

DATI COPERTINA E PREMESSA DEL PROGETTO

UNI1612865

UNI 11184

Lingua

Italiana

Titolo Italiano

Rifiuti, fanghi e relativi prodotti derivati - Determinazione della stabilità biologica mediante l'Indice di Respirazione Dinamico (IRD)

Titolo Inglese

Wastes, sludges and their derived products - Determination of biological stability by the Dynamic Respiration Index (DRI)

Commissione Tecnica

Organo Competente

UNI/CT 004/GL 05 - Suolo e rifiuti

Coautore

Sommario

Il presente documento specifica il metodo per determinare il grado di stabilità biologica mediante la prova respirometrica dinamica, che misura il consumo di ossigeno nelle condizioni di insufflazione forzata di aria nel campione. Il risultato della prova è l'indice di respirazione dinamica (IRD). Il metodo si applica a materiali di origine biologica derivanti da trattamenti/processi aerobici nonché a rifiuti, rifiuti organici trattati, prodotti derivati da rifiuti e fanghi che siano o possano essere biodegradabili. La prova respirometrica dinamica intende riprodurre, in condizioni di laboratorio, un processo industriale di trattamento aerobico di sostanze organiche.

I destinatari di questo documento sono invitati a presentare, insieme ai loro commenti, la notifica di eventuali diritti di brevetto di cui sono a conoscenza e a fornire la relativa documentazione.

Questo testo **NON** è una norma UNI, ma è un progetto di norma sottoposto alla fase di inchiesta pubblica, da utilizzare solo ed esclusivamente per fini informativi e per la formulazione di commenti. Il processo di elaborazione delle norme UNI prevede che i progetti vengano sottoposti all'inchiesta pubblica per raccogliere i commenti degli operatori: la norma UNI definitiva potrebbe presentare differenze -anche sostanziali- rispetto al documento messo in inchiesta.

Questo documento perde qualsiasi valore al termine dell'inchiesta pubblica, cioè il:

2025-05-31

UNI non è responsabile delle conseguenze che possono derivare dall'uso improprio del testo dei progetti in inchiesta pubblica.

Relazioni Nazionali

La presente norma sostituisce la UNI 11184:2016.

Relazioni Internazionali

Premessa

La presente norma è stata elaborata sotto la competenza della Commissione Tecnica UNI Ambiente

**© UNI - Milano. Riproduzione vietata.
Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o
diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto di UNI.**

Introduzione

La stabilità biologica è di grande importanza nella gestione dei materiali contenenti sostanza organica (ad es. rifiuti urbani, fanghi di depurazione, combustibili solidi secondari, compost) perché il grado di stabilità influenza fortemente la movimentazione di tali materiali fornendo indicazioni sull'efficacia dei successivi trattamenti, tra cui l'effettiva accettabilità in discarica, il possibile riutilizzo a fini ambientali e i rischi di sviluppo di cattivi odori (non potendo comunque le misurazioni di stabilità essere considerate come surrogato affidabile dell'odore).

La stabilità biologica può essere ottenuta attraverso processi aerobici, generalmente indicati come processi di "stabilizzazione", ed anaerobici, generalmente indicati come processi di "digestione". I processi di stabilizzazione e/o digestione mirano all'ottenimento di composti biologicamente stabili, condizione che può essere considerata come l'opposto del concetto di biodegradabilità di una sostanza. I processi di stabilizzazione e/o digestione consentono, tra l'altro, di ottenere un certo livello di disinfezione, cioè di inattivazione di microrganismi patogeni.

Dal punto di vista chimico/fisico, la stabilità biologica è ottenuta grazie alla trasformazione della sostanza organica presente nel campione iniziale in sostanza inorganica e/o poco adatta ad ospitare i processi di ossidazione.

In ambiente aerobico, infatti, i microrganismi utilizzano quale fonte di energia e di nutrimento le sostanze organiche del substrato, consumando ossigeno ed emettendo anidride carbonica. Il metabolismo è più intenso in presenza di un maggior contenuto di composti organici con basso grado di stabilità biologica.

Il presente documento descrive dunque un metodo per la classificazione del grado di stabilità biologica ottenuta per via aerobica in rifiuti e prodotti derivati, che consiste nella determinazione dell'indice di respirazione dinamico (IRD), mediante prova respirometrica dinamica. Tale indice misura il consumo orario di ossigeno causato dai processi di ossidazione biochimica nella sostanza organica in condizione di insufflazione forzata di aria nel campione, ed è quindi strettamente collegato al metabolismo microbico.

Nota 1: Nella ISO 19388:2023 sono elencate, insieme con una valutazione della loro fattibilità, altre metodiche disponibili per valutare il grado di stabilità della sostanza organica. Nella stessa norma sono discussi metodi in grado di fornire in tempi rapidi indicazioni, comunque utili per valutazioni preliminari o urgenti, sul grado di stabilità della sostanza organica, nonché valori tipici dei parametri analitici determinati per diverse categorie di campioni.

Nota 2: Nell'appendice F sono riportati i principali cambiamenti del presente documento nei confronti dell'edizione precedente.

1. Scopo e campo di applicazione

Il presente documento specifica il metodo per determinare il grado di stabilità biologica mediante la prova respirometrica dinamica, che misura il consumo di ossigeno nelle condizioni di insufflazione forzata di aria nel campione. Il risultato della prova è l'indice di respirazione dinamico (IRD). Il metodo si applica a materiali di origine biologica derivanti da trattamenti/processi aerobici nonché a rifiuti, rifiuti organici trattati, prodotti derivati da rifiuti e fanghi che siano o possano essere biodegradabili. La prova respirometrica dinamica intende riprodurre, in condizioni di laboratorio, un processo industriale di trattamento aerobico di sostanze organiche.

Il presente documento specifica due metodi:

- metodo A: Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRDP), volto a normalizzare il contenuto di acqua del campione in modo da ottimizzare la crescita batterica. Ciò permette di confrontare il grado di stabilità biologica di sostanze organiche aventi caratteristiche chimico-fisiche iniziali differenti.
- metodo B: Indice di Respirazione Dinamico Reale (IRDR), che esprime il grado di stabilità biologica misurato senza normalizzare il contenuto di acqua del campione. L'indice di respirazione dinamico reale non

permette quindi di confrontare il grado di stabilità biologica potenziale (ossia in condizioni normalizzate) di campioni differenti.

Nota 1: Il metodo B è il medesimo riportato nella UNI EN 15590 “Combustibili Solidi secondari – Determinazione del tasso corrente di attività microbica aerobica mediante l’indice di respirazione dinamico reale”.

Nota 2: Per informazioni riguardo alla valutazione ed alla gestione di eventuali criticità o interferenze nella misurazione dell’IRD riferirsi al punto 5

2. Riferimenti normativi

Il presente documento rimanda a disposizioni contenute in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi sono citati nei punti appropriati del testo e sono di seguito elencati. Per i riferimenti non datati vale l’ultima edizione della pubblicazione alla quale si fa riferimento (compresi gli aggiornamenti).

UNI 10802	Rifiuti – Campionamento manuale, preparazione del campione ed analisi degli eluati
UNI EN 16192	Caratterizzazione dei rifiuti – Analisi degli eluati
UNI EN 15934	Fanghi, rifiuti organici trattati e suolo - Calcolo della frazione di sostanza secca dopo la determinazione del residuo secco o del contenuto di acqua
UNI EN 15935	Suolo, rifiuti, biorifiuti trattati e fanghi - Determinazione della perdita al fuoco

3. Termini, definizioni, simboli e abbreviazioni

3.1 Termini e definizioni

Ai fini del presente documento si applicano i termini e le definizioni seguenti.

3.1.1

capacità idrica massima (CIM – maximal water holding capacity)

Quantità massima di acqua che il campione può ritenere in condizioni di saturazione dopo lo sgocciolamento gravitazionale dell’acqua.

3.1.2

fase di latenza (lag phase)

Intervallo di tempo necessario all’acclimatazione della flora microbica nel corso della prova respirometrica dinamica. Questa fase si considera conclusa quando la curva dell’IRD inizia ad assumere un andamento esponenziale.

3.1.3

indice di respirazione (respirometric index)

Consumo di ossigeno o produzione di anidride carbonica riferiti all’unità di massa e di tempo [$\text{mgO}_2/\text{CO}_2 \times (\text{unità di massa})^{-1} \times (\text{unità di tempo})^{-1}$].

3.1.4

indice di respirazione dinamico (IRD – dynamic respirometric index)

Risultato della prova respirometrica dinamica che esprime il grado di stabilità biologica del campione analizzato, espresso come consumo di ossigeno nell'unità di massa e di tempo [$\text{mgO}_2 \times (\text{unità di massa})^{-1} \times (\text{unità di tempo})^{-1}$], dove l'unità di massa è 1 kg di solidi volatili del campione e l'unità di tempo è 1 ora.

3.1.5

indice di respirazione dinamico potenziale (IRDP – potential dynamic respirometric index)

Indice di respirazione dinamico misurato previa normalizzazione del contenuto di acqua.

3.1.6

indice di respirazione dinamico potenziale riferito ai solidi totali (IRDP_{ST} – potential dynamic respirometric index referred to total solids)

Indice di respirazione dinamico potenziale dove l'unità di massa al denominatore è 1 kg di solidi totali.

3.1.7

indice di respirazione dinamico reale (IRDR – real dynamic respirometric index)

Indice di respirazione dinamico misurato senza normalizzazione del contenuto di acqua.

