETTO		
	% in peso	% in peso
Frazione	sul totale campionato	sul totale campionato
	MEDIA % con Spinea	MEDIA % senza Spinea
Umido	9,17%	8,49%
Organico	15,80%	12,99%
Carta	14,17%	11,85%
Cartone	13,67%	15,73%
Contenitori in plastica	5,54%	6,42%
Plastica in film	10,51%	11,83%
Altra plastica	3,83%	4,22%
Contenitori T/F	0,42%	0,39%
Vetro	3,10%	2,34%
Inerti pesanti	1,16%	0,59%
Alluminio	0,84%	0,91%
Metalli	3,24%	3,14%
Tessili	4,77%	5,11%
Pelle, Cuoio, gomme	3,28%	3,83%
Legno	5,02%	6,03%
Altri rifiuti pericolosi	0,01%	0,01%
Pile/batterie	0,02%	0,03%
Farmaci	0,05%	0,05%
Pannolini	5,40%	6,06%
TOTALE	100,00%	100,00%

**METODOLOGIE RELATIVE ALLA CARATTERIZZAZIONE
MERCEOLOGICA DEI RIFIUTI URBANI**

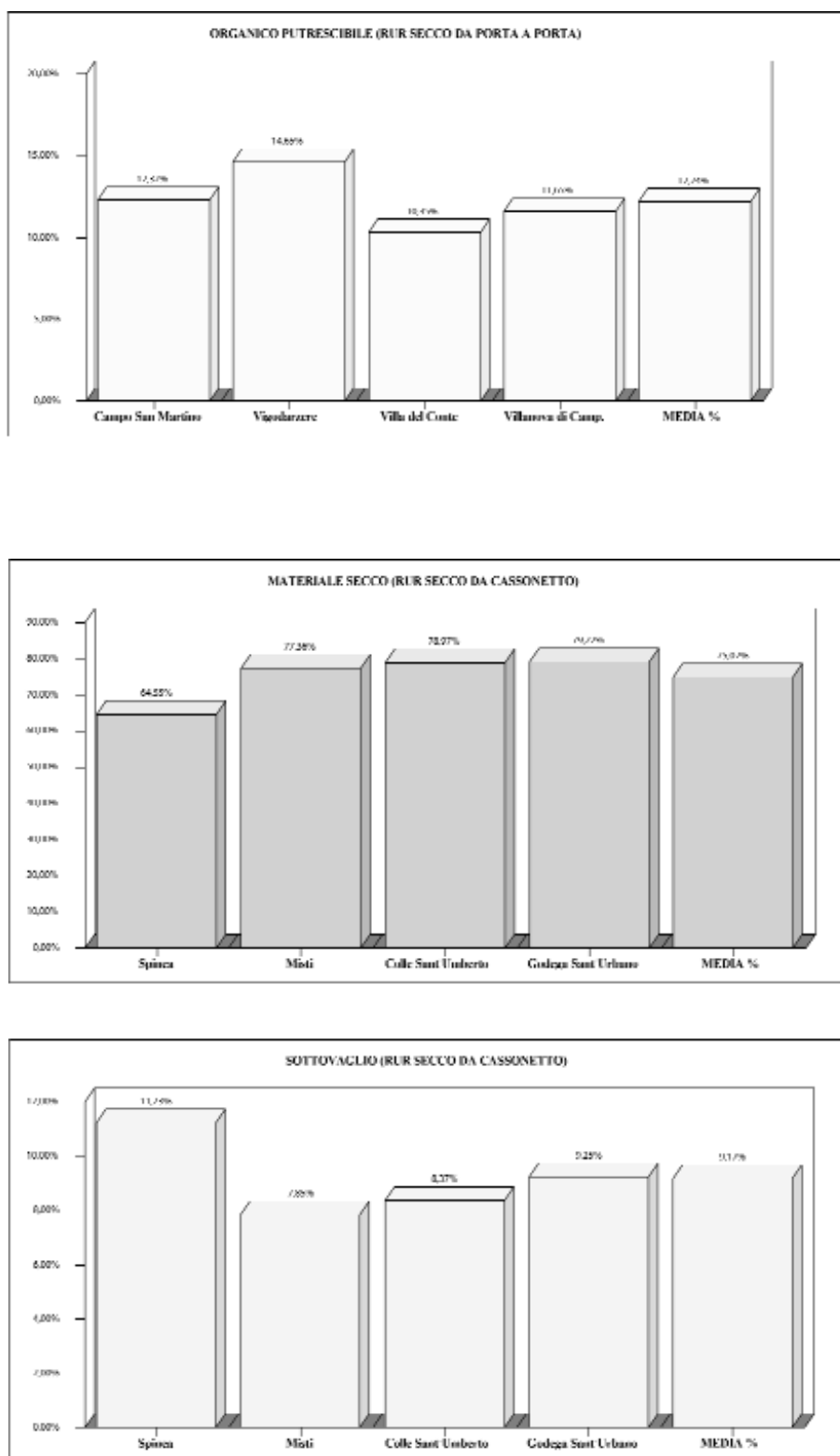


Figura 3.4: Confronto tra i valori medi di organico putrescibile, materiale secco e sottovaglio contenuti nel campione di materiale secco da doppio cassonetto.

RUR secco da porta a porta

Tali analisi sono state effettuate sui rifiuti secchi non recuperabili ed avviati in discarica per alcuni territori del bacino Padova 1 in cui viene effettuata una raccolta spinta secco-umido a sacchi con sistema tipo porta a porta per tre distinte frazioni: secco recuperabile, frazione organica e secco non recuperabile.

Il dato medio, oltre che per la valutazione della specificità della raccolta, si presta anche ad ulteriori considerazioni in merito alla qualità del materiale raccolto con le due differenti modalità: a contenitori (visto in precedenza) e porta a porta.

Per tale contesto, reso uniforme dalla "territorialità" della raccolta, sono stati riscontrati i seguenti valori medi (Tab. 3.6) (**Tabella 29 - R/3** in Appendice): la sostanza organica putrescibile ha un valore pari a circa il 12%, il sottovaglio intorno al 3%, il rimanente secco intorno all'85%.

Tabella 3.6: Valori medi del campione di rifiuti urbani residuo secco da raccolta porta a porta.

Calderara di Reno (BO)	Analisi n.: R/3
RUR SECCO DA PORTA A PORTA	
Frazione	% in peso sul totale campionato MEDIA %
mm20	3,31%
Organico	12,24%
Carta	17,18%
Cartone	12,91%
Contenitori in plastica	3,56%
Plastica in film	13,39%
Altra plastica	10,58%
Contenitori T/F	0,57%
Vetro	1,86%
Inerti pesanti	0,49%
Alluminio	1,74%
Metalli	1,19%
Tessili	5,54%
Pelle, Cuoio, gomme	0,35%
Legno	0,91%
Altri rifiuti pericolosi	0,32%
Pile/batterie	0,01%
Farmaci	0,11%
Pannolini	13,75%
TOTALE	100,00%

METODOLOGIE RELATIVE ALLA CARATTERIZZAZIONE
MERCEOLOGICA DEI RIFIUTI URBANI

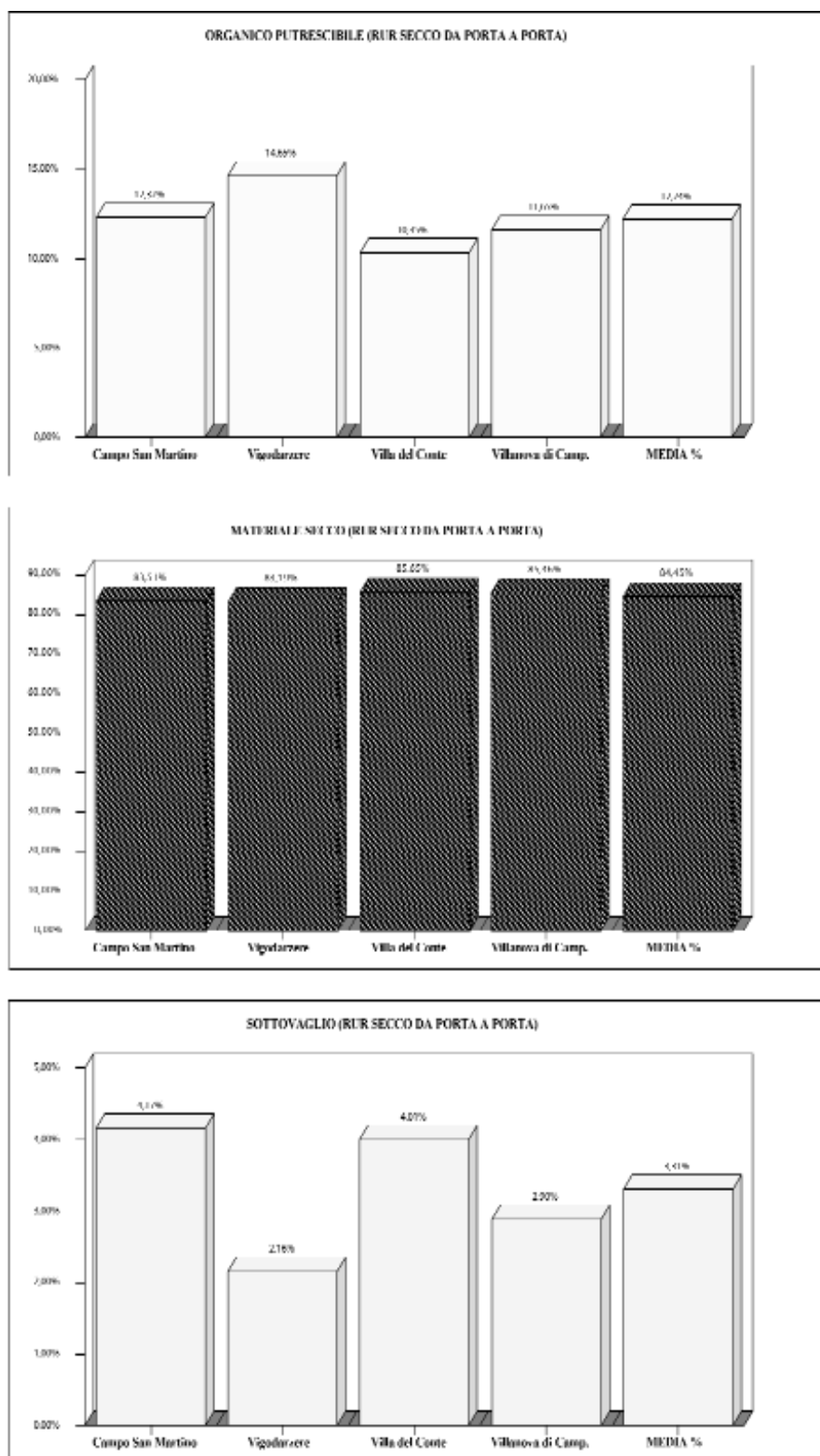


Figura 3.5: Confronto tra i valori medi di organico putrescibile, materiale secco e sottovaglio contenuti nel campione di RUR secco da raccolta porta a porta.

RUR umido da doppio cassonetto

Presso l'impianto di Noale, oltre ai rifiuti secchi già analizzati, arrivano anche i rifiuti provenienti dalla parallela raccolta dell'umido per i Comuni dello stesso bacino.

Il rifiuto viene trattato dall'impianto allo scopo di eliminare dalla frazione umida le componenti estranee al fine di avviare al compostaggio una frazione più "pulita".

Le due analisi effettuate per tale tipologia di raccolta, (Tabella 30 - R/4 in Appendice) entrambe riferite allo stesso contesto territoriale, conducono ad un valore percentuale per la frazione organica putrescibile pari a circa il 73%, il sottovaglio intorno al 17%, il rimanente secco, frazioni indesiderate per la specificità della raccolta, intorno al 10% (Tab. 3.7).

Tabella 3.7: Valori medi del campione di rifiuto umido da doppio cassonetto.

Calderara di Reno (BO)	Analisi n.: R/4
RUR UMIDO DA DOPPIO CASSONETTO	
Frazione	% in peso sul totale campionato MEDIA %
mmfD	16,80%
Organico	73,30%
Carta	3,07%
Cartone	0,66%
Contentori in plastica	0,55%
Plastica in film	1,72%
Altra plastica	0,51%
Contentori T/F	0,00%
Vetro	1,01%
Inerti pesanti	0,15%
Alluminio	0,00%
Metalli	0,20%
Tessili	1,36%
Pelle, Cuoio, gomme	0,14%
Legno	0,55%
Altri rifiuti pericolosi	0,00%
Filo/batterie	0,00%
Farmaci	0,00%
Parafilm	0,00%
TOTALE	100,00%

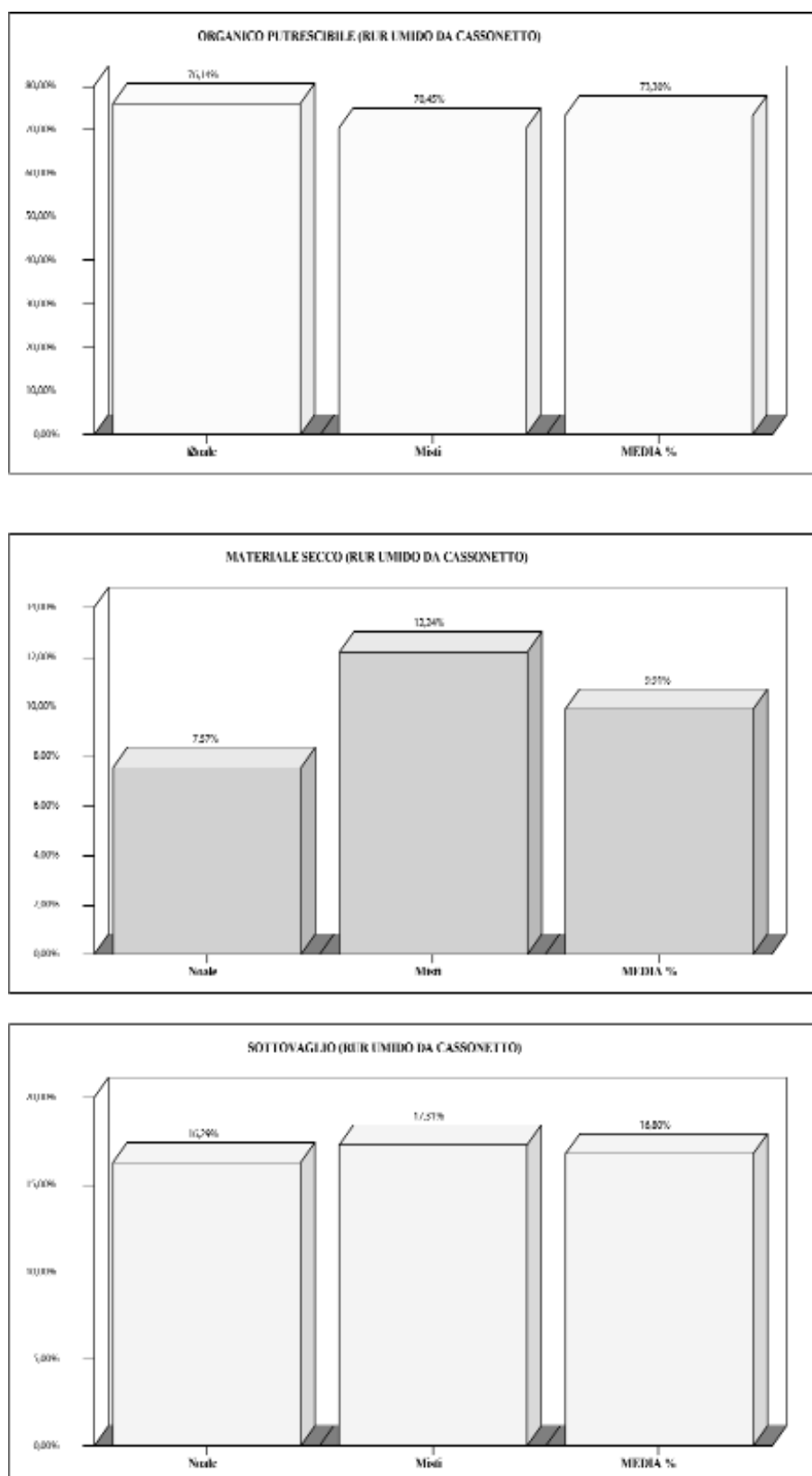


Figura 3.6: Confronto tra i valori medi di organico putrescibile, materiale secco e sottovaglio contenuti nel campione di RUR umido da doppio cassonetto.

RD multimateriale

Per quanto riguarda le analisi merceologiche effettuate sui materiali provenienti da raccolta differenziata multimateriale, avviate all'impianto di selezione di Vedelago, se ne riassumono i valori nella successiva tabella (i dati sono riportati in dettaglio nella **Tabella 31 - R/5** in Appendice).

Tabella 3.8: Valori medi del campione da raccolta differenziata multimateriale.

Calderara di Reno (BO)	Analisi n.: R/5
RD MULTIMATERIALE	
Frazione	% in peso sul totale campionato MEDIA %
mmRD	7,79%
Organico	0,13%
Carta	0,64%
Cartone	0,79%
Contenitori in plastica	24,58%
Plastica in film	1,16%
Altra plastica	1,93%
Contenitori T/F	2,89%
Vetro	54,36%
Inerti pesanti	0,21%
Alluminio	0,81%
Metalli	4,55%
Tessili	0,13%
Pelle, Cuoio, gomme	0,02%
Legno	0,02%
Altri rifiuti pericolosi	0,00%
File/batterie	0,00%
Farmaci	0,00%
Farmoliti	0,00%
TOTALE	100,00%

Il raffronto si rende possibile solo in relazione alla tipicità della raccolta: in realtà, per i due ambiti campionati, la raccolta differenziata avviene con modalità diverse (porta a porta in un caso, con campane nell'altro caso). Di conseguenza, ciascuna analisi conserva una diversa composizione merceologica: per la raccolta a campane sarà presente molto più rottame ferroso nel sottovaglio, più contenitori integri di vetro si avranno invece nella raccolta porta a porta.

Sulla base dell'esperienza acquisita e mediante il confronto con analoghe modalità impiantistiche, è possibile qualificare l'analisi merceologica del materiale da avviare in discarica ottenibile dalla lavorazione di tali materiali con le specifiche riportate nella successiva Tabella 3.9.

Tabella 3.9: Valori medi sul campione da materiale non recuperato.

Calderara di Reno (BO)	Analisi n. R/5
MATERIALE NON RECUPERATO	
Frazione	% in peso sul totale campionato MEDIA %
min<20	49,67%
Organico	1,06%
Carta	5,54%
Cartone	7,32%
Contenitori in plastica	1,95%
Plastica in film	10,15%
Altra plastica	16,18%
Contenitori T/F	0,24%
Vetro	4,21%
Inerti pesanti	1,85%
Alluminio	0,07%
Metalli	0,39%
Tessili	1,06%
Pelle, Cuoio, gomme	0,16%
Legno	0,16%
Altri rifiuti pericolosi	0,00%
Pile/batterie	0,00%
Farmaci	0,00%
Pannolini	0,00%
TOTALE	100,00%

L'alta percentuale di sottovaglio 20 mm è relativa allo specifico materiale, essendosi riscontrato un alto peso per il rottame vetroso.

Sopravaglio secco da selezione secco umido

Con riferimento ai residui secchi dal trattamento dei rifiuti avviabili in discarica, le analisi merceologiche prese in considerazione e comparabili riguardano l'impianto di Sarzano, l'impianto di Sassuolo, l'impianto di Carpi.

La composizione merceologica media delle diverse analisi è riportata nella **Tabella 32 - R/6** in Appendice.

Tali valori, sono strettamente connessi, oltre che alla tipologia impiantistica, anche alla tipicità della vagliatura effettuata sui materiali. Per l'impianto di Sarzano infatti la vagliatura è di 100 mm, mentre per i rimanenti due impianti la vagliatura finale è di 30 mm. Inoltre a Carpi è prevista una doppia vagliatura sui materiali, cosa che invece non viene effettuata negli altri due impianti.

Non considerato nella Tabella R/6, è peraltro, anche la vagliatura da 80 mm ottenuta nell'impianto di Carpi (Tabella 26), comunque da prendere in considerazione per lo studio di tali flussi di materiali.

Più che di valori medi (comunque riportati nella suddetta tabella), si dovrebbe fare riferimento ai residui di tali impianti, in range definibili in base alla specificità impiantistica.

Nei casi presi in considerazione la frazione organica putrescibile ha dei valori che vanno dal 4% all'8%, con solo una minima quantità proveniente dalla frazione organica del sottovaglio. Si noti anche la variabilità in termini percentuali delle rimanenti frazioni secche (ad esempio la carta ha dei valori che oscillano dal 24 al 40%).

Sottovaglio umido da selezione secco umido

Stesse considerazioni valgono con riferimento all'altro flusso, umido, di materiale proveniente dagli impianti di selezione secco umido, avviati ad una fase di stabilizzazione successiva per l'impiego come stabilizzato in discarica per ricopertura.

Analogamente al caso precedente, si richiama la **Tabella 32 - R/7** in Appendice per giustificare dei valori all'interno di range definibili: in particolare, la frazione organica putrescibile, ha dei valori che vanno dal 65% al 70% (comprensivi della voce organico e del 70% circa di sottovaglio), mentre la rimanente parte è costituita dal rimanente sottovaglio e dai materiali secchi.

Sottovaglio umido e Sopravaglio secco da trattamento FORSU

Per l'analisi dei dati relative a tali frazioni, si fa riferimento alle indagini effettuate presso l'impianto di Noale, alla cui linea di trattamento umido arrivano i rifiuti provenienti dalla raccolta a cassonetti della frazione organica.

In particolare si richiamano le **Tablelle 12 e 13** in Appendice per l'analisi dei pesi e delle medie concernenti il sottovaglio umido dalla lavorazione e la frazione 20 mm analizzata per tale residuo, e la **Tabella 14** in Appendice per il sopravaglio secco. I commenti su tali residui sono stati riportati precedentemente.

Media dei risultati

I successivi grafici permettono un raffronto, per le tre macrofrazioni prese in considerazione (organico, sottovaglio e secco residuo), fra le diverse analisi effettuate in ordine alle medie aritmetiche riscontrate per le diverse tipologie di raccolta a monte.

Oltre ai risultati ottenuti in merito alle tipologie di raccolte omogenee effettuate e, controllata la rispondenza di tali risultati, con i dati già presenti nella banca dati GFambiente in merito alla specificità dei territori in oggetto (Nord Italia, buona rispondenza delle raccolte, contesti territoriali per lo più abitativi, siti di raccolta in aree residenziali-artigianali), i raffronti permettono di operare considerazioni in merito alla possibilità di recupero effettivo di materiali (vedi l'organico) in ordine a raccolte differenziate spinte dei materiali.

Inoltre, a partire dai dati rilevati e qui rappresentati, ferma restando la connessione al territorio presso cui l'indagine è stata compiuta o alla tipologia degli specifici impianti considerati e la non ripetitività della stessa, è possibile rendersi conto, ad esempio, della presenza del materiale organico all'interno del rifiuto urbano in base alla tipologia di raccolta effettuata sul territorio.

METODOLOGIE RELATIVE ALLA CARATTERIZZAZIONE
MERCEOLOGICA DEI RIFIUTI URBANI

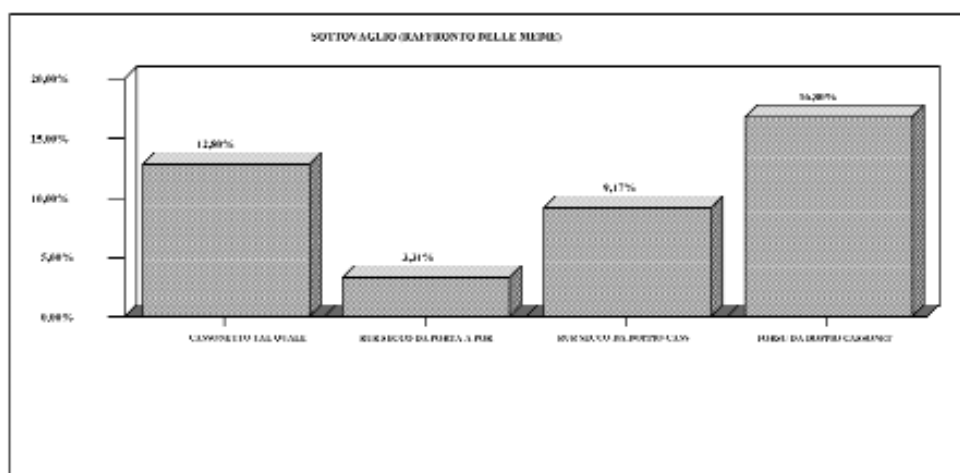
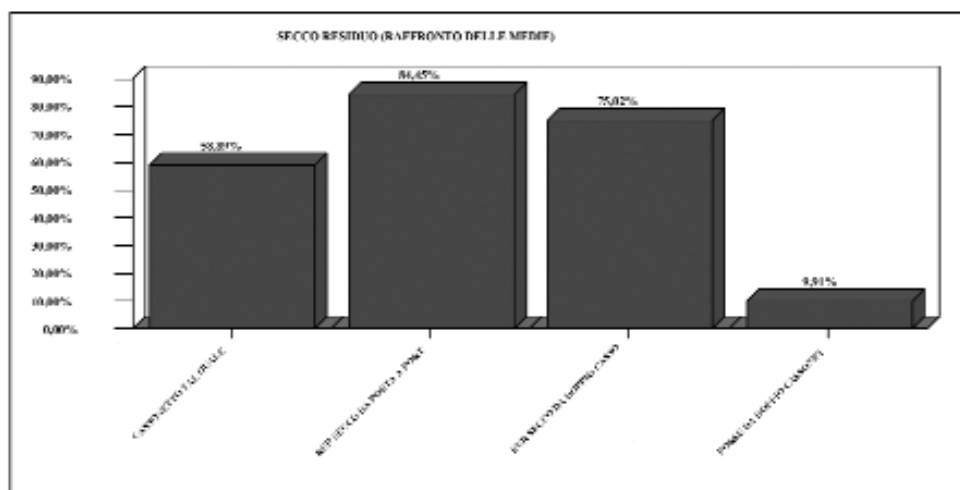
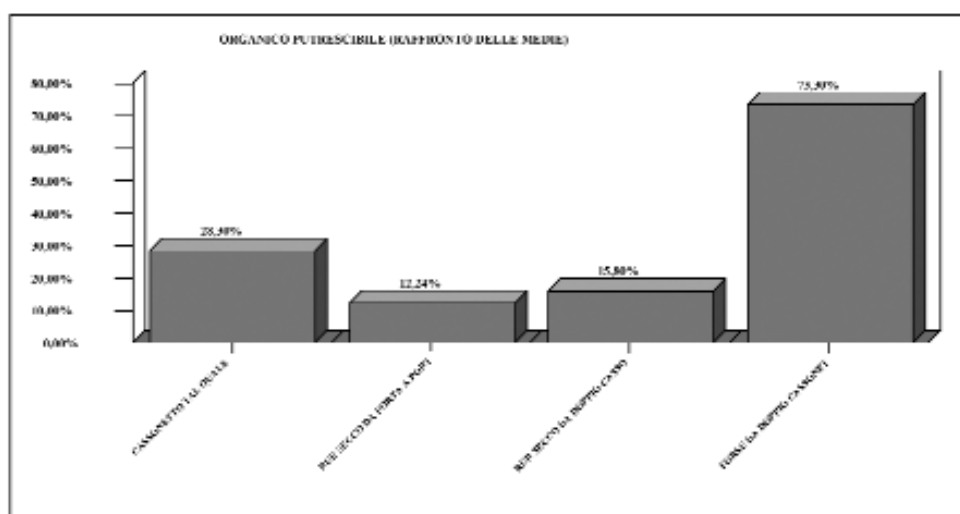


Figura 3.7: Confronto tra i valori medi di organico putrescibile, materiale secco e sottovaglio fra le diverse tipologie di raccolta.

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Analisi comparativa tra i diversi metodi

Alcune delle analisi merceologiche effettuate hanno previsto la doppia modalità di campionamento in ordine all'inquartamento (risultati precedentemente presentati) ed al metodo GFambiente, per permettere di operare un raffronto delle medie riscontrate per valutare se le variazioni possano inficiare i risultati finali utilizzando l'uno o l'altro metodo.

Le tabelle successive permettono di operare ulteriori raffronti con riferimento ad alcuni contesti territoriali in cui sono stati campionati rifiuti tal quali e rifiuti urbani residui secchi, ovvero, per i Comuni di Badia Polesine, Rovigo, Colle Umberto e Godega Sant'Urbano.

I pesi analizzati sono diversi nei due casi, in ordine alle richieste delle due specifiche metodologie. I raffronti fra i dati che emergono dalle analisi confermano valori sostanzialmente analoghi (Tab. 3.10 - 3.11 - 3.12) per le due metodologie, con scostamenti minimi, spesso alla seconda cifra decimale.

In alcuni casi, e per le frazioni più pesanti, quali organico e carta, gli scostamenti massimi, sono dell'1%. Solo per il cartone, e nella prima analisi, c'è uno scostamento del 2%: tale variazione è legata alla valutazione, connessa con il metodo GFambiente, oltre che dei sacchetti contenuti nel rifiuto, anche del materiale esterno che, è spesso costituito da materiali voluminosi, quali ad esempio i cartoni. Perciò, la misura analitica di tale materiale permette di avvicinarsi al più preciso valore ponderale per tale frazione.

Tabella 3.10: Raffronto tra i metodi di campionamento per inquartamento e il metodo GFambiente sul rifiuto tal quale.

Calderara di Reno (BO) RAFFRONTO FRA METODI	MEDIA IN PESO SINGOLE FRAZIONI	
	ROVIGO	tal quale
	INQUARTAMENTO	GFambiente
Frazione	peso campionato:	peso campionato:
	220,41	1.863,00
inquinamento	11,61%	12,34%
Organico	25,63%	25,10%
Carta	24,66%	24,59%
Cartone	10,79%	10,76%
Contenitori in plastica	2,31%	2,81%
Plastica in film	3,40%	3,77%
Altra plastica	1,81%	1,97%
Contenitori T/F	0,68%	0,77%
Vetro	6,81%	7,83%
Inerti pesanti	1,18%	0,57%
Alluminio	1,44%	1,11%
Metalli	2,86%	2,07%
Tessili	1,16%	1,02%
Pelle, Cuoi, gomme	0,90%	0,74%
Legno	3,10%	3,00%
Altri rifiuti pericolosi	0,01%	0,04%
Pile/batterie	0,00%	0,00%
Farmaci	0,03%	0,05%
Pannolini	1,60%	1,45%
TOTALE	100,00%	100,00%

**METODOLOGIE RELATIVE ALLA CARATTERIZZAZIONE
MERCEOLOGICA DEI RIFIUTI URBANI**

Tabella 3.11: Raffronto tra i metodi di campionamento per inquartamento e il metodo Gfambiente sul rifiuto tal quale.

Calderara di Reno (BO) RAFFRONTO FRA METODI	MEDIA IN PESO SINGOLE FRAZIONI	
	BADIA POLESINE	tal quale
	INQUARTAMENTO	Gfambiente
Frazione	peso campionato:	peso campionato:
	261,57	1.080,00
mmfD	10,92%	11,55%
Organico	26,13%	27,52%
Carta	11,42%	12,30%
Cartone	13,47%	11,34%
Contenitori in plastica	4,44%	4,33%
Plastica in film	5,53%	5,75%
Altra plastica	3,05%	3,02%
Contenitori TAF	1,33%	0,99%
Vetro	4,76%	4,53%
Inerti pesanti	0,88%	1,05%
Alluminio	0,88%	0,84%
Metalli	2,50%	3,21%
Tessili	6,48%	5,54%
Pelle, Cuolo, gomme	2,69%	2,75%
Legno	4,03%	3,21%
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,01%
File/batterie	0,05%	0,03%
Farmaci	0,12%	0,07%
Pannolini	1,32%	1,96%
TOTALE	100,00%	100,00%

Tabella 3.12: Raffronto tra i metodi di campionamento per inquartamento e il metodo Gfambiente sul rifiuto RUR secco.

Calderara di Reno (BO) RAFFRONTO FRA METODI	MEDIA IN PESO SINGOLE FRAZIONI	
	COLLE UMBERTO	RUR secco
	INQUARTAMENTO	Gfambiente
Frazione	peso campionato:	peso campionato:
	315,82	2.050,00
mmfD	8,37%	8,79%
Organico	12,66%	11,85%
Carta	12,57%	12,56%
Cartone	15,34%	15,85%
Contenitori in plastica	4,83%	4,27%
Plastica in film	9,98%	10,99%
Altra plastica	2,71%	3,10%
Contenitori TAF	0,43%	0,36%
Vetro	1,33%	1,05%
Inerti pesanti	0,52%	0,58%
Alluminio	1,05%	1,28%
Metalli	2,55%	3,00%
Tessili	9,99%	10,20%
Pelle, Cuolo, gomme	3,29%	3,16%
Legno	7,42%	6,77%
Altri rifiuti pericolosi	0,03%	0,00%
File/batterie	0,02%	0,02%
Farmaci	0,05%	0,08%
Pannolini	6,85%	6,10%
TOTALE	100,00%	100,00%

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 3.13: Raffronto tra i metodi di campionamento per inquartamento e il metodo Gfambiente sul rifiuto RUR secco.

Calderara di Reno (BO) RAFFRONTO FRA METODI	MEDIA IN PESO SINGOLE FRAZIONI	
	GODEGA SANT.	RUR secco
	INQUARTAMENTO	Gfambiente
Frazione	peso campionato: 200,45	peso campionato: 2.015,00
inertO	9,25%	8,97%
Organico	11,52%	11,07%
Carta	11,40%	11,73%
Cartone	14,67%	15,53%
Contenitori in plastica	5,51%	5,30%
Plastica in film	14,82%	14,79%
Altra plastica	6,21%	5,97%
Contenitori T/F	0,60%	0,63%
Vetro	1,10%	0,90%
Inerti pesanti	0,50%	0,26%
Alluminio	1,07%	0,90%
Metalli	1,75%	2,00%
Tessili	3,39%	2,95%
Pelle, Cuoio, gomme	3,99%	4,79%
Legno	7,31%	8,22%
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%
Pile/batterie	0,07%	0,04%
Farmaci	0,02%	0,04%
Pannolini	6,81%	5,92%
TOTALE	100,00%	100,00%

3.6 Conclusioni

Conoscere la composizione dei rifiuti urbani è fondamentale per la corretta pianificazione dei servizi di igiene urbana ed è uno strumento di indubbia importanza per le scelte che il legislatore dovrà effettuare per la salvaguardia ambientale e l'economia delle risorse.

Nella nuova normativa sui rifiuti tale azione emerge in modo molto chiaro all'articolo 18 del D.Lgs 22/97 che indica tra le competenze dello Stato la definizione dei metodi, delle procedure e degli standard per il campionamento e le analisi sui rifiuti.

Il decreto n. 36 del 13/01/03 recepimento della Direttiva 99/31/CE stabilisce che i rifiuti possono essere collocati in discarica solo dopo trattamento, ad eccezione dei rifiuti inerti.

Per evitare da parte degli utenti comportamenti disomogenei nei confronti dello smaltimento dei rifiuti in discarica, è necessario determinare la qualità di questi correlandola ai problemi che alcune frazioni possono causare a livello ambientale.

Le frazioni inerti non recuperabili, come ad esempio i cocci, le pietre, pezzi di vetro certamente non costituiscono un problema per la discarica, anzi possono essere considerati, previa una corretta pianificazione, come materiali utilizzabili per il recupero di territorio (ad esempio, zone di scavi).

D'altra parte, la sostanza organica putrescibile costituita per lo più dagli scarti di mensa, essendo soggetta alla degradazione da parte di organismi decompositori, produce problemi di carattere ambientale che possono tradursi in inquinamento atmosferico, del terreno e delle falde acquifere.

Inoltre, nei rifiuti sono contenute risorse che devono essere gestite in modo oculato secondo principi di efficacia efficienza ed economicità.

Per poter verificare l'attendibilità da parte dei diversi utenti e degli operatori nel settore dei rifiuti urbani nella corretta gestione, è necessario operare mediante precise procedure tecniche in grado di mettere in evidenza le caratteristiche degli scarti per il corretto smaltimento finale. Tra queste, la caratterizzazione merceologica dei rifiuti, è uno degli strumenti principali per conoscere il rifiuto e condizionare in modo positivo tutte le altre azioni che devono essere svol-

te per il rispetto della legge in termini di gestione e smaltimento dei rifiuti secondo principi di efficienza, efficacia ed economicità.

Il presente studio ha avuto come fine principale l'analisi merceologica dei rifiuti provenienti da contesti territoriali urbani distinti per tipologia di raccolta effettuata e da impianti di trattamento dei rifiuti in cui si originano flussi di tali rifiuti da destinarsi alla discarica.

Oltre alla descrizione delle metodologie che potranno essere in futuro utilizzate come pratica di indagine nell'ottica di una standardizzazione dei metodi, sono stati forniti valori di riferimento che potranno essere utilizzati per la definizione dell'eventuale normativa tecnica verso cui l'utenza dovrà attenersi.

Infatti, dalle analisi sperimentali riferite al contesto territoriale presente nella Regione Veneto, sono emersi i dati che permettono di quantificare la presenza delle diverse frazioni merceologiche contenute nei rifiuti avviabili in discarica ed, in particolare, la presenza della frazione organica putrescibile.

Si è reso necessario far notare, nell'analisi dei dati in oggetto, la puntualità delle rilevazioni eseguite. Infatti, un contesto territoriale diverso da quello considerato, la stagionalità dell'indagine, l'attivazione di sistemi di raccolta differenziata a monte in evoluzione per il raggiungimento delle percentuali di raccolta differenziata e di intercettazione degli imballaggi previsti dalla normativa, l'accresciuta sensibilizzazione dell'utenza a tali problematiche, sono tutti elementi che produrranno all'interno del rifiuto variazioni in termini percentuali delle singole frazioni.

Ad esempio, considerando la frazione organica, bisogna segnalare che, all'interno di questa, sono presenti sia gli scarti organici di mensa, sia il verde città proveniente da sfalci di potature, ramaglie, ecc. In particolare, tale ultima frazione, è soggetta fortemente alla stagionalità ed al contesto territoriale, con ovvie variazioni in termini percentuali.

Inoltre, occorre considerare anche il contesto territoriale di riferimento per l'indagine in oggetto. È noto infatti l'aspetto "sociale" connesso al rifiuto prodotto: contesti territoriali posti in meridione hanno spesso una merceologia del rifiuto diversa da quella del Nord, così come zone o città su cui gravano attività prevalentemente di tipo artigianale o industriale producono una maggiore quantità di rifiuto "secco" rispetto a zone popolari o artigianali in cui è decisamente più alta la produzione di frazione organica putrescibile.

Allo scopo di definire una maggiore rappresentatività delle indagini, in modo da tener conto della reale quantità dei rifiuti, della diversa produzione temporale e territoriale, dei tipi e delle tecnologie di raccolta utilizzate, si rivelerebbe quindi opportuno ripetere in periodi diversi dell'anno ed in contesti territoriali più ampi tale ricerca.

In tal caso, con un universo statistico maggiormente rappresentativo, sui dati in esame si renderebbe applicabile l'utilizzo di metodi di elaborazione statistica in grado di fornire una maggiore rispondenza alla realtà delle analisi.

4. Metodologie di trattamento dei rifiuti urbani il bioessiccamento e la biostabilizzazione

4.1 Bioessiccamento

Il processo di bioessiccamento per la gestione dei rifiuti è noto in letteratura con la definizione di *Mechanical-Biological and Stabilate Method* (MBS) (Wiemer e Kern, 1996). Questo processo ha due obbiettivi fondamentali:

1. assicurare la stabilità biologica dei rifiuti per lo stoccaggio a lungo termine, in modo tale da ridurre od eventualmente annullare maleodoranti emissioni di gas e polveri, ed igienizzare il rifiuto;
2. produrre un buon substrato per la termoutilizzazione (elevato potere calorifico).

Il carbonio contenuto nei rifiuti rappresenta il potenziale energetico; è quindi auspicabile ridurre al massimo la decomposizione della sostanza organica al fine di mantenere elevato il potere calorifico. La stabilizzazione del rifiuto avviene dunque tramite la riduzione del contenuto percentuale di umidità fino a valori del 7-15 % (in funzione dell'umidità iniziale); in tali condizioni ogni attività biologica è soppressa e non si ha degradazione.

Il bioessiccamento viene raggiunto attraverso due stadi principali:

- triturazione meccanica blanda del rifiuto tal quale per aumentarne la superficie di evaporazione e di scambio della massa, ottenendo così un'accelerazione dei processi di bioessiccamento;
- trattamento biologico della matrice precedentemente triturata. Questo stadio avviene a mezzo di aerazione forzata della biomassa, sfruttando il calore sviluppato dalle reazioni biologiche aerobiche. Il prodotto finale, bioessiccato, viene stoccato temporaneamente in discarica od utilizzato direttamente come combustibile (CDR) in impianti di termoutilizzazione dove si sfrutta il calore prodotto dalla combustione per il riscaldamento delle abitazioni o lo si converte in altre forme di energia.

Il seguente schema (figura 4.1) ci mostra un esempio di bioessiccamento.

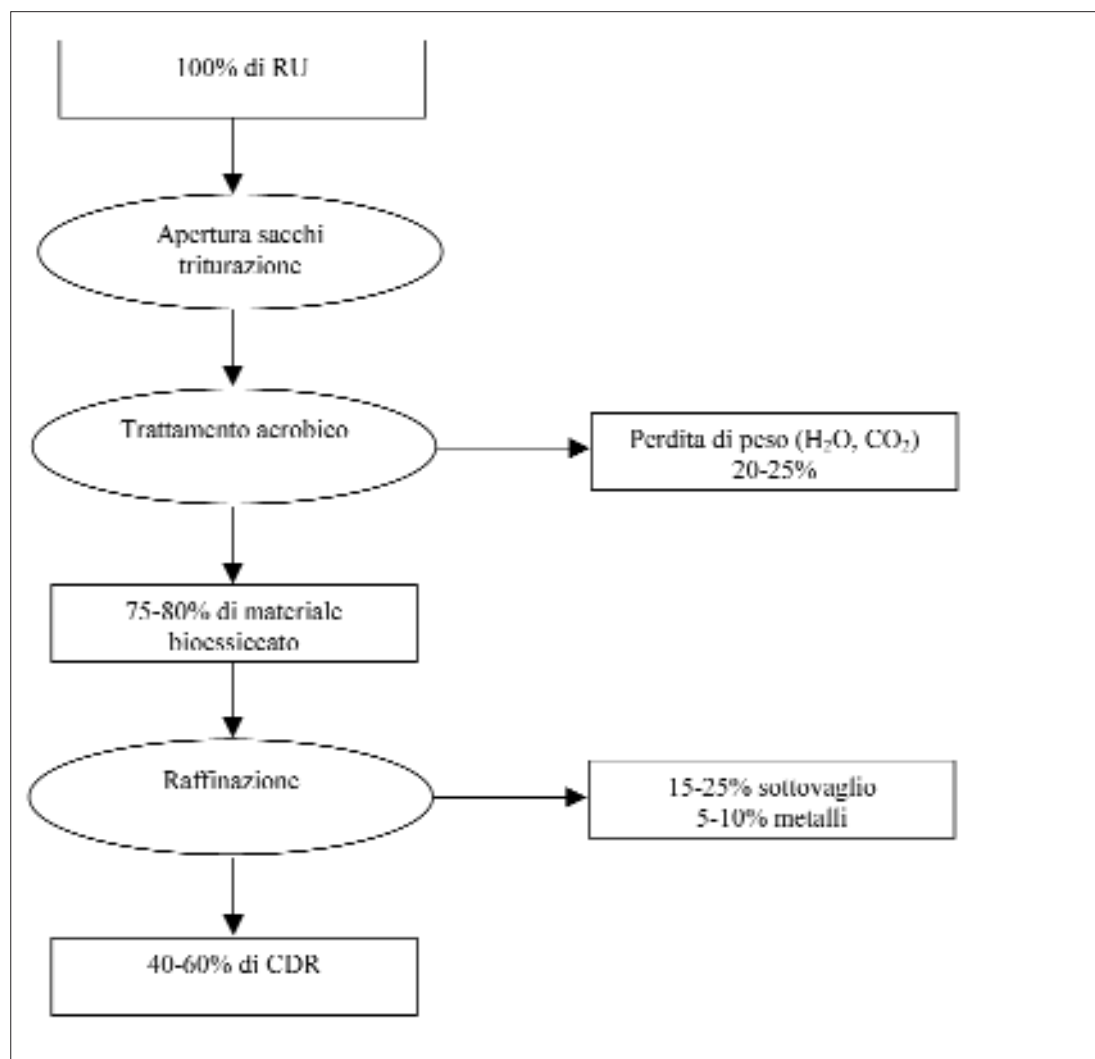


Figura 4.1: Bioessiccamento (MBS): schema di processo e bilancio di massa.

4.2 Biostabilizzazione

Tale tipologia di trattamento è conosciuto come trattamento meccanico-biologico o di biostabilizzazione, noto anche come MBE (Mechanical Biological end Composting) ed è attualmente tra i più diffusi in Europa ed in particolare in Germania.

L'obiettivo del sistema MBE è ottenere un prodotto stabile da un punto di vista biologico, tale da potersi ritenere "inerte".

La stabilità biologica viene raggiunta attraverso un trattamento a "differenziazione di flussi", in cui si individuano tre tappe distinte (Figura 4.2):

- *pre-trattamento meccanico*: volto a separare la cosiddetta frazione "secca" (sovvallo) dalla frazione umida (sottovaglio) che concentra in sé il materiale organico;
- *stabilizzazione della frazione umida*: in seguito a processi ossidativi da parte di microrganismi, mediante il periodico rivoltamento, aerazione e bagnatura della massa, allo scopo di ottenere un prodotto il più possibile stabile da un punto di vista biologico;
- *eventuale post-trattamento meccanico*: per la raffinazione del materiale da destinare alla copertura giornaliera di discariche, a ripristini ambientali o in discarica quale materiale "inerte".

Un'alternativa al trattamento a "separazione di flussi" è data da quello a "flusso unico" (Figura 4.3.), dove tutto il rifiuto in ingresso all'impianto subisce un trattamento biologico, mentre il trattamento meccanico si limita ad una semplice frantumazione del rifiuto (Adani, 2000). Considerando i dati relativi al contenuto della frazione organica in quella secca derivante da raccolta differenziata (Tab.4.1), diviene palese che, operare una selezione meccanica per classi granulometriche prima di stabilizzare assumerà un significato diverso. Considerando che, mediamente, la frazione organica da selezione meccanica (sottovaglio) rappresenta il 30-35 % del rifiuto in ingresso all'impianto, l'intercettazione della frazione organica a mezzo di raccolta dedicata, ridurrà la quantità di sottovaglio a valori che potrebbero attestarsi attorno al 20 % del rifiuto in ingresso, con contenuti di frazione organica che potrebbero risultare intorno al 30-50 % di tale frazione.

In tale ottica, appare inutile, ai fini della stabilizzazione biologica, la suddivisione del rifiuto in ingresso nei due flussi, tenuto conto anche del fatto che, come già riportato, la frazione residua, che presenta un contenuto di organico non trascurabile ai fini della determinazione dell'impatto del rifiuto stesso, dovrà in un prossimo futuro, essere sottoposta a trattamento biologico.

Se tutto ciò fosse confermato, le tipologie d'impianto esistenti a tutt'oggi e dedicate a tale trattamento diverrebbero sopra dimensionate per quanto attiene la sezione di trattamento biologico e, forse, inutili così come intese. Una soluzione per l'uso di tali impianti potrebbe essere il by-pass del pretrattamento meccanico di selezione, utilizzando la parte dedicata al trattamento biologico per il trattamento del rifiuto integrale, divenendo di fatto, il trattamento biologico a flussi separati, un trattamento a flusso unico.

In generale, indipendentemente dalle soluzioni impiantistiche utilizzate nei processi di biostabilizzazione, un'accettabile grado di stabilità biologica può ottenersi, in condizioni ottimali, in circa 2-4 settimane.

Altri Paesi, quali la Germania e l'Austria, sono usi prolungare il processo di stabilizzazione per più tempo (fino a 8 mesi) in seguito ad una fase di curing. Alla luce di indagini condotte in laboratorio, ma ancora più importante in impianti in scala reale, la presenza di una fase di curing appare inutile se confrontata con i risultati conseguibili.

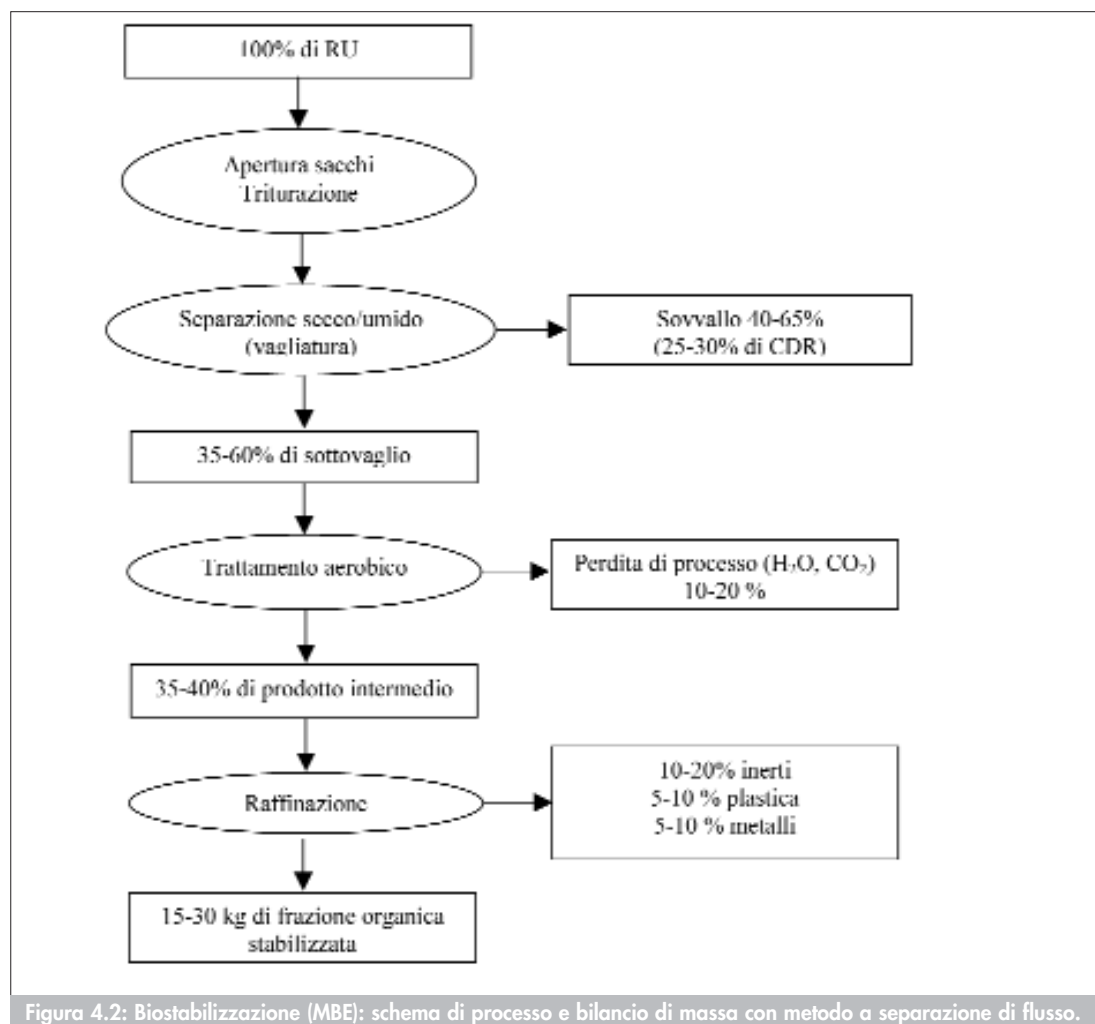


Figura 4.2: Biostabilizzazione (MBE): schema di processo e bilancio di massa con metodo a separazione di flusso.

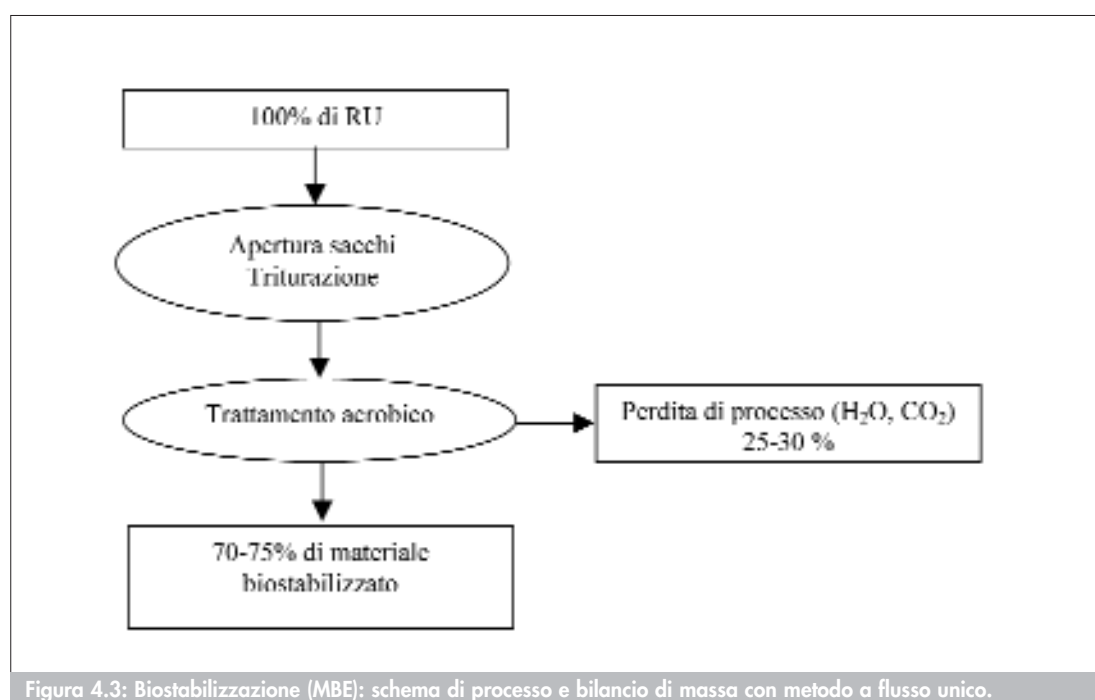


Figura 4.3: Biostabilizzazione (MBE): schema di processo e bilancio di massa con metodo a flusso unico.

4.3 La discarica e il pretrattamento dei rifiuti

I fenomeni di produzione di gas che accompagnano la degradazione delle sostanze organiche in assenza d'ossigeno sono noti ormai da lungo tempo, anche se solo recentemente sono stati fatti approfonditi studi su quanto avviene nelle discariche per rifiuti solidi urbani.

La discarica bioattiva (dove sono smaltiti i rifiuti solidi urbani) si comporta come un sistema vivente, nella quale avvengono processi biologici paragonabili a quelli di ecosistemi ricchi di materia organica e dove la diffusione dell'ossigeno dall'atmosfera è difficile o impossibile (sedimenti, paludi, terreni saturi d'acqua).

Discariche inerti e discariche nelle quali vengono smaltite solo scorie prodotte dagli inceneritori di rifiuti, caratterizzate da valori di carbonio residuo minimi, non producono quantità apprezzabili di biogas, perché la sostanza organica presente non è sufficiente a sostenere il metabolismo di una popolazione batterica.

Nella discarica bioattiva si sviluppa una comunità di microrganismi atti a degradare la materia organica per trarne energia e biomassa. La degradazione avviene in diversi stadi, caratterizzati ognuno da un gruppo differente di microrganismi in simbiosi per la fonte di nutrimento.

I prodotti finali di questa sintrofia metanigena stabile sono, il metano e la CO_2 .

Appena depositati i rifiuti sono aggrediti da microrganismi. Nei primi giorni, l'ossigeno presente nella massa di rifiuti viene consumato. Questa fase aerobica è molto breve e limitata agli strati poco profondi della discarica, poiché la diffusione dell'ossigeno dall'atmosfera viene contrastata dalla presenza di altri gas prodotti dai processi di degradazione negli strati più profondi. Una volta consumato l'ossigeno comincia a svilupparsi la sintrofia metanigena, vera e propria, ad opera di tre gruppi di batteri (fermentativi, acetogeni e metano-batteri).

È fondamentale comprendere che l'apparizione di questi tre gruppi di batteri non è simultanea, ma, è sottoposta alla disponibilità dei singoli substrati ed a parametri chimico-fisici molto ristretti (pH, presenza di ossigeno, feed-back negativo dei prodotti di altri batteri).

In quest'ottica può essere utile osservare come avviene la produzione di biogas in una discarica, in particolare si evidenziano diverse fasi:

- Fase I Aerobica
- Fase II Anaerobica non-metanogenetica o fase acida
- Fase III Anaerobica Metanogenetica Instabile
- Fase IV Anaerobica Metanogenetica Stabile

Le medesime fasi vengono illustrate in figura 4.4.

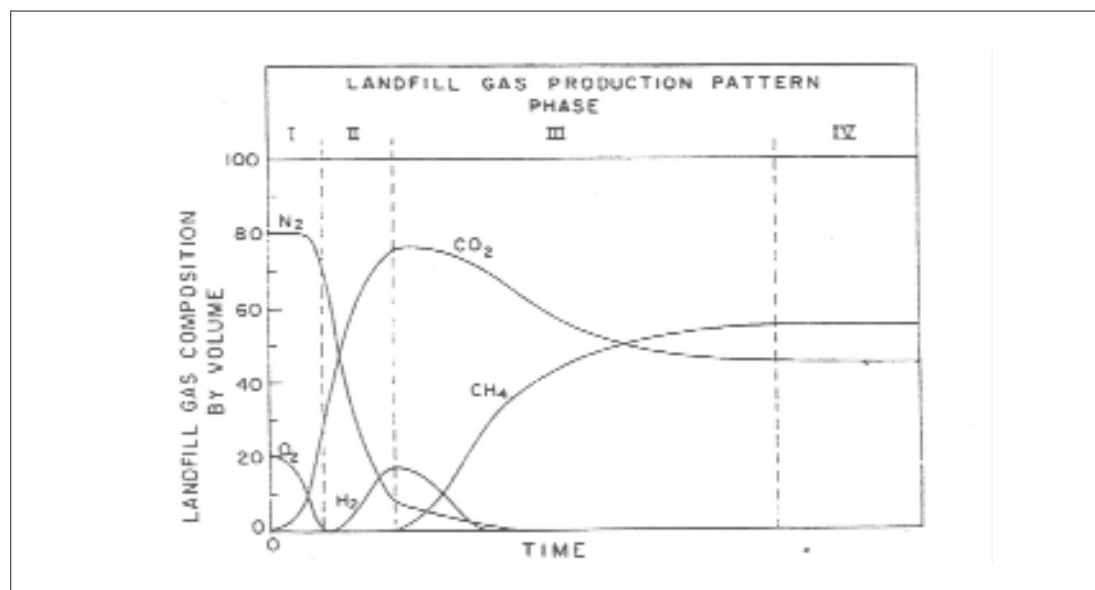


Figura 4.4: Modello di produzione del biogas in discarica. (Fonte: Farquhar and Rovers, 1997)

E' ipotizzabile per i rifiuti urbani stabilizzati, ovvero sottoposti ad un trattamento biologico, un passaggio anticipato alla fase III. Ciò comporta una più rapida emissione di metano, con notevole riduzione degli eventuali tempi di gestione della discarica che, in condizioni d'interamento di rifiuti "freschi", sono pari a 50 anni. I tempi per il completamento delle fasi I, II, III sono variabili: 180 giorni; 250 giorni; 500 giorni, a seconda delle condizioni e del tipo di rifiuto.

4.3.1 Aspetti quantitativi della produzione di biogas

Per valutare la produzione attesa di biogas da una discarica per rifiuti solidi urbani, si applica normalmente un modello matematico che simula l'attività di degradazione del substrato operata dai batteri, basato su una cinetica di primo ordine, per cui la velocità di degradazione è proporzionale al substrato residuo:

$$dC/dt = -kC$$

dove C è il substrato disponibile in termini di sostanza organica biodegradabile e k un opportuno coefficiente di biodegradazione.

Poiché la velocità di produzione del biogas è proporzionale alla velocità di rimozione del substrato, la produzione specifica di biogas nel tempo può essere calcolata come:

$$g = GO e^{-kt}$$

dove GO è la quantità massima di gas producibile a partire dalla sostanza organica biodegradabile disponibile.

Per i rifiuti solidi urbani si stima che la quantità massima di biogas producibile, nell'arco di tutto il processo di degradazione, sia mediamente pari a circa 200 m³ t⁻¹ di sostanza secca. Reiterando il modello matematico sulla base degli apporti annui di rifiuti, si possono calcolare e sommare le portate di gas prodotte annualmente, ottenendo una curva tipo (Figura 4.5).

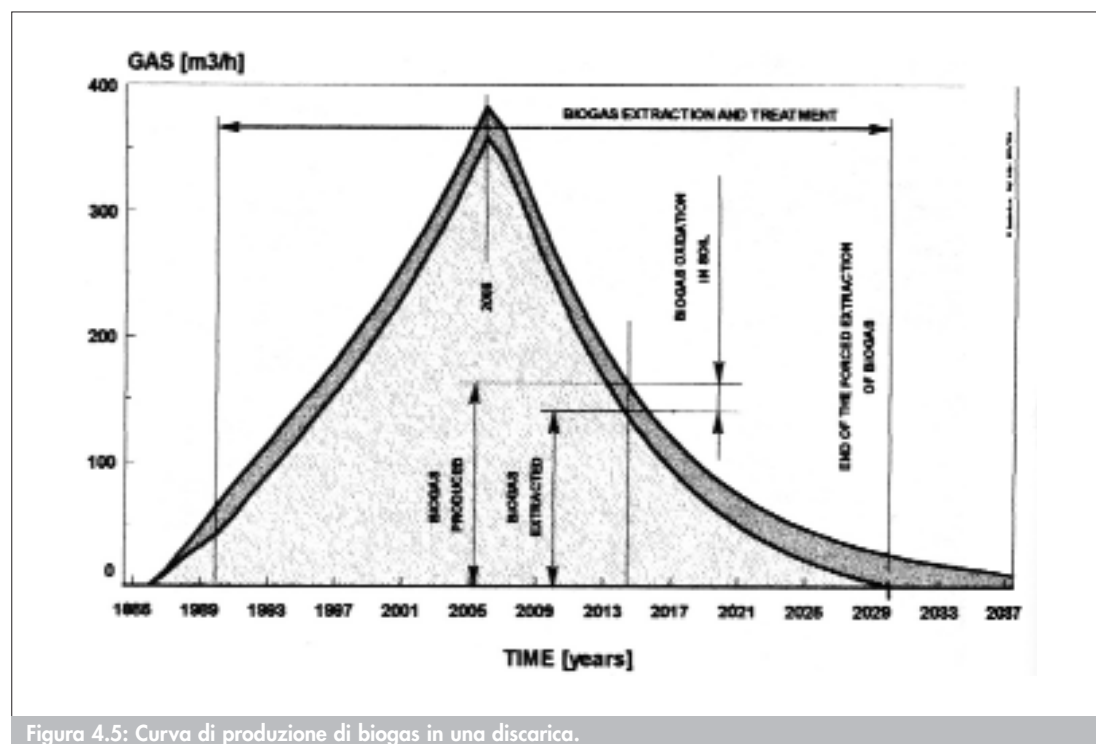


Figura 4.5: Curva di produzione di biogas in una discarica.

Il tratto più scuro indica la porzione di gas che la superficie della discarica è in grado di degradare da sola: nello strato di copertura superficiale, infatti, si instaurano condizioni aerobiche, ed è proprio in quello spazio che risiedono i batteri in grado di ossidare, almeno in parte, il metano. La capacità ossidativa dipende dall'estensione della superficie bioattiva e dallo spessore dello strato aerobico superficiale.

Durante la fase d'esaurimento della degradazione biologica dei rifiuti, la produzione del biogas diminuisce progressivamente, fino al punto in cui è sufficiente la sola azione biologica del terreno superficiale ad evitare che sia emesso metano dalla discarica. A questo punto è possibile terminare la gestione degli impianti di smaltimento di biogas.

Il biogas deve essere canalizzato ed estratto dalla discarica, in maniera controllata, e smaltito, in seguito, in modo da renderlo innocuo per l'atmosfera che lo riceve. In assenza di un corretto ed efficiente sistema di captazione, il biogas tende ad accumularsi all'interno del corpo dei rifiuti, creando una sovrappressione; poiché nessuna discarica è assolutamente impermeabile, per effetto di questa sovrappressione, il biogas tenderà a fuoriuscire dal corpo dei rifiuti e diffondere in atmosfera o migrare nei terreni circostanti.

4.3.2 *Comportamento in discarica dei rifiuti pretrattati*

Quando i rifiuti urbani (RU) vengono smaltiti in discarica senza pretrattamenti, durante e dopo la fase attiva della discarica si determinano produzioni di biogas dell'ordine di circa 250 m³ di biogas/t RU e 5 m³/Ha di percolato, in relazione alla composizione dei rifiuti e alle condizioni ambientali. In seguito ai processi di degradazione biologica, si verifica un significativo cedimento dell'ordine del 20-25 % del peso della discarica, che può danneggiare le coperture e i condotti d'estrazione del biogas e raccolta del percolato. Il percolato ottenuto deve essere raccolto e trattato, con notevoli costi tecnici, per molti anni (decenni); il biogas prodotto viene estratto e bruciato o usato come fonte di energia.

Con il pretrattamento meccanico-biologico dei rifiuti urbani residui può essere significativamente migliorato il comportamento delle discariche. Il contenuto organico (BOD) e l'azoto totale nel percolato, così come il tasso di produzione di biogas, sono ridotti di circa il 90 % rispetto ai rifiuti non pretrattati e il volume da smaltire diminuisce, grazie ai trattamenti meccanico-biologici di oltre il 60 %.

Il pretrattamento dei rifiuti porta al conseguimento dei seguenti obiettivi:

- riduzione del volume necessario in discarica, a seguito del recupero e riciclaggio di materiali riutilizzabili e della degradazione della sostanza organica;
- riduzione delle emissioni di biogas e percolato dalla discarica a seguito della stabilizzazione dei rifiuti;
- significativa riduzione delle incrostazioni ed intasamenti nella rete di raccolta del percolato;
- rimozione di materiali indesiderati e potenzialmente inquinanti;
- riduzione degli odori durante le operazioni;
- minori spese per la compattazione;
- assestamenti di entità ridotta.

Inoltre, i processi che avvengono in discarica, nel corso di lunghi periodi, sono ridotti a pochi anni. Il potenziale d'emissione contenuto nei rifiuti è ridotto durante il pretrattamento così che, in rapporto ai rifiuti non trattati, si verificano emissioni inferiori, le quali possono essere controllate con spese ridotte. Lo scopo dei pretrattamenti meccanico-biologici non è quello di produrre compost da utilizzare in agricoltura ed orticoltura in quanto il contenuto di metalli pesanti e di altre sostanze dannose è troppo elevato.

La riduzione di massa che si verifica, a seguito della separazione delle frazioni riutilizzabili dal flusso di rifiuti in ingresso all'impianto di pretrattamento e dei processi di degradazione e di disidratazione, è valutabile tra il 20 ed il 40 % a seconda del processo scelto e della composizione dei rifiuti.

La densità in discarica del materiale pretrattato dovrebbe attestarsi intorno a 1.2-1.4 Mg/m³,

contro circa 0.8-0.9 Mg/m³ nel caso di rifiuti non pretrattati. Come conseguenza è lecito attendersi oltre ad un risparmio di volume, anche una minore rilevanza dei fenomeni di assetamento. In Figura 4.6. è rappresentato il risparmio di volume in discarica atteso a seguito dei pretrattamenti. In particolare, al pretrattamento meccanico è associabile una riduzione del volume occupato in discarica del 30 %. Dopo l'ulteriore trattamento, la riduzione di volume ipotizzata è del 60 %, in confronto a rifiuti non pretrattati.

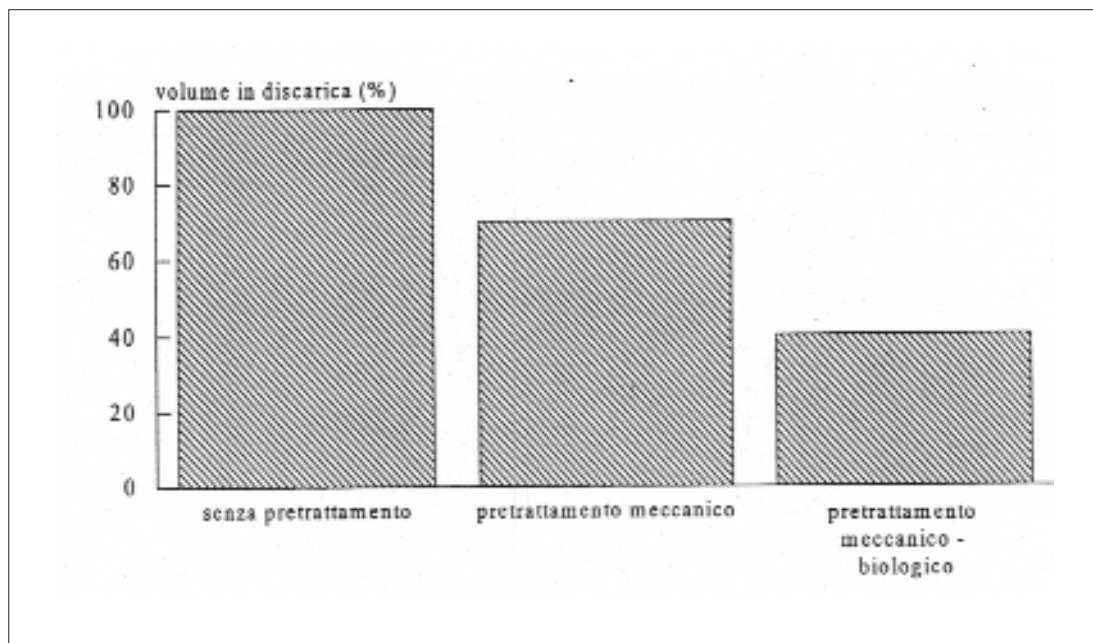


Figura 4.6: Volume di biogas prodotto in discarica.

Il pretrattamento meccanico-biologico dei RU può essere effettuato come un processo unico o in combinazione con un pre-trattamento termico:

- pretrattamento meccanico-biologico come alternativa al pretrattamento termico,
- pretrattamento meccanico-biologico come processo equivalente in combinazione con il pretrattamento termico dopo la separazione del flusso di rifiuti in una componente ad alto potere calorifico (CDR) ed una degradabile biologicamente,
- pretrattamento meccanico-biologico come fase di pretrattamento prima del trattamento termico per ridurre la quantità di rifiuti da incenerire.

Indagini su impianti di scala reale per il pretrattamento meccanico-biologico, dei rifiuti residui, mostrano una buona efficienza dei processi biologici che mirano alla inertizzazione del rifiuto prima dello smaltimento in discarica. L'attività biologica misurata come l'attività di respirazione e la produzione anaerobica di biogas, sono parametri appropriati per descrivere l'efficienza dei processi di trattamento. Essi diminuiscono durante il trattamento di oltre il 95 %. In figura 4.7. è rappresentata una previsione della produzione di biogas in discarica dopo diversi trattamenti.

Per un sistema di gestione dei rifiuti che preveda il riciclaggio ed il pretrattamento meccanico-biologico, è prevista una riduzione del 50-90% della produzione di biogas, valutabile quindi in 20-80 Nm³ per tonnellata di rifiuti pretrattati. Nel biogas da rifiuti pretrattati si registrano anche concentrazioni di composti indesiderati inferiori rispetto al caso di rifiuti non trattati.

Il carico organico nel percolato è ridotto dell'80% e i costi di trattamento risultano inferiori.

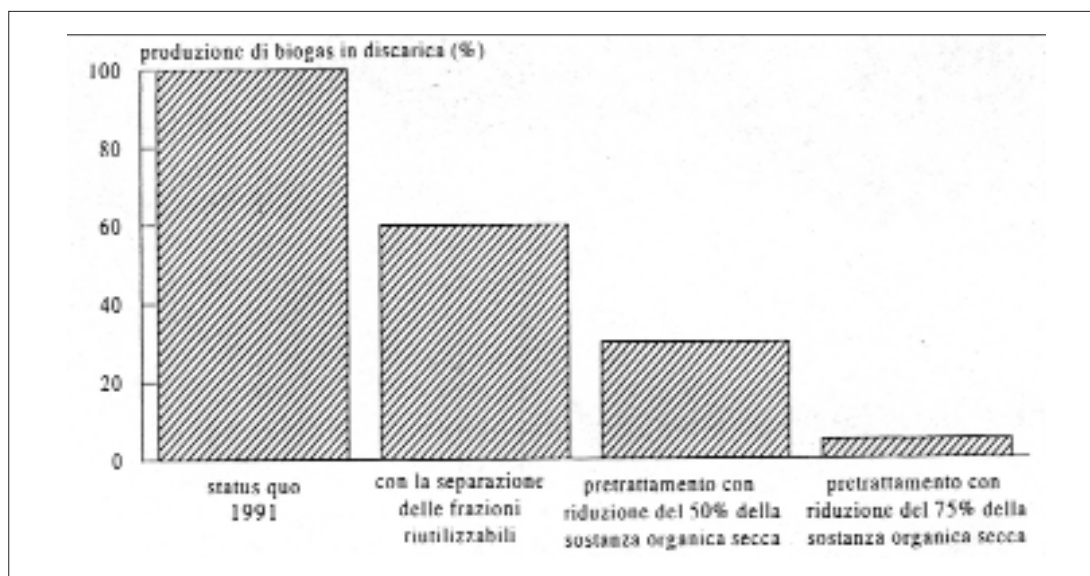


Figura 4.7: Diverse fasi di produzione di biogas in discarica in differenti casi di raccolta differenziata e pretrattamento.

Diversi paesi dell'Europa occidentale (Austria, Svizzera, Finlandia, Olanda, Germania) richiedono di porre fine allo smaltimento in discarica dei rifiuti tal quali, consentendo un certo periodo di transizione. Ad esempio, il TA Siedlungsabfall (TASI) della Germania prescrive per i rifiuti da depositare in discarica standard diversi, che solo in alcuni casi possono essere utilizzati quali parametri. L'opportunità di riferirsi a parametri quali SV (Solidi Volatili) e TOC (Total Organic Carbon) nella normativa Tedesca è attualmente in discussione; essi, infatti, non sono rappresentativi dell'effettivo potenziale inquinante dei rifiuti, in termini di emissioni di biogas e percolato. E' in corso un progetto di ricerca con l'intento di verificare se processi diversi, in particolare pretrattamenti meccanico-biologici, possano soddisfare i requisiti generali del TA Siedlungsabfall. A questo proposito sono stati realizzati tre impianti a scala reale per il pretrattamento meccanico-biologico (MBP).

Già dai primi risultati si è evidenziato come, per valutare correttamente il grado di stabilizzazione dei rifiuti, sono sicuramente più adatti test per la determinazione del BOD, test di produzione di biogas e test respirometrici.

A prescindere dalle metodologie adottate, scopo della ricerca nello smaltimento dei rifiuti in discarica è individuare metodi ed indici idonei a descrivere la "reattività biologica residua" di un rifiuto trattato, reattività che è meglio conosciuta, come "stabilità biologica".

I processi di trattamento biologico aerobico si prefiggono diverse finalità, le principali, sono di agire sui rifiuti organici diminuendone l'ingombro volumetrico, concentrandoli e convertendoli in materiale inoffensivo. Inoltre, il suddetto tipo di trattamento è finalizzato a trasformare il rifiuto in un materiale con proprietà ottimali per un successivo specifico uso. Il raggiungimento di tali obiettivi di trattamento biologico, può essere definito attraverso la verifica della stabilità biologica, nonché della maturità, termini questi non necessariamente equivalenti.

4.3.3 Gli scenari futuri

In attesa del raggiungimento degli obiettivi di raccolta differenziata, così come richiesto dal Decreto legislativo 22/97 (35 % entro il 2003), la frazione residua, di fatto, comprende anche la frazione "umida", in considerazione di ciò, e tenendo conto degli scenari futuri (raccolta secco-umido), la raccolta differenziata determina e determinerà, di fatto, tre frazioni di materiale:

1. il rifiuto residuo della raccolta differenziata non recuperabile altrimenti, comprendente anche la frazione umida non intercettata con raccolta dedicata; tale frazione, così come negli intenti del D.lgs.22/97, è destinata a scomparire per far posto alle due di seguito elencate;

2. il rifiuto residuo della raccolta differenziata non recuperabile altrimenti (frazione secca residua della raccolta differenziata);
3. la frazione umida selezionata di provenienza domestica e mercatale.

Mentre la frazione umida è destinata alla produzione di ammendanti di qualità attraverso la pratica del compostaggio, la frazione residua (comprendente o no, la frazione umida) deve trovare una sua collocazione che potrà essere la discarica (previa biostabilizzazione) o, in via preferenziale, la produzione di combustibile derivato dai rifiuti (CDR) a mezzo bioessiccamento.

Con riferimento al destino della frazione residua in discarica, è utile considerare quella che è la composizione di tale frazione, e quindi, la maggiore o minore necessità di pretrattare il rifiuto.

Dati riportati in letteratura (tab. 4.1.) indicano che, il contenuto di frazione organica nella frazione residua è tutt'altro che trascurabile (35 %) anche quando la raccolta differenziata prevede l'implementazione della raccolta dell'umido (21 %). A ciò deve aggiungersi la presenza, difficilmente quantificabile, di frazioni putrescibili associate alle altre frazioni (contenitori alimentari, pannolini, etc.).

Tabella 4.1: Composizione (% p/p) del rifiuto tal quale in presenza della raccolta secco/umido o solo secco

	RU tal quale	Racc. diff. Secco/umido	Racc. diff. frazione secca
Organico	28	21	35
Carta	26	20	16
Plastica	12	17	14
Metalli	4	6	5
Legno/tessile	6	8	7
Vetro	9	6	5
Altro	15	22	18
Totale	100	100	100
Rapidamente putrescibile	33	28	41

Da: Ambiente Italia - 1998

Analisi condotte in Provincia di Milano (1998) sulla frazione residua di 23 comuni, in un ambito di raccolte dell'umido molto spinte, 98 % di purezza, indicano un contenuto di frazione organica in tale frazione del 20,7 %, di cui circa il 12,8 % nella frazione $\varnothing < 20$ mm e la restante nel sopravaglio, con punte che arrivano al 37 %, confermando quanto prima riportato. Da queste premesse, si evince che la frazione residua potrà destinarsi in discarica solo in seguito ad un processo che promuova la degradazione della frazione putrescibile, ovviando a problemi igienico - sanitari e di immissione di composti osmogeni nell'ambiente, nel caso in cui il contenuto di frazione organica risulti ancora elevato.

5. La determinazione della stabilità biologica

L'evoluzione della sostanza organica nei processi di compostaggio e nei processi aerobici biologici in genere, procede sia in termini quantitativi (variazione del peso totale di ogni singola frazione della sostanza organica contenuta), che qualitativi (modificazione della struttura molecolare delle frazioni organiche). E' in seguito a tali processi che la sostanza organica contenuta diviene stabile, matura ed umificata, raggiungendo un grado di evoluzione che dipenderà dai tempi di processo e dalle modalità adottate.

Il concetto di stabilità biologica applicato ai processi aerobici, è stato in passato oggetto di molte interpretazioni e spesso usato quale sinonimo di maturità ed umificazione. Appare opportuno dunque fornire un'esatta definizione di questi concetti.

5.1 Stabilità biologica

La stabilità biologica indica lo stato in cui, garantite le condizioni ottimali per l'esplicarsi delle attività microbiologiche in condizioni aerobiche (ottimizzazione dei parametri chimico-fisici), i processi di biodegradazione si presentano alquanto rallentati (Adani e Tambone, 1998). Graficamente il raggiungimento della stabilità può essere individuato riportando le perdite dei solidi volatili in funzione del tempo, come visualizzato nella figura 5.1.

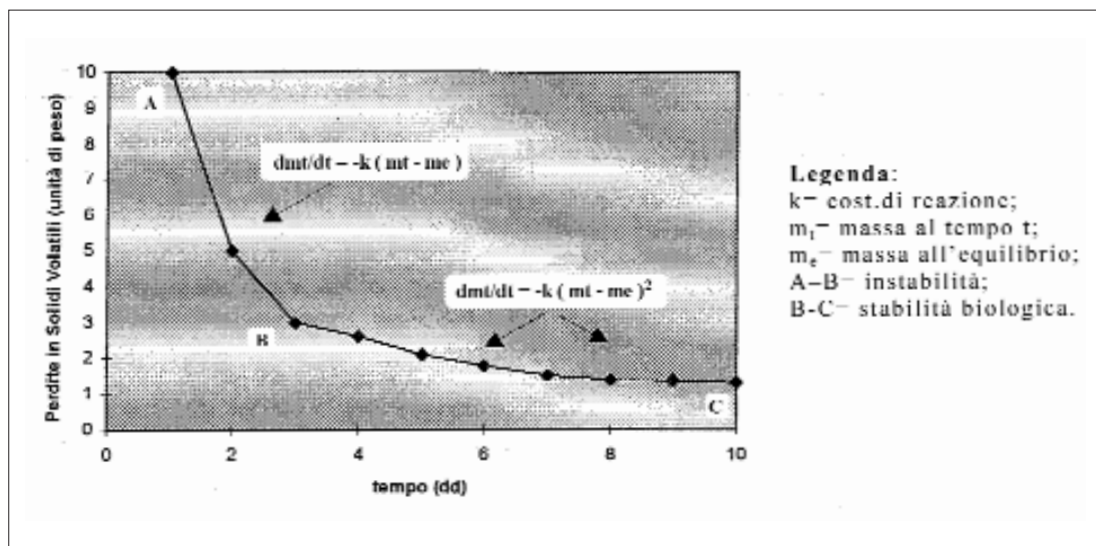


Figura 5.1: Andamento dei solidi volatili nel tempo.

Da un punto di vista matematico, da studi effettuati presso l'Università di Milano - Dipartimento Di.Pro.Ve., una cinetica di degradazione dei solidi volatili di primo ordine (fase di intensa degradazione, tratto A-B della curva) individua uno stato di non Stabilità Biologica. Al contrario, cinetiche di degradazione d'ordine superiore (secondo e terzo) individuano il raggiungimento della Stabilità Biologica (tratto B-C della curva).

Maturità

Un substrato è considerato maturo quando non mostra fenomeni di fitotossicità.

Il raggiungimento della maturità è indipendente dalla stabilità biologica; ne è un esempio il fatto che molti fanghi biologici, a diversi stadi di digestione, presentano elevata instabilità biologica, pur non mostrando effetti di fitotossicità apprezzabile. Tuttavia dipendendo la fitotossicità dalla presenza di metaboliti intermedi della via di decomposizione, potrebbe esservi in taluni casi, una relazione diretta.

Per una corretta valutazione della maturità, ci si affida a test ormai collaudati.

5.2 I metodi di determinazione della stabilità biologica

Come già evidenziato, i processi biologici compostaggio, bioessiccamento e biostabilizzazione, hanno quale obiettivo la totale o parziale degradazione della frazione organica fermentescibile per ottenere la stabilità biologica.

Per determinare la stabilità biologica di un rifiuto esistono diverse metodologie. In particolare, nella presente rapporto verranno considerate le seguenti:

- determinazione dei *solidi totali volatili*
- determinazione dei *solidi potenzialmente fermentescibili* (Spf)
- metodi respirometrici
- metodi di produzione residua di biogas
- metodi di cessione in H₂O distillata
- test con cartina all'acetato di piombo
- Test IMAGE

5.2.1 Determinazione dei solidi totali volatili

Il test per la determinazione dei solidi totali volatili (STV) è standardizzato in Italia dall'IRSA-CNR (Metodi analitici per i fanghi, quaderno 64, 1985).

Questo test è stato inserito nella normativa di alcuni paesi europei come indice di riferimento per valutare la stabilità biologica dei rifiuti (in Germania, secondo la normativa attualmente in vigore, dal 2004 si potranno smaltire in discarica solo rifiuti con un valore di STV<5%).

L'uso di questo indice, però, è messo in discussione da molti studiosi perché non rispecchia il reale grado di stabilità biologica dei rifiuti, in quanto il contenuto di solidi volatili in un campione è influenzato anche dalla presenza di composti organici non biodegradabili.

5.2.2 Determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili (Spf)

I solidi potenzialmente fermentescibili (Spf) rappresentano la frazione di sostanza organica realmente biodegradabile contenuta nei rifiuti. Tale aspetto è importante per distinguere quei materiali quali plastiche, gomme, lignina, ecc. che rientrano nella categoria dei solidi volatili SV, ma che non vengono attaccati dai microrganismi durante il trattamento. La determinazione di tale indice è relativamente recente e avviene mediante estrazione con etanolo ed acido cloridrico (Adani et al., 1998).

Recenti studi (Cossu et al. (1999) e Adani (2000)), hanno mostrato come esista correlazione tra il valore dei solidi potenzialmente fermentescibili (SPf) ed i test respirometrici; di conseguenza, si può ipotizzare di sostituire questi ultimi con la determinazione dei SPf. In realtà, tale correlazione è stata notata solo per matrici omogenee (figura 5.2.), venendo meno per matrici disomogenee (figura 5.3.) per caratteristiche chimiche e provenienza.

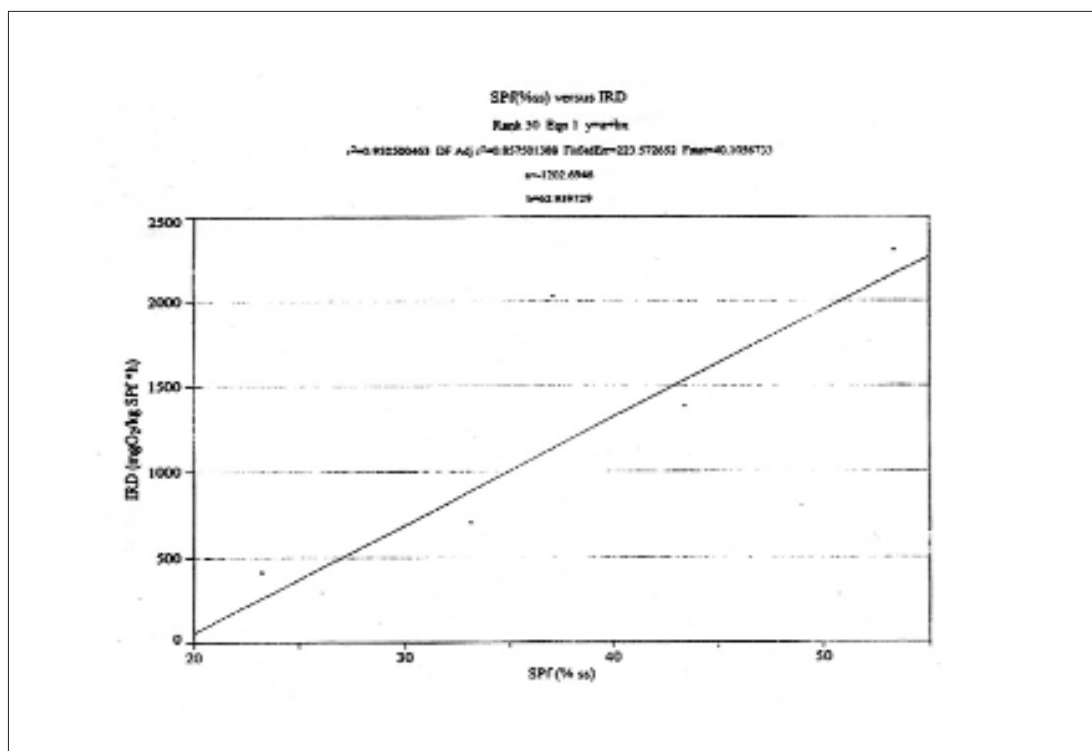


Figura 5.2: Correlazione tra IRD e SPf individuata da Adani (2000) per matrici omogenee.

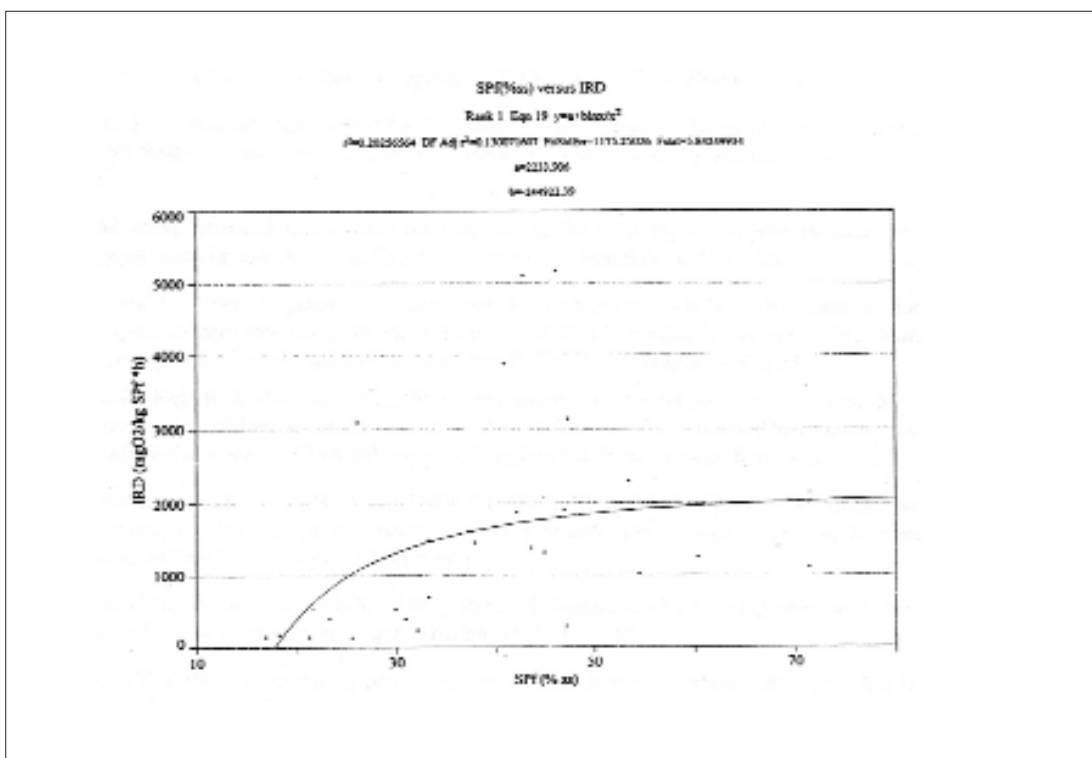


Figura 5.3: Correlazione inesistente tra IRD e SPf per matrici disomogenee secondo Adani (2001).

La possibilità di misurare il contenuto di solidi potenzialmente fermentescibili in un campione di rifiuto è comunque molto interessante e sarebbe opportuno procedere ad ulteriori test per accertare l'attendibilità dei risultati ottenuti e confrontare i risultati con quelli di altri test di valutazione della stabilità biologica.

5.2.3 Metodi respirometrici

I test di respirazione stimano la produzione di anidride carbonica o il consumo di ossigeno della biomassa.

I metodi basati sull'evoluzione di CO₂ sono economici, ma non differenziano tra produzione aerobica ed anaerobica di CO₂ ed inoltre non tengono conto che, il grado di ossidazione della materia organica influenza il consumo di ossigeno per mole di CO₂ prodotta. La misura del consumo di ossigeno, perciò, è preferita come metodo respirometrico ed è stata proposta come metodo standard per la determinazione della Stabilità Biologica (ASTM, 1992; ASTM, 1996; The US Composting Council, 1997).

I test di respirazione basati sulla misura del consumo di ossigeno possono essere classificati in metodi statici e dinamici, a seconda che la misura del consumo d'ossigeno sia effettuata in assenza (statico) (UNI 10780, 1998) o presenza (dinamico) (ASTM, 1996) di aerazione continua della biomassa. I metodi statici, condotti a volume costante o a pressione costante, presentano lo svantaggio di limitare la diffusione e la dispersione dell'ossigeno nella biomassa rallentando, di fatto, i processi di degradazione della sostanza organica. Inoltre, l'impossibilità di allontanare l'aria esausta dalla biomassa, riduce ulteriormente l'attività biologica sia in seguito alla diminuzione del pH, che per il realizzarsi di fenomeni di tossicità diretta dovuti all'accumulo di CO₂ o di altri gas di fermentazione. Risulta inoltre difficile, con tali metodi, stimare l'entità degli spazi vuoti ottenendo, quindi, un dato respirometrico non rigoroso. Conseguenza di tutto ciò risulta essere la sottostima del consumo di ossigeno. L'indice dinamico proposto da ASTM (1996) risulta invece macchinoso rendendo la determinazione routinaria di lunga durata e pertanto molto costosa. In tempi recenti è stato messo a punto presso il Dipartimento DiProVe sez. FCA un nuovo metodo di misura per la determinazione dell'indice respirometrico di tipo dinamico, metodo ufficiale della Regione Lombardia, testato a livello internazionale ed inoltre recentemente indicato quale misura della stabilità biologica dalla Comunità Europea nella proposta di direttiva relativa trattamento biologico dei rifiuti biodegradabili (Working Paper 2001).

5.2.3.1 Il consumo orario di ossigeno: l'indice di respirazione

Il consumo di ossigeno riferito all'unità di peso (solidi totali: ST, solidi volatili: SV o solidi potenzialmente fermentescibili: SPf, cfr. Adani et al., 1997) ed all'unità di tempo prende il nome di Indice di Respirazione.

L'unità di misura dell'Indice di Respirazione, stante la sua definizione, sarà:

$$\text{mg O}_2 * \text{kg ST}^{-1} \text{ o SV}^{-1} \text{ o SPf}^{-1} * \text{h}^{-1}$$

Le procedure analitiche proposte per la misura dell'Indice di Respirazione si rifanno tutte al medesimo concetto, anche se talune differenze, caratterizzanti i diversi metodi, possono risultare fondamentali.

Esistono come già accennato, due tipologie di metodi (figura 5.4):

1. metodi statici;
2. metodi dinamici.

I primi si differenziano dai secondi essenzialmente per il fatto che la misura del consumo orario di ossigeno non viene effettuato in condizioni di aerazione forzata attraverso la biomassa in continuo.

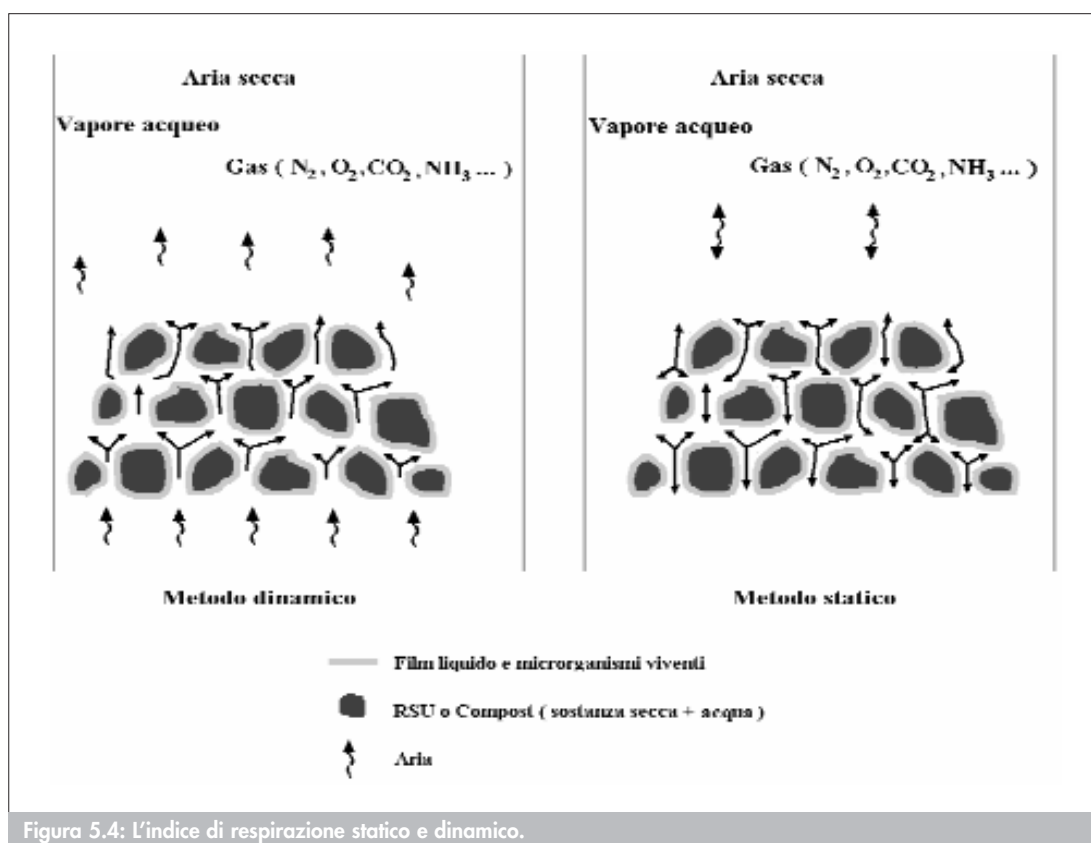


Figura 5.4: L'indice di respirazione statico e dinamico.

Come già accennato, a loro volta i metodi statici si possono suddividere in:

- metodi a caduta d'ossigeno;
- metodi a concentrazione di ossigeno costante.

La differenza consiste nel fatto che, mentre i primi misurano il consumo orario di ossigeno in assenza di aerazione durante un determinato intervallo di tempo, consumo che avviene secondo l'equazione di una retta, i secondi prevedono accorgimenti tecnologici che permettono il continuo apporto delle quantità di ossigeno consumato mantenendo così la concentrazione iniziale.

Esiste un'altra categoria di metodi respirometrici di vecchia concezione che fanno invece riferimento alla misura della produzione di anidride carbonica. Questo metodo, anche se presenta l'indubbio vantaggio dell'economicità, permette solo una stima del consumo di ossigeno. Valori più accurati, del tutto analoghi a quelli ottenibili con i metodi statici a caduta di ossigeno, potrebbero realizzarsi solo avendo una perfetta conoscenza dei rapporti molari di reazione $O_2: CO_2$.

Nel sistema di tipo dinamico la misura viene effettuata in presenza di aerazione forzata continua garantendo concentrazioni di ossigeno nella biomassa ottimali per l'esplicarsi delle attività biologiche ($O_2 > 14\%$). A differenza dei sistemi statici, dove non è prevista un'insufflazione diretta di aria, l'adozione di questo sistema consente di ottenere dati più veritieri e, come tali, trasferibili alla realtà operativa.

Dati analitici ottenuti adottando metodi statici hanno dimostrato una sottostima dei consumi di ossigeno e quindi della stabilità biologica, rispetto ai dati rilevati con il metodo dinamico (le differenze si attenuano con il raggiungimento della stabilità biologica).

Una stretta correlazione deve sussistere tra consumo di ossigeno e le perdite in carbonio (e in sostanza organica) che si osservano durante le prove di digestione aerobiche. Tale relazione è stata evidenziata solo dall'adozione del metodo respirometrico di tipo dinamico.

Inoltre (vedi paragrafo 5.2.3.2.), il metodo dinamico, basandosi sulla differenza di concentrazione di ossigeno tra ingresso e uscita del respirometro e sulla conoscenza dei flussi di aria adottati, permette di svincolarsi da procedure analitiche artificiose e talvolta scientificamente poco probabili riportate per i metodi statici.

5.2.3.2 Principali metodiche in uso per la misura del consumo di ossigeno

La presente rassegna di metodi respirometrici considera quelli più tipicamente utilizzati, conosciuti e riportati dalla letteratura nazionale ed internazionale. Questi sono stati suddivisi per principio di funzionamento in:

- metodi statici a volume costante;
- metodi statici a pressione e volume costante;
- metodi dinamici.

Metodi statici a volume costante

➤ *METODO MANOMETRICO (Regione Piemonte, 1998)*

Tale metodo prevede la determinazione dell'indice di respirazione misurando la velocità del consumo di ossigeno da parte del materiale in esame posto in un contenitore a chiusura ermetica. Il consumo di ossigeno viene determinato indirettamente misurando il calo di pressione che si ottiene all'interno del sistema chiuso in seguito al consumo di O₂ da parte dei microrganismi aerobi ed alla cattura della CO₂ prodotta con trappola alcalina (NaOH 2N). La metodica utilizza un campione ottimizzato per quanto attiene il parametro umidità (80 % della capacità di ritenzione idrica, CRI). La capacità idrica massima rappresenta la frazione del volume di substrato occupato dall'acqua quando sottoposto, dopo saturazione, alla tensione di 10 cm di colonna d'acqua. Si determina così una depressione all'interno del sistema chiuso, rilevata dal dispositivo manometrico ad intervalli di tempo prestabiliti.

Il test respirometrico viene condotto per un periodo di incubazione medio di circa 3 giorni, alla temperatura di 20°C. Le acquisizioni dello strumento di rilevazione della depressione vengono impostate ad intervalli di tempo di 15 minuti, onde ottenere i punti per la costruzione della curva dDPM/dt, che esprime la variazione della depressione in funzione del tempo.

Il valore di depressione massima ottenuta (DPM), viene utilizzato nel calcolo del massimo consumo di ossigeno, secondo la seguente formula:

$$Q = V \cdot \frac{DPM}{76} \cdot \frac{32}{24,04} \cdot \frac{1000}{SV_g} \cdot \frac{1000}{t}$$

dove:

Q è il consumo di ossigeno espresso in mg O₂ /kg di SV*h (SV sono i solidi volatili espressi su base secca);

V (l) = V contenitore - (V compost + V NaOH);

DPM (in cm Hg) = la depressione che si rileva alla massima pendenza della curva DPM/t;

t = l'intervallo di tempo tra la fine della fase di latenza e la depressione massima ottenuta (in h, intervallo di tempo minimo considerato pari a 4 h);

32 = il peso di una mole di O₂ in g;

24,04 = il volume in litri di una mole di O₂ a 20°C e a 76 cm Hg;

32 SVg (g) sono i solidi volatili espressi sul secco a 105°C ottenuti dalla relazione:

$$SVg = SV \cdot \frac{100 - Ur}{76} \cdot \frac{P}{100}$$

in cui

SV (%) = i solidi volatili in % ST

Ur (%) = l'umidità del campione all'80% della massima capacità di ritenzione idrica
 P (g) = il peso in grammi del campione utilizzato

Un'alternativa alla valutazione dell'indice di respirazione per rilevamento della depressione è costituita dalla misurazione diretta della concentrazione di O₂ mediante elettrodo specifico (sensore a cella elettrochimica) inserito nel sistema chiuso; in tal caso la procedura non prevede l'utilizzo della trappola alcalina per l'assorbimento della CO₂.

La procedura descritta, messa a punto dagli autori sulla base del metodo descritto da Nicolardot et al. (1982), utilizza uno tra i sistemi maggiormente applicati nello studio dell'attività respiratoria dei compost (metodo manometrico a volume costante).

Una delle caratteristiche che ne hanno favorito la diffusione è sicuramente la semplicità d'esecuzione, sia dal punto di vista operativo, che per quanto riguarda il tipo di apparecchiatura utilizzata.

D'altra parte trattandosi di un processo "in batch", in cui non viene fornita aerazione in continuo, la difficile diffusione dell'ossigeno nella biomassa per fenomeni passivi, limita l'attività aerobica portando ad una sottostima della tasso di respirazione. Vi è inoltre da sottolineare che il metodo non contempla, nel computo del volume di aria a disposizione, gli spazi vuoti della biomassa (più noti come "free air space", FAS), introducendo un ulteriore errore nella stima dell'indice respirometrico.

Il saggio di respirazione viene inoltre condotto a 20°C limitando l'attività batterica soprattutto di matrici a basso valore di stabilità biologica.

Il metodo in oggetto, quindi, ancorché utilizzabile per distinguere biomasse a differente grado di stabilità biologica, non consente di ottenere dati verosimili soprattutto se si tiene conto della realtà operativa del compostaggio caratterizzata dalla presenza di aerazione costante.

➤ *METODO MANOMETRICO (UNI 10780, 1998)*

La norma UNI riporta la determinazione dell'indice di respirazione come indicato nella metodica descritta nel precedente paragrafo (Metodo manometrico; Regione Piemonte, 1998). Le sole differenze riscontrate riguardano:

- un maggior intervallo di tempo consigliato tra le acquisizioni delle misure di depressione da parte dello strumento collegato al sistema chiuso (1 h anziché 15 minuti);
- un maggiore intervallo di tempo tra la fine della fase di latenza e la depressione massima ottenuta (6 h anziché 4 h).

Metodi statici a volume e pressione costante

➤ *METODO PER TITOLAZIONE/ELETTROCHIMICO (Ciccotti e Toller, 1990).*

La misura dell'indice di respirazione in compost e terreni viene determinato in seguito a titolazione della CO₂ prodotta dall'attività biologica in condizioni termostate (20°C), catturata con trappola alcalina. Allo scopo di mantenere concentrazioni ottimali di ossigeno, un sistema elettrolitico permette la rigenerazione dell'ossigeno consumato, mantenendo costante la sua pressione parziale.

Il materiale da sottoporre al test viene ottimizzato per quanto attiene il parametro umidità, pari questo all'80% della capacità di ritenzione idrica massima.

La durata della prova è complessivamente di 3 giorni; ad intervalli di 24 h le soluzioni di cattura vengono prelevate per la titolazione della CO₂ assorbita e sostituite con aliquote fresche di KOH 4N; la titolazione è effettuata con HCl 4N dopo aggiunta di fenolftaleina come indicatore e di 2 ml di BaCl₂ 2N per far precipitare la CO₂ come BaCO₃. Terminata la prova, si calcolano i valori medi dei risultati dei tre replicati per ogni tesi e del bianco agli intervalli 24, 48 e 72 h. Sulla media dei tre valori corretti si calcola quindi, l'attività respiratoria del campione espressa come produzione oraria di CO₂ o come consumo orario di O₂ per kg di sostanza secca; la quantità di O₂ è ricavata in base alla misura dell'intensità di corrente elettrica che attraversa il circuito e può quindi essere facilmente rilevata e registrata su computer. La metodica descritta presenta gli stessi limiti già citati a proposito del metodo della Regione Piemonte e comuni a tutti i metodi statici.

Altri limiti, oltre ad una certa complessità nell'allestimento dell'apparecchiatura preposta, risultano, la sottostima dell'indice respirometrico per substrati freschi, per i quali il quoziente respiratorio Q.R. non può essere assunto pari ad 1 e le esigue quantità utilizzate (pari a circa 25 g di sostanza secca), fattore, quest'ultimo, che limita l'applicazione a campioni omogenei di piccola pezzatura.

Per contro, tale metodo permette la valutazione dell'attività respiratoria, sia in base alla misura della CO₂ prodotta, che in base all'O₂ consumato e un maggior precisione dato il numero di repliche previsto.

➤ *METODI AD ELETTRODO SPECIFICO E PER TITOLAZIONE (The US Composting Council, 1997)*

I metodi citati sono ampiamente diffusi ed utilizzati negli Stati Uniti per la determinazione dell'attività respirometrica dei compost.

La prima metodica descritta determina la velocità di consumo di ossigeno, rilevando nel tempo le sue variazioni di concentrazione mediante l'utilizzo di elettrodo specifico. Il risultato finale, può essere riferito all'unità di peso dei solidi totali (Oxygen Update Rate) o all'unità di peso dei solidi volatili biodegradabili (Specific Oxygen Update Rate).

La seconda metodica proposta valuta l'indice di respirazione del compost in esame, misurando la velocità di sviluppo della CO₂ dal materiale posto in un incubatrice a temperatura definita, mediante utilizzo di soluzione alcalina di cattura e successiva sua titolazione.

La procedura relativa alle metodiche basate sulla misura del consumo di O₂ prevede una accurata preparazione del campione di compost in esame, il quale deve essere preventivamente privato degli inerti più grossolani ($\varnothing > 4$ mm) e di altri costituenti non biodegradabili. Prima di essere sottoposto al test respirometrico, il campione deve essere portato ad un grado di umidità che consenta l'attività dei microrganismi aerobi, corrispondente all'85-90% della massima capacità di ritenzione idrica.

La prova respirometrica viene effettuata in una beuta dotata di tappo in gomma appositamente predisposto per permettere l'ingresso e l'uscita dell'aria dal sistema.

Per registrare la variazione nel tempo della concentrazione di O₂ nello spazio di testa della beuta viene utilizzato un elettrodo specifico montato su un tappo in gomma (del tipo utilizzato per l'aerazione). Le acquisizioni dei dati di concentrazione vengono effettuate ad intervalli di tempo di 1 minuto, per almeno 90 minuti, al fine di costruire la curva $\Delta O_2 / \Delta t$.

La seconda metodica proposta valuta l'indice di stabilità del compost in esame, misurando la velocità di sviluppo della CO₂ dal materiale posto in incubatrice a 37°C.

La preparazione del campione da sottoporre al test respirometrico consiste in una pre-incubazione per un periodo di 3 giorni a temperatura ambiente, quindi in una standardizzazione del contenuto di umidità ad un valore pari a circa il 50% sul tal quale.

Il test viene eseguito a 37°C. Durante il periodo di incubazione, la CO₂ che si sviluppa dal materiale in esame in seguito all'attività microbica viene catturata da una trappola di soda che viene poi titolata con HCl 0,5 N usando la fenoftaleina come indicatore.

In generale, i metodi proposti presentano i limiti dei metodi statici, anche se in questo caso il metodo tiene conto del "Free Air Space" (spazio d'aria libero sopra la matrice) a differenza degli altri. La stima degli SVB attraverso la rimozione manuale dei solidi non biodegradabili, inoltre è di difficile determinazione soprattutto per matrici di piccola pezzatura.

La seconda metodica presa in esame, presenta alcuni aspetti favorevoli rispetto alle precedenti soprattutto riguardo la semplicità dell'esecuzione. Ciò nonostante, è da ricordare l'errore nella misura della quantità di gas prodotto dovuto alla CO₂ eventualmente derivante dai carbonati presenti nel compost testato, in seguito alla riduzione di pressione parziale della CO₂ catturata dalla soluzione alcalina, la sottostima dell'indice nel caso di materiali freschi per i quali non può essere assunto un quoziente respiratorio pari a 1, e l'impossibilità di distinguere la CO₂ aerobica ed anaerobica.

➤ *METODO ELETTROLITICO PIÙ NOTO COME METODO SAPROMAT (Federal Compost Quality Assurance Organization, 1994)*

Il metodo citato valuta il grado di stabilità di un rifiuto in seguito alla misura del consumo di O₂ in condizioni statiche. Il metodo prevede la generazione per via elettrolitica in continuo dell'ossigeno consumato.

Il materiale da sottoporre alla prova respirometrica viene standardizzato per il contenuto di umidità. A tale scopo, un'aliquota pari a circa 5 litri di sostanza fresca setacciata a dimensioni < 10 mm viene addizionata di acqua fino alle condizioni definite dal termine "pasta satura" (pari al 100% della CRI).

La bottiglia di reazione viene connessa al generatore di ossigeno e al misuratore di pressione. La CO₂ prodotta dai microrganismi aerobi viene assorbita da idrossido di sodio. La depressione così generata attiva il generatore di ossigeno, fino a quando la pressione iniziale non venga ristabilita. Il sistema di acquisizione dei dati di concentrazione di O₂ viene regolato in modo da rilevare un valore ogni 6 h. La durata totale della prova è di 4 giorni.

Utilizzando un dispositivo (contatore) che misuri il volume dell'acqua prodotta durante il processo ossidativo è possibile risalire alla quantità di O₂ consumata; in particolare, impostando l'apparecchio in modo che si abbia uno scatto del contatore per ogni 166 ml di acqua prodotti, si ha che 1 scatto = 0,166 mg O₂.

La formula per il calcolo della quantità di O₂ consumata dopo 4 giorni, espressa in mg O₂ /g sostanza organica secca diventa la seguente:

$$AT_4 = \frac{\text{n. scatti del contatore dopo 4 gg} \cdot 0,166 \text{ mg}}{(\text{g ST introdotti} \cdot \text{SV in \% ST})}$$

dove:

AT₄ = indicata come "attività di scambio" dopo 4 giorni

SV (%ST) = il valore dei solidi volatili ottenuti per perdita all'incenerimento a 550°C.

Il metodo presenta gli stessi limiti già evidenziati dagli altri procedimenti statici, inoltre l'apparecchiatura è costosa e complessa. Le prove di respirazione vengono svolte su esigue aliquote di campione che rappresentano solo una parte (frazione <10 mm) del totale ponendo limiti interpretativi dei risultati finali.

Metodi dinamici

➤ METODO ASTM (ASTM, 1996)

Tale metodo prevede il calcolo dell'indice di respirazione tramite la rilevazione del consumo di O₂ del campione sottoposto ad aerazione attiva in un lasso di tempo di 4 giorni. I valori ottenuti sono quindi espressi come dato cumulato rispetto ai solidi volatili (g).

Il campione da sottoporre al test deve essere sottoposto ad inoculo con un compost ben stabilizzato realizzato a partire da un rifiuto simile a quello da cui deriva il campione in esame. Il suddetto campione è ottenuto unendo circa 500 g di inoculo e 500 g di campione da testare.

Viene attivata l'aerazione in modo da avere valori d'ossigeno superiori al 6% in volume nell'aria in uscita. Per l'intera durata del test si deve assicurare una temperatura pari a 58° ± 2 C°. Qualora il consumo di ossigeno fosse maggiore nelle ultime 24 h rispetto alle precedenti 24 h il periodo di incubazione può essere prolungato. La concentrazione dell'ossigeno in uscita viene misurata 4 volte al giorno con un intervallo massimo pari a 5 h. Al termine della prova viene determinato il contenuto in sostanza secca e il pH.

La metodologia fornisce un valore di indice pari al consumo cumulato di O₂ rispetto alla quantità di solidi volatili calcolati sul campione, per un periodo di 4 giorni. L'espressione utilizzata è la seguente:

$$V_1 = (O_{2i} - O_{2e}) \cdot F \cdot \Delta t$$

dove:

V₁ = consumo cumulato di O₂ (litri)

O_{2i} = concentrazione di O₂ dell'aria in ingresso

O_{2e} = concentrazione di O₂ dell'aria in uscita

F = flusso d'aria (litri/h)

Δt = intervallo di tempo

Il volume cumulato di ossigeno consumato, in litri, viene corretto alle condizioni standard di temperatura e pressioni con la seguente equazione:

$$V_2 = V_1 \cdot T_2/T_1 \cdot P_1/P_2$$

dove:

V_2 = consumo cumulato di O_2 alle condizioni standard (l)

V_1 = consumo cumulato di O_2 (l)

T_2 = temperatura standard (273 °K)

T_1 = temperatura ambiente (°K)

P_1 = pressione ambiente (atm)

P_2 = pressione standard (1 atm)

Il consumo di ossigeno in grammi viene infine calcolato con la seguente espressione:

$$C = V_2 \cdot (32/22,414)$$

dove:

32 = peso molecolare O_2 (g)

22,414 = volume di una mole (l) di O_2 in condizioni standard di temperatura e pressione

Il metodo può essere applicato a differenti tipi di compost, compresi compost derivanti da rifiuti, quali rifiuti urbani, rifiuti da giardinaggio, organico da raccolta differenziata. Nonostante il metodo presenti tutti i pregi dei metodi dinamici, così come concepito risulta molto complesso ed improponibile quale metodo di applicazione routinaria.

➤ METODO DI PRO. VE. (Adani et al., 2001; Regione Lombardia, 1999; Scaglia et al., 2000). Il metodo presenta i vantaggi dei metodi dinamici ed inoltre richiede un tempo di esecuzione relativamente breve. Infatti, la durata non è prestabilita, essendo sufficiente il mantenimento della respirazione massima per un lasso di tempo di 24 h. La descrizione di tale metodica, è riportata nel Cap.6.

5.2.4 Metodi biologici anaerobici: test di produzione residua di biogas

La determinazione della produzione residua di gas è uno dei parametri più importanti per caratterizzare i rifiuti residui pretrattati meccanicamente e biologicamente. A seconda delle procedure analitiche adottate, possono essere riprodotte in laboratorio condizioni più o meno naturali, allo scopo di stimare la produzione di biogas da parte del campione.

Attualmente, per testare la produzione di biogas da rifiuti pretrattati, vengono utilizzate in laboratorio due diverse metodologie:

- *il test fermentativo;*
- *il test di incubazione.*

Aspetti microbici

La formazione biologica del metano è un importante processo che avviene nella maggior parte degli ambienti anaerobici dove si trova materiale organico in decomposizione: paludi, sedimenti di laghi, intestino degli animali, digestori anaerobici e discariche. Tale processo è il risultato delle attività di gruppi batterici altamente specializzati che convertono in metano e anidride carbonica, i prodotti finali delle fermentazioni operate da altri batteri anaerobi (in particolare CO_2 , H_2 , formiato e acetato).

La conversione delle biomasse in CH_4 e CO_2 (figura 5.5) richiede un insieme di almeno tre gruppi metabolici di batteri anaerobi batteri fermentativi, il gruppo produttore acetogenico e i batteri metanogeni.

I *batteri fermentativi*, degradano i polimeri in H_2 , acido formico, acido acetico, acidi grassi più complessi e, occasionalmente, in una piccola quantità di alcoli che vengono convertiti in acetato e H_2 dai batteri acetogeni.

Il *gruppo produttore acetogenico*, converte gli acidi grassi più complessi in acetati e H_2 .

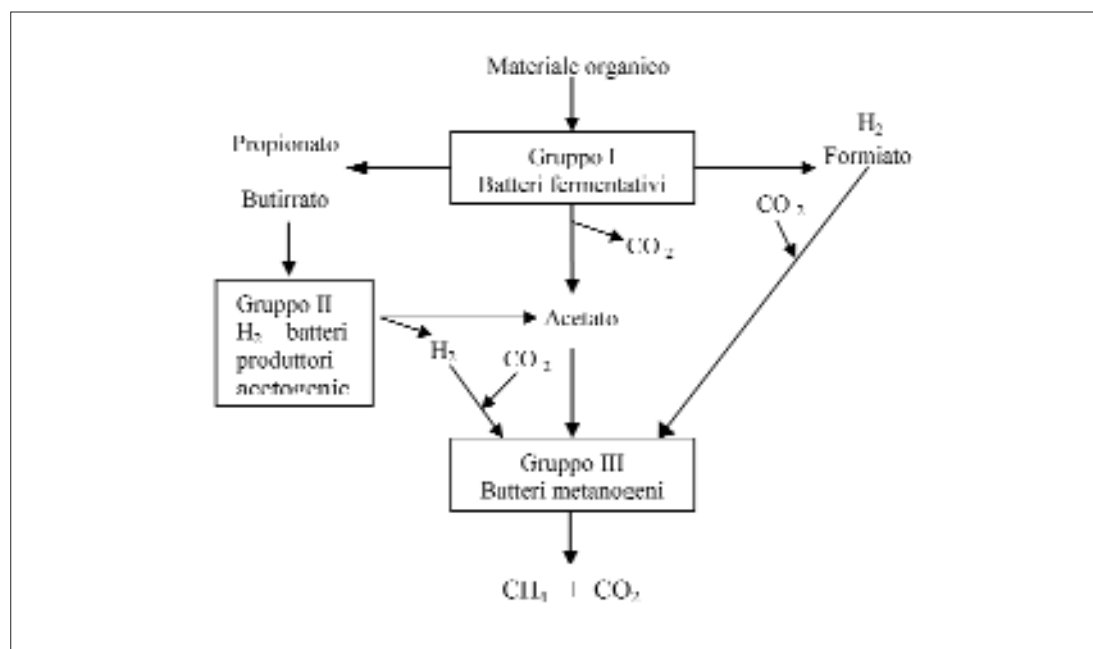


Figura 5.5: Schema dei gruppi batterici coinvolti nella conversione biologica delle biomasse in metano.

I *batteri metanogeni*, convertono gli acetati, H_2 e i prodotti dei gruppi fermentativi e acetogeni, in CH_4 e CO_2 , richiedono un pH tra 6 e 8.5 e saranno quindi inibiti dall'accumulo di acidi prodotti dai microrganismi fermentativi; feedback negativo.

Il processo di metanogenesi, dall'acetato, non è ancora stato completamente chiarito. La riduzione della CO_2 e dell'idrogeno implica una fase di attivazione, nella quale la CO_2 si lega ad un coenzima a 4 fasi di riduzione. Il coenzima che interviene nell'attivazione è probabilmente la metanopterina, un composto che contiene pterina, un gruppo $-HC=CH-$, glutamato, un anello a 6 membri saturo e glucosamina.

La metanopterina è convertita in carbossi-idro-metanopterina, che contiene un gruppo carbossilico legato al gruppo $-HC=CH-$. Nella fase finale di riduzione $CH_3-S-CH_2-CH_2-SO_3H$ è convertita in $HS-CH_2-CH_2-SO_3H$ (coenzima M) e CH_4 . Nei processi di riduzione è coinvolto l'enzima F_{420} , 8-idrossi-5-deazoi-soalloxazina. Questo composto è ridotto dalla idrogenasi e dalla formiato deidrogenasi. Alcuni dei coenzimi che intervengono nel processo di metanogenesi sono molto fluorescenti (sia F_{420} che metanopterina). In base alla fluorescenza e all'elevato contenuto cellulare di detti specifici composti, possono essere identificati nelle popolazioni miste, le colonie e le cellule dei batteri metanogeni. Inoltre la misura della quantità di F_{420} presente in sistemi metanogenici può essere un valido indicatore della qualità del sistema. La velocità della metanogenesi delle biomasse, è particolarmente sensibile al metabolismo dei batteri metanogenici per i seguenti motivi:

1. la trasformazione dell'acetato in CH_4 è un passaggio che limita la velocità di tutto il processo;
2. il mantenimento di una concentrazione molto bassa di H_2 è necessaria perché i batteri acetogeni produttori di H_2 metabolizzino gli acidi grassi più complessi (inibizione da fattore finale).

La velocità limitante è dovuta alla conversione dei polimeri in monomeri e dell'acetato in metano ed è influenzata dall'interdipendenza tra i diversi gruppi metabolici; i batteri metanogeni di-

pendono da organismi fermentanti e acetogeni per ottenere il substrato, e i gruppi fermentanti e acetogeni, dipendono dai batteri metanogeni per rimuovere i prodotti della fermentazione. L'efficienza nel rimuovere H_2 da parte dei batteri metanogenici è evidente perché la catena alimentare è meno complessa. La produzione di H_2 attraverso l'EMP-pathway, è una reazione energeticamente sfavorevole e l' H_2 deve essere continuamente rimosso, per favorirne la sua produzione. Quando l' H_2 viene continuamente rimosso, ne risulta una fermentazione più omogenea. In condizioni di scarsa rimozione di H_2 , la conversione di grassi acidi altamente volatili in acetato può diventare il fattore limitante del processo complessivo di conversione di polimeri in metano. La continua rimozione di H_2 da parte dei batteri metanogeni, risulta anche in un aumento della quantità di substrato utilizzabile.

Successione temporale della metanogenesi

La degradazione anaerobica dei rifiuti urbani dà luogo ad una consistente produzione di gas le cui caratteristiche qualitative e quantitative evolvono nel tempo, secondo i principi sopra citati della conversione biologica delle biomasse in metano.

La stima dell'evoluzione temporale del tasso di produzione del biogas in discarica, è un dato basilare per la progettazione dei sistemi di captazione, trasporto e trattamento dello stesso.

La successione nel tempo e nello spazio, (dalla superficie verso gli strati profondi della discarica in esercizio) delle varie popolazioni batteriche nella massa dei rifiuti può essere suddivisa in diverse fasi, caratterizzate anche da emissioni qualitativamente e quantitativamente diverse. Una fase transitoria aerobica ed una fase anaerobica suddivisa in più stadi.

Va ricordato che in anaerobiosi la materia organica è convertita in 4 fasi successive, che implicano depolimerizzazione, fermentazione, produzione di idrogeno e acetato e metanogenesi.

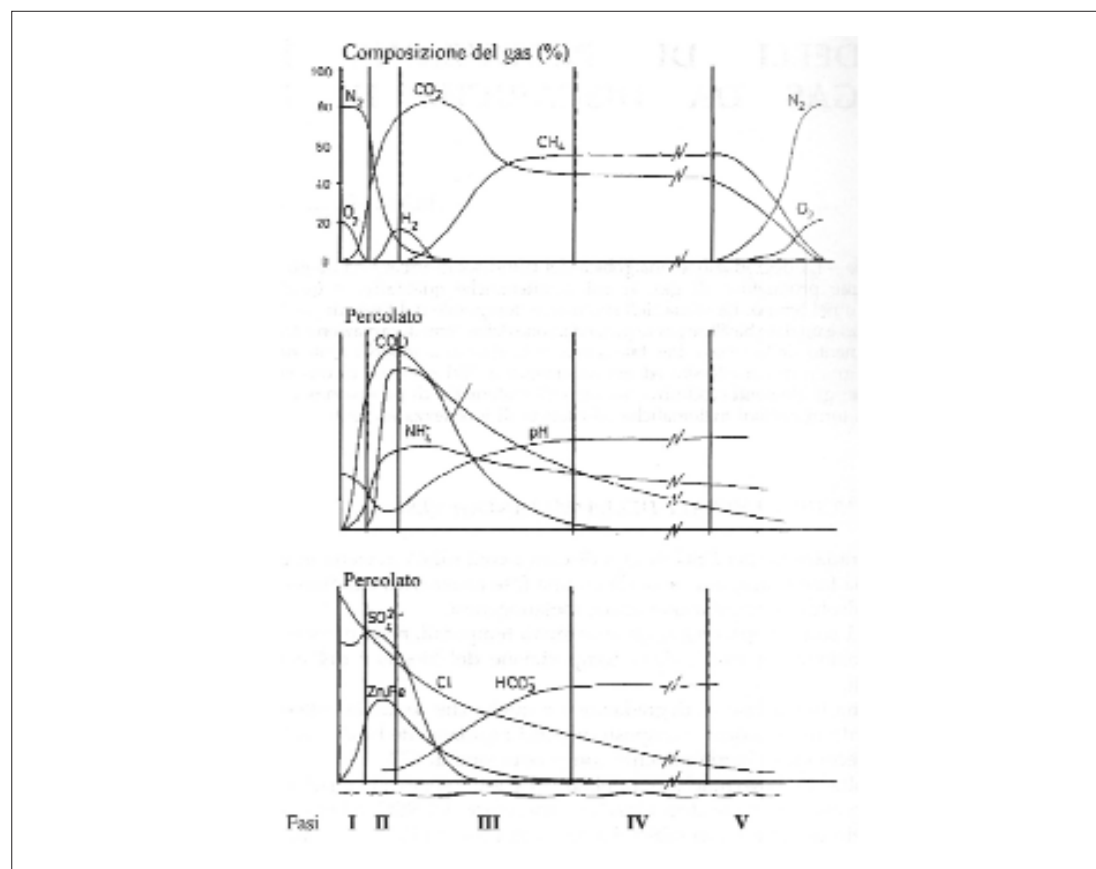


Figura 5.6: Andamento temporale delle diverse fasi di degradazione dei rifiuti.

In figura 5.6 sono rappresentati gli andamenti temporali, nelle diverse fasi di degradazione dei rifiuti, della composizione del biogas e del percolato prodotti.

Fase aerobica

La prima breve fase di degradazione è quella che segue la collocazione del rifiuto in discarica: i composti organici rapidamente degradabili vengono decomposti aerobicamente con produzione di CO_2 . Durante questa prima fase di vita della discarica l'ambiente diventa acido e si ha una brevissima, ma intensa produzione di gas, costituito in gran parte da idrogeno.

Una volta che l'ossigeno intrappolato nei vuoti interstiziali è stato consumato, prende avvio la degradazione anaerobica dei rifiuti urbani, ad opera dei batteri anaerobici.

La figura 5.7 illustra le più importanti interazioni tra i gruppi batterici coinvolti, i substrati utilizzati e i prodotti intermedi utilizzati.

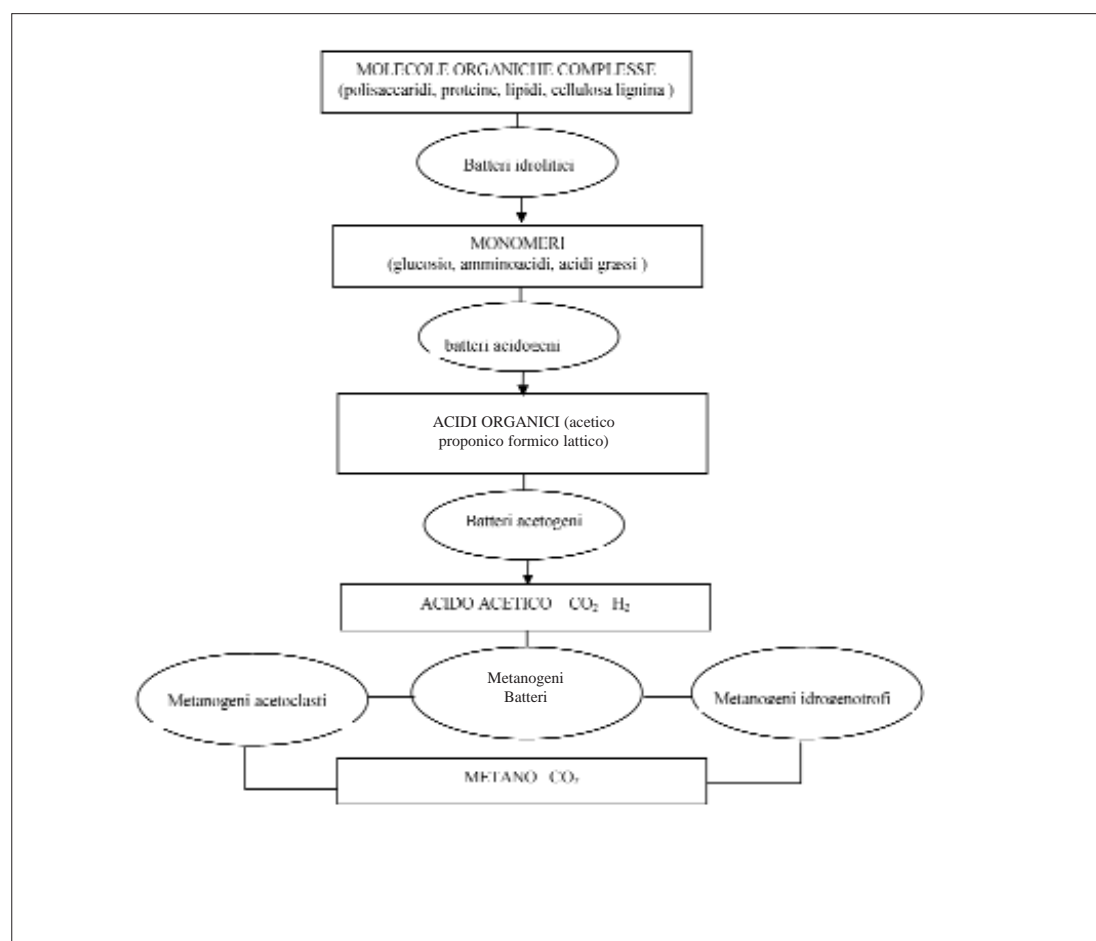


Figura 5.7: Schema dei principali gruppi batterici coinvolti nella degradazione anaerobica dei RU, dei substrati utilizzati e dei prodotti intermedi generati.

Fase acida

Il primo stadio della degradazione anaerobica è rappresentato dall'idrolisi della sostanza organica allo stato solido e di quella complessa in soluzione. Diversi composti organici sono rapidamente idrolizzati grazie alla capacità solvente dell'acqua (idrolisi chimica). I composti più semplici ottenuti per idrolisi chimica costituiscono inizialmente il substrato nutritivo dei microrganismi presenti nella fase acquosa. Successivamente i batteri fermentativi producono enzimi extracellulari che determinano un'idrolisi enzimatica. La degradazione in fase acida prosegue quindi, con la trasformazione degli acidi grassi volatili e degli alcoli da parte dei batteri acetogeni in acido acetico, principale substrato utilizzabile dai batteri metanogeni.

Il percolato prodotto in questa fase è caratterizzato da elevate concentrazioni di acidi grassi, che danno luogo ad elevati valori di BOD_5 , in genere fra 10000 e 30000 mg/l e alti rapporti BOD_5/COD (0,5-0,7).

Altre caratteristiche tipiche sono le elevate concentrazioni di azoto ammoniacale (prodotto dal-

l'idrolisi e fermentazione dei composti organici azotati, in particolare proteine), ferro e metalli pesanti. Il pH è acido, compreso tra 5 e 6, in seguito alla presenza di acidi organici volatili. La durata complessiva della fase acida può variare da un minimo di qualche mese a due-tre anni. In particolari condizioni (legate alla composizione dei rifiuti e/o alle modalità di gestione della discarica), il processo di degradazione anaerobica dei rifiuti urbani si può, di fatto, arrestare alla fase acida, a causa di un eccesso di produzione di acidi organici, che inibiscono la flora batterica metanogena e quindi l'innesco della fase successiva.

Fase metanigena instabile

In tale fase la concentrazione di metano nel biogas aumenta, mentre la concentrazione di idrogeno e di anidride carbonica diminuiscono; il percolato prodotto presenta una riduzione di concentrazione degli acidi volatili, alla quale si accompagna un aumento di pH e dell'alcalinità, cui consegue una minore solubilizzazione di calcio, ferro, manganese e metalli pesanti. Questi ultimi precipitano in gran parte come solfuri. Si ha ancora rilascio di azoto ammoniacale nel percolato.

Si assiste ad una lenta crescita dei batteri metanogeni. Tali batteri, anaerobi obbligati, sono molto sensibili ai fattori ambientali, tra i quali pH, temperatura e potenziale redox, e sono caratterizzati da un tasso di crescita relativamente basso.

Il gas è così caratterizzato da una composizione tipica di circa 45% CO₂ e 55% CH₄. Mediante la conversione di acetato e idrogeno in metano, i batteri metanigeni regolano l'ecosistema anaerobico, mantenendo un intervallo di pH ottimale per la crescita di batteri acetogeni produttori di idrogeno.

L'acido acetico è convertito in CH₄ inerte e CO₂ debolmente acida e la tendenza del sistema all'acidificazione è soppressa. Viene così mantenuto un pH adeguato alla crescita della popolazione batterica.

Mediante la conversione dell'idrogeno a CH₄, i batteri metanogeni permettono ai batteri acetogeni produttori d'idrogeno, di ossidare il materiale organico in condizioni anaerobiche e di ottenere l'energia per la crescita. Questa regolazione può essere pure realizzata dai batteri solfo-riduttori e dai microrganismi che convertono idrogeno e CO₂ in acido acetico, come *Acetobacterium woodii* e *Butyribacterium methylotrophicum*. I batteri metanigeni utilizzano soltanto un numero molto limitato di substrati. Le specie di *Methanosarcina* sono metabolicamente le più versatili.

Fase metanigena stabile

Fa seguito la fase metanigena stabile, in cui i gruppi acetogenici e metanogeni sono in equilibrio dinamico e la produzione di metano è pressoché costante, dando luogo a concentrazioni di metano pari al 50-65% in volume. La restante concentrazione è costituita in massima parte da anidride carbonica, più una piccola parte di composti solforati e microinquinanti. Il percolato prodotto in questa fase è "stabilizzato", ossia con bassi valori di BOD₅ e bassi rapporti BOD₅/COD (anche 0.1). Il pH si mantiene in un range debolmente alcalino (7-8.5).

La fase metanigena ha una durata in genere di oltre 30 anni. Allorquando la frazione organica residua nell'ammasso di rifiuti è costituita prevalentemente da composti refrattari alla gassificazione, la produzione di metano si riduce a tal punto che si assiste ad un aumento della concentrazione di azoto nel gas, in seguito alla diffusione dall'atmosfera.

Le zone più superficiali tornano aerobiche e in ogni caso assumono valori di potenziale redox non compatibile con l'attività dei batteri metanogeni.

Durante tutta la fase anaerobica, è attivo in discarica un altro gruppo di batteri anaerobi obbligati, i solforiduttori. Tali batteri riducono i solfati ad acido solfidrico, utilizzando idrogeno, acido acetico ed altri acidi organici.

5.2.4.1 Test fermentativo di Binner

Il test di fermentazione proposto da Binner et. al, viene eseguito in un mezzo liquido.

I campioni setacciati ($\varnothing < 20$ mm) e poi macinati, vengono mantenuti a una temperatura di 35°C per garantire condizioni ottimali per la degradazione delle sostanze organiche. In tutti i casi, nel dispositivo utilizzato (Figura 5.8), vengono immessi circa 50 g di sostanza secca addizionati con 1 litro di H₂O distillata.

Il fermentatore viene chiuso ermeticamente per poter determinare la produzione di biogas.

Il test richiede condizioni anaerobiche e si è osservato che la generazione di gas non è completa anche dopo 240 giorni di test. Tuttavia è stato possibile ottenere buone correlazioni lineari con i valori ottenuti dopo 90 giorni.

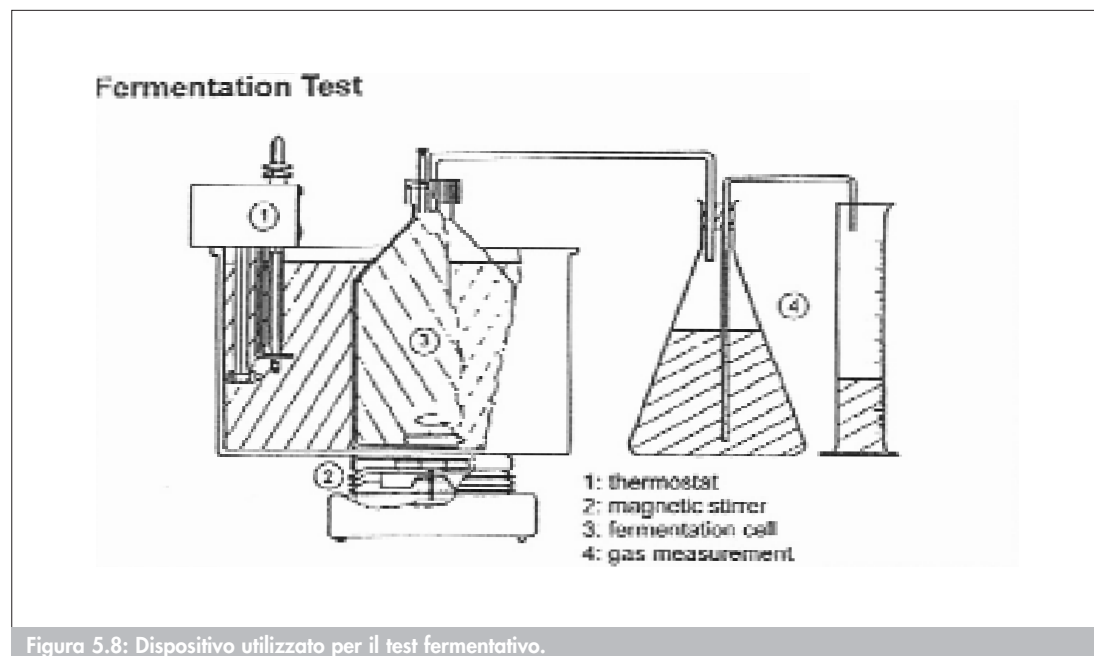


Figura 5.8: Dispositivo utilizzato per il test fermentativo.

5.2.4.2 Test di fermentazione in reattore

Il test di fermentazione in reattore è utilizzato per valutare la produzione di biogas a seguito dei processi di degradazione anaerobica nel campione da analizzare.

La produzione di biogas misurata con test di fermentazione della durata di 21 giorni fornisce valide indicazioni sull'attività dei microrganismi anaerobici presenti nel campione, ma non consente di valutare la produzione potenziale di biogas, che può essere stimata solo con test di più lunga durata. Test della durata di 90 e 240 giorni sono stati messi a punto presso l'Università di Vienna (Binner et al., 1999) e forniscono gli indici denominati GS_{90} e GS_{240} , espressi anch'essi in $Nl/kgST$.

I risultati ottenuti su numerosi campioni di rifiuti provenienti da impianti di pretrattamento meccanico-biologico hanno mostrato che, per i campioni considerati, la quantità di biogas prodotta in test di 90 giorni varia tra il 65% ed il 95% di quella prodotta in 240 giorni. In particolare, i rifiuti provenienti da pretrattamento biologico prolungato, quindi più stabilizzati ($GS_{90} < 10 Nl/kgST$), producono in 90 giorni non più del 80% del GS_{240} ; quelli mediamente stabilizzati ($GS_{90} = 15-30 Nl/kgST$) mostrano valori del GS_{90} fino al 90% del GS_{240} e quelli più putrescibili producono in 90 giorni fino al 95% della produzione misurata con test di 240 giorni.

Sugli stessi campioni sono stati eseguiti test di fermentazione "ad umido" di 21 giorni simili a quello messo a punto per questo lavoro (che fornisce un indice denominato GB_{21} in Austria e che corrisponde al B21 in Italia). Il volume di biogas prodotto è risultato variabile tra lo 0 ed il 60 % del volume prodotto in test di 240 giorni. In figura 5.9 è rappresentata la buona correlazione riscontrata tra i risultati dei test di 21 e 90 giorni. Da notare che per alcuni campioni caratterizzati da GS_{90} pari anche ad oltre $10 Nl/kgST$, la produzione di biogas in test di 21 giorni risultava comunque nulla.

La produzione potenziale di biogas da rifiuti urbani non pretrattati smaltiti in discarica è valutabile in circa $200 Nl/kgST$ (Leikam e Stegmann, 1998). Un valore limite di $20 Nl/kgST$ per il GS_{90} per i rifiuti pretrattati garantirebbe quindi la riduzione del 90% circa della produzione di biogas in discarica, rispetto al caso di discarica per rifiuti tal quali (Binner et al., 1999).

Dalla correlazione riportata in Figura 5.9 si nota che al valore di 20 NI/kg ST per il GS_{90} corrisponderebbe un valore intorno a 5 NI/kgST per il GB_{21} .

In figura 5.10 risulta evidenziata l'influenza della durata del pretrattamento di stabilizzazione biologica sull'entità della produzione di biogas in test di fermentazione, attraverso i risultati di test su campioni prelevati in diverse fasi del processo di stabilizzazione nell'impianto di Lüneburg. Il valore di 20 NI/kgST per il GB_{21} , indicato dagli autori come tipico di materiale stabilizzato (linea tratteggiata in figura 5.10) è raggiunto dopo circa 3 mesi di pretrattamento nell'impianto considerato (von Felde e Doedens, 1998). Il fatto che gli autori considerino ben stabilizzato il materiale caratterizzato da GB_{21} inferiore a 20 NI/kgST appare in contrasto con quanto precedentemente riportato e proposto da Binner et al., 1999, che riferivano il valore 20 NI/kgST al parametro GS_{90} . Questa incongruenza rende evidente l'incertezza che tuttora è presente a livello internazionale sulla definizione dei limiti da fissare per gli indici di stabilità biologica dei rifiuti.

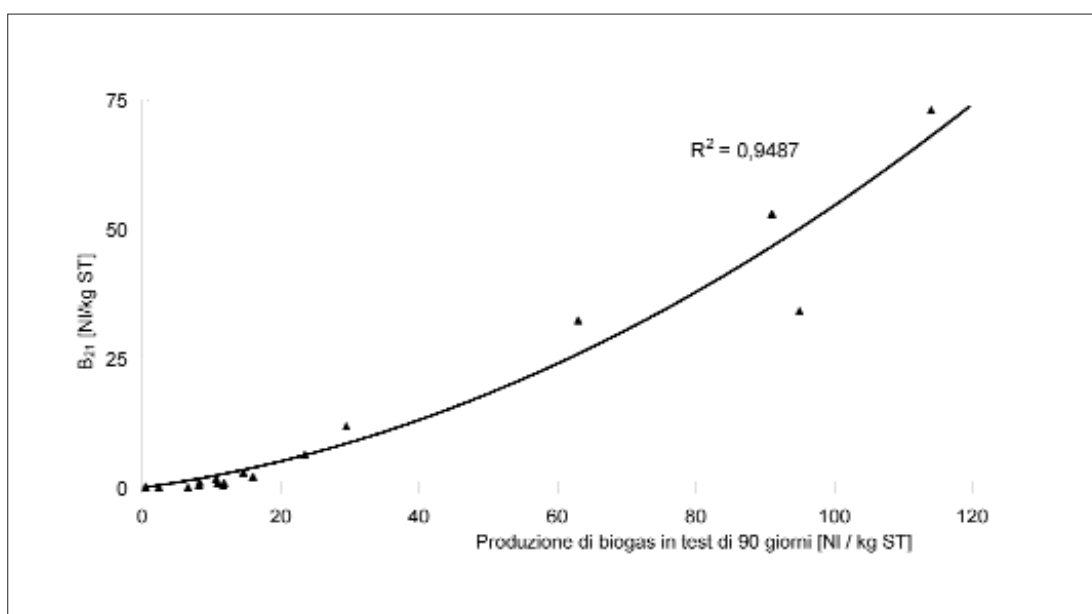


Figura 5.9: Correlazione riscontrata tra i risultati dei test di fermentazione di 21 e 90 giorni. (Fonte: Binner et al., 1999)

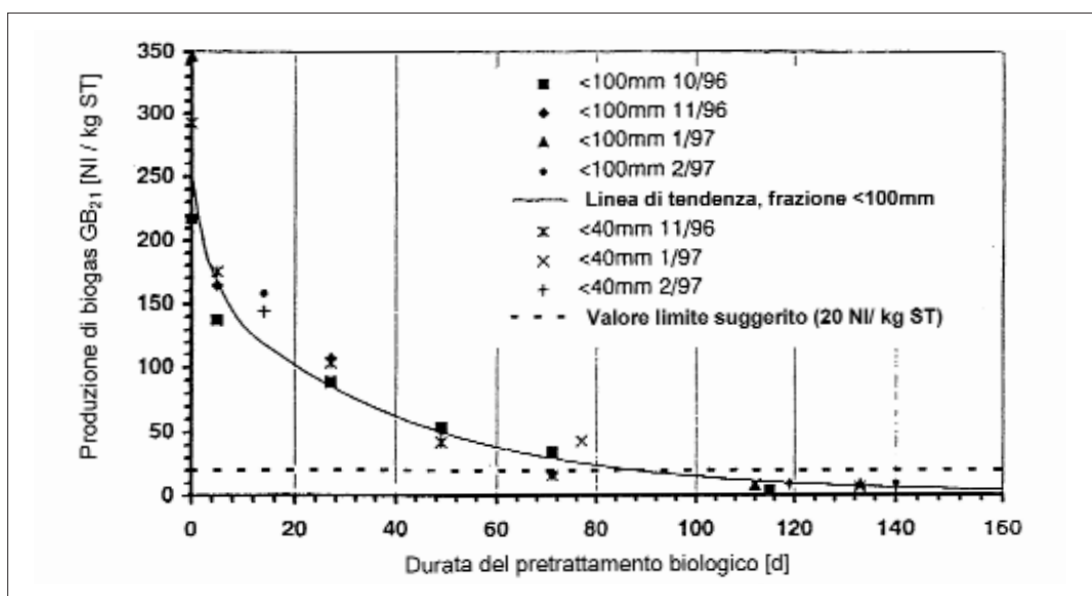


Figura 5.10: Produzione di biogas in 21 giorni da campioni di rifiuti pretrattati provenienti dall'impianto di Lüneburg, prelevati in diverse fasi del processo di stabilizzazione.

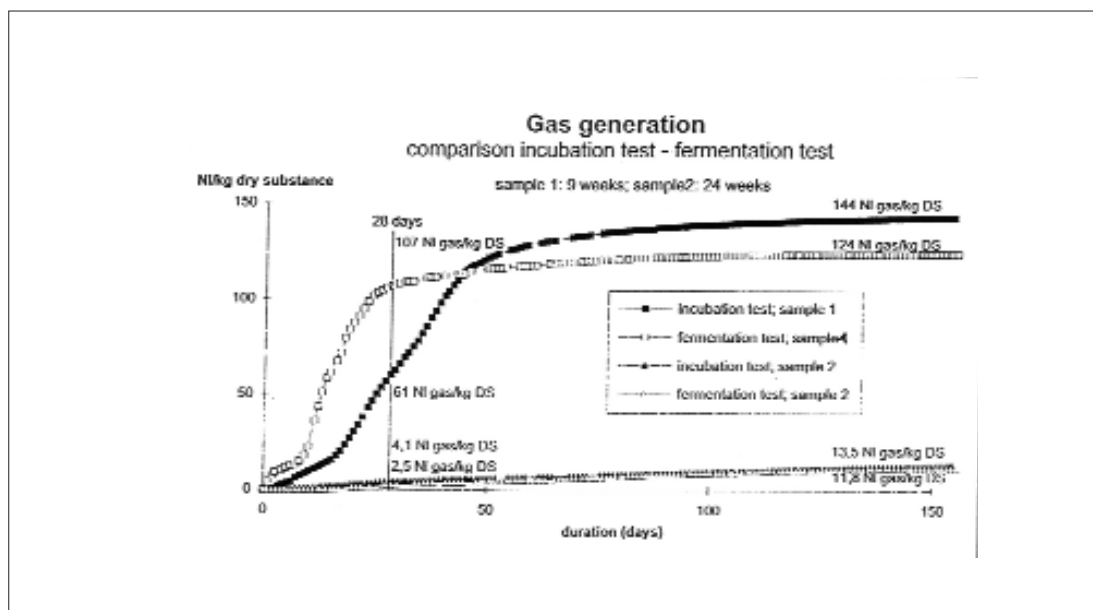


Figura 5.12: Confronto tra test di incubazione e test fermentativo.

Confrontato col test fermentativo, il test di incubazione ha un comportamento significativamente meno reattivo nella prima fase (figura 5.12); solo successivamente, presenta produzioni di biogas più elevate.

Per ambedue i test, i campioni umidi freschi offrono i risultati migliori.

L'aggiunta di inoculo permette una produzione di gas più rapida e, dunque, una valutazione dei risultati in tempi ridotti.

Per lunghi periodi di trattamento e campioni ampiamente stabili, il test di incubazione mostra produzioni di gas più elevate rispetto a rifiuti freschi (figura 5.13). Con entrambi i metodi, circa il 75% della produzione totale di biogas, si realizza dopo 30-35 giorni, mentre il 90%, dopo 60 giorni. Il test d'incubazione determina una maggiore produzione di biogas che non il test fermentativo.

Sulla base dei risultati riportati in letteratura, possiamo affermare che il test d'incubazione, sembra essere più efficiente nel caratterizzare il comportamento reattivo dei rifiuti trattati (figura 5.12).

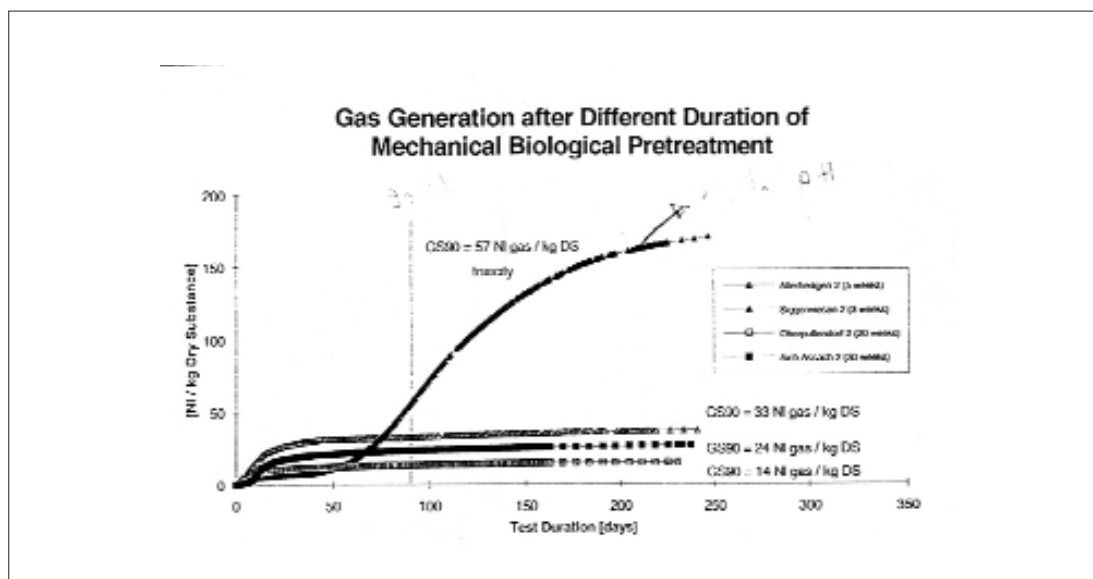


Figura 5.13: Produzione di biogas dopo trattamenti meccanico-biologici di differente durata.

5.2.4.4 Test d'incubazione metodo di Adani et al. (saltato metodo Zach binner)

Un test di incubazione recentemente approntato da Adani et al. (2000a) prevede l'utilizzo di vials in vetro ermeticamente chiusi, mantenuti ad una temperatura costante di 35°C per mezzo di un bagno termostato muniti, all'interno dei quali viene posto il campione da analizzare (figura 5.14).

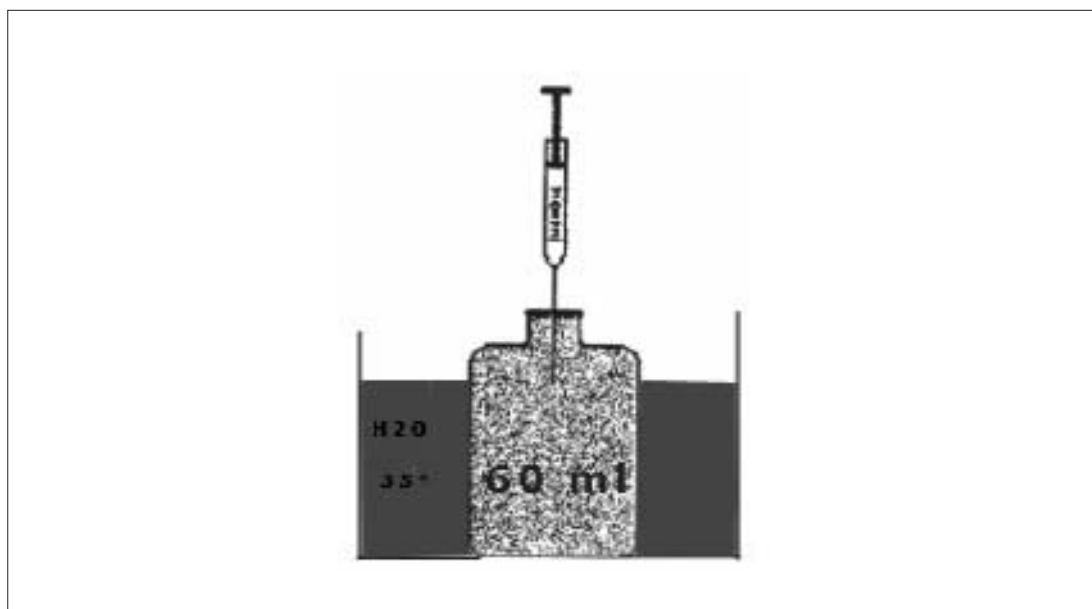


Figura 5.14: Test di incubazione metodo Adani et al. (2000a).

Questo test risulta molto semplice e funzionale permettendo di eseguire prove con un alto numero di campioni in contemporanea. Con questo test vengono determinati qualitativamente e quantitativamente i biogas prodotti in un periodo di 28 e anche 90 giorni. Inoltre dato il poco spazio occupato dai contenitori di vetro, consente di fare delle determinazioni di biogas anche per tempi più lunghi, senza compromettere la funzionalità operativa delle apparecchiature in uso.

Una migliore descrizione del metodo la si rimanda nella sezione materiali e metodi.

5.2.5 Test di cessione in acqua distillata

Il test di cessione consente di valutare la lisciviabilità degli elementi inquinanti presenti nei rifiuti. In particolare il test di cessione con acqua distillata consente di valutare la capacità di rilascio delle sostanze da parte di rifiuti per effetto del percolamento di acque meteoriche.

In Germania esiste una metodica standardizzata DIN 38 414-S 4 che prevede che un campione rappresentativo (circa 50 g), ridotto a granulometria inferiore a 10 mm, venga introdotto nell'estrattore con acqua distillata in rapporto 1:10 e sottoposto per 24 ore ad agitazione in Jar-Test garantendo il ricambio continuo della superficie di contatto con il liquido estraente. La frazione liquida è quindi separata per filtrazione da quella solida e sull'eluato vengono determinati, tra gli altri, BOD₅ e COD e il rapporto tra questi due parametri.

Binner et al. (1999) sulla base di test effettuati individuano in 0,2 il valore del rapporto BOD₅/COD al di sotto del quale un rifiuto si può considerare stabilizzato mantenendo comunque una riserva e per questo consigliando di affiancare a questo test altri test come quello respirometrico o di produzione di biogas.

Alcuni autori (CTD, 1997), invece, suggeriscono il valore di 0,1 come limite massimo da rispettare per i rifiuti sottoposti a pretrattamento biologico da destinare a smaltimento in discarica, unitamente al valore COD < 1500 mg/l.

5.2.6 Test con cartina all'acetato di piombo

La produzione di H_2S durante i processi di degradazione anaerobica dei rifiuti può consentire una valutazione della stabilità del rifiuto attraverso un test qualitativo che fa uso della cartina all'acetato di piombo, la quale, in presenza di acido solfidrico, si annerisce per formazione di solfuro di piombo. Il tempo impiegato dalla cartina ad annerire, che può variare da pochi minuti a qualche giorno, è indicativo della quantità di acido solfidrico sviluppato e quindi del grado di attività batterica.

Al fine di individuare un parametro che, coerentemente con gli altri, assicuri i valori più elevati in presenza di maggior putrescibilità del materiale, è stato definito dal Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale (LISA) dell'Università di Padova, il Black Index (BI, d^{-1}), pari all'inverso del tempo impiegato dalla cartina a cambiare colore, indice del grado di putrescibilità residua nel campione. Valori bassi del BI (poche ore) sono tipici di campioni senz'altro poco stabilizzati. Valori alti del BI viceversa, non garantiscono che il campione considerato sia stabilizzato, ma indicano esclusivamente assenza di produzione di H_2S , fatto che potrebbe verificarsi anche per campioni molto putrescibili, ma non contenenti zolfo. In tal caso quindi il test è utilizzabile come test preliminare a cui far seguire i successivi accertamenti.

In Figura 5.15 sono riportate le correlazioni tra i valori misurati per il BI e quelli misurati per i STV e Spf, su campioni provenienti da diversi impianti di pretrattamento biologico in Italia e in Germania. Si osserva il netto miglioramento del coefficiente R^2 se si correlano i dati ottenuti per il BI al contenuto di solidi potenzialmente fermentescibili, piuttosto che al contenuto di solidi totali volatili.

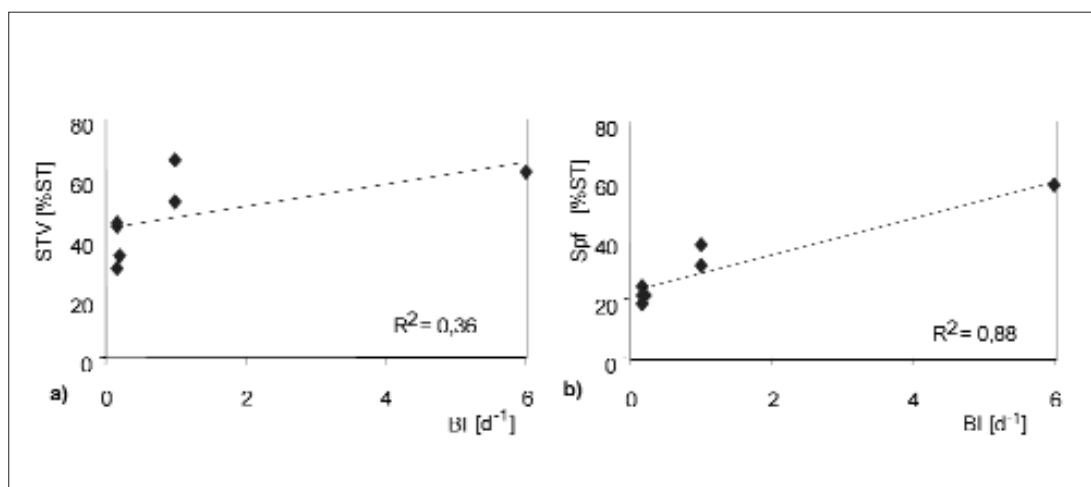


Figura 5.15: Correlazione tra i valori misurati per il BI e quelli misurati per i STV e Spf, sulla base dei risultati ottenuti presso il Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova.

6. Materiali e metodi (Prima campagna di prove)

6.1 Tipologia dei rifiuti trattati

Nel presente studio sono stati analizzati, presso il Di.Pro.Ve. (Dipartimento di Produzione Vegetale) sezione FCA (Fisiologia delle piante coltivate e chimica agraria) - Università degli Studi di Milano, diverse tipologie di rifiuti organici pretrattati (18 matrici), nonché diversi campioni di rifiuti residuali da raccolta differenziata (12 matrici).

Le 18 matrici di rifiuti pretrattati studiate rappresentano il prodotto dei principali sistemi di trattamento dei rifiuti urbani il cui destino è o sarà probabilmente, la discarica (biostabilizzazione, bioessiccamento/biostabilizzazione e scarti della produzione di CDR).

I 9 campioni di rifiuti biostabilizzati (BT), con processo a separazione di flussi utilizzati nelle prove respirometriche, provengono da impianti di biostabilizzazione lombardi e veneti.

I 6 campioni di rifiuti bioessiccati/biostabilizzati (BS) con processo a flusso unico provengono da impianti di bioessiccamento/biostabilizzazione situati in Lombardia.

Sono stati, inoltre, analizzati 3 campioni, di sottovaglio (ST) derivanti dalla produzione di CDR ($\varnothing < 2$ cm) provenienti da impianti lombardi.

I campioni di frazioni residue di rifiuti urbani a valle della raccolta differenziata sono stati forniti dall' ARPA Veneto, suddivisi in tre categorie così individuabili:

- rifiuto secco residuo derivante dalla raccolta porta a porta;
- rifiuto derivante da cassonetto stradale tal quale;
- rifiuto derivante dalla raccolta secco/umido con doppio cassonetto stradale.

In particolare sono state condotte le determinazioni analitiche sui campioni descritti in tabella 6.1. e 6.2.

Tabella 6.1: Test di laboratorio e relativi parametri per la valutazione del grado di stabilizzazione biologica dei rifiuti

Test	Parametro
Test per la determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili	Contenuto di solidi potenzialmente fermentescibili, Spf (% ST)
Test per la determinazione delle ceneri e dei solidi volatili	SV (% ST), Ceneri (%)
Test respirometrico	Indice di respirazione, IRD ($\text{mgO}_2/\text{Kg SPF}^{-1}\text{h}^{-1}$), IRS ($\text{mgO}_2/\text{Kg SPF}^{-1}\text{h}^{-1}$)
Test di incubazione	Produzione di biogas 28gg/90gg (L/Kg ST)

Tabella 6.2: Tipologia di rifiuti analizzati

Tipologia di rifiuto	Campioni analizzati	Note
Rifiuti urbani sottoposti a pretrattamento meccanico biologico di stabilizzazione	BT-i1, BT-i2, BT-i3	Prelievo all'inizio del trattamento di stabilizzazione
	BT-m1, BT-m2, BT-m3	Prelievo a metà del trattamento di stabilizzazione
	BT-f1, BT-f2, BT-f3	Prelievo a fine del trattamento di stabilizzazione
Rifiuti urbani sottoposti a processo di bioessiccamento/biostabilizzazione	BS-i1, BS-i2, BS-i3	Prelievo all'inizio della bioessiccazione/biostabilizzazione
	BS-f1, BS-f2, BS-f3	Prelievo a fine trattamento di bioessiccazione/biostabilizzazione

segue

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

segue

Tipologia di rifiuto	Campioni analizzati	Note
Rifiuti urbani sottoposti a processo di bioessiccamento	ST-1, ST-2, ST-3	Test sul sottovaglio con $\varnothing < 2\text{cm}$
Frazioni residue di rifiuti urbani a valle della raccolta differenziata	Res. P/P. (1, 2, 3, 4)	4 campioni di rifiuto derivante dalla raccolta porta a porta
	C.Strad.t.q. (1, 2, 3, 4)	4 campioni di rifiuto derivante da cassonetto stradale tal quale
	Racc.S/U d.c.s. (1, 2, 3, 4)	4 campioni di rifiuto derivante dalla raccolta secco/umido con doppio cassonetto stradale

Per una migliore comprensione del momento di campionamento delle diverse matrici, negli schemi seguenti (Figure 6.1 6.2 6.3) sono evidenziati i punti di prelievo nell'impianto.

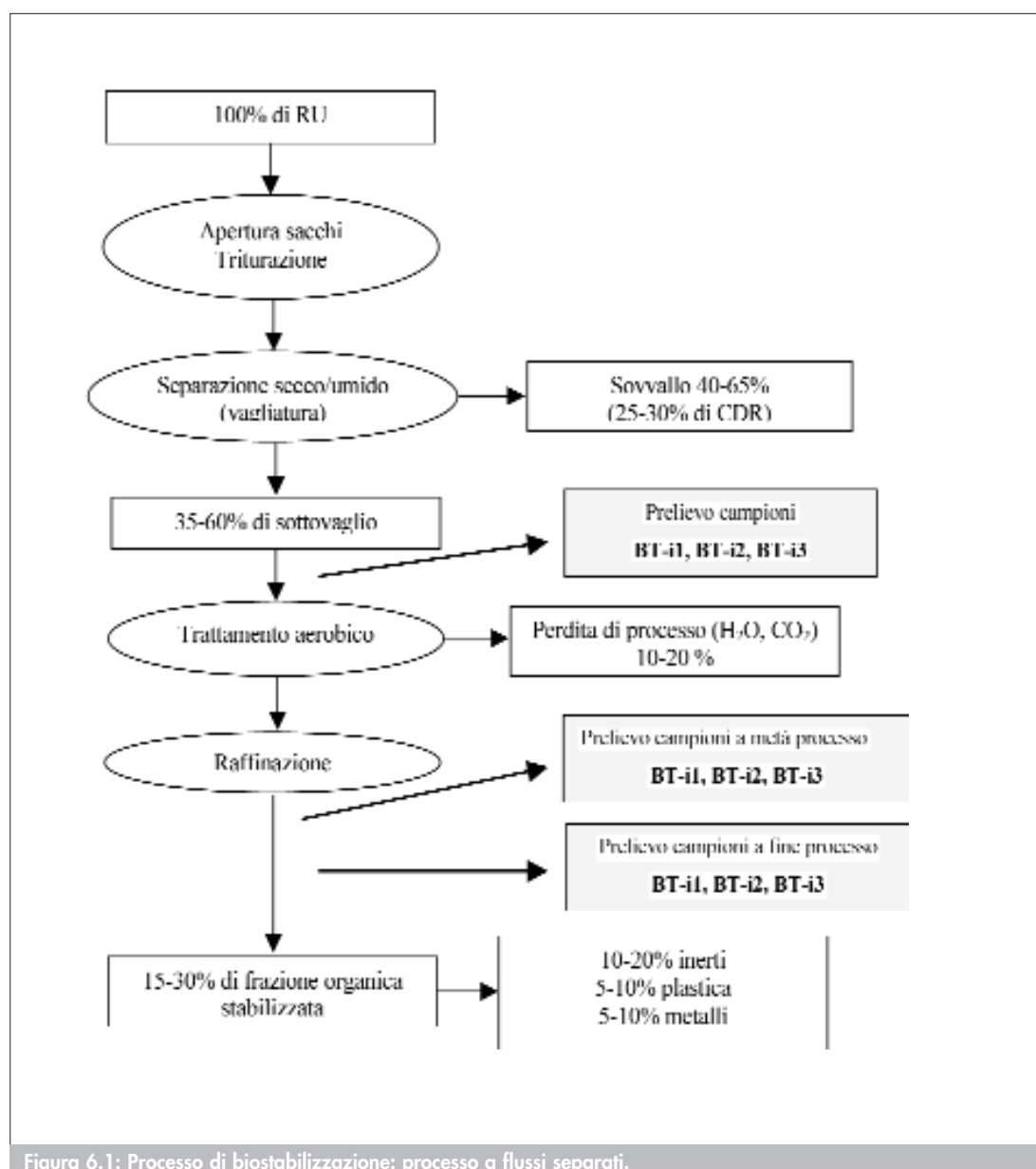


Figura 6.1: Processo di biostabilizzazione: processo a flussi separati.

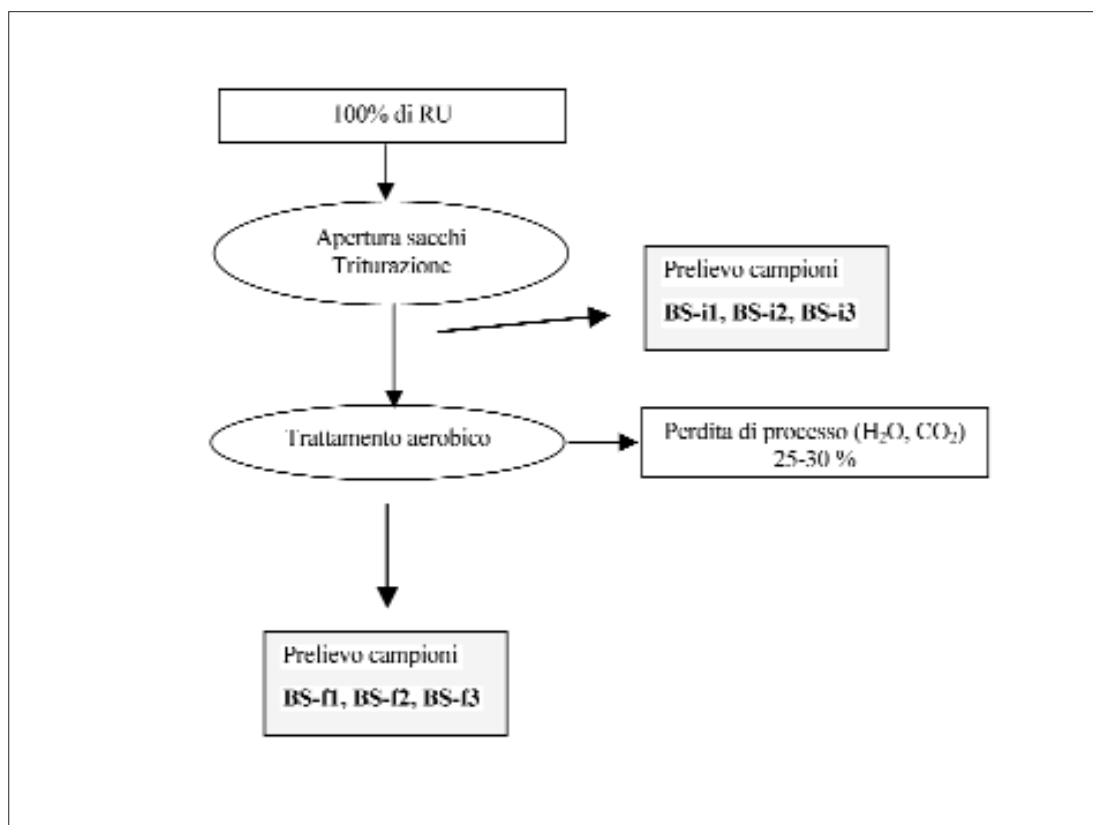


Figura 6.2: Processo di bioessiccamento/biostabilizzazione: processo a flusso unico.

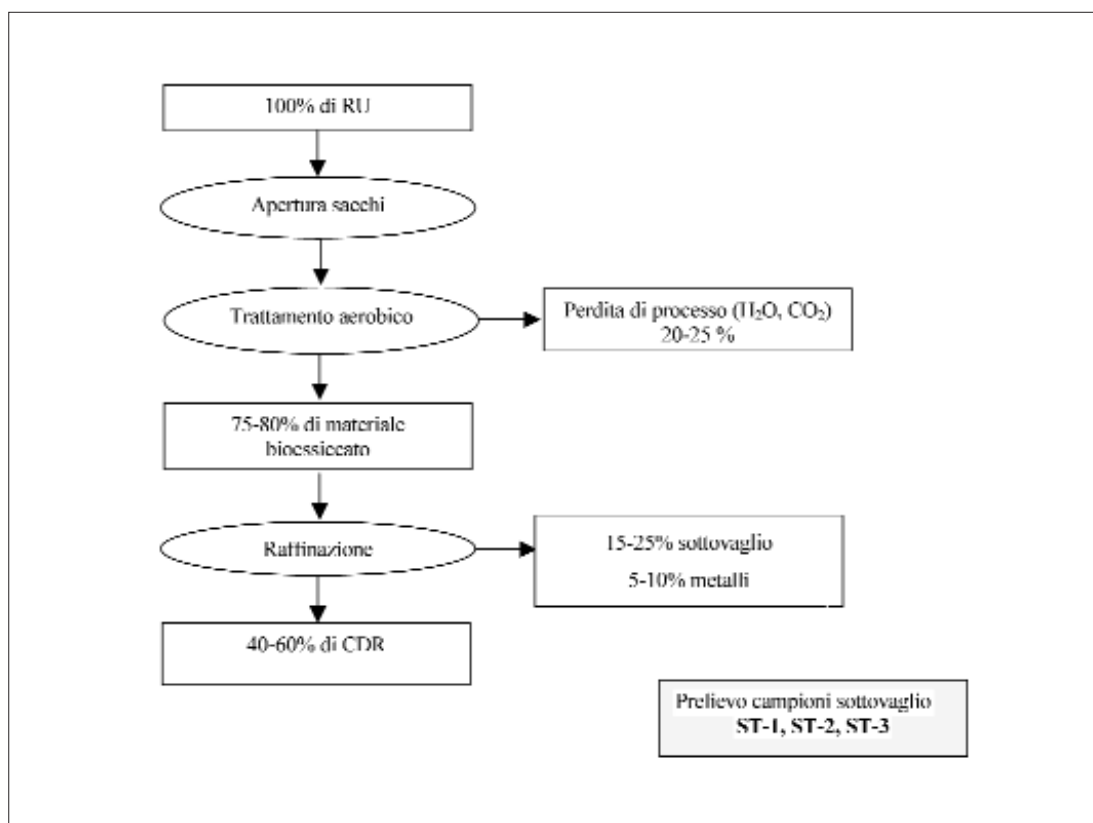


Figura 6.3: Processo di bioessiccamento: processo a flusso unico

6.2 Campionamento del rifiuto

Prima di effettuare il campionamento, si è presa visione del processo produttivo e delle condizioni che determinavano la formazione del rifiuto nella situazione operativa, allo scopo di poter meglio stabilire la strategia di campionamento.

Modalità di campionamento

I rifiuti urbani sono matrici ad elevata eterogeneità chimica – fisica, perciò risulta determinante, ai fini dell'affidabilità dei risultati delle varie analisi condotte, l'accuratezza con cui viene effettuato il campionamento. Per arrivare ad una frazione rappresentativa, obiettivo principale di questa fase, si è adottato quale sistema di prelievo quello a "griglia". Lo schema riportato in figura 6.4 mostra la disposizione del rifiuto da campionare.