3.1.8

indice di respirazione dinamico reale riferito ai solidi totali (IRDR_{ST} – real dynamic respirometric index referred to total solids)

Indice di respirazione dinamico reale dove l'unità di massa al denominatore è 1 kg di solidi totali.

3.1.9

materiale strutturante (bulking agent)

Elemento biologicamente inerte con funzione strutturante per il campione.

3.1.10

pezzatura (grain size)

Dimensione della luce di maglia dello staccio attraverso cui passa almeno il 95% in massa del materiale.

3.1.11

solidi totali (ST – total solids; dry residue)

Frazione massica di un campione che residua dopo un processo di essiccazione a 105 °C in condizioni specificate.

[UNI EN 15934:2012, 3.1]

Nota: il lemma cui la definizione si riferisce nella UNI EN 15934:2012 è "dry residue"

3.1.12

solidi volatili (SV – volatile solids; loss on ignition)

Frazione massica persa per incenerimento di un campione essiccato fino a massa costante ad una temperatura specificata.

[UNI EN 15935:2021, 3.1]

Nota: Nella UNI EN 15935:2021 è specificato che la temperatura cui eseguire l'incenerimento è 550 °C; inoltre il lemma cui la definizione si riferisce è "loss on ignition". Infine la definizione originale richiama, a riguardo della massa costante, il punto 3.3 della stessa norma.

3.1.13

sostanza organica (organic matter)

Materiale di origine biologica con esclusione dei materiali fossili e di quelli derivati da questi ultimi.

Nota: Un campione con prevalente contenuto di sostanza organica è comunemente indicato con il termine "biomassa"

3.1.14

stabilità biologica (biological stability)

Condizione conseguente alla trasformazione delle sostanze organiche in materiali inorganici o lentamente biodegradabili .

Nota: La stabilità biologica può essere valutata in termini assoluti e/o di variazione relativa (grado di stabilità) del parametro considerato, come ad esempio il rapporto percentuale tra la massa di sostanza organica degradata e quella iniziale.

[derivata da UNI EN 16323:2014 [1], 2.3.6.19]

3.2 Simboli e abbreviazioni

Ai fini del presente documento, si applicano i simboli e abbreviazioni seguenti.

Le grandezze sono accompagnate dall'unità di misura, indicata fra parentesi quadre. I litri sono indicati con la L maiuscola. NL indica i normal-litri.

- J	massa di acqua da aggiungere a P_i per raggiungere la condizione di CIM_{75va} [g]
- X	massa di acqua da aggiungere a $P_{t,q}$ per raggiungere la condizione di CIM_{75va} [g]
- CIM	Capacità Idrica Massima
- CIM_{va}	capacità idrica massima espressa come massa assoluta [g]
- O_{2i}	concentrazione (v/v) di ossigeno in ingresso al reattore [% vol.]
- O_{2u}	concentrazione (v/v) di ossigeno misurata a valle del sistema di rimozione della condensa e del respirometro [% vol.]
- CIM_{75va}	condizione normalizzata del contenuto di acqua, corrispondente a $750 \text{ g} \times \text{kg}^{-1} CIM_{va}$ [g]
- IRD	Indice di Respirazione Dinamico
- IRD_h	Consumo di ossigeno per unità di massa in un tempo di 1 ora, misurato come media di almeno 60 misurazioni equidistribuite nell'intervallo di tempo [$\text{mgO}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \times \text{h}^{-1}$]
- IRDP	Indice di Respirazione Dinamico Potenziale
- $IRDP_{ST}$	indice di respirazione dinamico potenziale riferito ai solidi totali
- IRDR	Indice di Respirazione Dinamico Reale
- $IRDR_{ST}$	indice di respirazione dinamico reale riferito ai solidi totali
- LOQ	limite di quantificazione
- U_{va}	massa d'acqua del campione [g]
- SV_{kg}	massa dei solidi volatili del campione oggetto della prova [kg]

-	$P_{t.q.}$	massa del campione da prelevare per preparare il campione normalizzato [g]
-	P_{St}	massa del campione normalizzato [g]
-	P_{IRD}	massa del campione normalizzato caricata nel reattore per eseguire la prova respirometrica [kg]
-	P_f	massa finale del campione dopo sgocciolamento [g]
-	P_{f+T}	massa finale del campione tara inclusa [g]
-	P_i	massa iniziale del campione [g]
-	MW_{ox}	massa molare dell'ossigeno molecolare, pari a $31,999 \text{ g} \times \text{mol}^{-1}$
-	Q	portata volumetrica d'aria riferita alle condizioni normali, ossia 273,15 K e 1013,25 hPa [$\text{NL} \times \text{h}^{-1}$]
-	ST	Solidi Totali
-	ST_{kg}	massa dei solidi totali del campione oggetto della prova [kg]
-	ST_{va}	solidi totali del campione espressi come massa assoluta [g]
-	SV	Solidi Volatili
-	SV_{kg}	massa dei solidi volatili del campione oggetto della prova [kg]
-	SV_{vr}	frazione massica di solidi volatili del campione, espressa sulla sostanza secca [$\text{g} \times \text{kg}^{-1}$]
-	T	tara [g]
-	U_{cvr}	contenuto di acqua corretto, determinato dopo l'aggiunta di acqua, espresso come frazione in massa [$\text{g} \times \text{kg}^{-1}$]
-	U_{vr}	contenuto di acqua del campione espresso come frazione in massa [$\text{g} \times \text{kg}^{-1}$]
-	V_{g0K}	volume molare dei gas ideali riferito alle condizioni normali, ossia 273,15 K e 1013,25 hPa. Esso è pari a $22,414 \text{ NL} \times \text{mol}^{-1}$

4. Principio

4.1 Metodo A - Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRDP)

La prova respirometrica è effettuata sul campione previa normalizzazione del contenuto di acqua (vedere paragrafo 8.1). La normalizzazione garantisce le condizioni ottimali per la crescita e l'attività dei microrganismi aerobi allo scopo di misurare l'attività potenziale di degradazione della sostanza organica da parte degli stessi.

Il risultato della prova respirometrica dinamica potenziale è definito "Indice di Respirazione Dinamico Potenziale" (IRDP) e la sua unità di misura è: $\text{mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \times \text{h}^{-1}$.

4.2 Metodo B - Indice di Respirazione Dinamico Reale (IRDR)

La prova è effettuata sul campione senza normalizzazione del suo contenuto di acqua. In questo caso l'attività microbica aerobica sarà vincolata alle caratteristiche chimico-fisiche reali del campione. Tale parametro viene utilizzato nel caso in cui le succitate caratteristiche e le condizioni del materiale campionato rimangano invariate nel tempo (per esempio stoccaggio al coperto, materiale imballato, ecc.).

Il risultato della prova respirometrica dinamica reale è definito "Indice di Respirazione Dinamico Reale" (IRDR) e la sua unità di misura è: $\text{mg O}_2 \times \text{kg SV}^{-1} \times \text{h}^{-1}$.

5. Interferenze

Interferenze negative sono provocate dalla presenza di sostanze e/o condizioni che influenzino l'attività metabolica dei microrganismi aerobi e, più in generale, il corretto svolgimento del metodo.

In presenza di uno o più casi elencati nel seguito, si devono adottare interventi e/o specifiche procedure aggiuntive, allo scopo di garantire le condizioni operative previste dal presente documento. Tali circostanze dovranno essere dettagliatamente riportate nel Rapporto di prova.

Le interferenze principali sono costituite da:

- presenza di materiale strutturante non biologicamente inerte;
- campioni derivanti da trattamenti anaerobici (ad es. digestati) per i quali non sia o possa essere assicurato l'ambiente aerobico sufficiente per il corretto svolgimento dei processi di ossidazione biochimica;
- campioni con valore del pH al di fuori del range ottimale $6,0 \div 8,5$ (ad es. materiali derivanti da stabilizzazione chimica) tale da inibire l'attività dei microrganismi aerobici;
- difficoltà di una insufflazione forzata e una circolazione dell'aria non sufficientemente uniforme e diffusa in tutto il campione (ad es. fanghi con presenza di agglomerati compatti di particelle);
- campioni con prolungata fase di latenza per i quali non siano registrati valori significativi di consumo di ossigeno al termine dei giorni di durata previsti dal presente documento (ad es. campioni con contenuto di acqua elevato);
- campioni prevalentemente inerti e litoidi per i quali la determinazione dei solidi volatili risulti poco significativa (vedi 10.1).

Nota: Possibili procedure per il trattamento delle principali interferenze sono dettagliate nell'Appendice B

6. Campionamento e conservazione del campione

Il campione da sottoporre alla prova respirometrica dinamica deve essere prelevato seguendo il metodo riportato nella UNI 10802.

Il campione destinato alla prova respirometrica dinamica deve essere conservato in frigorifero a $+4$ °C fino ad un massimo di 7 giorni onde evitare alterazioni dovute all'attività microbica.

7. Apparecchiatura

7.1 Sintesi dei requisiti tecnici dell'apparecchiatura utilizzata

La prova respirometrica deve essere effettuata in un respirometro aerobico (vedere figura 1).

Il respirometro aerobico deve rispondere ai seguenti requisiti:

Prospetto 1 Requisiti tecnici dell'apparecchiatura per esecuzione della prova respirometrica

N°	Caratteristica tecnica	Requisito	Paragrafo
1	Geometria del reattore	1) Volume e struttura del reattore come specificato 2) $H/D = 1,3 \pm 0,1$	7.2
2	Adiabaticità del reattore	Isolamento termico come prescritto	7.3 e appendice F
3	Tenuta del reattore	Massima perdita del 10% in 60 s secondo test specificato	7.4

N°	Caratteristica tecnica	Requisito	Paragrafo
4	Sensore di ossigeno	1) Tempo di risposta del sensore: 300 s 2) Linearità del sensore: $\pm 0,3\%$ vol. 3) Deriva di zero e span del sensore in 24h: $\pm 0,1\%$ vol. 4) Sensibilità del sensore nei confronti dell'interferente CO ₂ : $\pm 0,3\%$ vol.	7.5 e appendice G
5	Sensori di temperatura	1) Scostamento migliore o uguale a $\pm 0,5$ °C 2) Risoluzione di almeno 0,1 °C 3) Campo di misura di almeno 0 ÷ 100 °C.	7.6
6	Regolazione e misura della portata	1) Portata minima impostabile in NL × h ⁻¹ pari al volume in litri del reattore 2) Scostamento in tutto il campo di misura utilizzabile migliore o uguale al $\pm 20\%$ della portata minima impostabile	7.7
7	Sistema di acquisizione dati	Memorizzazione di tutti i parametri a intervalli pari o inferiori a 1h.	7.8
8	Sistema di condensazione	Efficienza di condensazione $\geq 95\%$.	7.9 e appendice H

7.2 Geometria del reattore

Il reattore utilizzato per la prova respirometrica deve avere un volume operativo minimo espresso in litri, uguale o maggiore alla pezzatura del campione espressa in millimetri e comunque non maggiore di 30 L né inferiore a 2 L (per esempio, per un campione di pezzatura di 10 mm, il volume minimo del reattore è pari a 10 L). Nel caso di campioni con pezzature superiori ai 30 mm riferirsi al paragrafo 8.1.

La struttura del reattore deve inoltre essere tale da prevedere l'ingresso dal fondo dell'aria insufflata e l'uscita dal coperchio dell'aria esausta, per evitarne la miscelazione. Per assicurare una distribuzione uniforme dell'aria lungo la sezione, il rapporto tra l'altezza ed il diametro del reattore (H/D) deve essere compreso nell'intervallo $1,3 \pm 0,1$. Il reattore deve essere dotato di un sistema di distribuzione interna dell'aria, ad esempio tramite una piastra di diffusione forata. In appendice E è riportato un esempio di progettazione comprovata per la piastra di diffusione forata.

7.3 Adiabaticità del reattore

Il corpo del reattore deve risultare sufficientemente termicamente isolato dall'ambiente circostante tramite l'impiego di materiali con basso coefficiente di conducibilità termica e/o strati aggiuntivi di isolamento termico sui lati, sul fondo o sul coperchio del reattore stesso.

Il costruttore del respirometro deve fornire la documentazione contenente i risultati del test di verifica prestazionale descritto nell'appendice F.

7.4 Tenuta del reattore

L'apparecchiatura deve disporre di un sistema di verifica della tenuta del reattore; questa verifica deve avvenire tramite la seguente procedura:

- 1) Partizionare il reattore chiudendo una apposita valvola a tenuta da posizionare a valle della misurazione dell'ossigeno in uscita dal reattore.
- 2) Insufflare aria nel reattore dallo stesso ingresso utilizzato durante la prova respirometrica al fine di ottenere una pressione superiore rispetto alla pressione ambientale di almeno 20 hPa e non oltre i 110 hPa.

- 3) Al raggiungimento della pressione scelta, chiudere l'ingresso di aria nel reattore e attendere un tempo di almeno 60 secondi, al termine dei quali la pressione interna non deve diminuire di oltre il 10% rispetto alla sovrappressione impostata all'inizio della verifica.

7.5 Sensore di ossigeno

Il respirometro deve essere dotato di un sensore di concentrazione di ossigeno nell'aria esausta (esprimibile in % v/v) che soddisfi i seguenti requisiti tecnici:

- 1) Tempo di risposta massimo del sensore: 300 s
- 2) Linearità del sensore: $\pm 0,3\%$ vol.
- 3) Deriva di zero e span massima del sensore in 24h: $\pm 0,1\%$ vol.
- 4) Sensibilità del sensore nei confronti dell'interferente CO₂: $\pm 0,3\%$ vol.

Il costruttore del respirometro deve fornire la documentazione contenente i risultati del test di verifica prestazionale descritto nell'appendice G.

La linearità del sensore di ossigeno deve essere verificata all'atto dell'installazione e successivamente secondo tempi e procedure specificati nel paragrafo 7.9

7.6 Sensori di temperatura

L'apparecchiatura deve prevedere tre sonde termometriche per la misura della temperatura dell'aria in ingresso e in uscita dal respirometro e per la misura della temperatura del campione nel reattore, aventi le seguenti specifiche tecniche:

- scostamento minore o uguale a $\pm 0,5^\circ\text{C}$
- risoluzione di almeno $0,1^\circ\text{C}$
- campo di misura di almeno $0 \div 100^\circ\text{C}$.

Nota: per la definizione di scostamento riferirsi a [4].

7.7 Regolazione e misurazione della portata

Il sistema deve essere munito di un regolatore ed un misuratore della portata volumetrica di aria in ingresso al reattore con le seguenti caratteristiche:

- Portata minima impostabile in $\text{NL} \times \text{h}^{-1}$ pari al volume in litri del reattore
- Scostamento in tutto il campo di misura minore o uguale al $\pm 20\%$ della portata minima impostabile

Nota: Si ritiene accettabile uno scostamento del 20% su basse portate poiché queste sono poco influenti sul risultato finale della prova respirometrica.

Lo scostamento del regolatore e del misuratore di portata deve essere verificato all'atto dell'installazione e successivamente secondo tempi e procedure specificati nel paragrafo 7.9

7.8 Sistema di acquisizione dati

Durante la prova respirometrica le misurazioni delle temperature, della concentrazione di ossigeno e della portata volumetrica di aria devono essere acquisite ad intervalli regolari pari o inferiori a 60 s. Il sistema di acquisizione deve calcolare le medie aritmetiche di tali misurazioni su intervalli di 1 h e memorizzare tali medie.

Nota: E' permesso che il sistema di acquisizione memorizzi anche medie su sottomultipli di 1 h.

7.9 Sistema di condensazione

L'apparecchiatura deve includere un sistema di condensazione dell'umidità nell'aria in uscita dal respirometro, allo scopo di eliminare l'umidità derivante dalla respirazione aerobica.

Nota: L'abbattimento dell'umidità ha i seguenti scopi: preservare il sensore di ossigeno; ridurre l'interferenza dell'umidità sulla misurazione dell'ossigeno; ridurre l'effetto della semplificazione operata nell'equazione (1) del paragrafo 9.1, in cui si assume che la portata volumetrica in ingresso al respirometro e quella in uscita siano uguali e quindi entrambe quasi secche.

Il costruttore del respirometro deve fornire la documentazione contenente i risultati del test di verifica prestazionale che dimostri un'efficienza di condensazione superiore al 95%, come descritto nell'appendice H.

7.10 Verifica periodica delle caratteristiche di prestazione metrologica dell'apparecchiatura

Seguendo le specifiche e le indicazioni date dal costruttore ed almeno una volta all'anno devono essere verificate le seguenti caratteristiche di prestazione metrologica del respirometro.

Prospetto 2

Verifiche periodiche delle caratteristiche di prestazione metrologica

N°	Caratteristica tecnica	Metodo di verifica	Criterio di accettazione
1	Linearità del sensore di ossigeno	Come in appendice G, paragrafo G.2.	$\pm 0,3\%$ vol
2	Scostamento del sistema di regolazione e misurazione della portata	Su almeno due punti, al minimo impostabile ed all'80% del valore massimo impostabile, tramite confronto con riferimento certificato.	Minore o uguale al $\pm 20\%$ della portata minima impostabile

Queste verifiche devono essere effettuate sotto la responsabilità del laboratorio, cui è permesso di demandarle al produttore dell'apparecchio.