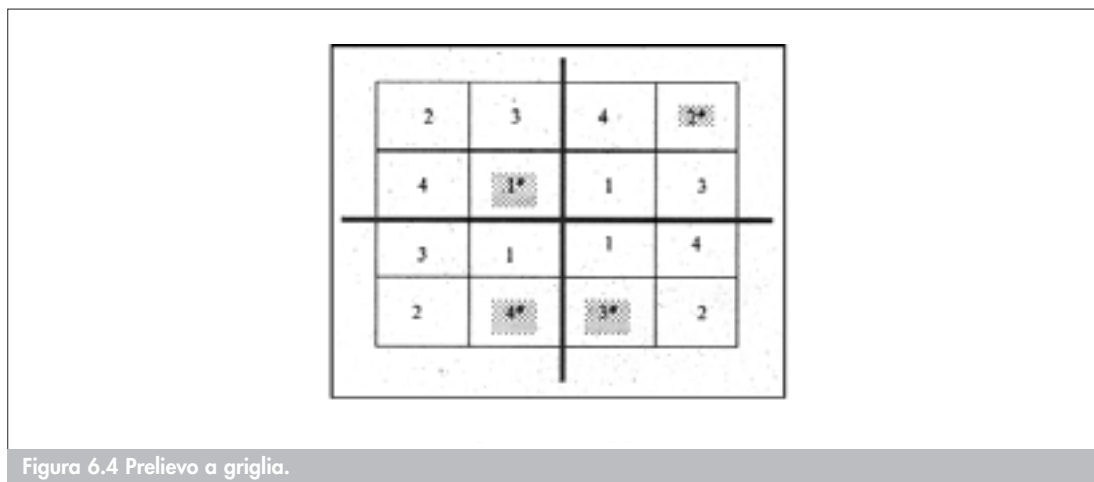


Figura 6.4 Prelievo a griglia.

I campionamenti sono stati effettuati ad inizio, metà e fine processo. Da un punto di vista merceologico, il materiale iniziale risultava costituito da scarti di tipo domestico, comprendenti una frazione umida ed una secca, dalla pezzatura variabile da 1 a 20 cm, in cui si potevano osservare i seguenti componenti:

- scarti alimentari;
- carta e cartone;
- tessuti;
- legno;
- plastica (bottiglie per bevande, imballi ed altro materiale plastico);
- metalli ferrosi (contenitori vari, tappi, etc.);
- metalli non ferrosi (lattine in alluminio ed altro);
- inerti (contenitori in vetro, sassi, etc.).

I campioni di residuo della produzione del CDR sono stati campionati in modo analogo.

Confezionamento ed etichettatura

I vari campioni di circa 20-40 kg, ottenuti, sono stati collocati in sacchetti di plastica opportunamente chiusi in modo da evitare eventuali perdite di sostanza e mantenere l'effettivo tenore d'umidità durante il trasporto in laboratorio, al fine di essere poi utilizzati per gli scopi preposti. Infine, sul sacchetto è stata applicata un'etichetta per identificare il campione, riportando le seguenti informazioni:

- data del campionamento
- numero del campione
- breve descrizione del campione
- peso totale del campione.

I campioni da analizzare in laboratorio

Il campione, conservato in un sacco di plastica, giunto in laboratorio, ha un peso di circa 25-40 kg. Dopo l'apertura del sacco, si fanno ulteriori campionamenti (sempre seguendo i criteri esposti precedentemente) e così il rifiuto proveniente dall'impianto reale viene frazionato procedendo nel seguente modo:

- a) una quantità di rifiuti pari a 20-40 kg viene inserita, dopo aver garantito un contenuto di umidità ottimale, nel respirometro e lì rimane fino alla fine dell'analisi.
- b) un porzione di circa 2-4 kg di rifiuto viene collocato in stufa ventilata a 105°C, previa pesatura su un piano di metallo al fine di aumentare la superficie d'evaporazione. Al raggiungimento del peso costante, in media conseguito entro le 48 – 72 ore, i campioni sono stati nuovamente pesati allo scopo di determinare il contenuto iniziale di acqua; successivamente riposti in sacchetti di plastica, ermeticamente sigillati ed etichettati con le relative informazioni. Alla fase di prelievo ed essiccazione segue la frantumazione del campione con un mulino a lame elicoidali, fino a ridurre il materiale alla pezzatura di $\varnothing < 5$ mm. Al fine di poter svolgere le successive analisi chimiche sul residuo secco è stato eseguito un ultimo campionamento sulla matrice macinata a 5 mm. Pertanto si è disposto su un pianale di metallo il rifiuto triturato ed omogeneizzato di ogni campione e sono state prelevate, attraverso il metodo della quartatura descritto precedentemente, due frazioni di peso compreso fra i 20 ed i 30 grammi, che hanno costituito il campione finale.
- c) alcune tracce perse durante le operazioni di smistamento e non, vengono recuperate nel timore di inquinare il campione con materiale estraneo.

6.3 Determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili (SPf)

Con il termine "Solidi Potenzialmente Fermentescibili" si indica la frazione dei Solidi Volatili (SV) che realmente subisce degradazione biologica durante il processo di biostabilizzazione.

Metodo

Per la determinazione dei SPf ci si riferisce a quanto riportato da Adani e Tambone (1998) ed Adani et al. (1998).

Da quattro a sei grammi di campione essiccato e macinato a 2 mm vengono posti in ditali di cellulosa (33 x 94 mm) preventivamente essiccati e pesati. Si procede ad un'estrazione a mezzo di apparecchiatura soxhlet con etanolo (96 %) a 90 °C per 12 ore.

Il residuo solido viene essiccato e pesato e rappresenta la frazione solubile in etanolo (Et. Sol.) che si calcola nel modo seguente:

$$\text{Et. Sol} = (P_e - P_s)/P_e * 100$$

dove

P_e = peso del campione essiccato prima dell'estrazione

P_s = peso del campione essiccato dopo estrazione (frazione solubile)

Da tre a quattro grammi di campione (residuo insolubile in etanolo) esattamente pesato, vengono poi posti in beute da 250 ml aggiungendo 150 ml di HCl 37 % ($d = 1,19 \text{ kg L}^{-1}$). L'idrolisi acida prosegue per 24 ore a 25°C sotto agitazione continua (100 scosse al minuto). Si filtra su filtro gooch (grado di porosità: 1; 100-160 μ), lavando sino a pH neutro dell'eluato. Sulla frazione residua insolubile vengono determinate le ceneri residue (a 650 °C per 12 ore).

Nel caso specifico, le prove sulla quantificazione dei SPf sono state eseguite in doppio su ogni campione, per tutti i campioni (gli stessi utilizzati nelle prove di produzione del biogas).

Determinazione

La stima dei SPf viene effettuata con la seguente equazione:

$$\text{SPf (\% ST)} = (\text{Et.sol} + \text{HCl sol}) - (\text{Ceneri totali} - \text{Ceneri residue})$$

dove :

SPf = frazione potenzialmente fermentescibile (% ST);

Et. sol. = frazione solubile in etanolo (% ST);

HCl sol. = frazione solubile in acido (% ST).

Per le procedure analitiche relative alla determinazione delle sostanze volatili e delle ceneri si rimanda ai "Metodi di Analisi dei Compost" (DIVAPRA e IPLA, 1992).

6.4 Determinazioni dei parametri chimici

Ogni frazione è stata essiccata in stufa ventilata a 105°C, sino a peso costante e successivamente preparata per le determinazioni analitiche. Queste hanno previsto determinazioni classiche secondo le comuni metodiche analitiche (Metodi ufficiali di analisi, G. U. n. 121, del 25/5/1992).

I risultati trovano espressione quali valori medi percentuali e assoluti delle due repliche.

6.5 Determinazione delle ceneri e dei solidi volatili

La determinazione è stata effettuata previo incenerimento del campione a 650 °C (DI.VA.PRA., 1992) e successiva pesatura dello stesso a raffreddamento avvenuto.

Le determinazioni sono state eseguite in doppio per tutti i campioni oggetto di studio.

6.6 Test respirometrico

Il test di respirazione è stato effettuato in un "respirometro aerobico a flusso continuo" (Cotech, Cernusco S.N., Milano, Italia,).

Il respirometro (fig. 6.5) consta di:

- un corpo reattore adiabatico della capacità di 100 litri;
- un sistema di aerazione munito di regolatore di flusso, misuratore di portata e sistema di umidificazione dell'aria;
- un sistema di rilevamento in/out delle concentrazioni di ossigeno;
- una sonda termometrica per la misura della temperatura esterna ed interna alla biomassa in fermentazione;
- un sistema di registrazione in continuo di concentrazioni di ossigeno, temperature e portate d'aria;
- sistema di raccolta delle condense.

I dati monitorati ed immessi nel Personal Computer possono in seguito essere opportunamente gestiti ed elaborati secondo gli obiettivi che si vogliono perseguire.

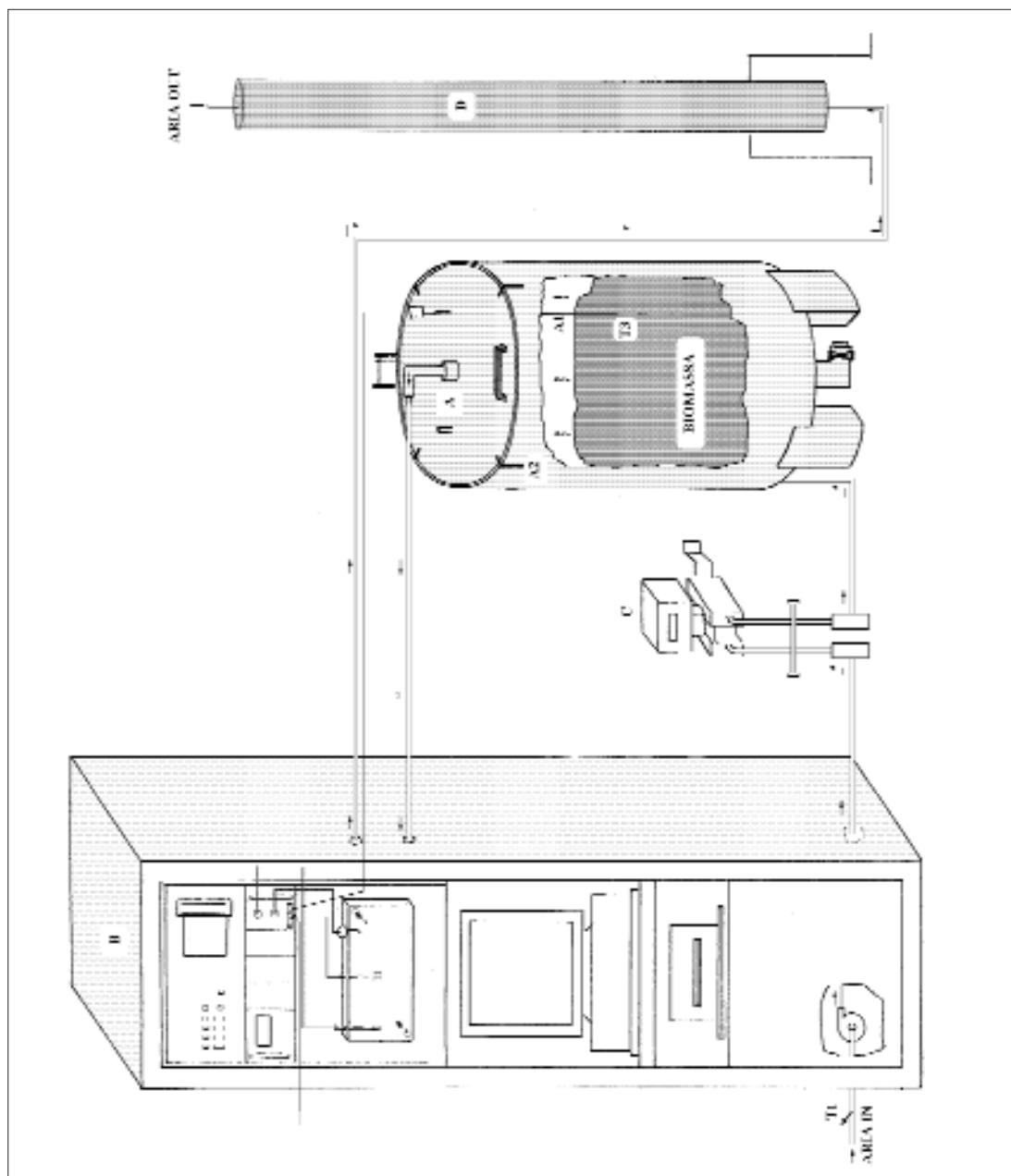


Figura 6.5: Schema del respirometro.

I diversi parametri di processo sono stati monitorati, registrati e memorizzati in continuo su Personal Computer, munito di un apposito programma per la gestione dei dati registrati durante la durata di tutta la prova.

Temperatura.

Le temperature rilevate si riferiscono a quelle dell'aria in ingresso nel fermentatore, della cella di misura dei parametri O_2 e CO_2 e della biomassa nel fermentatore.

Le misurazioni sono state effettuate mediante tre sonde termometriche (PT 100), di cui una posta direttamente a contatto con la biomassa.

Umidità.

La determinazione dell'umidità (DI.VA.PRA., 1992) è stata effettuata sui campioni prelevati secondo quanto specificato successivamente, esprimendo il contenuto in valore percentuale ed assoluto sul tal quale.

Portate d'aerazione e concentrazione d'ossigeno.

Le quantità d'aria immesse nel respirometro sono state scelte in modo tale da mantenere concentrazioni d'ossigeno, nel flusso d'aria in uscita, superiori al 14 % (v/v). Questo valore è ritenuto indispensabile per il mantenimento di condizioni aerobiche della biomassa.

Il flusso d'aria, misurato dal sensore in litri/ora, è stato successivamente riferito all'unità di peso dei solidi totali e dei solidi volatili.

In particolare, la concentrazione dell'ossigeno viene misurata con un apposito elettrodo (elettrodo di Clark).

6.6.1 Determinazione dell'Indice di Respirazione Dinamico

L'Indice di Respirazione Dinamico (IRD) viene determinato valutando il consumo di ossigeno richiesto per la biodegradazione delle frazioni fermentescibili contenute nella massa, per unità di tempo. A seconda delle condizioni operative adottate per l'esecuzione del test respirometrico, si definisce Indice di Respirazione Reale (IRDR) quando il test viene eseguito su di un campione tal quale, così come si presenta al laboratorio, e Indice di Respirazione Potenziale (IRDP), se la determinazione avviene su un campione standardizzato per quanto attiene i principali parametri di processo (ciò consente di operare in condizioni controllate a vantaggio della confrontabilità dei risultati derivanti dai diversi campioni testati).

Il dato respirometrico potrà esprimersi sull'unità di peso dei Solidi Totali (ST), dei Solidi Volatili (SV) e dei Solidi Potenzialmente Fermentescibili (SPf). Quest'ultima notazione permette di discriminare tra i solidi volatili "non fermentescibili" (quali plastiche, gomme, ecc.) e "fermentescibili", offrendo così un approccio più corretto nella espressione della stabilità per le matrici prima indicate.

Campionamento

Il campionamento viene effettuato seguendo la metodica UNI relativa al campionamento degli RDF (UNI, 1992).

L'obiettivo è l'ottenimento di un campione rappresentativo da sottoporre al test respirometrico di circa 5 - 50 litri di materiale tal quale.

Determinazione dell'Indice di Respirazione Dinamico Reale (IRDR)

Su un campione ottenuto come precedentemente indicato si procede alla determinazione dell'Indice di Respirazione reale.

Determinazione dell'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRDP)

Preparazione del campione

Il campione ottenuto con le modalità sopra esposte viene essiccato fino a peso costante in stufa ventilata a 25 - 30°C. Si procede quindi alla macinazione del materiale essiccato sino al raggiungimento di una pezzatura omogenea (tutto il campione deve passare attraverso un vaglio a maglie di 5 cm). Su un'aliquota di campione (4-5 litri) si procede alla determinazione della capacità di ritenzione idrica massima, il resto viene conservato a 4°C.

Standardizzazione degli altri parametri di processo

Qualora si volesse determinare l'IRDP, inteso come la misura dell'attività microbiologica in condizioni standardizzate, si procede alla correzione dei seguenti parametri nei limiti di seguito riportati:

- umidità = 75 % capacità idrica massima;
- pH = 6,5 - 8,5;
- densità apparente < 0,65 t/m³.

Standardizzazione dell'umidità del campione

Il campione di rifiuto opportunamente preparato ed esattamente pesato (circa 4-5 litri) viene posto in un contenitore (per esempio un sacchetto in tela) ed immerso in acqua. Dopo circa

12 ore, il campione viene estratto, lasciato sgocciolare per circa 6 ore e pesato. Si ottiene così un campione dalla capacità idrica massima (la variazione in peso ottenuta rappresenta la quantità di acqua assorbita dal peso noto di sostanza secca). Il campione da sottoporsi a prova respirometrica (5 - 50 litri) viene quindi addizionato di una quantità di acqua pari al 75 % della ritenzione idrica massima.

Standardizzazione del pH del campione

Il pH del materiale da sottoporsi ad analisi viene corretto durante il riassetto della massa essiccata utilizzando soluzioni acquose acide (acido solforico) o basiche (bicarbonato di calcio) diluite.

Standardizzazione della densità apparente

Vengono utilizzati "bulking agent" (riempitivi) biologicamente inerti.

Nel presente studio si è determinato l'indice di respirazione potenziale, che verrà in seguito indicato come Indice di Respirazione Dinamico (IRD).

Determinazione dell'Indice di Respirazione Dinamico (IRD)

L'Indice di Respirazione (IR) viene determinato quantificando il consumo orario di ossigeno del materiale da testare mediante l'utilizzo di un respirometro a flusso continuo di aria come prima indicato.

Il campione preparato viene immesso nel respirometro e sottoposto ad aerazione continua adottando flussi d'aria tali da garantire valori di concentrazione di ossigeno in uscita dal respirometro superiori al 14 % (v/v). La prova viene condotta tenendo il campione in osservazione nel fermentatore per un periodo compreso tra uno e quattro giorni a seconda della durata della fase di lag, rilevando in automatico il valore dell'indice ad intervalli di due ore.

La misura della quantità di ossigeno consumato per l'attività biologica aerobica viene desunta dalla differenza di concentrazione di ossigeno tra l'aria in ingresso e in uscita dal respirometro e calcolata con la seguente espressione:

$$IRDi \text{ (mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}) = Q * h * \Delta O_2 * Vg^{-1} * 31,98 * 10 * SV^{-1} * h^{-1} \quad (1)$$

dove:

IRD = Indice di respirazione istantaneo;

Q = portata aria (L * h⁻¹);

O₂ = differenza di concentrazione dell'ossigeno in ingresso e in uscita dal respirometro (% v/v);

Vg = volume occupato da una mole di gas. Assumendo il valore standard per T₁ = 273,15 °K e P₁ = 1 atm pari a Vg₁ = 22,4 L/mole, il valore corretto di Vg (Vg₂) alla temperatura T₂ viene calcolato con la seguente espressione: Vg₂ = (Vg₁ * T₂/T₁) dove T rappresenta la temperatura in gradi Kelvin;

31,98 = peso molecolare dell'ossigeno (g/mole);

10 = coefficiente moltiplicativo;

SV = solidi volatili (kg). Il dato dell'attività biologica aerobica può essere espresso anche sui solidi totali (ST) o sui solidi potenzialmente fermentescibili (SPf);

h = numero di ore durante le quali viene effettuata la misura.

L'IRD viene calcolato come media dei 12 valori degli indici relativi alle 24 ore durante le quali la respirazione della biomassa è più elevata.

$$IRD_{24} = \sum_{i=1}^{12} \frac{IRD_i}{12}$$

IRD_i = IRD rilevato ogni due ore.

Il dato finale potrà essere espresso sull'unità di peso adottando:

- kg ST (solidi totali);
- kg SV (solidi volatili);
- kg SPf (solidi potenzialmente fermentescibili).

Determinazione dell'indice di respirazione statico (IRS)

L'indice di respirazione statico (IRS) viene stimato con la stessa apparecchiatura scientifica utilizzata per la determinazione dell'indice di respirazione dinamico come riportato da Adani et al. (2001).

La stima del consumo di ossigeno viene determinata osservando la variazione nel tempo della concentrazione di ossigeno nello spazio libero, presente tra la superficie della biomassa ed il coperchio del reattore chiuso ermeticamente. La misura del consumo di ossigeno in ambiente chiuso, necessita della conoscenza esatta del volume di aria a disposizione V_1 (e perciò di ossigeno). Tale dato è pari a: [volume compostatore - (volume biomassa - volume spazi vuoti)]. Durante la determinazione dell'IRS, un apposito elettrodo (elettrodo di Clark) viene inserito nel reattore a contatto con lo spazio libero prima indicato.

L'IRS viene calcolato con la seguente formula:

$$\text{IRS (mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}) = V_1 * \Delta\text{O}_2 * V_g^{-1} * 31,98 * \text{SV}^{-1} * \text{h}^{-1}$$

dove:

- V_1 = volume libero del reattore (L mol⁻¹);
- ΔO_2 = differenza di concentrazione di ossigeno (mL L⁻¹);
- V_g = volume occupato da una mole di gas in condizioni costanti (L mol⁻¹);
- 31,98 = peso molecolare dell'ossigeno;
- SV = totale dei solidi volatili presenti al momento della misurazione (kg)

Precisione del metodo respirometrico

Al fine di dare una maggiore validità ai risultati ottenuti, sono state eseguite alcune prove respirometriche in doppio.

I risultati ottenuti sono riportati in tabella 6.3.

Tabella 6.3: Prove in doppio

Campioni		IRD (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	Media	Deviazione Standard	Coefficiente di Variazione
BT-i1	1 ^a prova	2.529	2611	116	4,44
	2 ^a prova	2.693			
BT-i3	1 ^a prova	3.255	3.258,5	4,95	0,15
	2 ^a prova	3.262			
BT-f3	1 ^a prova	918	870,5	67,18	7,71
	2 ^a prova	823			
ST1	1 ^a prova	2.272	2.339,5	95,46	4,1
	2 ^a prova	2.407			
Campioni		IRS (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	Media	Deviazione Standard	Coefficiente di Variazione
BT-i1	1 ^a prova	532	536	5,66	1,05
	2 ^a prova	540			
BT-i3	1 ^a prova	529	475	76,38	16,08
	2 ^a prova	421			
ST-1	1 ^a prova	285	329	62,22	18,91

Note: BTf₃ IRS= dato perso

Come si nota, il coefficiente di variazione è nella generalità dei casi basso; questo testimonia la validità del metodo respirometrico, nonché la sua affidabilità. Discorso a parte per l'IRS che mostra maggior variabilità.

6.7 Determinazione della produzione del biogas

Preparazione del campione e della strumentazione

Macinatura

Dai rifiuti considerati si è prelevata una frazione rappresentativa da sottoporsi al test di produzione di biogas. Ciascuna frazione è stata macinata meccanicamente fino al raggiungimento di un diametro pari a circa 1 mm (pezzatura standard).

Preparazione campioni

I campioni di pezzatura 1 mm sono stati introdotti in vials di vetro da 60 ml, sigillati da un tappo a ghiera con setto di silicone perforabile. In tutti i vials sono stati introdotti 4 grammi di materiale secco. Per ottenere questo materiale secco, i differenti campioni sono stati posti in stufa termostata a 105° centigradi per 24 ore, affinché l'umidità residua di ogni matrice risultasse nulla. Ai campioni posti nei vials è stata aggiunta acqua sufficiente a raggiungere un quantitativo di sostanza secca pari al 40%.

Al momento della chiusura dei vials si è provveduto ad insufflare azoto in continuo per garantire una perfetta anaerobiosi.

Per il campionamento del biogas sono state utilizzate siringhe da 1 ml con stantuffo lubrificato mediante grasso di silicone al fine di permetterne lo scorrimento quando si sviluppa una leggera pressione all'interno dei vials.

La figura 6.6. mostra l'insieme delle componenti del test di incubazione con un bagno termostato nel quale si immergono i vials muniti di siringa.

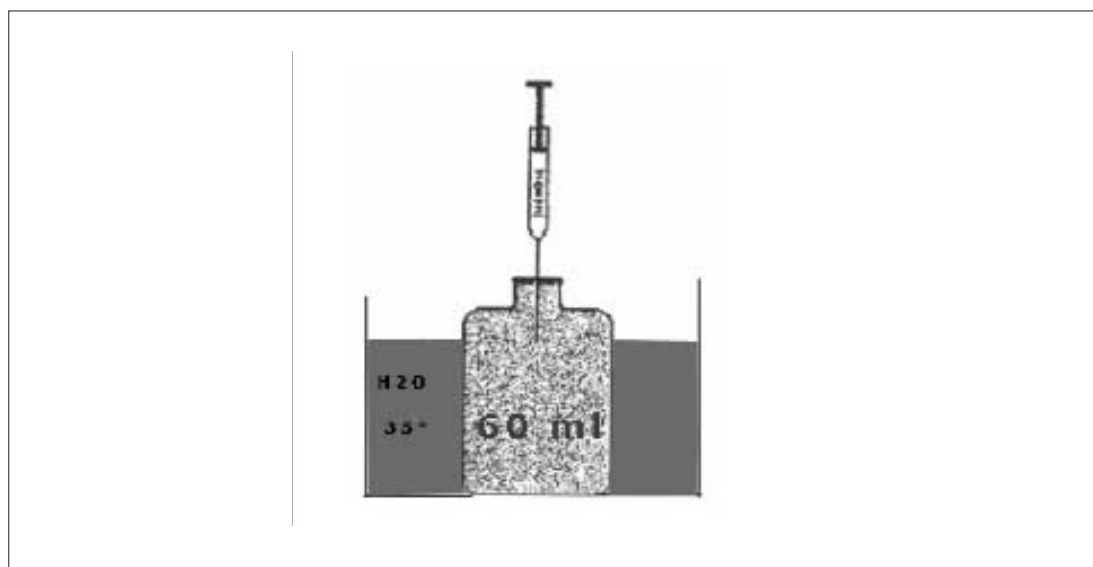


Figura 6.6 Test di incubazione.

6.7.1 Determinazione della produzione di biogas

La determinazione della produzione di biogas è stata condotta sia da un punto di vista quantitativo, sia da quello qualitativo (in particolare, lavori precedenti hanno evidenziato che la somma di CO₂ e CH₄ rappresenta il 100% del biogas prodotto).

Le prove sono state eseguite in triplo.

Determinazione quantitativa della produzione di biogas

Si è proceduto all'analisi quantitativa del biogas prodotto mediante l'utilizzo delle siringhe precedentemente descritte. I dati così ottenuti vengono espressi in mL e poi convertiti in L/kg ST.

Determinazione qualitativa della produzione di biogas

Per la determinazione percentuale del biogas si è utilizzato un Gascromatografo mod. Carlo Erba Megaserie 5300 costituito da:

- una colonna capillare mega di lunghezza pari a 25 m e 0.32 mm;
- un rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID).

Una quantità pari a 0,5 mL di biogas prodotto viene introdotto all'interno della colonnina capillare.

Il gas impiegato come carrier è l'azoto (il più utilizzato per ragioni di sicurezza), mantenuto alla pressione di 20 Kpa; la fiamma è stata alimentata con una miscela di aria e idrogeno in rapporto di 2:1.

Le temperature di FID ed iniettore erano rispettivamente di 350° e 150°C, mentre il forno è stato mantenuto a 35°C costanti.

Le analisi quantitative hanno evidenziato la produzione di due differenti tipi di biogas: anidride carbonica e metano. Altri gas, se presenti, erano rilevabili solamente in tracce.

Parametri chimico-fisici e durata delle prove

Le prove sono state condotte per un periodo di tempo di 90 giorni. I prelievi, solitamente a cadenza settimanale, sono stati effettuati in un periodo di tempo più ravvicinato all'inizio della prova (due volte a settimana per i primi trenta giorni) per due motivi:

1. avere un'informazione puntuale sulla produzione di biogas;
2. evitare la formazione di pressioni elevate all'interno dei vials che, soprattutto nei primi giorni di incubazione, avrebbero potuto far saltare il tappo a ghiera, interrompendo così le condizioni di anaerobiosi ed agire quale inibitore (inibitore da prodotto finale).

I campioni sono stati tenuti in un bagno termostato la cui temperatura era costantemente mantenuta a 35°C (una temperatura simile a quella che comunemente si raggiunge all'interno delle discariche), considerata ottimale per la metanogenesi.

I vials venivano estratti solamente per le operazioni di misurazione. E' stata mantenuta e controllata anche la perfetta anaerobiosi dei vials.

Al termine dei 90 giorni (durata dei tests) i campioni sono stati estratti dal bagno termostato per poter effettuare le successive analisi.

Si è recuperata la matrice organica e misurato il pH sui differenti campioni incubati.

7. Risultati (Prima campagna di prove)

7.1 Tipologia dei campioni indagati

Le matrici oggetto dello studio sono costituite da due categorie fondamentali:

- rifiuti pretrattati;
- frazioni residue di rifiuti urbani a valle della raccolta differenziata.

7.1.1 Rifiuti pretrattati

Questa tipologia di rifiuti, comprende i campioni ottenuti dai processi di stabilizzazione biologica e bioessiccamento (Tabella 7.1), sui quali sono state effettuate le prove analitiche.

Tabella 7.1: Rifiuti solidi urbani

Tipologi di rifiuto	Campioni analizzati	Note
Rifiuti urbani sottoposti a pretrattamento meccanico biologico di stabilizzazione	BT-i1, BT-i2, BT-i3	Prelievo all'inizio del trattamento di stabilizzazione
	BT-m1, BT-m2, BT-m3	Prelievo a metà del trattamento di stabilizzazione
	BT-f1, BT-f2, BT-f3	Prelievo a fine del trattamento di stabilizzazione
Rifiuti urbani sottoposti a processo di bioessiccamento	BS-i1, BS-i2, BS-i3	Prelievo all'inizio della bioessiccazione
	BS-f1, BS-f2, BS-f3	Prelievo a fine trattamento di bioessiccazione
Rifiuti urbani sottoposti a processo di bioessiccamento	ST-1, ST-2, ST-3	Test sul sottovaglio con $\varnothing < 2\text{cm}$

I risultati analitici ottenuti sono riassunti nelle tabelle seguenti secondo lo schema:

Tabella 7.2. Rifiuti biostabilizzati flussi separati - *Risultati analitici*

Tabella 7.3. Rifiuti biostabilizzati flussi separati - *Indici di Respirazione*

Tabella 7.4. Rifiuti bioessiccati/biostabilizzati flusso unico - *Risultati analitici*

Tabella 7.5. Rifiuti bioessiccati/biostabilizzati flusso unico - *Indici di Respirazione*

Tabella 7.6. Sottovaglio ottenuto dalla produzione del CDR - *Risultati analitici*

Tabella 7.7. Sottovaglio ottenuto dalla produzione del CDR - *Indici di Respirazione*.

Tabella 7.2.: Rifiuti biostabilizzati flussi separati - Risultati analitici

Sigla Campione	Peso Secco (%)	Umidità (%)	Ceneri (%)	SV (% ST)	SPF (%ST)	Biogas (L/kg ST) 28 gg	Biogas (L/kg ST) 90 gg	
1	BT- i 1	53,58	46,42	49 ± 1,13	51 ± 1,13	37,74 ± 0,45	0,87 ± 0,19	2,77 ± 0,15
	BT- m 1	43,03	56,97	60,35 ± 0,15	39,65 ± 0,15	22,98 ± 0,93	1,48 ± 1,05	6,56 ± 1,39
	BT- f 1	44,51	55,49	60,03 ± 1,94	39,97 ± 1,94	23,98 ± 0,64	1,74 ± 0,37	7,52 ± 0,14
2	BT- i 2	42,15	57,85	31,35 ± 0,44	68,65 ± 0,44	51,57 ± 3,54	0,50 ± 0,22	1,14 ± 0,51
	BT- m 2	44,72	55,28	37,23 ± 0,67	62,77 ± 0,67	38,98 ± 2,12	1,44 ± 0,16	2,57 ± 0,49
	BT- f 2	42,20	57,8	37,49 ± 1,59	62,51 ± 1,59	43,18 ± 0,06	1,27 ± 0,05	2,29 ± 0,37
3	BT- i 3	43,25	56,75	21,92 ± 1,03	78,08 ± 1,03	57,39 ± 0,27	0,79 ± 0,07	1,52 ± 0,07
	BT- m 3	43,47	56,53	38,79 ± 1,60	61,21 ± 1,60	36,54 ± 1,12	1,70 ± 0,13	3,80 ± 0,21
	BT- f 3	46,81	53,19	36,33 ± 2,23	63,67 ± 2,23	38,08 ± 1,25	1,33 ± 0,34	1,98 ± 0,34

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 7.3: Rifiuti biostabilizzati flusso separato - Indici di Respirazione

Sigla Campione	SV (% ST)	IRD (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	IRS (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	SPf (%ST)	IRD (mg O ₂ kg SPf ⁻¹ h ⁻¹)	IRS (mg O ₂ kg SPf ⁻¹ h ⁻¹)
BT- i 1	51 ± 1,13	4.126 ± 432 *	1.182 **	37,74 ± 0,45	7.118 ± 746 *	720 **
1 BT- m 1	39,65 ± 0,15	2.529 ± 44	532	22,98 ± 0,93	3.420 ± 351	2.040
BT- f 1	39,97 ± 1,94	780 ± 260	366	23,98 ± 0,64	1.300 ± 74	610
BT- i 2	68,65 ± 0,44	5.148 ± 150	1.326	51,57 ± 3,54	6.893 ± 200	1.765
2 BT- m 2	62,77 ± 0,67	1.300 ± 76	654	38,98 ± 2,12	2.094 ± 123	1.053
BT- f 2	62,51 ± 1,59	985 ± 108	502	43,18 ± 0,06	1.427 ± 156	727
BT- i 3	78,08 ± 1,03	3.255 ± 348	529	57,39 ± 0,27	4.428 ± 474	721
3 BT- m 3	61,21 ± 1,60	2.349 ± 298	595	36,54 ± 1,12	3.936 ± 499	996
BT- f 3	63,67 ± 2,23	918 ± 295	N.D.	38,08 ± 1,25	1.536 ± 495	N.D.

Note:

N.D. non determinato

*Intervallo di variazione dei valori di IRD istantanei.

** Indice riferito alla massima attività respirometrica rilevata.

Tabella 7.4: Rifiuti Bioessicati/biostabilizzati flusso unico - Risultati analitici

Sigla Campione	Peso Secco (%)	Umidità (%)	Ceneri (%)	SV (% ST)	SPf (%ST)	Biogas (L/kg ST) 28 gg	Biogas (L/kg ST) 90 gg
1 BS- i 1	70,3	29,7	12,5 ± 2,27	87,5 ± 2,27	40,7 ± 2,23	9,00 ± 0,97	14,80 ± 2,25
BS- f 1	86,62	13,38	13,74 ± 1,89	86,26 ± 1,89	37,08 ± 3,45	10,80 ± 1,28	15,55 ± 2,34
2 BS- i 2	70,1	29,9	9,5 ± 3,43	90,5 ± 3,43	60,63 ± 2,65	1,62 ± 0,17	4,05 ± 1,05
BS- f 2	80,07	19,93	24,41 ± 4,10	75,59 ± 4,10	37,8 ± 3,67	1,07 ± 0,03	2,29 ± 0,47
3 BS- i 3	76,84	23,16	26,82 ± 4,56	73,18 ± 4,56	34,00 ± 4,18	0,94 ± 0,14	1,14 ± 0,18
BS- f 3	85,51	14,49	21,80 ± 0,24	78,20 ± 0,24	32,35 ± 1,85	1,70 ± 0,37	8,96 ± 0,16

Tabella 7.5: Rifiuti Bioessicati/biostabilizzati flusso unico - Indici di respirazione

Sigla Campione	SV (% ST)	IRD (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	IRS (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	SPf (%ST)	IRD (mg O ₂ kg SPf ⁻¹ h ⁻¹)	IRS (mg O ₂ kg SPf ⁻¹ h ⁻¹)
1 BS- i 1	87,5 ± 2,27	1.808 ± 155 *	913 **	40,7 ± 2,23	5.140 ± 441 *	2.595 **
BS- f 1	86,26 ± 1,89	692 ± 64	205	37,08 ± 3,45	1.609 ± 149	477
2 BS- i 2	90,5 ± 3,43	1.746 ± 113	790	60,63 ± 2,65	3.458 ± 224	1.564
BS- f 2	75,59 ± 4,10	595 ± 75	178	37,08	1.609 ± 149	477
3 BS- i 3	73,18 ± 4,56	1.971 ± 263	485	34,00 ± 4,18	4.243 ± 567	1.044
BS- f 3	78,20 ± 0,24	582 ± 166	99	32,35 ± 1,85	3.131 ± 893	533

Note:

*Intervallo di variazione dei valori di IRD istantanei.

** Indice riferito alla massima attività respirometrica rilevata

Tabella 7.6: Sottovaglio ottenuto dalla produzione del CDR - Risultati analitici

Sigla Campione	Peso Secco (%)	Umidità (%)	Ceneri (%)	SV (% ST)	SPf (%ST)	Biogas (L/kg ST) 28 gg	Biogas (L/kg ST) 90 gg
ST- 1	66,54	33,46	55,12 ± 1,13	44,88 ± 1,13	23,36 ± 3,59	0,28 ± 0,04	0,75 ± 0,09
ST- 2	63	37	53,44 ± 2,49	46,56 ± 2,49	20,84 ± 0,58	1,23 ± 0,03	3,45 ± 2,31
ST- 3	85,14	14,86	55,47 ± 1,75	44,53 ± 1,75	31,85 ± 1,06	5,65 ± 1,12	8,01 ± 1,98

**RISULTATI
(PRIMA CAMPAGNA DI PROVE)**

Tabella 7.7: Sottovaglio ottenuto dalla produzione del CDR - Indici de di respirazione

Sigla Campione	Peso secco (%)	SV (% ST)	IRD (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	IRS (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	SPf (%ST)	IRD (mg O ₂ kg SPf ⁻¹ h ⁻¹)	IRS (mg O ₂ kg SPf ⁻¹ h ⁻¹)
ST- 1	66,54	44,88 ± 1,13	2.272 ± 159 *	487 **	23,36 ± 3,59	4.364 ± 306 *	547 **
ST- 2	63,00	46,56 ± 2,49	889 ± 102	294	20,84 ± 0,58	1.881 ± 216	623
ST-3	85,14	44,53 ± 1,75	1.447 ± 66	944	31,85 ± 1,06	2023	1.320

Note:
 *Intervallo di variazione dei valori di IRD istantanei.
 ** Indice riferito alla massima attività respirometrica rilevata

7.1.2 Rifiuti derivanti da raccolta differenziata

Questa tipologia di rifiuto comprende campioni di tre diverse categorie, come riportato in tabella 7.8.

Tabella 7.8: Rifiuti derivanti dalla raccolta differenziata.

Tipologia di rifiuto	Campioni analizzati	Note
Frazioni residue di rifiuti urbani a valle della raccolta differenziata	Res.P/P. (1, 2, 3, 4)	Campione di rifiuto secco residuo derivante dalla raccolta porta a porta
	C.Strad.t.q. (1, 2, 3, 4)	Campione di rifiuto derivante da cassonetto stradale tal quale
	Racc.S/U d.c.s. (1, 2, 3, 4)	Campione derivante dalla raccolta secco umido con doppio cassonetto stradale

I risultati delle determinazioni analitiche sono riportati nelle tabelle seguenti, secondo lo schema:

Tabella 7.9. Rifiuti Residui da raccolta differenziata - *Risultati analitici*

Tabella 7.10. Rifiuti Residui da raccolta differenziata - *Indici di Respirazione*

Tabella 7.11. Contenuto in organico merceologico

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 7.9: Residui da raccolta differenziata risultati analitici

Sigla Campione	Provenienza Campione	Peso secco (%)	Umidità (%)	Ceneri (%)	SV (% ST)	SFP (%ST)	Biogas (L/kg ST) 28 gg	Biogas (L/kg ST) 90 gg
Res. P/P 1	Vigodarzere	78,69	21,31	21,57 ± 0,34	78,43 ± 0,34	50,44 ± 0,79	0,25 ± 0,08	1 ± 0,19
Res. P/P 2	Villanova	72,70	27,30	8,66 ± 0,146	91,34 ± 0,146	51,62 ± 1,22	0,75 ± 0,15	2,61 ± 0,22
Res. P/P 3	Campo S.Martino	80,40	19,60	7,60 ± 0,342	92,40 ± 0,342	47,38 ± 1,82	0,67 ± 0,05	1,25 ± 0,15
Res. P/P 4	Villa del Conte	84,52	15,48	7,78 ± 0,09	92,22 ± 0,09	48,21 ± 3,20	1,03 ± 0,13	1,61 ± 0,28
C.Strad. t.q. 1	Verona	52,21	47,79	12,43 ± 0,37	87,57 ± 0,37	44,48 ± 3,40	1,24 ± 1,12	2,87 ± 1,31
C.Strad. t.q. 2	Zevio	52,61	47,39	34,98 ± 0,27	65,02 ± 0,27	34,00 ± 1,80	2,10 ± 1,54	2,72 ± 1,47
C.Strad. t.q. 3	Badia Polesine	52,16	47,84	30,09 ± 0,467	69,91 ± 0,467	37,81 ± 0,14	0,26 ± 0,58	0,98 ± 0,75
C.Strad. t.q. 4	Rovigo	61,13	38,87	26,57 ± 0,681	73,43 ± 0,681	51,00 ± 0,68	1,66 ± 1,87	2,8 ± 1,95
Racc.S/U d.c.s 1	Spinea	65,96	34,04	38,20 ± 0,049	61,80 ± 0,049	42,21 ± 0,71	2,15 ± 1,45	3,42 ± 1,79
Racc.S/U d.c.s 2	"Misto"	70,92	29,08	18,20 ± 0,186	81,80 ± 0,186	46,37 ± 0,71	1,13 ± 1,09	1,86 ± 1,11
Racc.S/U d.c.s 3	Godlega	77,78	22,22	14,89 ± 1,145	85,11 ± 1,145	39,32 ± 0,16	2,29 ± 2,02	3,34 ± 2,12
Racc.S/U d.c.s 4	Colle S.Umberto	70,79	29,21	14,08 ± 0,586	85,92 ± 0,586	49,29 ± 3,93	2,18 ± 1,56	3,44 ± 1,77

RISULTATI
(PRIMA CAMPAGNA DI PROVE)

Tabella 7.10: Rifiuti Residui da raccolta differenziata - Indici di Respirazione

Sigla Campione	Provenienza Campione	Peso secco (%)	SV (% ST)	IRD (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	IRS (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	SPF (%ST)	IRD (mg O ₂ kg SPF ⁻¹ h ⁻¹)	IRS (mg O ₂ kg SPF ⁻¹ h ⁻¹)
Res. P/P 1	Vigodarzere	78,69	78,43 ± 0,34	143 ± 64	40	50,44 ± 0,79	223 ± 99	62
Res. P/P 2	Villanova	72,70	91,34 ± 0,146	646 ± 94	102	51,62 ± 1,22	1.143 ± 166	180
Res. P/P 3	Campo S.Marrino	80,40	92,40 ± 0,342	366 ± 46	232	47,38 ± 1,82	714 ± 90	453
Res. P/P 4	Villa del Conte	84,52	92,22 ± 0,09	375 ± 50	143	48,21 ± 3,20	686 ± 93	262
C.Strad. t.q. 1	Verona	52,21	87,57 ± 0,37	451 ± 54	291	44,48 ± 3,40	889 ± 105	572
C.Strad. t.q. 2	Zevio	52,61	65,02 ± 0,27	1.586 ± 161	316	34,00 ± 1,80	3.034 ± 307	604
C.Strad. t.q. 3	Badia Polesine	52,16	69,91 ± 0,467	1.310 ± 165	366	37,81 ± 0,14	2.423 ± 304	677
C.Strad. t.q. 4	Rovigo	61,13	73,43 ± 0,681	1.321 ± 87	553	51,00 ± 0,68	1.905 ± 126	797
Racc.S/U d.c.s 1	Spinea	65,96	61,80 ± 0,049	992 ± 157	506	42,21 ± 0,71	1.453 ± 230	741
Racc.S/U d.c.s 2	"Misto"	70,92	81,80 ± 0,186	1.164 ± 119	219	46,37 ± 0,71	2.054 ± 210	386
Racc.S/U d.c.s 3	Godega	77,78	85,11 ± 1,145	329 ± 154	88	39,32 ± 0,16	742 ± 349	199
Racc.S/U d.c.s 4	Colle S.Umberto	70,79	85,92 ± 0,586	855 ± 140	164	49,29 ± 3,93	1.490 ± 244	286

Tabella 7.11: Contenuto in organico merceologico

Sigla Campione	Provenienza Campione	Peso secco (%)	SV (% ST)	IRD (mg O ₂ Kg sV ⁻¹ h ⁻¹)	Continuo in organico (%)
Res. P/P 1	Vigodarzere	78,69	78,43 ± 0,34	143 ± 64	14,65
Res. P/P 2	Villanova	72,70	91,34 ± 0,146	646 ± 94	11,65
Res. P/P 3	Campo S.Martino	80,40	92,40 ± 0,342	366 ± 46	12,32
Res. P/P 4	Villa del Conte	84,52	92,22 ± 0,09	375 ± 50	10,35
C.Strad. t.q. 1	Verona	52,21	87,57 ± 0,37	451 ± 54	24,54
C.Strad. t.q. 2	Zevio	52,61	65,02 ± 0,27	1586 ± 161	31,63
C.Strad. t.q. 3	Badia Polesine	52,16	69,91 ± 0,467	1310 ± 165	27,52
C.Strad. t.q. 4	Rovigo	61,13	73,43 ± 0,681	1321 ± 87	25,63
Racc.S/U d.c.s 1	Spinea	65,96	61,80 ± 0,049	992 ± 157	24,22
Racc.S/U d.c.s 2	"Misto"	70,92	81,80 ± 0,186	1164 ± 119	14,80
Racc.S/U d.c.s 3	Godega	77,78	85,11 ± 1,145	329 ± 154	11,52
Racc.S/U d.c.s 4	Colle S.Umberto	70,79	85,92 ± 0,586	855 ± 140	12,66

8. Discussione dei risultati (Prima campagna di prove)

I parametri che sono stati considerati nel presente lavoro sperimentale sono stati:

- Solidi volatili (SV)
- Solidi potenzialmente fermentescibili (SPf)
- Indice di respirazione
- Produzione di biogas

8.1 I solidi volatili

Dalla Tabella 7.2 e dal grafico in figura 8.1, si evince come durante il processi di biostabilizzazione e di bioessiccamento/biostabilizzazione, in seguito alla degradazione della componente organica facilmente fermentescibile, si ha una diminuzione del contenuto in solidi volatili. Tale diminuzione è più evidente per i processi di biostabilizzazione ed in particolare, durante la prima parte del processo. Al contrario, per i processi di bioess./biostab. la suddetta diminuzione è meno evidente ed a volte difficilmente rilevabile analiticamente. Ciò è da imputarsi alla tipologia di processo che utilizza il rifiuto tal quale o residuale dalla raccolta differenziata, e perciò molto ricco di frazioni "volatili" non degradabili (es. plastiche). In dette condizioni la frazione degradabile contenuta nel rifiuto rappresenta solo una piccola frazione dei solidi volatili totali che, unitamente ai coefficienti di degradazione limitati (10-25 %), rende di difficile quantificazione la variazione del contenuto totale di solidi volatili, analisi questa, peraltro, già affetta da elevata variabilità dovuta alla estrema disomogeneità delle matrici considerate.

Per quanto riguarda le matrici da raccolta differenziata l'osservazione comparata dei risultati analitici permette di fare alcune deduzioni interessanti. In primo luogo, la tipologia di raccolta delle diverse frazioni, incide in modo significativo sulla qualità del rifiuto residuo. In particolare, l'elevato contenuto di solidi volatili caratterizzanti i campioni derivanti da raccolta "porta a porta" (SV medio = 88.59 %) è indice della prevalenza di frazioni secche quali carta, plastiche, cuoio e simili e tessili; quanto osservato è confermato dall'analisi merceologica (Tabella 7.11) che mette in evidenza, soprattutto, un contenuto di frazione organica limitato. Al contrario, sistemi di raccolta meno efficienti per quanto riguarda l'intercettazione della frazione dell'umido (raccolta con cassonetto stradale), determinano la presenza nel rifiuto residuo, di un maggior contenuto di frazioni organiche determinando, di fatto, una riduzione del contenuto di solidi volatili (SV medio = 73.98 %).

Sistemi di raccolta, che possiamo classificare come intermedi tra i due prima citati, originano un contenuto di solidi volatili intermedio tra quelli evidenziati per le categorie di rifiuto prima discusse (SV medio = 78.65 %).

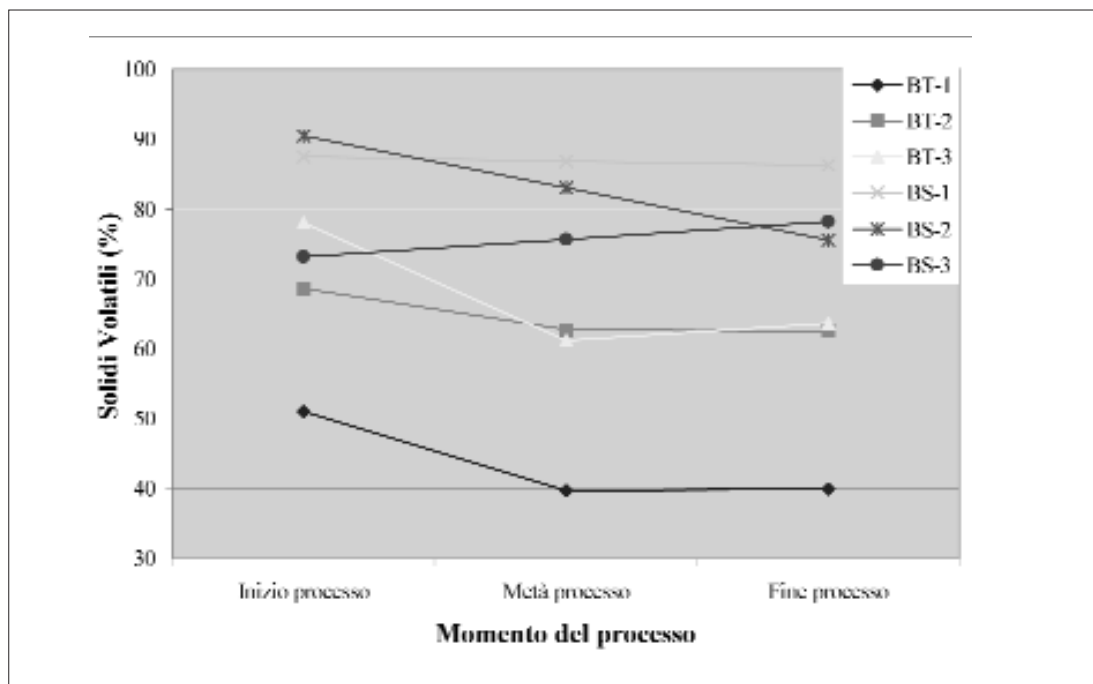


Figura 8.1: Andamento dei Solidi Volatili durante i processi di Biostabilizzazione e Bioessiccamento.

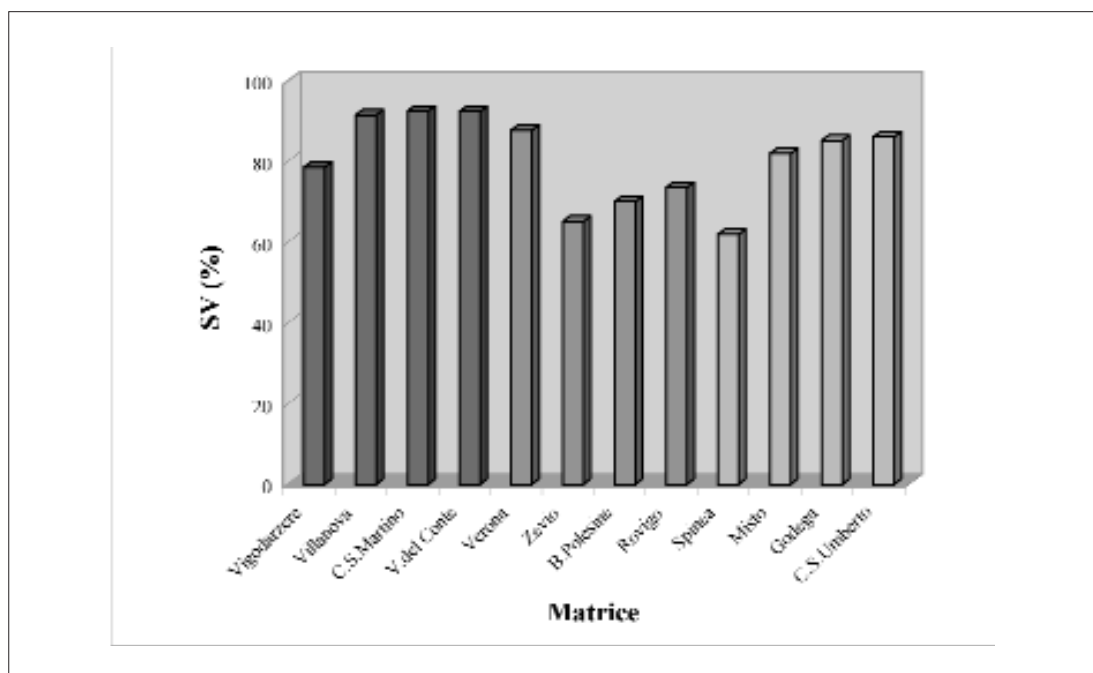


Figura 8.2: Contenuto di solidi volatili delle matrici derivanti dalla raccolta differenziata.

8.2 I solidi potenzialmente fermentescibili (SPf)

I solidi potenzialmente fermentescibili rappresentano la frazione dei solidi volatili che effettivamente è soggetta a degradazione biologica. Quanto affermato trova conferma nell'andamento del loro contenuto durante i processi biologici studiati (Figura 8.3.). Analogamente al contenuto dei solidi volatili, apprezzabili diminuzioni sono evidenti durante le prime fasi del processo, mentre da metà processo in poi, le variazioni appaiono meno evidenti.

Detto ciò possiamo affermare che effettivamente i SPf rappresentano una frazione degradabile dei solidi volatili anzi, ne rappresentano la frazione che effettivamente si è degradata durante i processi. In siffatte condizioni, e con queste premesse, i SPf potrebbero ben rappresentare il processo biologico ed essere assunti a tutti gli effetti quale parametro di misura del grado di stabilità biologica. Già la letteratura ha proposto un tale tipo di utilizzo. Nel successivo paragrafo 8.3 è stata descritta la possibile correlazione tra SPf e gli indici di respirazione.

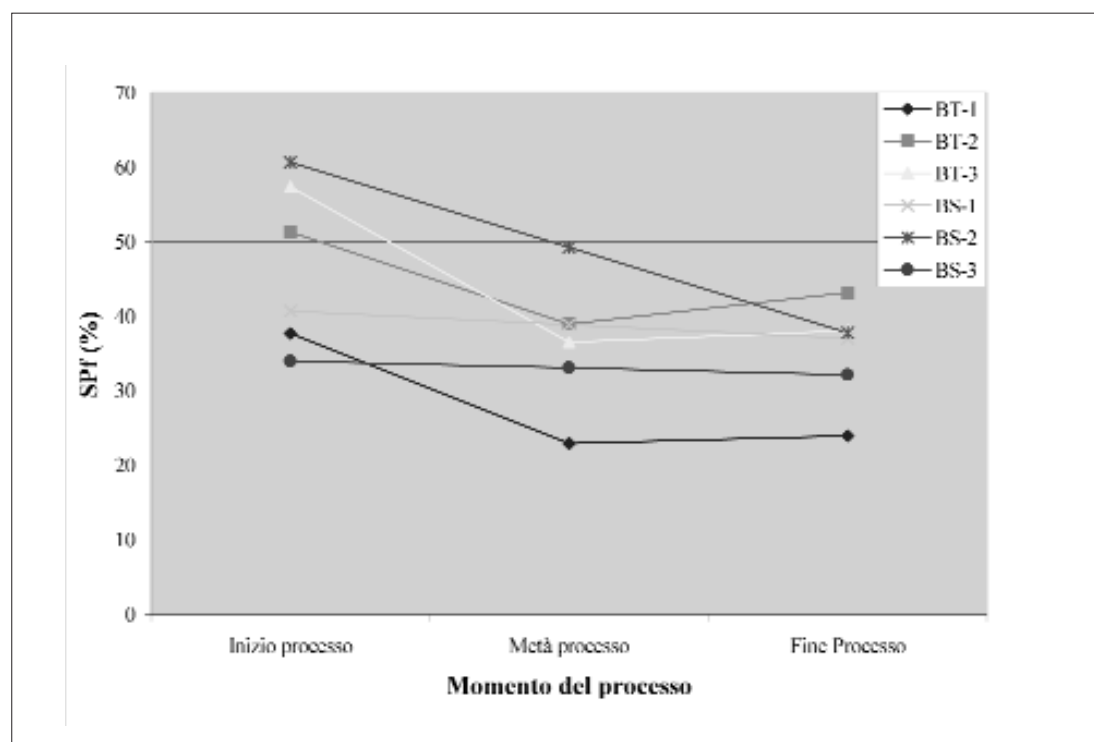


Figura 8.3: Andamento dei Solidi Potenzialmente fermentescibili durante i processi di biostabilizzazione e di bioessiccamento/biostabilizzazione.

8.3 L'indice di respirazione

8.3.1 Indice di Respirazione Dinamico (IRD)

I risultati riportati in tabella 7.3 e riassunti nella figura 8.4 evidenziano, come atteso, che i campioni di rifiuto fresco ad inizio processo, presentano indici di respirazione molto elevati. Ciò è più evidente per i campioni di rifiuto sottoposti a trattamento di biostabilizzazione con processo a separazione di flussi, ove, il pretrattamento meccanico, determina una frazione (sottovaglio), poi avviata a trattamento biologico, nella quale si concentra circa l'85 % della frazione organica totale del rifiuto. In tali condizioni, valori di IRD pari a 3.000 – 6.000 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹ confermano quanto riportato in letteratura con riferimento a tale tipologia di rifiuto. Al contrario, rifiuti sottoposti a processi di bioessiccamento/biostabilizzazione a flusso unico, non prevedendo una separazione del rifiuto per classi granulometriche, presentano valori dell'IRD inferiori (1800 – 1900 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹) e comunque, in sintonia con quanto suggerito dalla letteratura per tale tipologia di rifiuto.

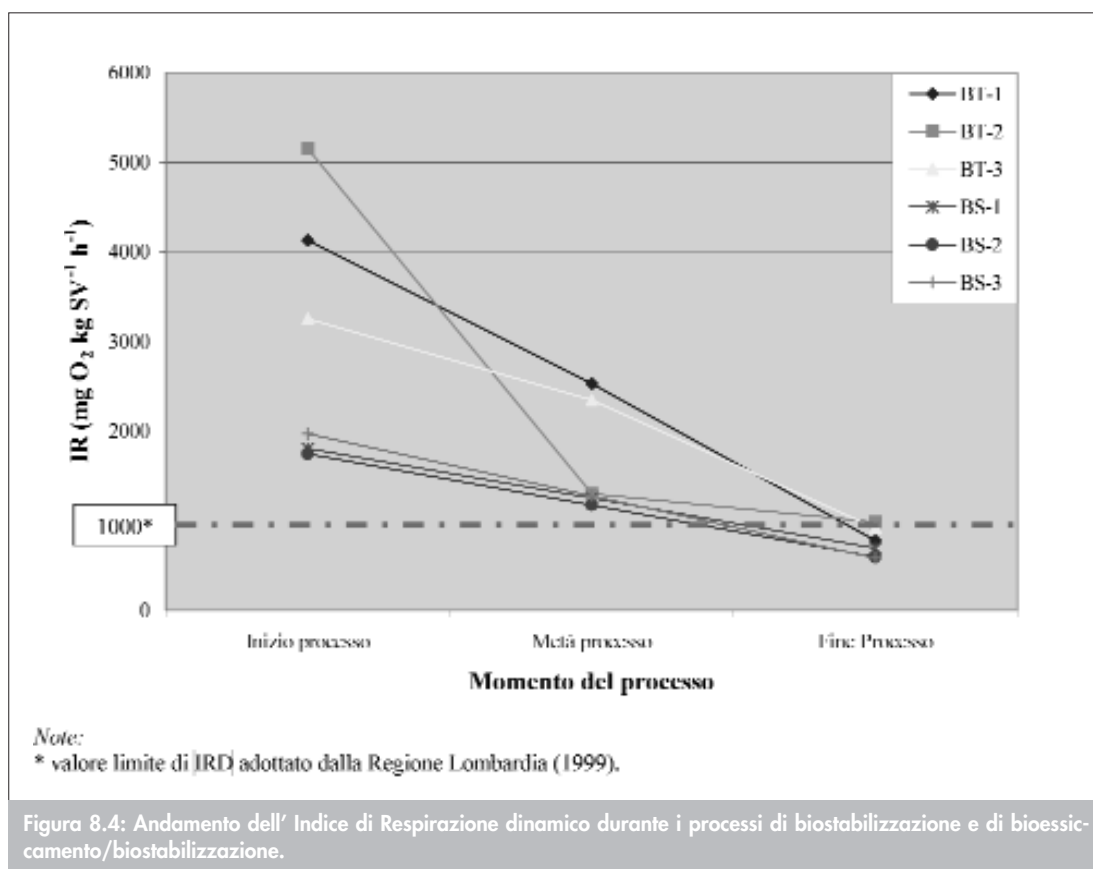


Figura 8.4: Andamento dell'Indice di Respirazione dinamica durante i processi di biostabilizzazione e di bioessiccamento/biostabilizzazione.

A prescindere dalla tipologia di rifiuto trattato a fine processo, tutti i valori dell'IRD risultano drasticamente ridotti con diminuzioni che, in termini assoluti (ovvero considerando il calo peso dovuto alla degradazione della sostanza organica) raggiungono valori del 80-90 %. Quanto riscontrato appare interessante e conferma come, operando in condizioni ottimali, in circa 15-30 giorni è possibile ottenere elevati valori di stabilità biologica e forti riduzioni della putrescibilità totale. Quanto asserito trova logica spiegazione se si tiene conto che i processi di degradazione biologica seguono cinetiche di primo ordine e che quindi, approssimativamente, la riduzione della stabilità biologica segue una curva logaritmica.

A fine processo i valori di IRD riscontrati erano tutti inferiori di 1000 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹ valore questo, indicato dalla letteratura come valore soglia al di sotto del quale un rifiuto è da considerarsi biologicamente stabile.

I valori di stabilità biologica riscontrati per le frazioni residue della produzione di CDR risultano superiori al limite indicato, anche se non di molto. Una spiegazione plausibile, peraltro già documentata, consiste nel fatto che durante la produzione di CDR la vagliatura del bioessiccato, effettuata al fine d'incrementare il potere calorifico, determina la produzione di un sottovaglio (frazione residua) nel quale si concentra la frazione più fermentescibile (fig.6.3 Cap 6).

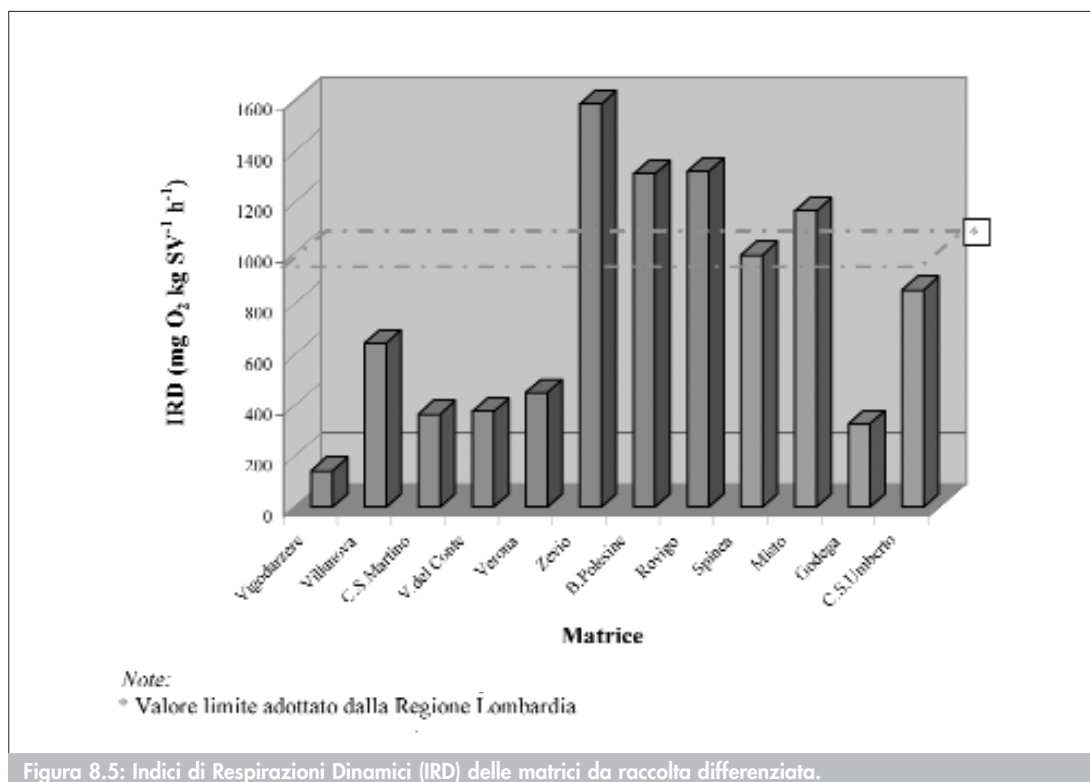


Figura 8.5: Indici di Respirazioni Dinamiche (IRD) delle matrici da raccolta differenziata.

Con riferimento ai campioni derivanti dai residui della raccolta differenziata possono essere fatte alcune considerazioni interessanti (Figura 8.5).

Campioni derivati da raccolta "porta a porta" mostrano valori di stabilità biologica superiori (IRD medio = 382 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹) rispetto agli altri due sistemi di raccolta: con cassonetto stradale (IRD medio = 1167 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹) e con doppio cassonetto stradale (IRD medio = 835 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹).

Deve, comunque, essere sottolineato, che a prescindere dalla quantità di frazione organica presente nel rifiuto residuo questa, verosimilmente, per tipologia e composizione, sarà identica per tutti i rifiuti considerati (stessa provenienza). Se ciò fosse, la spiegazione di un indice di respirazione diverso (si ricorda che l'IRD è riferito all'unità di peso dei SV) potrebbe essere l'effetto diluizione operato dalla presenza di frazioni che, analiticamente sono individuabili come solidi volatili non rappresentando però, frazioni fermentescibili (es. plastiche, cuoio etc. ma anche cartone carta etc.). In effetti se si osservano i dati relativi alle analisi merceologiche si nota come vi sia una stretta relazione tra contenuto di frazioni organiche (effettivamente fermentescibili) e l'indice di respirazione. In conclusione si potrebbe sostenere che la frazione organica contenuta nei rifiuti residui presenta un grado di stabilità biologica uguale per tutti i rifiuti, in funzione del contenuto relativo (%) di altre frazioni (carta, cartone, plastiche, tessili etc.) tale valore di stabilità risulta più o meno accentuato.

Utilizzando il contenuto di solidi volatili potenzialmente fermentescibili (SPf), che in teoria dovrebbero esprimere il contenuto relativo nel rifiuto di frazioni degradabili, non si hanno sostanziali modifiche a quanto sino ad ora osservato. Ciò dipende dal fatto che frazioni quali carta e cartone ed in misura minore tessili e cuoio, sono classificabili analiticamente come SPf (sono totalmente o parzialmente solubili in acidi forti) ma poi, effettivamente, non contribuiscono in modo significativo alla respirazione.

Considerando i dati relativi al contenuto di frazione organica merceologica e dei corrispondenti valori dell'indice di respirazione dinamico ottenuti nel presente lavoro e di alcuni dati già a nostra disposizione, è possibile ottenere un regressione lineare (Figura 8.6) ad elevata significatività statistica ($p < 0.01$) ed elevato coefficiente di regressione ($R^2 = 0,92$), che conferma quanto sopra esposto.

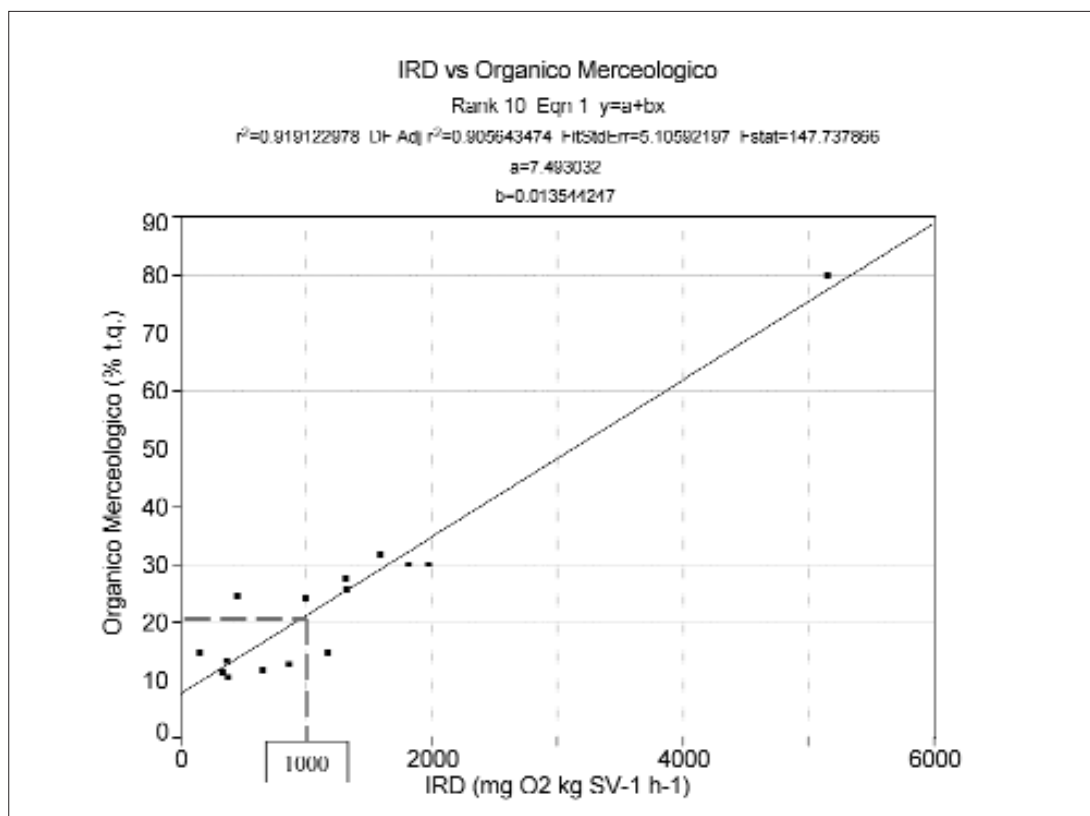


Figura 8.6: Regressione lineare tra l'IRD e Organico Merceologico.

Se venisse ipoteticamente fissato quale valore di stabilità biologica il dato proposto dalla Regione Lombardia (1999) pari a $1.000 \text{ mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$, si otterrebbe un corrispondente valore del contenuto di frazione organica merceologica del 20%, valore questo, tipicamente raggiungibile con sistemi di raccolta differenziata efficienti (es. porta a porta o doppio cassonetto) (tabella 8.1).

Tabella 8.1: Contenuto medio di frazioni organiche merceologiche ed indice di respirazione dinamica in funzione del sistema di raccolta differenziata

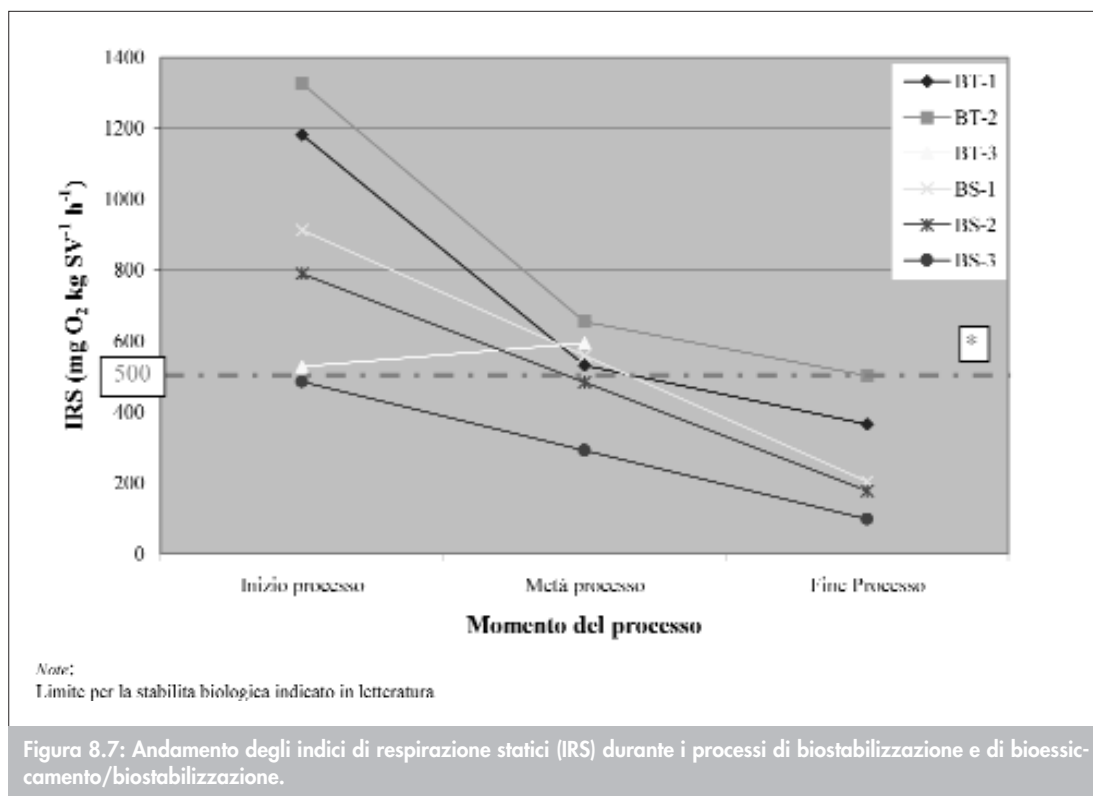
Tipologia di raccolta	Contenuto di organico (% t.q.)	IRD ($\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
Raccolta "porta a porta"	12,24	382
Raccolta con cassonetto stradale	27,33	1.164
Raccolta con doppio cassonetto stradale	15,80	835

8.3.2 Indice di respirazione statico (IRS)

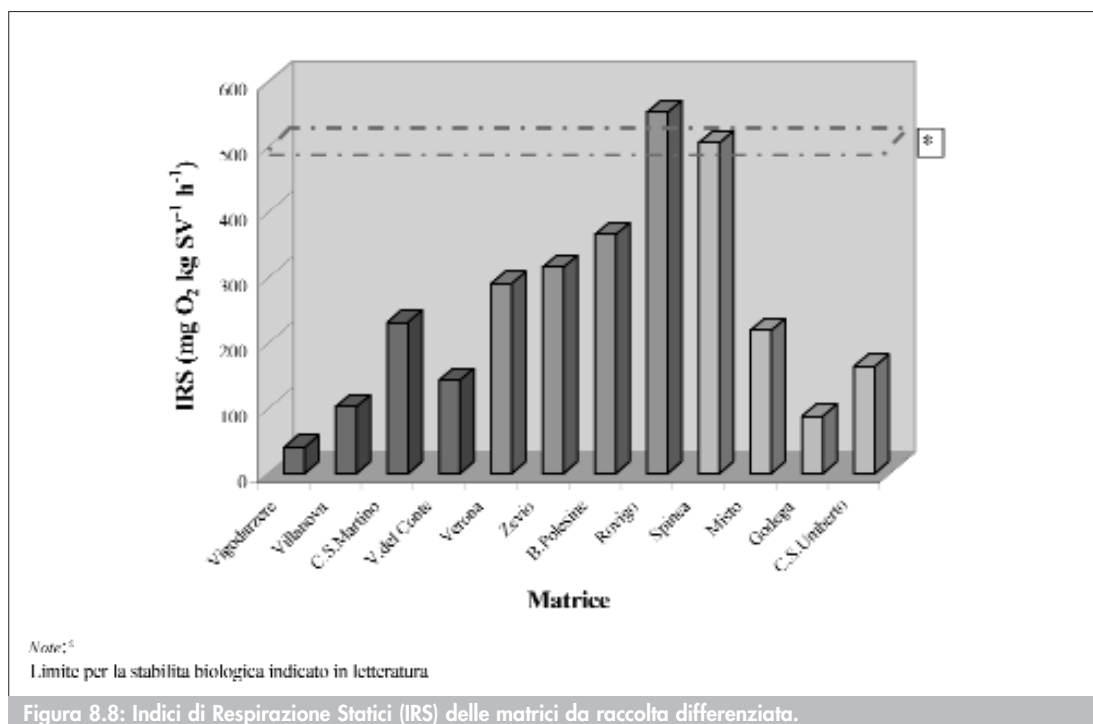
L'andamento dell'Indice di Respirazione Statico riscontrato è stato simile a quello dell'Indice di Respirazione Dinamico, tuttavia è da evidenziare che i problemi connessi con la determinazione dell'attività respirometrica, in condizioni statiche riducono, in termini assoluti, la scala dei valori ($\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$); in alcuni casi ciò determina risultati il cui significato pone non pochi interrogativi, come ad esempio i valori di IRS rilevati per i rifiuti bioessiccati/bio-stabilizzati che mostrano valori di IRS indicanti il raggiungimento della stabilità biologica ($500\text{-}600 \text{ mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$), ancor prima di essere trattati.

Analogamente a quanto visto per l'IRD, dalla figura 8.7, si osserva come gli indici statici a fine processo mostrino sempre valori inferiori a $500\text{-}600 \text{ mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$, indicato dalla letteratura come valore indice di stabilità biologica. Per quanto prima riportato tale valore appare dubbio e controverso.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(PRIMA CAMPAGNA DI PROVE)



Le matrici derivanti dalla raccolta differenziata hanno dato risultati (figura 8.8), che in linea di principio, ricalcano quelli degli IRD anche se alcune differenze sostanziali sono evidenti (si confrontino le figure 8.5 e 8.8). In particolare, se si considera quale valore di stabilità biologica il già citato $500 \text{ mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$ si deve dedurre, a differenza di quanto osservato per l'IRD, che tutti i rifiuti residui studiati presentano già elevata stabilità biologica.



8.3.3 L'indice di respirazione dinamico e statico

I valori di IRS si presentano sempre inferiori a quelli dell'IRD, confermando la sottostima del consumo di ossigeno già ampiamente documentata in letteratura.

Il rapporto medio IRD / IRS ottenuto considerando le 30 matrici oggetto di studio è pari a $3,49 \pm 1,46$; ciò suggerisce che l'indice di respirazione dinamico è circa tre volte e mezzo quello statico. Tale rapporto rientra nell'intervallo, già individuato da Adani et al. (2000b) (1,2 - 4,5). Come già riportato in letteratura la differenza tra i due indici rimane mediamente costante in termini relativi (variazione %), mentre varia molto considerando i valori assoluti ($\text{mg O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{SV} \cdot \text{h}^{-1}$). Le maggiori differenze si riscontrano per valori elevati di IRD, a conferma che la sottostima della stabilità biologica operata attraverso una misura statica è più evidente per matrici poco stabili. Indipendentemente da quanto sopra discusso appare importante dare significato statistico al rapporto esistente tra l'IRD e l'IRS. Le figure seguenti riportano le regressioni lineari ricavate per classe di rifiuto e per tutte le tipologie riunite.

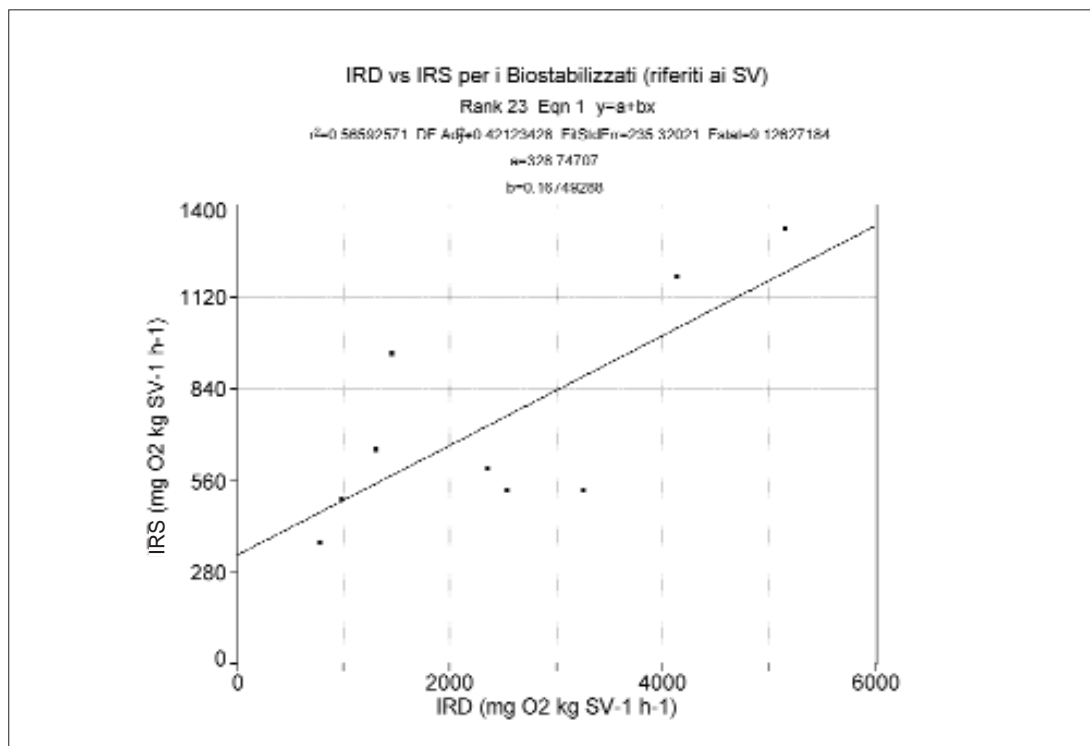


Figura 8.9: Regressione lineare tra l'IRD e IRS per i Biostabilizzati.

Per quanto riguarda i rifiuti biostabilizzati, (Figura 8.9) si ottiene una buona regressione (si rammenta che il coefficiente di regressione (R^2) si presenta sempre inferiore rispetto al coefficiente di correlazione essendo $r = (R^2)^{1/2}$), ma soprattutto significatività statistica (si veda il valore di F). Si rammenta che il test F permette di stabilire se l'ipotesi fatta (regressione lineare) è accettabile o meno in termini statistici con una elevata probabilità (95 o 99 %), mentre il coefficiente di regressione R^2 , ci dice qual' è la quota parte di variazione dovuta alle variabili considerate. Nel caso particolare, il valore di R^2 pari a 0.56 suggerisce che altri fattori concorrono alla variazione di una variabile rispetto l'altra (es. tipologia di rifiuto etc.).

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(PRIMA CAMPAGNA DI PROVE)

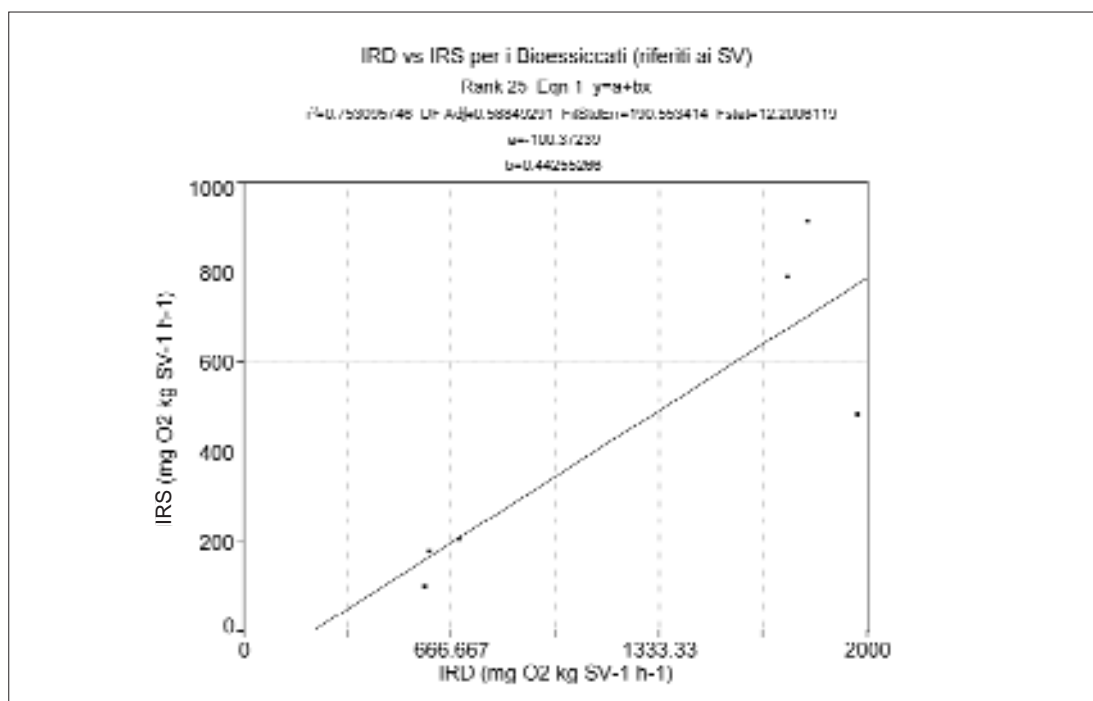


Figura 8.10: Regressione lineare tra IRD e IRS per i bioessiccati sottoposti a trattamento a flussi separati.

Per i bioessiccati/biostabilizzati ottenuti con processo a flusso unico (Figura 8.10), si ottiene un coefficiente di regressione più elevato ($R^2 = 0.75$) a testimonianza di come gli altri fattori che concorrono alla definizione del valore delle due variabili, incidano meno. Spiegazione di ciò potrebbe essere una maggiore omogeneità dei rifiuti sottoposti a trattamento biologico.