Legenda

- 1 Spazio di testa libero
- 2 Campione
- 3 Aria esausta in uscita dal coperchio del reattore
- 4 Sistema di rimozione della condensa dall'aria esausta
- 5 Sistema di registrazione in continuo dei parametri di processo
- 6 Aria in ingresso al respirometro
- 7 Aria esausta in uscita dal respirometro
- F Regolatore e misuratore della portata d'aria
- T_i Temperatura dell'aria in ingresso al reattore
- T_B Temperatura del campione
- T_u Temperatura dell'aria in uscita dal reattore
- O_2 Sensore per la misura della concentrazione di ossigeno nell'aria esausta
- D Diametro interno del reattore
- H Altezza interna del reattore
- V Valvole per la verifica della tenuta del reattore

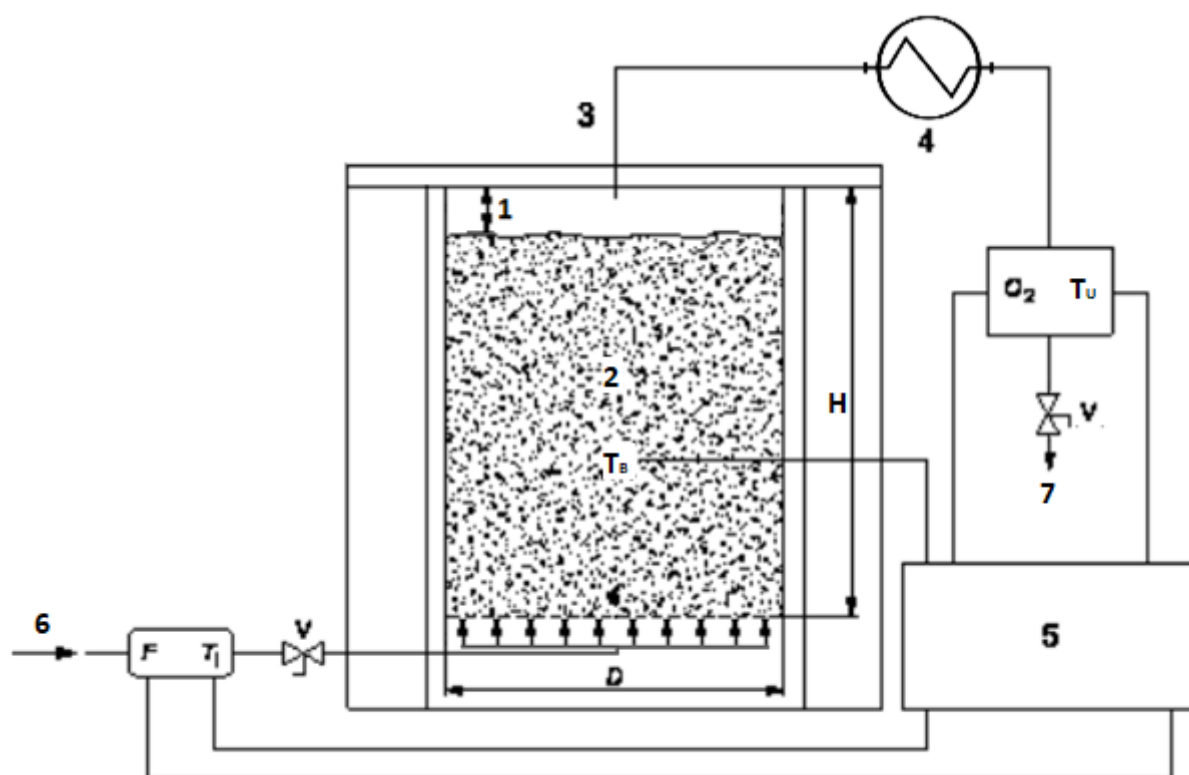


Figura 1

Schema del respirometro aerobico

8. Procedimento

8.1 Caratterizzazione preliminare del campione

Prima della prova respirometrica, devono essere eseguite sul campione le seguenti determinazioni:

- determinazione del contenuto di acqua, secondo la UNI EN 15934 o equivalenti;
- determinazione del pH dell'eluato, secondo la UNI EN 16192 o equivalenti;
- determinazione dei solidi volatili, secondo la UNI EN 15935 o equivalenti.

- determinazione della Capacità Idrica Massima (CIM) (vedere 8.2);

- determinazione della densità apparente (vedere 8.3).

Ove, in esito alla determinazione della densità apparente, ricorrano le condizioni, deve essere eseguita la normalizzazione della densità apparente (vedere 8.4).

Nel caso di pezzatura del campione maggiore di 30 mm, deve essere eseguita la riduzione volumetrica come indicato nella UNI 10802.

Nel solo caso di determinazione di IRDP deve essere eseguita anche la normalizzazione del contenuto di acqua come specificato nei paragrafi 8.5.1 e 8.5.2.

8.2 Determinazione della CIM

La Capacità Idrica Massima (CIM) deve essere determinata applicando la seguente procedura:

- determinare il contenuto di acqua (U_{vr}) del campione (vedere punto 9);
- immergere un sacchetto di tela grezza o di tessuto-non tessuto in acqua per 5 min, estrarlo, strizzarlo in modo tale che non sgoccioli e pesarlo (T);
- pesare $1\,000 \pm 100$ g di campione (P_i) e versarli nel sacchetto. In caso di campione con bassa densità, tale da non permettere il raggiungimento della massa richiesta, riempire il sacchetto con un volume minimo di 4 L;
- posizionare il sacchetto in un recipiente sufficientemente largo e profondo, in modo tale che rimanga spazio fra il sacchetto ed i lati del recipiente ed il fondo dello stesso;
- versare acqua all'interno del sacchetto fino a sommergere completamente il campione;
- chiudere il sacchetto;
- riempire il recipiente di acqua e mantenere il sacchetto col campione sotto il pelo dell'acqua avvalendosi, se necessario, di un peso (non eccessivo onde evitare sia di comprimere il materiale nel sacchetto, sia di premere il sacchetto sul fondo del recipiente);
- lasciare in immersione per un tempo pari a $18\text{ h} \pm 60$ minuti, estrarre il sacchetto e lasciare sgocciolare per un tempo pari a $6\text{ h} \pm 15$ minuti ad una temperatura di 22 ± 5 °C;
- pesare il sacchetto contenente il campione (P_{f+T}).

La differenza fra la massa finale (P_f) del campione e la massa iniziale (P_i) rappresenta la quantità di acqua assorbita durante la prova. Essa, sommata a quella già presente nel campione, rappresenta la massima quantità di acqua assorbibile dal campione e definisce la capacità idrica massima (CIM_{va}).

In formule:

$$U_{va} = P_i \times U_{vr} / 1\,000$$

$$ST_{va} = P_i - U_{va}$$

$$P_f = P_{f+T} - T$$

$$CIM_{va} = P_f - ST_{va}$$

Dove è:

U_{va} massa d'acqua del campione [g];

P_i massa iniziale del campione [g];

U_{vr} contenuto di acqua del campione espresso come frazione in massa [$\text{g} \times \text{kg}^{-1}$];

ST_{va} solidi totali del campione espressi come massa assoluta [g];

P_f massa finale del campione dopo sgocciolamento, cioè alla massima ritenzione idrica [g];

T tara, ossia la massa del sacchetto bagnato e strizzato [g];

P_{f+T} massa finale del campione tara inclusa [g];

CIM_{va} capacità idrica massima espressa come massa assoluta [g].

8.3 Determinazione della densità apparente

Nota il volume operativo del reattore, la densità apparente deve essere determinata come segue:

- introdurre il campione normalizzato fino a riempimento del volume del reattore (lasciando uno spazio fra la superficie del campione ed il bordo del reattore di 2÷5 cm) evitando la formazione di aggregati ed il compattamento del campione;
- determinare il volume dello spazio di testa;
- sottrarre dal volume totale del reattore il volume dello spazio di testa;
- dividere la massa del campione per il dato ottenuto al punto precedente.

8.4 Normalizzazione della densità apparente

Se la densità apparente è maggiore di $0,75 \text{ kg} \times \text{L}^{-1}$, si deve aggiungere al campione una quantità di materiale strutturante biologicamente inerte tale che la densità risultante, dopo aver mescolato, sia inferiore a quella soglia.

8.5 Normalizzazione del contenuto di acqua del campione

8.5.1 Calcolo della quantità di acqua da aggiungere al campione

Per la determinazione dell'IRDP il contenuto di acqua del campione deve essere normalizzato come segue.

Si calcolala massa di acqua [g] corrispondente alla condizione di $750 \text{ g} \times \text{kg}^{-1} \text{ CIM}_{va}$.

$$\text{CIM}_{75va} = 0,75 \times \text{CIM}_{va}$$

Si determina la massa di acqua J da aggiungere a P_i per la normalizzazione.

$$J = \text{CIM}_{75va} - U_{va}$$

Qualora il valore di J risultasse minore o pari a zero, non si deve aggiungere acqua al campione. In caso contrario, per raggiungere la condizione di CIM_{75va} si deve aggiungere al campione la massa di acqua X calcolata come segue.:

$$X = J \times P_{t,q} / P_i$$

$$P_{St} = P_{t,q} + X$$

Dove è:

J massa di acqua da aggiungere a P_i per raggiungere la condizione di CIM_{75va} [g];

X massa di acqua da aggiungere a $P_{t,q}$ per raggiungere la condizione di CIM_{75va} [g];

$P_{t,q}$ massa del campione da prelevare per preparare il campione normalizzato [g];

P_{St} massa del campione normalizzato [g].

8.5.2 Aggiunta di acqua al campione

Si deve procedere come segue.

- Si aggiunge la massa di acqua X alla massa di campione $P_{t,q}$ progressivamente, mescolando opportunamente ed evitando la formazione di aggregati.
- Si lascia il campione normalizzato (P_{St}) a riposo per almeno 1 h.

- Si prelevano tre aliquote di campione per determinare il contenuto di acqua della massa P_{IRD} del campione risultante. La media dei valori di contenuto di acqua delle tre aliquote è il contenuto di acqua corretto (U_{cvr}), da impiegare nella formula di calcolo dell'IRD (vedere punto 9).
- Si preleva dalla parte restante del campione normalizzato la massa P_{IRD} [kg] di campione necessario per effettuare la prova respirometrica.

Nota: L'aggiunta di acqua al campione ne può modificare significativamente il pH.

8.6 Avvio della prova respirometrica

8.6.1 Caricamento del reattore

Nel reattore deve essere introdotta una massa nota di campione normalizzato tale che fra la superficie del campione ed il bordo del reattore vi sia uno spazio libero di 2-5 cm. Il campione deve essere caricato nel reattore evitando la formazione di aggregati ed il compattamento del campione.