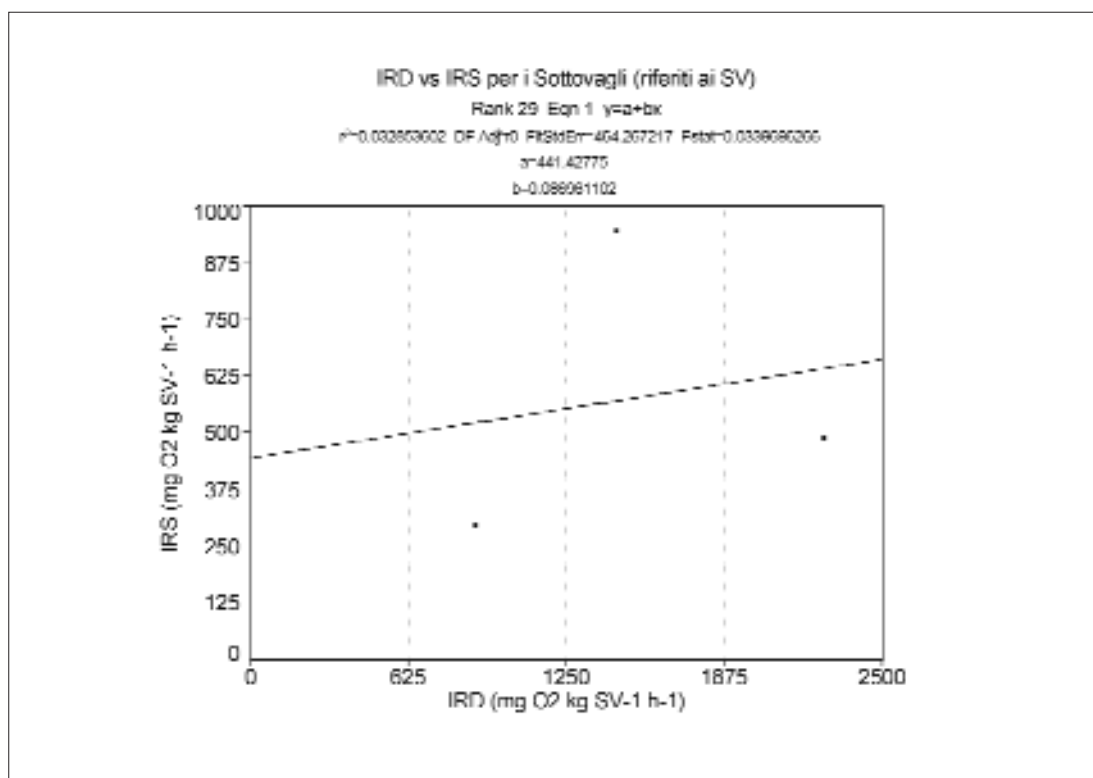


Figura 8.11: Regressione lineare tra IRD e IRS per i sottovagli.

Per i sottovagli (Figura 8.11) non si riscontra nessun tipo di regressione. In tal caso si evidenzia che il numero limitato di osservazioni ($n=3$) non permette di fare assunzioni statistiche significative.

Considerando tutti i campioni di rifiuti sottoposti a trattamento biologico studiati si ottiene una buona regressione lineare che conferma come l'indice statico si correli all'indice dinamico (Figura 8.12).

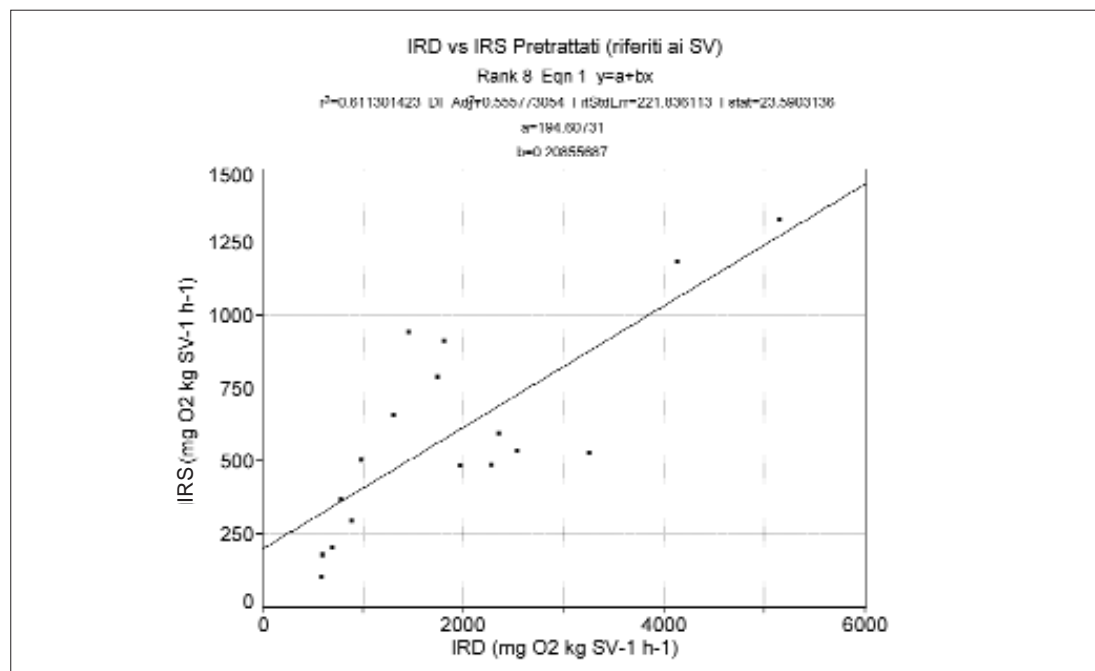


Figura 8.12: Regressione lineare tra IRD e IRS per i rifiuti sottoposti a trattamento biologico.

Eliminando alcuni valori (procedura statisticamente non valida) di campioni che a nostro avviso hanno dato risultati anomali, la regressione risulta altamente significativa con coefficienti di regressione elevati ($R^2 = 0.84$) (Figura 8.13).

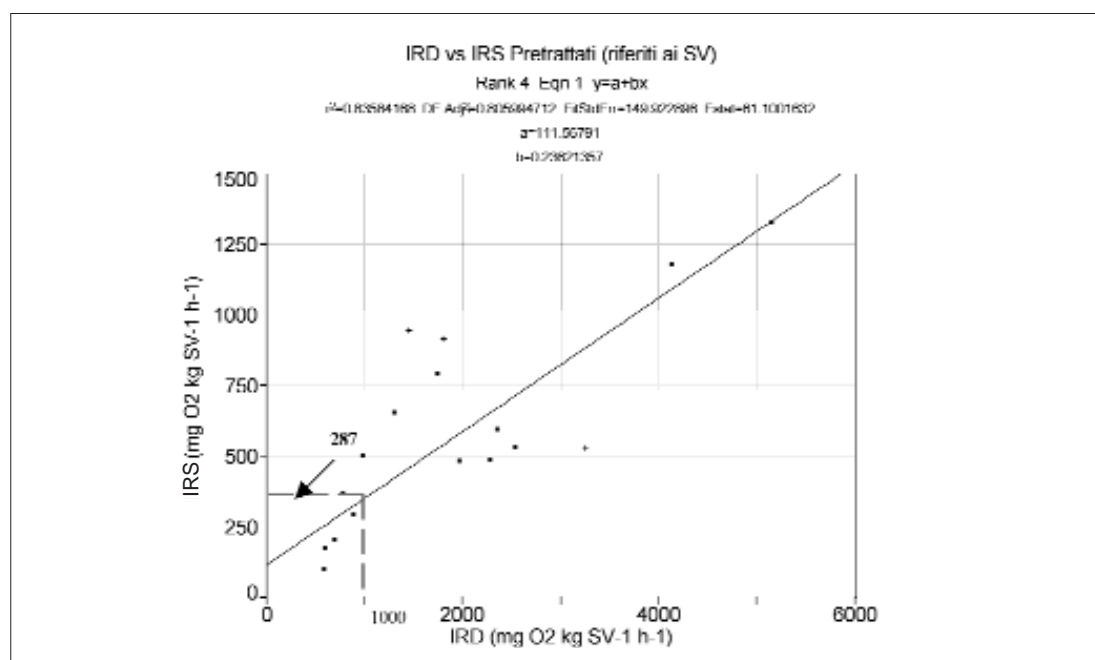


Figura 8.13: Regressione lineare tra IRD e IRS per i rifiuti sottoposti a trattamento biologico: dati modificati.

Dalla figura 8.13. si evince che per valori dell'Indice di Respirazione Dinamico pari a $1000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{kg SV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ corrisponde un Indice di Respirazione Statico di $287 \text{ mg O}_2 \cdot \text{kg SV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, con un rapporto IRD/IRS di 3,48.

I valori di IRD e IRS ottenuti per le matrici residue della raccolta differenziata mostrano una buona regressione lineare (Figura 8.14), anche se il coefficiente R^2 suggerisce come altri fattori concorrano alla definizione dei singoli valori dell'indice di respirazione. E' probabile che, come già indicato per i rifiuti biostabilizzati, ma in questo caso in maniera più accentuata, l'estrema eterogeneità giochi un ruolo fondamentale così come la differente pezzatura dei diversi rifiuti analizzati.

Il rapporto IRD/IRS risulta pari $3,57 \pm 1,61$ molto simile a quanto riscontrato per le altre tipologie di rifiuto prima trattate.

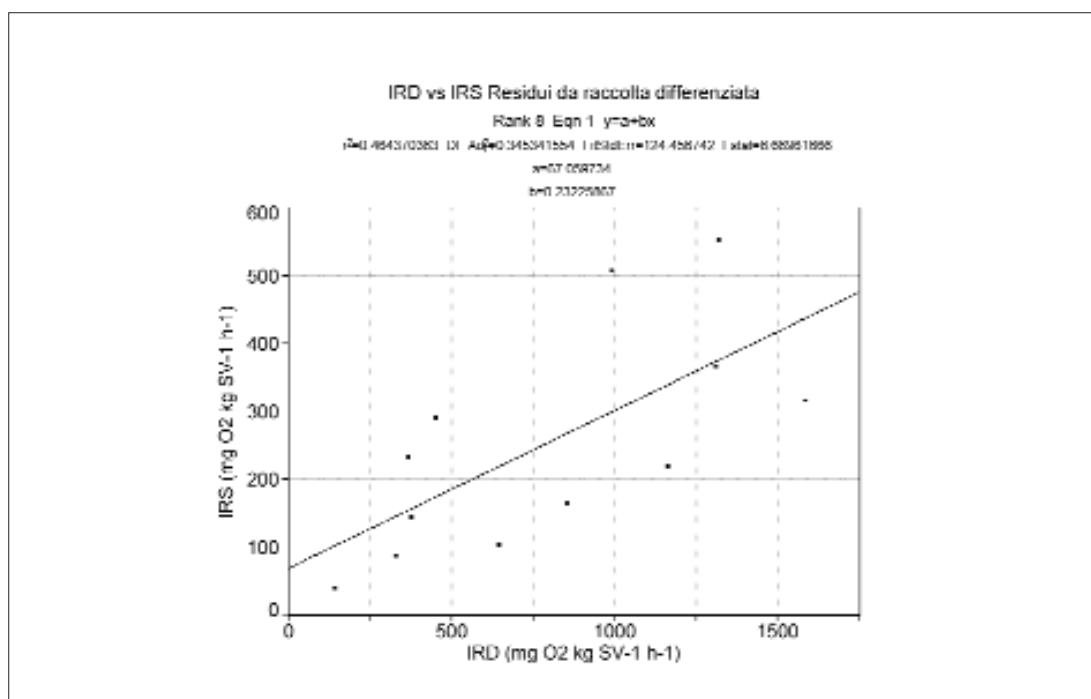


Figura 8.14: Retta di regressione tra IRD e IRS per i rifiuti residui della raccolta differenziata.

Considerando complessivamente tutte le matrici studiate (rifiuti sottoposti a trattamento biologico e rifiuti residui della raccolta differenziata) e correlando gli IRD e gli IRS si ottiene un'ottima regressione lineare che oltre a confermare la valenza di entrambe le metodologie analitiche, quali parametri di valutazione della stabilità biologica, sottolinea che quanto sino ad ora discusso, è valido per qualsiasi tipologia di rifiuto studiato (Figura 8.15).

Escludendo i valori di IRD e corrispondenti IRS ritenuti "anomali" (tre valori, che rappresentano il 10 % delle osservazioni totali) si ottiene un sensibile miglioramento del coefficiente di regressione ($R^2 = 0.84$) rafforzando al contempo la significatività statistica ($p < 0.001$) (Figura 8.16).

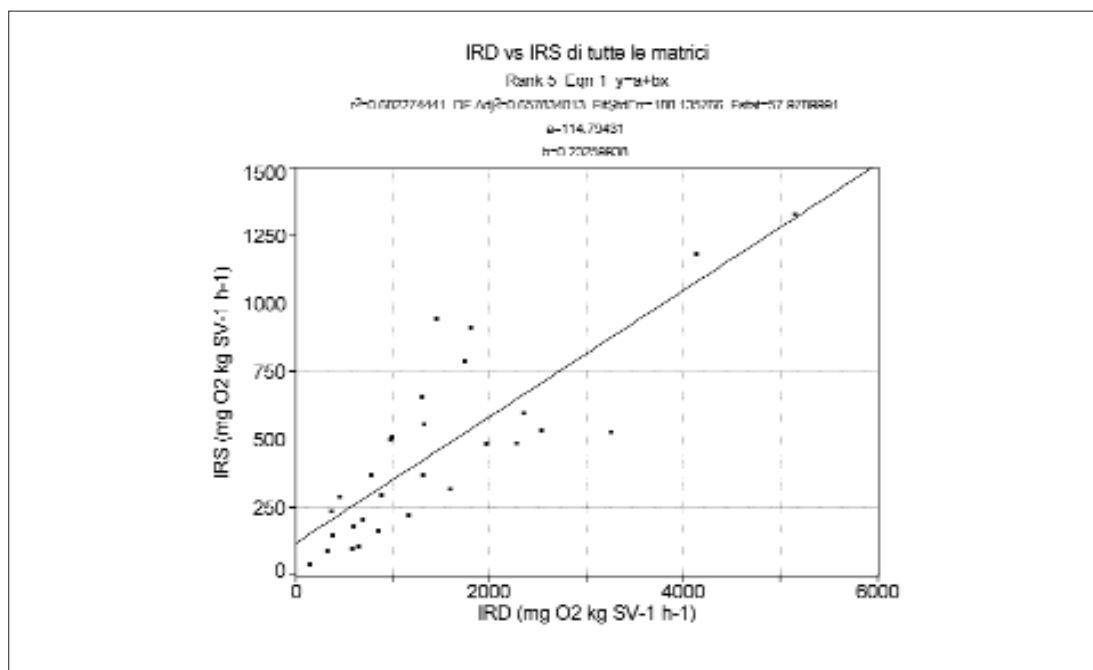


Figura 8.15: Retta di regressione tra IRD e IRS per tutte le matrici.

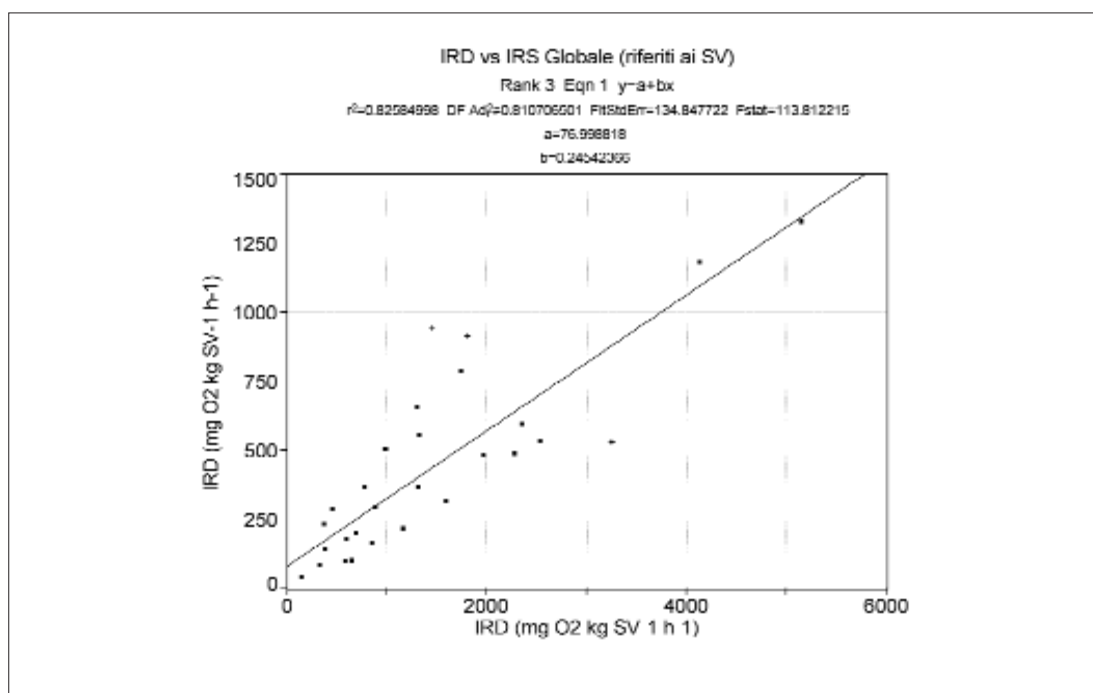


Figura 8.16: Retta di regressione tra IRD e IRS tra tutte le matrici depurata dai risultati anomali.

8.3.4 Biogas residuo

Dai risultati relativi alla produzione di biogas dopo 90 giorni (Tabelle 7.2, 7.4, 7.6,) dei rifiuti sottoposti a processo di biostabilizzazione, si nota come, paradossalmente, i campioni freschi e quelli a media stabilità producano meno biogas di quelli stabilizzati. Ciò si traduce nell'assurdo che i campioni freschi presentano gradi di stabilità biologica superiori anzi, si deve supporre che il processo di biostabilizzazione determina una diminuzione della stabilità biologica. Quanto osservato trova conferma anche nei risultati relativi ai processi di bioes-

siccamento/biostabilizzazione, ove i dati di produzione si presentano, prima e dopo trattamento, molto simili e comunque, sotto stimati rispetto alle potenzialità produttive desumibili dalla consultazione della letteratura (100-250 L/kg ST). Analogamente per il sottovaglio le cui produzioni, se si tiene conto del grado di stabilità biologica determinate a mezzo dell'indice di respirazione, appaiono sottostimate.

In virtù di ciò, anche le produzioni di biogas ottenute per i rifiuti residui appaiono discutibili e non avendo valori di confronto, assumono scarso significato scientifico, soprattutto se si considera che la letteratura attesta produzioni di biogas per rifiuti molto stabilizzati (sottoposti a trattamenti di 6-9 mesi) pari a 20 L/kg ST⁻¹, valore elevato rispetto ai rifiuti considerati che non hanno subito nessun trattamento biologico.

La letteratura scientifica più recente riporta per campioni di rifiuto freschi produzioni di biogas inferiori ai campioni trattati. Così come supposto da Binner e Zach, la minor produzione di biogas da parte dei rifiuti non trattati può essere dovuta ad un effetto tossicità.

Tra i parametri chimico-fisici che influenzano la produzione di biogas, il più difficilmente controllabile è il pH che, come ampiamente riportato in letteratura, risulta ottimale per la metanogenesi tra 6,4 e 7,2, in un intervallo di tolleranza tra 6 e 9.

La figura 8.17 mostra come Binner e Zach (1998) abbiano evidenziato l'effetto tossicità dovuto al pH.

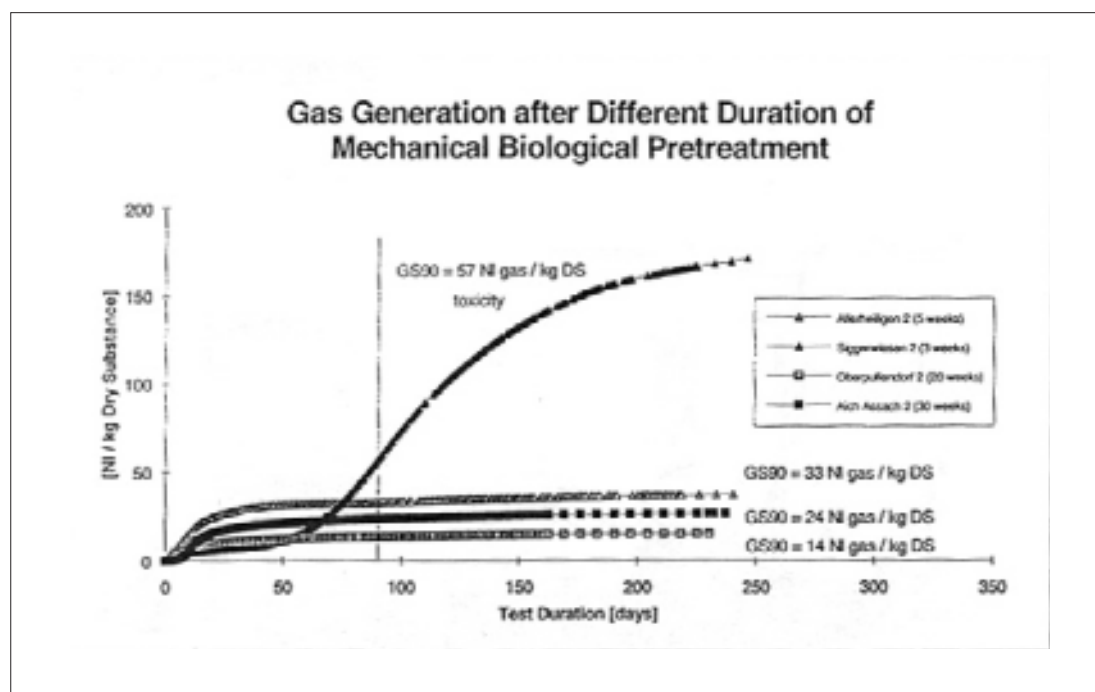


Figura 8.17: Produzione di biogas dopo differenti tempi di trattamento.

Nelle frazioni sottoposte a sperimentazione (Tabella 8.2) si è constatata un'acidificazione dei campioni freschi ed a metà processo, a differenza di quanto accade per le frazioni più stabilizzate, il pH non si discosta da valori alcalini.

Come numerosi studi hanno più volte evidenziato, la produzione di acidi organici, abbassando il pH, determina un'inibizione della metanogenesi. Il pH dei campioni a metà processo e stabilizzati si assestavano su valori neutri o subalcalini e quindi compatibili con la metanogenesi; tuttavia si verificavano produzioni sottostimate di biogas. Quindi, se per i campioni freschi (es. BTi) è possibile individuare nell'acidificazione del mezzo la scarsa produzione di biogas e perciò la sottostima del reale grado di stabilità biologica, per rifiuti nei quali tale acidificazione non avveniva intervengono altri fattori. Per meglio comprendere le dinamiche accorse durante il test, occorre comprendere come avviene la produzione di biogas.

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 8.2: Valori di pH rilevati prima e dopo le prove di produzioni di biogas

Campione	pH iniziale	pH finale
BT-i1	5,46	6,3
BT-m1	7,2	5,6
BT-f1	7,59	5,70
BT-i2	5,82	5,75
BT-m2	6,75	5,90
BT-f2	6,97	6,16
BT-i3	5,91	4,84
BT-m3	7,14	5,99
BT-f3	6,44	6,28
BS-i1	6,76	6,35
BS-f1	7,24	6,47
BS-i2	8,32	6,33
BS-f2	6,80	5,86
BS-i3	5,37	5,62
BS-f3	7,41	7,09
ST-1	5,92	6,4
ST-2	6,5	6,2
ST-3	6,76	6,35
Res. P/P 1	10,1	10,13
Res. P/P 2	6,2	5,78
Res. P/P 3	6,53	6,67
Res. P/P 4	6,57	5,54
C.Strad. t.q. 1	6,69	5,26
C.Strad. t.q. 2	6,05	5,74
C.Strad. t.q. 3	6,82	5,39
C.Strad. t.q. 4	5,93	5,68
Racc.S/U d.c.s. 1	6,26	5,85
Racc.S/U d.c.s. 2	6,25	6,23
Racc.S/U d.c.s. 3	6,55	5,59
Racc.S/U d.c.s. 4	6,21	5,84

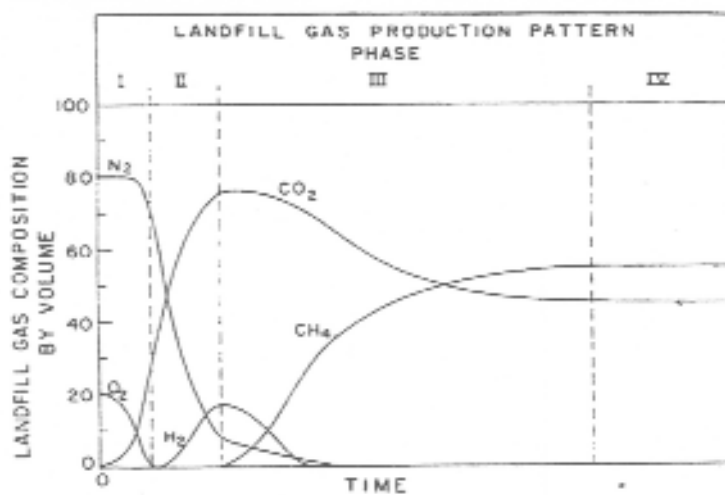


Figura 8.18: Modello di produzione di biogas in discarica. (Fonte: Farquhar and Rovers, 1997)

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(PRIMA CAMPAGNA DI PROVE)

Con riferimento al modello di produzione del biogas riportato in figura 8.18, si può ipotizzare che i campioni freschi si caratterizzano per dinamiche di produzioni tipiche delle prime due fasi del modello proposto. Tipicamente queste fasi presentano una rapida emissione di anidride carbonica e produzione di acidi organici (fase aerobica ed acidogena: fase I e II del modello di produzione di biogas) non accompagnata da produzione di metano. Come riportato nelle figure da 8.19 a 8.24, i campioni freschi, si caratterizzano per l'acidificazione del mezzo e per la sola presenza di anidride carbonica.

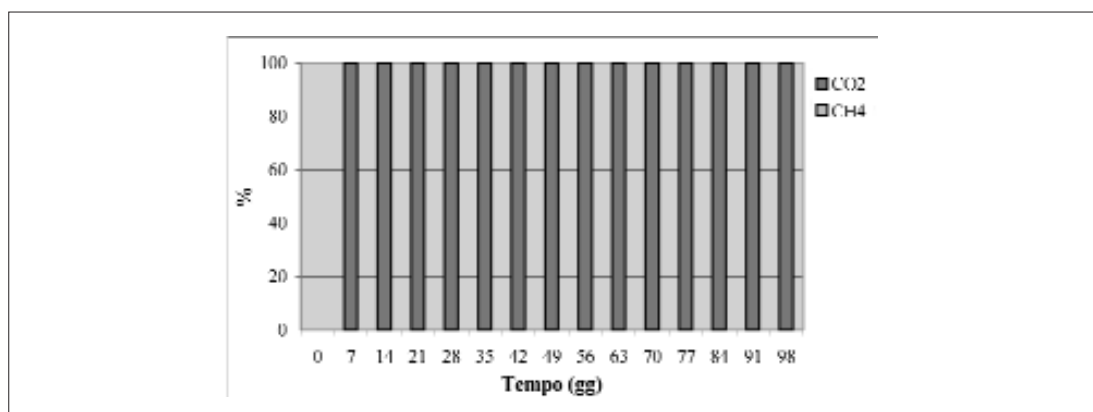


Figura 8.19: Ripartizione CO₂/CH₄ per i campioni: BT-i1, BT-i2, BT-i3, BS-i2, BS-i3, BT-f3, BS-f2, ST-1.

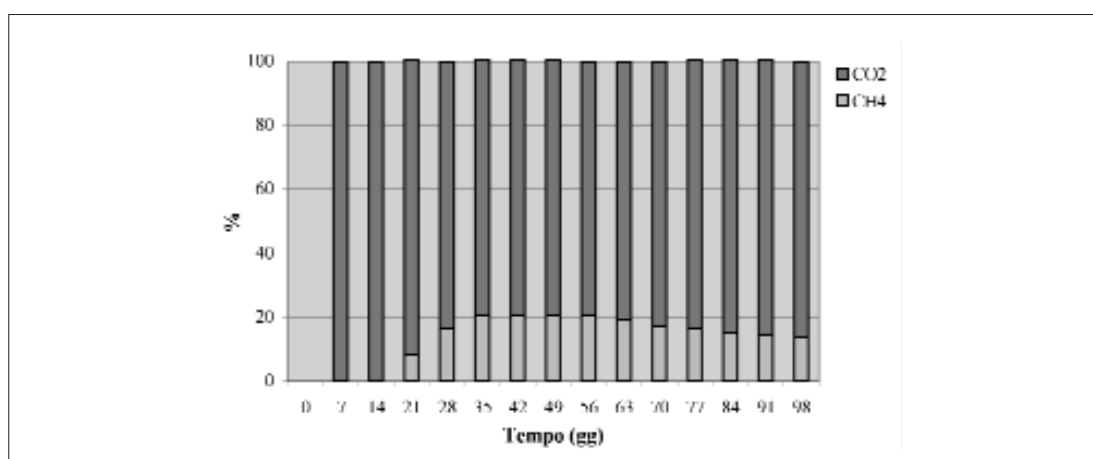


Figura 8.20: Ripartizione CO₂/CH₄ per il campione: BT-m1.

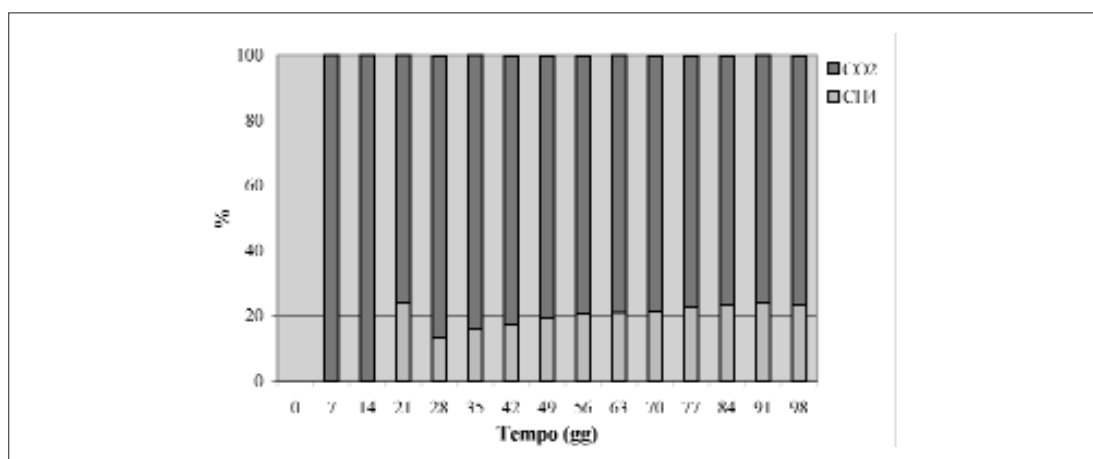


Figura 8.21: Ripartizione CO₂/CH₄ per il campione: BT-f1.

METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI

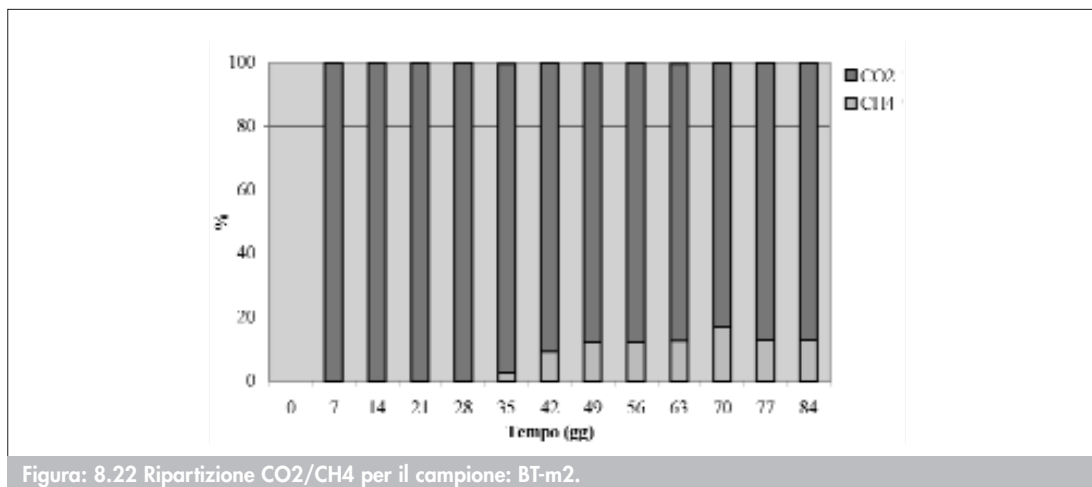


Figura 8.22 Ripartizione CO2/CH4 per il campione: BT-m2.

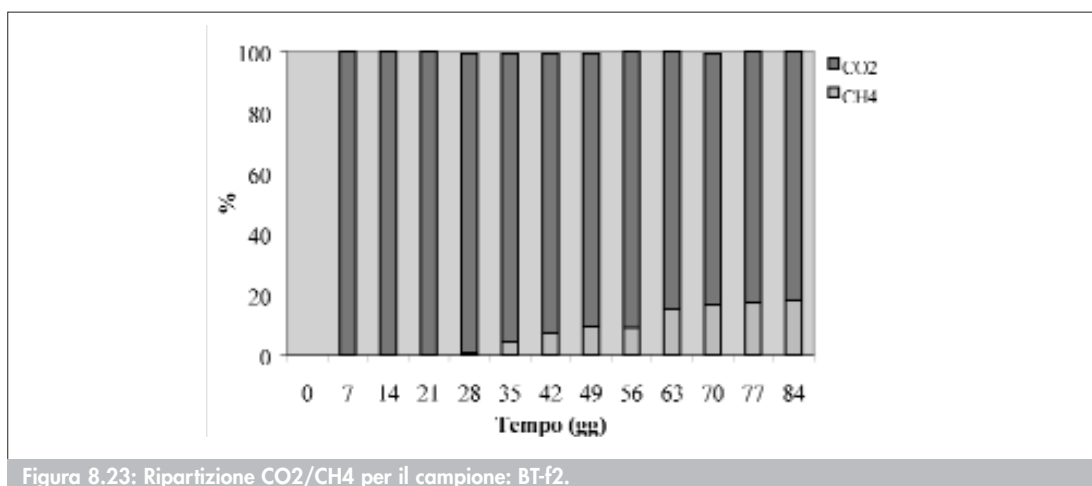


Figura 8.23: Ripartizione CO2/CH4 per il campione: BT-f2.

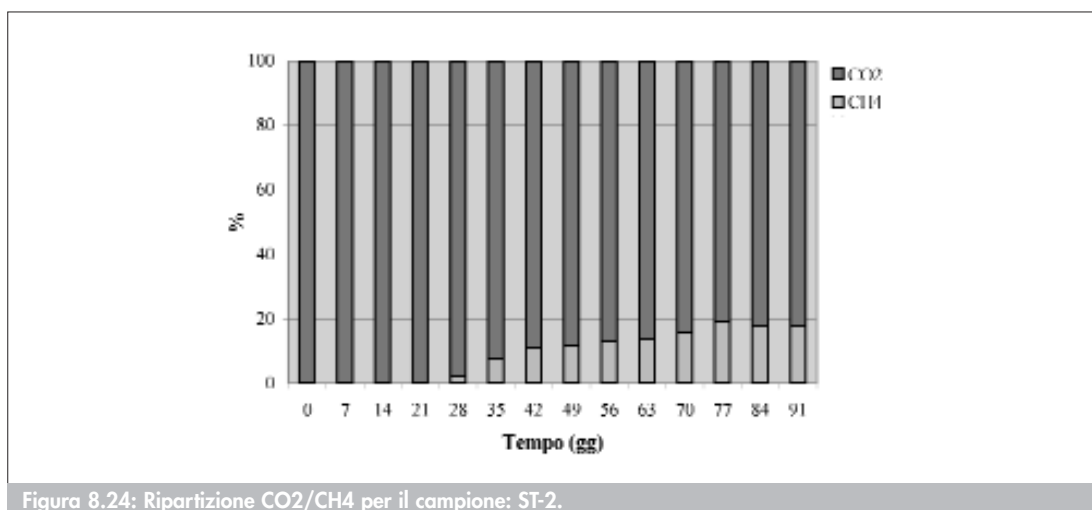


Figura 8.24: Ripartizione CO2/CH4 per il campione: ST-2.

Diversamente dai campioni precedenti, i campioni a maggior grado di stabilità (definito dall'indice di respirazione dinamica) (es. biostabilizzati intermedi e finali) non solo hanno prodotto maggiori volumi di biogas, ma hanno anche fatto registrare l'assenza di una significativa acidificazione del mezzo e di una limitata produzione metanigena ($CH_4 < 30\%$). Tali condizioni indicano uno stadio del modello di produzione del biogas identificabile con la fase III, che indica uno stadio avanzato di decomposizione chiamata fase metanigena instabile (fase III, figura 8.18).

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(PRIMA CAMPAGNA DI PROVE)

Durante tale periodo le produzioni di biogas sono significative e tendono ad incrementare come confermato dagli andamenti delle produzioni cumulate (Figure da 8.25 a 8.32).

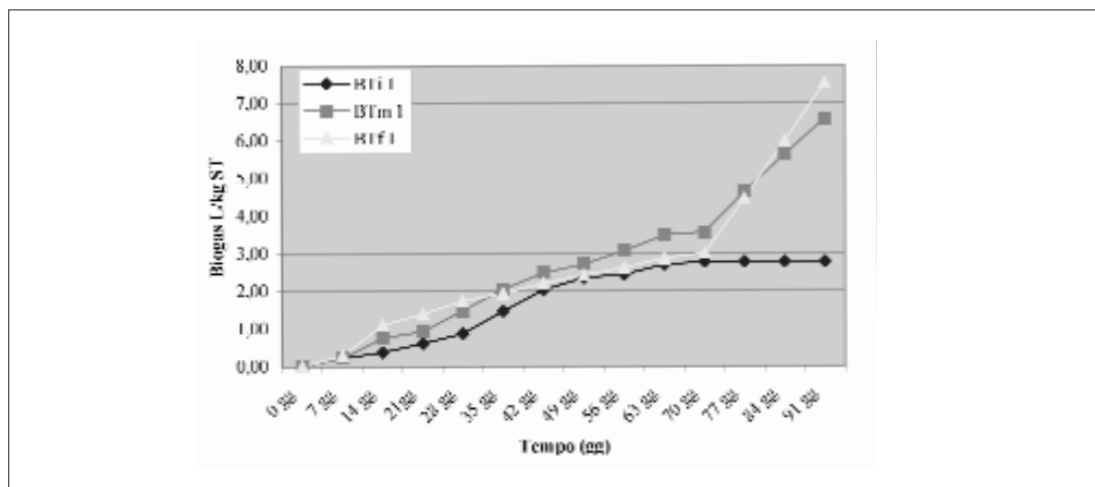


Figura 8.25: Produzione cumulata dei biogas: BT-1.

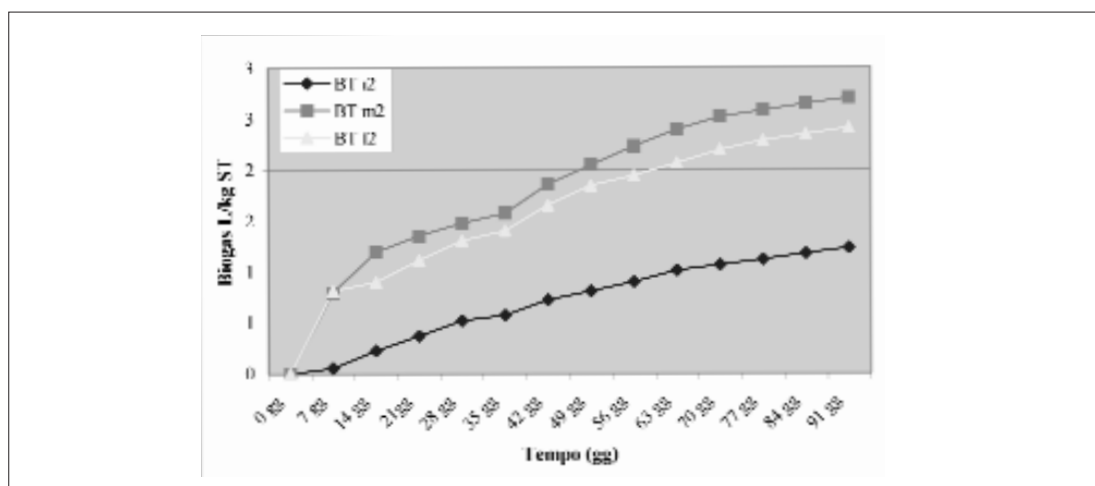


Figura 8.26: Produzione cumulata dei biogas: BT-2.

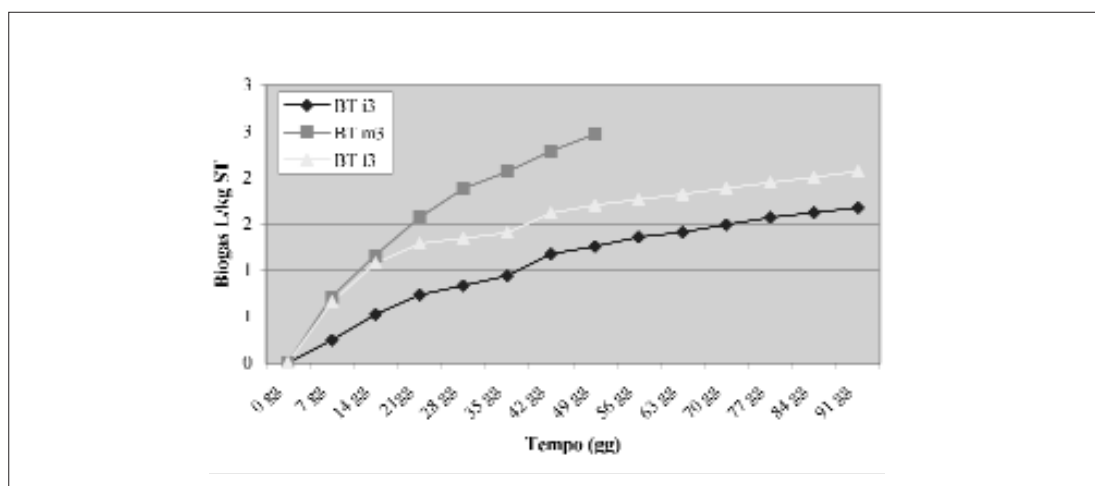


Figura 8.27: Produzione cumulata dei biogas: BT-3.

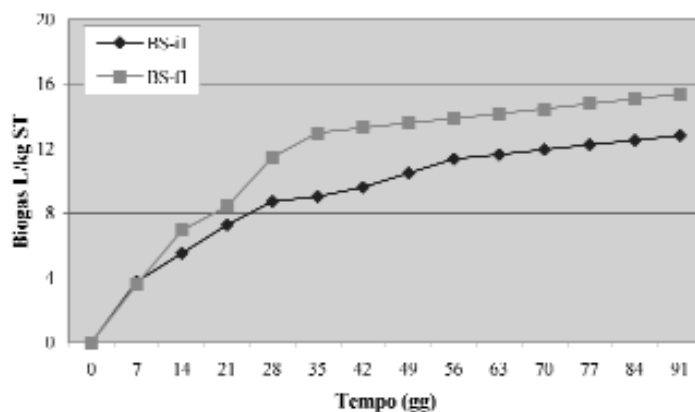


Figura 8.28: Produzione cumulata dei biogas: BS-1.

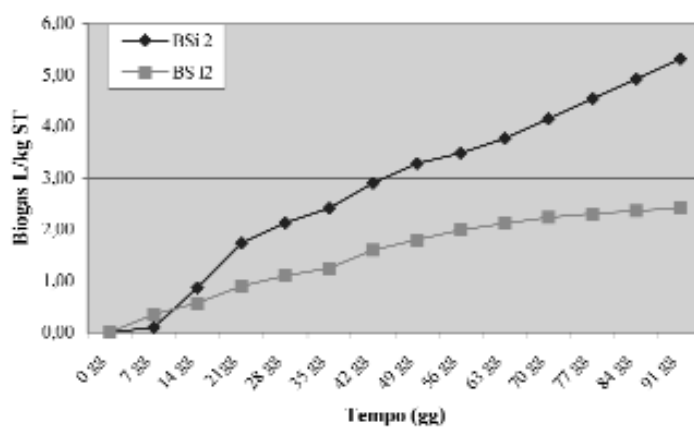


Figura 8.29: Produzione cumulata dei biogas: BS-2.

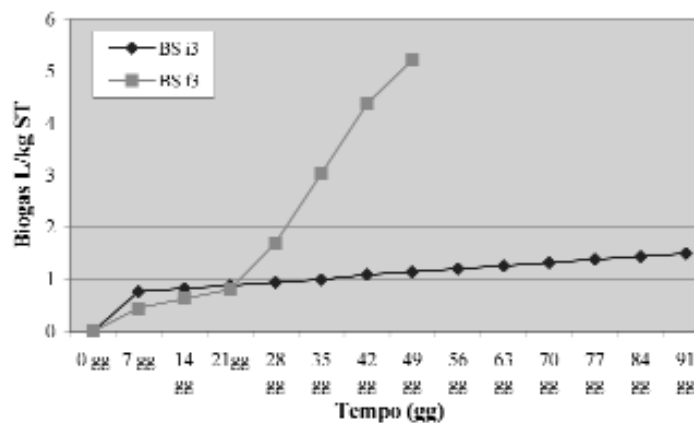


Figura 8.30: Produzione cumulata dei biogas: BS-3.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(PRIMA CAMPAGNA DI PROVE)

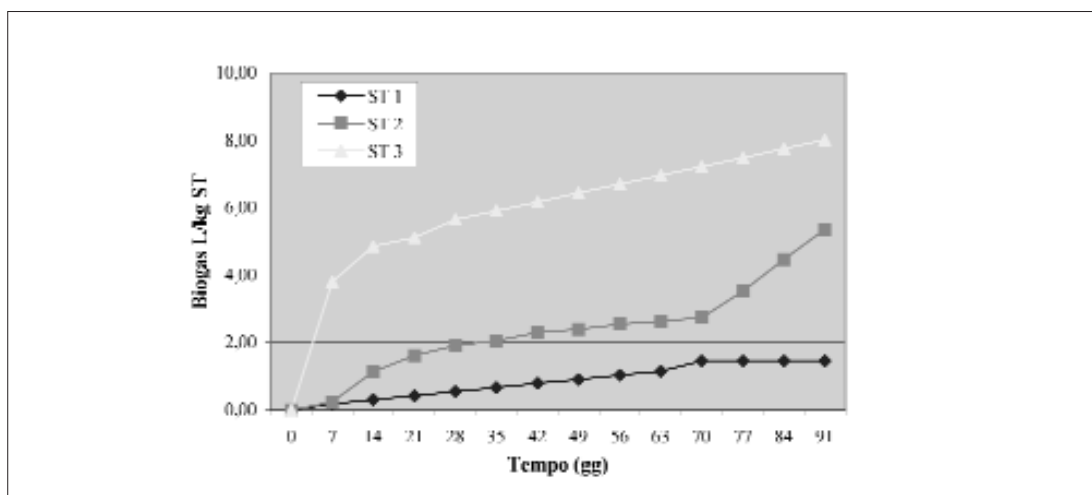


Figura 8.31: Produzione cumulata dei biogas: Sottovagli.

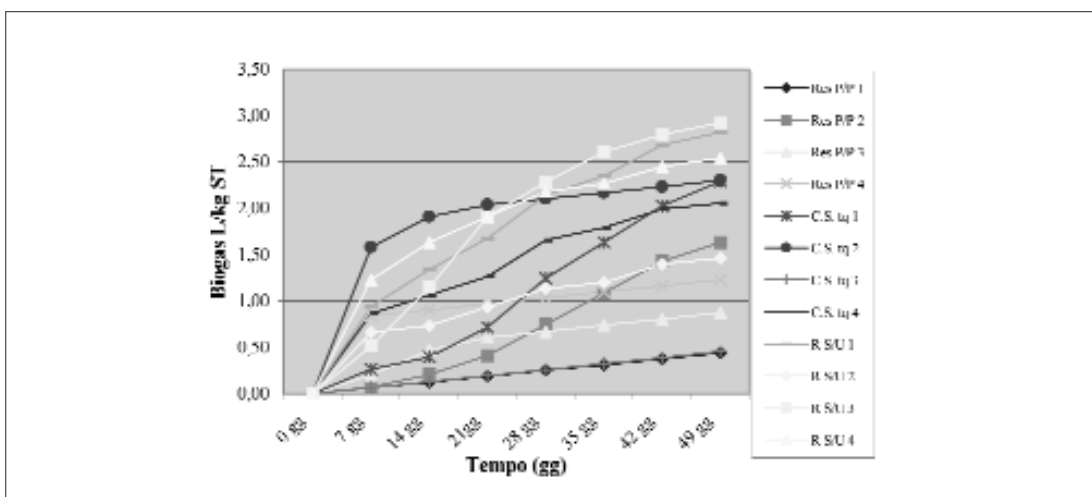


Figura 8.32: Produzione cumulata dei biogas: Residui della raccolta differenziata.

In dette condizioni appare ovvio che i 90 giorni considerati per il test proposto non risultano sufficienti per esprimere la totale potenzialità produttiva, come peraltro già osservato in letteratura.

Nessuno dei campioni analizzati mostrava produzioni identificabili con la fase metanigena stabile, caratterizzata da pH subalcalini e produzioni di metano superiori al 50 %.

L'andamento delle curve di produzione (produzioni cumulate), unitamente ai valori di pH ed alle percentuali di CH_4 riscontrate nel biogas prodotto, ci permette di riassumere, quanto osservato sperimentalmente, secondo il modello di produzione del biogas durante test di laboratorio proposto da Adani et al., (2001) (Figura 8.33).

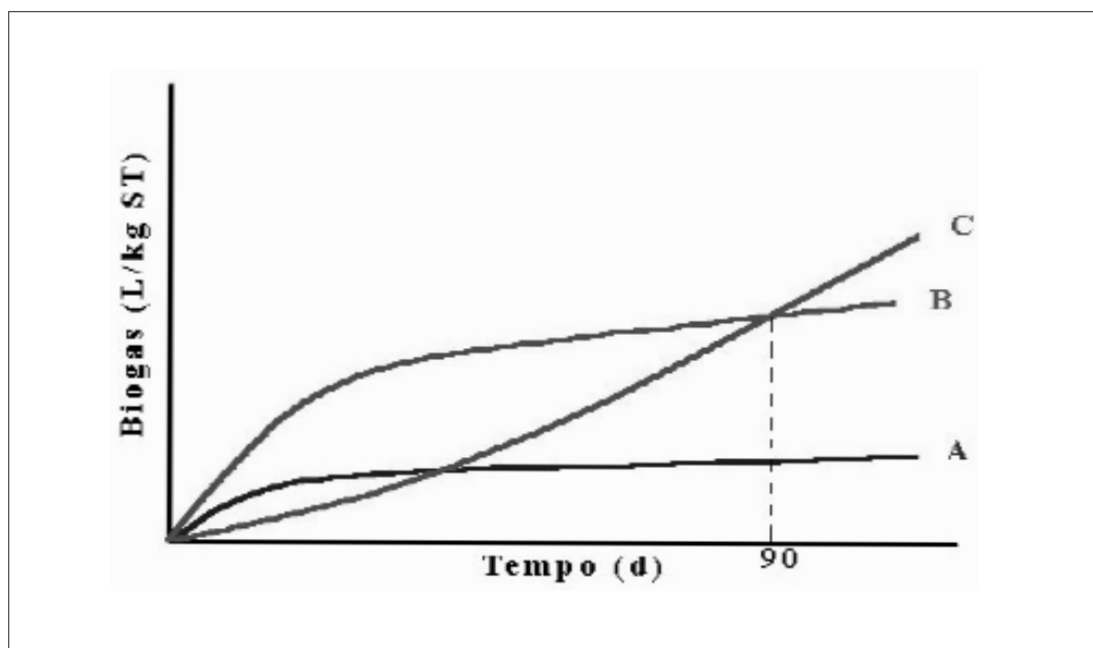


Figura 8.33: Modello di produzione di biogas durante il test d'incubazione. (Fonte: Adani et al., 2001)

Le curva A è tipica dei rifiuti tal quali, in cui, l'effetto tossico, dovuto all'acidificazione del mezzo, provoca l'immediata inibizione dell'attività metanigena dei microrganismi (Figura 8.18, fase I e II; es. campioni fresco ed a metà processo).

La curva B include i campioni di rifiuto ben stabilizzati, dove tutta la sostanza organica ancora putrescibile viene degradata in meno di 90 giorni e quindi, entro tali tempi, si ha la produzione totale di biogas (Figura 8.18, fase IV.).

La curva C ingloba quei campioni intermedi rispetto alle due situazioni precedenti, ovvero rifiuti trattati, ma ancora ricchi in sostanze putrescibili. In quest'ultimo caso, la produzione residua del biogas risulta rallentata all'inizio, ma poco dopo l'attività fermentativa dei batteri riprende e si protrae oltre i 90 giorni suggeriti dal test (passaggio dalla fase III alla fase IV, metanogenesi stabile). In conclusione, ancora una volta viene confermato come i test di produzione di biogas risultino inapplicabili quali misure della stabilità biologica se non per campioni molto stabili.

Utilizzando la regressione lineare proposta da Gotti et al., (2001) ottenuta per l'IRD ed il biogas prodotto è possibile calcolare per ogni campione studiato la produzione teorica di biogas e confrontarla con quella sperimentale (Tabella 8.3).

Tabella 8.3: Produzioni sperimentali e teoriche di biogas per i campioni di rifiuto analizzati.

Campioni	Produzioni sperimentali (L/kg ST)	Produzioni teoriche (L/kg ST)
BT-i1	2,77	376
BT-m1	6,56	296
BT-f1	7,52	70
BT-i2	1,14	819
BT-m2	2,57	186
BT-f2	2,29	140
BT-i3	1,52	585
BT-m3	3,80	330
BT-f3	1,98	133
BS-i1	14,80	363
BS-f1	15,55	177
BS-i2	4,05	363

segue

**DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(PRIMA CAMPAGNA DI PROVE)**

segue

Campioni	Produzioni sperimentali (L/kg ST)	Produzioni teoriche (L/kg ST)
BS-f2	2,29	102
BS-i3	1,14	331
BS-f3	8,96	103
ST-1	0,75	233
ST-2	3,45	94
ST-3	8,01	147
Res. P/P 1	0,44	24
Res. P/P 2	1,63	134
Res. P/P 3	0,87	76
Res. P/P 4	1,23	78
C.Strad. t.q. 1	2,29	89
C.Strad. t.q. 2	2,30	236
C.Strad. t.q. 3	0,46	210
C.Strad. t.q. 4	2,06	222
Racc.S/U d.c.s. 1	2,82	139
Racc.S/U d.c.s. 2	1,46	218
Racc.S/U d.c.s. 3	2,92	63
Racc.S/U d.c.s. 4	2,54	168

9. Materiali e metodi (Seconda campagna di prove)

9.1 Tipologia dei campioni trattati

Nella seconda campagna di prove condotta presso l'Università di Padova Dipartimento IMAGE sono stati effettuati i test riportati in Tabella 9.1. Nella seconda colonna della stessa tabella è riportato l'elenco dei parametri associati ad ognuno dei test. Sulla base dei risultati ottenuti dai diversi test effettuati, sarà possibile individuare i test più affidabili da utilizzare con i diversi tipi di rifiuto ed indicare, per i parametri misurati, valori tipici di rifiuti ancora poco stabilizzati o di rifiuti idonei al conferimento in discarica.

Tabella 9.1: Test di laboratorio e relativi parametri per la valutazione del grado di stabilizzazione biologica dei rifiuti

Test	Parametro
Test di cessione in acqua distillata	BOD ₅ , COD e rapporto BOD ₅ /COD nell'eluato,
Test di lisciviazione in colonna (Test IMAGE)	
Test di fermentazione in reattore	Produzione potenziale di biogas,
Test di fermentazione in colonna	B21 (Nl/kgST)
Test respirometrico	Indice di respirazione, IR (mgO ₂ /g ST)
Test per la determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili	Contenuto di solidi potenzialmente fermentescibili, SPF (% ST)
Test con cartina di acetato di piombo	Black Index, BI (d ⁻¹)

Nel suddetto studio sono state indagate diverse tipologie di rifiuti pretrattati sottoposti a processi di biostabilizzazione o bioessiccamento (20 matrici), nonché diversi rifiuti residui (12 matrici), definiti come le frazioni secche dei rifiuti urbani raccolti in modo differenziato e rifiuti da raccolta tal quale.

In particolare si sono considerati 11 campioni di rifiuti provenienti da impianto di stabilizzazione, 9 provenienti da processo di bioessiccazione e 12 campioni di rifiuti residui come descritto in tabella 9.1.

Tabella 9.2: Tipologia dei materiali analizzati

Matrice	n. campioni	Campioni da analizzare	Note
Rifiuto residuo	12	RR. (1,2,3,4)	4 campioni di rifiuto secco residuo da raccolta porta a porta
		DC (1,2,3,4,)	4 campioni di secco da raccolta secco/umido con doppio cassonetto
		TQ.(1,2,3,4)	4 campioni di rifiuto da raccolta del tal quale cassonetto stradale
Rifiuto biostabilizzato	4	BTi1, BTi2, BTi3, BLi	Prelievo all'inizio del trattamento di stabilizzazione
	3	BTm1, BTm2, BTm3	Prelievo a metà del trattamento di stabilizzazione
	4	BTf1, BTf2, BTf3, BLf	Prelievo a fine trattamento di stabilizzazione
Rifiuti bioessiccati	3	Bsi1, Bsi2, Bsi3	Prelievo all'inizio della bioessiccazione
	3	BSf1, BSf2, BSf3	Prelievo a fine trattamento di bioessiccazione
	3	ST1, ST2, ST3	Test sul sottovaglio 2 cm

I campioni analizzati sono stati prelevati in impianti siti in Lombardia ed in Veneto.

Di seguito vengono elencate le tipologie di rifiuti utilizzati nella sperimentazione suddivisi sulla base del pretrattamento a cui sono stati sottoposti.

Biostabilizzati di tipo 1 (BT₁)

Tipologia in ingresso all'impianto di stabilizzazione: rifiuto tal quale

Trattamento: vagliatura a 50-80 mm e trattamento del sottovaglio per 15 gg in tunnel con aerazione attiva.

Biostabilizzati di tipo 2 e 3 (BT₂, BT₃)

Tipologia in ingresso all'impianto di stabilizzazione: rifiuto tal quale

Trattamento: vagliatura a 50-60 mm e trattamento del sottovaglio in cumuli per 30 gg con aerazione attiva e rivoltamento ogni 2 gg.

Per tutti i campioni di tipo BT sono state prelevate tre frazioni: una all'ingresso dell'impianto (i), una a metà processo (m), e una a fine processo (f)

Bioessiccati di tipo 1, 2 e 3 (BS₁, BS₂, BS₃)

Tipologia in ingresso all'impianto di stabilizzazione: rifiuto tal quale o residuo "secco" proveniente da parziale differenziazione secco/umido a seconda della tipologia di rifiuti conferiti quando si sono effettuati i prelievi.

Trattamento: pretrattamento meccanico iniziale con triturazione a una pezzatura di 15-20 cm seguito da trattamento aerobico forzato in condizioni statiche in batch con altezza dei cumuli, contenuti nelle celle, di 4 m. La fase di aerazione ha una durata di 12-14 giorni. Il processo, a seconda di come è condotto, favorisce la bioessiccazione o la biostabilizzazione. Lo scopo finale è ottenere un materiale da utilizzare come biocubi in processi di combustione (CDR), ma spesso destinati a discarica.

Per i campioni BS, sono state prelevate 2 frazioni, una all'ingresso (i), una all'uscita (f).

Sottovaglio dai processi di bioessiccazione (ST₁, ST₂, ST₃)

I processi di bioessiccazione descritti al punto precedente producono una frazione, costituita dal sottovaglio, non utilizzata normalmente per la produzione di CDR e destinata a smaltimento in discarica.

Biostabilizzati BL

Tipologia in ingresso all'impianto di stabilizzazione: rifiuto tal quale.

Trattamento: doppia vagliatura in ingresso, prima a 100 mm e poi a 60 mm. Il sovravaglio va direttamente in discarica. Il sottovaglio viene mandato in tunnel, dove subisce aerazione forzata e rivoltamento per un tempo di 2-3 settimane, e poi messo in cumuli periodicamente rivoltati per un tempo di 3-4 settimane.

Per i biostabilizzati di tipo BL si sono potute prelevare solamente le frazioni in ingresso ed in uscita dall'impianto

Rifiuti residui (RR 1÷4; TQ 1÷4; DC 1÷4)

Si tratta di rifiuti provenienti da vari comuni del Veneto che effettuano diversi tipi di raccolta. Nel caso dei campioni di rifiuto residuo (RR) si tratta di rifiuti residui di secco proveniente da raccolta differenziata porta a porta secco/umido. Sono stati considerati, allo scopo di avere uno spettro completo, anche rifiuti tal quali (TQ) e rifiuti secchi provenienti dai Comuni dove si effettua la raccolta tramite doppio cassonetto: uno per l'umido e l'altro per il secco (DC). Nel seguito l'insieme di questi rifiuti sarà genericamente definito come rifiuti residui.

Sui campioni a disposizione sono stati effettuati i test specificati di seguito.

Rifiuti residui

- Determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili
- Test respirometrici
- Test di fermentazione in colonna; monitoraggio di qualità e quantità del biogas prodotto

- Test IMAGE e analisi degli eluati con determinazione di BOD₅, COD, BOD₅/COD
- Test di cessione in acqua distillata e analisi degli eluati con determinazione di BOD₅, COD, BOD₅/COD
- Test con cartina di acetato di piombo

Rifiuti biostabilizzati

- Determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili
- Test respirometrici
- Test di fermentazione in reattore; monitoraggio di qualità e quantità del biogas prodotto
- Test di cessione in acqua distillata e analisi degli eluati con determinazione di BOD₅, COD, BOD₅/COD
- Test con cartina di acetato di piombo.

Rifiuti bioessiccati

- Determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili
- Test respirometrici
- Test di fermentazione in reattore; monitoraggio di qualità e quantità del biogas prodotto
- Test di cessione in acqua distillata e analisi degli eluati con determinazione di BOD, COD, BOD/COD
- Test con cartina di acetato di piombo.

9.2 Preparazione del campione

I rifiuti provenienti da impianti di pretrattamento sono stati essiccati a 40 °C immediatamente dopo il prelievo, allo scopo di eliminare l'umidità e quindi inibire l'attività batterica, per evitare che nella fase di trasporto e di stoccaggio potessero aver luogo dei fenomeni di degradazione biologica che alterassero le condizioni dei rifiuti. Su alcuni campioni è stato condotto uno studio allo scopo di valutare gli effetti del processo di essiccazione sui risultati dei test previsti. I campioni di rifiuti pretrattati (di tipo BT, BS, BL e ST), sono stati sottoposti a triturazione ($\varnothing < 5$ mm) prima di procedere alla caratterizzazione. I rifiuti residui (RR, TQ e DC) sono stati invece triturati ad una granulometria superiore ($\varnothing < 20$ mm). Sui campioni è stata dapprima eseguita la determinazione di pH, umidità e solidi volatili, secondo le metodiche analitiche previste dall'IRSA-CNR. Le metodiche messe a punto appositamente per lo studio di valutazione della stabilità biologica sono di seguito descritte.

9.3 Determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili (SPf)

I solidi potenzialmente fermentescibili (SPf) rappresentano la frazione di sostanza organica biodegradabile contenuta nei rifiuti. La determinazione avviene mediante estrazione con etanolo ed acido cloridrico (Adani et al., 1998).

La metodica prevede che un campione (P_e) essiccato, sia sottoposto ad estrazione con etanolo in Soxhlet a 90°C per 12 ore. Il residuo solido viene essiccato e pesato (P_s) e rappresenta la frazione (E) solubile in etanolo, definita dalla relazione:

$$E (\%) = \frac{P_e - P_s}{P_e} \cdot 100$$

dove:

P_e rappresenta il peso del campione essiccato prima dell'estrazione;

P_s rappresenta il peso del campione essiccato dopo l'estrazione (frazione insolubile in etanolo).

Una parte (P_e) del residuo insolubile in etanolo viene posta in una beuta con acido cloridrico

concentrato e lasciata reagire per 24 ore a 25°C in un bagno termostato Dubnoff a 100 oscillazioni al minuto. Si esegue poi la filtrazione del campione idrolizzato su filtro di vetro, lavando con acqua distillata fino a pH neutro dell'eluato. Il residuo solido viene essiccato e pesato (P_s).

La frazione solubile in acido (A), espressa in percentuale in peso del campione di partenza, risulta definita dalla relazione:

$$A (\%) = \frac{P_{e'} - P_{s'}}{P_{e'}} \cdot \frac{P_s}{P_e} \cdot 100$$

dove:

$P_{e'}$ rappresenta il peso del campione essiccato prima dell'idrolisi acida;

$P_{s'}$ rappresenta il peso del campione essiccato dopo l'idrolisi acida.

Durante l'idrolisi acida dei carboidrati e delle proteine vengono coinvolte anche frazioni inorganiche qui denominate ceneri solubili (C_s): l'errore introdotto deve essere corretto mediante confronto tra il residuo a 550°C del campione di partenza (ceneri totali, $C_t = 100 - STV$) e quello del campione dopo l'idrolisi acida (ceneri insolubili, C_i). A tale scopo una parte del campione residuo dopo estrazione in acido ($P_{e'}$), è essiccata e sottoposta a trattamento a 550°C in muffola.

La frazione corrispondente alle ceneri insolubili in acido (C_i), espressa in percentuale in peso del campione di partenza, risulta definita dalla relazione:

$$C_i (\%) = \frac{P_{i'}}{P_{e'}} \cdot \frac{P_{s'}}{P_{e'}} \cdot \frac{P_s}{P_e} \cdot 100$$

dove:

$P_{e'}$ rappresenta il peso del campione essiccato prima del trattamento a 550°C;

$P_{i'}$ rappresenta il peso del campione dopo il trattamento a 550°C.

La frazione relativa ai solidi potenzialmente fermentescibili risulta quindi definita dalla relazione:

$$SPf (\% ST) = E + A - C_s$$

con $C_s = C_t - C_i$

9.4 Determinazione dell'indice di respirazione statico

L'indice respirometrico IR rappresenta il consumo di ossigeno dovuto alla degradazione della sostanza organica presente nel campione di rifiuto.

La determinazione con metodo Sapromat, noto anche come AT_4 , avviene mediante respirometro costituito essenzialmente da un reattore contenente il campione sottoposto ad analisi, il generatore di O_2 , un manometro, il sistema di controllo e l'elaboratore, secondo la schematizzazione riportata in Figura 9.1 in sintesi, l'indice corrisponde quindi al valore di O_2 prodotto dal generatore per equilibrare la depressione causata dal consumo di ossigeno per la degradazione della sostanza organica del campione introdotto nel reattore.

La determinazione può avvenire a 4 o 7 giorni e l'indice verrà espresso in mgO_2/gST .

La procedura prevede di utilizzare circa 40 g di rifiuto con un contenuto di umidità, eventualmente corretto, pari al 60% della capacità di campo del materiale: il rifiuto viene introdotto nel reattore unitamente a idrossido di sodio da depositare nell'apposita sede allo scopo di assorbire la CO_2 prodotta dai microorganismi durante la respirazione.

La depressione prodotta con consumo di ossigeno causa il sollevamento di quota del menisco

in un manometro differenziale tale da azionare il generatore di O_2 . La produzione di ossigeno avviene per quantità discrete, è continuamente registrata dal sistema di controllo e prosegue finché non sono ristabilite le condizioni di pressione iniziali. Il risultato è espresso in mgO_2 riferiti all'unità di massa di campione.



9.5 Test di fermentazione in reattore

Il test di fermentazione è utilizzato per valutare la produzione di biogas a seguito dei processi di degradazione anaerobica nel campione da analizzare. È stata utilizzata l'apparecchiatura, visibile in Figura 9.2., costituita da reattori della capacità di 0.5 l, dove è introdotto il campione, e dal sistema di accumulo del gas prodotto. In ogni reattore sono stati introdotti 20 g di campione, 100 ml di inoculo (surnatante da digestore anaerobico di un impianto di depurazione acque) e 300 ml di acqua distillata.

I reattori, posti in camera termostata alla temperatura 35° , sono stati collegati alle colonne graduate del diametro di 4,5 cm e dell'altezza di 60 cm, contenenti una soluzione acida al 25% in NaCl, dove sarà raccolto il biogas prodotto. L'acido e il sale garantiscono una forza ionica ed un pH della soluzione tali da inibire la dissoluzione di qualsiasi gas, compresa la CO_2 . Le colonne sono a loro volta collegate a una bottiglia in polietilene che funge da serbatoio di raccolta della soluzione, che viene allontanata dalla colonna dal biogas prodotto.

L'abbassamento del livello del liquido all'interno delle colonne segnala la quantità di biogas prodotto nel reattore e, attraverso la registrazione periodica del dato e dei valori della temperatura e della pressione atmosferica al momento della lettura, si può ottenere il valore della produzione di biogas da parte del campione, espressa in $Nl/kgST$, (in alternativa si può riferire il risultato all'unità di massa di solidi volatili o potenzialmente fermentescibili).

Per tener conto della produzione di biogas direttamente associata alla presenza di inoculo nel campione, un reattore contenente soltanto inoculo e acqua distillata è stato utilizzato come bianco.

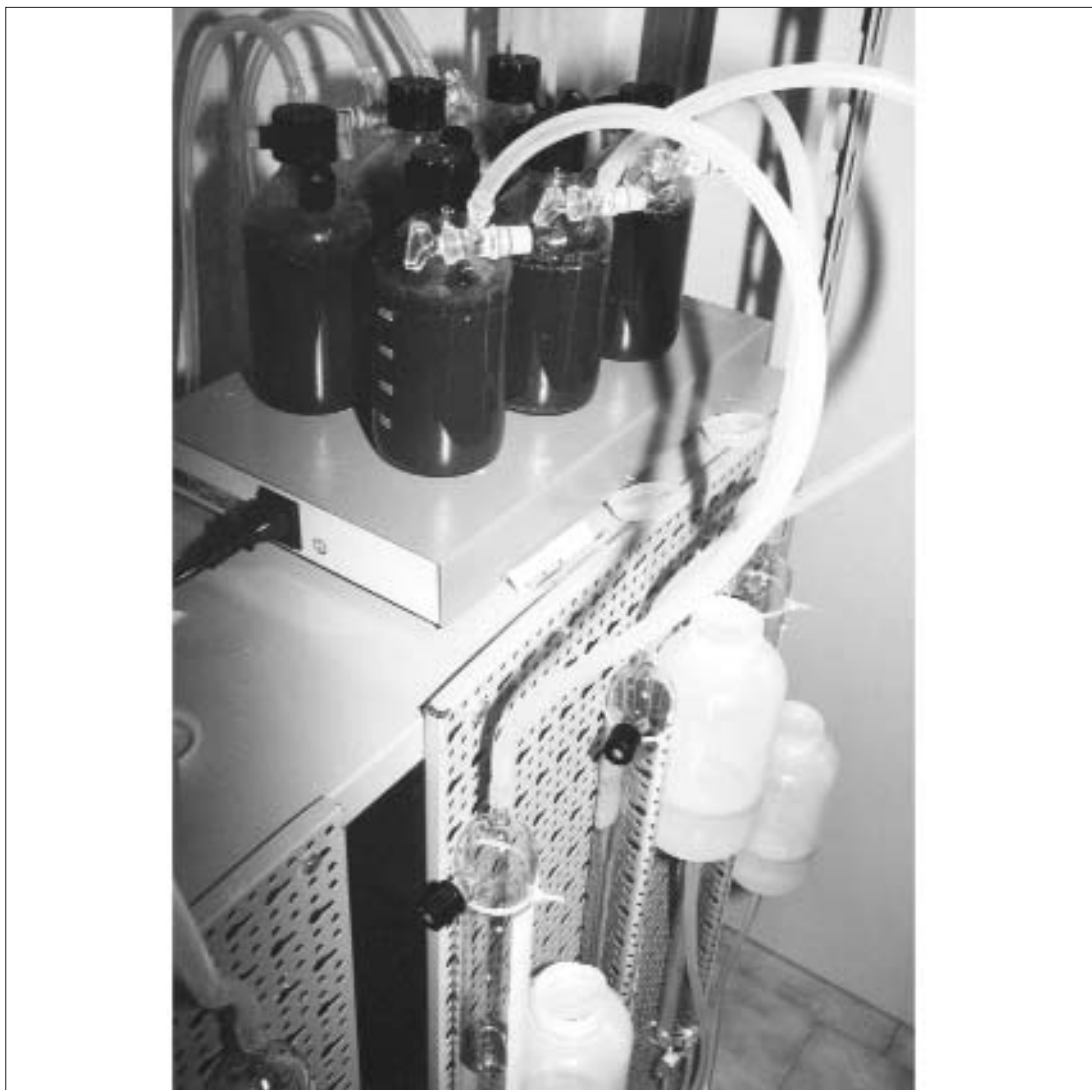


Figura 9.2: Apparecchiatura sperimentale utilizzata per la determinazione del biogas prodotto in reattore.

Sia le colonne che le bottiglie sono dotate di un tappo a filetto SVL 15 che permette, grazie alla presenza di una parte superiore in teflon, di effettuare periodicamente dei prelievi del biogas tramite un ago collegato all'analizzatore LFG 20. In questo modo, oltre al dato quantitativo, si può ottenere un'indicazione della qualità del biogas prodotto.

La durata convenzionale del test è di 21 giorni, anche se si è protratta la prova per più di 1 mese, per valutare eventuali fasi di lag e per ottenere anche il valore a 28 giorni.

Il volume di gas prodotto è stato misurato quasi quotidianamente e poi calcolato riferendolo a condizioni normali ($T_0=273$ K, $p_0=1013$ mbar) mediante la seguente formula:

$$V_g = V_c \cdot [(p_1) - (p_v - p_{v0})] \cdot T_0 / [p_0 \cdot T]$$

dove:

V_g = volume in ml di biogas prodotto;

V_c = volume in ml di abbassamento del liquido misurato nella colonna;

p_1 = pressione in mbar dell'aria misurata al momento della lettura;

p_v = tensione di vapore dell'acqua a 35 °C;

p_{v0} = 6,108 mbar = tensione di vapore dell'acqua a 0°C

T = temperatura in °C all'interno della stanza al momento della lettura.

9.6 Test di cessione in acqua distillata

Un campione rappresentativo del materiale è introdotto in un estrattore con acqua distillata in un rapporto liquido/solido di 20:1 e sottoposto ad agitazione per 24 ore, in modo da ricambiare continuamente la superficie di contatto con il liquido estraente.

Successivamente la frazione liquida è separata da quella solida per filtrazione; quindi, sugli eluati ottenuti, si procede alle determinazioni analitiche dei seguenti parametri, secondo le procedure riportate sui manuali dell' IRSA-CNR in "Metodi analitici per le acque" (quaderno 100, 1994):

- pH;
- COD;
- BOD₅;
- BOD₅/COD

9.7 Test con cartina all'acetato di Pb - Black Index (BI)

Nei processi anaerobici, soprattutto in presenza di certi componenti (ceneri di carboni, scorie di incenerimento, fanghi di depurazione, ecc.), si ha la riduzione dello zolfo contenuto nella sostanza organica ad H₂S. Questo avviene ad opera dei batteri solforiduttori (Desulfovibrio, Desulfotomaculum) che riducono i solfati ad H₂S secondo la reazione:



convertono l'acido acetico secondo la reazione:



e gli acidi volatili secondo la reazione:



Questo tipo di produzione si può prestare ad una valutazione di massima della stabilità del residuo attraverso un semplice test semi-quantitativo.

In tale test si usano cartine all'acetato di piombo che in presenza di H₂S anneriscono per formazione di solfuro di piombo. La misura del tempo necessario per l'annerimento della cartina indica il grado di attività batterica del materiale.

La prova viene condotta in un recipiente chiuso, nel quale il campione è introdotto insieme ad una cartina di acetato di Pb, sospesa sopra di esso.

Circa 200-300 g di campione, umido al 60% della capacità di campo del materiale, sono stati inseriti in bottiglie di laboratorio da 1 litro in modo da riempirne circa la metà del volume. Al di sopra è stata sospesa una cartina della superficie di 1 cm². I campioni sono stati tenuti in camera termostata a 35°C.

Il Black Index (BI, d⁻¹) è l'inverso del tempo necessario per l'annerimento della cartina.

Valori bassi del BI (poche ore) sono tipici di campioni senz'altro poco stabilizzati. Valori alti del BI viceversa, non garantiscono che il campione considerato sia stabilizzato, ma indicano esclusivamente assenza di produzione di H₂S, fatto che potrebbe verificarsi anche per campioni molto putrescibili ma non contenenti zolfo. In tal caso quindi il test è utilizzabile come test preliminare a cui far seguire i successivi accertamenti.

9.8 Test di lisciviazione in colonna (Test IMAGE)

Il test è stato eseguito solo sui rifiuti residui utilizzando 12 colonne in plexiglass (Figura 9.3), materiale che presenta diversi vantaggi per l'esecuzione di questo tipo di prove in quanto è caratterizzato da una elevata resistenza meccanica e chimica, a contatto con il lisciviante non rilascia sostanze che potrebbero alterare i risultati delle prove ed è trasparente, per cui permette un'osservazione diretta del materiale sottoposto alla prova.

Per garantire la posizione verticale le colonne sono state appoggiate su opportuni supporti in grado di garantire lo spazio necessario per i recipienti destinati alla raccolta del lisciviato.

Le colonne cilindriche hanno le seguenti dimensioni:

- diametro interno 10 cm
- altezza: 100 cm

La chiusura inferiore è assicurata da una flangia cieca dello spessore di 2,3 cm dotata di un foro filettato per l'avvitamento di un rubinetto con porta gomma da utilizzare per il prelievo del lisciviato. La tenuta idraulica è garantita dall'inserimento di un o-ring in gomma tra le due flange imbullonate. La flangia inferiore è lavorata al tornio in modo da avere la forma di un tronco di cono cavo.

Prima di iniziare le prove, le colonne sono state ripetutamente lavate e poi riempite completamente di acqua per controllarne la tenuta idraulica. L'alimentazione idrica è stata di tipo manuale su tutte le colonne.

Il materiale da utilizzare per le prove è stato campionato mediante successivi inquartamenti e quindi tritato a granulometria <2cm. Del materiale campionato è stata determinata preliminarmente l'umidità.

Sul fondo delle colonne è stato posizionato un filtro in ghiaia dello spessore di circa 10 cm. Per realizzare il filtro si è fatta attenzione a non utilizzare materiale calcareo, ma siliceo, perché il materiale calcareo a contatto con il lisciviante avrebbe potuto rilasciare composti del calcio. Una volta immesso nelle colonne il materiale granulare è stato lavato.

Le colonne sono state riempite contemporaneamente con il rifiuto e l'acqua, pesando e misurando le quantità immesse, fino a raggiungere una altezza netta di 80 cm. La procedura di immettere contemporaneamente i rifiuti e l'acqua ha permesso una migliore compattazione del materiale e ha garantito la perfetta aderenza del materiale alle pareti delle colonne, minimizzando così la naturale tendenza del lisciviante a scorrere tra parete e materiale evitando di filtrare attraverso la massa di residui. Un'ora dopo aver completato il riempimento, si è proceduto ad estrarre l'eluato per le analisi di laboratorio.

Sull'eluato ricavato sono state condotte le seguenti analisi:

- pH;
- COD_i;
- BOD_{5i};

Le metodiche utilizzate per fare queste analisi è la stessa che si è vista a proposito del test di cessione in acqua distillata e cioè quelle previste dall'IRSA-CNR.

In Tabella 9.3 sono riportati per ciascuna colonna il quantitativo di materiale immesso, il peso di secco ed umido, l'umidità iniziale, il volume di liquido immesso e il rapporto tra questo e la sostanza secca.

Tabella 9.3: Peso rifiuti da raccolta differenziata umido e secco immessi, quantitativo d'acqua e rapporto liquido/sostanza secca

	RR1	RR2	RR3	RR4	DC1	DC2	DC3	DC4	TQ1	TQ2	TQ3	TQ4
Peso umido (kg)	0,77	1,07	0,65	0,75	1,43	1,53	0,94	1,19	1,77	2,26	1,48	2,10
Umidità	26	45	24	21	34	48	25	45	49	46	53	33
Peso secco (kg)	0,57	0,59	0,49	0,59	0,94	0,80	0,71	0,65	0,90	1,22	0,70	1,41
Acqua immessa (L)	5,35	5,25	5,00	5,40	4,90	4,70	5,30	5,05	4,40	4,30	4,80	4,65
Liquido/Sost.secca	9,4	8,3	11,0	8,9	5,2	5,9	7,5	7,7	4,9	3,5	6,9	3,3

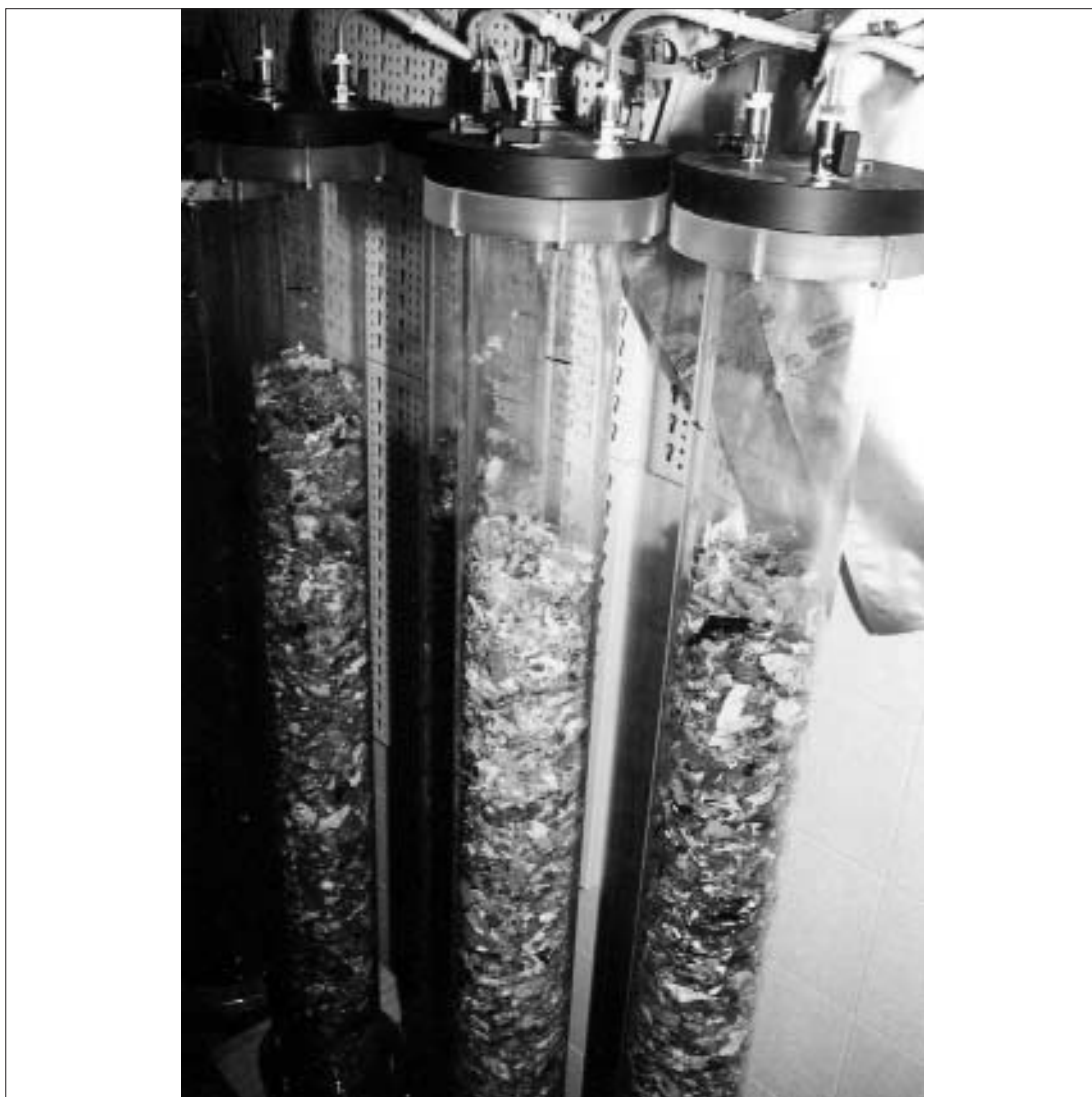


Figura 9.3 Colonne utilizzate per il test IMAGE e per il test di fermentazione in colonna.

9.9 Test di fermentazione in colonna

Sul materiale sottoposto al test IMAGE, è stato eseguito anche il test di fermentazione. Dopo la lisciviazione le colonne sono state posizionate in camera termostata a 35°C e chiuse con delle flange aventi 2 rubinetti con dei portagomme. A uno di questi è stata collegata una busta con lo scopo di captare l'eventuale biogas prodotto dai rifiuti. L'altro rubinetto è stato utilizzato per effettuare un monitoraggio periodico della composizione volumetrica dell'atmosfera interna (metano, anidride carbonica, ossigeno), utilizzando il rivelatore LFG 20.

10. Risultati (Seconda campagna di prove)

10.1 Tipologia dei campioni indagati

Le matrici oggetto dell'indagine sono costituite da due categorie di rifiuti:

- rifiuti pretrattati
- frazioni residue di rifiuti urbani a valle della raccolta differenziata.

10.1.1 Rifiuti pretrattati

Tale tipologia di rifiuti comprende i rifiuti biostabilizzati e bioessiccati. I risultati delle prove analitiche effettuate su tali campioni sono riassunte nella tabella seguente.

Matrice	n. campioni	Campioni da analizzare	Commenti
Rifiuto biostabilizzato	4	BTi1, BTi2, BTi3, BLi	Prelievo all'inizio del trattamento di stabilizzazione
	3	BTm1, BTm2, BTm3	Prelievo a metà del trattamento di stabilizzazione
	4	BTf1, BTf2, BTf3, BLf	Prelievo a fine trattamento di stabilizzazione
Rifiuti bioessiccati	3	Bsi1, Bsi2, Bsi3	Prelievo all'inizio della bioessiccazione
			Prelievo a fine trattamento di bioessiccazione
			Test sul sottovaglio 2 cm

I risultati analitici sono riportati nelle seguenti tabelle secondo lo schema:

Tabella 10.2. Rifiuti Biostabilizzati: *Risultati analitici*

Tabella 10.3a-b. Rifiuti biostabilizzati: *Indice di respirazione*

Tabella 10.4. Rifiuti biostabilizzati: *Test di cessione in H₂O distillata e test con cartina all'acetato di Pb*

Tabella 10.5. Rifiuti biostabilizzati: *Test di fermentazione in reattore*

Tabella 10.6. Rifiuti bioessiccati: *Risultati analitici*

Tabella 10.7a-b. Rifiuti bioessiccati: *Indice di respirazione*

Tabella 10.8. Rifiuti bioessiccati: *Test di cessione in H₂O distillata e test con cartina all'acetato di Pb*

Tabella 10.9. Rifiuti bioessiccati: *Test di fermentazione in reattore*

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 10.2: Rifiuti biostabilizzati - Risultati analitici

Sigla Campione		Umidità (%)	pH	STV (% ST)	SPF (%ST)	Biogas (NL/kg STV) 21 gg	Biogas (NL/kg STV) 28 gg
1	BT- i 1	46	5,9	48	35	49,2	64,6
	BT- m 1	57	7,8	48	34	46,7	51,7
	BT- f 1	55	8,2	53	35	41,9	45,3
2	BT- i 2	58	6,2	71	46	41,4	54,4
	BT- m 2	55	7,7	66	43	40,9	49,8
	BT- f 2	58	7,8	64	43	40,5	49,5
3	BT- i 3	57	7,1	73	51	13,7	30,3
	BT- m 3	57	7,2	64	48	45,3	70,9
	BT- f 3	53	7,2	64	35	36,9	50,0
	BLi	51	6,3	56	42	33,6	38,6
	BLf	30	8,1	38	25	23,7	23,7

Tabella 10.3a: Rifiuti biostabilizzati - Indice di respirazione

Sigla Campione		IR _s (mg O ₂ kg ⁻¹ ST ⁻¹ h ⁻¹)	IR _{4s} (mg O ₂ g ⁻¹ ST ⁻¹)	IR _{7s} (mg O ₂ g ⁻¹ ST ⁻¹)	STV (% ST)	IR _v (mg O ₂ kg ⁻¹ STV ⁻¹ h ⁻¹)	IR _{4v} (mg O ₂ g ⁻¹ STV ⁻¹) SAPROMAT	IR _{7v} (mg O ₂ g ⁻¹ STV ⁻¹)
1	BT- i	885	47,2	99,0	48	1.844	98,3	206
	BT- m 1	329	25,3	47,2	48	686	52,7	98,2
	BT- f 1	352	26,6	47,5	53	664	50,1	89,6
2	BT- i 2	1.408	74,2	130	71	1.983	105	184
	BT- m 2	724	55,7	88.	9 66	1.097	84,3	135
	BT- f 2	659	46,2	72,8	64	1.029	72,2	114
3	BT- i 3	1.157	57,5	118	73	1.585	78,8	161
	BT- m 3	608	35,6	64,6	64	949	55,6	101
	BT- f 3	590	36,5	68,0	64	922	57	106
	BL-i	1.039	72,4	124	56	1.855	129	222
	BL-f	94	8,3	14,3	38	248	21,9	37,6

Tabella 10.3b: Rifiuti biostabilizzati - Indice di respirazione

Sigla Campione		SP _f (%ST)	IR _f (mg O ₂ kg ⁻¹ Spf ⁻¹ h ⁻¹)	IR _{4f} (mg O ₂ g ⁻¹ Spf ⁻¹)	IR _{7f} (mg O ₂ g ⁻¹ Spf ⁻¹)
1	BT- i	35	2.529	135	283
	BT- m 1	34	968	74,4	139
	BT- f 1	35	1.006	75,9	136
2	BT- i 2	46	3.061	161	283
	BT- m 2	43	1.684	129	207
	BT- f 2	43	1.533	108	169
3	BT- i 3	51	2.269	113	231
	BT- m 3	48	1.267	74,1	135
	BT- f 3	35	1.686	104	194
	BL-i	42	2.474	172	296
	BL-f	25	376	33,3	57,1

RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

Tabella 10.4: Rifiuti biostabilizzati - Test di cessione in H₂O distillata e test con cartina all'acetato di Pb (Black Index)

Sigla Campione	pH	BOD ₅ (mgO ₂ /l)	COD (mgO ₂ /l)	BOD ₅ /COD	BI (I/d)
1 BT- i 1	5,5	3.875	4.998	0,78	2,2
BT- m 1	7,1	500	1.297	0,39	0,6
BT- f 1	7,2	650	1.710	0,38	0,5
2 BT- i 2	5,9	3.900	4.864	0,80	2,6
BT- m 2	6,4	1.450	3.094	0,47	1,5
BT- f 2	6,7	1.100	2.296	0,48	1,3
3 BT- i 3	5,5	2.000	4.470	0,57	0,8
BT- m 3	6,6	2.150	3.269	0,58	1,6
BT- f 3	6,4	1.750	3.798	0,46	0,4
BLi	6,5	2.500	3.067	0,82	1,4
BLf	7,1	140	915	0,15	0,2

Tabella 10.5: Rifiuti biostabilizzati - Test di fermentazione in reattore

Sigla Campione	B21, (NL/kg ST) 21 gg	B21, (NL/kg STV) 21 gg	B21, (NL/kg Spf) 21 gg	B28, (NL/kg ST) 28 gg	B28, (NL/kg STV) 28 gg	B28, (NL/kg Spf) 28 gg
1 BT- i1	23,6	49,2	67,4	31	64,6	88,6
BT- m 1	22,4	46,7	65,9	24,8	51,7	72,9
BT- f 1	22,2	41,9	63,4	24	45,3	68,6
2 BT- i 2	29,4	41,4	63,9	38,6	54,4	83,9
BT- m 2	27	40,9	62,8	32,9	49,8	76,5
BT- f 2	25,9	40,5	60,2	31,7	49,5	73,7
3 BT- i 3	10	13,7	19,	22,1	30,3	43,3
BT- m 3	29	45,3	60,4	45,4	70,9	94,6
BT- f 3	23,6	36,9	67,4	32,0	50,0	91,4
BLi	18,8	33,6	44,8	21,6	38,6	51,4
BLf	9	23,7	36,0	9	23,7	36,0

Tabella 10.6: Rifiuti bioessiccati - Risultati analitici

Sigla Campione	Umidità (%)	pH	STV (% ST)	SPf (%ST)	Biogas (NL/kg STV) 21 gg	Biogas (NL/kg STV) 28 gg
1 BS- i1	30	7,6	82	60	24,8	56,3
BS- f 1	13	6,9	79	58	43,4	45,8
BS- ST1	33	6,6	47	37	47	51,5
2 BS- i 2	30	6,7	76	48	25,4	53,3
BS- f 2	20	8,1	73	29	24,7	27,7
BS- ST2	37	8	56	31	26,4	34,6
3 BS- i 3	23	7,3	78	31	48,5	51,9
BS- f 3	11	7,9	78	40,2	6,9	28,7
BS- ST3	15	7,3	39	24	31,8	34,6

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 10.7a: Rifiuti bioessiccati: Indice di respirazione

Sigla Campione	IR _s (mg O ₂ kg ⁻¹ ST ⁻¹ h ⁻¹)	IR _{4s} (mg O ₂ g ⁻¹ ST ⁻¹)	IR _{7s} (mg O ₂ g ⁻¹ ST ⁻¹)	STV (% ST)	IR _v (mg O ₂ kg ⁻¹ STV ⁻¹ h ⁻¹)	IR _{4v} (mg O ₂ g ⁻¹ STV ⁻¹) SAPROMAT	IR _{7v} (mg O ₂ g ⁻¹ STV ⁻¹)
1 BS- i 1	1.235	85,5	128	82	1.507	104	156
BS- f 1	881	58,5	87,5	79	1.116	74,0	111
BS- ST1	599	35,1	63,7	47	1.275	74,6	136
2 BS- i 2	898	73,1	128	76	1.182	96,3	168
BS- f 2	245	19,4	32,4	73	335	26,6	44,3
BS- ST2	452	27,9	45,9	56	807	49,8	82,0
3 BS- i 3	440	32,2	50,3	78	565	41,3	64,5
BS- f 3	218	15,5	30,1	78	279	19,9	38,6
BS- ST3	525	27,9	54,0	39	1.345	71,5	138

Tabella 10.7b: Rifiuti bioessiccati - Indici di respirazione

Sigla Campione	SPF (%ST)	IR _i (mg O ₂ kg ⁻¹ Spf ⁻¹ h ⁻¹)	IR _{4i} (mg O ₂ g ⁻¹ Spf ⁻¹)	IR _{7i} (mg O ₂ g ⁻¹ Spf ⁻¹)
1 BS- i 1	60	2.058	142	213
BS- f 1	58	1.519	101	151
BS- ST1	37	1.619	94,8	172
2 BS- i 2	48	1.871	152	266
BS- f 2	29	845	66,8	112
BS- ST2	31	1.458	89,9	148
3 BS- i 3	31	1.419	104	162
BS- f 3	40	545	38,8	75,3
BS- ST3	24	2.188	116	225

Tabella 10.8: Rifiuti bioessiccati: Test di cessione in H₂O distillata e test con cartina all'acetato di Pb (Black Index)

Sigla Campione	pH	BOD ₅ (mgO ₂ /l)	COD (mgO ₂ /l)	BOD ₅ / COD	BI (1/d)
1 BS- i 1	6,6	2.600	3.783	0,69	2,8
BS- f 1	6,1	1.675	2.935	0,57	2,0
BS- ST1	5,5	1.300	2.760	0,47	1,0
2 BS- i 2	5,5	3.400	4.305	0,79	1,9
BS- f 2	6,4	750	1.904	0,39	0,8
BS- ST2	6,3	900	2.113	0,43	1,0
3 BS- i 3	5,3	950	1.730	0,55	2,2
BS- f 3	6,9	640	1.557	0,41	1,1
BS- ST3	6,8	1.050	2.308	0,45	1,0

**RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)**

Tabella 10.9: Rifiuti bioessicati - Test di fermentazione in reattore

Sigla Campione	B21, (NL/kg ST) 21 gg	B21, (NL/kg STV) 21 gg	B21, (NL/kg Spf) 21 gg	B28, (NL/kg ST) 28 gg	B28, (NL/kg STV) 28 gg	B28, (NL/kg Spf) 28 gg
1 BS- i 1	20,3	24,8	33,8	46,2	56,3	77,0
BS- f 1	34,3	43,4	59,1	36,2	45,8	62,4
BS- ST1	22,1	47,0	59,7	24,2	51,5	65,4
2 BS- i 2	19,3	25,4	40,2	40,5	53,3	84,4
BS- f 2	18,0	24,7	62,1	20,2	27,7	69,7
BS- ST2	14,8	26,4	47,7	19,4	34,6	62,6
3 BS- i 3	37,8	48,5	121,9	40,5	51,9	130,6
BS- f 3	21,0	26,9	52,5	22,4	28,7	56,0
BS- ST3	12,4	31,8	51,7	13,5	34,6	56,3

10.1.2 Frazioni residue di rifiuti urbani a valle della raccolta differenziata

Questa tipologia di rifiuti comprende le categorie di rifiuti specificate nella tabella seguente.

Tabella 10.10: Rifiuti residui a valle della raccolta differenziata

Matrice	n. campioni	Campioni da analizzare	Commenti
Rifiuto residuo	12	RR. (1,2.,3,4)	4 campioni di secco da raccolta porta a porta
		DC (1,2,3,4,)	4 campioni di secco da raccolta con doppio cassonetto
		TQ.(1,2.,3,4)	4 campioni di rifiuto da raccolta del tal quale

I risultati sono riportati nelle tabelle seguenti secondo lo schema:

Tabella 10.11. Rifiuti residui: *risultati analitici*

Tabella 10.12a-b. Rifiuti residui: *indice di respirazione*

Tabella 10.13. Rifiuti residui: *test di cessione in H₂O distillata e test con cartina all'acetato di Pb*

Tabella 10.14. Rifiuti residui: *test IMAGE*

Tabella 10.15. Rifiuti residui: *test di fermentazione in colonna*

Tabella 10.11: Rifiuti residui - Risultati analitici

Sigla Campione	Umidità (%)	pH	STV (% ST)	SPf (%ST)	Biogas (NL/kg STV) 21 gg	Biogas (NL/kg STV) 28 gg
1 RR1	26	7,9	82	26	5,1	8,4
RR2	45	5,9	90	47	6,0	10,8
RR3	24	6,7	86	37	8,8	13,4
RR4	21	7,4	85	37	5,8	8,8
2 DC1	34	7,2	66	42	12,9	21,5
DC2	48	6,9	84	41	7,5	10,8
DC3	25	6,5	80	32	n.d	n.d
DC4	45	7	84	38	13,5	23,0
3 TQ1	49	7,2	74	46	10,4	13,6
TQ2	6	7,5	61	39	10,5	16,6
TQ3	53	7,4	72	28	56,0	83,1
TQ4	33	7,1	51	49	48,6	77,6

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 10.12a: Rifiuti residui - Indice di respirazione

Sigla Campione	IR_s ($mg\ O_2\ kg^{-1}\ ST^{-1}\ h^{-1}$)	$IR_{4,i}$ ($mg\ O_2\ g^{-1}\ ST^{-1}$)	$IR_{7,i}$ ($mg\ O_2\ g^{-1}\ ST^{-1}$)	$IR_{10,i}$ ($mg\ O_2\ g^{-1}\ ST^{-1}$)	STV (% ST)	IR_v ($mg\ O_2\ kg^{-1}\ STV^{-1}\ h^{-1}$)	$IR_{4,v}$ ($mg\ O_2\ g^{-1}\ STV^{-1}$) SAPROMAT	$IR_{10,v}$ ($mg\ O_2\ g^{-1}\ STV^{-1}$)
1 RR1	258	20,3	37,5	56,6	82	315	24,7	67,8
RR2	869	56,5	79,6	93,1	90	965	62,7	103
RR3	529	32,8	47,1	60,2	86	615	38,2	70,0
RR4	451	28,5	49,6	72,8	85	531	33,5	85,7
2 DC1	840	53,0	82,8	115	66	1272	80,3	174
DC2	983	55,0	89,0	122	84	1170	65,5	146
DC3	618	42,5	61,6	77,3	80	772	53,1	96,7
DC4	540	38,8	61,0	82,4	84	643	46,2	98,1
3 TQ1	640	37,3	53,1	65,4	74	865	50,5	88,4
TQ2	686	32,8	68,0	100	61	1124	53,8	164
TQ3	389	27,0	43,5	58,0	72	540	37,5	80,6
TQ4	503	40,0	62,4	81,4	51	986	78,4	160

Tabella 10.12b: Rifiuti residui - Indice di respirazione

Sigla Campione	Spf (%ST)	IR_i ($mg\ O_2\ kg^{-1}\ Spf^{-1}\ h^{-1}$)	$IR_{4,i}$ ($mg\ O_2\ g^{-1}\ Spf^{-1}$)	$IR_{7,i}$ ($mg\ O_2\ g^{-1}\ Spf^{-1}$)	$IR_{10,i}$ ($mg\ O_2\ g^{-1}\ Spf^{-1}$)
1 RR1	26	993	78,0	144	218
RR2	47	1.868	122,1	71	200
RR3	37	1.429	88,7	127	163
RR4	37	1.220	76,9	134	197
2 DC1	42	1.999	143	197	273
DC2	41	2.397	149	217	298
DC3	32	1.930	115	192	242
DC4	38	1.421	105	161	217
3 TQ1	46	1.392	101	116	142
TQ2	39	1.758	88,8	174	257
TQ3	28	1.389	72,9	155	207
TQ4	49	1.026	108	127	166

Tabella 10.13: Rifiuti residui: test di cessione in H₂O distillata e test con cartina all'acetato di Pb (Black Index)

Sigla Campione	pH	BOD ₅ (mgO_2/l)	COD (mgO_2/l)	BOD ₅ / COD	BI (1/d)
1 RR1	7,2	700	1.747	0,40	0,5
RR2	7,3	1.400	2.504	0,56	1,3
RR3	6,9	950	1.585	0,60	0,7
RR4	6,9	580	1.315	0,44	0,5
2 DC1	7,6	400	852	0,47	2,4
DC2	7,5	700	1.130	0,6	2,4
DC3	6,9	1.000	1.541	0,65	2,6
DC4	7,6	360	748	0,48	2,8
3 TQ1	6,5	280	849	0,33	0,7
TQ2	6,9	1.200	1.956	0,61	1,6
TQ3	6,7	250	640	0,39	1,7
TQ4	6,6	600	831	0,72	1,8

**RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)**

Tabella 10.14: Rifiuti residui - Test IMAGE

Sigla Campione	Liq./sol. l/KgST	pH	BOD (mgO ₂ /l)	COD (mgO ₂ /l)	BOD ₅ /COD	BOD ₅ (mgO ₂ /l) liq./sol.= 10	BOD ₅ (mgO ₂ /l) liq./sol.= 10	BOD ₅ /COD liq./sol.= 10	
1	RR1	9.4	6.6	600	2672	0.22	562	2501	0.22
	RR2	8.3	6.0	2300	3998	0.58	1918	3334	0.58
	RR3	11	6.0	1000	2198	0.45	1095	2407	0.45
	RR4	8.9	6.7	700	2477	0.28	625	2210	0.28
2	DC1	5.2	6.4	5000	6664	0.75	2600	3465	0.75
	DC2	5.9	6.5	5000	7410	0.67	2950	4372	0.67
	DC3	7.5	6.1	2750	4515	0.61	2063	3386	0.61
	DC4	7.7	6.4	3900	5700	0.68	3003	4389	0.68
3	TQ1	4.9	6.8	2500	4339	0.58	1218	2114	0.58
	TQ2	3.5	6.1	7500	13218	0.57	2625	4626	0.57
	TQ3	6.9	6.4	2500	4340	0.58	1725	2995	0.58
	TQ4	3.3	6.2	6500	9800	0.66	2145	3234	0.66

Tabella 10.15: Rifiuti residui - test di fermentazione in colonna

Sigla Campione	Biogas (NL/kg ST) 21 gg	Biogas (NL/kg STV) 21 gg	Biogas (NL/kg Spf) 21 gg	Biogas (NL/kg ST) 28 gg	Biogas (NL/kg SVT) 28 gg	Biogas (NL/kg Spf) 28 gg	Biogas (NL/kg ST) 90 gg	
1	RR1	4,2	5,1	16,2	6,9	8,4	26,5	
	RR2	5,4	6,0	11,6	9,7	10,8	20,9	
	RR3	7,6	8,8	20,5	11,5	13,4	31,1	
	RR4	4,9	5,8	13,2	7,5	8,8	20,3	
	DC1	8,5	12,9	20,2	14,2	21,5	33,8	57,1
	DC2	6,3	7,5	15,4	9,1	10,8	22,2	47,8
2	DC3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0
	DC4	11,3	13,5	29,7	19,3	23,0	50,8	63,2
	TQ1	7,7	10,4	16,7	10,1	13,6	22	
3	TQ2	6,4	10,5	16,4	0,1	16,6	25,9	67,9
	TQ3	40,3	56,0	14,4	59,8	83,1	214	140,3
	TQ4	24,8	48,6	50,6	39,6	77,6	80,8	90,1

11. Discussione dei risultati (Seconda campagna di prove)

Su tutti i campioni analizzati è stata effettuata la caratterizzazione analitica determinando, pH, umidità, e solidi volatili. I risultati sono riportati in Tabella 10.2, 10.6 e 10.11 sia per i rifiuti biostabilizzati e bioessiccati, che per i rifiuti residui da raccolta differenziata.

Sono stati successivamente eseguiti i seguenti test:

- Test per la determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili;
- Test respirometrici;
- Test di fermentazione "ad umido" in reattore (per i rifiuti pretrattati) ed in colonna (per i rifiuti residui) con analisi quantitativa e qualitativa del biogas prodotto;
- Test di cessione in acqua distillata ed analisi (BOD_5 , COD, BOD_5/COD) degli eluati;
- Test per la determinazione del Black Index.

Per i rifiuti residui è stato anche messo a punto un test di lisciviazione in colonna (test IMAGE) con le relative analisi (BOD_5 , COD) del lisciviato, mentre il test di fermentazione è stato condotto nelle stesse colonne dopo l'estrazione del lisciviato, con il materiale mantenuto ad umidità pari alla capacità di campo.

I dati ottenuti con i diversi test sono stati analizzati e confrontati fra loro, sono state determinate le correlazioni tra i risultati, allo scopo di valutare l'affidabilità delle misure effettuate.

11.1 Rifiuti pretrattati

11.1.1 Solidi potenzialmente fermentescibili

In Tabella 10.2 e 10.6 sono riportati i risultati ottenuti dall'analisi del contenuto di solidi potenzialmente fermentescibili (SPf) nei campioni biostabilizzati di tipo BT e BL e nei campioni bioessiccati di tipo BS e ST.

I valori misurati variano da un minimo del 24% ad un massimo del 60% del contenuto di solidi totali nel campione (%ST), ottenuti rispettivamente per un campione di sottovaglio (ST3) e per un campione di rifiuto in ingresso ad un processo di bioessiccazione (BSi1).

Come si nota più facilmente nelle seguenti Figure 11.1a e 11.2b, solo in tre casi il contenuto di SPf nei campioni prelevati alla fine del pretrattamento risulta sensibilmente inferiore a quello misurato nei corrispondenti campioni non trattati.

In un caso (BS3), il campione prelevato alla fine del processo di bioessiccazione risulterebbe addirittura caratterizzato da contenuto di Spf superiore a quanto si è misurato in campioni prelevati all'inizio del processo.

Il contenuto di SPf nei campioni ST, risulta sempre tra i più bassi misurati nei campioni prelevati nel corso del relativo processo di bioessiccazione.

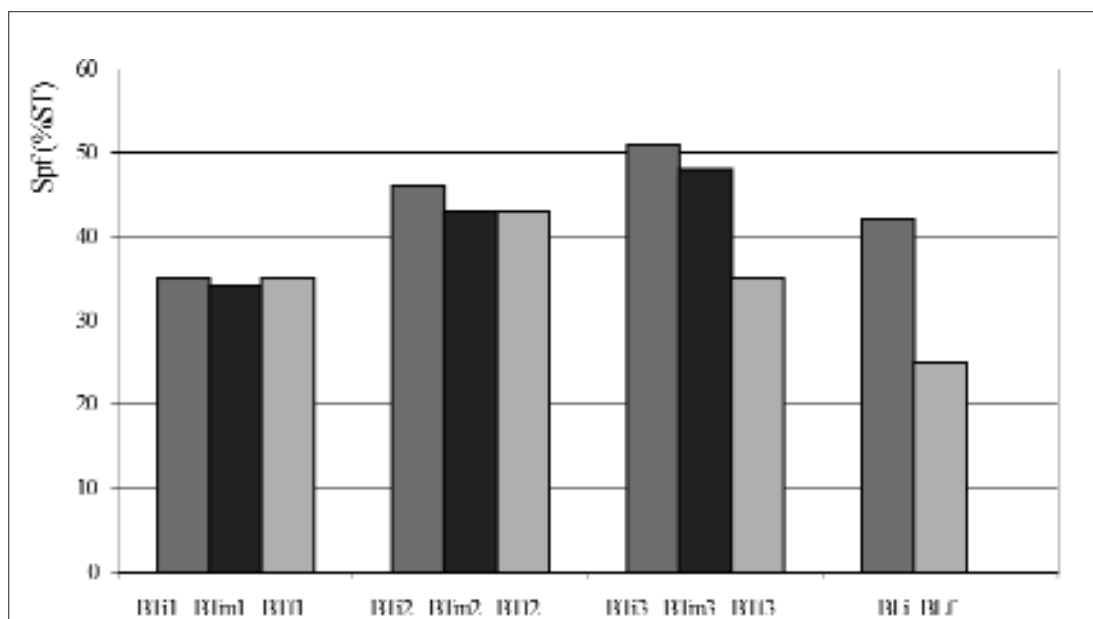


Figura 11.1a Variazione del contenuto di Spf (%ST).

Figura 11.1a: Variazione del contenuto di SPf (%ST).

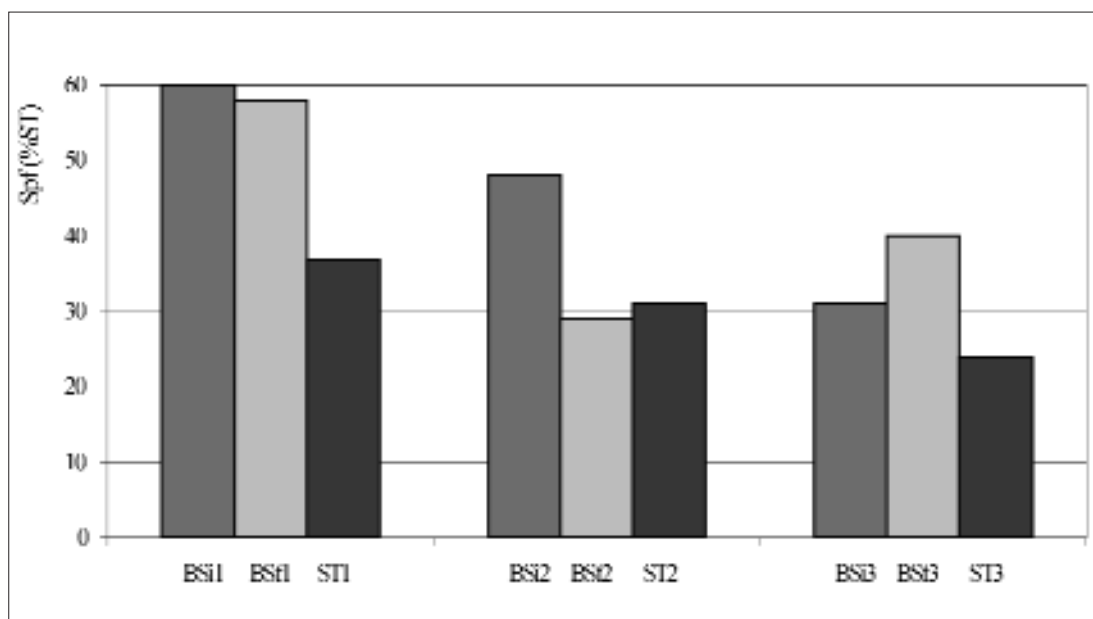


Figura 11.1b: Variazione del contenuto di SPf (%ST).

11.1.2 Test Respirimetrici

Sono stati considerati i seguenti indici respirometrici:

- IR4s (mgO_2/gST): Consumo cumulato di ossigeno in test della durata di 4 giorni, riferito all'unità di peso (g) di solidi totali (ST) nel campione.
- IR4v (mgO_2/gSTV): Consumo cumulato di ossigeno in test della durata di 4 giorni, riferito all'unità di peso (g) di solidi totali volatili (STV) nel campione.
- IR4f (mgO_2/gSpf): Consumo cumulato di ossigeno in test della durata di 4 giorni, riferito all'unità di peso (g) di solidi potenzialmente fermentescibili (SPf) nel campione.

- IR7s (mgO_2/gST): Consumo cumulato di ossigeno in test della durata di 7 giorni, riferito all'unità di peso (g) di solidi totali (ST) nel campione.
- IR7v (mgO_2/gSTV): Consumo cumulato di ossigeno in test della durata di 7 giorni, riferito all'unità di peso (g) di solidi totali volatili (STV) nel campione.
- IR7f (mgO_2/gSPf): Consumo cumulato di ossigeno in test della durata di 7 giorni, riferito all'unità di peso (g) di solidi potenzialmente fermentescibili (SPf) nel campione.
- IRs ($\text{mgO}_2//\text{kgST}\cdot\text{h}$): Consumo orario di ossigeno, calcolato come media dei valori misurati durante le 24 ore di massimo consumo. Il valore è riferito al kg di soli totali (ST).
- IRv ($\text{mgO}_2//\text{kgSTV}\cdot\text{h}$): Consumo orario di ossigeno, calcolato come media dei valori misurati durante le 24 ore di massimo consumo. Il valore è riferito ai kg di solidi totali volatili (STV).
- IRf ($\text{mgO}_2//\text{kgSPf}\cdot\text{h}$): Consumo orario di ossigeno, calcolato come media dei valori misurati durante le 24 ore di massimo consumo. Il valore è riferito ai kg di solidi potenzialmente fermentescibili (SPf).

In Tabella 10.3a e b e 10.7a e b sono riportati i valori degli indici respirometrici misurati per i campioni biostabilizzati di tipo BT e BL e bioessiccati di tipo BS e ST.

In Figura 11.2 è riportata la correlazione tra i valori ottenuti per IRs e IR4s e tra IRs e IR7s

Nelle successive figure 11.3÷11.9 è mostrato l'andamento delle curve cumulate del consumo di ossigeno registrato fino al decimo giorno di test.

I valori sono riferiti sia all'unità di peso di solidi totali, che all'unità di peso di solidi totali volatili e potenzialmente fermentescibili.

Dall'esame delle curve si nota che in certi casi (ad esempio per il BTi1 in Figura 11.3) il consumo di ossigeno in respirometro è nullo per i primi giorni di test.

In tale periodo di tempo (fase di lag) l'attività dei batteri potrebbe essere inibita da particolari condizioni nel campione, come ad esempio bassi valori del pH. In questi casi gli indici respirometrici riportati nelle Tabelle 10.12a-b sono stati calcolati dopo aver traslato le curve verso sinistra, allo scopo di trascurare la fase di lag.

Dai grafici si nota anche che, se si trascura la fase di lag, l'andamento delle curve appare chiaro dopo pochi giorni. Sembra quindi ragionevole la scelta di concludere i test respirometrici dopo 4 o 7 giorni e considerare l'IR4 o l'IR7 come risulta da letteratura qualificata del settore.

Prendendo come riferimento l'indice IR4s, inteso come consumo cumulato di ossigeno entro i primi 4 giorni di prova, i risultati ottenuti variano tra 32,2 e 85,5 mgO_2/gST per i rifiuti non trattati in ingresso all'impianto (contrassegnati con indice "i") e tra 8,3 e 58,5 mgO_2/gST per i rifiuti a fine trattamento (contrassegnati con indice "f").

Se si considera la Figura 11.2 appare chiaro che, soprattutto per i campioni caratterizzati da valori più bassi dell'indice respirometrico, il consumo medio orario di ossigeno nel giorno di massima attività respiratoria (IR) è perfettamente correlato con l'IR4 e con l'IR7.

Questo risultato permetterebbe di interrompere il test ancora prima dei 4 giorni, nel caso, abbastanza frequente, che il giorno di massimo consumo ricada entro tale periodo.

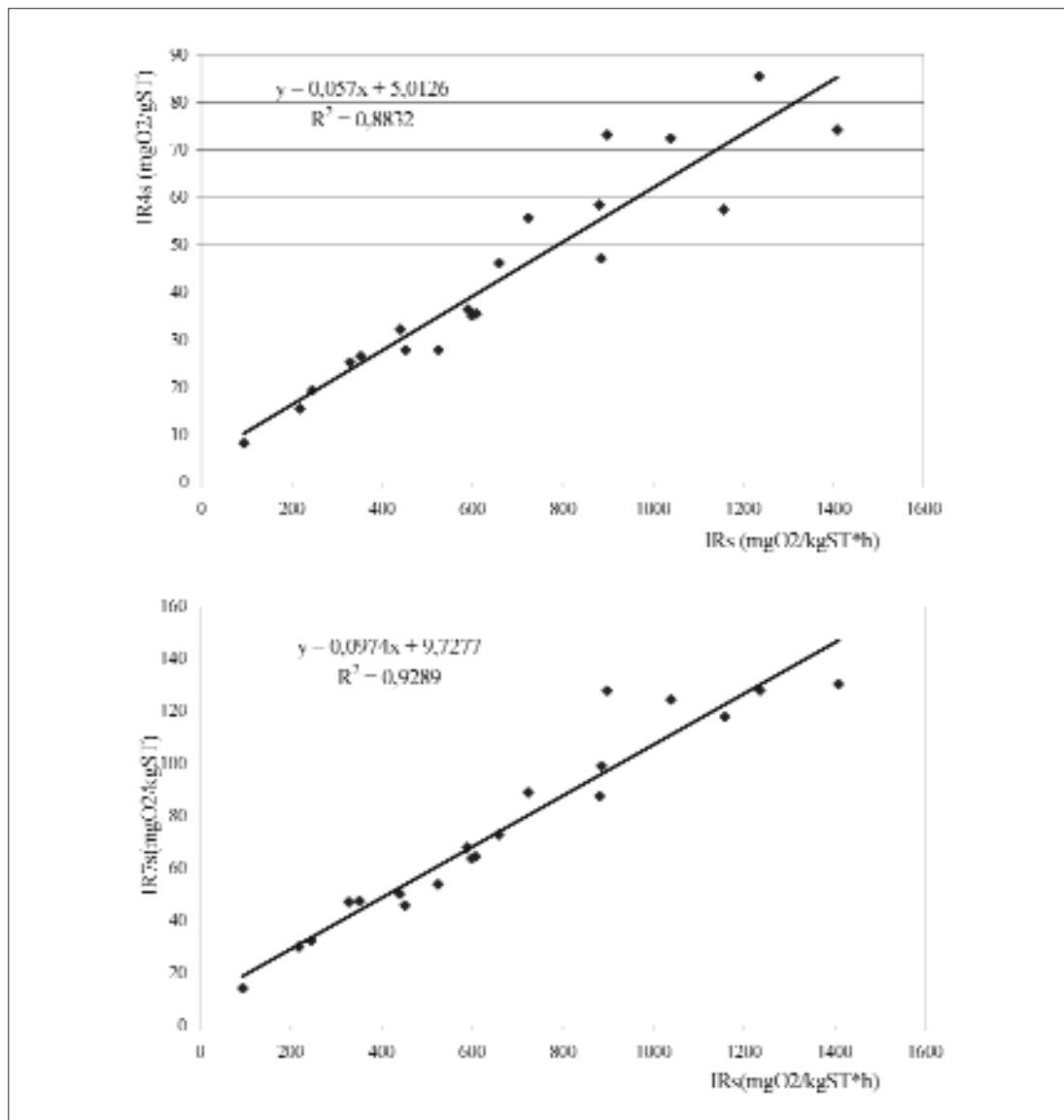


Figura 11.2: Correlazioni tra IRs e IR4s e tra IRs e IR7s utilizzando i risultati ottenuti per i rifiuti biostabilizzati e bioessiccati.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

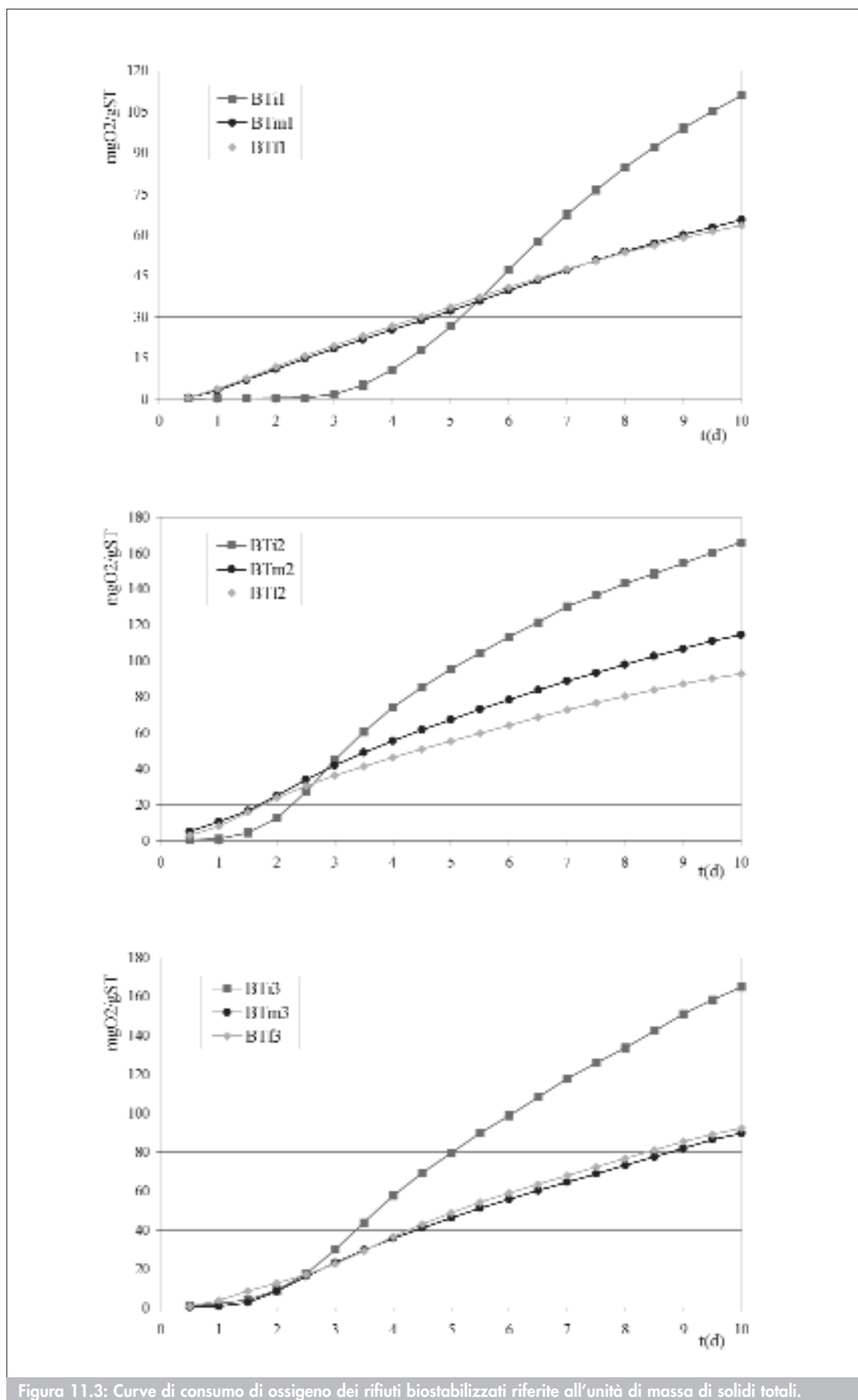


Figura 11.3: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti biostabilizzati riferite all'unità di massa di solidi totali.

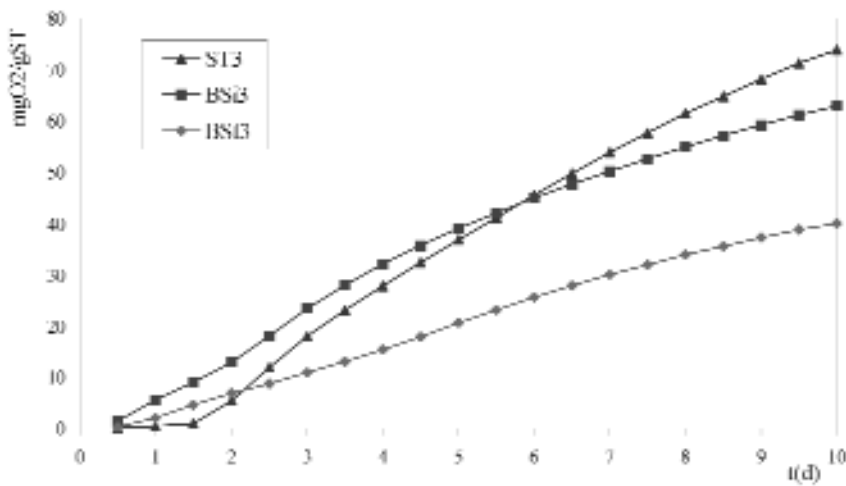
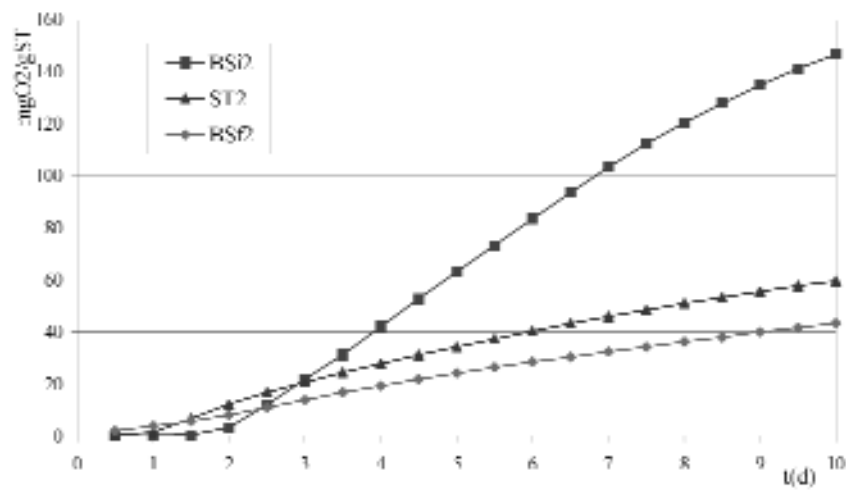
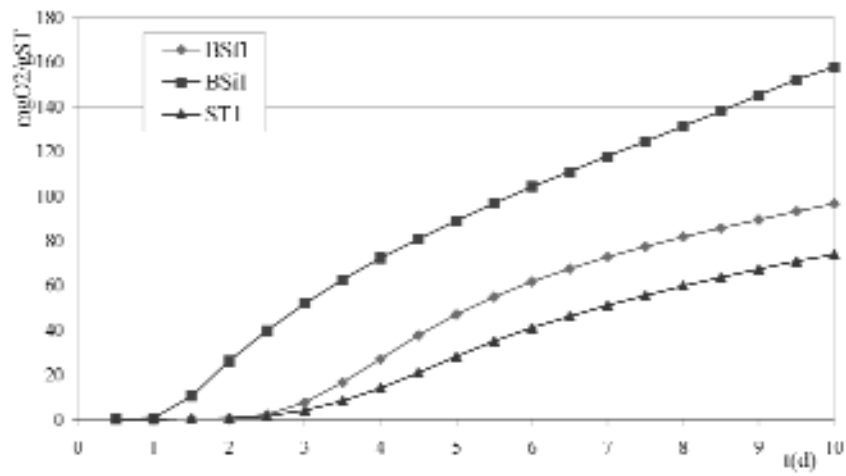


Figura 11.4: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti bioessiccati riferite all'unità di massa di solidi totali.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

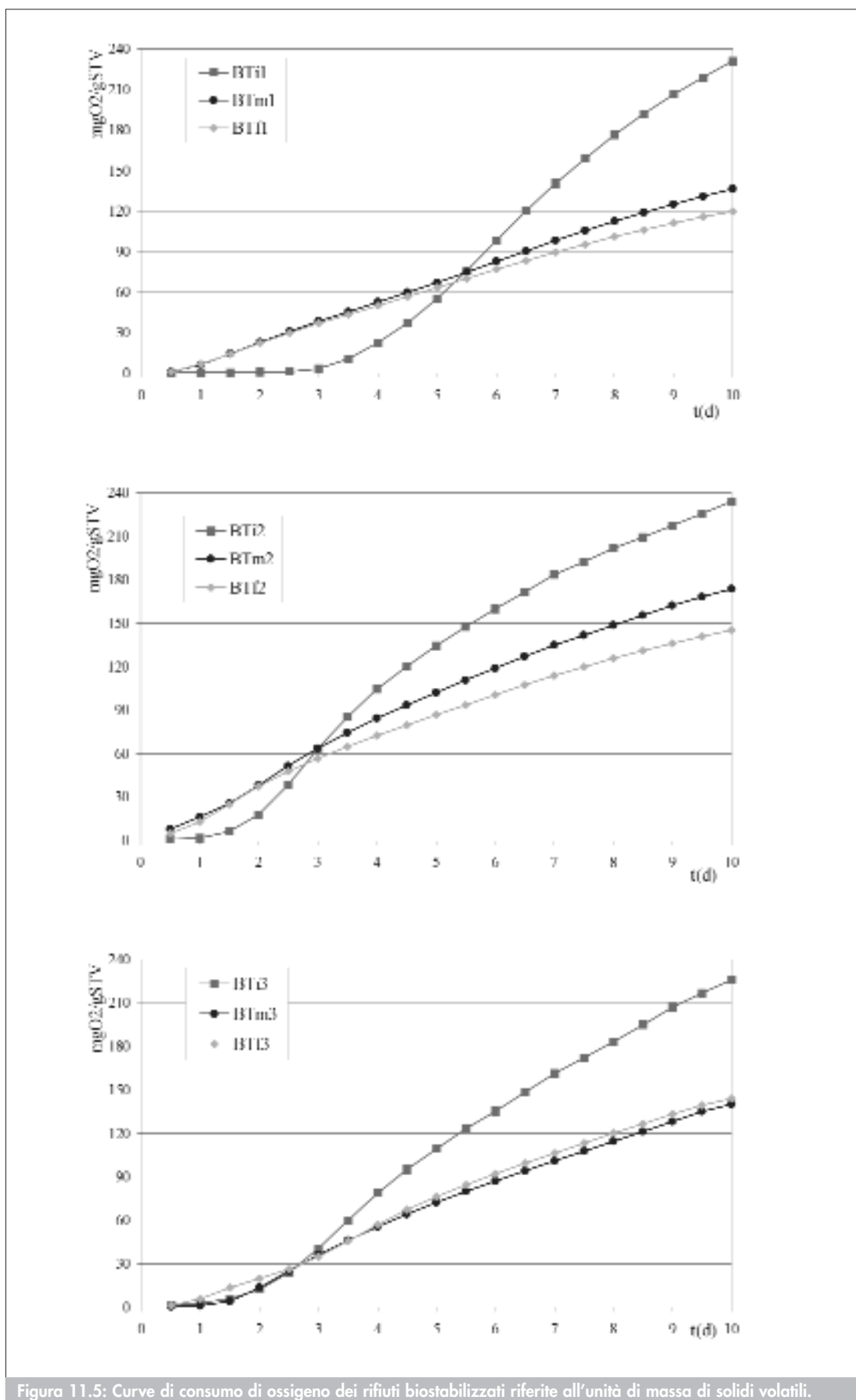


Figura 11.5: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti biostabilizzati riferite all'unità di massa di solidi volatili.

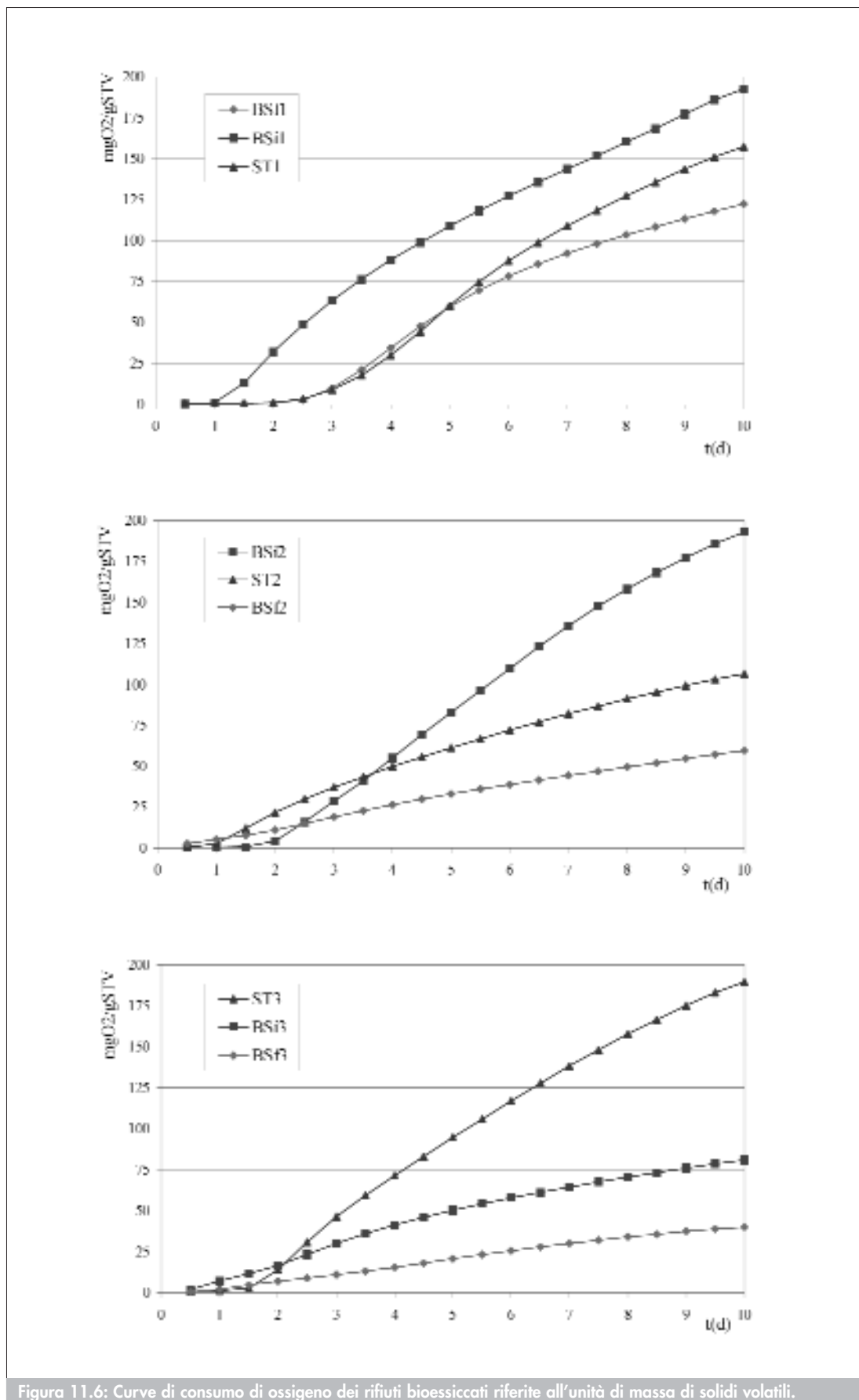


Figura 11.6: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti bioessiccati riferite all'unità di massa di solidi volatili.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

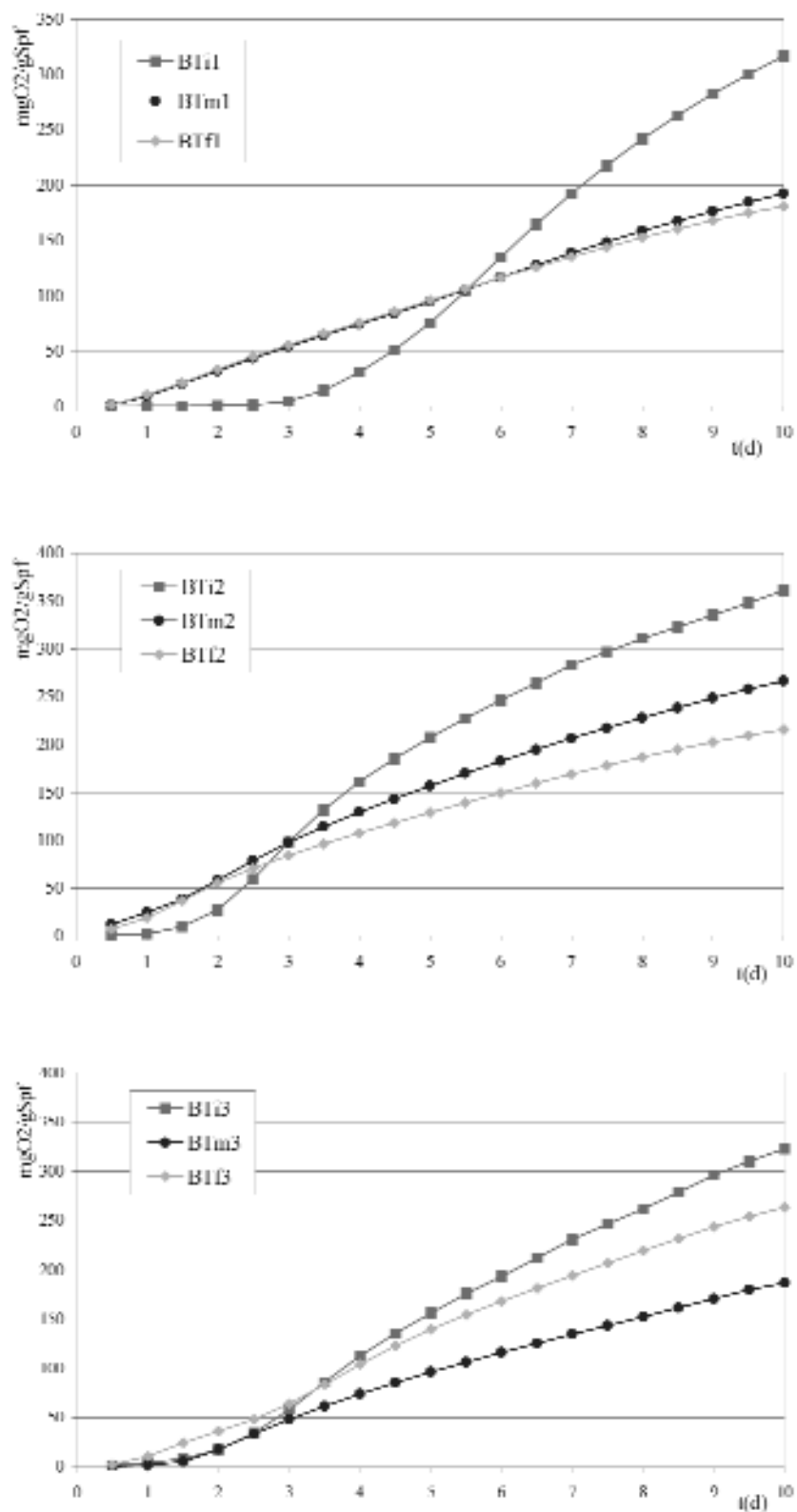


Figura 11.7: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti biostabilizzati riferite all'unità di massa dei solidi potenzialmente fermentescibili.

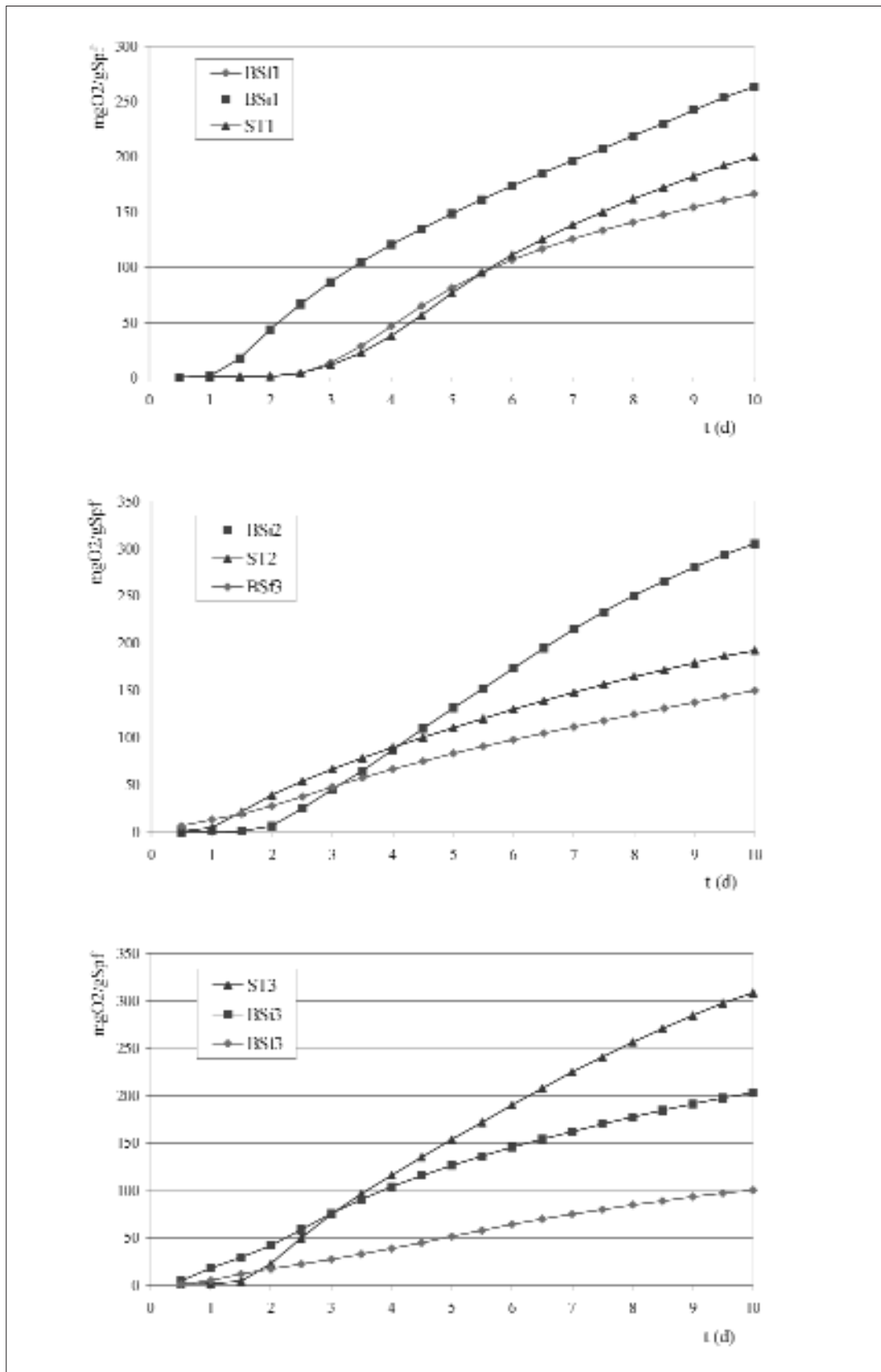


Figura 11.8: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti bioessiccati riferite all'unità di massa dei solidi potenzialmente fermentescibili.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

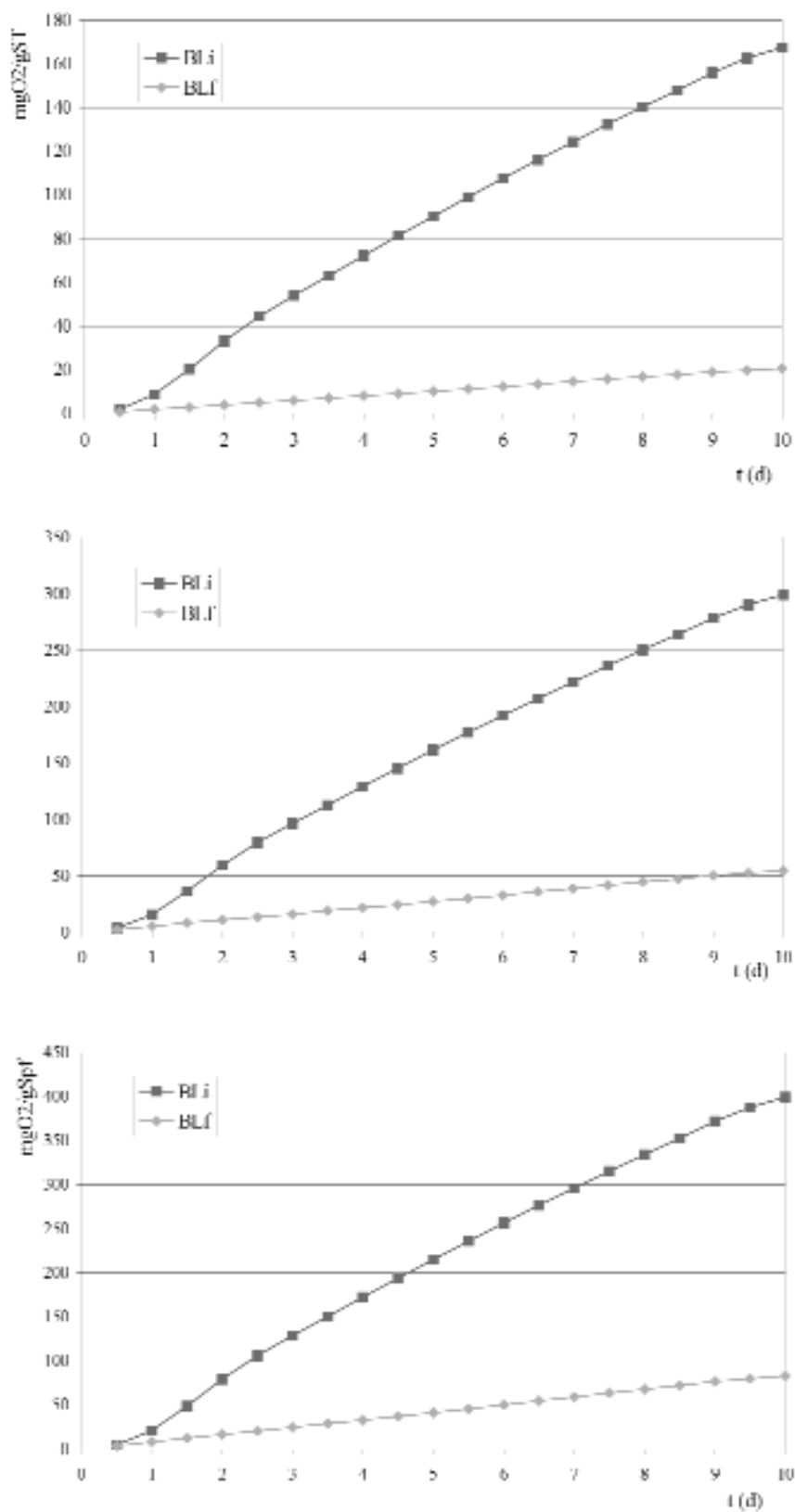


Figura 11.9: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti biostabilizzati BL riferite all'unità di massa di solidi volatili e solidi potenzialmente fermentescibili.

11.1.3 Test di fermentazione in reattore

Si riportano nelle Tabelle 10.5 e 10.9 i valori di produzione di biogas a 21 e 28 giorni per i rifiuti pretrattati riferiti alle unità di massa ST, STV e SPF; inoltre nelle Figure da 11.10 a 11.12 l'andamento della produzione cumulata è rappresentato in grafico.

Per alcuni campioni, in particolare per quelli contrassegnati con indice "i", prelevati all'inizio del processo di pretrattamento, si osserva una prima fase, della durata di uno o due giorni, caratterizzata da una intensa produzione di gas.

A tale fase segue un periodo, di durata più o meno lunga, in cui la produzione di gas sembra essere cessata per poi riprendere dopo anche 20 giorni, come accade per BTi3, BSi1 e BSi2.

L'interruzione della produzione di biogas può essere associata all'inibizione dell'attività dei microorganismi (fase di lag), dovuta ad abbassamento del pH per eccessiva produzione di acidi nelle prime fasi di degradazione della sostanza organica. Tale effetto non è stato riscontrato, invece, per i campioni contrassegnati con indice "m" ed "f" (tranne per il campione BSf1) e per i campioni ST, più stabilizzati e caratterizzati, quindi, da minor contenuto di sostanza organica rapidamente biodegradabile e di conseguenza da minore produzione di acidi durante il test. A causa di ciò, spesso il valore della produzione di biogas dopo 21 giorni dall'inizio del test risulta superiore per i campioni stabilizzati, rispetto a quanto misurato per i campioni prelevati all'inizio del processo di stabilizzazione.

Continuando il test per un'altra settimana si osserva una netta inversione di tendenza ed il rapido incremento di produzione di biogas dei campioni non pretrattati. Dopo 28 giorni di test la produzione di biogas per i campioni "i" è superiore a quella misurata per i campioni "f" in quasi tutti i casi, con l'eccezione del campione BT3.

Si ritiene, perciò, che valori maggiormente rispondenti alla reale stabilizzazione dei campioni si possano determinare solamente con tempi di osservazione più lunghi e magari adottando determinati accorgimenti tecnici come una correzione del pH durante il test.

In tabella 11.1 sono mostrati i valori di concentrazioni di CO₂ e CH₄ rilevati nel biogas prodotto nei reattori, in diversi momenti durante il test. In alcuni casi la produzione di biogas è stata troppo bassa per poter effettuare il campionamento. I valori registrati a 21 giorni mostrano la concentrazione di CO₂ variabile tra 15% e 35%, mentre la concentrazione CH₄ varia tra 25% e 46%. Dopo 28 giorni le concentrazioni di CO₂ e di CH₄ nel biogas prodotto dai campioni risultano rispettivamente variabili tra il 14% e il 40% e tra il 33% e il 48%.

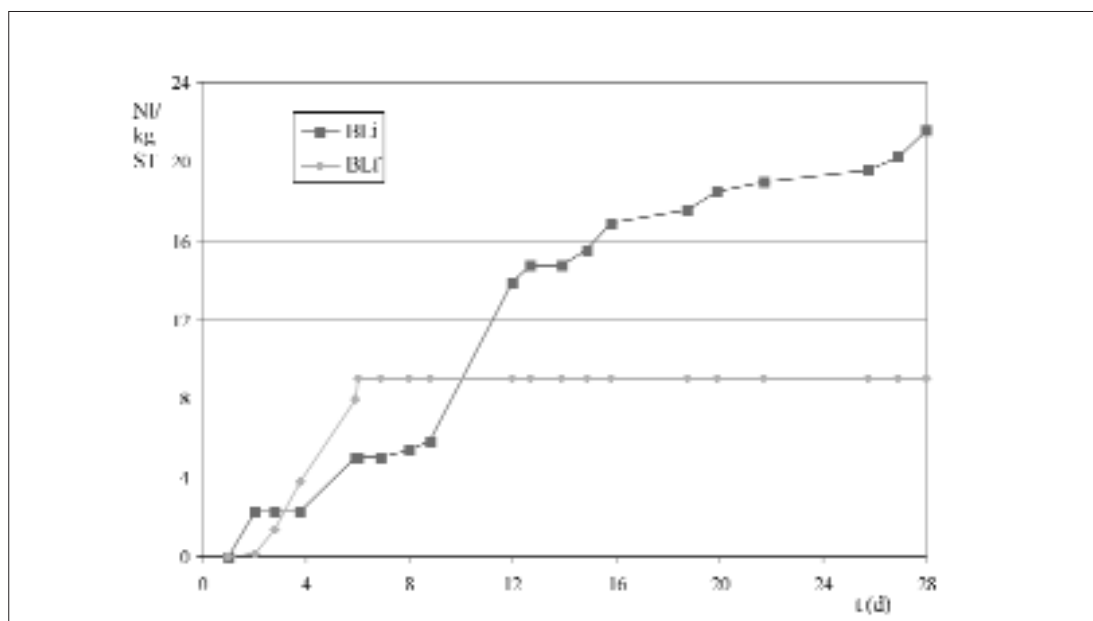


Figura 11.10: Curve cumulate di produzione di biogas da parte dei rifiuti biostabilizzati BL con riferimento all'unità di massa di solidi totali.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

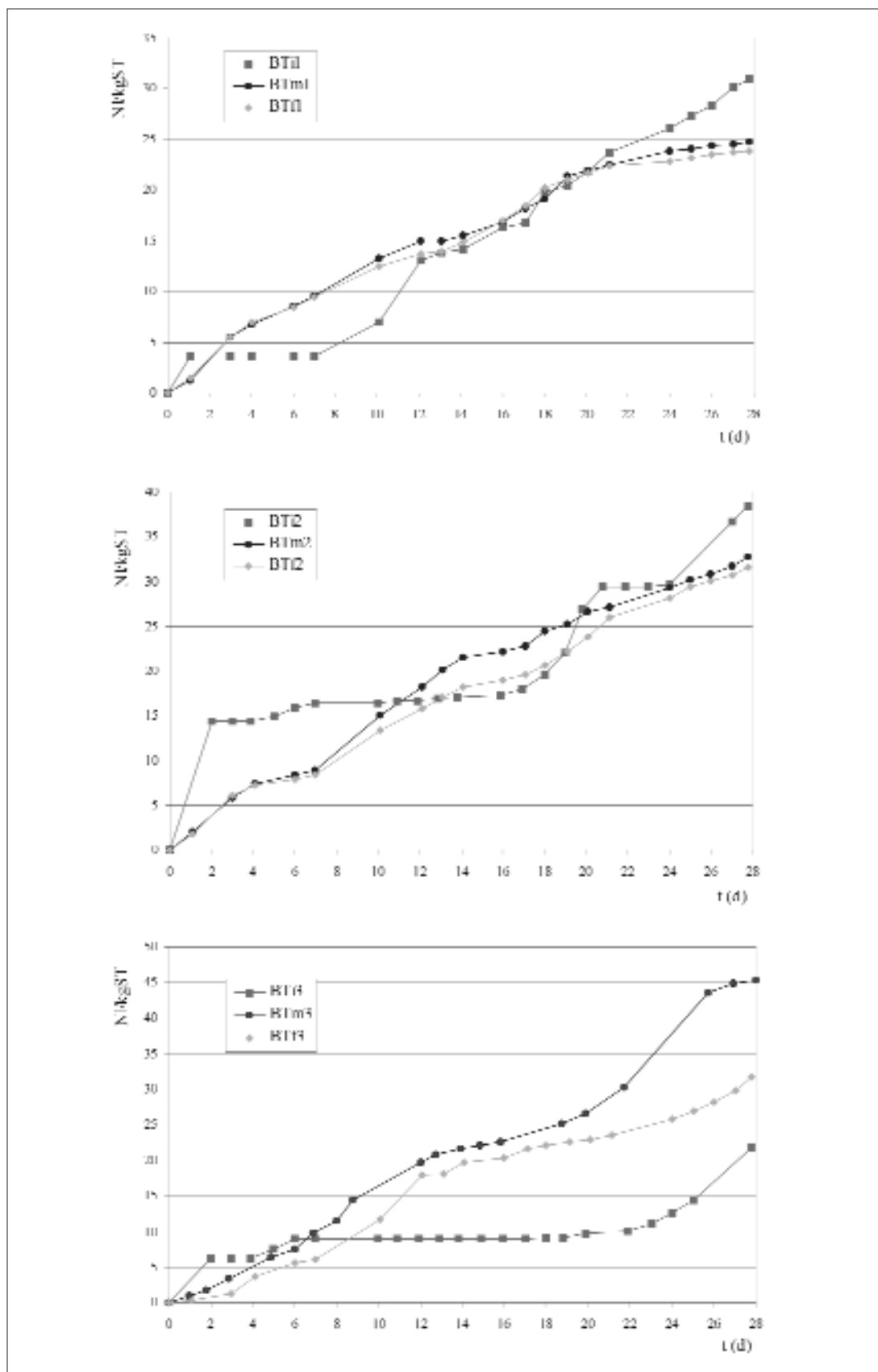


Figura 11.11: Curve cumulate di produzione di biogas da parte dei rifiuti biostabilizzati con riferimento all'unità di massa di solidi totali.

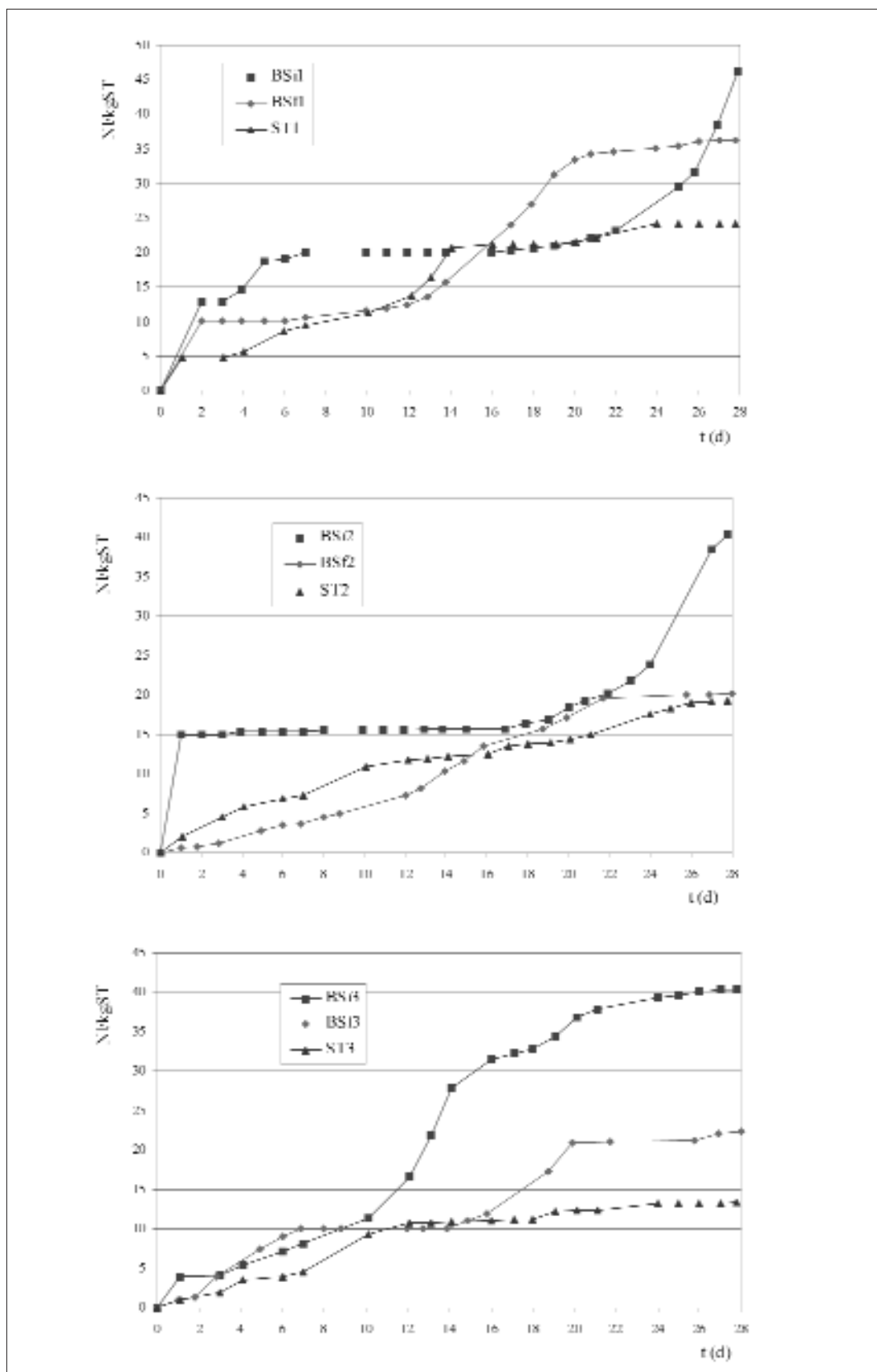


Figura 11.12: Curve cumulate di produzione di biogas da parte dei rifiuti bioessiccati con riferimento all'unità di massa di solidi totali.

**DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)**

Tabella 11.1: Concentrazione di CO₂ e CH₄ nei reattori nel tempo.

	CO2 (% vol.)	CH4 (% vol.)
3° giorno		
BSi1	32	0,1
BSi2	30	0,3
BTi1	33	0,2
BTi2	35	0,4
BTi3	32	0,1
21° giorno		
BTi1	20	28
BTi2	22	34
BTm1	15	25
BTm2	23	35
BTF2	18	40
BSi3	16	43
BSf1	35	40
BSf3	25	46
28° giorno		
BTi1	20	33
BTm1	24	36
BTF1	28	45
BTi2	16	47
BTm2	14	36
BTF2	24	47
BTi3	22	35
BTm3	24	40
BTF3	30	42
BSi1	32	48
BSf1	38	43
ST1	40	45
BSi2	36	42
BSf2	38	40
ST2	38	42
BSi3	42	46
BSf3	26	48
ST3	32	40

11.1.4 Test di cessione in acqua distillata

Nelle Tabelle 10.4. e 10.8. si riportano i valori delle analisi sugli eluati ottenuti attraverso il test di cessione in acqua distillata per i campioni biostabilizzati di tipo BT e BL e bioessiccati di tipo BS e ST.

I valori del pH nell'eluato sono variabili tra 5,3 e 7,2. In particolare, i valori più bassi sono rilevati nei campioni di tipo "i", prelevati all'inizio del trattamento di stabilizzazione.

I valori misurati per BOD₅ e COD risultano, nel caso dei campioni non trattati, sensibilmente superiori a quelli misurati per i corrispondenti campioni pretrattati.

Per i campioni di tipo "i" sono stati determinati valori del rapporto BOD₅/COD variabili tra 0,55 e 0,82, mentre per i campioni prelevati a fine trattamento sono stati misurati valori variabili tra 0,15 e 0,57.

11.1.5 Test con cartina all'acetato di piombo (Black Index)

Nelle figure 10.4 e 10.8 si riportano i risultati determinati attraverso il test con cartina di acetato di piombo (Black Index). Tutti i campioni mostrano valori abbastanza elevati del BI se rapportati ad altri risultati, relativi a rifiuti pretrattati, riportati in letteratura. In genere i rifiuti non trattati hanno presentato indici variabili tra 0,8 e 2,8 mentre, i campioni di rifiuto trattato, hanno presentato valori tra 0,2 e 2, comunque sempre minori rispetto a quelli dei corrispondenti campioni non trattati, con la sola eccezione del BTm3, prelevato in una fase intermedia del processo di stabilizzazione, caratterizzato da un valore del BI maggiore rispetto al BTi3, prelevato a monte del medesimo processo.

11.2 Rifiuti urbani residui a valle della raccolta differenziata

11.2.1 Solidi potenzialmente fermentescibili

In Tabella 10.11 sono riportati i risultati ottenuti dall'analisi dei solidi potenzialmente fermentescibili per i rifiuti residui a valle della raccolta differenziata. Il contenuto di Spf nei campioni analizzati risulta compreso tra il 26% (per RR1) ed il 49% (per TQ4).

11.2.2 Test respirometrici

Nelle Tabelle 10.12a e b sono riportati i risultati degli indici respirometrici ottenuti per i rifiuti residui; nelle Figure 11.13-11.15 sono rappresentati in grafico gli andamenti del consumo di ossigeno nel tempo da parte dei vari campioni.

Per quanto riguarda i campioni di tipo RR, il campione RR2 presenta i valori più elevati con un IR4s pari a 56,5 mgO₂/gST; sono abbastanza contenuti i valori rilevati per gli altri campioni appartenenti alla stessa tipologia di rifiuti compresi tra 20,3 e 32,8.

I campioni DC1 e DC2 sono, invece, quelli che mostrano i valori più elevati tra i rifiuti di tipo DC, con IR4s rispettivamente di 53 e 55 mgO₂/gST, valori addirittura maggiori a quelli fatti registrare dai rifiuti tal quali (TQ) che hanno mostrato valori compresi tra 27 e 40.

11.2.3 Test di fermentazione in colonna

Sono riportati in tabella 10.15 i risultati della produzione cumulata di biogas a 21 e 28 giorni riferita all'unità di peso di solidi totali, solidi volatili e solidi potenzialmente fermentescibili nel campione.

Inoltre in Figura 11.16 si riporta l'andamento fino al 28-esimo giorno della produzione cumulata di biogas da parte delle varie colonne e in Figura 11.17 l'andamento della percentuale volumetrica della CO₂ e del CH₄ all'interno delle stesse.

Come accennato per la produzione di biogas in reattore, neanche la produzione di biogas attraverso la fermentazione in colonna ha fornito dati in linea con ciò che sembrano indicare gli altri test sugli stessi campioni, rispetto alla stabilità biologica dei vari campioni. Probabilmente anche questo tipo di test di produzione di biogas riscontra problemi quando si analizzano campioni non trattati e quindi richiede tempi di osservazione più lunghi prima di fornire dati attendibili sul reale stato di stabilizzazione biologica del materiale.

I dati evidenziano una produzione di biogas, sia a 21 che a 28 giorni, leggermente più bassa per i campioni RR di quella registrata per le altre tipologie di campioni. Per quanto riguarda i campioni DC, che presentano in media valori leggermente più alti di quelli dei campioni RR, non sono disponibili dati relativi al campione DC3 per il fatto che la colonna presentava delle perdite e quindi l'impossibilità di fornire un dato realistico. I campioni TQ presentano valori molto alti per i campioni TQ3 e TQ4; risultano molto più contenuti i valori registrati per gli altri 2 campioni. In generale si evidenziano produzioni variabili tra 4,2 Nl/kgST (campione RR1) e 40,3 Nl/kgST (campione TQ3) per test di 21 giorni e tra 6,9 Nl/kgST e 59,8 Nl/kgST, per gli stessi campioni per il test di durata 28 giorni.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

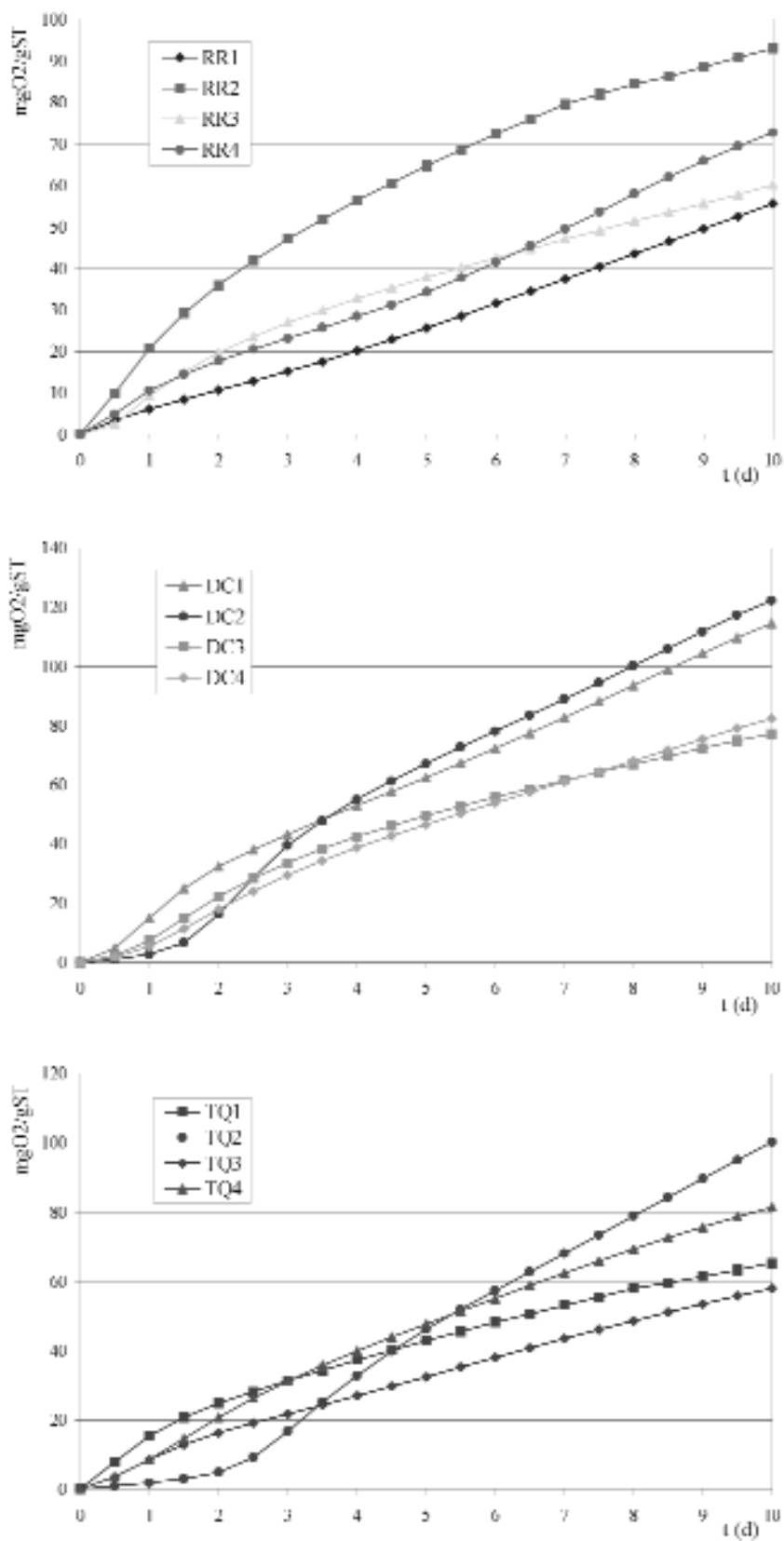


Figura 11.13: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti residui riferite all'unità di massa di solidi totali.

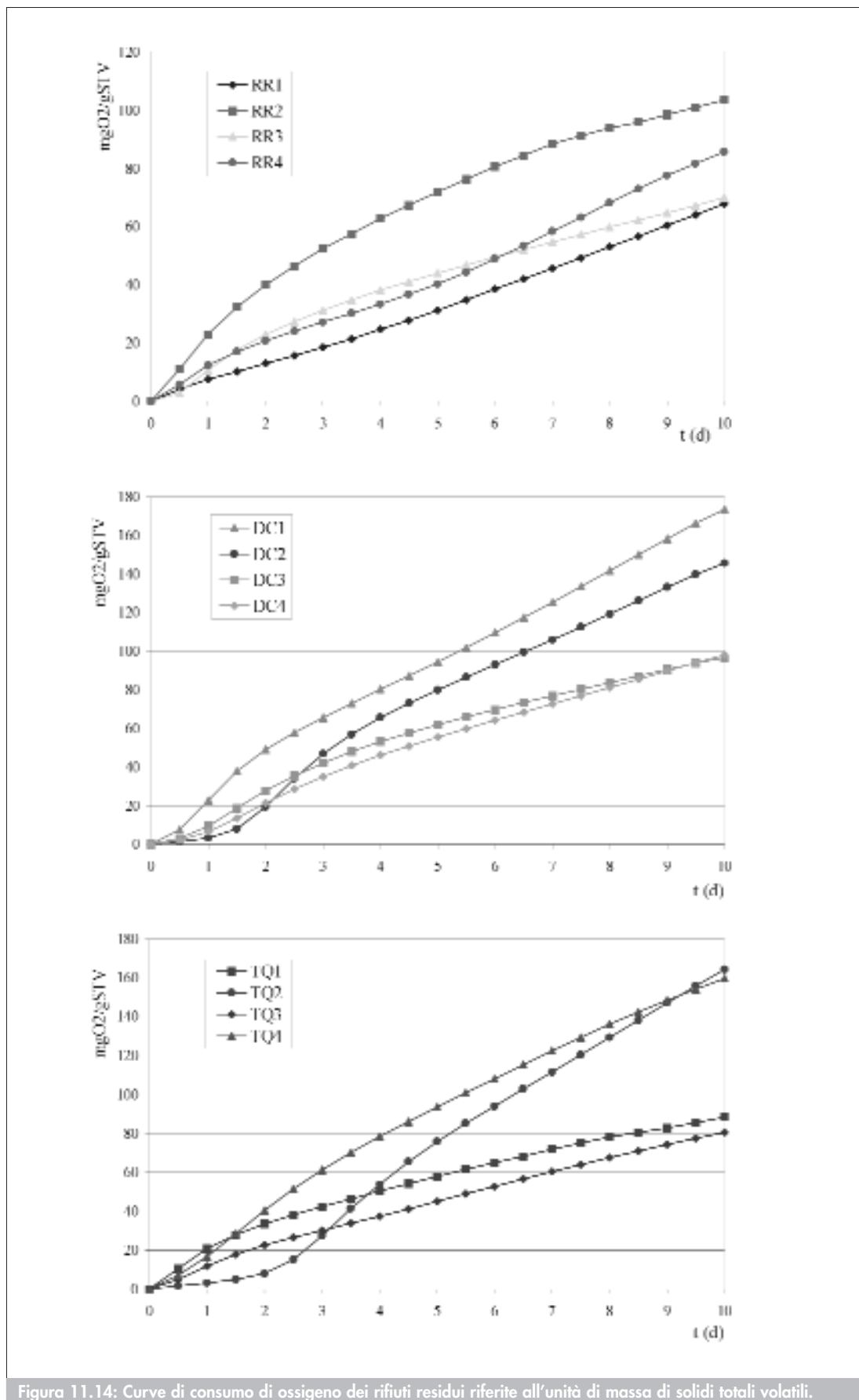


Figura 11.14: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti residui riferite all'unità di massa di solidi totali volatili.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

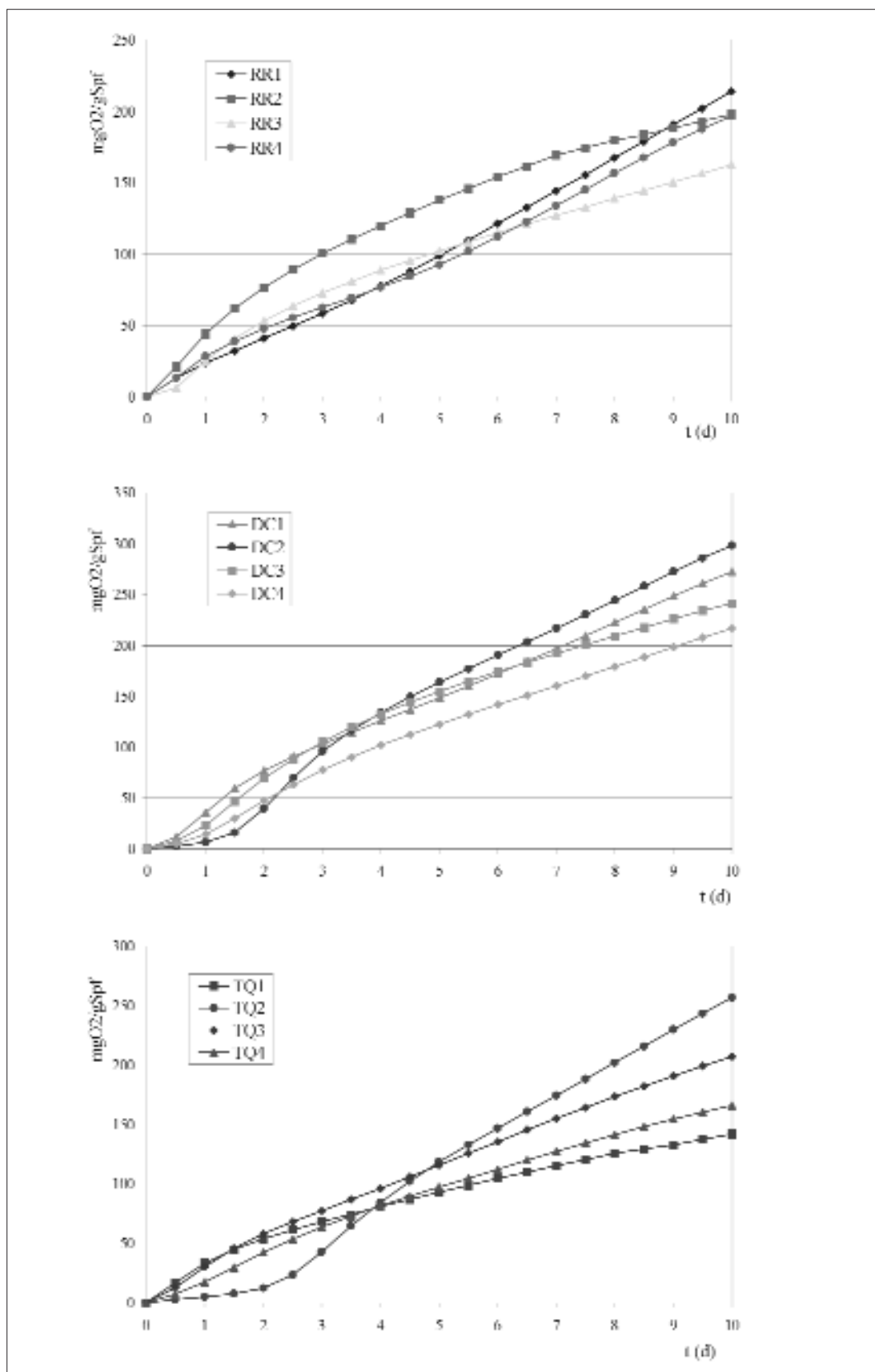


Figura 11.15: Curve di consumo di ossigeno dei rifiuti residui riferite all'unità di massa di solidi potenzialmente fermentescibili.