8.6.2 Verifica dell'apparecchiatura

La lettura della sonda di ossigeno in ingresso al respirometro deve essere impostata al 21%vol, secondo le specifiche del costruttore.

Si deve verificare la corretta chiusura e tenuta pneumatica del reattore effettuando la verifica di tenuta come indicato nel paragrafo 7.4.

La sonda per la misurazione della temperatura del campione deve essere posizionata nel reattore in modo che il sensore si trovi ad una profondità pari a circa la metà dell'altezza del campione.

8.6.3 Impostazione e durata della prova

Il sistema di acquisizione dati deve rispettare quanto specificato nel paragrafo 7.8.

Ciascun laboratorio (eventualmente su indicazioni del costruttore del respirometro) deve definire la propria procedura per la regolazione della portata di aria in ingresso al reattore, considerando quando segue:

- 1) Si raccomanda di avviare la prova respirometrica regolando la portata di aria in ingresso al reattore ad un valore (detto V il volume totale vuoto del reattore in litri) di circa $3 \cdot V \text{ NL} \times \text{h}^{-1}$. Se si adotta un valore iniziale diverso da quello raccomandato, la scelta deve essere specificata e motivata nel rapporto di prova.
- 2) Può avvenire che quando la portata di aria in ingresso sia minore di quella necessaria a sostenere l'attività microbica aerobica, la percentuale di ossigeno in uscita dal reattore decresca nel corso della prova. Se si verifica questa circostanza, si deve intervenire sulla portata di aria in ingresso allo scopo di stabilizzare la concentrazione di ossigeno ad un valore maggiore o uguale alla soglia del 14%vol; nel caso di registrazione di 2 dati orari consecutivi oppure di un totale di 12 dati orari con concentrazione inferiore al 14%vol la prova è da considerarsi invalida, in quanto effettuata in condizioni non completamente aerobiche.
- 3) E' possibile che la concentrazione di ossigeno in uscita dal reattore cresca nel corso della prova respirometrica (in seguito ad una iniziale diminuzione) a causa del termine o della riduzione dell'attività microbica principale, oppure per la presenza di una portata d'aria in ingresso troppo elevata. In questo caso si deve ridurre gradualmente la portata di aria in ingresso, fino ad un minimo in $\text{NL} \times \text{h}^{-1}$ pari al volume del reattore in litri, cercando di mantenere la concentrazione di ossigeno in uscita al di sotto del valore di soglia del 19%vol. Se la concentrazione di ossigeno non scende sotto al 19%vol si deve mantenere la portata minima per la durata residua della prova.

La prova deve essere condotta rilevando il valore dell'indice respirometrico ad intervalli orari (IRD_h - vedere paragrafo 9.1) per un periodo non inferiore ai 4 giorni e si ritiene conclusa al raggiungimento di un valore decrescente della media mobile sulle 24h per almeno 6h consecutive. Qualora questa condizione non sia soddisfatta, si deve prolungare la prova fino ad un massimo di altri 4 giorni. E' permesso adottare durate maggiori di 8 giorni in caso di interferenze (descritte in appendice B); ciò deve essere giustificato e specificato nel rapporto di prova.

8.6.4 Condizioni di prova

Durante tutto il periodo necessario per l'esecuzione della prova, l'apparecchiatura deve essere posizionata in un ambiente con temperatura media oraria compresa nell'intervallo 22 ± 5 °C.

9. Calcolo

9.1 Metodo A (calcolo dell'IRD)

Per determinare il valore di IRD deve essere calcolata la media mobile di 24 indici respirometrici orari consecutivi [IRD_h – calcolati come in equazione (1)].

Si deve identificare dunque il valore di media mobile massimo tra quelli calcolati, che rappresenta le 24h durante le quali la respirazione microbica è stata più elevata [vedere equazione (2)]. Tale valore è il risultato della prova respirometrica.

$$IRD_h = Q \times (O_{2i} - O_{2u}) \times 10 \times V_{g0K}^{-1} \times MW_{ox} \times SV_{kg}^{-1} \quad (1)$$

$$IRD = \max_{per\ j > 23} \frac{\sum_{i=j-23}^j IRD_{hi}}{24} \quad (2)$$

Dove:

IRD _h	Consumo di ossigeno per unità di massa in un tempo di 1 ora, misurato come media di almeno 60 misurazioni equidistribuite nell'intervallo di tempo [mgO ₂ × kg SV ⁻¹ × h ⁻¹]
Q	portata volumetrica d'aria riferita alle condizioni normali, ossia 273,15 K e 1013,25 hPa [NL × h ⁻¹]
O _{2i}	concentrazione (v/v) di ossigeno in ingresso al reattore assunto costante e pari a 21 %vol.
O _{2u}	concentrazione (v/v) di ossigeno misurata a valle del sistema di rimozione della condensa e del respirometro [%vol.]
10	fattore di conversione da %vol. a mL × L ⁻¹
V _{g0K}	volume molare dei gas ideali riferito alle condizioni normali, ossia 273,15 K e 1013,25 hPa. Esso è pari a 22,414 NL × mol ⁻¹
MW _{ox}	massa molare dell'ossigeno molecolare, pari a 31,999 g × mol ⁻¹
$\sum_{i=j-23}^j IRD_{hi}$	sommatoria di 24 (punto j in esame più i 23 precedenti) valori di IRD _h orari consecutivi; questa sommatoria è possibile solo a partire dal 24esimo dato orario in avanti, ossia per j > 23
SV _{kg}	massa dei solidi volatili del campione oggetto della prova (kg), calcolati come segue:

$$SV_{kg} = SV_{vr} \times \frac{1000 - U_{cvr}}{1000} \times P_{IRD} \quad (3)$$

Dove:

SV _{vr}	frazione massica di solidi volatili del campione, espressa sulla sostanza secca [g × kg ⁻¹]
U _{cvr}	contenuto di acqua corretto, determinato dopo l'aggiunta di acqua, espresso come frazione in massa [g × kg ⁻¹] (vedere punto 8.5)
P _{IRD}	massa del campione normalizzato caricata nel reattore per eseguire la prova respirometrica [kg]

9.2 Metodo B (calcolo dell'IRDR)

Si applica quanto riportato nel punto 9.1, salvo che devono essere utilizzate per la determinazione dei SV_{kg} [vedere equazione (3)] le seguenti grandezze:

U_{cvf} contenuto di acqua corretto, determinato dopo l'aggiunta di acqua, espresso come frazione in massa [$g \times kg^{-1}$] (vedere punto 9)

P_{IRD} massa del campione caricata nel reattore per eseguire la prova respirometrica [kg]

10. Espressione dei risultati

10.1 Metodo A

Il risultato da indicare nel rapporto di prova (vedere punto 12) è l'IRDP. L'unità di massa su cui esprimere il risultato è kg SV, ossia la massa in kg di solidi volatili del campione (vedere punto 9.1).

Se il risultato della determinazione dei solidi volatili (SV) è inferiore al limite di quantificazione (LOQ) definito dal laboratorio per i SV, sul rapporto di prova il risultato dell'IRDP deve essere espresso come maggiore del valore per il calcolo del quale è impiegato al denominatore il LOQ della determinazione dei SV.

In questi casi può essere utile esprimere sul rapporto di prova anche un secondo misurando ($IRDP_{ST}$), determinato come l'IRDP, salvo che al denominatore della formula (1) è impiegato il valore dei solidi totali (ST) invece che dei solidi volatili (SV).

Il valore di ST è calcolato come segue:

$$ST_{kg} = \frac{1000 - U_{cvf}}{1000} \times P_{IRD}$$

Per l'interpretazione dei risultati vedere appendice B e per il confronto di differenti metodi per la determinazione del grado di stabilità biologica vedere appendice D.

10.2 Metodo B

Il risultato da indicare nel rapporto di prova (vedere punto 12) è l'IRDR.

Per il resto si applica quanto riportato nel punto 10.1.

Nota: Nel caso in cui il parametro J (vedi paragrafo 8.5.1) risulti ≤ 0 , il campione si trova già in condizioni normalizzate. In questo caso IRDP e IRDR coincidono.

11. Precisione e accuratezza del metodo

I dati di precisione e accuratezza dell'IRD sono illustrati nell'appendice C.

12. Rapporto di prova

Il rapporto di prova deve contenere almeno le informazioni seguenti:

- riferimento al presente documento;
- tipo di IRD determinato (IRDP o IRDR);
- natura del rifiuto
- parametri chimico-fisici del campione come da procedimento di caratterizzazione (paragrafo 8.1);
- riferimento al campione di laboratorio;
- riferimento alle condizioni di conservazione del campione;
- data di ricevimento del campione di laboratorio e data di inizio e fine della prova;
- identificazione dell'apparecchiatura utilizzata per la prova;

- valore finale di IRDP o IRDR calcolato, espresso come "mg O₂ × kg SV⁻¹ × h⁻¹";
- eventuali motivazioni per cui la prova non è stata effettuata o completata;
- eventuali circostanze che possono avere influenzato il risultato;
- eventuali trattamenti eseguiti sul campione al fine di consentire la corretta esecuzione della prova;
- eventuali scostamenti dal presente documento e relativa giustificazione.

APPENDICE A

(informativa)

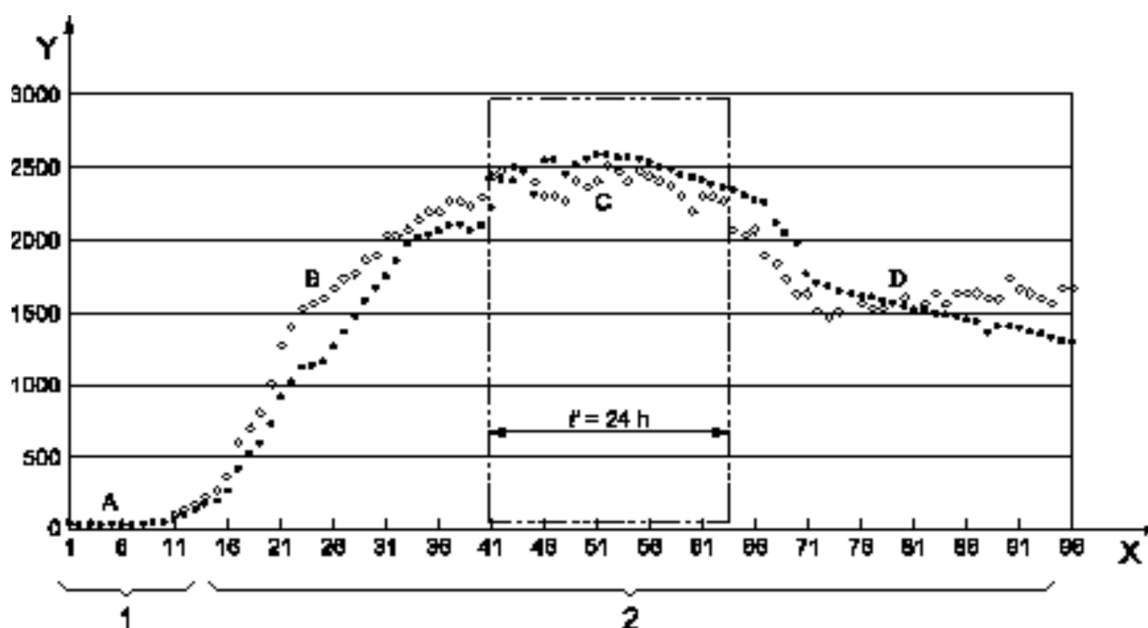
Andamento dell'IRD e durata della prova

L'andamento tipico della curva dell'Indice di Respirazione Dinamico (vedere figura 2) è caratterizzato da una fase iniziale di lag (vedere figura 2 - fase A) che, se presente, può protrarsi anche per diversi giorni (vedere appendice B). In seguito alla fase A, se le condizioni chimico-fisiche all'interno del campione sono favorevoli allo sviluppo della flora microbica, l'andamento della curva di IRD, in concomitanza alla moltiplicazione dei microrganismi, diviene di tipo esponenziale (vedere figura 2 - fase B).

La terza fase (vedere figura 2 - fase C) inizia con la progressiva diminuzione dei composti biologicamente instabili, la cui riduzione determina un rallentamento dell'attività di degradazione microbica e l'instaurarsi di una situazione in cui i fattori di moltiplicazione e morte dei microrganismi sono in equilibrio tra loro; la curva di IRD in questo caso presenta valori pressoché costanti.

La quarta ed ultima fase (vedere figura 2 - fase D) descrive una progressiva diminuzione dei valori di IRD evidenziando l'attenuarsi dei fenomeni degradativi a causa della riduzione del substrato con basso grado di stabilità biologica.

Figura A.1 Andamento dell'IRD in funzione del tempo di prova



Legenda:

- X Tempo (h)
- Y IRD_h (mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹)
- 1 Fase di lag
- 2 Fase attiva

APPENDICE B

(informativa)

Possibili interferenze ed interpretazione dei risultati

Interferenze negative sono provocate dalla presenza di sostanze e/o condizioni che influenzino l'attività metabolica dei microrganismi aerobi e, più in generale, il corretto svolgimento del metodo.

B.1 Materiale strutturante

Il materiale strutturante utilizzato deve essere biologicamente inerte in modo da non interferire o modificare il contenuto di sostanza organica del campione. Vanno altresì evitati materiali in grado di assorbire e ritenere elevati quantitativi di acqua in modo da non allungare la fase di latenza iniziale (vedi B.5), o materiali troppo compatti che alterino la circolazione dell'aria nel reattore (vedi B.4).

Dall'esperienza di laboratorio, materiali comunemente utilizzati con buoni risultati sono principalmente di origine plastica, come ad esempio chips in polistirolo o simili.

B.2 Campioni derivanti da trattamenti anaerobici

Nel caso di campioni derivanti da trattamenti anaerobici, ad esempio digestati, la prova potrà essere proseguita fino al raggiungimento di un valore significativo di consumo d'ossigeno; attenersi alle indicazioni di durata fornite nel punto 8.6.3.

B.3 Campioni con alto pH

Nel caso di campioni con alto valore del pH, ad es. derivanti da stabilizzazione chimica, potrà essere valutata l'attendibilità del risultato in funzione alle successive destinazioni del materiale. Ad esempio, nel caso di smaltimento in discarica è importante considerare che il grado di stabilità biologica così valutata potrebbe ridursi in caso di variazione del pH.

B.4 Difficoltà di circolazione dell'aria

Nel caso in cui l'insufflazione forzata e la circolazione dell'aria non avvenga in maniera sufficientemente uniforme e diffusa in tutto il campione, il campione potrà essere adeguatamente pretrattato per eliminare l'inconveniente. Ad esempio, nel caso di fanghi con presenza di agglomerati compatti di particelle è possibile diluire il campione, facendo attenzione a non rientrare nel caso del successivo punto B.5. In alternativa, per campioni solidi, è possibile aggiungere materiale strutturante non eccessivamente compatto che ne favorisca l'aerazione (rispondente ai requisiti del punto B.1).

B.5 Prolungata fase di latenza

Nel caso di campioni per i quali non siano registrati valori significativi di consumo di ossigeno, ad es. campioni con umidità di partenza elevata, la prova potrà essere proseguita analogamente al suddetto punto B.2.

B.6 Difficoltà determinazione Solidi Volatili

Nel caso di materiali prevalentemente inerti e litoidi o in generale materiali per i quali la determinazione dei solidi volatili risulti poco significativa, il valore dell'IRD lo è altrettanto. Poiché il contenuto di SV è al denominatore della formula di calcolo dell'IRD, bassi consumi di ossigeno possono infatti portare a valori di IRD grandi ed anomali.

In questi casi può risultare utile ricorrere ad un misurando alternativo, che normalizzi i risultati rispetto al contenuto di solidi totali anziché rispetto a quello dei solidi volatili (riferirsi al paragrafo 10.1).

B.7 Interpretazione dei risultati della prova

Si fornisce di seguito una guida all'interpretazione dei risultati della prova respirometrica.

Prospetto B.1 Corrispondenza tra valori di IRDP e caratteristiche del materiale oggetto della prova respirometrica

IRDP $\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Descrizione delle caratteristiche del materiale
<500	Materiale che presenta un elevatissimo grado di stabilità biologica.
da 500 a 1.000	Materiale che presenta un elevato grado di stabilità biologica.
da 1.000 a 1.500	Materiale che presenta un medio-alto grado di stabilità biologica.
da 1.500 a 3.000	Materiale che presenta un medio-basso grado di stabilità biologica.
>3.000	Materiale che presenta un bassissimo grado di stabilità biologica. Valore tipico di campioni con elevato contenuto di frazioni organiche biologicamente instabili.

APPENDICE C

(informativa)

Confronto tra differenti metodi per la determinazione della stabilità biologica

I valori di stabilità biologica ottenuti con il metodo Di.Pro.Ve. sono stati confrontati con i valori del Self Heating Test (vedere prospetto C.1) e del metodo ASTM [1] (vedere prospetto C.2) ottenendo ottime correlazioni.

Prospetto C.1 Valori di Δ °C calcolati per diversi valori di IRDP e comparati con le classi di stabilità biologica suggerite dal "The U.S. Composting Council" [2] e dalla EN 16087-2 (T amb. = 20 °C)

IRDP	Δ °C Self Heating Test	Classe di stabilità	Descrizione delle caratteristiche del materiale
<500	<10	V	Molto stabile
da 500 a 1 000 ^{*)}	da 10 a 20 ^{**)}	IV	Moderatamente stabile; fase finale di maturazione
da 1 000 a 1 500	da 20 a 30	III	Materiale in corso di degradazione
da 1 500 a 3 000	da 30 a 40	II	Materiale immaturo
>3 000	>40	I	Materiale fresco
^{*)} $\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$. ^{**)} T (°C).			