Per quanto riguarda gli andamenti della concentrazione di CO_2 e CH_4 all'interno delle colonne (Figura 11.17), si vede per tutti i campioni RR un andamento simile nel corso del test ad eccezione del campione RR2, per il quale la produzione di metano è leggermente ritardata rispetto agli altri. Anche i campioni DC presentano un andamento regolare. Qualche leggera differenza si è registrata per il campione DC3 che, d'altra parte, è quello contenuto nella colonna che ha presentato le perdite e che ha fatto sempre registrare una percentuale di ossigeno residuo dell'ordine dello 0,5-0,7%. L'aumento di concentrazione di CH_4 nel campione DC2 è di tipo lineare, a differenza degli altri in cui andamento è di tipo esponenziale.

I campioni TQ presentano un andamento della concentrazione di CO_2 abbastanza simile; i campioni TQ3 e TQ4, che sono quelli che hanno presentato le produzioni di biogas più elevate, mostrano per il metano un aumento della concentrazione da subito lineare con un alto coefficiente angolare (in particolar modo TQ3), per poi stabilizzarsi verso il 22-esimo giorno.

Per avere maggiori indicazioni sulla produzione di biogas alcune colonne sono state tenute sotto osservazione per più di 90 giorni. In tabella 10.15 si sono riportati i valori di produzione cumulata di biogas dopo 90 giorni, per le colonne considerate. I campioni interessati sono i quattro da raccolta con doppio cassonetto (DC) e 3 di rifiuti tal quali (TQ). Nella figura 11.18 si riportano i valori cumulati nei 90 giorni per le colonne in esame. Per il campione DC3 non è stato possibile registrare alcuna produzione di biogas, a causa presumibilmente dell'impossibilità di assicurare la tenuta stagna della colonna. Gli altri campioni hanno fatto registrare una produzione sostanzialmente lineare per tutto l'arco dei 90 giorni determinando comunque dei valori che non presentano correlazioni significative con i risultati ottenuti con le altre prove effettuate (Tabella 10.15).

Nella figura 11.19 si riportano i valori della composizione volumetrica del biogas prodotto. Si nota che con il passare del tempo la percentuale di CO_2 tende a diminuire all'interno delle colonne, mentre la percentuale di CH_4 tende a valori superiori al 50%.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

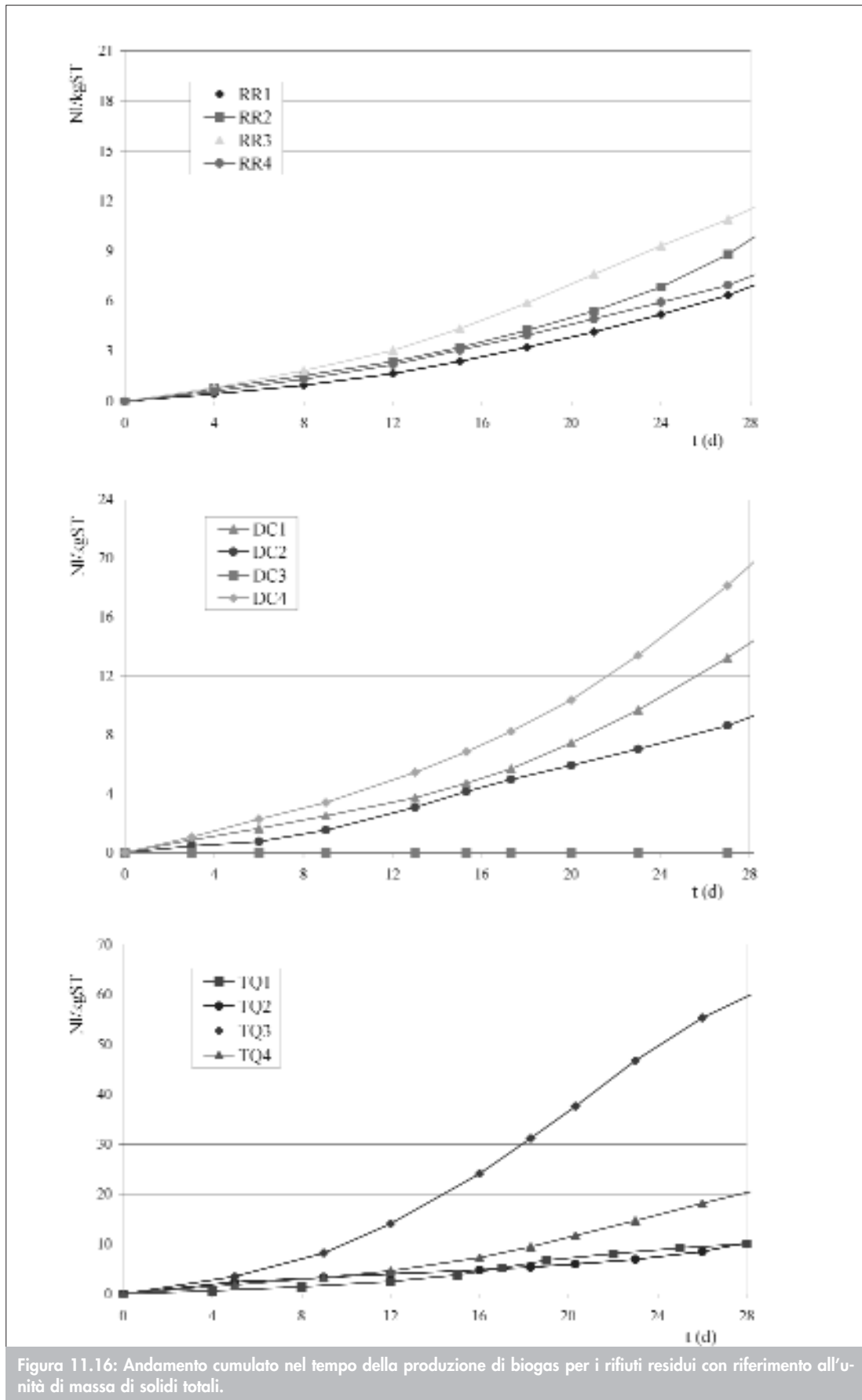


Figura 11.16: Andamento cumulato nel tempo della produzione di biogas per i rifiuti residui con riferimento all'unità di massa di solidi totali.

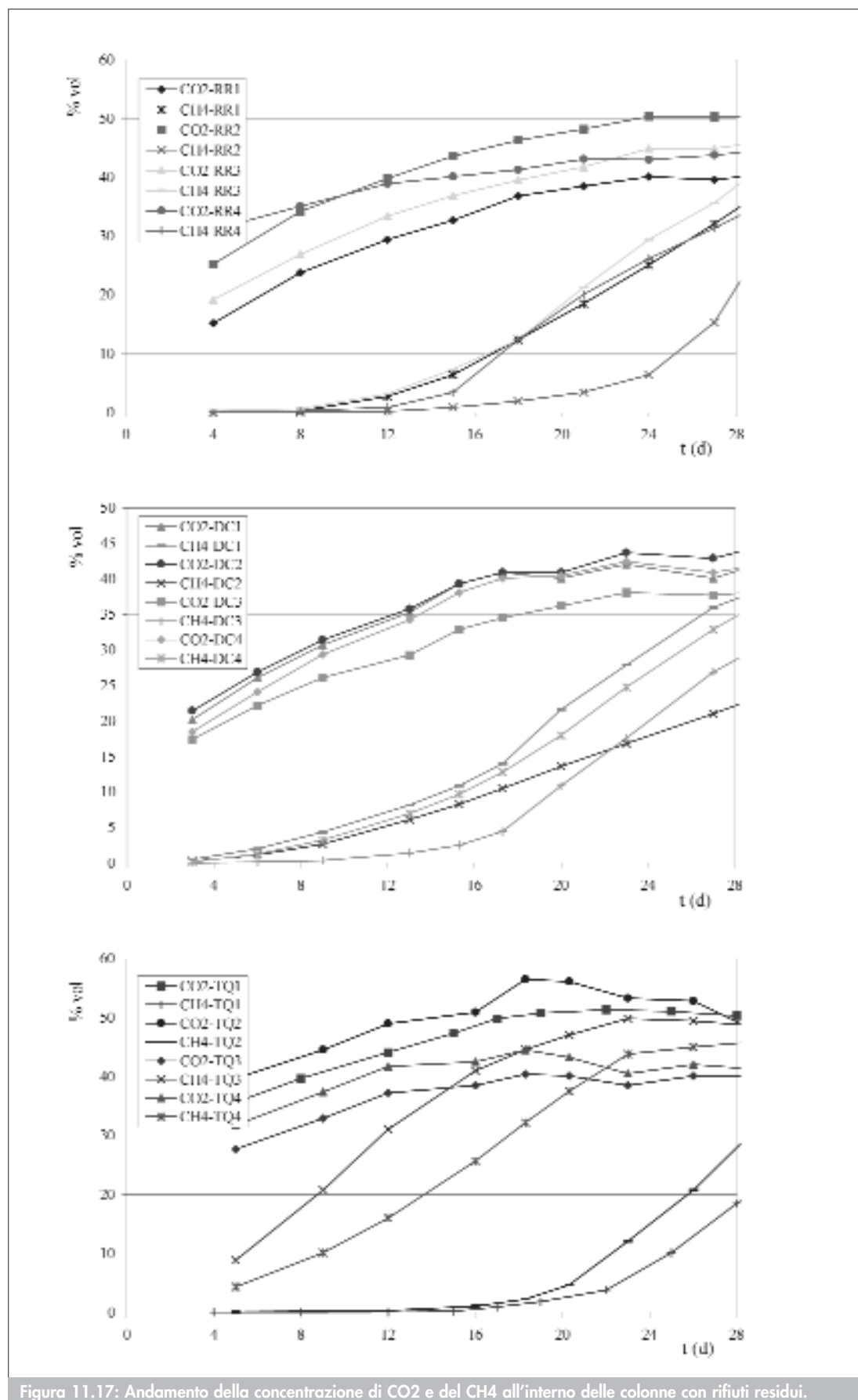


Figura 11.17: Andamento della concentrazione di CO₂ e del CH₄ all'interno delle colonne con rifiuti residui.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

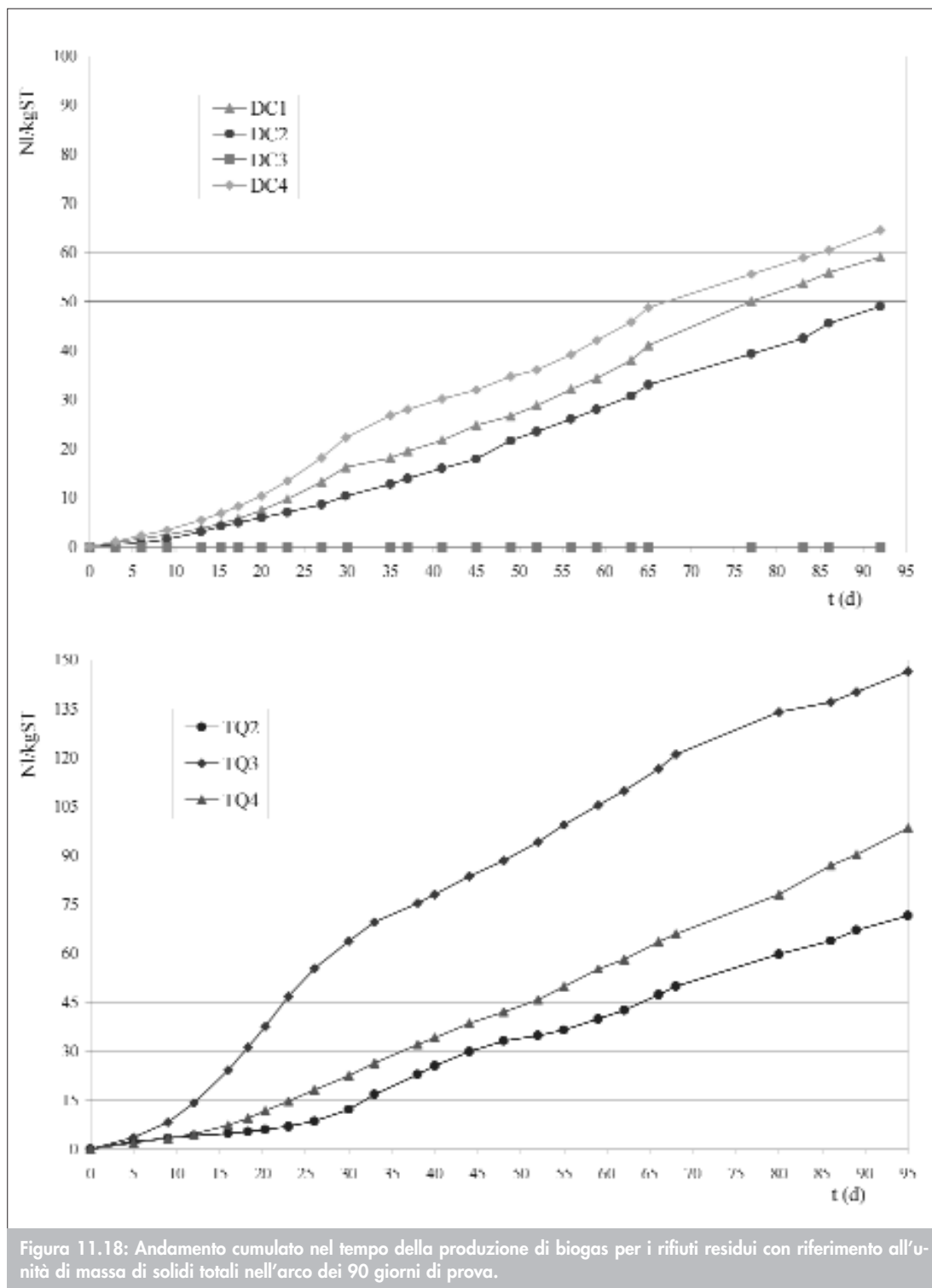


Figura 11.18: Andamento cumulato nel tempo della produzione di biogas per i rifiuti residui con riferimento all'unità di massa di solidi totali nell'arco dei 90 giorni di prova.

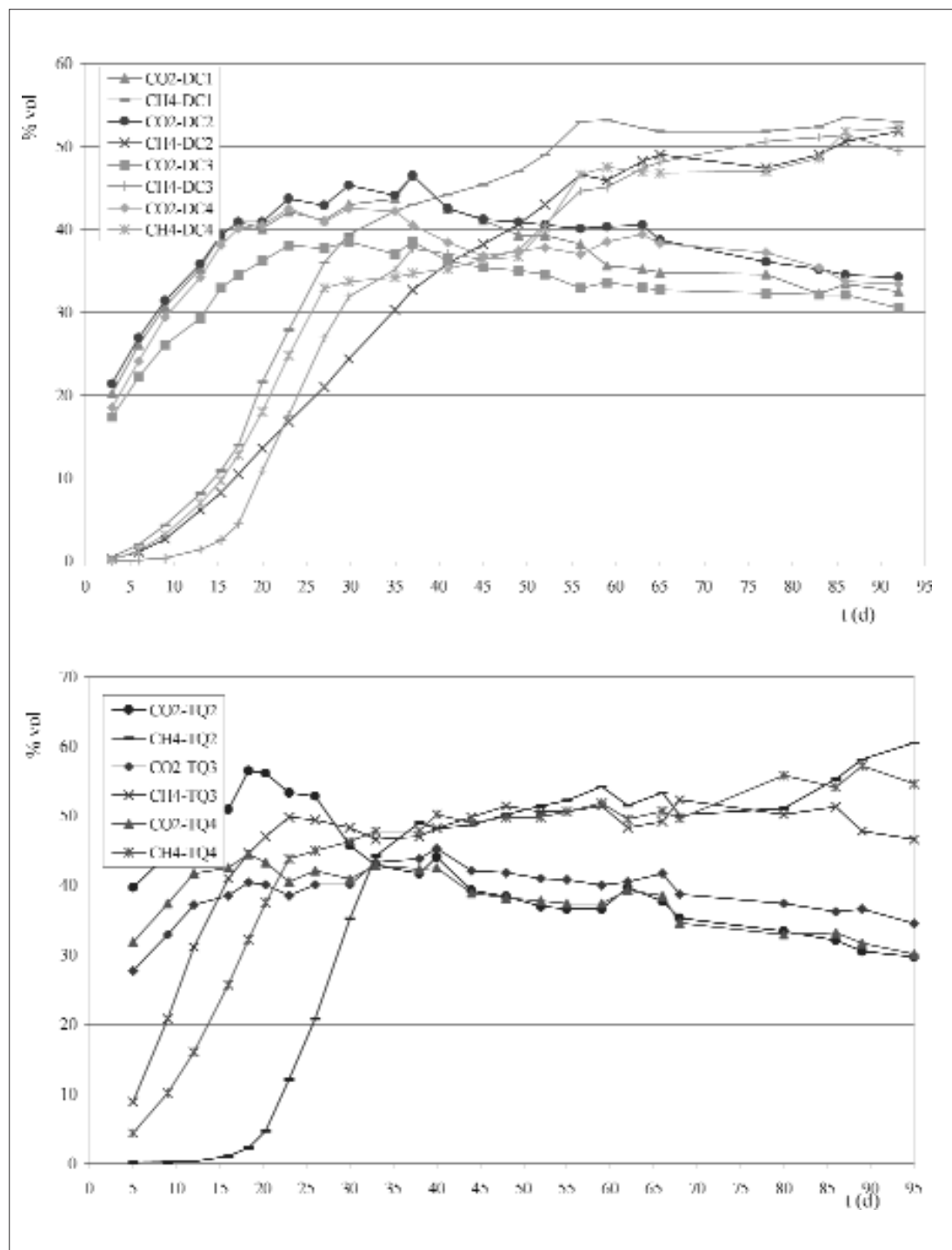


Figura 11.19: Andamento della CO₂ e del CH₄ all'interno delle colonne di rifiuti residui in osservazione per 90 giorni.

11.2.4 Test di lisciviazione in colonna (Test IMAGE)

Il metodo utilizzato per il test IMAGE non consente di avere un rapporto liquido/solido costante per tutti i campioni. Di questo si deve tener conto nel calcolo dei risultati. Si è ritenuto opportuno normalizzare i valori ad un rapporto liquido/solido di 10:1 (Tabella 10.14) e poter in questo modo effettuare un raffronto tra i risultati.

Per quanto riguarda l'analisi dei dati si nota come i campioni DC presentino in genere valori del rapporto BOD₅/COD variabili tra 0,61 e 0,75 e quindi vicini, se non superiori, ai va-

lori registrati per i rifiuti tal quali, che variano tra 0,58 e 0,66; più bassi risultano i rapporti per i campioni RR (tra 0,22 e 0,58).

Anche le altre prove mostrano che i campioni DC presentano condizioni molto simili a quelle dei rifiuti tal quali. Probabilmente la raccolta differenziata tramite doppio cassonetto comporta un minor controllo su ciò che il singolo utente smaltisce comportando la possibilità di trovarsi ad avere a che fare con rifiuti molto vicini ai tal quali. Più efficace sembra risultare la raccolta del secco tramite porta a porta.

11.2.5 Test di cessione in H₂O distillata

In Tabella 10.13 sono riportati i risultati delle analisi sugli eluati del test di cessione in acqua distillata.

I valori di PH misurati sono simili per tutti i campioni e variabili tra 6,5 per TQ1 e 7,6 per DC1 e DC4. I valori del BOD₅ sono altamente variabili per i diversi campioni rappresentativi di ogni diversa tipologia di rifiuto, e compresi tra 250 mg/l per TQ3 e 1.400 mg/l per RR2. I valori del COD variano tra 640 mg/l per TQ3 e 2.504 mg/l per RR2.

Per quanto riguarda il rapporto BOD₅/COD i valori sono compresi tra 0,33 (per TQ1) e 0,72 (per TQ4).

11.2.6 Test con cartina all'acetato di piombo (Black Index BI)

In Tabella 10.13 sono riportati anche i risultati del test per la determinazione del Black Index. I valori più bassi sono stati ottenuti per i campioni di tipo RR.

11.3 Correlazioni

In Tabella 11.2 sono riportati i valori del coefficiente R² calcolato per diverse correlazioni tra i risultati dei test effettuati sui rifiuti pretrattati.

I grafici relativi alle correlazioni più significative per i rifiuti pretrattati sono rappresentati nelle figure 11.20÷11.24 e sono caratterizzati da valori del coefficiente R² variabili tra 0,6 e 0,91. In particolare, in figura 11.20 è riportata la correlazione tra i valori dell'indice respirometrico IR4s e il contenuto di Solidi potenzialmente fermentescibili (SPf), che ha determinato un valore del coefficiente R² pari a 0,61. La figura 11.21 mostra la correlazione tra gli stessi valori di IR4s e i valori ottenuti per il rapporto BOD₅/COD nell'eluato del test di cessione in acqua distillata. Il valore calcolato per l'indice R² è pari a 0,72. In figura 11.22 è rappresentata invece la correlazione tra i valori ottenuti per il Black Index e i valori del rapporto BOD₅/COD nell'eluato del test di cessione in acqua distillata, caratterizzata da un valore del coefficiente R² pari a 0,6.

È possibile ricavare valori più elevati del coefficiente R², se il calcolo è effettuato considerando separatamente i risultati ottenuti per i campioni provenienti dai diversi processi di pretrattamento. Ad esempio, per la correlazione IRv-BOD₅/COD è stato calcolato, considerando soltanto i risultati delle analisi sui rifiuti biostabilizzati (BT e BL), ottenendo un valore di R² pari a 0,91.

Allo stesso modo, i risultati di alcune analisi risultano meglio correlati tra loro se si considerano soltanto i dati relativi a campioni pretrattati, escludendo quindi dal calcolo quelli relativi ai campioni di rifiuto prelevati all'inizio dei processi considerati. Così facendo, ad esempio si nota un incremento per il coefficiente R² fino a valori di 0,50, 0,60 e 0,89 per le correlazioni B21s-BI; B21s-BOD₅/COD e B21-Spf rispettivamente.

Per quanto riguarda i rifiuti residui, i valori del coefficiente R² calcolato per alcune correlazioni è riportato in tabella 11.3.

Le correlazioni ottenute sono, in genere, meno buone di quelle per i rifiuti pretrattati. Nel grafico sono riportate le due correlazioni migliori: la prima (Figura 11.25) tra l'IR4s e il rapporto BOD₅/COD rilevato dagli eluati del test IMAGE, la seconda (Figura 11.26) tra lo stesso rapporto BOD₅/COD e il Black Index.

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 11.2: Coefficienti R² calcolati per le correlazioni tra i risultati ottenuti nelle determinazioni dei diversi parametri per i rifiuti pretrattati. I valori di R² riportati tra parentesi sono stati calcolati correlando solo i risultati dei test su campioni trattati (cioè escludendo i campioni ad ingresso impianto)

Parametri correlati	R ²
R4s-IRs	0,88
IR4s-B21s	0,05 (0,64)
IR4s-BOD ₅ /COD	0,72
IR4v-BOD ₅ /COD	0,91*
IR4s-BI	0,52
IR4s-Spf	0,61
B21s-Spf	0,10 (0,89)
B21s-BOD ₅ /COD	0,10 (0,60)
B21s-BI	0,31 (0,50)
BOD ₅ /COD-Spf	0,32
BOD ₅ /COD-BI	0,60
BI-Spf	0,35

* Sono stati considerati solo i campioni di tipo BT e BL

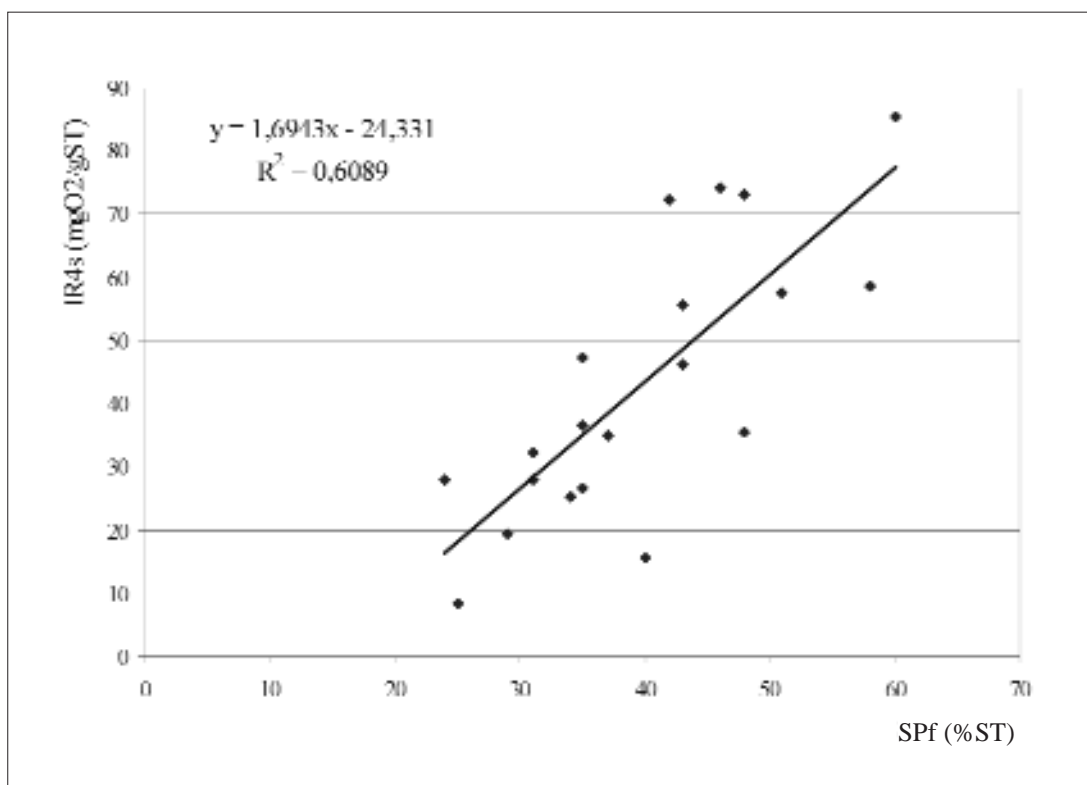


Figura 11.20: Correlazione per i rifiuti pretrattati tra indice respirometrico a 4 giorni riferito ai ST e i solidi potenzialmente fermentescibili

DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)

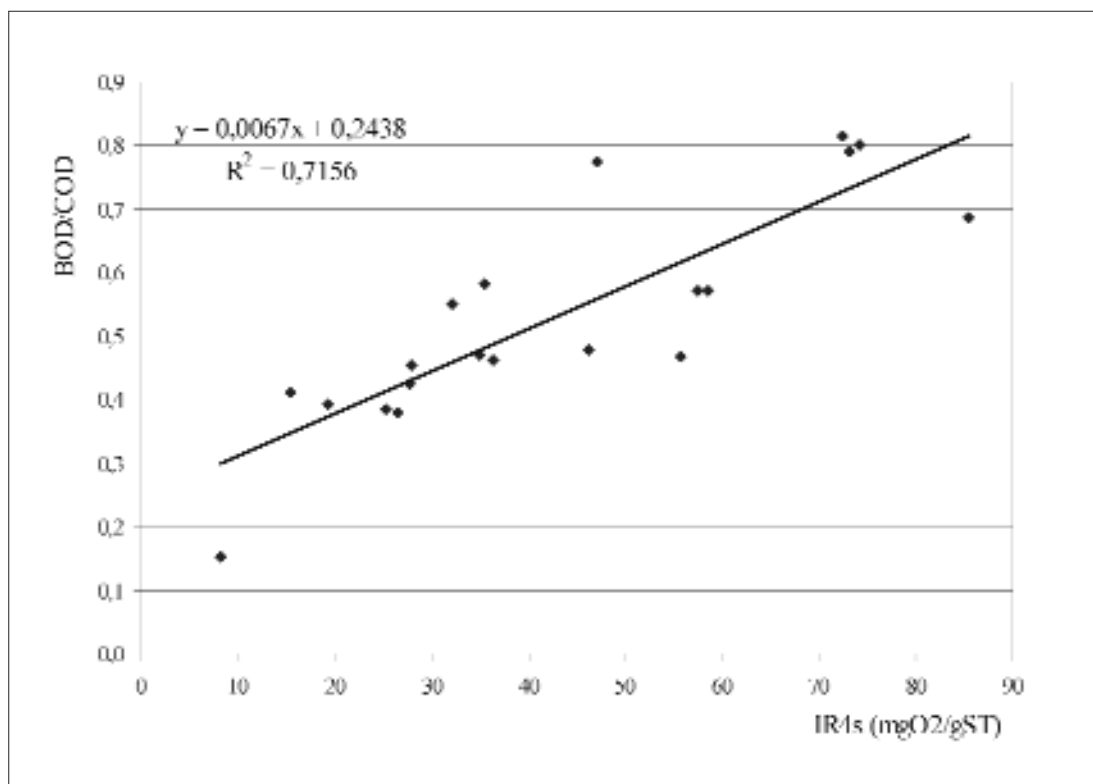


Figura 11.21: Correlazione per i rifiuti pretrattati tra l'indice respirometrico a 4 giorni riferito ai ST e i BOD₅/COD ottenuti dagli eluati del test di cessione in acqua distillata

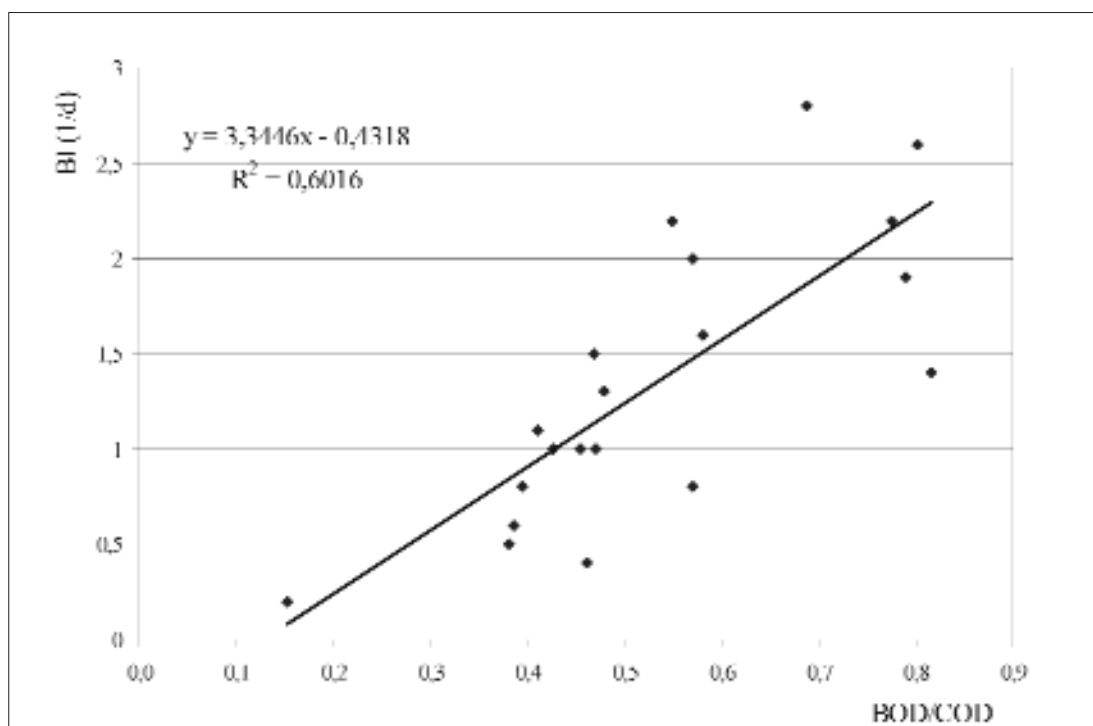


Figura 11.22: Correlazione per i rifiuti pretrattati tra il Black Index e il rapporto BOD₅/COD ottenuto dagli eluati del test di cessione in acqua distillata.

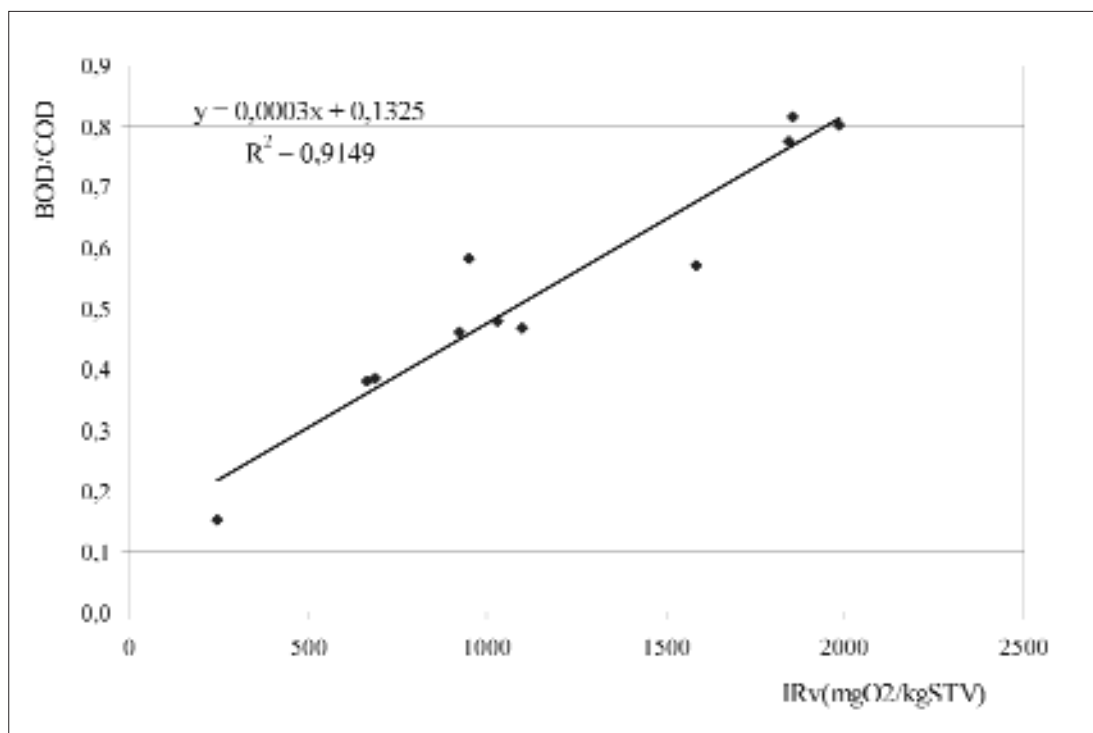


Figura 11.23: Correlazione (dati relativi ai soli rifiuti biostabilizzati) tra il rapporto BOD₅/COD ottenuto dagli eluati del test di cessione in acqua distillata e l'indice IRv.

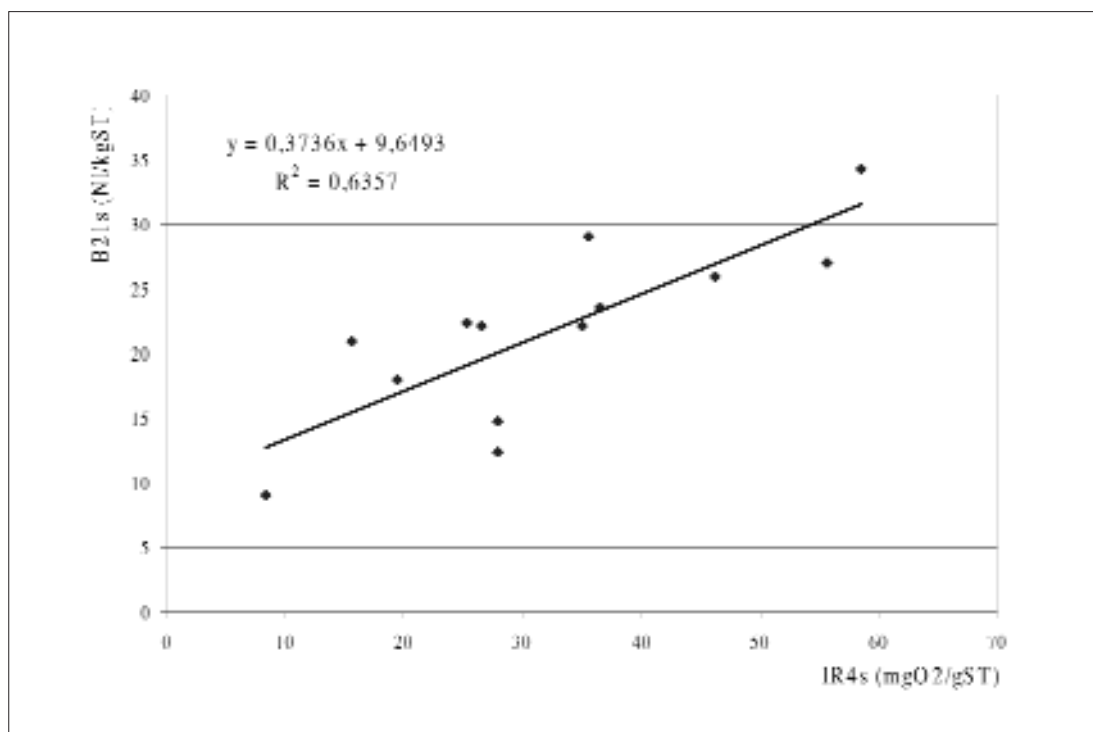


Figura 11.24: Correlazione per i rifiuti pretrattati (senza considerare i campioni a ingresso impianto, non trattati) e l'indice respirometrico a 4 giorni riferito ai ST.

**DISCUSSIONE DEI RISULTATI
(SECONDA CAMPAGNA DI PROVE)**

Tabella 11.3: Coefficienti R² calcolati per le correlazioni tra i risultati ottenuti nelle determinazioni dei diversi parametri per i rifiuti residui. Il segno / indica che il coefficiente R² è risultato inferiore a 0,1

Parametri correlati	(R ²)
BOD ₅ /COD (test IMAGE)-IR4s	0,52
BOD ₅ /COD (test IMAGE)-B21s	/
BOD ₅ /COD (test IMAGE)-BI	0,55
BOD ₅ /COD(test IMAGE)-BOD ₅ /COD (test di cessone)	0,12
BOD ₅ /COD (test IMAGE)-Spf	0,27
BOD ₅ /COD (test IMAGE)-B90	/
IR4s-B21s	/
IR4s-BOD ₅ /COD (test di cessone)	0,16
IR4s-B90	/
IR4s-BI	0,4
IR4s-Spf	0,42
B21s-Spf	/
B21s-BOD ₅ /COD (test di cessone)	/
B21s-BI	/
BOD ₅ /COD (test di cessone)-B90	0,11
BOD ₅ /COD (test di cessone)-Spf	0,18
BOD ₅ /COD (test di cessone)-BI	/
B90-BI	/
Spf-BI	/

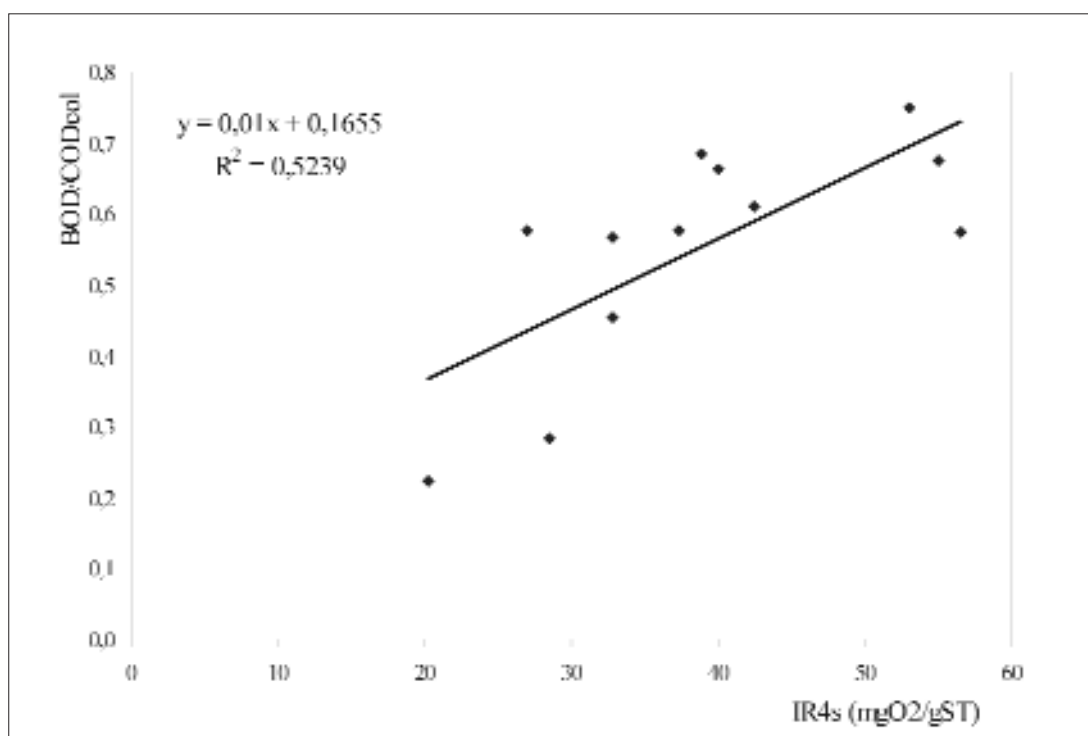


Figura 11.25: Correlazione per i rifiuti residui tra l'indice respirometrico a 4 giorni riferito ai solidi totali e il rapporto BOD₅/COD ottenuto dagli eluati del test IMAGE.

11.4 Conclusioni

Lo studio svolto presso i laboratori del Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova ha avuto l'obiettivo di mettere a punto test specifici per la valutazione della stabilità biologica

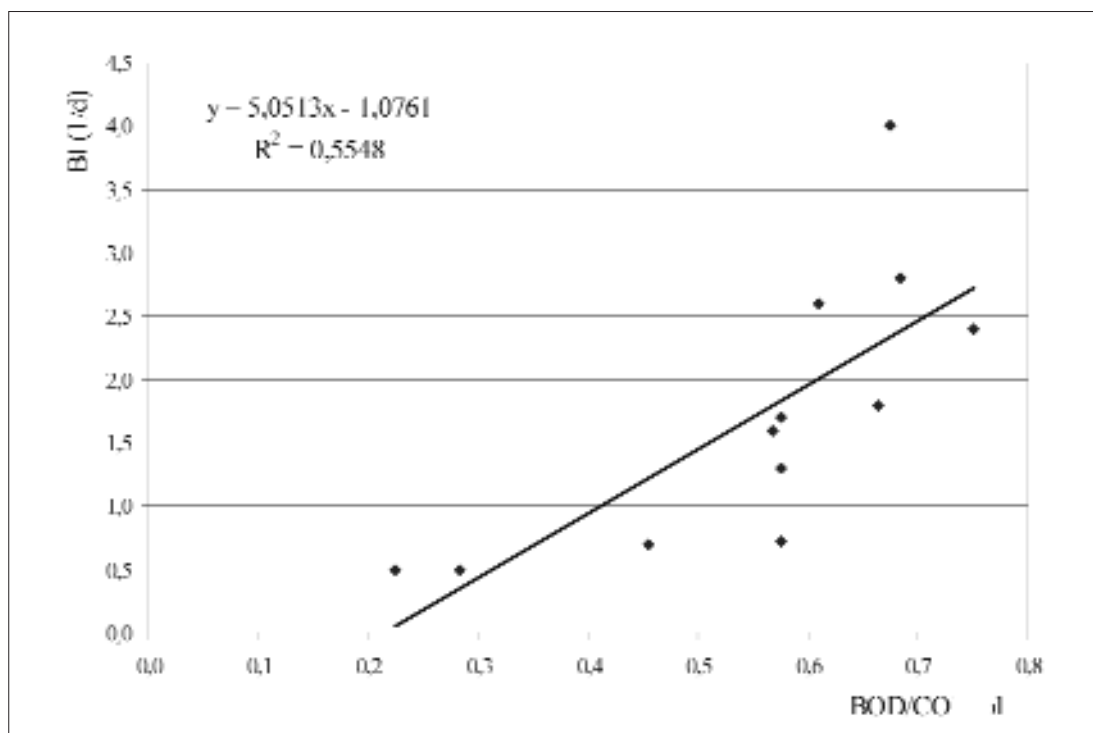


Figura 11.26: Correlazione per i rifiuti residui tra il Black Index e il rapporto BOD/COD ottenuto dagli eluati del test IMAGE.

dei rifiuti da avviare a smaltimento in discarica. I rifiuti utilizzati nelle varie prove possono essere raggruppati in due categorie: rifiuti pretrattati meccanicamente e biologicamente (biostabilizzati o bioessiccati) e rifiuti residui da raccolte differenziate. In tutti i casi si tratta di materiali attualmente smaltiti in discarica. Nel caso dei rifiuti pretrattati, i campioni da analizzare sono stati prelevati non solo dopo il pretrattamento, ma anche all'inizio ed in una fase intermedia del processo. I rifiuti da pretrattamento meccanico biologico prima delle analisi sono stati triturati a granulometria < 5 mm; i rifiuti residui da raccolta differenziata sono stati invece triturati a granulometria < 20 mm. Su tutti i campioni dei diversi materiali esaminati è stata effettuata una caratterizzazione iniziale con l'analisi di pH, umidità e solidi totali volatili.

Sono stati quindi eseguiti i seguenti test:

- Test per la determinazione dei solidi potenzialmente fermentescibili;
- Test respirometrici;
- Test di fermentazione "ad umido" in reattore (per i rifiuti pretrattati) ed in colonna (per i rifiuti residui) con analisi quantitativa e qualitativa del biogas prodotto;
- Test di cessione in acqua distillata ed analisi (BOD_5 , COD, BOD_5/COD) degli eluati;
- Test per la determinazione del Black Index.

Per i rifiuti residui è stato anche messo a punto un originale test di lisciviazione in colonna (test IMAGE) con le relative analisi (BOD_5 , COD) del lisciviato, mentre il test di fermentazione è stato condotto nelle stesse colonne dopo l'estrazione del lisciviato, con il materiale mantenuto ad umidità pari alla capacità di campo.

I dati ottenuti con i diversi test sono stati analizzati e confrontati fra loro, sono state determinate le correlazioni tra i risultati allo scopo di valutare l'affidabilità delle misure effettuate.

Test sui rifiuti pretrattati

Il contenuto di solidi potenzialmente fermentescibili (SPf) nei campioni prelevati all'ingresso degli impianti di trattamento è risultato variabile tra il 31 % ed il 60 % dei solidi totali (ST); per i campioni prelevati dopo il pretrattamento il valore è risultato variabile tra il 25 % ST ed il 58 % ST. Solo in tre casi il contenuto di SPf nei campioni prelevati alla fine del pretrattamento risulta sensibilmente inferiore a quello misurato nei corrispondenti campioni non trattati. In un caso (BS3), il campione prelevato alla fine del processo di bioessiccazione risulterebbe addirittura caratterizzato da contenuto di SPf superiore a quanto si è misurato in campioni prelevati all'inizio del processo. Tali risultati fanno pensare che i risultati ottenuti potrebbero non essere sufficientemente rappresentativi del grado di stabilizzazione biologica raggiunto dal rifiuto.

L'indice respirometrico a 4 giorni riferito ai solidi totali IR4s nei campioni prelevati all'ingresso degli impianti di trattamento è risultato variabile tra 32 ed 85 mgO₂/gST; per i campioni prelevati dopo il pretrattamento i valori sono risultati variabili tra 8 e 46 mgO₂/gST. In tutti i casi, il valore dell'indice respirometrico misurato per i campioni prelevati all'uscita dagli impianti di pretrattamento è risultato chiaramente inferiore a quello misurato per i corrispondenti campioni prelevati all'ingresso degli impianti. In nessuno dei casi, il valore misurato per l'indice respirometrico è risultato al di sotto del valore di 5 mgO₂/gST, indicato da autori tedeschi, come tipico di rifiuti caratterizzati da stabilità biologica adeguata allo smaltimento in discarica. Tale valore dell'indice respirometrico può essere ottenuto con un trattamento aerobico del rifiuto di durata pari ad almeno 4 mesi, superiore a quello a cui sono stati sottoposti i campioni analizzati nell'ambito di questo lavoro. D'altra parte, l'opportunità di prolungare la durata dei processi di pretrattamento fino a garantire valori così bassi dell'indice respirometrico è tuttora in discussione; nel 2nd draft del working document "Biological Treatment of Biowaste" predisposto dalla Commissione Europea (EU, 2001) è indicato un valore dell'indice respirometrico IR4 pari a 10 mgO₂/gST come caratteristico di rifiuti biologicamente stabilizzati. L'ottima correlazione riscontrata tra IRs e IR4s consentirebbe di riferirsi ad IRs e ridurre quindi i tempi di analisi senza alterare sensibilmente il significato della prova, come già discusso al paragrafo 11.1.2.

Nei test di fermentazione in reattore, la produzione di biogas B21s nei campioni prelevati all'ingresso degli impianti di trattamento è risultata variabile tra 10 e 38 NL/kgST; per i campioni prelevati dopo il pretrattamento i valori sono risultati variabili tra 9 e 34 NL/kgST. Spesso il valore della produzione di biogas dopo 21 giorni dall'inizio del test è risultato superiore per i campioni stabilizzati, rispetto a quanto misurato per i campioni prelevati all'inizio del processo di stabilizzazione. Valori maggiormente rappresentativi della stabilizzazione biologica dei campioni sembra possano essere determinati solamente con tempi di osservazione più lunghi. Per tale motivo l'utilizzazione di tale test per analisi di routine potrebbe risultare poco agevole.

Le analisi degli eluati del test di cessione hanno fornito, per i campioni prelevati all'ingresso degli impianti di trattamento, valori variabili tra 950 e 3.900 mg/l per il BOD₅; tra 17.00 e 5.000 mg/l per il COD e tra 0,55 e 0,82 per il rapporto BOD₅/COD. Per i campioni prelevati dopo il trattamento, i valori sono risultati variabili tra 140 e 1750 mg/l per il BOD₅; tra 915 e 3800 mg/l per il COD e tra 0,15 e 0,57 per il rapporto BOD₅/COD. Il valore del rapporto BOD₅/COD misurato per i campioni prelevati all'uscita dagli impianti di pretrattamento è sempre risultato ben inferiore a quello misurato per i corrispondenti campioni prelevati all'ingresso degli impianti; lo stesso accade, tranne rare eccezioni, per BOD₅ e COD.

Tutti i campioni mostrano valori abbastanza elevati del BI se confrontati con altri risultati, relativi a rifiuti pretrattati, riportati in letteratura. In genere i rifiuti non trattati hanno presentato indici variabili tra 0,8 d⁻¹ e 2,8 d⁻¹ mentre, i campioni di rifiuto trattato, hanno presentato valori tra 0,2 d⁻¹ e 2 d⁻¹, comunque sempre minori rispetto a quelli dei corrispondenti campioni non trattati, con la sola eccezione del BTm3. I dati ottenuti risultano comunque abbastanza ben correlati (R² = 0,52) con i dati ottenuti per l'indice respirometrico IR4s. Occorre tener presente che mentre valori alti del BI sono tipici di campioni senz'altro poco stabilizzati, viceversa valori bassi del BI non garantiscono che il campione considerato sia stabilizzato dal punto di vista biologico, ma indicano esclusivamente assenza di produzione di H₂S, fatto che potrebbe verificarsi anche per campioni molto putrescibili ma non contenenti zolfo. In tal

caso quindi il test potrebbe essere utilizzabile come test preliminare a cui far seguire i successivi accertamenti.

Le correlazioni tra i risultati dei diversi test sono caratterizzate da valori dell'indice R^2 molto variabili. Il valore più elevato, pari a 0,72, è quello calcolato per la correlazione tra il rapporto BOD_5/COD nell'eluato del test di cessione e l'indice respirometrico IR4s. Non si sono riscontrate buone correlazioni in cui siano coinvolti i valori per la produzione di biogas a 21 giorni, con un leggero miglioramento considerando i valori a 28 giorni. Sono stati ottenuti valori più elevati del coefficiente R^2 , quando sono stati considerati separatamente i dati ottenuti per i campioni di rifiuto all'ingresso degli impianti e quelli ottenuti per i rifiuti trattati. Un valore particolarmente elevato per il coefficiente R^2 (0,91), è stato ottenuto per la correlazione IR4v- BOD_5/COD , considerando soltanto i dati delle analisi relative ai rifiuti biostabilizzati.

I risultati ottenuti permettono quindi di affermare che il test respirometrico ed il test di cessione in acqua distillata sembrano essere i più affidabili per la valutazione della stabilità biologica dei rifiuti pretrattati considerati nel corso della ricerca. Essi risultano di facile ed economica esecuzione e possono essere condotti agevolmente su materiale di granulometria inferiore ai 5 mm, ottenuta tramite triturazione del campione. Per poter valutare correttamente il grado di stabilità biologica sarebbe consigliabile considerare insieme i valori ottenuti per l'indice respirometrico, il rapporto BOD_5/COD ed il COD nell'eluato del test di cessione. In particolare, la misura del COD permetterebbe di evitare errori di valutazione nel caso di campioni di rifiuto non stabilizzato, ma nei quali la presenza di sostanze tossiche abbia inibito l'attività di degradazione biologica.

Test sui rifiuti residui

Le analisi degli eluati del test di cessione in colonna (Test IMAGE) hanno fornito, per i campioni di rifiuto residuo RR (secco da raccolta differenziata porta a porta), valori variabili tra 600 e 2300 mg/l per il BOD_5 e tra 2200 e 4000 mg/l per il COD; per i campioni di tipo DC (secco da raccolta stradale secco-umido con doppio cassonetto) valori variabili tra 2750 e 5000 mg/l per il BOD_5 e tra 4500 e 7400 mg/l per il COD; per i campioni di tipo TQ (rifiuto tal quale) valori variabili tra 2500 e 7500 mg/l per il BOD_5 e tra 4300 e 13200 mg/l per il COD. Per i campioni DC, il valore calcolato per il rapporto BOD_5/COD nell'eluato è variabile tra 0,61 e 0,75; quello per i rifiuti tal quali TQ che varia tra 0,58 e 0,66; il valore calcolato per i campioni RR è risultato più basso e compreso tra 0,22 e 0,58.

Per quanto riguarda il test di fermentazione in colonna, i dati ottenuti mostrano una produzione di biogas, sia a 21 che a 28 giorni, leggermente più bassa per i campioni RR di quella registrata per le altre tipologie di campioni. I campioni TQ presentano valori molto alti per i campioni TQ3 e TQ4; risultano molto più contenuti i valori registrati per gli altri 2 campioni. In generale la produzione è risultata variabile tra 4,2 Nl/kgST (campione RR1) e 40,3 Nl/kgST (campione TQ3) dopo 21 giorni e tra 6,9 Nl/kgST e 59,8 Nl/kgST, per gli stessi campioni, dopo 28 giorni. La massima produzione di biogas dopo 90 giorni (B90) è stata registrata per il campione TQ3 (140 Nl/kgST). I dati ottenuti risultano comunque correlati molto male con quelli degli altri test (valori del coefficiente R^2 inferiori a 0,1).

Il contenuto di SPf nei campioni analizzati risulta compreso tra il 26 % ed il 47 % per i rifiuti di tipo RR, tra il 32 % ed il 42 % per i rifiuti di tipo DC e tra il 28% ed il 49% per quelli di tipo TQ. Le correlazioni dei risultati con quelli ottenuti negli altri test hanno permesso di calcolare valori del coefficiente R^2 piuttosto bassi; con valori massimi pari a 0,27 e 0,42 per le correlazioni con i risultati del test IMAGE e del test respirometrico rispettivamente.

L'indice respirometrico IR4s è risultato variabile tra 20,3 e 56,5 mgO_2/gST per campioni di tipo RR; tra 38,8 e 55,0 mgO_2/gST per i campioni di tipo DC, e tra 27,0 e 40,0 per rifiuti tal quali (TQ). I risultati ottenuti risultano abbastanza ben correlati (R^2 pari a 0,52) con quelli ottenuti con il test IMAGE.

Per quanto riguarda il test di cessione, i valori del BOD_5 sono risultati altamente variabili per i diversi campioni rappresentativi di ogni diversa tipologia di rifiuto, e compresi tra 250 mg/l (TQ3) e 1400 mg/l (RR2); i valori del COD sono variabili tra 640 mg/l (TQ3) e 2504 mg/l (RR2); il rapporto BOD_5/COD risulta infine compreso tra 0,33 (TQ1) e 0,72 (TQ4). Le correlazioni dei risultati con quelli ottenuti negli altri test sono poco significative, con valori di R^2 sempre inferiori a 0,2.

I valori del Black Index sono risultati compresi tra 0,5 d⁻¹ e 1,3 d⁻¹ per i campioni RR; tra 2,4 d⁻¹ e 4 d⁻¹ per i campioni DC e tra 0,7 d⁻¹ e 1,8 d⁻¹ per i campioni TQ. I dati ottenuti sono piuttosto ben correlati con quelli ottenuti con il test IMAGE e con il test respirometrico (IR4s), con valore del coefficiente R² pari a 0,55 e 0,52 rispettivamente. Occorre comunque tener presente che valori alti del BI sono tipici di campioni senz'altro poco stabilizzati, viceversa valori bassi del BI non garantiscono che il campione considerato sia stabilizzato dal punto di vista biologico, ma indicano esclusivamente assenza di produzione di H₂S, fatto che potrebbe verificarsi anche per campioni molto putrescibili ma non contenenti zolfo. In tal caso quindi il test potrebbe essere utilizzabile come test preliminare, a cui far seguire i successivi accertamenti. I risultati ottenuti permettono quindi di affermare che il test respirometrico ed il test di cessione in colonna (Test IMAGE) sembrano essere i più affidabili per la valutazione della stabilità biologica dei rifiuti residui considerati nel corso della ricerca. Essi risultano di facile ed economica esecuzione e possono essere condotti agevolmente su materiale di granulometria inferiore ai 2 cm, ottenuta tramite triturazione del campione. Come già discusso per il caso dei rifiuti pretrattati, per poter valutare correttamente il grado di stabilità biologica sarebbe consigliabile considerare insieme i valori ottenuti per l'indice respirometrico, il rapporto BOD₅/COD ed il COD nell'eluato del test di cessione. In particolare, la misura del COD permetterebbe di evitare errori di valutazione nel caso di campioni di rifiuto non stabilizzato, ma nei quali la presenza di sostanze tossiche abbia inibito l'attività di degradazione biologica.

12. Conclusioni relative alle metodologie utilizzate per la misura della stabilità biologica

12.1 Scelta dei campioni

Il presente lavoro, svolto in collaborazione con le Università di Milano e di Padova e la Società GFambiente, ha avuto lo scopo di definire i criteri di riferimento più idonei, in termini di efficacia rappresentativa, velocità di esecuzione, ripetibilità e costo, atti a valutare il grado di stabilizzazione dei rifiuti pretrattati da destinarsi in discarica.

I campioni sono stati scelti in modo, da considerare tutte le tipologie di rifiuti tal quali o pretrattati che troveranno allocazione in discarica in un ipotetico scenario futuro (ed in parte già presente). In particolare, sono stati considerati processi di pretrattamento biologico il cui fine è la produzione di rifiuti biostabilizzati (BT) e processi di biostabilizzazione e bioessiccamento (BS) per la produzione di biostabilizzati e bioessiccati. Con riferimento alla produzione di bioessiccati, durante la loro lavorazione al fine di produrre combustibile derivato dai rifiuti (CDR), si ottiene una frazione di scarto (sottovaglio ST) il cui destino è la discarica.

A prescindere dai trattamenti biologici, la presenza diffusa di raccolta della frazione umida, individua la presenza di rifiuti residui (RR) le cui caratteristiche dipendono dalla tipologia di raccolta operata ed il cui destino potrebbe essere la discarica. Quindi, è stato utile aggiungere ai campioni già individuati, frazioni residue della raccolta differenziata al fine di rendere lo scenario rifiuti da destinarsi in discarica, completo.

12.2 Indice di respirazione

L'indice di respirazione rappresenta sicuramente il metodo più in uso per la determinazione della stabilità biologica di rifiuti tal quali o pre-trattati come ampiamente documentato dalla letteratura scientifica nonché dagli orientamenti di altri Paesi che hanno proposto, ed in molti casi adottato (Germania ed Austria), l'indice respirometrico quale parametro principale per la determinazione del grado di stabilità biologica di rifiuti pre-trattati da destinarsi in discarica.

La scelta dei metodi da valutare, nel vasto panorama presente, è stata fatta al fine di validare o meno quei metodi che più di altri hanno trovato fondamento scientifico e pratica applicazione. In particolare, si sono voluti testare due metodi statici, ovvero il metodo Sapromat, noto anche come attività respirometrica AT_{47} , ed il metodo Di.Pro.Ve che rappresenta una modifica del metodo statico proposto dal The U.S. Composting Council. Il Sapromat riveste importanza scientifica ed applicativa essendo il metodo ufficiale proposto da Paesi quali la Germania e l'Austria, inoltre, in letteratura ha più volte mostrato la sua validità scientifica. Il metodo Di.Pro.Ve rappresenta un metodo nuovo, ancorché basato su principi già da tempo codificati, che ha già trovato pratiche applicazioni durante l'emergenza rifiuti nella provincia di Milano, nonché affermazione scientifica in campo internazionale in seguito alla pubblicazione di alcuni lavori.

A fianco dei metodi statici, sempre più si parla dell'applicazione di metodi dinamici, essendo questi più affidabili rispetto ai primi. Quanto osservato trova autorevole conferma nella proposta da parte dell'American Standard Testing Material (ASTM) del 1996, di un metodo dinamico per la misura della stabilità biologica di biomasse trattate. In virtù di ciò, nel progetto sperimentale è stato inserito il metodo dinamico proposto dal Dipartimento DiProVe dell'Università di Milano.

Risultati

Dalle tabelle 12.1-12.4 si evidenzia come gli indici respirometrici decrescano durante il processo indicando l'incremento della stabilità biologica (Tabelle 12.1 e 12.3). Confrontando i

valori iniziali con quelli finali si può concludere, considerando i valori assoluti, che trattamenti di 2-4 settimane permettono, se condotti in condizioni ottimali, una riduzione della fermentescibilità del rifiuto dell'80 %.

Le buone correlazioni ottenute (Tabella 12.4) tra i diversi metodi testati, ci consentono di affermare che l'approccio respirometrico per la misura della stabilità biologica è affidabile a prescindere dal metodo utilizzato. In modo più dettagliato, il valore di indice di respirazione dinamico pari a 1000 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹, da assumersi quale valore limite della stabilità biologica, come più volte proposto in letteratura e dalla Regione Lombardia, viene confermato nel presente lavoro. Anche l'applicazione della misura della stabilità biologica, ed in particolare dell'indice di respirazione dinamico e del limite proposto per la caratterizzazione di rifiuti residui delle raccolte differenziate (Tabella 12.2), risulta più che soddisfacente essendo in grado, in modo rapido ed efficace, di dare un giudizio circa le caratteristiche di tale frazione residua e perciò della necessità o meno di un suo trattamento biologico.

Assumendo il valore di IRD = 1000 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹ quale valore di stabilità biologica, in seguito all'applicazioni di regressioni lineari semplici è possibile dedurre valori soglia indicanti la stabilità biologica anche per gli altri metodi proposti. In particolare si ottengono valori di IRS e Sapromat come riassunti in tabella 5. Si nota come i valori ottenuti varino in funzione della tipologia di materiale considerato ma che, comunque, considerando il valore medio ottenuto per tutte le matrici, tali valori possano considerarsi abbastanza simili.

Vi è da notare che i metodi statici, così come riportato in letteratura, sottostimano il consumo di ossigeno a causa di problemi connessi alla diffusione dell'ossigeno durante la misura (le condizioni statiche assicurano solo una diffusione passiva dell'ossigeno nella biomassa). Le differenze evidenti tra i due metodi statici sono ovviamente da imputarsi all'applicazione di metodologie diverse e ribadiscono la necessità di riportare, a fianco della dizione "metodo statico", la metodica impiegata.

In conclusione, il lavoro svolto conferma la buona attendibilità degli indici respirometrici quale misura della stabilità biologica e l'indice dinamico, quale metodo più affidabile. Il valori di IRD = 1000 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹, potrebbe essere adottato quale valore soglia nella definizione di stabilità biologica, così come anche indicato dal 2° Draft della Comunità Europea relativo ai "Biological Treatments". Valori corrispondenti di IRS potrebbero essere equivalente proposti ma considerando che questi sono, in realtà, misure sottostimate del reale consumo di ossigeno.

Tabella 12.1: Risultati analitici: Università di Milano DiProVe (BT, BS e ST)

Campione	SV (% ST)	SPF (%ST)	Biogas ₂₄ (NL/kg ST)	IRD (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	IRS (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)
1 BT- i 1	51 ± 1,13	37,74 ± 0,45	0,87 ± 0,19	4.126 ± 43*	1,182
BT- m 1	39,65 ± 0,15	22,98 ± 0,93	1,48 ± 1,05	2.529 ± 44	532
BT- f 1	39,97 ± 1,94	23,98 ± 0,64	1,74 ± 0,37	780 ± 260	366
2 BT- i 2	68,65 ± 0,44	51,57 ± 3,54	0,50 ± 0,22	5.148 ± 150	1,326
BT- m 2	62,77 ± 0,67	38,98 ± 2,12	1,44 ± 0,16	1.300 ± 76	654
BT- f 2	62,51 ± 1,59	43,18 ± 0,06	1,27 ± 0,05	985 ± 108	502
3 BT- i 3	78,08 ± 1,03	57,39 ± 0,27	0,79 ± 0,07	3.255 ± 348	529
BT- m 3	61,21 ± 1,60	36,54 ± 1,12	1,70 ± 0,13	2.349 ± 298	595
BT- f 3	63,67 ± 2,23	38,08 ± 1,25	1,33 ± 0,34	918 ± 295	n,d
4 BS- i 1	87,5 ± 2,27	40,7 ± 2,23	9,00 ± 0,97	1.808 ± 155	913
BS- f 1	86,26 ± 1,89	37,08 ± 3,45	10,80 ± 1,28	692 ± 64	205
5 BS- i 2	90,5 ± 3,43	60,63 ± 2,65	1,62 ± 0,17	1.746 ± 113	790
BS- f 2	75,59 ± 4,10	37,8 ± 3,67	1,07 ± 0,03	595 ± 75	178
6 BS- i 3	73,18 ± 4,56	34,00 ± 4,18	0,94 ± 0,14	1.971 ± 263	485
BS- f 3	78,20 ± 0,24	32,35 ± 1,85	1,70 ± 0,37	582 ± 166	99
7 ST- 1	44,88 ± 1,13	23,36 ± 3,59	0,28 ± 0,04	2.272 ± 159	487
ST- 2	46,56 ± 2,49	20,84 ± 0,58	1,23 ± 0,03	889 ± 102	294
ST- 3	44,53 ± 1,75	31,85 ± 1,06	5,65 ± 1,12	1447 ± 66	944

• variazione relativa al valore medio delle 24 ore di misura

• n.d. = dato non disponibile

**CONCLUSIONI RELATIVE ALLE METODOLOGIE UTILIZZATE
PER LA MISURA DELLA STABILITÀ BIOLOGICA**

Tabella 12. 2a: Risultati analitici: Università di Milano DiProVe (rifiuti residui; RR)

Campione	Provenienza campione	SV (% ST)	SPF (%ST)	Biogas ₂₈ (NL/kg ST)	DRI (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	SRI (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)
Res. P/P 1	Vigodarzere	78,43 ± 0,34	50,44 ± 0,79	0,25 ± 0,08	143 ± 64	40
Res. P/P 2	Villanova 9	1,34 ± 0,15	51,62 ± 1,22	0,75 ± 0,15	646 ± 94	102
Res. P/P 3	Campo S.Martino	92,40 ± 0,34	47,38 ± 1,82	0,67 ± 0,05	366 ± 46	232
Res. P/P 4	Villa del Conte	92,22 ± 0,10	48,21 ± 3,20	1,03 ± 0,13	375 ± 50	143
C.Strad. t.q. 1	Verona	87,57 ± 0,37	44,48 ± 3,40	1,24 ± 1,12	451 ± 54	291
C.Strad. t.q. 2	Zevio	65,02 ± 0,27	34,00 ± 1,80	2,10 ± 1,54	1.586 ± 161	316
C.Strad. t.q. 3	Badia Polesine	69,91 ± 0,47	37,81 ± 0,14	0,26 ± 0,58	1.310 ± 165	366
C.Strad. t.q. 4	Rovigo	73,43 ± 0,68	51,00 ± 0,68	1,66 ± 1,87	1.321 ± 87	553
Racc.S/U d.c.s 1	Spinea	61,80 ± 0,05	42,21 ± 0,71	2,15 ± 1,45	992 ± 157	506
Racc.S/U d.c.s 2	"Misto"	81,80 ± 0,18	46,37 ± 0,71	1,13 ± 1,09	1.164 ± 119	219
Racc.S/U d.c.s 3	Godega	85,11 ± 1,14	39,32 ± 0,16	2,29 ± 2,02	329 ± 154	88
Racc.S/U d.c.s 4	Colle S.Umberto	85,92 ± 0,59	49,29 ± 3,93	2,18 ± 1,56	855 ± 140	164

Tabella 12.2b: Risultati analitici: Unioversità di Padova IMAGE (BT, BS e ST)

Campione	SV (%ST)	SPf (%ST)	IR Sapromat (mgO ₂ kgSV ⁻¹ h ⁻¹)	Biogas ₂₈ (NL kgST ⁻¹)
BTi1	48	35	1.844	31
BTm1	48	34	686	24,8
BTF1	53	35	664	24
BTi2	71	46	1.983	38,6
BTm2	66	46	1.097	32,9
BTF2	64	43	1.029	31,7
BTi3	73	51	1.585	22,1
BTm3	64	48	949	45,4
BTF3	64	35	922	32,0
BSi1	82	60	1.507	46,2
BSf1	79	58	1.116	36,2
ST1	47	37	1.275	24,2
BSi2	76	48	1.182	40,5
BSf2	73	29	335	40,3
ST2	56	31	807	19,4
BSi3	78	31	565	40,5
BSf3	78	40	279	22,4
ST3	39	24	1.345	13,5

Tabella 12.3: Risultati analitici:Università di Padova IMAGE (rifiuti residui RR)

Campione	SV (%ST)	SPf (%ST)	IR (mgO ₂ /kgSV.h)	B28 (NL/kgST)
Res. P/P 1	74	46	865	10,1
Res. P/P 2	61	39	1.124	0,1
Res. P/P 3	72	28	540	59,8
Res. P/P 4	51	49	986	39,6
C.Strad. t.q. 1	82	26	315	6,9
C.Strad. t.q. 2	90	47	965	9,7
C.Strad. t.q. 3	66	42	1.272	14,2
C.Strad. t.q. 4	86	37	615	11,5
Racc.S/Ud.c.s 1	84	41	1.170	9,1
Racc.S/Ud.c.s 2	85	37	531	7,5
Racc.S/Ud.c.s 3	80	32	772	8,3
Racc.S/Ud.c.s 4	84	38	643	19,3

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 12.4: Regressioni lineari ottenute dal confronto dei diversi indici respirometrici

	R ²	P
DRI vs Sapromat (BT)	0,72	< 0,01
SRI vs Sapromat (BT)	0,73	< 0,01
DRI vs Sapromat (BS)	0,27	> 0,05
SRI vs Sapromat (BS)	0,61	< 0,05
DRI vs Sapromat (ST)	0,53	> 0,05
SRI vs Sapromat (BS)	0,64	> 0,05
DRI vs Sapromat (RW)	0,36	> 0,05
SRI vs Sapromat (RW)	0,22	> 0,0
DRI vs Sapromat 0,57 (pretreated samples)	< 0,01	
SRI vs Sapromat 0,70 (pretreated samples)	< 0,01	
DRI vs Sapromat (all samples) 0,56	< 0,01	
SRI vs Sapromat (all samples) 0,62	< 0,01	

Tabella 12.5: Valori soglia di stabilità biologica individuati per i metodi statici corrispondenti al valore di 1000 mg O₂ kg SV-1-h⁻¹

	BT	BS	ST	RS	Tutti
IRS	495	340	n.d.	297	344,8
Sapromat	825	733	n.d.	888	838

12.3 Solidi potenzialmente fermentescibili

Il contenuto in solidi potenzialmente fermentescibili è stato riportato dalla letteratura come una buona misura della stabilità biologica, evidenziando una buona correlazione con misure di stabilità, quale l'indice di respirazione. Si sottolinea però, che i lavori citati facevano riferimento allo studio di singoli processi prendendo in considerazione solo biomasse omogenee, intendendo con ciò, l'omogeneità di tipologia di rifiuto (es, compost o biostabilizzati). Di conseguenza, l'applicazione di tale metodologia alle diverse classi di rifiuto scelte per la presente ricerca, risulta più idoneo per confermare o meno l'applicabilità dei SPf. I risultati ottenuti sono riassunti, per i due laboratori, nelle tabelle da 12.1 a 12.4. Dai risultati si evince come effettivamente, il contenuto di SPf diminuisca durante il trattamento. Detto ciò, confrontando le diverse tipologie di rifiuto, si osserva come tale validità decada, essendo il contenuto iniziale e finale di SPf dipendente dalla tipologia della matrice. In conclusione i SPf possono trovare applicazione solo per un determinato processo non essendo confrontabili i risultati relativi a processi e/o a biomasse diverse.

12.4 Produzioni residue del biogas

La produzione residua di biogas dai rifiuti attraverso metodologie di laboratorio, ha trovato e trova tutt'ora vasta applicazione quale metodo per la misura della stabilità residua di biomasse pre-trattate in Paesi quali la Germania e l'Austria; ne segue la necessità di testare anche tale metodo, soprattutto relazionandolo alle altre metodologie proposte.

La produzione residua di biogas è stata testata con due metodi diversi. Il metodo DiProVe, è stato scelto in quanto rappresenta una metodolo semplice e comunque ha già trovato conferma scientifica internazionale. Il metodo proposto dal Dipartimento IMAGE, corrisponde alle metodologie proposte dai tedeschi ed austriaci e per questo di grande interesse.

Dai risultati esemplificati nelle tabelle 12.1 a 12.4, notiamo che, indipendentemente dai va-

lori assoluti determinati, relativi evidentemente alle metodologie adottate, i campioni non trattati, presentano produzioni di biogas inferiori ai trattati. Tale anomalia, è stata più volte riportata dalla letteratura. La spiegazione risiede nel fatto che, in siffatte condizioni sperimentali, che comunque rappresentano quelle tipicamente utilizzate a livello internazionale, i campioni "freschi" determinano in seguito alle reazioni anaerobiche che si innescano, condizioni avverse alla formazione di un'attività anaerobica metanigena. Al contrario, i campioni pre-trattati, essendo già in parte pre-digeriti "risentono" meno di tale effetto negativo. Detto ciò, i risultati ci portano ad affermare che il test relativo alla produzione residua di biogas, così come applicato, non è un buon indicatore della stabilità biologica.

12.5 Conclusioni

L'utilizzo dell'indice di respirazione quale misura del grado di stabilità biologica di un rifiuto risulta di maggior interesse rispetto agli altri metodi proposti, quale misura del grado di stabilità di un rifiuto da destinarsi in discarica. La buona affidabilità dei metodi respirometrici, nella descrizione della stabilità biologica, con particolare riferimento ai metodi dinamici, nonché la disponibilità di dati per diverse tipologie di materiali che troveranno allocazione in discarica, permettono, in accordo con la letteratura a disposizione di indicare il valore di IRD = $1000 \text{ mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$, quale valore limite della stabilità biologica, potendosi adottare anche valori di indice statico corrispondenti.

Appendice Tabelle

Tabella 1

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche					Analisi n.:	1/1
Zona esecuzione analisi:		Impianto SARZANO (RO)						
Data esecuzione analisi:		13 mar 01						
Metodologia di campionamento:		Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:		RSU tal quale						
Zona provenienza rifiuti:		BADIA POLESINE						
Raccolte effettuate sul territorio:		cassonetti da 1300 e 1700 lt per tal quale, campana vetro lattine, campana carta, eccentro per verde, ingombranti, batterie, oli, ecc						
Tipologia zona di prelievo:		residenziale						
Sito campionamento:		interno						
Trasporto rifiuto:		Autocarro compatante						
Tipologia di raccolta:		cassonetti RSU						
Condizioni meteorologiche:		ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)		1.080,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)		261,57						
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche					Analisi n.:	1/1
TABELLA A:		Peso in kg singole frazioni					RSU tal quale	BADIA POLESINE
Frazione	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	peso frazioni		
	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	sul totale campionato		
mm20	3,53	7,20	9,55	6,10	3,90	30,21		
Organico	8,64	17,70	18,75	15,80	11,10	71,99		
Carta	3,93	7,50	8,70	5,10	6,55	32,18		
Cartone	4,42	8,15	5,10	7,10	4,00	29,67		
Contenitori in plastica	1,44	2,88	2,15	2,00	1,95	11,32		
Plastica in film	1,81	2,60	6,45	3,10	1,05	15,01		
Altra plastica	1,00	1,95	1,00	1,95	2,01	7,91		
Contenitori T/F	0,45	0,40	0,75	0,15	0,85	2,60		
Vetro	1,48	2,82	1,90	0,55	5,10	11,85		
Inerti pesanti	0,23	0,30	0,15	1,90	0,50	2,74		
Alluminio	0,23	0,55	1,00	0,10	0,25	2,19		
Metalli	0,85	2,00	2,50	1,80	1,25	8,40		
Tessili	2,11	4,12	3,00	2,10	3,15	14,48		
Pelle, Cuoia, gomme	0,88	1,97	0,00	2,50	1,85	7,20		
Legno	1,30	2,45	0,80	1,00	2,10	8,41		
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02		
File/batterie	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08		
Fiumi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20		
Pannolini	0,47	1,10	1,10	1,10	0,80	5,12		
TOTALE	32,97	64,27	63,16	53,75	47,42	261,57		
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche					Analisi n.:	1/1
TABELLA B:		% in peso singole frazioni					RSU tal quale	BADIA POLESINE
Frazione	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	% in peso		
	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	sul totale campionato		
mm20	10,80%	11,20%	15,12%	11,35%	8,00%	11,55%		
Organico	26,30%	27,54%	29,00%	29,40%	23,40%	27,52%		
Carta	11,92%	12,22%	13,77%	9,40%	13,80%	12,30%		
Cartone	13,33%	12,68%	8,07%	13,20%	10,33%	11,34%		
Contenitori in plastica	4,35%	4,48%	3,40%	5,40%	4,11%	4,33%		
Plastica in film	5,58%	4,05%	10,20%	5,77%	2,21%	5,75%		
Altra plastica	3,02%	3,03%	1,58%	3,63%	4,28%	3,02%		
Contenitori T/F	1,33%	0,62%	1,19%	0,28%	1,79%	0,99%		
Vetro	4,49%	4,36%	3,00%	1,02%	10,73%	4,53%		
Inerti pesanti	0,88%	0,47%	0,24%	2,79%	1,03%	1,05%		
Alluminio	0,87%	0,85%	1,58%	0,19%	0,53%	0,84%		
Metalli	2,58%	3,11%	3,98%	3,33%	2,61%	3,71%		
Tessili	6,40%	6,41%	4,76%	3,92%	6,62%	5,54%		
Pelle, Cuoia, gomme	2,68%	3,05%	0,00%	4,68%	3,93%	2,75%		
Legno	3,88%	3,88%	1,30%	2,78%	4,43%	3,21%		
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%		
File/batterie	0,18%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%	0,09%		
Fiumi	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	0,07%		
Pannolini	1,4%	1,7%	1,7%	2,6%	2,1%	1,9%		
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 2

Calderara di Reno (BO)	Analisi meteorologiche					Analisi n.:	1/2
Zona esecuzione analisi:	Impianto SARZANO (BO)						
Data esecuzione analisi:	13-mar-01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPIA						
Tipologia di rifiuto campionato:	RSU al quale						
Zona provenienza rifiuti:	ROVIGO						
Raccolte effettuate sul territorio:	cassonetti per tal quale, campana multimateriale, campana carta, porta a porta verde ingombranti e ferro, ecocentro						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	interno						
Trasporto rifiuti:	Autocarro compatante						
Tipologia di raccolta:	cassonetti RSU						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)	2.500,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	220,41						
Calderara di Reno (BO)	Analisi meteorologiche					Analisi n.:	1/2
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni		RSU al quale		ROVIGO		
Frazione	tesi 1 peso in kg	tesi 2 peso in kg	tesi 3 peso in kg	tesi 4 peso in kg	tesi 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
inid	325	790	580	358	510	25,60	
Organico	896	1120	1090	998	1550	56,50	
Carta	890	1140	1740	1100	550	54,35	
Cartone	280	300	410	500	740	23,78	
Contenitori in plastica	074	100	090	120	110	5,09	
Plastica in film	090	210	310	020	100	7,49	
Altra plastica	030	100	050	060	120	5,99	
Contenitori T/F	020	015	015	055	015	1,50	
Vetro	216	415	195	280	385	15,01	
Inerti pesanti	010	030	010	000	200	2,60	
Alluminio	020	010	110	010	060	3,17	
Metalli	054	315	050	020	180	6,29	
Tessili	020	080	070	030	050	2,55	
Pelle, Cuoro, gomma	019	020	030	080	040	1,99	
Legno	079	100	185	105	215	6,86	
Altri rifiuti pericolosi	000	000	000	000	000	0,03	
Pile/batterie	000	000	000	000	000	0,01	
Ferrosi	000	000	000	000	000	0,06	
Pannolini	030	180	070	030	040	3,53	
TOTALE	31,26	50,72	50,12	38,58	49,62	220,41	
Calderara di Reno (BO)	Analisi meteorologiche					Analisi n.:	1/2
TABELLA B:	% in peso singole frazioni		RSU al quale		ROVIGO		
Frazione	tesi 1 % in peso	tesi 2 % in peso	tesi 3 % in peso	tesi 4 % in peso	tesi 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
inid	10,38%	15,57%	11,50%	9,20%	10,32%	11,61%	
Organico	28,63%	22,08%	21,62%	25,79%	31,36%	25,63%	
Carta	28,47%	22,47%	34,60%	28,60%	11,23%	24,66%	
Cartone	9,08%	7,68%	9,02%	13,22%	14,97%	10,79%	
Contenitori in plastica	2,38%	1,96%	1,88%	3,28%	2,38%	2,31%	
Plastica in film	3,18%	4,18%	6,18%	0,68%	2,12%	3,40%	
Altra plastica	1,88%	1,97%	1,08%	1,58%	2,38%	1,81%	
Contenitori T/F	0,78%	0,30%	0,30%	1,48%	0,90%	0,68%	
Vetro	6,93%	8,18%	3,87%	7,28%	7,98%	6,81%	
Inerti pesanti	0,48%	0,58%	0,20%	0,13%	4,08%	1,18%	
Alluminio	0,98%	1,08%	2,18%	1,50%	1,32%	1,44%	
Metalli	1,78%	6,28%	0,98%	0,68%	3,78%	2,86%	
Tessili	0,88%	1,78%	1,18%	0,68%	1,08%	1,16%	
Pelle, Cuoro, gomma	0,68%	0,38%	0,68%	2,48%	0,88%	0,90%	
Legno	2,78%	1,97%	3,67%	2,78%	4,38%	3,10%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	0,01%	
Pile/batterie	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	
Ferrosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%	0,00%	0,03%	
Pannolini	1,22%	3,68%	1,08%	0,78%	0,98%	1,60%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 3

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	
Zona esecuzione analisi:		Sede AMIA VERONA				1/3	
Data esecuzione analisi:		14-mar-01					
Metodologia di campionamento:		Metodo IPIA					
Tipologia di rifiuto campionato:		RSU al quale					
Zona provenienza rifiuti:		ZEVIO (VR)					
Raccolte effettuate sul territorio:		cassonetti per tal quale, campana vetro lattine, cassone plastica, pile, farmaci, ecocentro					
Tipologia zona di prelievo:		residenziale					
Sito campionamento:		interno					
Trasporto rifiuti:		Autocarro senza computerizzatore					
Tipologia di raccolta:		cassonetti RSU					
Condizioni meteorologiche:		inaffluenti					
Peso totale rifiuto conferito (kg)		2.200,00					
TOTALE CAMPIONATO (kg)		254,66					
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	
TABELLA A:		Peso in kg singole frazioni				ZEVIO (VR)	
		RSU al quale					
		test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	peso frazioni
Frazione		peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	sul totale campionato
Inerti		5,45	6,25	3,73	6,50	4,30	26,23
Organico		15,50	15,80	16,70	15,70	16,88	80,55
Carta		10,68	7,65	10,1	7,81	7,31	38,02
Cartone		11,61	11,61	3,12	4,12	3,01	23,14
Contenitori in plastica		1,18	2,10	2,22	1,01	3,21	10,64
Plastica in film		2,87	2,37	5,82	4,20	2,40	17,62
Altra plastica		1,25	1,40	4,71	0,90	2,30	10,56
Contenitori T/F		0,65	0,00	0,00	0,00	0,55	1,20
Vetro		1,10	3,70	1,88	2,50	1,90	11,06
Inerti pesanti		0,00	0,00	0,00	0,21	0,14	0,70
Alluminio		0,61	0,81	0,31	0,21	0,14	2,75
Metalli		1,00	0,45	1,22	1,22	2,00	5,95
Tessili		2,67	1,20	3,40	3,77	2,40	13,20
Pelle, Cuoi, gomma		0,45	0,00	0,00	0,30	0,40	1,15
Legno		0,00	0,00	0,00	1,10	0,60	1,70
Altri rifiuti pericolosi		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pile/batterie		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Farmaci		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pannolini		2,10	1,15	2,00	2,10	1,90	10,20
TOTALE		52,16	48,55	50,73	52,37	50,65	254,66
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	
TABELLA B:		% in peso singole frazioni				ZEVIO (VR)	
		RSU al quale					
		test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	% in peso
Frazione		% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	sul totale campionato
Inerti		10,41%	12,87%	7,30%	12,41%	8,43%	10,30%
Organico		29,60%	32,54%	32,92%	29,98%	33,27%	31,63%
Carta		20,38%	15,78%	9,08%	14,89%	14,11%	14,93%
Cartone		12,88%	11,43%	6,14%	7,87%	7,11%	9,09%
Contenitori in plastica		2,23%	4,33%	4,42%	3,63%	6,32%	4,18%
Plastica in film		5,44%	4,88%	11,48%	8,03%	4,78%	6,92%
Altra plastica		2,29%	2,87%	9,28%	1,72%	4,58%	4,14%
Contenitori T/F		1,24%	0,00%	0,00%	0,00%	1,00%	0,17%
Vetro		2,10%	7,63%	3,69%	4,77%	3,73%	4,54%
Inerti pesanti		0,00%	0,00%	0,00%	0,38%	0,88%	0,27%
Alluminio		1,43%	1,98%	0,68%	0,48%	0,88%	1,08%
Metalli		1,92%	0,98%	2,48%	2,38%	3,98%	2,34%
Tessili		5,01%	2,44%	6,18%	6,18%	4,78%	5,18%
Pelle, Cuoi, gomma		0,45%	0,00%	0,00%	0,57%	0,78%	0,45%
Legno		0,00%	0,00%	0,00%	2,10%	1,18%	0,67%
Altri rifiuti pericolosi		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Pile/batterie		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Farmaci		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Pannolini		4,00%	2,34%	5,88%	4,00%	3,78%	4,01%
TOTALE		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 4

Calderara di Reno (RC)		Analisi meteorologiche				Analisi n.:	1/4
Zona esecuzione analisi:	Sede AMIA VERONA						
Data esecuzione analisi:	14-mar-01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPI A						
Tipologia di rifiuto campionato:	RSU di quale						
Zona provenienza rifiuti:	VERONA						
Raccolte effettuate sul territorio:	cassonetti per tal quale, campana vetro-lattine, campana plastica, umido grandi utenze, I/F, pile, farmaci, concenro						
Tipologia zona di prelievo:	miste						
Sito campionamento:	interno						
Trasporto rifiuti:	Autosarro senza computer						
Tipologia di raccolta:	cassonetti RSU						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)	2.150,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	209,55						

Calderara di Reno (BO)		Analisi meteorologiche				Analisi n.:	1/1
TABELLA A:		Peso in kg singole frazioni			RSU di quale		VERONA
Frazione	resi 1 peso in kg	resi 2 peso in kg	resi 3 peso in kg	resi 4 peso in kg	resi 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
umido	5,95	1,29	2,09	6,77	7,21	23,31	
Organico	12,48	4,10	18,19	3,88	12,88	51,23	
Carta	6,39	11,58	13,20	9,18	7,98	48,31	
Cartone	0,98	6,61	1,61	5,51	6,41	21,18	
Contenitori in plastica	0,61	0,35	0,61	0,25	1,30	3,32	
Plastica in film	1,39	11,61	1,88	7,61	1,43	23,93	
Altra plastica	1,35	2,88	1,03	0,98	0,70	6,98	
Contenitori I/F	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,28	
Vetro	1,63	0,16	1,84	0,11	0,11	3,64	
Insetti pesanti	0,99	0,00	0,94	1,34	3,01	6,74	
Alluminio	0,89	0,80	0,99	1,08	0,91	4,57	
Metalli	0,54	0,00	0,00	0,19	0,11	0,82	
Tessili	2,54	0,00	0,11	0,09	0,90	3,69	
Pelle, Cuoro, gomma	1,11	0,00	0,11	0,11	0,11	1,06	
Legno	0,00	1,61	0,00	0,21	0,00	1,83	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pile/batterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Farmaci	0,42	0,39	0,00	0,11	0,00	0,91	
Farmalut	2,40	0,12	4,04	0,23	0,88	7,72	
TOTALE	39,64	41,55	47,01	37,09	44,26	209,55	

Calderara di Reno (RC)		Analisi meteorologiche				Analisi n.:	1/1
TABELLA B:		% in peso singole frazioni			RSU di quale		VERONA
Frazione	resi 1 % in peso	resi 2 % in peso	resi 3 % in peso	resi 4 % in peso	resi 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
umido	15,01%	3,10%	4,43%	18,28%	16,28%	11,13%	
Organico	31,48%	9,85%	38,70%	9,63%	29,10%	74,45%	
Carta	16,11%	27,88%	28,07%	24,76%	17,98%	73,05%	
Cartone	2,48%	15,80%	3,48%	14,88%	14,10%	40,11%	
Contenitori in plastica	1,53%	0,82%	1,91%	0,63%	2,98%	1,59%	
Plastica in film	3,41%	27,91%	4,03%	20,63%	3,22%	11,49%	
Altra plastica	3,38%	6,93%	2,28%	2,68%	1,48%	3,33%	
Contenitori I/F	0,18%	0,18%	0,00%	0,18%	0,21%	0,13%	
Vetro	4,10%	0,38%	3,93%	0,18%	0,18%	1,74%	
Insetti pesanti	2,48%	0,18%	2,01%	3,68%	7,18%	3,22%	
Alluminio	2,24%	2,08%	1,94%	2,78%	2,04%	2,18%	
Metalli	1,48%	0,18%	0,20%	0,18%	0,18%	0,39%	
Tessili	6,48%	0,17%	0,18%	0,22%	2,18%	1,76%	
Pelle, Cuoro, gomma	2,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,51%	
Legno	0,00%	3,90%	0,00%	0,57%	0,00%	0,87%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pile/batterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Farmaci	1,00%	0,93%	0,00%	0,28%	0,00%	0,44%	
Farmalut	6,20%	0,28%	8,90%	0,63%	1,98%	3,69%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 5

Laboratori di Reno (RO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:		1/5
Zona esecuzione analisi:		Impianto SARZANO (RO)						
Data esecuzione analisi:		13-mar-01						
Metodologia di campionamento:		Metodo IPIA						
Tipologia di rifiuto campionato:		Sottovaglio da trattamento secco-umido						
Zona provenienza rifiuti:		MIS II						
Raccolte effettuate sul territorio:								
Tipologia trattamento:		SOTTOVAGLIO UMIDO da selezione secco-umido						
Sito campionamento:		interno						
Trasporto rifiuti:		da mastri trattamento						
Tipologia di raccolta:								
Condizioni meteorologiche:		ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)								
TOTALE CAMPIONATO (kg)		73,48						
Laboratori di Reno (RO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:		1/5
TABELLA A:		Peso in kg singole frazioni				Sottovaglio da trattamento secco umido		MIS II
Frazione	resi 1 peso in kg	resi 2 peso in kg	resi 3 peso in kg	resi 4 peso in kg	resi 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato		
inidEO	3,20	3,85	2,75	3,01	2,80	15,61		
Organico	6,90	8,32	9,85	5,05	5,40	36,12		
Carta	0,90	1,10	1,90	0,95	0,18	5,01		
Cartone	1,00	0,90	1,00	0,30	0,60	3,80		
Contenitori in plastica	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,30		
Plastica in film	0,70	0,80	0,80	0,60	0,50	3,70		
Altra plastica	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26		
Contenitori IAF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Vetro	0,31	0,12	0,24	0,19	0,29	1,10		
Inerti pesanti	0,10	0,08	0,14	0,10	0,12	0,55		
Alluminio	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
Metalli	0,11	0,10	0,09	0,01	0,11	0,46		
Tessili	0,13	0,15	0,18	0,10	0,10	0,63		
Pelle, Cuoro, gomma	0,14	0,08	0,01	0,01	0,01	0,28		
Legno	1,30	1,90	1,50	0,70	0,25	5,65		
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Pilobatterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Farmaci	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Pannolini	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTALE	15,08	17,60	18,69	11,74	10,37	73,48		
Laboratori di Reno (RO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:		1/5
TABELLA B:		% in peso singole frazioni				Sottovaglio da trattamento secco umido		MIS II
Frazione	resi 1 % in peso	resi 2 % in peso	resi 3 % in peso	resi 4 % in peso	resi 5 % in peso	% in peso sul totale campionato		
inidEO	21,22%	21,88%	14,71%	25,61%	27,00%	21,74%		
Organico	43,78%	47,27%	52,70%	48,13%	52,07%	49,16%		
Carta	5,97%	6,27%	10,17%	8,09%	1,51%	6,87%		
Cartone	6,68%	5,11%	5,30%	2,69%	5,78%	5,17%		
Contenitori in plastica	1,36%	0,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,41%		
Plastica in film	4,61%	4,54%	5,08%	5,02%	5,30%	5,04%		
Altra plastica	0,68%	0,28%	0,15%	0,28%	0,00%	0,35%		
Contenitori IAF	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
Vetro	1,58%	0,84%	1,39%	1,62%	2,31%	1,50%		
Inerti pesanti	0,86%	0,44%	0,84%	0,84%	1,18%	0,75%		
Alluminio	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%		
Metalli	0,74%	0,57%	0,43%	0,57%	1,11%	0,63%		
Tessili	0,88%	0,85%	0,93%	0,86%	0,98%	0,86%		
Pelle, Cuoro, gomma	0,90%	0,45%	0,00%	0,00%	0,58%	0,38%		
Legno	8,62%	10,80%	8,00%	5,90%	2,40%	7,69%		
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
Pilobatterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
Farmaci	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
Pannolini	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 6

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	1/5
TABELLA C:		Peso in kg singole frazioni		SOTTOVAGLIO MM 20		MISTII	
Frazione	tesi 1	tesi 2	tesi 3	tesi 4	tesi 5		
	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg		
Organico	1,10	1,30	1,10	1,01	1,42		6,52
Carta	0,11	0,16	0,12	0,20	0,03		0,69
Cartone	0,08	0,00	0,04	0,12	0,01		0,36
Materie plastiche	0,02	0,12	0,10	0,03	0,03		0,40
Vetro/inerti	0,04	0,37	0,41	0,08	0,11		2,14
Metalli	0,04	0,02	0,00	0,04	0,04		0,14
Tessili	0,01	0,00	0,01	0,04	0,04		0,06
Cuoio e gomme	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01		0,02
Legno	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04		0,18
TOTALE	2,06	2,27	1,94	2,97	2,27		10,51

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	1/5
TABELLA D:		% in peso singole frazioni		SOTTOVAGLIO MM 20		MISTII	
Frazione	tesi 1	tesi 2	tesi 3	tesi 4	tesi 5		
	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso		
Organico	53,40%	57,27%	50,73%	53,87%	62,50%		62,04%
Carta	5,31%	7,05%	6,19%	8,08%	2,60%		6,57%
Cartone	3,88%	3,08%	2,58%	4,01%	1,78%		3,43%
Materie plastiche	0,97%	5,29%	7,22%	2,02%	2,60%		3,81%
Vetro/inerti	33,98%	25,11%	25,26%	26,26%	26,43%		20,36%
Metalli	1,46%	0,88%	0,52%	1,68%	1,32%		1,33%
Tessili	0,49%	0,41%	0,00%	0,67%	0,88%		0,57%
Cuoio e gomme	0,00%	0,41%	0,52%	0,00%	0,00%		0,19%
Legno	0,49%	0,41%	1,03%	3,37%	1,78%		1,71%
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		100,00%

APPENDICE

Tabella 7						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche:				Analisi n.:	1/6
Zona esecuzione analisi:	Impianto SARZANO (BO)					
Data esecuzione analisi:	13-mar-01					
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA					
Tipologia di rifiuto campionato:	Sopravaglio da trattamento secco-umido					
Zona provenienza rifiuti:	MIST I					
Raccolte effettuate sul territorio:						
Tipologia trattamento:	SOPRAVAGLIO SECCO da selezione secco-umido					
Sito campionamento:	interno					
Trasporto rifiuti:	da nastri trattamento					
Tipologia di raccolta:						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti					
Peso totale rifiuto conferito (kg)						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	60,39					
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche:				Analisi n.:	1/6
TABELLA A:	Peso in kg, singole frazioni		Sopravaglio da trattamento secco-umido			MISTI
Frazione	test 1 peso in kg	test 2 peso in kg	test 3 peso in kg	test 4 peso in kg	test 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato
inid	0,34	0,28	0,24	0,38	0,14	1,71
Organico	0,03	0,16	0,11	0,11	0,14	3,15
Carta	3,40	2,90	3,10	2,40	2,97	14,65
Cartone	4,80	2,97	1,97	2,77	3,17	15,40
Contenitori in plastica	1,10	0,90	0,80	0,35	0,35	3,30
Plastica in film	1,90	1,85	2,90	1,55	1,40	9,60
Altra plastica	0,50	0,20	0,10	0,30	0,20	1,30
Contenitori T/F	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Vetro	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Inerti pesanti	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,05
Alluminio	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01
Metalli	0,01	0,05	0,02	0,03	0,03	0,11
Tessili	0,85	0,98	1,35	0,95	1,50	5,63
Pelle, Cuoio, gomme	0,20	0,15	0,30	0,25	0,15	1,03
Legno	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,14
Altri rifiuti pericolosi	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00
Pile/batterie	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00
Farmaci	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00
Pannolini	1,05	0,00	0,00	1,15	0,75	4,25
TOTALE	14,92	11,58	12,11	10,55	11,23	60,39
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche:				Analisi n.:	1/6
TABELLA B:	% in peso singole frazioni		Sopravaglio da trattamento secco-umido			MISTI
Frazione	test 1 % in peso	test 2 % in peso	test 3 % in peso	test 4 % in peso	test 5 % in peso	% in peso sul totale campionato
inid	2,35%	2,42%	2,08%	3,60%	4,01%	2,83%
Organico	4,68%	6,88%	4,94%	5,68%	4,48%	5,22%
Carta	22,68%	24,98%	25,61%	22,68%	26,26%	24,26%
Cartone	32,17%	25,47%	16,10%	24,17%	28,03%	25,50%
Contenitori in plastica	7,37%	7,77%	4,07%	3,32%	3,12%	5,16%
Plastica in film	12,73%	15,99%	23,97%	14,69%	12,47%	15,90%
Altra plastica	3,33%	1,73%	0,83%	2,84%	1,78%	2,15%
Contenitori T/F	0,07%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,02%
Vetro	0,03%	0,03%	0,03%	0,28%	0,03%	0,03%
Inerti pesanti	0,03%	0,03%	0,34%	0,03%	0,03%	0,08%
Alluminio	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,02%
Metalli	0,07%	0,43%	0,17%	0,03%	0,27%	0,18%
Tessili	5,70%	8,40%	11,17%	9,07%	13,33%	9,52%
Pelle, Cuoio, gomme	1,34%	1,30%	2,48%	2,37%	1,34%	1,74%
Legno	0,34%	0,52%	0,03%	0,28%	0,03%	0,23%
Altri rifiuti pericolosi	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,00%
Pile/batterie	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,00%
Farmaci	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,00%
Pannolini	7,04%	5,18%	7,43%	10,97%	4,93%	7,04%
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 8

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	2/1
Zona esecuzione analisi:		Impianto SERRA - NOALE (VE)					
Data esecuzione analisi:		27-mar-01					
Metodologia di campionamento:		Metodo IPLA					
Tipologia di rifiuto campionato:		RUR SECCO					
Zona provenienza rifiuti:		SPINEA					
Raccante effettuato sul territorio:		raccolta a doppio cassonetto secco umido, campo carta, plastica, vetro-alluminio, RUP					
Tipologia zona di prelievo:		residenziale					
Sito campionamento:		esterno					
Trasporto rifiuti:		Autocarro compattante					
Tipologia di raccolta:		cassonetto secco					
Condizioni meteorologiche:		inifilmetri					
Peso totale rifiuto conferito (kg)		5.200,00					
TOTALE CAMPIONATO (kg)		354,71					
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	2/1
TABELLA A:		Peso in kg. singole frazioni				RUR SECCO	SPINEA
Frazione	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	peso frazioni sul totale campionato	
	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg		
umido	866	1116	1016	600	428	39,83	
Organico	2100	2200	1800	1300	1000	85,90	
Carta	1020	1700	1840	1200	700	71,90	
Cartone	500	1000	400	280	200	26,65	
Contenitori in plastica	385	245	105	125	080	10,30	
Plastica in film	455	700	485	350	265	23,25	
Altra plastica	420	105	145	120	080	9,50	
Contenitori T/F	105	035	025	010	000	1,75	
Vetro	380	125	480	300	220	19,15	
Inerti pesanti	000	205	115	080	080	10,15	
Alluminio	140	020	020	010	015	2,20	
Metalli	525	245	105	100	140	12,55	
Tessili	105	315	290	300	255	13,35	
Pelle, Cuoia, gomme	280	105	080	040	060	5,73	
Legno	035	280	130	115	090	7,15	
Altri rifiuti pericolosi	000	000	000	000	000	0,00	
Pile/batterie	000	000	000	000	000	0,00	
Farmaci	018	000	000	000	000	0,18	
Pannolini	345	255	240	225	100	12,15	
TOTALE	86,98	98,85	76,35	52,40	40,13	354,71	
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	2/1
TABELLA B:		% in peso singole frazioni				RUR SECCO	SPINEA
Frazione	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	% in peso sul totale campionato	
	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso		
umido	9,95%	11,28%	13,29%	10,69%	10,67%	11,23%	
Organico	23,56%	22,08%	21,23%	25,06%	22,16%	24,22%	
Carta	22,13%	17,08%	24,17%	25,28%	18,08%	21,12%	
Cartone	6,94%	10,16%	5,98%	5,98%	7,29%	7,51%	
Contenitori in plastica	4,43%	2,48%	2,77%	2,37%	1,93%	2,90%	
Plastica in film	5,23%	7,70%	6,37%	6,09%	6,07%	6,55%	
Altra plastica	4,83%	1,77%	1,90%	2,29%	2,26%	2,68%	
Contenitori T/F	1,21%	0,35%	0,33%	0,19%	0,00%	0,49%	
Vetro	4,37%	5,31%	6,39%	5,73%	5,63%	5,40%	
Inerti pesanti	0,00%	2,44%	1,51%	1,6%	1,91%	2,80%	
Alluminio	1,61%	0,33%	0,24%	0,11%	0,3%	0,62%	
Metalli	6,04%	2,48%	2,77%	2,8%	3,4%	3,54%	
Tessili	2,01%	3,19%	3,80%	5,7%	6,3%	3,76%	
Pelle, Cuoia, gomme	3,22%	1,0%	1,18%	0,7%	1,5%	1,62%	
Legno	0,40%	2,83%	2,4%	2,1%	2,37%	2,02%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pile/batterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Farmaci	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	
Pannolini	3,97%	2,7%	3,14%	4,2%	3,74%	3,43%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 9

Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/2
Zona esecuzione analisi:	Impianto SFRIDA - NOALE (VE)						
Data esecuzione analisi:	27-mar-01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	RUR SECCO						
Zona provenienza rifiuti:	COMUNI MISTI						
Raccolte effettuate sul territorio:	raccolta a doppio cassonetto secco umido, campagne carta, plastica, vetro-alluminio, RUP						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	esterno						
Trasporto rifiuti:	Autocarro compatante						
Tipologia di raccolta:	cassonetto secco						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)							
TOTALE CAMPIONATO (kg)	391,24						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/2
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni				RUR SECCO	COMUNI MISTI	
Frazione	tesi 1	tesi 2	tesi 3	tesi 4	tesi 5	peso frazioni	
	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	sul totale campionato	
inid	5,93	8,35	5,65	6,01	4,23	30,70	
Organico	1,64	10,61	12,34	10,61	8,84	57,89	
Carta	8,95	15,47	8,15	7,25	6,15	45,35	
Cartone	13,70	21,00	12,70	9,40	10,75	67,15	
Contenitori in plastica	6,85	10,25	5,55	4,70	7,55	34,90	
Plastica in film	9,80	9,00	6,50	8,45	8,10	41,85	
Altra plastica	9,95	1,25	1,20	2,05	0,15	14,60	
Contenitori TF	0,03	0,45	0,03	0,03	0,10	0,55	
Vetro	4,91	4,15	3,00	2,91	2,84	17,90	
Inerti pesanti	0,73	0,03	0,03	0,03	1,31	2,95	
Alluminio	0,70	0,75	0,25	0,77	0,30	2,35	
Metalli	6,35	5,35	3,00	2,50	2,85	20,05	
Tessili	1,00	1,45	1,00	2,55	1,55	7,55	
Pelle, Cuoio, gomme	5,50	3,50	0,85	3,50	3,00	16,45	
Legno	3,45	2,30	3,00	2,60	1,50	13,10	
Altri rifiuti pericolosi	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	
Filobatterie	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	
Farmaci	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	
Pannolini	2,30	3,30	6,30	2,55	3,00	17,65	
TOTALE	24,75	27,20	69,22	67,35	62,65	391,24	
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/2
TABELLA B:	% in peso singole frazioni				RUR SECCO	COMUNI MISTI	
Frazione	tesi 1	tesi 2	tesi 3	tesi 4	tesi 5	% in peso	
	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	sul totale campionato	
inid	6,23%	8,58%	8,01%	9,98%	6,70%	7,85%	
Organico	16,08%	11,08%	17,68%	15,98%	14,13%	14,80%	
Carta	8,88%	15,61%	11,78%	10,78%	9,85%	11,59%	
Cartone	14,48%	20,18%	18,08%	13,98%	16,98%	17,16%	
Contenitori in plastica	7,23%	10,73%	8,00%	6,98%	12,07%	8,92%	
Plastica in film	10,34%	9,30%	9,39%	12,57%	12,93%	10,70%	
Altra plastica	10,50%	1,29%	1,73%	3,04%	0,26%	3,73%	
Contenitori TF	0,00%	0,48%	0,00%	0,00%	0,16%	0,14%	
Vetro	5,22%	4,27%	4,33%	4,38%	4,58%	4,58%	
Inerti pesanti	0,58%	0,18%	0,08%	1,48%	2,38%	0,75%	
Alluminio	0,78%	0,77%	0,38%	0,88%	0,48%	0,60%	
Metalli	6,70%	5,70%	4,38%	3,78%	4,57%	5,12%	
Tessili	1,00%	1,40%	1,40%	3,78%	2,47%	1,93%	
Pelle, Cuoio, gomme	5,81%	3,60%	1,37%	5,20%	4,75%	4,20%	
Legno	3,68%	2,38%	4,33%	3,78%	3,11%	3,35%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Filobatterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Farmaci	0,48%	0,18%	0,08%	0,08%	0,08%	0,06%	
Pannolini	2,64%	3,40%	9,08%	3,78%	4,78%	4,51%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 10

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	2/3
Zona esecuzione analisi:	Impianto SERRA - NOALE (VE)						
Data esecuzione analisi:	27-mar-01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	FORSU						
Zona provenienza rifiuti:	NOALE						
Raccolte effettuate sul territorio:	raccolta a doppio cassonetto secco umido, campagne carta, plastica, vetro-alluminio, RUP						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	esterno						
Trasporto rifiuti:	Autocarro compattante						
Tipologia di raccolta:	cassonetto umido						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)	3.450,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	212,91						
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	2/3
TABELLA A:		Peso in kg. singole frazioni FORSU				NOALE	
Frazione	test 1 peso in kg	test 2 peso in kg	test 3 peso in kg	test 4 peso in kg	test 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
umido	10,08	7,80	6,21	5,05	4,80	34,68	
Organico	4,634	3,703	3,011	2,418	2,472	16,232	
Carta	0,54	0,30	0,37	1,44	0,72	3,36	
Cartone	0,18	0,30	0,48	0,42	0,18	1,56	
Contenitori in plastica	0,18	0,00	0,00	0,00	0,12	0,30	
Plastica in film	1,32	1,35	0,65	0,72	0,18	4,14	
Altra plastica	0,03	0,42	0,42	0,18	0,65	1,71	
Contenitori T/F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Vetro	0,30	0,48	0,34	0,42	0,18	1,92	
Inerti pesanti	0,00	0,00	0,18	0,12	0,00	0,30	
Alluminio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Metalli	0,12	0,18	0,00	0,00	0,30	0,60	
Tessili	0,00	0,12	0,18	0,51	0,00	0,84	
Pelle, Cuoio, gomme	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,18	
Legno	0,21	0,00	0,00	0,00	0,30	1,20	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pile/batterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Farmaci	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pannolini	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TOTALE	53,91	42,06	40,32	44,28	32,34	212,91	
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	2/3
TABELLA B:		% in peso singole frazioni FORSU				NOALE	
Frazione	test 1 % in peso	test 2 % in peso	test 3 % in peso	test 4 % in peso	test 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
umido	18,70%	18,51%	15,48%	13,00%	14,81%	16,29%	
Organico	7,90%	7,18%	6,88%	6,32%	6,41%	76,14%	
Carta	1,08%	0,71%	0,88%	3,24%	2,28%	1,58%	
Cartone	0,38%	0,71%	1,18%	0,91%	0,48%	0,73%	
Contenitori in plastica	0,38%	0,00%	0,00%	0,00%	0,37%	0,14%	
Plastica in film	2,47%	3,00%	1,64%	1,67%	0,53%	1,94%	
Altra plastica	0,03%	1,00%	1,08%	0,41%	2,06%	0,80%	
Contenitori T/F	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Vetro	0,56%	1,14%	1,38%	0,95%	0,56%	0,90%	
Inerti pesanti	0,00%	0,00%	0,48%	0,27%	0,00%	0,14%	
Alluminio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Metalli	0,22%	0,43%	0,00%	0,00%	0,93%	0,28%	
Tessili	0,00%	0,29%	0,42%	1,22%	0,00%	0,39%	
Pelle, Cuoio, gomme	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,53%	0,08%	
Legno	0,45%	0,00%	1,64%	0,00%	0,93%	0,56%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pile/batterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Farmaci	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pannolini	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 11

Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/4
Zona esecuzione analisi:	Impianto SFRITA - NOALE (VE)						
Data esecuzione analisi:	27-mar-01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	FORSU						
Zona provenienza rifiuti:	COMUNI MISTI						
Raccolte effettuate sul territorio:	raccolta a doppio cassonetto secco umido, campagne carta, plastica, vetro-alluminio, RIIP						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	esterno						
Trasporto rifiuto:	Autocarro compatante						
Tipologia di raccolta:	cassonetto umido						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)							
TOTALE CAMPIONATO (kg)	256,79						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/4
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni					FORSU	COMUNI MISTI
Frazione	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	peso frazioni	
	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	sul totale campionato	
imBØ	825	960	920	730	980	44,45	
Organico	2800	2800	2600	2600	2600	180,90	
Carta	220	240	220	100	200	11,70	
Cartone	000	020	070	040	030	1,50	
Contenitori in plastica	100	015	020	010	100	2,45	
Plastica in film	110	075	060	048	090	3,83	
Altra plastica	000	013	000	020	025	0,58	
Contenitori TF	000	000	000	000	000	0,00	
Vetro	000	000	000	000	000	2,85	
Inerti pesanti	000	000	000	000	000	0,00	
Alluminio	000	000	000	000	000	0,00	
Metalli	000	010	010	010	000	0,30	
Tessili	325	070	048	070	085	5,98	
Pelle, Cuoi, gomme	000	010	000	020	015	0,49	
Legno	000	035	025	000	025	1,36	
Altri rifiuti pericolosi	000	000	000	000	000	0,00	
Pile/batterie	000	000	000	000	000	0,00	
Farmaci	000	000	000	000	000	0,00	
Pannolini	000	000	000	000	000	0,00	
TOTALE	55,35	53,83	47,33	47,83	52,45	256,79	
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/4
TABELLA B:	% in peso singole frazioni					FORSU	COMUNI MISTI
Frazione	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	% in peso	
	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	sul totale campionato	
imBØ	149%	183%	19,1%	15,2%	18,6%	17,31%	
Organico	66,6%	71,5%	70,1%	71,2%	67,1%	70,45%	
Carta	4,0%	4,4%	4,7%	3,3%	3,8%	4,56%	
Cartone	0,0%	0,3%	1,0%	0,9%	0,5%	0,58%	
Contenitori in plastica	1,8%	0,3%	0,4%	0,2%	1,9%	0,95%	
Plastica in film	1,9%	1,3%	1,2%	1,0%	1,7%	1,49%	
Altra plastica	0,0%	0,2%	0,0%	0,4%	0,4%	0,23%	
Contenitori TF	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Vetro	1,2%	0,9%	1,1%	1,0%	1,1%	1,11%	
Inerti pesanti	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,3%	0,16%	
Alluminio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Metalli	0,0%	0,1%	0,2%	0,2%	0,0%	0,12%	
Tessili	5,6%	1,3%	1,0%	1,4%	1,6%	2,33%	
Pelle, Cuoi, gomme	0,0%	0,2%	0,0%	0,4%	0,2%	0,19%	
Legno	0,0%	0,6%	0,5%	1,0%	0,4%	0,53%	
Altri rifiuti pericolosi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Pile/batterie	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Farmaci	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Pannolini	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 11

Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/4
Zona esecuzione analisi:	Impianto SFRITA - NOALE (VE)						
Data esecuzione analisi:	27-mar-01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	FORSU						
Zona provenienza rifiuti:	COMUNI MISTI						
Raccolte effettuate sul territorio:	raccolta a doppio cassonetto secco umido, cartone carta, plastica, vetro-alluminio, RUP						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	esterno						
Trasporto rifiuto:	Autocarro compatante						
Tipologia di raccolta:	cassonetto umido						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)							
TOTALE CAMPIONATO (kg)	256,79						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/4
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni					FORSU	COMUNI MISTI
Frazione	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	peso frazioni sul totale campionato	
	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg		
imBØ	825	960	920	730	980	44,45	
Organico	2800	2800	2600	2600	2600	180,90	
Carta	220	240	220	100	200	11,70	
Cartone	000	020	070	040	030	1,50	
Contenitori in plastica	100	015	020	010	100	2,45	
Plastica in film	110	075	060	048	090	3,83	
Altra plastica	000	013	000	020	025	0,58	
Contenitori TF	000	000	000	000	000	0,00	
Vetro	000	000	000	000	000	2,85	
Inerti pesanti	000	000	000	000	000	0,00	
Alluminio	000	000	000	000	000	0,00	
Metalli	000	010	010	010	000	0,30	
Tessili	325	070	048	070	088	5,98	
Pelle, Cuoi, gomme	000	010	000	020	015	0,49	
Legno	000	035	025	000	025	1,36	
Altri rifiuti pericolosi	000	000	000	000	000	0,00	
Pile/batterie	000	000	000	000	000	0,00	
Farmaci	000	000	000	000	000	0,00	
Pannolini	000	000	000	000	000	0,00	
TOTALE	55,35	53,83	47,33	47,83	52,45	256,79	
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/4
TABELLA B:	% in peso singole frazioni					FORSU	COMUNI MISTI
Frazione	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	% in peso sul totale campionato	
	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso		
imBØ	149%	183%	19,1%	15,2%	18,6%	17,31%	
Organico	68,6%	71,5%	70,1%	71,2%	67,1%	70,45%	
Carta	4,0%	4,4%	4,7%	3,3%	3,8%	4,56%	
Cartone	0,0%	0,3%	1,0%	0,4%	0,5%	0,58%	
Contenitori in plastica	1,8%	0,3%	0,4%	0,2%	1,9%	0,95%	
Plastica in film	1,9%	1,3%	1,2%	1,0%	1,7%	1,49%	
Altra plastica	0,0%	0,2%	0,0%	0,4%	0,4%	0,23%	
Contenitori TF	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Vetro	1,2%	0,9%	1,1%	1,0%	1,1%	1,11%	
Inerti pesanti	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,3%	0,16%	
Alluminio	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Metalli	0,0%	0,1%	0,2%	0,2%	0,0%	0,12%	
Tessili	5,6%	1,3%	1,0%	1,4%	1,6%	2,33%	
Pelle, Cuoi, gomme	0,0%	0,2%	0,0%	0,4%	0,2%	0,19%	
Legno	0,0%	0,6%	0,5%	1,0%	0,4%	0,53%	
Altri rifiuti pericolosi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Pile/batterie	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Farmaci	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Pannolini	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 12							
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/5
Zona esecuzione analisi:	Impianto SERTA - NOALE (VF)						
Data esecuzione analisi:	27-mar-01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	Sottoglieo da trattamento FORSU						
Zona provenienza rifiuti:	COMUNI MISTI						
Raccolte effettuate sul territorio:	raccolta a doppio cassonetto secco-umido, campagne carta, plastica, vetro-alluminio, RUP						
Tipologia zona di prelievo:	SOTTOVAGLIO UMIDO di selezione secco-umido						
Sito campionamento:	interno						
Trasporto rifiuto:	da mastri trattamento						
Tipologia di raccolta:							
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)							
TOTALE CAMPIONATO (kg)	53,41						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/5
TABELLA A:	Peso in kg, singole frazioni		Sottoglieo da trattamento FORSU			COMUNI MISTI	
Frazione	test 1 peso in kg	test 2 peso in kg	test 3 peso in kg	test 4 peso in kg	test 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
umido	2,45	2,86	2,90	1,16	2,90	12,65	
Organico	1,03	1,14	0,74	1,14	1,03	5,05	
Carta	1,10	1,70	1,37	0,00	0,77	5,40	
Cartone	0,20	0,70	0,40	0,40	0,70	2,00	
Contenitori in plastica	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	
Plastica in film	0,50	0,45	0,02	0,01	0,20	1,18	
Altra plastica	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,06	
Contenitori T/F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Vetro	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,17	
Inerti pesanti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Alluminio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Metalli	0,10	0,20	0,00	0,00	0,10	0,40	
Tessili	0,02	0,00	0,00	0,10	0,00	0,12	
Pelle, Cuoio, gomme	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	
Legno	0,10	0,20	0,00	0,00	0,00	0,30	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fleobatterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Farmaci	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pannolini	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TOTALE	10,11	13,33	11,11	8,55	10,31	53,41	
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/5
TABELLA B:	% in peso singole frazioni		Sottoglieo da trattamento FORSU			COMUNI MISTI	
Frazione	test 1 % in peso	test 2 % in peso	test 3 % in peso	test 4 % in peso	test 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
umido	24,23%	21,38%	25,10%	18,13%	28,13%	23,68%	
Organico	10,38%	10,66%	5,76%	13,20%	10,28%	17,95%	
Carta	10,88%	11,28%	12,18%	13,18%	10,38%	10,11%	
Cartone	1,94%	3,23%	3,68%	4,68%	4,80%	3,74%	
Contenitori in plastica	0,00%	0,00%	0,18%	0,00%	0,00%	0,04%	
Plastica in film	4,97%	3,39%	0,18%	0,12%	1,94%	2,21%	
Altra plastica	0,00%	0,23%	0,18%	0,00%	0,10%	0,11%	
Contenitori T/F	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Vetro	0,20%	0,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,32%	
Inerti pesanti	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%	
Alluminio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Metalli	0,99%	1,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,75%	
Tessili	0,20%	0,00%	0,00%	1,17%	0,00%	0,22%	
Pelle, Cuoio, gomme	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	
Legno	0,99%	1,50%	0,36%	0,17%	0,00%	0,71%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Fleobatterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Farmaci	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pannolini	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 13

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	2/5
TABELLA C:		Peso in kg singole frazioni		SOTTOVAGLIO MM 20		COMUNIMISTI	
Frazione	tesi 1 peso in kg	tesi 2 peso in kg	tesi 3 peso in kg	tesi 4 peso in kg	tesi 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
Organico	1,30	1,60	1,45	2,00	1,30	7,65	
Carta	0,11	0,16	0,17	0,17	0,10	0,61	
Cartone	0,20	0,30	0,04	0,09	0,00	0,61	
Materiali plastici	0,02	0,10	0,01	0,07	0,04	0,22	
Vetro/inerti	0,00	0,20	0,55	0,15	0,75	2,25	
Metalli	0,02	0,01	0,00	0,10	0,08	0,19	
Tessili	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,09	
Cuoio e gomme	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Legno	0,00	0,00	0,02	0,02	0,08	0,14	
TOTALE	2,24	2,40	2,20	2,34	2,34	11,77	

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n.:	2/5
TABELLA D:		% in peso singole frazioni		SOTTOVAGLIO MM 20		COMUNIMISTI	
Frazione	tesi 1 % in peso	tesi 2 % in peso	tesi 3 % in peso	tesi 4 % in peso	tesi 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
Organico	57,27%	66,67%	65,70%	79,07%	55,08%	61,98%	
Carta	4,87%	6,67%	5,42%	4,74%	4,28%	5,18%	
Cartone	8,88%	12,50%	1,82%	2,77%	0,00%	5,18%	
Materiali plastici	0,88%	4,17%	0,52%	1,98%	1,68%	1,89%	
Vetro/inerti	25,43%	8,33%	24,89%	5,58%	31,60%	19,11%	
Metalli	0,88%	0,4%	0,18%	3,18%	2,54%	1,61%	
Tessili	0,44%	0,4%	0,18%	0,78%	1,27%	0,76%	
Cuoio e gomme	0,00%	0,4%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	
Legno	0,44%	0,4%	0,90%	0,78%	3,33%	1,19%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 14

Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/6
Zona esecuzione analisi:	Impianto SERRA - NOALE (VE)						
Data esecuzione analisi:	27-mar-01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	Sopravaglio da trattamento FORSU						
Zona provenienza rifiuti:	COMUNIMISTI						
Raccolte effettuate sul territorio:	raccolta a doppio cassonetto secco-umido, campagne carta, plastica, vetro-alluminio, RIIP						
Tipologia zona di prelievo:	SOPRAVAGLIO SECCO di selezione secco-umido						
Sito campionamento:	interno						
Transporto rifiuto:	da mastri trattamento						
Tipologia di raccolta:							
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto campionario (kg)							
TOTALE CAMPIONATO (kg)	46,60						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/6
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni		Sopravaglio da trattamento FORSU			COMUNIMISTI	
Frazione	tesi 1 peso in kg	tesi 2 peso in kg	tesi 3 peso in kg	tesi 4 peso in kg	tesi 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
inid	0,23	0,65	0,85	0,83	0,23	2,30	
Organico	0,43	0,0	0,15	0,28	0,28	1,57	
Carta	2,77	3,77	2,00	3,00	1,20	13,20	
Cartone	0,0	2,40	2,00	1,35	2,77	9,20	
Contenitori in plastica	0,30	0,55	0,40	0,00	0,15	1,40	
Plastica in film	1,55	2,00	0,80	1,80	1,15	7,40	
Altra plastica	0,20	0,15	0,00	0,50	0,25	1,30	
Contenitori T/F	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	
Vetro	0,03	0,10	0,00	0,00	0,10	0,25	
Inerti pesanti	0,03	0,10	0,00	0,00	0,00	0,25	
Alluminio	0,07	0,10	0,00	0,15	0,00	0,30	
Metalli	0,10	0,25	0,00	0,10	0,00	0,45	
Tessili	1,15	0,80	1,40	0,20	0,50	4,15	
Pelle, Cuoio, gomme	0,20	0,20	0,00	0,00	0,35	0,75	
Legno	0,23	0,00	0,15	0,00	0,25	0,80	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pile/batterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Farmaci	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pannolini	0,75	0,55	0,80	0,40	0,75	5,25	
TOTALE	8,60	12,00	9,68	8,18	8,13	46,60	
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	2/6
TABELLA B:	% in peso singole frazioni		Sopravaglio da trattamento FORSU			COMUNIMISTI	
Frazione	tesi 1 % in peso	tesi 2 % in peso	tesi 3 % in peso	tesi 4 % in peso	tesi 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
inid	2,33%	5,42%	8,78%	1,89%	2,45%	4,94%	
Organico	4,66%	0,00%	1,56%	3,42%	2,98%	3,57%	
Carta	28,08%	29,88%	20,98%	36,68%	14,78%	28,33%	
Cartone	0,47%	20,00%	20,98%	16,30%	33,58%	19,74%	
Contenitori in plastica	3,46%	4,78%	4,13%	0,00%	1,84%	3,09%	
Plastica in film	18,02%	16,67%	8,30%	22,00%	14,13%	15,89%	
Altra plastica	2,33%	1,25%	0,00%	6,11%	5,53%	2,79%	
Contenitori T/F	0,00%	0,00%	0,38%	0,00%	0,00%	0,06%	
Vetro	0,58%	0,83%	0,00%	0,00%	1,23%	0,54%	
Inerti pesanti	0,00%	0,83%	1,08%	0,00%	0,87%	0,54%	
Alluminio	0,58%	0,83%	0,00%	1,84%	0,00%	0,64%	
Metalli	1,16%	2,08%	0,00%	1,22%	0,00%	0,97%	
Tessili	13,37%	7,70%	14,40%	2,44%	6,14%	8,91%	
Pelle, Cuoio, gomme	2,33%	1,67%	0,00%	0,00%	4,30%	1,61%	
Legno	2,33%	0,00%	1,58%	0,00%	5,53%	1,72%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pile/batterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Farmaci	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pannolini	8,72%	4,78%	8,20%	4,88%	9,20%	6,97%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 15

Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	3/1
Zona esecuzione analisi:	Stazione di trasferimento di VITTORIO VENETO						
Data esecuzione analisi:	20-apr-01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	RUR SECCO						
Zona provenienza rifiuti:	COLLE UMBERTO						
Raccolte effettuate sul territorio:	raccolta a doppio cassonetto secco umido, campione carta, plastica, vetro-alluminio, RUP						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	esterno						
Trasporto rifiuti:	Autocarro compatto						
Tipologia di raccolta:	cassonetto secco						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)	4.350,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	315,42						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	3/1
TABELLA A:	Peso in kg, singole frazioni					COLLE UMBERTO	
	<i>seri 1</i>	<i>seri 2</i>	<i>seri 3</i>	<i>seri 4</i>	<i>seri 5</i>	peso frazioni	
Frazione	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	sul totale campionato	
Imidi	1,10	7,80	4,10	1,14	7,84	26,10	
Organico	5,14	7,45	5,50	10,05	11,80	39,94	
Carta	1,44	13,03	4,11	1,01	10,40	39,61	
Cartone	11,10	8,90	7,40	11,25	9,45	48,40	
Contenitori in plastica	1,84	1,10	0,14	4,14	3,41	15,25	
Plastica in film	4,76	5,10	8,90	5,40	7,30	31,46	
Altra plastica	1,34	1,10	0,14	3,14	2,41	8,54	
Contenitori T/F	0,15	0,10	0,25	0,25	0,40	1,35	
Vetro	0,44	1,40	0,14	0,14	1,04	3,20	
Inerti pesanti	0,25	0,10	0,55	0,30	0,45	1,65	
Alluminio	0,14	0,10	0,24	1,04	0,14	1,30	
Metalli	1,30	1,85	0,95	1,85	2,10	8,05	
Tessili	4,44	7,03	4,84	3,04	10,40	31,52	
Pelle, Cuoio, gomme	1,37	1,00	0,50	4,80	2,70	10,37	
Legno	1,14	1,40	7,84	3,04	0,10	21,10	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	
Picobatterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fenacci	0,00	0,00	0,05	0,10	0,00	0,16	
Fanfulli	2,04	7,84	2,14	3,04	5,00	21,60	
TOTALE	51,76	75,16	49,60	62,85	76,05	315,42	
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	3/1
TABELLA B:	% in peso singole frazioni					COLLE UMBERTO	
	<i>seri 1</i>	<i>seri 2</i>	<i>seri 3</i>	<i>seri 4</i>	<i>seri 5</i>	% in peso	
Frazione	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	sul totale campionato	
Imidi	0,34%	2,35%	1,27%	0,35%	2,47%	8,17%	
Organico	1,59%	2,32%	1,13%	3,19%	3,74%	12,66%	
Carta	0,44%	4,04%	1,24%	0,32%	3,30%	12,57%	
Cartone	3,52%	2,83%	2,28%	3,57%	3,01%	15,34%	
Contenitori in plastica	0,57%	0,35%	0,04%	1,28%	1,08%	4,83%	
Plastica in film	1,49%	1,62%	2,82%	1,71%	2,32%	9,98%	
Altra plastica	0,33%	0,33%	0,04%	0,74%	0,76%	2,71%	
Contenitori T/F	0,05%	0,03%	0,08%	0,08%	0,13%	0,43%	
Vetro	0,14%	0,43%	0,04%	0,04%	0,33%	1,33%	
Inerti pesanti	0,08%	0,03%	0,16%	0,09%	0,14%	0,52%	
Alluminio	0,04%	0,03%	0,08%	0,32%	0,04%	0,41%	
Metalli	0,41%	0,57%	0,29%	0,58%	0,67%	2,55%	
Tessili	1,40%	2,25%	1,44%	0,94%	3,30%	9,99%	
Pelle, Cuoio, gomme	0,43%	0,32%	0,16%	1,51%	0,86%	3,29%	
Legno	0,35%	0,44%	2,49%	0,96%	0,03%	6,72%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,03%	
Picobatterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Fenacci	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	
Fanfulli	0,64%	2,49%	0,65%	0,48%	1,58%	6,85%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 16

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n°	
Zona esecuzione analisi:	Stazione di trasferimento di VITTORIO VENETO						
Data esecuzione analisi:	20 apr 01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPIA						
Tipologia di rifiuto campionato:	RUR SECCO						
Zona provenienza rifiuti:	CATEGORIA DI SANI URBANO						
Raccolta effettuata sul territorio:	raccolta a doppio cassonero secco umido, campane carta, plastica, vetro-alluminio, RUP						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	esterno						
Trasporto rifiuto:	Autocarro compatto						
Tipologia di raccolta:	cassonero secco						
Condizioni meteorologiche:	infilucni						
Peso totale rifiuto conferito (kg)	5.200,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	200,45						

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n°	
TABELLA A:		Peso in kg singole frazioni				RUR SECCO	
						GODEGA DI SANI URBANO	
Frazione	resi 1 peso in kg	resi 2 peso in kg	resi 3 peso in kg	resi 4 peso in kg	resi 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
ammD	2,11	1,11	2,91	4,11	3,41	18,55	
Organico	3,01	7,51	4,35	6,15	2,10	23,10	
Carta	3,41	9,41	2,81	3,15	4,11	22,85	
Cartone	4,91	5,01	3,45	7,95	8,15	29,40	
Contenitori in plastica	1,45	3,55	1,91	2,15	2,00	11,05	
Plastica in film	3,91	10,41	3,21	3,91	1,81	29,70	
Altra plastica	1,75	1,00	4,15	2,55	3,00	12,45	
Contenitori T/F	0,21	0,10	0,21	0,45	0,25	1,20	
Vetro	0,31	1,01	0,15	0,31	0,41	2,20	
Inerti pesanti	0,10	0,15	0,15	0,10	0,20	1,00	
Alluminio	0,21	0,10	0,10	0,11	0,11	1,15	
Metalli	0,80	1,55	0,80	0,20	0,35	3,50	
Tessili	0,91	2,91	1,15	1,00	0,95	6,80	
Balle, Cuoio, gomma	1,91	1,91	0,91	1,91	2,91	8,00	
Legno	2,00	1,00	8,40	2,90	0,35	14,65	
Altri rifiuti pericolosi	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,60	
Pile/batterie	0,00	0,10	0,00	0,00	0,05	0,15	
Farmaci	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	
Banconi	1,31	4,10	2,01	3,15	2,90	13,65	
TOTALE	28,40	55,10	37,00	47,55	32,40	200,45	

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche				Analisi n°	
TABELLA B:		% in peso singole frazioni				RUR SECCO	
						GODEGA DI SANI URBANO	
Frazione	resi 1 % in peso	resi 2 % in peso	resi 3 % in peso	resi 4 % in peso	resi 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
ammD	6,80%	9,05%	7,97%	9,10%	10,05%	9,75%	
Organico	11,44%	13,63%	11,62%	12,94%	6,44%	11,52%	
Carta	11,98%	17,08%	7,57%	6,62%	12,60%	11,40%	
Cartone	17,43%	9,07%	9,32%	16,52%	25,15%	14,67%	
Contenitori in plastica	5,11%	6,44%	5,14%	4,52%	6,17%	5,51%	
Plastica in film	13,91%	19,42%	8,78%	20,90%	5,71%	14,83%	
Altra plastica	4,10%	1,81%	11,22%	1,34%	1,48%	6,21%	
Contenitori T/F	0,70%	0,18%	0,54%	0,95%	0,77%	0,60%	
Vetro	1,00%	1,81%	0,41%	0,63%	1,30%	1,10%	
Inerti pesanti	0,35%	0,27%	0,41%	0,21%	0,62%	0,50%	
Alluminio	0,88%	0,18%	1,88%	2,00%	0,40%	1,07%	
Metalli	2,11%	2,81%	2,16%	0,42%	1,04%	1,75%	
Tessili	3,17%	5,08%	3,11%	2,10%	2,93%	3,39%	
Pelle, Cuoio, gomma	5,40%	3,43%	1,48%	4,03%	6,44%	3,99%	
Legno	7,04%	1,81%	22,70%	6,11%	1,04%	7,31%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pile/batterie	0,00%	0,18%	0,00%	0,00%	0,16%	0,07%	
Farmaci	0,00%	0,00%	0,14%	0,00%	0,00%	0,07%	
Banconi	5,24%	7,44%	5,40%	6,62%	8,93%	6,81%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 17

Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	4/1
Zona esecuzione analisi:	Impianto SELEZIONE DI VERELAGO						
Data esecuzione analisi:	29 apr 01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPIA						
Tipologia di rifiuto campionato:	SECCO DA RACCOLTA DIFFERENZIATA MULTIMATERIALE						
Zona provenienza rifiuti:	PONZANO VENETO						
Raccolta effettuata nel territorio:	cassonetti nel quale, porta a porta multimateriale plastica, vetro, lamina						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	esterno						
Trasporto rifiuti:	Autocarro compatante						
Tipologia di raccolta:	porta a porta multimateriale plastica, vetro, lamina						
Condizioni meteorologiche:	inquinati						
Peso totale rifiuto conferito (kg)	5.070,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	268,86						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	4/1
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni					SECCO DA RACCOLTA DIFFERENZIATA MUL	PONZANO VENETO
Frazione	resi 1 peso in kg	resi 2 peso in kg	resi 3 peso in kg	resi 4 peso in kg	resi 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
inid	1,03	0,94	1,62	0,34	1,27	5,29	
Organico	0,13	0,03	0,23	0,03	0,11	0,44	
Carta	0,27	0,94	0,41	0,16	0,63	2,65	
Cartone	0,54	1,24	0,81	0,43	0,94	3,97	
Contenitori in plastica	8,22	21,30	12,58	8,52	10,91	70,59	
Plastica in film	0,81	1,24	1,22	0,43	1,10	4,85	
Altra plastica	1,33	1,49	2,03	0,52	1,69	7,06	
Contenitori T/F	1,03	3,73	1,02	1,33	2,43	10,15	
Vetro	21,07	41,27	32,27	14,04	33,34	141,62	
Inerti pesanti	0,00	0,50	0,00	0,17	0,21	0,88	
Alluminio	0,40	0,94	0,61	0,34	0,74	3,09	
Metalli	2,39	5,47	3,65	1,91	4,23	17,65	
Tessili	0,13	0,00	0,21	0,00	0,11	0,44	
Pelle, Cuoio, gomma	0,04	0,00	0,04	0,00	0,03	0,09	
Legno	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,09	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Filobatterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Farmaci	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Barattoli	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TOTALE	37,42	81,29	57,32	28,41	64,40	268,86	
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	4/1
TABELLA B:	% in peso singole frazioni					SECCO DA RACCOLTA DIFFERENZIATA MUL	PONZANO VENETO
Frazione	resi 1 % in peso	resi 2 % in peso	resi 3 % in peso	resi 4 % in peso	resi 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
inid	2,83%	1,22%	2,83%	1,22%	1,97%	1,97%	
Organico	0,34%	0,04%	0,34%	0,04%	0,16%	0,16%	
Carta	0,71%	1,22%	0,71%	1,22%	0,98%	0,98%	
Cartone	1,42%	1,53%	1,42%	1,53%	1,48%	1,48%	
Contenitori in plastica	21,18%	26,18%	21,18%	29,18%	26,24%	26,24%	
Plastica in film	2,12%	1,53%	2,12%	1,53%	1,81%	1,81%	
Altra plastica	3,44%	1,84%	3,44%	1,84%	2,63%	2,63%	
Contenitori T/F	2,83%	4,58%	2,83%	4,58%	3,77%	3,77%	
Vetro	56,30%	49,54%	56,30%	49,54%	52,07%	52,07%	
Inerti pesanti	0,00%	0,61%	0,00%	0,61%	0,33%	0,33%	
Alluminio	1,00%	1,22%	1,00%	1,22%	1,15%	1,15%	
Metalli	6,34%	6,74%	6,34%	6,74%	6,48%	6,56%	
Tessili	0,35%	0,00%	0,35%	0,00%	0,16%	0,16%	
Pelle, Cuoio, gomma	0,07%	0,00%	0,07%	0,00%	0,03%	0,03%	
Legno	0,05%	0,00%	0,05%	0,00%	0,03%	0,03%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Filobatterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Farmaci	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Barattoli	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 18

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche					Analisi n.:	4/2
Zona ascensione analisi:	Impianto SELEZIONI DI VEDUGO							
Data esecuzione analisi:	20 apr 01							
Metodologia di campionamento:	Metodo IPIA							
Tipologia di rifiuto campionato:	SECCO DA RACCOLTA DIFFERENZIATA MULTIMATERIALE							
Zona provenienza rifiuto:	LOREGGIA							
Raccolta effettuata sul territorio:	cassonetti sul quale, campione multimateriale							
Tipologia zona di prelievo:	residenziale							
Sito campionamento:	esterno							
Trasporto rifiuto:	Autocarro compatante							
Tipologia di raccolta:	campane multimateriale vetro, plastica, lamina							
Condizioni meteorologiche:	minifluenti							
Peso totale rifiuto conferito (kg)	3.290,00							
TOTALE CAMPIONATO (kg)	251,60							
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche					Analisi n.:	4/3
TABELLA A:		SECCO DA RACCOLTA DIFFERENZIATA MUL					LOREGGIA	
Peso in kg singole frazioni		test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	peso frazioni sul totale campionato	
Frazione		peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg		
umido		7,40	9,84	1,14	6,10	6,34	34,65	
Organico		0,13	0,03	0,06	0,03	0,06	0,24	
Carta		0,13	0,15	0,03	0,22	0,17	0,73	
Cartone		0,03	0,07	0,01	0,11	0,08	0,24	
Contenitori in plastica		16,00	8,11	7,21	12,42	13,85	58,25	
Plastica in film		0,43	0,43	0,11	0,43	0,54	1,93	
Altra plastica		1,03	0,37	0,45	0,58	0,75	3,16	
Contenitori T/F		1,42	0,73	0,61	1,12	1,21	5,10	
Vetro		41,23	22,84	23,73	30,18	19,81	142,56	
Inerti pesanti		0,00	0,07	0,00	0,11	0,00	0,24	
Alluminio		0,43	0,22	0,11	0,34	0,21	1,21	
Metalli		1,48	1,10	0,61	1,68	1,53	6,43	
Tessili		0,13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,24	
Pelle, Cuoio, gomma		0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,00	
Legno		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Altri rifiuti pericolosi		0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,00	
File/astrie		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Farmaci		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	
Barattoli		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	
TOTALE		69,95	43,36	38,40	58,03	44,65	251,60	
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche					Analisi n.:	4/3
TABELLA B:		SECCO DA RACCOLTA DIFFERENZIATA MUL					LOREGGIA	
% in peso singole frazioni		test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	% in peso sul totale campionato	
Frazione		% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso		
umido		10,29%	21,80%	14,45%	10,50%	14,22%	13,67%	
Organico		0,19%	0,06%	0,1%	0,05%	0,1%	0,10%	
Carta		0,18%	0,3%	0,15%	0,3%	0,3%	0,29%	
Cartone		0,04%	0,17%	0,03%	0,19%	0,1%	0,10%	
Contenitori in plastica		23,01%	18,71%	18,77%	21,4%	31,1%	22,90%	
Plastica in film		0,37%	0,59%	0,29%	0,68%	0,71%	0,57%	
Altra plastica		1,4%	0,8%	1,1%	1,0%	1,0%	1,24%	
Contenitori T/F		2,0%	1,6%	1,6%	1,9%	2,7%	2,00%	
Vetro		58,9%	52,0%	61,3%	61,2%	44,0%	56,04%	
Inerti pesanti		0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,10%	
Alluminio		0,37%	0,51%	0,29%	0,58%	0,6%	0,48%	
Metalli		2,1%	2,6%	1,6%	2,9%	3,4%	2,53%	
Tessili		0,18%	0,0%	0,15%	0,0%	0,1%	0,10%	
Pelle, Cuoio, gomma		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Legno		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Altri rifiuti pericolosi		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
File/astrie		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Farmaci		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Barattoli		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
TOTALE		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 19

Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	5/1
Zona esecuzione analisi:	Discarica di RESCHIGLIANO						
Data esecuzione analisi:	20 feb 01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	SECCO						
Zona provenienza rifiuti:	CAMPO SAN MARTINO (PD)						
Raccolte effettuate sul territorio:	porta a porta secco, FORS Ue frazione secca riciclabile, verde a domicilio, cocentro						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	esterno						
Trasporto rifiuti:	Autocarro compatanza						
Tipologia di raccolta:	porta a porta secco						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)	4.800,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	253,86						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	5/1
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni SECCO					CAMPO SAN MARTINO (PD)	
Frazione	test 1 peso in kg	test 2 peso in kg	test 3 peso in kg	test 4 peso in kg	test 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
inerti	2,04	1,08	2,12	1,24	2,08	10,58	
Organico	7,05	5,41	5,77	6,61	6,44	31,29	
Carta	7,03	8,39	10,09	15,51	12,49	60,70	
Cartone	7,42	3,11	5,14	4,92	5,80	28,25	
Contenitori in plastica	0,18	0,88	0,32	1,13	0,10	4,43	
Plastica in film	10,61	12,43	8,71	3,75	9,19	44,69	
Altra plastica	3,44	0,74	2,13	3,23	2,43	11,94	
Contenitori T/F	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	
Vetro	1,45	1,33	0,78	1,03	1,31	6,53	
Inerti pesanti	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	
Alluminio	0,32	0,23	0,17	0,37	0,31	1,45	
Metalli	0,19	0,43	0,23	0,33	0,45	2,19	
Tessili	2,08	0,25	4,11	0,11	1,82	8,84	
Pelle, Cuoio, gomma	0,40	0,35	0,22	0,46	0,37	1,81	
Legno	1,10	0,98	0,58	1,23	1,02	4,96	
Altri rifiuti pericolosi	0,11	0,11	0,11	0,12	0,10	0,47	
Pilobatterie	0,12	0,11	0,13	0,12	0,12	0,08	
Farmaci	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,24	
Pireclini	11,44	3,13	4,04	8,33	7,28	35,11	
TOTALE	58,23	49,99	52,12	51,29	52,22	253,86	
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	5/1
TABELLA B:	% in peso singole frazioni SECCO					CAMPO SAN MARTINO (PD)	
Frazione	test 1 % in peso	test 2 % in peso	test 3 % in peso	test 4 % in peso	test 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
inerti	5,05%	4,20%	4,80%	2,40%	4,17%	4,17%	
Organico	12,11%	13,53%	11,09%	12,90%	12,32%	12,32%	
Carta	13,01%	21,09%	21,19%	31,23%	23,91%	23,91%	
Cartone	12,76%	7,60%	9,87%	13,30%	11,13%	11,13%	
Contenitori in plastica	1,03%	2,28%	1,09%	2,19%	1,74%	1,74%	
Plastica in film	18,72%	21,09%	16,71%	7,31%	17,61%	17,61%	
Altra plastica	5,90%	1,80%	3,88%	6,41%	4,71%	4,71%	
Contenitori T/F	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,00%	
Vetro	2,48%	3,24%	1,48%	3,24%	2,57%	2,57%	
Inerti pesanti	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Alluminio	0,38%	0,72%	0,33%	0,72%	0,57%	0,57%	
Metalli	0,84%	1,01%	0,71%	1,04%	0,84%	0,86%	
Tessili	4,77%	0,63%	7,67%	0,00%	3,48%	3,48%	
Pelle, Cuoio, gomma	0,63%	0,51%	0,41%	0,50%	0,71%	0,71%	
Legno	1,81%	2,44%	1,13%	2,44%	1,91%	1,95%	
Altri rifiuti pericolosi	0,18%	0,23%	0,11%	0,23%	0,19%	0,19%	
Pilobatterie	0,03%	0,03%	0,03%	0,04%	0,03%	0,03%	
Farmaci	0,03%	0,02%	0,03%	0,02%	0,03%	0,09%	
Pireclini	19,61%	9,18%	8,90%	16,39%	13,95%	13,95%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 20

Comune di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	5/2
Zona esecuzione analisi:	Diceria di RESCHIGLIANO						
Data esecuzione analisi:	20 feb 01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	SECCO						
Zona provenienza rifiuti:	VIGODARZERE (PD)						
Raccolte effettuate sul territorio:	porta a porta secco, FORSU e frazione secca riciclabile, verde a domicilio, ecocentro						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	esterno						
Trasporto rifiuto:	Autocarro compatto						
Tipologia di raccolta:	porta a porta secco						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)	3.700,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	266,34						
Comune di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	5/2
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni SECCO					VIGODARZERE (PD)	
Frazione	test 1 peso in kg	test 2 peso in kg	test 3 peso in kg	test 4 peso in kg	test 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
mmf	0,00	1,13	1,34	1,13	1,22	5,75	
Organico	9,22	6,15	4,61	10,76	8,27	39,02	
Carta	7,91	11,53	10,40	6,70	9,83	46,39	
Cartone	4,39	1,13	3,01	11,77	1,46	25,76	
Contenitori in plastica	0,84	3,48	1,67	0,83	3,15	14,86	
Plastica in film	5,71	5,07	8,58	4,70	6,48	30,57	
Altra plastica	2,12	1,23	3,11	3,81	4,08	19,23	
Contenitori T.F.	0,15	0,00	0,00	0,00	0,04	0,19	
Vetro	1,81	0,00	2,22	0,00	1,08	5,12	
Inerti pesanti	4,13	0,00	0,00	0,00	1,11	5,24	
Alluminio	0,00	1,68	0,00	0,00	0,52	2,49	
Metalli	1,30	0,00	0,37	1,05	0,73	3,45	
Tessili	6,34	1,22	0,00	7,63	1,14	24,23	
Pelle, Cuoio, gomma	0,83	0,00	0,00	0,00	0,22	1,08	
Legno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Filofaberie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ferrosi	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	
Penrodini	10,10	6,42	7,00	18,67	5,01	42,68	
TOTALE	62,28	47,06	42,50	58,04	56,46	266,34	
Comune di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	5/2
TABELLA B:	% in peso singole frazioni SECCO					VIGODARZERE (PD)	
Frazione	test 1 % in peso	test 2 % in peso	test 3 % in peso	test 4 % in peso	test 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
mmf	1,40%	2,41%	3,20%	1,95%	2,10%	2,16%	
Organico	14,81%	13,07%	10,89%	18,54%	14,69%	14,65%	
Carta	12,74%	24,41%	24,49%	11,54%	17,44%	17,42%	
Cartone	7,01%	2,41%	7,05%	20,28%	9,07%	9,67%	
Contenitori in plastica	9,38%	7,13%	3,93%	1,44%	5,28%	5,58%	
Plastica in film	9,27%	10,77%	20,14%	8,01%	11,48%	11,48%	
Altra plastica	4,09%	11,32%	7,38%	6,51%	7,22%	7,33%	
Contenitori T.F.	0,24%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	0,07%	
Vetro	2,91%	0,00%	5,22%	0,00%	1,94%	1,92%	
Inerti pesanti	6,62%	0,00%	0,00%	0,00%	1,97%	1,97%	
Alluminio	0,13%	3,57%	0,44%	0,00%	0,93%	0,93%	
Metalli	2,04%	0,00%	0,82%	1,82%	1,31%	1,30%	
Tessili	10,03%	11,09%	0,00%	13,15%	9,10%	9,10%	
Pelle, Cuoio, gomma	1,37%	0,00%	0,00%	0,00%	0,41%	0,41%	
Legno	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Filofaberie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Ferrosi	0,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%	0,11%	
Penrodini	16,88%	13,70%	16,48%	16,68%	16,02%	16,03%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 21

Collocazione di Reno (DO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	5/3
Zona esecuzione analisi:	Diceria di RIFSCHEGIANO						
Data esecuzione analisi:	20 Feb 01						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	SECCO						
Zona provenienza rifiuti:	VILLA DEL CONTE (PD)						
Raccolte effettuate sul territorio:	porta a porta secco, FORSU e frazione secca riciclabile, verde a domicilio, cocentro						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	caterno						
Trasporto rifiuto:	Minicompartore						
Tipologia di raccolta:	porta a porta secco						
Condizioni meteorologiche:	infiltranti						
Peso totale rifiuto conferito (kg)	4.100,00						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	275,49						
Collocazione di Reno (DO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	5/3
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni					VILLA DEL CONTE (PD)	
Frazione	<i>test 1</i> peso in kg	<i>test 2</i> peso in kg	<i>test 3</i> peso in kg	<i>test 4</i> peso in kg	<i>test 5</i> peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
inerti	3,94	1,20	1,01	2,12	2,14	11,41	
Organico	8,79	3,28	4,37	5,46	6,66	28,50	
Carta	5,51	5,00	7,72	4,51	7,18	30,72	
Cartone	8,98	7,44	4,81	6,43	8,42	36,01	
Contenitori in plastica	1,46	0,01	0,01	0,73	1,12	4,77	
Plastica in film	6,38	7,90	4,88	4,20	7,12	30,48	
Altra plastica	6,12	17,41	3,31	24,08	16,61	69,52	
Contenitori T/F	0,01	0,01	0,06	0,01	0,48	1,12	
Vetro	0,00	0,00	2,28	0,00	0,70	2,98	
Inerti pesanti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	
Alluminio	0,04	0,73	1,30	0,01	0,78	3,27	
Metalli	1,25	0,00	0,81	0,00	0,61	2,76	
Tessili	3,32	1,77	7,74	4,13	5,17	22,13	
Pelle, Cuoio, gomma	0,28	0,01	0,01	0,01	0,01	0,31	
Legno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Altri rifiuti pericolosi	2,41	0,01	0,01	0,01	0,70	3,90	
Pilobatterie	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	
Ferriacci	0,52	0,00	0,00	0,00	0,16	0,68	
Pannolini	8,44	3,61	3,82	5,74	6,04	28,40	
TOTALE	57,19	50,32	44,07	59,53	64,39	275,49	
Collocazione di Reno (DO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	5/3
TABELLA B:	% in peso singole frazioni					VILLA DEL CONTE (PD)	
Frazione	<i>test 1</i> % in peso	<i>test 2</i> % in peso	<i>test 3</i> % in peso	<i>test 4</i> % in peso	<i>test 5</i> % in peso	% in peso sul totale campionato	
inerti	5,92%	2,52%	3,81%	3,55%	4,00%	4,01%	
Organico	15,24%	6,52%	9,91%	9,17%	10,33%	10,35%	
Carta	11,64%	11,54%	17,54%	7,57%	11,19%	11,15%	
Cartone	15,45%	14,79%	11,03%	10,80%	13,07%	13,07%	
Contenitori in plastica	2,91%	1,92%	1,24%	1,21%	1,73%	1,73%	
Plastica in film	11,10%	15,70%	11,07%	7,06%	11,03%	11,07%	
Altra plastica	10,70%	34,69%	7,62%	43,99%	25,10%	25,16%	
Contenitori T/F	0,01%	0,01%	1,56%	0,01%	0,48%	0,41%	
Vetro	0,01%	0,01%	5,17%	0,01%	1,04%	1,08%	
Inerti pesanti	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Alluminio	1,19%	1,43%	2,46%	0,01%	1,19%	1,19%	
Metalli	2,21%	0,01%	1,91%	0,01%	0,61%	0,99%	
Tessili	5,80%	3,52%	17,57%	6,91%	8,03%	8,03%	
Pelle, Cuoio, gomma	0,42%	0,01%	0,01%	0,01%	0,11%	0,11%	
Legno	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	
Altri rifiuti pericolosi	4,02%	0,00%	0,00%	0,00%	1,09%	1,09%	
Pilobatterie	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	
Ferriacci	0,81%	0,01%	0,01%	0,01%	0,24%	0,25%	
Pannolini	14,76%	7,17%	8,68%	9,61%	10,31%	10,31%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

APPENDICE

Tabella 22

Calderara di Reno (RC)		Analisi macrologiche			Analisi n.:		5/1
Zona esecuzione analisi:		Discarica di RINCHIGLIANO					
Data esecuzione analisi:		20 Feb 01					
Metodologia di campionamento:		Metodo IPLA					
Tipologia di rifiuto campionato:		SHCCO					
Zona provenienza rifiuti:		Villanova di Camposampiero (PD)					
Raccolte effettuate sul territorio:		porta a porta secco, FORSU e frazione secca riciclabile, verde a domicilio, cocontro					
Tipologia zona di provenienza:		residenziale					
Sito campionamento:		civico					
Trasporto rifiuto:		Minicompartimento					
Tipologia di raccolta:		porta a porta secco					
Condizioni meteorologiche:		ininfluenti					
Peso totale rifiuto conferito (kg)		5.400,00					
TOTALE CAMPIONATO (kg)		221,20					
Calderara di Reno (RC)		Analisi macrologiche			Analisi n.:		5/4
TABELLA A:		Peso in kg singole frazioni SHCCO			Villanova di Camposampiero (PD)		
Frazione	test 1 peso in kg	test 2 peso in kg	test 3 peso in kg	test 4 peso in kg	test 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
Imballaggio	1,24	1,10	1,40	1,34	1,12	6,40	
Organico	8,03	4,25	3,09	5,30	4,53	25,77	
Carta	7,48	3,16	1,50	17,44	6,33	35,88	
Cantone	14,44	9,40	2,11	0,40	0,01	39,26	
Contenitori in plastica	5,74	1,25	0,65	1,84	2,01	11,45	
Plastica in film	6,18	5,91	5,08	7,33	5,21	29,65	
Altra plastica	2,62	2,27	1,41	3,04	2,04	11,57	
Contenitori T.F.	1,14	0,01	1,40	0,84	0,01	3,93	
Vetro	0,08	1,03	0,51	1,20	0,73	4,15	
Inerti pesanti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	
Alluminio	4,17	2,40	0,20	0,19	1,04	9,46	
Miscelati	0,29	0,73	1,31	0,98	0,62	3,54	
Tessili	0,24	0,11	1,41	0,11	0,01	3,12	
Pelle, Cuoio, gomma	0,36	0,01	0,01	0,01	0,01	0,41	
Legno	1,23	0,00	1,85	0,00	0,00	3,74	
Altri rifiuti pericolosi	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	
Rifiuti sanitari	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	
Ferrosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Plumbici	8,11	8,40	3,10	11,00	2,40	32,55	
TOTALE	62,80	40,35	25,74	56,53	35,38	221,20	
Calderara di Reno (RC)		Analisi macrologiche			Analisi n.:		5/1
TABELLA B:		% in peso singole frazioni SHCCO			Villanova di Camposampiero (PD)		
Frazione	test 1 % in peso	test 2 % in peso	test 3 % in peso	test 4 % in peso	test 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
Imballaggio	20,6%	2,7%	6,6%	2,1%	3,1%	2,90%	
Organico	13,5%	10,4%	12,4%	9,3%	12,7%	11,6%	
Carta	11,9%	7,8%	5,8%	31,8%	17,7%	16,22%	
Cantone	22,7%	23,4%	8,3%	11,4%	19,3%	17,75%	
Contenitori in plastica	9,1%	3,0%	2,4%	3,2%	5,0%	5,1%	
Plastica in film	9,8%	14,6%	19,7%	13,3%	14,6%	13,40%	
Altra plastica	4,3%	5,0%	5,2%	5,0%	5,7%	5,3%	
Contenitori T.F.	1,8%	0,0%	5,0%	1,4%	1,5%	1,7%	
Vetro	1,0%	2,5%	1,9%	2,1%	2,0%	1,88%	
Inerti pesanti	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Alluminio	6,6%	5,9%	1,2%	1,0%	4,6%	4,28%	
Miscelati	0,4%	1,8%	5,1%	1,8%	1,2%	1,60%	
Tessili	0,4%	1,3%	5,8%	1,0%	1,8%	1,55%	
Pelle, Cuoio, gomma	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,19%	
Legno	1,9%	0,0%	7,4%	0,0%	1,8%	1,69%	
Altri rifiuti pericolosi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Rifiuti sanitari	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Ferrosi	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00%	
Plumbici	13,5%	20,7%	13,6%	17,0%	6,8%	14,72%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 23

Comune di Reno (DO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	6/1	
Zona esecuzione analisi:	Impianto SAT SASSUOLO							
Data esecuzione analisi:	23 feb 00							
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA							
Tipologia di rifiuto campionato:	RSU al quale da ritirare							
Zona provenienza rifiuti:	COMUNI SAT SASSUOLO							
Raccolte effettuate sul territorio:	caso unico nel quale, raccolta secco riciclabile a campione							
Tipologia zona di prelievo:	residenziale							
Sito campionamento:	esterno							
Trasporto rifiuto:	Autocarro compatto							
Tipologia di raccolta:	CASSONETTI TAL QUALE							
Condizioni merceologiche:	influenti							
Peso totale rifiuto campionato (kg)								
TOTALE CAMPIONATO (kg)	206,19							
Comune di Reno (DO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	6/1	
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni					RSU al quale da ritirare		COMUNI SAT SASSUOLO
Frazione	test 1 peso in kg	test 2 peso in kg	test 3 peso in kg	test 4 peso in kg	test 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato		
inid	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Organico	13,14	14,01	13,14	14,01	8,82	63,18		
Carta	8,25	8,78	7,92	8,93	7,03	41,91		
Cartone	2,04	2,24	1,18	2,24	1,64	10,26		
Contenitori in plastica	1,22	1,37	1,37	1,15	1,01	6,12		
Plastica in film	1,53	1,71	1,71	1,41	1,23	7,65		
Altra plastica	1,28	1,64	0,84	0,77	0,11	5,42		
Contenitori T/F	0,11	0,14	0,05	0,05	0,07	0,43		
Vetro	1,91	2,43	2,11	1,91	1,78	10,21		
Inerti pesanti	0,22	0,27	0,24	0,22	0,14	1,13		
Alluminio	0,05	0,11	0,05	0,07	0,03	0,31		
Metalli	0,31	0,61	0,38	0,38	0,15	1,76		
Tessili	2,16	1,62	1,81	2,03	1,14	10,26		
Pelle, Cuio, gomma	0,51	0,38	0,00	0,18	0,35	2,34		
Legno	0,51	0,93	0,33	0,51	0,33	2,70		
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Filobatterie	0,02	0,02	0,03	0,05	0,02	0,13		
Farmaci	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,18		
Pannolini	0,11	0,62	0,11	0,62	0,62	3,96		
TOTALE	42,30	45,90	43,74	42,03	32,22	206,19		
Comune di Reno (DO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	6/1	
TABELLA B:	% in peso singole frazioni					RSU al quale da ritirare		COMUNI SAT SASSUOLO
Frazione	test 1 % in peso	test 2 % in peso	test 3 % in peso	test 4 % in peso	test 5 % in peso	% in peso sul totale campionato		
inid	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%		
Organico	31,18%	31,18%	31,18%	31,18%	22,36%	31,18%		
Carta	19,74%	19,14%	18,11%	21,21%	21,93%	19,83%		
Cartone	4,91%	4,78%	1,53%	5,33%	5,47%	4,99%		
Contenitori in plastica	2,98%	2,98%	3,14%	2,74%	3,14%	2,91%		
Plastica in film	3,62%	3,73%	3,91%	3,43%	3,61%	3,73%		
Altra plastica	3,02%	3,57%	1,89%	1,83%	2,79%	2,63%		
Contenitori T/F	0,26%	0,30%	0,12%	0,16%	0,22%	0,20%		
Vetro	4,63%	5,23%	4,81%	4,53%	5,53%	4,95%		
Inerti pesanti	0,51%	0,59%	0,53%	0,51%	0,41%	0,55%		
Alluminio	0,14%	0,24%	0,12%	0,16%	0,09%	0,14%		
Metalli	0,72%	1,33%	0,73%	0,88%	0,47%	0,83%		
Tessili	5,17%	3,53%	4,12%	6,42%	6,15%	4,99%		
Pelle, Cuio, gomma	1,24%	0,83%	0,00%	0,43%	1,12%	1,14%		
Legno	1,21%	1,98%	0,82%	1,24%	1,12%	1,30%		
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
Filobatterie	0,04%	0,04%	0,01%	0,11%	0,01%	0,04%		
Farmaci	0,08%	0,08%	0,03%	0,15%	0,08%	0,08%		
Pannolini	2,13%	1,57%	2,03%	1,71%	2,23%	1,92%		
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		

APPENDICE

Tabella 24

Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	6/2
Zona esecuzione analisi:	Impianto SAT SASSUOLO						
Data esecuzione analisi:	23 feb 00						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	Sottovaglio da trattamento secco-umido						
Zona provenienza rifiuti:	COMUNI SAT SASSUOLO						
Raccolte effettuate sul territorio:							
Tipologia trattamento:	SOTTOVAGLIO UMIDO da selezione secco-umido						
Sito campionamento:	interno						
Trasporto rifiuto:	da nasri trattamento						
Tipologia di raccolta:							
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto campionato (kg)	792,92						
TOTALE CAMPIONATO (kg)	792,92						
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	6/2
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni		Sottovaglio da trattamento secco-umido			COMUNI SAT SASSUOLO	
Frazione	tesi 1 peso in kg	tesi 2 peso in kg	tesi 3 peso in kg	tesi 4 peso in kg	tesi 5 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
umido	11,94	4,134	41,24	71,03	44,4	184,09	
Organico	37,60	102,63	92,14	79,52	90,28	411,13	
Carta	13,73	20,91	18,70	13,39	19,10	86,12	
Cartone	1,14	2,34	2,04	1,43	2,16	9,57	
Contenitori in plastica	0,12	0,33	0,51	0,21	0,31	1,50	
Plastica in film	1,99	5,57	8,00	4,16	5,20	25,49	
Altra plastica	0,24	0,63	1,01	0,43	0,61	3,00	
Contenitori T/F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Vetro	3,05	8,09	13,29	7,00	11,80	48,02	
Inerti pesanti	0,41	0,60	1,48	0,84	1,14	5,34	
Alluminio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Metalli	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tessili	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,20	
Pelle, Cuoio, gomme	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Legno	1,08	4,59	4,13	3,55	4,45	18,41	
Altri rifiuti pericolosi	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10	0,50	
Filobatterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ferrosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pannolini	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10	0,50	
TOTALE	77,78	192,57	183,24	146,99	192,34	792,92	
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche					Analisi n.:	6/2
TABELLA B:	% in peso singole frazioni		Sottovaglio da trattamento secco-umido			COMUNI SAT SASSUOLO	
Frazione	tesi 1 % in peso	tesi 2 % in peso	tesi 3 % in peso	tesi 4 % in peso	tesi 5 % in peso	% in peso sul totale campionato	
umido	21,08%	23,80%	22,52%	21,22%	23,11%	23,22%	
Organico	48,34%	130,94%	110,94%	141,14%	130,58%	131,41%	
Carta	17,63%	10,88%	10,23%	9,11%	10,04%	10,89%	
Cartone	1,99%	1,21%	1,13%	1,00%	1,12%	1,20%	
Contenitori in plastica	0,18%	0,17%	0,28%	0,17%	0,18%	0,19%	
Plastica in film	2,52%	2,89%	4,69%	2,89%	2,70%	3,22%	
Altra plastica	0,30%	0,33%	0,55%	0,30%	0,32%	0,38%	
Contenitori T/F	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	
Vetro	4,83%	4,51%	7,23%	5,17%	7,69%	6,09%	
Inerti pesanti	0,52%	0,53%	0,81%	0,57%	0,58%	0,67%	
Alluminio	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	
Metalli	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Tessili	0,03%	0,03%	0,03%	0,07%	0,03%	0,03%	
Pelle, Cuoio, gomme	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,08%	
Legno	2,16%	2,39%	2,27%	2,42%	2,30%	2,32%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Filobatterie	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	
Ferrosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pannolini	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 25

Comune di Reno (BO)	Analisi microbiologiche					Analisi n.:	6/3
Zona esecuzione analisi:	Impianto SAT SASSUOLO						
Data esecuzione analisi:	23 feb 00						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	Sopravaglio da trattamento secco-umido						
Zona provenienza rifiuti:	COMUNI SAT SASSUOLO						
Raccolte effettuate sul territorio:							
Tipologia trattamento:	SOPRAVAGLIO SECCO da selezione secco-umido						
Sito campionamento:	interno						
Trasporto rifiuto:	da nostri trattamenti						
Tipologia di raccolta:							
Condizioni microbiologiche:	ininfluenti						
Peso totale rifiuto campionato (kg)							
TOTALE CAMPIONATO (kg)	842,57						

Comune di Reno (BO)	Analisi microbiologiche					Analisi n.:	6/3
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni		Sopravaglio da trattamento secco-umido			COMUNI SAT SASSUOLO	
Frazione	<i>test 1</i>	<i>test 2</i>	<i>test 3</i>	<i>test 4</i>	<i>test 5</i>	peso frazioni sul totale campionato	
	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg	peso in kg		
Imbid.	1,10	0,84	0,84	0,84	0,84	4,05	
Organico	9,58	8,85	7,03	5,95	5,42	36,41	
Carta	77,31	67,62	76,88	59,10	60,48	341,42	
Cartone	34,11	30,14	34,99	27,44	28,22	159,33	
Contenitori in plastica	9,67	9,62	10,14	5,65	7,71	43,08	
Plastica in film	30,20	37,20	39,01	21,17	26,91	161,56	
Altra plastica	2,42	2,48	2,14	1,41	1,14	10,77	
Contenitori T&F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	
Vetro	2,80	2,30	2,70	1,02	1,09	10,50	
Inerti pesanti	0,14	0,14	0,14	0,11	0,13	1,21	
Alluminio	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,36	
Metalli	0,25	0,18	0,21	0,08	0,13	0,84	
Tessili	0,44	1,64	0,40	4,18	1,04	28,45	
Pelle, Cuoio, gomme	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,15	
Legno	1,50	1,45	0,55	0,20	0,80	6,50	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pneumatiche	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ferrosi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Paralleli	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TOTALE	192,90	176,44	190,44	134,43	148,34	842,57	

Comune di Reno (BO)	Analisi microbiologiche					Analisi n.:	6/3
TABELLA B:	% in peso singole frazioni		Sopravaglio da trattamento secco-umido			COMUNI SAT SASSUOLO	
Frazione	<i>test 1</i>	<i>test 2</i>	<i>test 3</i>	<i>test 4</i>	<i>test 5</i>	% in peso sul totale campionato	
	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso	% in peso		
Imbid.	0,58%	0,58%	0,41%	0,40%	0,41%	0,48%	
Organico	4,98%	4,98%	3,69%	4,14%	3,61%	4,32%	
Carta	40,08%	38,33%	40,37%	43,98%	40,77%	40,52%	
Cartone	18,71%	17,89%	18,89%	20,50%	19,00%	18,01%	
Contenitori in plastica	4,98%	4,69%	4,59%	4,18%	4,68%	5,11%	
Plastica in film	16,80%	21,08%	19,98%	15,73%	18,18%	19,17%	
Altra plastica	1,26%	1,41%	1,33%	1,08%	1,30%	1,28%	
Contenitori T&F	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,01%	
Vetro	1,45%	1,30%	1,42%	0,76%	1,14%	1,25%	
Inerti pesanti	0,18%	0,18%	0,18%	0,08%	0,13%	0,14%	
Alluminio	0,18%	0,08%	0,18%	0,18%	0,08%	0,04%	
Metalli	0,13%	0,10%	0,11%	0,08%	0,08%	0,10%	
Tessili	3,30%	3,19%	3,33%	3,08%	3,40%	3,38%	
Pelle, Cuoio, gomme	0,18%	0,18%	0,18%	0,08%	0,18%	0,02%	
Legno	0,78%	0,82%	0,28%	0,15%	0,54%	0,53%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pneumatiche	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,00%	
Ferrosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Paralleli	1,68%	1,27%	1,71%	5,13%	1,70%	4,73%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

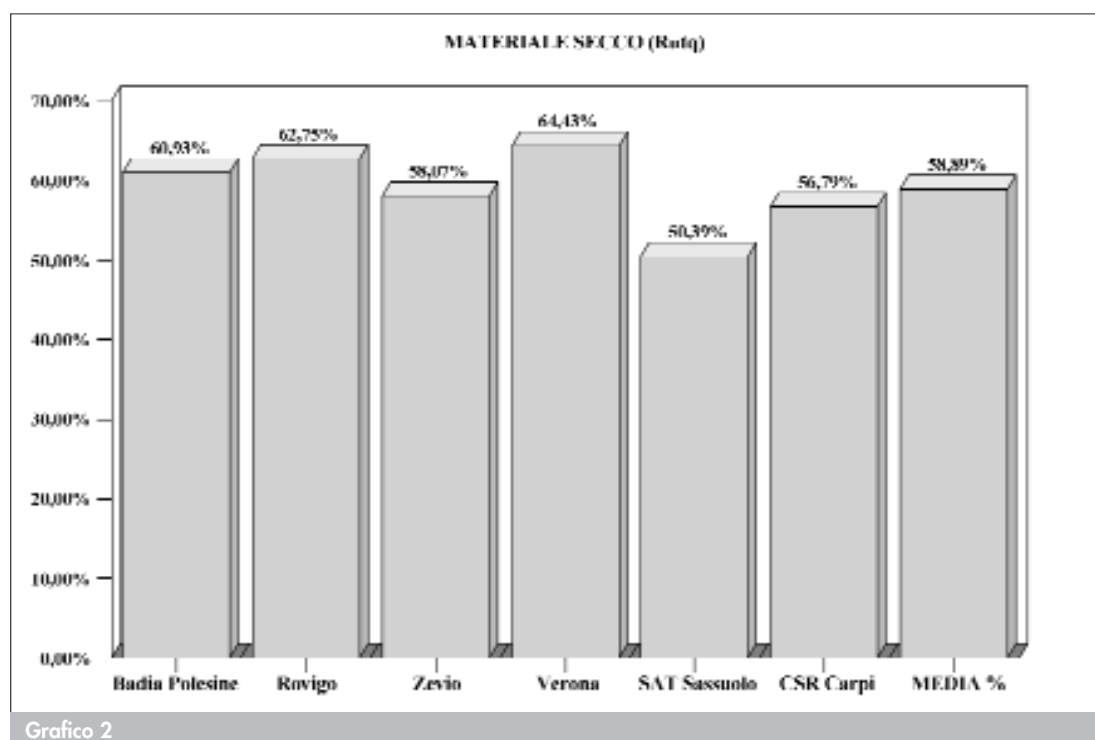
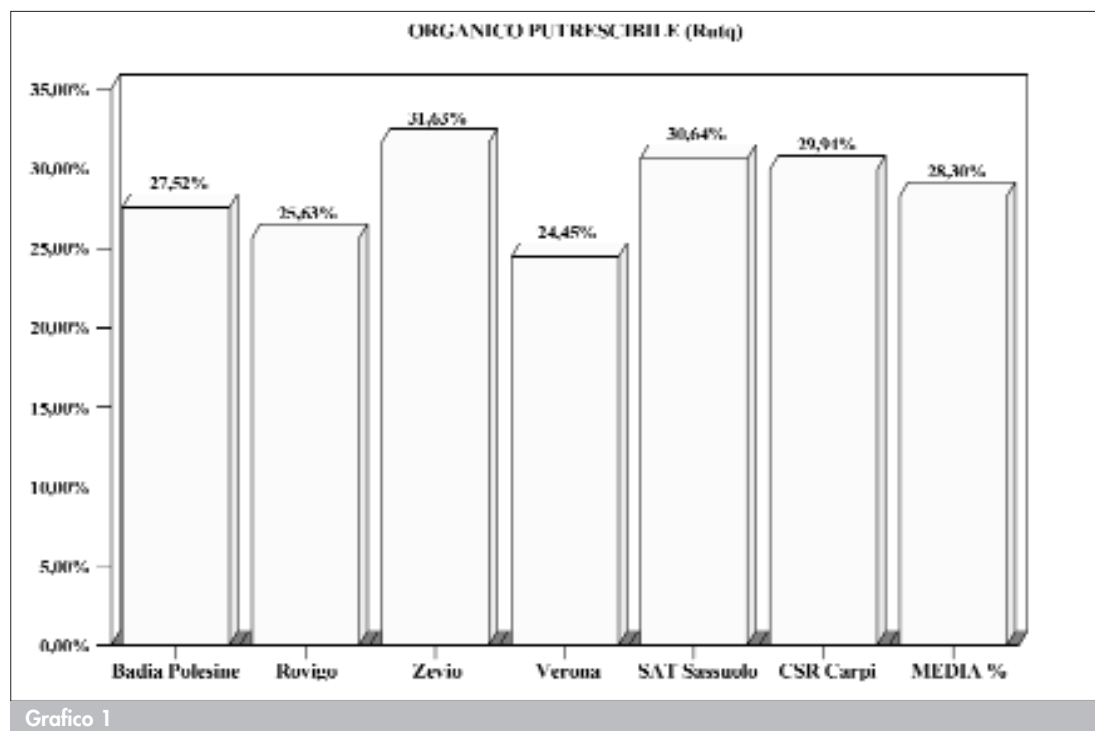
APPENDICE