Prospetto C.2 Corrispondenza tra i valori limite di stabilità biologica: IRDP vs. metodo ASTM, IRDP vs. Self Heating Test

Classificazione ASTM dei compost	IRD (ASTM) $\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} 96\text{h}^{-1}$	IRDP $\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} 96\text{h}^{-1}$	IRDP $\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Self Heating Test	Stabilità biologica
Compost 1	258 000			II	
Compost 2 Compost 3	109 000 35 000	57 000	1 000	III IV	
Compost 4	23 000	29 000	500	IV	
Compost 5	20 000			IV	
Compost 6	8 000			IV	

Prospetto C.3 Corrispondenza tra i valori limite di stabilità biologica IRDP vs. Metodo Sapromat-At₄; IRDP vs. ABP

IRDP mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹	Sapromat-At ₄ (mgO ₂ g ss ⁻¹ 4d ⁻¹)	ABP ^c) (NI kg ss ⁻¹)
1512 ^{a)}	95 ^{b)}	204 ^{d)}
500 ^{a)}	32 ^{b)}	89 ^{d)}
78 ^{a)}	5 ^{b)}	32 ^{d)}
a) Dati sperimentali tratti da [3] b) Valori calcolati usando l'equazione IRDP= 15.85*AT4 – 1.14 [3] c) ABP=produzione potenziale di biogas [3] d) Valori calcolati usando l'equazione ABP= 34.5*IRDP+0.109 [3]		

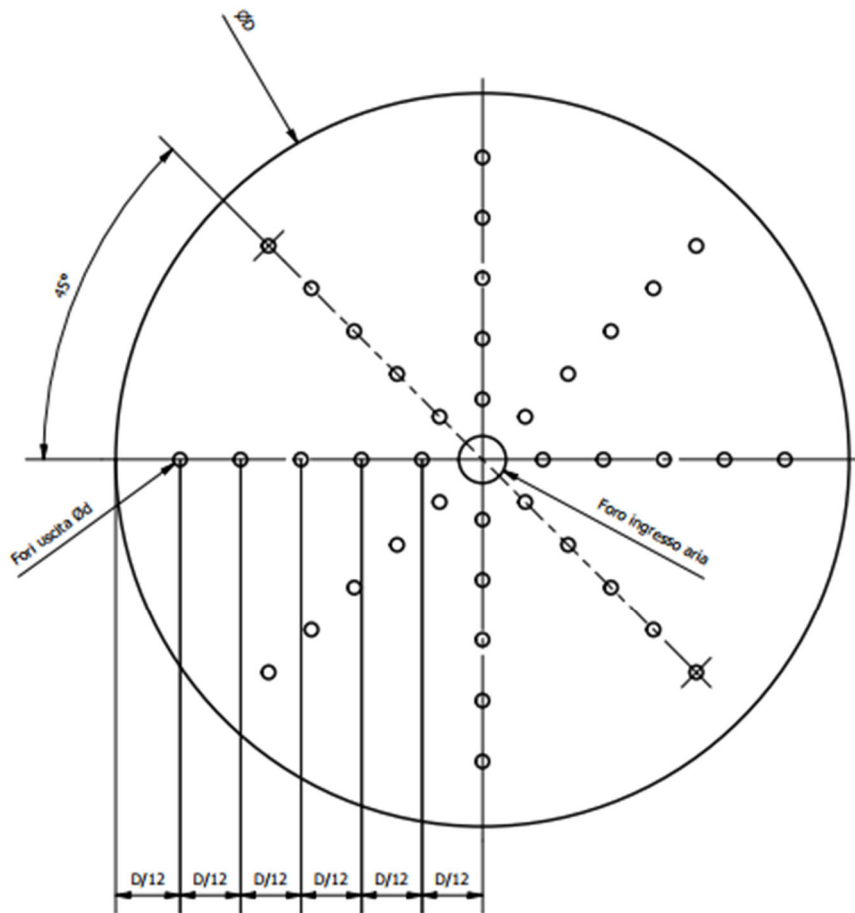
APPENDICE D

(informativa)

Esempio di piastra di diffusione aria in ingresso

Di seguito si riporta un esempio di piastra di diffusione da utilizzare per garantire una corretta distribuzione dell'aria in ingresso nel reattore del respirometro.

Figura D.1 Esempio di progettazione comprovata per la piastra di diffusione aria in ingresso nel reattore di un respirometro



Legenda:

$D \geq 0,5 \cdot \text{diametro reattore}$

$d \geq 3\text{mm}$

numero di fori di diametro $d = 40$

APPENDICE E

(normativa)

Prove di verifica dell'isolamento termico del reattore

La prova deve essere eseguita come segue:

- 1) Posizionare il reattore chiuso in un ambiente a temperatura controllata (22 ± 2 °C) dopo averlo riempito di acqua fino a 5 cm circa dal bordo superiore del reattore. L'acqua utilizzata per la prova deve partire da una temperatura superiore ai 50 °C.
- 2) Monitorare con una sonda di temperatura l'andamento nel tempo della temperatura interna al reattore misurando la temperatura dell'acqua a circa metà altezza del reattore stesso. Interrompere il test appena la temperatura monitorata scende al di sotto dei 40 °C
- 3) Il reattore si definisce con sufficiente isolamento termico se durante il test il tempo necessario per passare dai 50 ai 40 °C è pari o superiore ad un tempo in ore calcolato come segue:

$$t_{50 \rightarrow 40} = 40 \cdot \frac{V_{reattore}}{S_{reattore}} - 3$$

Dove:

$t_{50 \rightarrow 40}$ è il tempo minimo richiesto per superare la prova di validazione, espresso in ore [h]

$V_{reattore}$ è il volume del reattore testato, espresso in litri [L]

$S_{reattore}$ è tutta la superficie interna del reattore, espressa in decimetri quadrati [dm²]

Nota: Il valore di $t_{50 \rightarrow 40}$ è stato ricavato da prove sperimentali.

Il costruttore deve eseguire la verifica delle caratteristiche di prestazione dell'apparecchiatura in uno dei modi seguenti:

- attraverso un processo di qualificazione di prodotto (tipicamente nel caso di produzioni industriali in serie);
- attraverso determinazioni condotte sulla singola unità (tipicamente nel caso di piccole produzioni prototipali), ripetendo ogni tipo di verifica almeno tre volte.

In entrambi i casi i risultati del test sono da ritenersi validi fintanto che non vengano operate modifiche strutturali dell'apparecchiatura o interventi specifici sulla coibentazione del reattore.

APPENDICE F

(normativa)

F.1 Verifica dei requisiti tecnici del sensore di ossigeno

I test devono essere eseguiti insufflando le miscele di riferimento nel sistema, con l'esclusione del volume interno del reattore ed includendo invece il sistema di condensazione. Lo scopo è quello di verificare l'apparecchiatura nella conformazione il più simile possibile a quella utilizzata per una prova respirometrica mantenendo comunque un volume consono e che renda praticabile l'esecuzione della prova.

Poiché il tempo di risposta definito in G.1 e di conseguenza anche i restanti parametri dipendono dal flusso di lavoro, tutti i test definiti in questa appendice vanno eseguiti ad un flusso standardizzato pari a $2,5 \pm 0,5$ L/min, che andrà specificato nella documentazione fornita.

Il costruttore deve eseguire la verifica delle caratteristiche di prestazione dell'apparecchiatura in uno dei modi seguenti:

- attraverso un processo di qualificazione di prodotto (tipicamente nel caso di produzioni industriali in serie);
- attraverso determinazioni condotte sulla singola unità (tipicamente nel caso di piccole produzioni prototipali), ripetendo ogni tipo di verifica almeno tre volte.

In entrambi i casi i risultati del test sono da ritenersi validi fintanto che non vengano operate modifiche strutturali sostanziali sull'apparecchiatura o interventi specifici sul sensore di misura della concentrazione di ossigeno, salvo interventi di manutenzione e/o sostituzione con sensore equivalente a quello iniziale (stesso modello e/o modello che garantisca le stesse prestazioni richieste dal presente documento).

F.2 Tempo di risposta

Si deve fluxare una miscela di riferimento contenente azoto fino all'azzeramento della lettura del sensore di ossigeno. Dopodiché si deve fluxare una seconda miscela di riferimento contenente ossigeno a valore di span. Il tempo di risposta è il tempo intercorrente tra l'inizio del flusso di miscela a valore di span ed il raggiungimento del 90% del valore di span da parte del sensore (tempo di risposta in rampa di crescita).

Si deve poi procedere analogamente, partendo però dal valore di span stabile e poi fluxando azoto: il tempo di risposta è il tempo intercorrente tra l'inizio del flusso di miscela a valore di zero ed il raggiungimento del 10% del valore di span da parte del sensore (tempo di risposta in rampa di decrescita).

Il maggiore dei due tempi di risposta è da confrontare con il requisito tecnico espresso nel paragrafo 7.5.

Nota: Il tempo di risposta così calcolato ha significato per gli scopi di questa verifica e non rappresenta necessariamente un tempo di risposta realmente riscontrabile durante la prova respirometrica.

F.3 Linearità

La linearità del sensore deve essere testata su almeno 4 punti in grado di coprire in maniera rappresentativa l'intervallo di misura abitualmente riscontrato durante la prova (concentrazioni di ossigeno da 10 %vol a 21%vol).

Si fluxa una miscela di riferimento contenente ossigeno a concentrazione nota e si attendono 4 tempi di risposta (così come definito in G.1) dall'inizio del flusso. Si confronta la lettura del sensore con il valore di riferimento e si ripete il procedimento per ogni valore da verificare.

Su ciascun punto verificato la differenza tra lettura del sensore e valore di riferimento deve rientrare nell'intervallo definito dai requisiti tecnici nel paragrafo 7.5.

La linearità del sensore deve essere verificata almeno annualmente, su almeno 2 punti in grado di coprire in maniera rappresentativa l'intervallo di misura abitualmente riscontrato durante la prova, come sopra specificato.

F.4 Deriva di zero e di span

La deriva del sensore di ossigeno deve essere misurata come segue:

- 1) Si fluxa una miscela di riferimento contenente azoto partendo da un valore di ossigeno rilevato pari ad aria ambiente ($\geq 20,8$ %vol.) ed attendere un tempo pari a 4 volte il tempo di risposta dell'apparecchiatura (così come definito in G.1). Si registrano quindi tre misurazioni, ciascuna ad un

tempo di risposta dalla precedente, e se ne calcola la media, che costituisce il valore di zero di riferimento dell'apparecchiatura.