Tabella 26

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche			Analisi n:		7/1 - 7/2 - 7/3 - 7/4 - 7/5
Zona associazione analisi:	Impianto CSR CARPI						
Data esecuzione analisi:	giugno 2000						
Metodologia di campionamento:	Metodo IPLA						
Tipologia di rifiuto campionato:	varie frazioni impianto selezione secco umido						
Zona provenienza rifiuti:	COMUNI CSR CARPI (BO)						
Raccolte effettuate sul territorio:	cassonetto dal quale, raccolta FORSU, raccolta secco riciclabile a campione						
Tipologia zona di prelievo:	residenziale						
Sito campionamento:	interno						
Trasparenza rifiuto:	Anoscuro compatto						
Tipologia di raccolta:	CASSONETTI TAL QUALE						
Condizioni meteorologiche:	ininfluenti						
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche			Analisi n:		7/1 - 7/2 - 7/3 - 7/4 - 7/5
TABELLA A:		Peso in kg singole frazioni			varie frazioni impianto selezione secco umido		
Frazione	Alimentazione peso in kg	Sottovaglio (80x180) peso in kg	Supravaglio (80x180) peso in kg	Sottovaglio (30 mm) peso in kg	Supravaglio (30 mm) peso in kg		
inerti	494	310	161	814	1134		
Organico	11,01	10,52	1,41	2,92	0,51		
Carta	7,92	4,30	4,01	0,93	1,82		
Cartone	1,99	1,19	1,13	0,29	0,14		
Contenitori in plastica	0,74	0,25	1,34	0,18	0,22		
Plastica in film	1,37	0,07	2,42	0,33	1,40		
Altra plastica	0,14	0,23	0,24	0,44	0,22		
Contenitori T/F	0,04	0,12	0,12	0,12	0,01		
Vetro	1,03	0,32	0,00	0,19	0,13		
Inerti pesanti	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11		
Alluminio	0,24	0,12	0,11	0,11	0,11		
Metalli	0,81	0,11	0,00	0,00	0,00		
Tessili	2,11	0,10	3,11	0,11	0,11		
Pelle, Cuoro, gomme	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11		
Legno	1,03	1,08	0,12	0,22	0,02		
Altri rifiuti pericolosi	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11		
Pile/batterie	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11		
Fermetti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Pennolini	1,11	0,11	0,11	0,11	0,11		
TOTALE	36,87	23,52	17,23	16,03	7,21		
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche			Analisi n:		7/1 /7/2 /7/3 /7/4 /7/5
TABELLA B:		% in peso singole frazioni			varie frazioni impianto selezione secco umido		
Frazione	Alimentazione % in peso	Sottovaglio (80x180) % in peso	Supravaglio (80x180) % in peso	Sottovaglio (30 mm) % in peso	Supravaglio (30 mm) % in peso		
inerti	13,20%	11,88%	9,25%	5,08%	11,6%		
Organico	29,64%	44,71%	8,32%	18,22%	7,01%		
Carta	21,41%	18,31%	23,44%	5,81%	25,30%		
Cartone	5,10%	4,57%	5,80%	1,80%	0,32%		
Contenitori in plastica	1,91%	1,09%	7,73%	1,09%	10,44%		
Plastica in film	3,70%	1,11%	14,31%	2,01%	19,34%		
Altra plastica	1,80%	1,20%	2,20%	3,02%	3,09%		
Contenitori T/F	0,10%	0,12%	0,12%	0,10%	0,15%		
Vetro	2,84%	1,44%	0,11%	1,17%	1,79%		
Inerti pesanti	0,51%	0,23%	0,00%	0,21%	0,31%		
Alluminio	0,24%	0,23%	0,00%	0,11%	0,11%		
Metalli	2,24%	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%		
Tessili	7,87%	2,13%	23,13%	0,00%	7,07%		
Pelle, Cuoro, gomme	1,41%	0,11%	1,24%	0,11%	2,77%		
Legno	2,80%	4,51%	0,67%	1,31%	0,6%		
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
Pile/batterie	0,24%	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%		
Fermetti	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%		
Pennolini	4,31%	3,02%	3,58%	0,00%	10,98%		
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		

**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

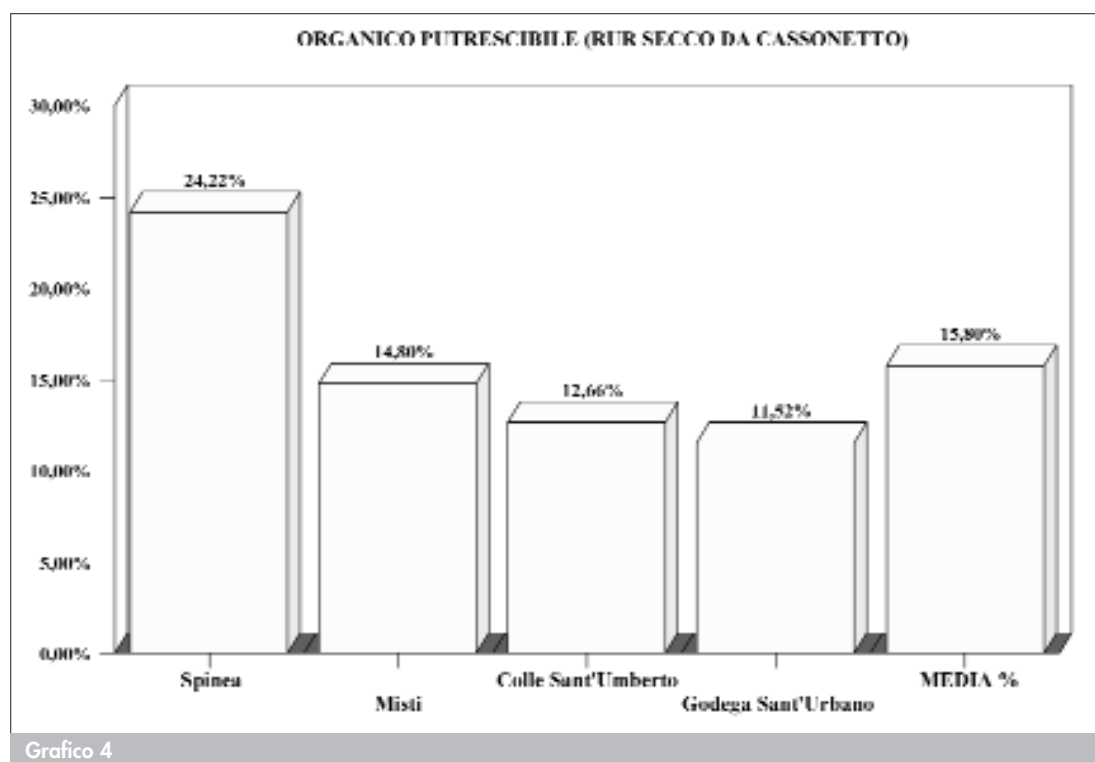
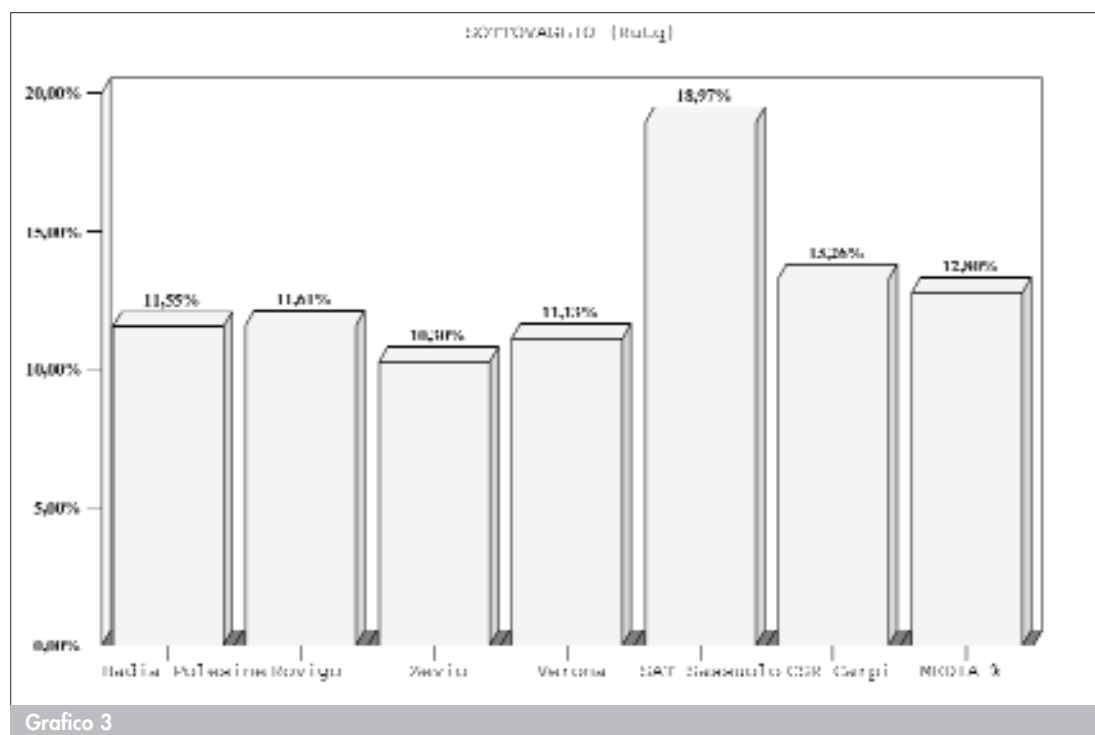
Tabella 27								
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche					Analisi n.:	R/1
Tipologia di rifiuto campionato:		CASSONETTO TAL QUALE						
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche					Analisi n.:	R/1
TABELLA A:		CASSONETTO TAL QUALE						
Peso in kg singole frazioni								
Frazione	Analisi 1 peso in kg	Analisi 2 peso in kg	Analisi 3 peso in kg	Analisi 4 peso in kg	Analisi 5 peso in kg	Analisi 6 peso in kg	peso frazioni sul totale campionato	
	Badia Polesine	Rovigo	Zevio	Verona	SAT Sassuolo	CSR Carpi		
mmØ	3021	2503	2523	2330	3012	489	149,36	
Organico	7159	3533	8153	5121	6118	1104	334,49	
Carta	3218	5135	3802	4630	4101	752	221,42	
Cantone	2967	2378	2314	2118	1023	189	109,90	
Contenitori in plastica	1132	503	1061	332	612	071	37,22	
Plastica in film	1504	749	1762	2195	765	137	73,12	
Altra plastica	791	393	1035	638	542	068	35,54	
Contenitori T/F	201	131	121	029	043	004	6,05	
Vetro	1185	1501	1105	364	1021	105	52,63	
Inerti pesanti	244	211	011	674	114	114	14,10	
Alluminio	219	317	275	457	031	035	13,36	
Metalli	841	629	191	084	143	084	24,07	
Tessili	1148	255	1320	368	1025	290	47,08	
Pelle, Cuoio, gomma	741	139	111	111	294	011	14,29	
Legno	841	681	170	183	270	105	22,53	
Altri rifiuti pericolosi	001	019	011	011	011	011	0,05	
Pile/batterie	008	001	000	000	013	009	0,30	
Ferrosi	011	011	011	011	018	011	1,12	
Paraffina	512	353	1020	772	385	160	32,13	
TOTALE	26157	22041	25466	20955	20619	3687	1189,25	
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche					Analisi n.:	R/1
TABELLA B:		CASSONETTO TAL QUALE						
% in peso singole frazioni								
Frazione	Analisi 1 % in peso	Analisi 2 % in peso	Analisi 3 % in peso	Analisi 4 % in peso	Analisi 5 % in peso	Analisi 6 % in peso	% in peso sul totale campionato	
	Badia Polesine	Rovigo	Zevio	Verona	SAT Sassuolo	CSR Carpi	MEDIA %	
mmØ	11,55%	11,64%	10,30%	11,13%	14,67%	13,23%	12,80%	
Organico	27,54%	15,55%	31,64%	24,44%	29,64%	29,94%	28,30%	
Carta	12,30%	23,26%	14,93%	22,05%	19,90%	20,40%	19,21%	
Cantone	11,34%	10,64%	9,08%	10,11%	4,94%	1,10%	8,57%	
Contenitori in plastica	4,33%	2,28%	4,18%	1,59%	2,97%	1,99%	2,89%	
Plastica in film	5,73%	3,41%	6,94%	11,44%	3,71%	3,03%	5,82%	
Altra plastica	3,02%	1,81%	4,14%	3,33%	2,63%	1,89%	2,80%	
Contenitori T/F	0,77%	0,59%	0,47%	0,14%	0,21%	0,10%	0,43%	
Vetro	4,53%	6,81%	4,36%	1,74%	4,95%	2,88%	4,21%	
Inerti pesanti	0,93%	1,18%	0,29%	3,24%	0,54%	0,57%	1,13%	
Alluminio	0,84%	1,44%	1,08%	2,18%	0,15%	0,98%	1,11%	
Metalli	3,21%	2,94%	2,34%	0,41%	0,64%	2,24%	1,99%	
Tessili	5,51%	1,16%	5,18%	1,76%	4,98%	7,87%	4,41%	
Pelle, Cuoio, gomma	2,81%	0,61%	0,41%	0,54%	1,44%	1,41%	1,21%	
Legno	3,21%	3,10%	0,67%	0,87%	1,30%	2,87%	2,01%	
Altri rifiuti pericolosi	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	
Pile/batterie	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,26%	0,06%	
Ferrosi	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,08%	0,04%	0,14%	
Paraffina	1,95%	1,63%	4,01%	3,65%	1,92%	4,30%	2,92%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	



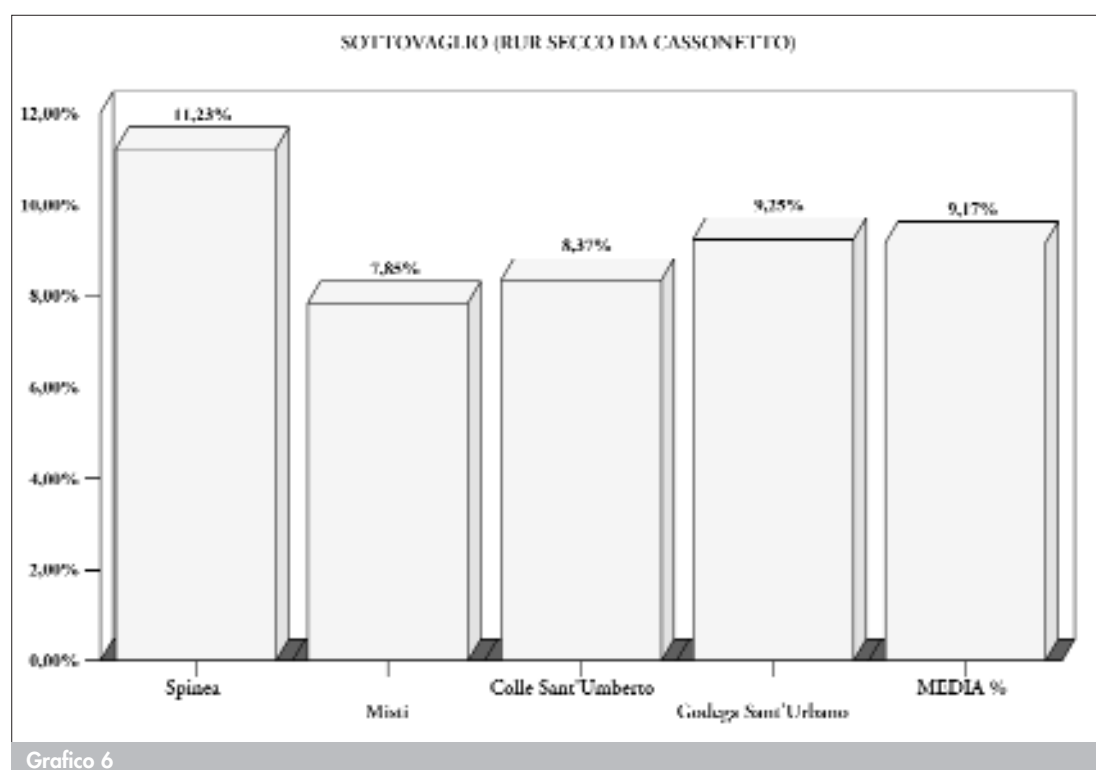
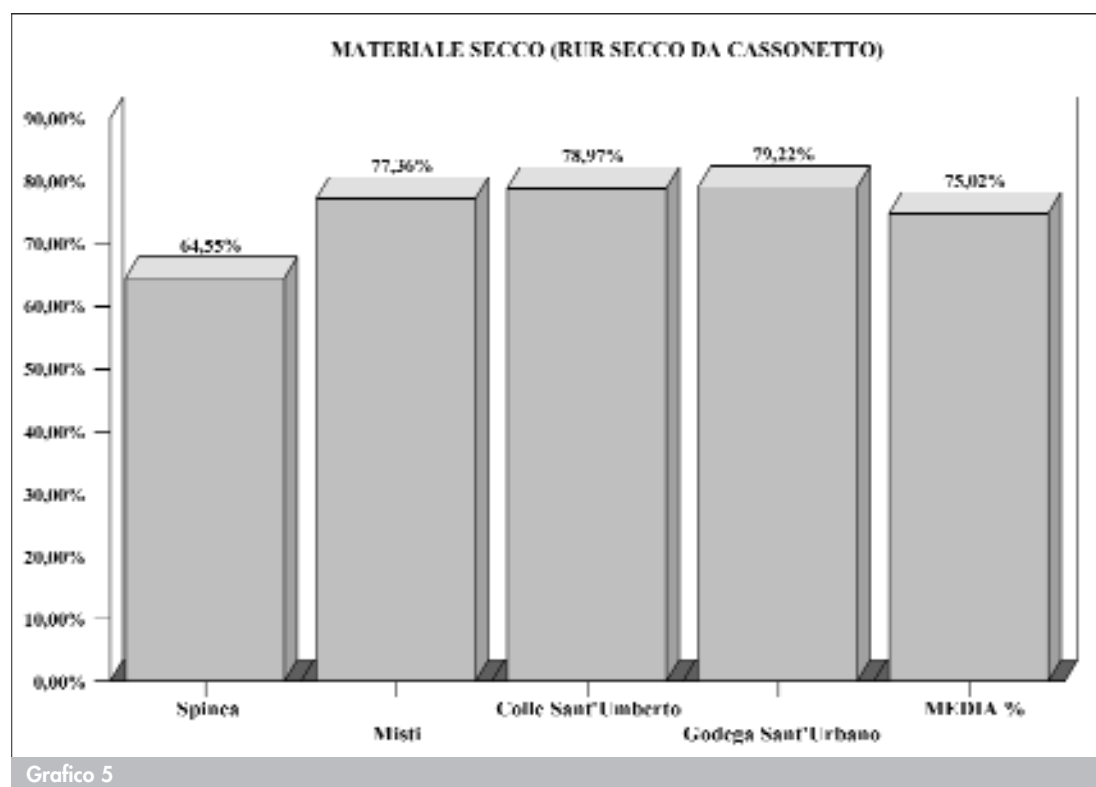
**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 28

Comune di Reno (BO)		Analisi merceologiche			Analisi n.:	R/2
Tipologia di rifiuto campionato:		RUR SECCO DA DOPPIO CASSONETTO				
Comune di Reno (BO)		Analisi merceologiche			Analisi n.:	R/2
TABELLA A:		Peso in kg singole frazioni			RUR SECCO DA DOPPIO CASSONETTO	
Frazione	Analisi 1 peso in kg Spinea	Analisi 2 peso in kg Misti	Analisi 3 peso in kg Ile Sant'Umbe	Analisi 4 peso in kg Godega Sant'Urbano	peso frazioni sul totale campionato	
umido	3983	3170	2640	1855	115,68	
Organico	8411	16700	3004	2430	206,83	
Carta	7100	4535	5061	2240	182,74	
Cartone	2605	0715	4840	2440	171,60	
Concentrat in plastica	8100	3410	1474	1104	71,50	
Plastica in film	2325	4185	3145	2370	126,26	
Altra plastica	950	1400	854	1245	45,09	
Concentrat T/F	1,24	0,14	1,34	1,24	4,85	
Vetro	1915	1700	433	233	43,45	
Inerti pesanti	1015	295	1,05	1,00	15,75	
Alluminio	230	234	334	214	10,00	
Metalli	1255	2005	805	351	44,15	
Tessili	1005	755	31,52	0,80	59,22	
Pelle, Cuoro, gomma	1,24	1644	1034	804	40,57	
Legno	715	1310	2340	1485	58,30	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10	
Pilo-batterici	0,11	0,11	0,11	0,11	0,21	
Termici	0,18	0,25	0,16	0,05	0,63	
Pannolini	1215	1705	21,00	1005	65,05	
TOTALE	354,71	391,24	315,42	200,45	1.261,81	
Comune di Reno (BO)		Analisi merceologiche			Analisi n.:	R/2
TABELLA B:		% in peso singole frazioni			RUR SECCO DA DOPPIO CASSONETTO	
Frazione	Analisi 1 % in peso Spinea	Analisi 2 % in peso Misti	Analisi 3 % in peso Ile Sant'Umbe	Analisi 4 % in peso Godega Sant'Urbano	% in peso sul totale campionato MEDI %	
umido	11,23%	7,88%	8,37%	9,25%	9,17%	
Organico	24,22%	14,80%	12,01%	11,52%	15,80%	
Carta	20,12%	11,41%	12,59%	11,40%	14,17%	
Cartone	7,50%	17,16%	15,34%	14,67%	13,67%	
Concentrat in plastica	2,30%	8,92%	4,83%	5,51%	5,54%	
Plastica in film	6,41%	10,41%	10,14%	14,84%	10,51%	
Altra plastica	2,68%	3,73%	2,71%	6,21%	3,83%	
Concentrat T/F	0,43%	0,44%	0,43%	0,03%	0,42%	
Vetro	5,41%	4,14%	1,34%	1,10%	3,10%	
Inerti pesanti	2,89%	0,75%	0,52%	0,50%	1,16%	
Alluminio	0,62%	0,06%	1,05%	1,07%	0,84%	
Metalli	3,54%	5,12%	2,41%	1,74%	3,24%	
Tessili	3,79%	1,93%	9,99%	3,39%	4,77%	
Pelle, Cuoro, gomma	1,02%	4,14%	3,28%	3,93%	3,28%	
Legno	2,01%	3,31%	7,42%	7,30%	5,02%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,01%	
Pilo-batterici	0,03%	0,03%	0,03%	0,07%	0,02%	
Termici	0,05%	0,06%	0,05%	0,04%	0,05%	
Pannolini	3,43%	4,50%	6,89%	6,81%	5,40%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	



METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI

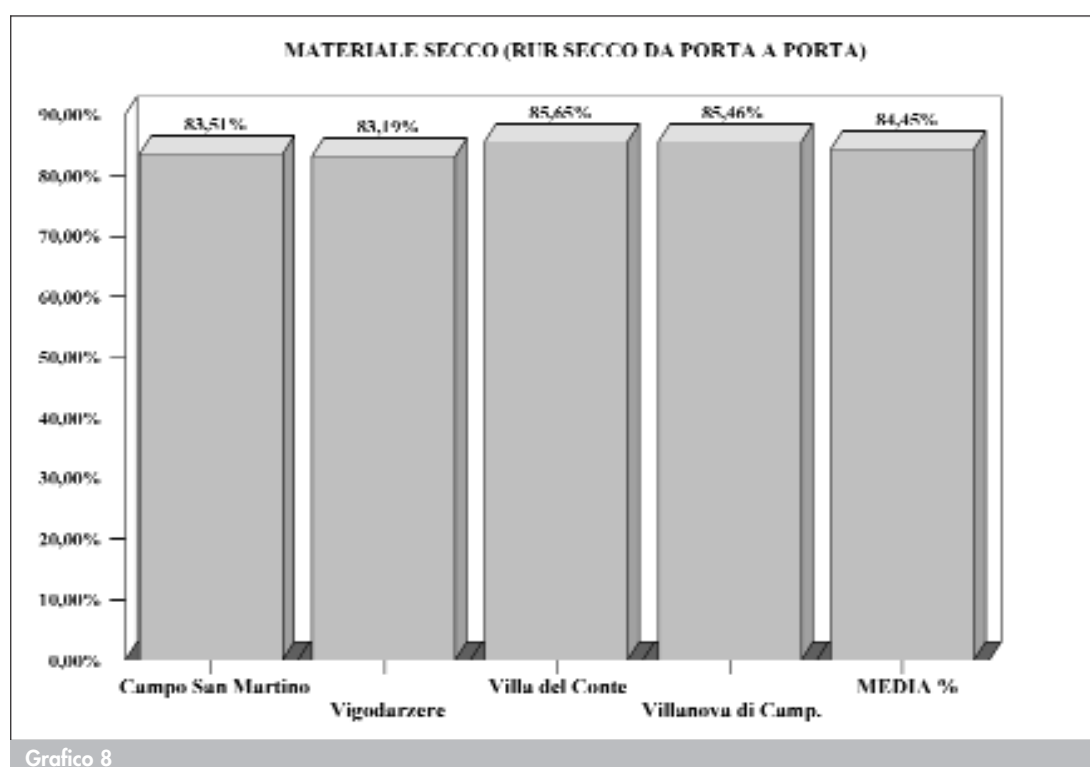
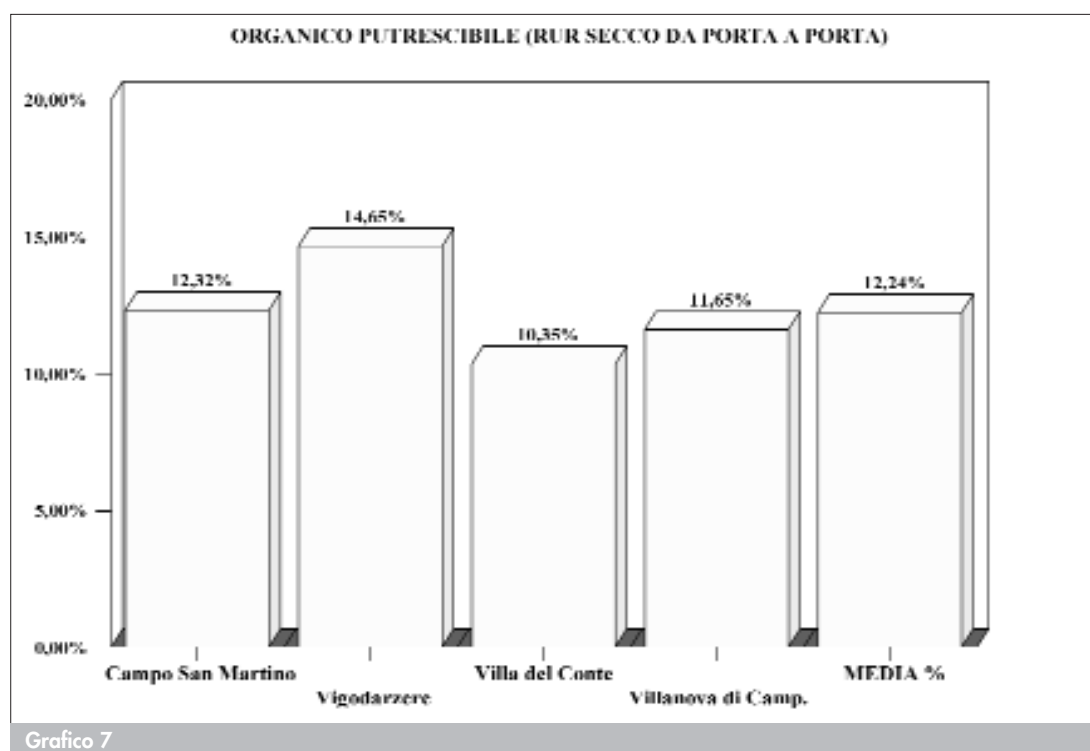


APPENDICE

Tabella 29

Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche		Analisi n.:		R/3
Tipologia di rifiuto campionato:		RUR SECCO DA PORTA A PORTA				
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche		Analisi n.:		R/3
TABELLA A:		Peso in kg singole frazioni				
Frazione	Analisi 1	Analisi 2	Analisi 3	Analisi 4	peso frazioni sul totale campionato	
	peso in kg Campo San Martino	peso in kg Vigodarzere	peso in kg Villa del Conte	peso in kg Villanova di Camp.		
inerti	10,14	5,75	11,14	6,40	33,77	
Organico	31,29	39,02	28,50	25,77	124,57	
Carta	10,00	46,31	30,72	36,94	123,99	
Cartone	29,25	25,73	36,01	33,23	124,22	
Contenitori in plastica	4,43	1,83	4,77	11,43	22,46	
Plastica in film	44,11	31,10	31,44	24,11	130,76	
Altra plastica	11,91	19,23	69,32	11,57	112,03	
Contenitori T/F	0,00	0,19	1,12	3,11	4,42	
Vetro	6,53	5,12	2,98	4,15	18,78	
Inerti pesanti	0,00	5,21	0,00	0,00	5,21	
Alluminio	1,43	2,49	3,27	9,43	16,62	
Metalli	2,19	3,45	2,74	3,51	11,92	
Tessili	8,94	24,23	22,13	3,42	58,72	
Pelle, Cuoio, gomme	1,81	1,08	0,31	0,41	3,61	
Legno	4,93	0,00	0,00	3,74	8,67	
Altri rifiuti pericolosi	0,47	0,00	3,00	0,00	3,47	
Pile/batterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Batterie	0,24	0,31	0,18	0,11	1,22	
Termoplastici	35,41	42,68	28,40	32,55	139,04	
TOTALE	251,86	266,31	275,19	221,20	1.014,56	
Calderara di Reno (BO)		Analisi merceologiche		Analisi n.:		R/3
TABELLA B:		% in peso singole frazioni				
Frazione	Analisi 1	Analisi 2	Analisi 3	Analisi 4	% in peso sul totale campionato	
	% in peso Campo San Martino	% in peso Vigodarzere	% in peso Villa del Conte	% in peso Villanova di Camp.		
inerti	4,1%	2,1%	4,0%	2,9%	3,3%	
Organico	12,3%	14,6%	10,2%	11,6%	12,2%	
Carta	23,8%	17,4%	11,1%	16,2%	17,1%	
Cartone	11,5%	9,6%	13,0%	14,7%	12,9%	
Contenitori in plastica	1,7%	0,7%	1,7%	5,1%	3,6%	
Plastica in film	17,6%	11,4%	11,0%	10,9%	13,9%	
Altra plastica	4,7%	7,2%	25,1%	5,2%	10,5%	
Contenitori T/F	0,0%	0,0%	0,4%	1,4%	0,5%	
Vetro	2,6%	1,9%	1,0%	1,8%	1,8%	
Inerti pesanti	0,0%	1,9%	0,0%	0,0%	0,4%	
Alluminio	0,6%	0,9%	1,2%	4,3%	1,7%	
Metalli	0,9%	1,3%	0,9%	1,6%	1,1%	
Tessili	3,4%	9,1%	8,0%	1,5%	5,5%	
Pelle, Cuoio, gomme	0,7%	0,4%	0,1%	0,2%	0,3%	
Legno	1,9%	0,0%	0,0%	1,7%	0,9%	
Altri rifiuti pericolosi	0,2%	0,0%	1,0%	0,0%	0,3%	
Pile/batterie	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
Batterie	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	
Termoplastici	13,9%	16,0%	10,0%	14,7%	13,7%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	

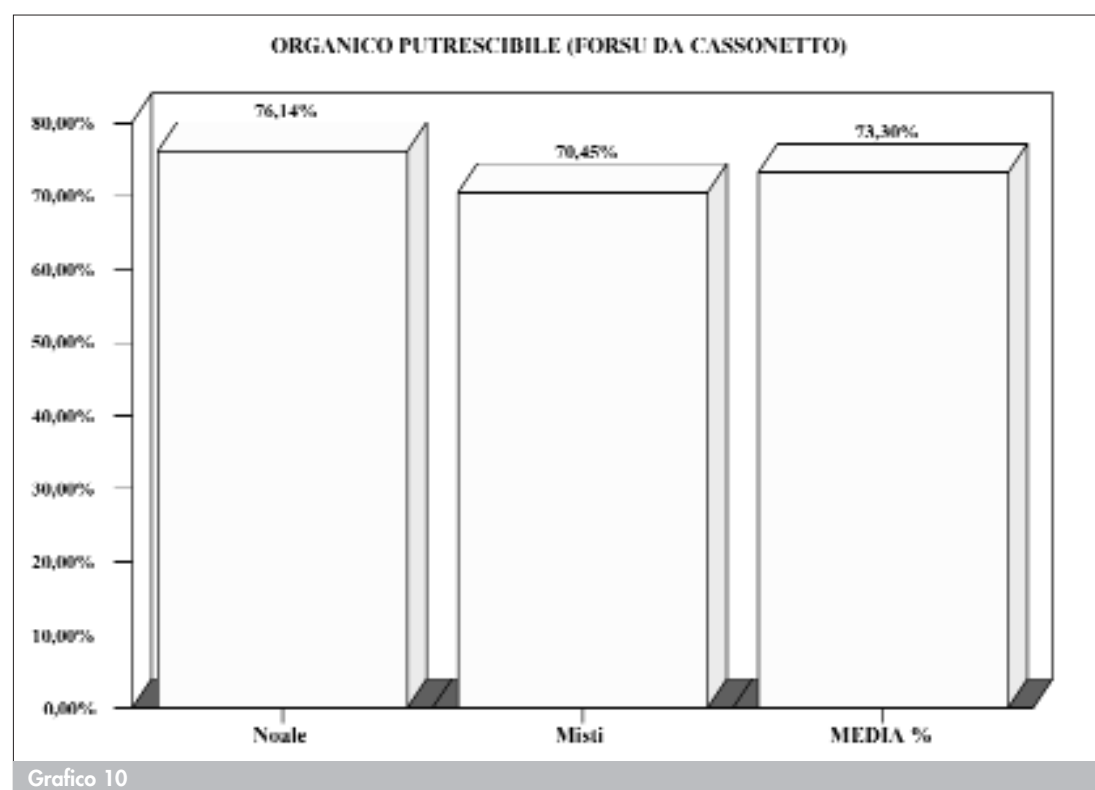
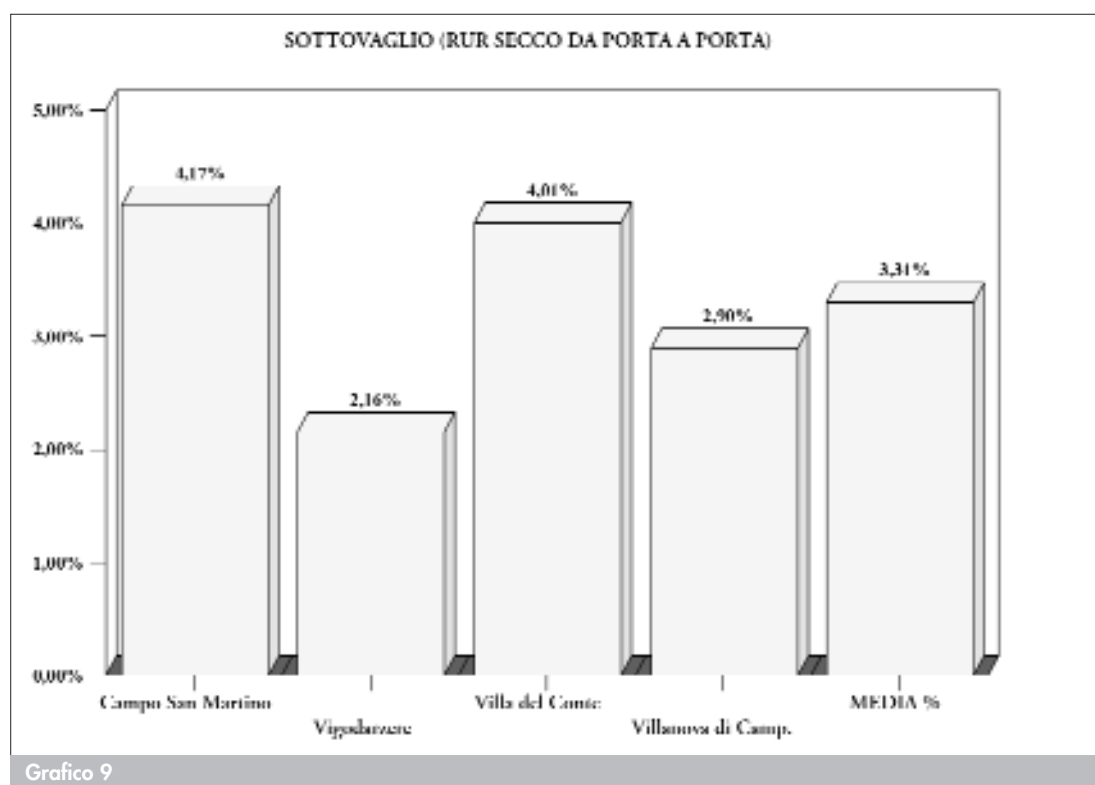
METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI

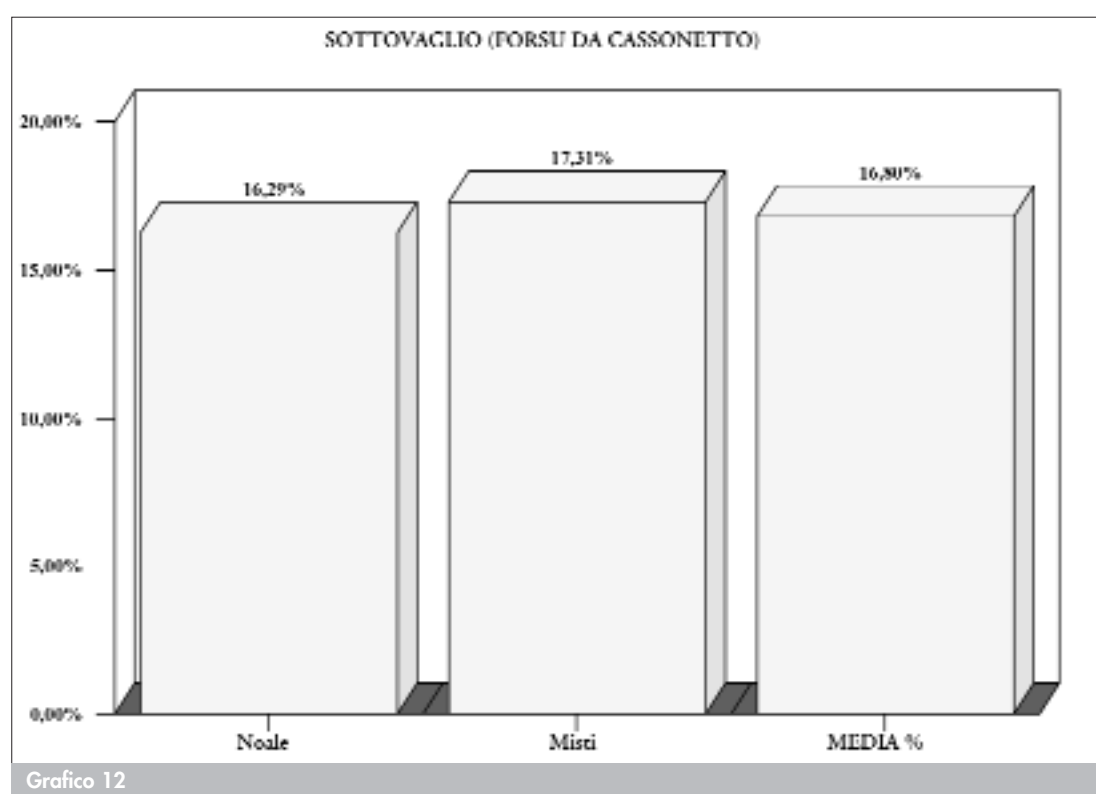
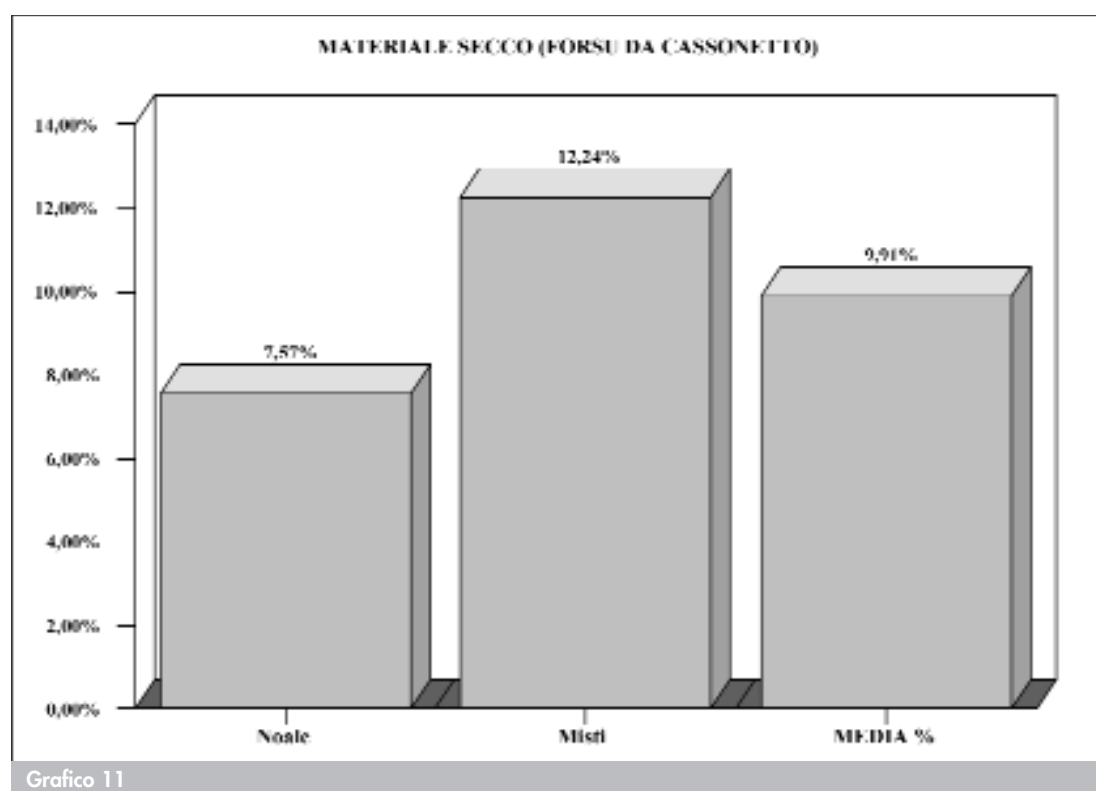


APPENDICE

Tabella 30			
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche		R/4
Tipologia di rifiuto campionato:	RUR UMIDO DA DOPPIO CASSONETTO		
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche		R/4
IABELLA A:	Peso in kg singole frazioni	RUR UMIDO DA DOPPIO CASSONETTO	
Frazione	Analisi 1 peso in kg Noale	Analisi 2 peso in kg Misti	peso frazioni sul totale campionato
mm80	34,68	44,45	79,13
Organico	162,12	180,00	343,02
Carta	3,30	11,70	15,06
Cartone	1,56	1,50	3,06
Contentitori in plastica	0,10	2,45	2,75
Plastica in film	4,14	3,83	7,97
Altra plastica	1,71	0,98	2,29
Contentitori T/F	0,00	0,00	0,00
Vetro	1,94	2,86	4,77
Inerti pesanti	0,30	0,40	0,70
Alluminio	0,00	0,00	0,00
Metalli	0,00	0,30	0,90
Tessili	0,84	5,98	6,82
Pelle, Cuoio, gomme	0,18	0,40	0,67
Legno	1,20	1,36	2,56
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00
Pile/batterie	0,00	0,00	0,00
Farmaci	0,00	0,00	0,00
Pannolini	0,00	0,00	0,00
TOTALE	212,91	256,79	469,70
Calderara di Reno (BO)	Analisi merceologiche		R/4
TABELLA B:	% in peso singole frazioni	RUR UMIDO DA DOPPIO CASSONETTO	
Frazione	Analisi 1 % in peso Noale	Analisi 2 % in peso Misti	% in peso sul totale campionato MEDIA %
mm80	16,29%	17,31%	16,80%
Organico	76,14%	70,49%	73,30%
Carta	1,54%	4,54%	3,07%
Cartone	0,73%	0,58%	0,66%
Contentitori in plastica	0,14%	0,95%	0,55%
Plastica in film	1,94%	1,49%	1,72%
Altra plastica	0,81%	0,24%	0,51%
Contentitori T/F	0,00%	0,00%	0,00%
Vetro	0,90%	1,11%	1,01%
Inerti pesanti	0,14%	0,16%	0,15%
Alluminio	0,00%	0,00%	0,00%
Metalli	0,38%	0,12%	0,20%
Tessili	0,39%	2,33%	1,36%
Pelle, Cuoio, gomme	0,08%	0,16%	0,14%
Legno	0,54%	0,53%	0,53%
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%
Pile/batterie	0,00%	0,00%	0,00%
Farmaci	0,00%	0,00%	0,00%
Pannolini	0,00%	0,00%	0,00%
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%

METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI





**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 31

GFambiente snc - Calderara di Reno (BO)		PROGETTO ANPA - Analisi merceologiche		R/5
Tipologia di rifiuto campionato:		RD MULTIMATERIALE		
GFambiente snc - Calderara di Reno (BO)		PROGETTO ANPA - Analisi merceologiche		R/5
TABELLA A:		Peso in kg singole fraz.RD MULTIMATERIALE		
Frazione	Analisi 1		Analisi 2	peso frazioni sul totale campionato
	Ponzano V.		Loreggia	
rm&D	5,23	34,65		39,94
Organico	0,44	0,21		0,68
Carta	2,65	0,73		3,38
Cartone	3,97	0,21		4,21
Contenitori in plastica	70,33	58,25		128,84
Plastica in film	4,85	1,33		6,19
Altra plastica	7,03	3,16		10,21
Contenitori T/F	10,15	5,10		15,24
Vetro	141,62	142,53		284,18
Inerti pesanti	0,88	0,24		1,13
Alluminio	3,03	1,21		4,30
Metalli	17,65	6,43		24,08
Tessili	0,44	0,21		0,68
Pelle, Cuoio, gomme	0,03	0,00		0,09
Legno	0,03	0,00		0,09
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00		0,00
Pile/batterie	0,00	0,00		0,00
Farmaci	0,00	0,00		0,00
Pannolini	0,00	0,00		0,00
TOTALE	268,86	254,40		523,25
GFambiente snc - Calderara di Reno (BO)		PROGETTO ANPA - Analisi merceologiche		R/5
TABELLA B:		% in peso singole fraziRD MULTIMATERIALE		
Frazione	Analisi 1		Analisi 2	% in peso sul totale campionato MEDIA %
	Ponzano V.		Loreggia	
rm&D	1,97%	13,62%		7,79%
Organico	0,16%	0,10%		0,13%
Carta	0,98%	0,29%		0,64%
Cartone	1,48%	0,10%		0,79%
Contenitori in plastica	26,20%	22,90%		24,58%
Plastica in film	1,81%	0,52%		1,16%
Altra plastica	2,63%	1,24%		1,93%
Contenitori T/F	3,77%	2,01%		2,89%
Vetro	52,67%	56,04%		54,36%
Inerti pesanti	0,33%	0,10%		0,21%
Alluminio	1,13%	0,48%		0,81%
Metalli	6,53%	2,53%		4,55%
Tessili	0,16%	0,10%		0,13%
Pelle, Cuoio, gomme	0,03%	0,00%		0,02%
Legno	0,03%	0,00%		0,02%
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%		0,00%
Pile/batterie	0,00%	0,00%		0,00%
Farmaci	0,00%	0,00%		0,00%
Pannolini	0,00%	0,00%		0,00%
TOTALE	100,00%	100,00%		100,00%

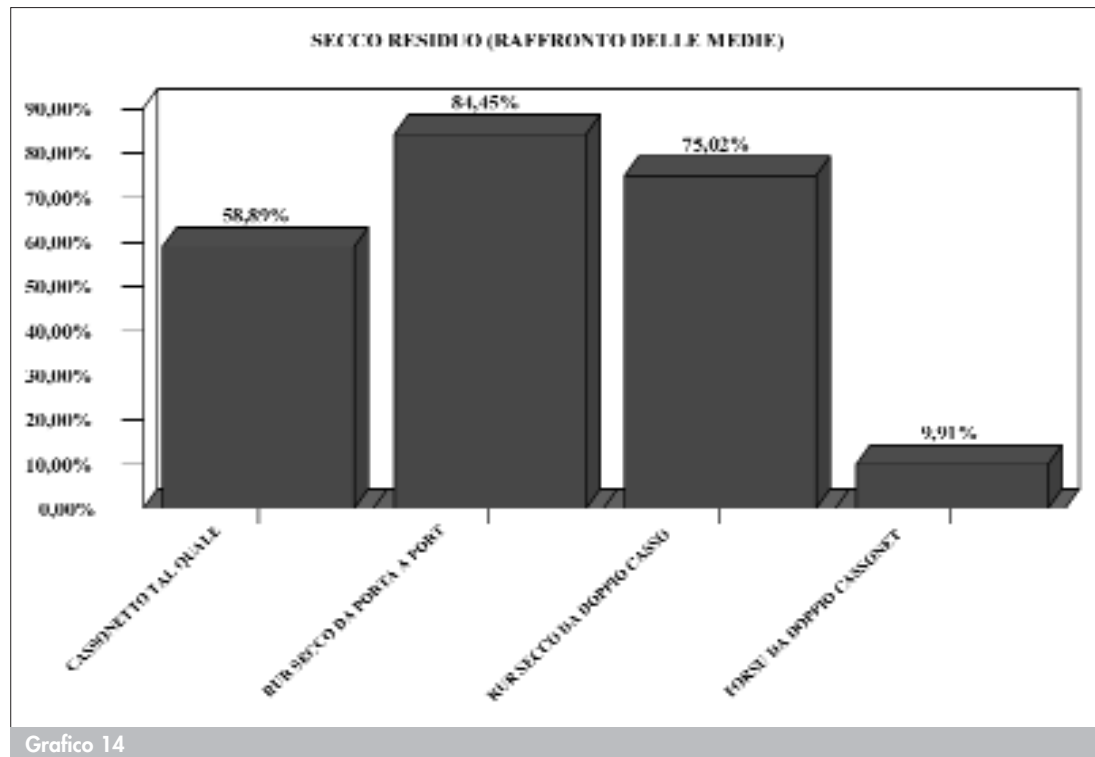
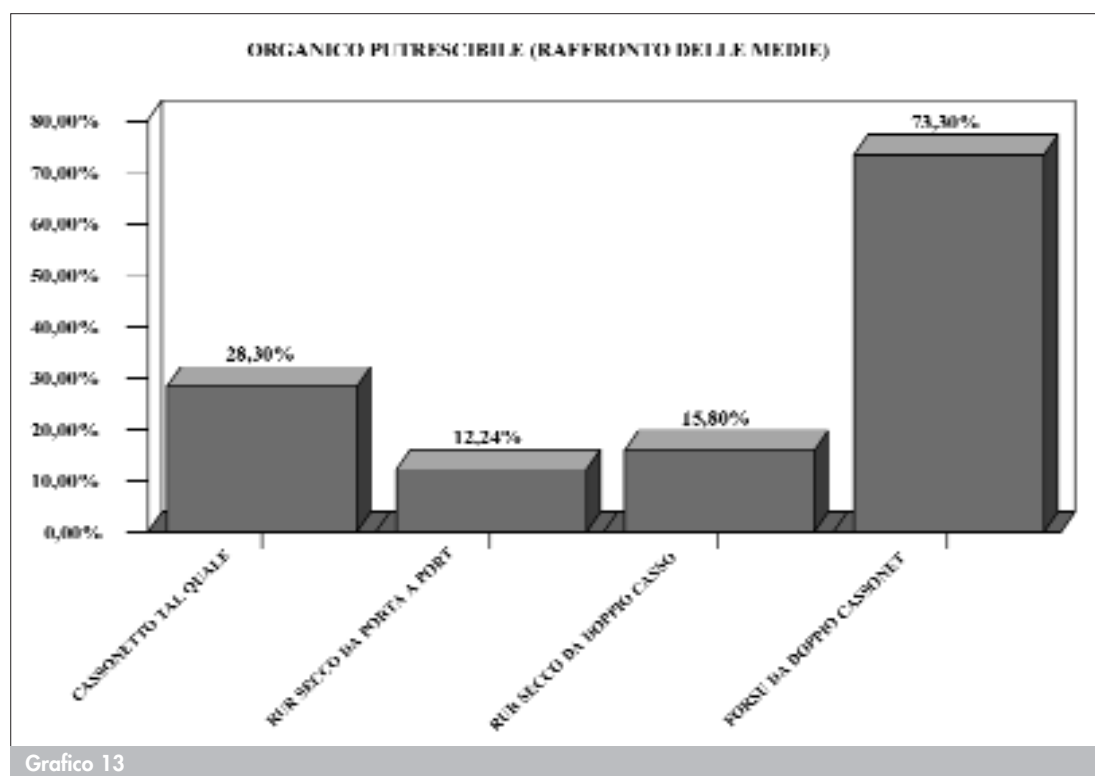
APPENDICE

Tabella 32				
GFambiente snc - Calderara di Reno (BO)	PROGETTO ANPA - Analisi merceologiche		Analisi n.:	R/6
Tipologia di rifiuto campionato:	SOPRAVAGLIO SECCO da selezione secco-umido			
GFambiente snc - Calderara di Reno (BO)	PROGETTO ANPA - Analisi merceologiche		Analisi n.:	R/6
TABELLA A:	Peso in kg singole frazioni SOPRAVAGLIO SECCO da selezione secco-umido			
Frazione	Analisi 1	Analisi 2	Analisi 4	peso frazioni
	peso in kg	peso in kg	peso in kg	sul totale campionato
	Impianto Sarzano	Impianto SAT	Impianto CSR-2 v.	
umido	1,71	4,05	0,30	6,06
Organico	3,15	35,41	0,51	40,07
Carta	14,05	341,42	1,82	357,89
Cartone	15,40	134,33	0,45	175,18
Contenitori in plastica	3,30	43,08	0,75	47,13
Plastica in film	9,60	161,75	1,40	172,56
Altra plastica	1,30	10,77	0,27	12,34
Contenitori IAF	0,01	0,10	0,01	0,12
Vetro	0,03	10,00	0,13	10,66
Inerti pesanti	0,05	1,21	0,02	1,28
Alluminio	0,01	0,35	0,01	0,37
Metalli	0,11	0,84	0,00	0,95
Tessili	5,63	28,45	0,51	34,59
Pelle, Cuolo, gomme	1,05	0,15	0,20	1,40
Legno	0,14	4,70	0,05	4,89
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00
Pile/batterie	0,00	0,00	0,00	0,00
Farmaci	0,00	0,00	0,00	0,00
Farmaci	4,25	30,83	0,75	35,83
TOTALE	60,39	842,57	7,21	910,17
GFambiente snc - Calderara di Reno (BO)	PROGETTO ANPA - Analisi merceologiche		Analisi n.:	R/6
TABELLA B:	% in peso singole frazioni SOPRAVAGLIO SECCO da selezione secco-umido			
Frazione	Analisi 1	Analisi 2	Analisi 4	% in peso
	% in peso	% in peso	% in peso	sul totale campionato
	Impianto Sarzano	Impianto SAT	Impianto CSR 2 v.	MEDIA %
umido	2,83%	4,81%	4,16%	2,49%
Organico	5,22%	4,32%	7,00%	5,51%
Carta	23,28%	41,52%	25,13%	30,03%
Cartone	25,00%	18,00%	6,32%	16,91%
Contenitori in plastica	5,46%	5,10%	10,44%	7,00%
Plastica in film	15,90%	19,17%	19,38%	18,15%
Altra plastica	2,15%	1,28%	3,60%	2,37%
Contenitori IAF	0,02%	0,02%	0,19%	0,07%
Vetro	0,05%	1,20%	1,77%	1,02%
Inerti pesanti	0,08%	0,14%	0,30%	0,18%
Alluminio	0,02%	0,04%	0,00%	0,02%
Metalli	0,18%	0,10%	0,00%	0,09%
Tessili	9,32%	3,38%	7,00%	6,59%
Pelle, Cuolo, gomme	1,74%	0,02%	2,77%	1,51%
Legno	0,23%	0,58%	0,62%	0,46%
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Pile/batterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Farmaci	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Farmaci	7,00%	4,74%	10,95%	7,57%
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

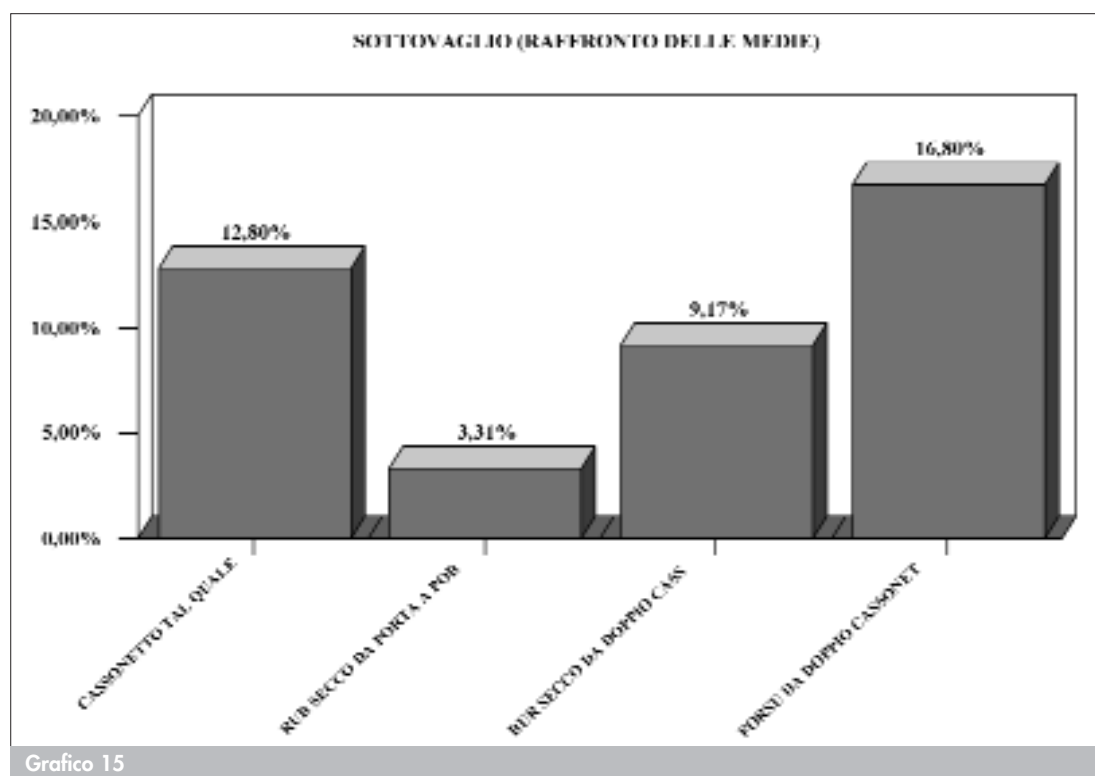
**METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI**

Tabella 33

L'ambiente snc - Calderara di Reno (BO)		PROGETTO ANPA - Analisi merceologiche		Analisi n.:	R/7
Tipologia di rifiuto campionato:		SOTTOVAGLIO UMIDO da selezione secco-umido			
L'ambiente snc - Calderara di Reno (BO)		PROGETTO ANPA - Analisi merceologiche		Analisi n.:	R/7
TABELLA A:		SOTTOVAGLIO UMIDO da selezione secco-umido			
Frazione	Peso in kg singole frazioni			peso frazioni sul totale campionato	
	Analisi 1 peso in kg Impianto Sarrano	Analisi 2 peso in kg SAT Sassuolo	Analisi 3 peso in kg Impianto CSR-2 s.		
inSU	3,67	384,33	10,41	210,10	
Organico	33,17	411,13	2,34	450,17	
Carta	1,07	86,17	0,11	92,09	
Cartone	3,81	9,17	0,24	13,61	
Contenitori in plastica	0,00	1,10	0,18	1,97	
Plastica in film	3,40	2,41	0,33	29,51	
Altra plastica	0,20	3,00	0,48	3,74	
Contenitori T/P	0,00	0,00	0,00	0,03	
Vetro	1,10	48,02	0,19	49,31	
Inerti pesanti	0,55	5,34	0,00	5,92	
Alluminio	0,01	0,00	0,00	0,01	
Metalli	0,40	0,00	0,00	0,46	
Tessili	0,03	0,20	0,00	0,83	
Pelle, Cuoio, gomme	0,28	0,05	0,00	0,33	
Legno	5,05	18,41	0,28	24,31	
Altri rifiuti pericolosi	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pile/batterie	0,00	0,00	0,00	0,00	
Farmaci	0,00	0,00	0,00	0,00	
Parafilari	0,00	0,00	0,00	0,00	
TOTALE	73,48	792,92	16,03	882,43	
L'ambiente snc - Calderara di Reno (BO)		PROGETTO ANPA - Analisi merceologiche		Analisi n.:	R/7
TABELLA B:		% in peso singole frazioni			
Frazione	% in peso			% in peso sul totale campionato	
	Analisi 1 % in peso Impianto Sarrano	Analisi 2 % in peso SAT Sassuolo	Analisi 3 % in peso Impianto CSR-2 s.		
inSU	29,74%	25,77%	0,88%	36,45%	
Organico	41,10%	51,80%	18,57%	39,74%	
Carta	0,85%	10,80%	0,08%	7,89%	
Cartone	1,17%	1,29%	1,18%	2,63%	
Contenitori in plastica	0,41%	0,10%	1,08%	0,56%	
Plastica in film	1,04%	3,29%	2,08%	3,13%	
Altra plastica	0,30%	0,38%	3,02%	1,25%	
Contenitori T/P	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	
Vetro	1,50%	6,00%	1,17%	2,91%	
Inerti pesanti	0,75%	0,67%	0,21%	0,54%	
Alluminio	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	
Metalli	0,53%	0,00%	0,00%	0,21%	
Tessili	0,86%	0,00%	0,00%	0,29%	
Pelle, Cuoio, gomme	0,38%	0,00%	0,00%	0,13%	
Legno	7,69%	2,32%	1,75%	3,92%	
Altri rifiuti pericolosi	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Pile/batterie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Farmaci	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Parafilari	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	



METODI DI MISURA
DELLA STABILITÀ BIOLOGICA DEI RIFIUTI



Bibliografia

- Annuario di normativa tecnica e legislazione ambientale – 1999, CTI Energia ed Ambiente, Ed. Il Sole 24 Ore, Milano.
- ANPA, Osservatorio Nazionale sui Rifiuti, (1999): Secondo Rapporto sui rifiuti urbani e sugli imballaggi e rifiuti di imballaggio.
- ANPA, Osservatorio Nazionale sui Rifiuti, (2000): Rapporto preliminare sulla raccolta differenziata e sul recupero dei rifiuti di imballaggio 1998-1999.
- Bonomo L. and Igginson A.E. (1988): International Overview on Solid Waste Management. Academic Press London.
- Corbitt R.A. (1990): Standard Handbook of Environmental Engineering. Ed. Mc Graw-Hill New York.
- Davis M.L., Cornwell D.A. (1991): Introduction to Environmental Engineering. Ed. Mc Graw-Hill, Inc New York.
- Decreto Legislativo 22/97 "Attuazione delle direttive 91/156 CEE, 91/689 E 94/62" G.U. 15 febbraio 1997 n. 38 suppl. ord. N. 33.
- Degani P., (1998): La gestione dei RSU nel bacino VE4: proposte operative. Atti del Convegno "Raccolta differenziata e ... dintorni", Mira (VE).
- DI.VA.P.R.A. e I.P.L.A. (1992): "Metodi di analisi dei compost – Determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche, Analisi merceologica dei rifiuti", Regione Piemonte, Assessorato Ambiente, Collana Ambiente.
- Ernst & Young (1994): Imballaggi e distribuzione, Federambiente Roma.
- Ferrari G. (1993): The Italian production of quality compost; legislative, technical and economic aspects. O.R.C.A. Annual Congress December 1993 Brussels. Ed ORCA Avenue Mounier 83 Box 1 Brussels.
- Ferrari G. (1994): Il sistema integrato analisi rifiuti (S.I.A.R.) un metodo operativo per la elaborazione del regolamento comunale di smaltimento dei r.s.u. e la revisione della tassa a norma del decreto Leg. 507/93. Rifiuti urbani e industriali. Ed. GSISR Marzo 1994.
- Ferrari G. (1995): Merceologia e chimica dei rifiuti solidi urbani. Protecta Ed Sedifim ottobre Novembre 1995, p. 21.
- Ferrari G. (1996): I rifiuti città per città. Gea . IX 4 1996 p. 11. Ed. Maggioli Rimini
- Ferrari G., Sammito R., (1999): La valutazione delle caratteristiche dei rifiuti per la corretta progettazione e gestione di un termocombustore, Atti del Convegno "Utilizzazione Termica dei rifiuti", Abano Terme (PD).

- Ministero dell'Ambiente, ANPA, Osservatorio Nazionale sui Rifiuti, (1999) "La Raccolta Differenziata – aspetti progettuali e gestionali".
- Morselli L. Valentini A. (1996): Characterization of m.s.w. for an accurate management. I.S.W.A. International congress on Waste Management. Vienna 15-20 ottobre.
- Ricci M. (1999), Evoluzione delle raccolte differenziate in Provincia di Verona: le esperienze di raccolta secco umido. Atti del Convegno "Dalla Raccolta differenziata alla tariffa sui RSU", Sommacampagna (VR).
- Valentini A., Morselli L. (1997): Analisi previsionale dei futuri flussi dei r.s.u. mediante la caratterizzazione merceologica. Atti del Simposio Internazionale di Ingegneria Sanitaria Ambientale. Ravello Giugno 1997 p. 432.
- Weitz K. Ranjithan R., Nishtala S., Barlaz M. (1997): Using life-cycle management to evaluate integrated municipal solid waste management strategies. Proc. of the international Congress 97. Recovery, Recycling, Reintegration. Geneva, Switzerland February 1997 p.41.
- AAVV. (1995). Ingegneria dei rifiuti solidi urbani. In Atti del XLIII Corso di aggiornamento in ingegneria sanitaria-ambientale. Milano, Giugno, 1995, pp.260-275.
- Adani F., (2000). Esperienze di ricerca sulla caratterizzazione biologica dei rifiuti pretrattati. In Seminario internazionale "La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie". Padova; Italy; 25-27 Settembre, pp. XXIX-2 – XXIX-14.
- Adani F., Genevini P.L., Tambone F., (1995). A new index of organic matter stability. *Compost Science and Utilization*, 3(2): 25-37.
- Adani F., Genevini P.L., Gasperi F., Zorzi G., (1997). Organic Matter Evolution Index (OMEI) as a measure of composting efficiency. *Compost Science & Utilization*, 5 (2): 25-37.
- Adani F., Tambone F., (1998). Evoluzione della componente organica. In *Compost e Agricoltura*, P.L. Genevini (eds.). Fondazione Lombardia per l'Ambiente, pp.75-119.
- Adani F., Tambone F., Genevini P.L., Calcaterra E., (1998). Stabilization of Municipal Solid Waste Fractions: A Laboratory Approach. *Technology & Environment*, 4: 2-8.
- Adani (1999). Il processo di compostaggio. Definizioni e principi biochimici. In *Produzione ed impiego del compost di qualità*. CIC, pp. 1-19.
- Adani F., Scatigna L., Genevini P.L. (2000a). Biostabilization of mechanically separated municipal solid waste fraction. *Waste Management & Research.*, 18: 1-9.
- Adani F., Tambone F., Scaglia B., Genevini P.L., (2000b) - Stabilità Biologica - report. <http://users.unimi.it/~ricicla/ricicla.htm>.
- Adani F., Tambone F., Scaglia B., Genevini P.L., (2000c) - Tecniche di stabilizzazione aerobica per il pre-trattamento dei rifiuti prima del deposito in discarica - report. <http://users.unimi.it/~ricicla/ricicla.htm>.
- Adani F., Lozzi P., Genevini P.L. (2001). Determination of biological stability by oxygen uptake on municipal solid waste and derived products. *Compost Science & Utilization*, 9 (2): 163-178.
- Adani F., Calcaterra E. and Malagutti L. (2001). Preparation of a test for estimating biogas pro-

- duction from pretreated urban waste. In sardinia 2001, Eight International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy: 1-5 October 2001, in press.
- ANPA, Osservatorio Nazionale sui Rifiuti (1999). Secondo rapporto sui rifiuti urbani e sugli imballaggi e rifiuti di imballaggio. Febbraio, Roma.
 - Andreottola G. and Muntoni A. (1997). Modelli di produzione del biogas da discariche di RSU. In Atti del convegno Recupero di risorse da rifiuti solidi. Milano, Marzo 1997, pp. 485-489.
 - Andreottola G., (1999). Formazione, captazione e smaltimento del biogas. In Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy: 4-8 October 1999, 465-476.
 - APHA (1992) - Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Washington, D.C.
 - ASTM. (1992). Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions. American Society for testing and materials , D 5338 – 92.
 - Ashbolt N. J., Line M. A. (1982). A bench-scale system to study the composting of organic wastes. J. Environ. Qual., 11 (3) : 405-408.
 - ASTM (1996). Standard test method for determining the stability of compost by measuring oxygen consumption. American Society for testing and materials , D 5975– 96.
 - Astori C. (1998). Fitotossicità. In Compost e Agricoltura, P.L. Genevini (eds.), Fondazione Lombardia per l’Ambiente, pp. 186-189.
 - Avnimelech Y., Bruner M., Ezrony I., Sela R., Kochba M. (1996). Stability Indexes for municipal solid waste compost. Compost Science & Utilization, 4 (2):13-20.
 - Baido D., (1998). Studio del processo di bioessiccamento e di biostabilizzazione di Rifiuti Solidi Urbani. Tesi di laurea. Università degli Studi di Milano, Italia. Facoltà di Agraria. Anno accademico 1997/1998.
 - Florenzano G. (1979). Fondamenti di microbiologia del terreno, REDA, p. 748.
 - Bianchi D., (1997). Rapporto Ambiente Italia. Milano, 1997, pp.32-138.
 - Bilitwestki B. (1996). Vorschaltanlage vor der Verbrennung, in Abfallwirtschaft in Forschung und Technik, n.83 In Thermische Restabfallbehandlung (Hrsg. : Bilitewski, Faulstich, Urban), Erich Schmidt Verlag, 1996.
 - Binner E., Zach A., (1998). Biological Reactivity of Residual Wastes in Dependence on the Duration of Pretreatment. In 3° Swedish Landfill Symposium.
 - Calcaterra E., (1996). Impianto innovativo per la produzione di RDF dalla frazione non recuperabile derivante dalla raccolta differenziata di RSU – risultati e consuntivi. In Atti del convegno di Inquinamento dell’aria e tecniche di riduzione. Università degli Studi di Padova, Italia, pp. 53-64.
 - Calcaterra E., Baldi M., Adani F. (2000). An innovative technology for municipal solid waste (MSW) energy recovery. In IV European waste Forum, Innovation in waste management (volume II), CIPA (ed.), CIPA Milano, pp. 123-135.

- Chen Y. and T. Aviad (1990). Effect of humic substances on plant growth. In Humic substances in soil and crop sciences: Selected Readings. Proceedings of a symposium cosponsored by the International Humic Substances Society, P. Mac Carty, C.E. Clapp., R.L. Bloom (eds.). Chicago, IL, pp.161-186.
- Chen Y., and Y. Inbar (1993). Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformation during composting in relation to compost maturity. In Science and Engineering of Composting: design, Environmental, Microbiology and Utilization Aspects, Hoitink H.A.J., and H.M. Keener (eds.). The Ohio State University, pp. 551-600
- Chino M., Kanazawa S., Mori T., Araragi, M., Kanze B. (1983). Biochemical studies on composting of municipal sewage sludge mixed with rice hull. Soil Sci. Plant Nutr., 29 (2): 159-173.
- Ciccotti A.M., Toller G., (1990). Rassegna bibliografica di metodi respirometrici e descrizione di un semplice apparecchio per la misura dell'attività respiratoria di compost e terreni. Acqua Aria, 4: 377-384.
- Citerinesi U., De Bertoldi M., (1979). Il compostaggio dei fanghi miscelati alla frazione organica dei rifiuti solidi urbani. Inquinamento, 12: 45-50.
- Collins H. J. (1992). Aerobe und anaerobe Behandlung von Restmüll. In Wasser und Bodenschutz – Anspruch und Wirklichkeit, 25. Essener Tagung. Dohmann, M. (Hrsg), Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen, pp. 573-593.
- Cooperativa Ecologica, (1996). Piano di smaltimento dei rifiuti solidi ed assimilabili – L.R. 21/93. Provincia di Milano, Assessorato all'Ambiente.
- Cossu R., Lavagnolo M.C. and Raga R. (1997). Recupero ed utilizzazione del biogas da discariche, in Atti del convegno Recupero di risorse da rifiuti solidi. Milano, Marzo 1997, pp. 74-84.
- Cossu R., Raga R., Vascellari V., (1999). Comparison of different stability criteria for MBP waste in view of landfilling. In Seventh International Waste Management and Landfilling Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 4-8 October, vol. 1, pp. 473-478.
- Costech International, (1999). Manuale del Sistema portatile Dewar-Combi CO2. Biomass™.
- Damiecki R. (1992). Pilotversuch zur biologischen Behandlung von Restmüll – Mehrstufige, aerobe Rotte – "Rotteversuch 3", Gesellschaft für Umwelttechnik (UTG), Viersen.
- De Bertoldi M., Vallini G., Pera A., (1983). The biology of composting: a review. Waste Management and Research, 1: 157-176.
- Deipser A. and Stegmann R. (1993). Untersuchungen von Hausmüll auf leichtflüchtige Spurenstoffe. In Müll und Sbfall, Heft 2, 1993.
- DI. VA. P. R. A. and I. P. L. A., (1992). Umidità totale; Umidità residua; Sostanze volatili e ceneri;. In Metodi di Analisi dei Compost, DI. VA. P. R. A. and I. P. L. A (eds). Collana Ambiente, Assessorato all'Ambiente, Regione Piemonte, pp. 15;16; 18; 70-73.
- Eidloth M., (1997). Gaseous emissions of a two-stage aerobic waste treatment. In Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy: 13-17 October 1997, pp. 567-577.

- European Community (2001). Working Document – Biological Treatment of Biowaste 2nd draft, 12 february 2001.
- Farquahar G.J., Rovers F.A., (1997). Gas production during refuse decomposition. In Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Ottobre 1997, vol. 1, pp.3-12.
- Federal Compost Quality Assurance Organization (1994). Methods Book for the Analysis of Compost.
- Ferrey G. and Swers S. (1983). Principi della conversione biologica delle biomasse in metano. In Biological reclamation and utilization of urban wastes Simposio Internazionale sulla Trasformazione biologica ed Utilizzazione in Agricoltura dei Rifiuti Urbani. Ottobre 1983 Napoli, pp. 11-14.
- Frechen F.B., (1997). Effect of aerobic treatment on odour emissions-results from large scale technical plant operation. In Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy: Ottobre 1997, pp.555-565.
- Gandolla M., Acaia C., Fisher C., (1997). Formazione, captazione e sfruttamento di biogas in discariche. In Atti del convegno "Recupero di risorse da rifiuti solidi", Milano, Marzo 1997, pp. 145-157.
- Genevini P.L., Adani F., Villa C., (1997). Rice hull degradation by co-composting with dairy cattle slurry. Soil science and Plant Nutrition, 43 (19): 135-147.
- Genevini P.L., Mezzanotte V., (1991). Uso e riciclo delle biomasse in agricoltura. Milano, CUSL, 1991.
- Gotti A., Tambone F. and Adani F. (2001). Biostabilization of municipal solid waste. Compost Science & Utilization, in press.
- Guidi G. (1992). Effetti del compost sulle proprietà fisiche del terreno. Acqua-Aria, 10: 983-987.
- Haug, R.T. (1986). Composting process design criteria, part 3. Biocycle, October.
- Heerenklage J. and Stegmann R. (2000). Pretrattamenti meccanico biologici dei rifiuti solidi urbani. In Seminario internazionale: "La progettazione di nuove discariche e la bonifica delle vecchie". Padova; 25-27 Settembre 2000, pp. VII-1 – VII-12.
- Heiss-Ziegler C., Lechner P., (2000). Landfill aftercare: principles and problems. In Seminario internazionale: "La progettazione di nuove discariche e la bonifica delle vecchie". Padova; 25-27 Settembre 2000, Settembre 2000, pp. XVII-1 - XVII-110.
- Iannotti D. F., Toth L., Hoitink H.A.J., (1992). Compost stability. BioCycle, November: 62-66.
- Keener, H. M., Marugg C., Hansen R.C. and Hoitink H.A.J. (1993). Optimizing the efficiency of the composting process. In Science and Engineering of Composting: design, Environmental, Microbiology and Utilization Aspects, Hoitink H.A.J., and H.M. Keener (eds.). The Ohio State University, pp. 59-94,
- Ketelsen K. (1993). Die Demonstrationsanlagen zur mechanisch-biologischen Vorbehandlung MBV von Restabfällen in Niedersachsen. Stand der Planung und Genehmigung – Vortragsmanuskript der VKS – Fachtagung.

- Lasaridi K.E., Stentiford E.I. (1996). Respirometric techniques in the context of compost stability assessment: principles and practice. In *The Science of Composting*, De Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes and T. Papi (eds). Blackie Academic & Professional, London, pp. 567-576.
- La Marca O., Gambi L., Pignatti G., Sanesi G. and Sbraci E. (1996). Il recupero di una discarica di R.S.U.: aspetti metodologici (parte 2°). *Acer*, 4: 25-33.
- Lassini P. and Sala G. (1996). Inserimento paesaggistico e recupero ambientale delle discariche di R.S.U. . *Acer*, 2: 21-24.
- Leikam K., Stegmann R. (2000). Comportamento in discarica dei rifiuti pretrattati biologicamente e meccanicamente. In *Seminario Internazionale "la Progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie"*, Padova, 25-27 Settembre 2000, pp. XVIII-1 - VIII-12.
- Maniatis K., Ferrero G. L., (1992). Risultati e prospettive per gli impianti di compostaggio realizzati come attività dimostrative della CEE. *Acqua Aria*, 10: 969-975.
- Muller W. and Fricke K. (1993). Mechanisch – biologische Restmüllbehandlung unter Berücksichtigung der Aerob- und Anaerobtechnik, in *Integrierte Abfallwirtschaft im ländlichen Raum*, Klaus Fricke, K.J. Thomè-Kozmiensky, G. Neumuller (Hrsg.), EF – Verlag für Energie und Umwelttechnik, pp. 259-522.
- Muller W., Fricke K., Vogtmann H., (1998). Biodegradation of organic matter during mechanical biological treatment of MSW. *Compost Science & Utilization*, 6, (3): 42-52.
- Naganawa T., Kyuma K., Yamamoto H., Tatsuyama K., (1990). Automatic measurement of CO₂ evolution in multiple samples in small chambers. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36 (1): 141-143.
- Nicolardot B., Germon J.C., Chaussod R., Cautroux G., (1982). Une technique simple pour déterminer la maturité des compost urbains. *Compost Information*, 10 : 2-4.
- Paletski W., Young J.C., (1995). Stability Measurement of Biosolids Compost by Aerobic Respirometry. *Compost Science & Utilization*, 3, (2):16-24.
- Poller T. (1990). Hausmüllburtige LCKW/FCKW und deren Wirkung auf die Methangasbildung. *Hamburger Berichte*, Vol. 2, Economica Verlag, Bonn.
- Provincia di Milano (1996). Piano di smaltimento dei rifiuti solidi urbani ed assimilabili, Provincia di Milano – Assessorato all’Ambiente Settore Ecologia, Milano 1996.
- Regione Lombardia (1999). Studio degli impianti di produzione di compost e definizione delle corrispondenti linee guida. Approvato nella seduta del Comitato Tecnico, ex art. 17 l.r. 94/80 del 6/4/1999, e nella seduta del CRIAL ex art. 1 l.r. 35/84 in data 12/5/1999: 2-3.
- Regione Piemonte (1998). Metodi di analisi dei compost. Determinazioni chimiche, fisiche, biologiche, microbiologiche e analisi merceologica dei rifiuti. Regione Piemonte-Assessorato all’Ambiente (eds.):.89-91.
- Scaglia B., Tambone F., Genevini P.L., Adani F., (2000). Respiration Index Determination: A Dynamic And Static Approach. *Compost Science & Utilization*, 8, (2): 90-98.
- Selleri B. (1996). Discarica di R.S.U. di Cavenago Brianza: primi risultati dell’intervento di recupero con impianti arborei. *Acer*, 2: pp.31-35.
- Scheffold and Vogel (1992). Realisierungsstudie zum Abfallwirtschaftskonzept der GML Abfallwirtschaftsge-sellschaft mbH – Ergebnisbericht, Bingen/ Saarbrücken.

- Sheelhase T., Bidlinmaier W., (1977). Effects of mechanical-biological pre-treatment on residual waste and landfilling. In Proceedings Sardinia 97, 6° International Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italia, Ottobre 1997, pp.475-483.
- Soyez K., Koller M., Theran D., (1997). Mechanical-biological pretreatment of residual waste: results of german federal research program. In Proceedings Sardinia 97, 6° International Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italia, Ottobre 1997, pp. 380-386.
- Soyez K., Koller M., Thran D., (1999). Mechanical-biological pretreatment of residual waste: results of the German Federal Research program. In Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. S.Margherita di Pula, Cagliari, Italy: 4-8 October 1999, pp. 380-386.
- Stegmann R., (1996). Mechanical – biological pre-treatment before landfilling of municipal solid waste. *International technology* , (1): 31-35.
- Stevenson F.J. (1982). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons; New York, N.Y.
- Taylor and Wolfe (1974). In *Fondamenti di microbiologia del terreno*, di G. Florenzano, pag. 257.
- Torretta V., Mecagni L., Kubocz T., Grueneklee E., (1997). Il sistema biobox per il compostaggio. *RS Rifiuti Solidi*, XI, (1).
- The U.S. Composting Council (1997). Self Heating. In *Test methods for the examination of composting and compost*, P.B. Leege and W.H.Thompson (eds.). The U.S. Composting Council, Bethesda, Maryland USA, pp. 9207-9216.
- UNI. (1998). *Compost - Classificazione, requisiti e modalità di impiego*. Metodo 10780. I edizione.
- UNI. (1992). *Combustibili solidi minerali ricavati da rifiuti urbani (RDF) - Indicazioni di base per il campionamento sistematico dei combustibili*. UNI-ottobre 1992, n. 9903, parte 3a.
- Van Der Werf H., Verstraete W., (1987). Estimation of active soil microbial biomass by mathematical analysis of respiration curves: development and verification of the model. *Soil Biol. Biochem.*, 19 (3): 253-260.
- Von Felde D. and Doedens H. (2000). Criteri di ammissibilità in discarica dei rifiuti pretrattati. In *Seminario internazionale: "La progettazione di nuove discariche e la bonifica delle vecchie"*. Padova; 25-27 Settembre 2000, pp. IX-1 – IX-12.
- Wiemer K. E., Kern M., (1996). Mechanical-Biological Treatment of residual waste based on the dry stabilize method. In: *Abfall-Wirtschaft* (eds), M.I.C. Baeza-Verlag publisher Witzhausen, Germany, p. 103.
- Zorzi G., Pinamonti F., Gasperi F., Cristoforetti A., Nardelli P., Candioli C., (1992). Impiego agricolo del compost. *Acqua-Aria*, 10: 995-1004.
- AAVV. (1995). *Ingegneria dei rifiuti solidi urbani*. In *Atti del XLIII Corso di aggiornamento in ingegneria sanitaria-ambientale*. Milano, Giugno, 1995, pp.260-275.
- Adani F., 2000. Esperienze di ricerca sulla caratterizzazione biologica dei rifiuti pretrattati. *Atti del seminario internazionale: "La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie"*. Padova 25-27 settembre 2000.

- Binner E., Zach A., Lechner P. 1999. Test methods describing the biological reactivity of pretreated residual wastes. Sardinia 99, Atti del settimo simposio internazionale sulla gestione dei rifiuti e sullo scarico controllato, 04 - 08 ottobre 1999, S. Margherita di Pula, Cagliari.
- Cossu R., Raga R., Vascellari V. 1999. Comparison of different stability criteria for MBP waste in view of landfilling. Sardinia 99, Atti del settimo simposio internazionale sulla gestione dei rifiuti e sullo scarico controllato, 04 - 08 ottobre 1999, S. Margherita di Pula, Cagliari
- Cossu R. Negrin A., Raga R., Sandon A., 2001. Metodologie per la valutazione della stabilità biologica dei rifiuti. Atti 55° Corso di Aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale. D.I.I.A.R. – Sezione Ambientale, Politecnico di Milano. 123-136
- CTD, 1997. Comitato Tecnico Discariche. Linee guida sulle discariche controllate. CISA, Cagliari
- Decreto Legislativo 5 febbraio 1997 n°22
- Direttiva Europea 1999/31/CE del 26 aprile 1999, pubblicata nella G.U.C.E. 16 luglio 1999 n°182.
- EU, 2001. European Commission, Working document "Biological treatment of biowaste", 2nd draft.
- IRSA-CNR, 1985. Quaderno 64. Metodi analitici per i fanghi.
- IRSA-CNR, 1994. Quaderno 100. Metodi analitici per le acque.
- Leikam K., Stegmann R., 1998. Comportamento in discarica a breve e lungo termine dei rifiuti protrattati biologicamente e meccanicamente. Proceedings of the international Seminar "Present and Future of MSW Landfilling", 24-26 June 1998, Cittadella (PD), Ed. Eurowaste - Padova, pp. XXIV 1-13
- Leikam K., Jahnke S., Raga R., Stegmann R. 1999 Influence of water content and emplacement density on landfill emissions. Sardinia 99, Proceedings of the Seventh International International Waste Management and Landfill Symposium, 4-8 October, S. Margherita di Pula, Italy, CISA - Cagliari. Vol I, pp. 495-502.
- Scheelhaase T., Bidlingmaier W., 1999. The landfill body itself as a barrier system. . Sardinia 99, Proceedings of the Seventh International International Waste Management and Landfill Symposium, 4-8 October, S. Margherita di Pula, Italy, CISA - Cagliari. Vol. I, pp. 487-494.
- von Felde D., Doedens H., 1998. Criteri di ammissibilità in discarica dei rifiuti pretrattati. Proceedings of the international Seminar "Present and Future of MSW Landfilling", 24-26 June 1998, Cittadella (PD), Ed. Eurowaste - Padova, pp. XXV 1-12
- Zach A., Humer M., Gomiscek T., Heiss-Ziegler C., Grassinder D., Lechner P., 1999. An approach to a low-emission landfill. Sardinia 99, Proceedings of the Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, 4-8 October, S. Margherita di Pula, Italy, CISA - Cagliari. Vol I, pp. 243-250.