- 2) Si flussa una miscela di riferimento contenente ossigeno a valore di span ed attendere un tempo pari a 4 volte il tempo di risposta dell'apparecchiatura (così come definito in G.1). Si registrano quindi tre misurazioni, ciascuna ad un tempo di risposta dalla precedente, e se ne calcola la media, che costituisce il valore di span di riferimento dell'apparecchiatura.
- 3) Dopo 24h di accensione continua dell'apparecchiatura si ripetono il punto 1) ed il punto 2) per ottenere i valori finali.

La differenza tra i valori finali e quelli di riferimento è da confrontare con il requisito tecnico espresso nel paragrafo 7.5, sia per il valore di zero che per il valore di span.

F.5 Sensibilità nei confronti dell'interferente CO₂

Il sensore di ossigeno non deve mostrare sensibilità nei confronti di interferenti che si possono supporre presenti durante la prova respirometrica, in particolare nei confronti della CO₂, che è presente in concentrazioni significative nelle condizioni di prova.

Per testare la sensibilità del sensore nei confronti della CO₂ si deve procedere come segue:

- 1) Si flussa una miscela di riferimento contenente azoto partendo da un valore di ossigeno rilevato pari ad aria ambiente ($\geq 20,8\%$ vol.) e si attende un tempo pari a 4 volte il tempo di risposta dell'apparecchiatura (così come definito in G.1). Si registrano quindi tre misurazioni, ciascuna ad un tempo di risposta dalla precedente, e se ne calcola la media, che costituisce il valore di zero di riferimento dell'apparecchiatura senza interferente.
- 2) Si flussa una miscela di riferimento contenente CO₂ a concentrazione nota tra il 5 ed il 10 % vol. Si attende un tempo pari a 4 volte il tempo di risposta dell'apparecchiatura (così come definito in G.1). Si registrano quindi tre misurazioni, ciascuna ad un tempo di risposta dalla precedente, e se ne calcola la media, che costituisce il valore di zero dell'apparecchiatura con interferente.
- 3) Si ripetono i punti 1) e 2) flussando, anziché il valore di zero, una miscela di riferimento a concentrazione di ossigeno nota e compresa tra il 14 ed il 21% vol, uguale per entrambe le prove. La concentrazione di CO₂ utilizzata per queste prove deve essere la stessa utilizzata per testare il valore di zero.

Poiché i valori di interferenza possono essere dipendenti dalla concentrazione di interferente utilizzato e dal valore di ossigeno testato, entrambi questi valori devono essere specificati nella documentazione che descrive l'esito della verifica dei requisiti tecnici del sensore di ossigeno.

La differenza tra le medie della lettura di zero con e senza interferente, così come la differenza tra le medie della lettura di ossigeno a valore prescelto con e senza interferente sono da confrontare con il requisito tecnico espresso nel paragrafo 7.5.

APPENDICE G

(normativa)

Verifica dei requisiti tecnici del sistema di condensazione

Per testare l'efficienza del sistema di condensazione si procede come segue:

1. Si posiziona il reattore chiuso in un ambiente a temperatura controllata (22 ± 2 °C) dopo averlo riempito di acqua per almeno metà del suo volume. L'acqua utilizzata per la prova deve partire da una temperatura superiore ai 50 °C ed il peso complessivo inserito nel reattore deve essere registrato.
2. Si insuffla aria nel reattore tramite il sistema di regolazione e misurazione della portata del respirometro, impostando una portata pari a 10 ricambi orari del volume interno del reattore (ad esempio 300 NI/h per un reattore da 30 litri) oppure la massima portata impostabile sul respirometro se questa fosse inferiore ai 10 ricambi orari.
3. Dopo 12h si interrompe il test e si pesare l'acqua raccolta nel sistema di condensazione e l'acqua rimasta nel reattore.
4. Il sistema di condensazione risponde alle specifiche tecniche richieste se la sua efficienza, misurata come segue, è superiore al 95%:

$$E_{\%} = \frac{m_r + m_c}{m_{tot}} \times 100$$

Dove:

$E_{\%}$ è l'efficienza percentuale del sistema di condensazione del respirometro

m_r è la massa in grammi dell'acqua nel reattore alla fine della prova

m_c è la massa in grammi dell'acqua nel sistema di condensazione alla fine della prova

m_{tot} è la massa in grammi dell'acqua nel reattore all'inizio della prova

Il costruttore deve eseguire la verifica del sistema di condensazione dell'apparecchiatura in uno dei modi seguenti:

- attraverso un processo di qualificazione di prodotto (tipicamente nel caso di produzioni industriali in serie);
- attraverso determinazioni condotte sulla singola unità (tipicamente nel caso di piccole produzioni prototipali), ripetendo ogni tipo di verifica almeno tre volte.

In entrambi i casi i risultati del test sono da ritenersi validi fintanto che non vengano operate modifiche strutturali sostanziali sull'apparecchiatura o interventi specifici sul sistema di condensazione stesso.

APPENDICE H

(informativa)

Principali modifiche rispetto all'edizione precedente UNI 11184:2016

Di seguito vengono riportate le principali modifiche della presente edizione del documento rispetto all'edizione precedente, con specifica della tipologia di modifica. Modifiche tecniche sono modifiche maggiori con impatto sull'apparecchiatura e/o sulle attuali procedure per eseguire la prova respirometrica.

Prospetto H.1 Principali modifiche rispetto all'edizione precedente del documento

Punto	Tipo modifica	Riassunto modifiche
Titolo / Introduzione	Generale	Rivista ed espansa introduzione; modificato titolo per meglio rispecchiare le applicazioni della norma.
1	Generale	Rivisto ed aggiornato per maggiore chiarezza. Rimosso ed unificato punto su campo di applicazione non più necessario (ex punto 4).
2	Generale	Rimosse norme obsolete, rivisto per maggiore chiarezza.
3	Generale	Riviste definizioni per maggiore chiarezza, aggiunte abbreviazioni; riviste e uniformate unità di misura.
4	Generale	Espanso e rivisto, chiarendo che per il calcolo di IRDR è inclusa la normalizzazione della densità apparente e la riduzione di pezzature maggiori di 30mm come per IRDP, mentre non è inclusa la sola normalizzazione del contenuto di acqua.
5	Generale	Nuovo punto informativo su possibili interferenze di misura per una migliore gestione della prova respirometrica.
6	Generale	Aggiornato riferimento normativo a UNI 10802.
7	Tecnica	Rivisti ampiamente i requisiti tecnici dell'apparecchiatura. Aggiunti controlli periodici. Rivisto schema apparecchiatura.
8	Generale/Tecnica	Rivisto ed unificato all' ex punto 9 per avere tutto il procedimento della prova, dalla caratterizzazione all'esecuzione vera e propria della prova respirometrica, in un unico punto. Rivisti ed aggiornati riferimenti normativi. Specificato con più chiarezza la possibilità di normalizzare la densità apparente e di ridurre pezzature maggiori di 30mm sia per calcolo di IRDR che per calcolo di IRDP. Modifiche tecniche sulla temperatura da utilizzare per la prova, sulla durata complessiva, sulla procedura di regolazione della portata. Specificato con più chiarezza tempi e condizioni di immersione e sgocciolamento per determinazione della CIM.
9	Tecnica	Modificata formula di calcolo: rispetto alla precedente revisione si considera normalizzata la portata Q e si utilizza il volume di gas in condizioni normali V_{g0K} anziché quello in condizioni ambientali V_{gi} . Le due formulazioni sono equivalenti se si considerano i termini di normalizzazione in pressione e temperatura. Introdotto fattore di conversione 10 per passare da %vol. a mL x L ⁻¹ . Introdotto concetto di media mobile per maggiore precisione nell'identificazione del valore finale di IRD.
10	Tecnica	Definito con maggiore chiarezza quando è possibile utilizzare i ST al posto dei SV nel denominatore della formula di calcolo.
12	Tecnica	Aggiunto nel rapporto di prova la specifica di eventuali trattamenti eseguiti sul campione e dei suoi parametri chimico-fisici.
Appendice A	Generale	Modifiche minori, spostato testo normativo sulla durata della prova nel corpo principale.
Appendice B	Generale	Espansa con elenco di possibili trattamenti da applicare in caso di interferenze indicate nel punto 5.
Appendice D	Generale	Aggiunta con disegno di piastra di diffusione.

Appendice E	Tecnica	Aggiunta con informazioni relative ai requisiti tecnici sull'isolamento termico del reattore.
Appendice F	Tecnica	Aggiunta con informazioni relative ai requisiti tecnici sul sensore di ossigeno dell'apparecchiatura.
Appendice G	Tecnica	Aggiunta con informazioni relative ai requisiti tecnici sul sistema di condensazione dell'apparecchiatura.
Appendice H	Generale	Aggiunta con riassunto delle modifiche apportate al documento

BIBLIOGRAFIA

- [1] ASTM, 1996. Standard test method for determining the stability of compost by measuring oxygen consumption. American Society for testing and materials, D 5975 - 96
- [2] The U.S. Composting Council, 1997. Respirometry. In: Leege P.B. and Thompson W.H. (eds) Test methods for the examination of composting and compost, The U.S. Composting Council, Bethesda, Maryland, USA, pp. 9165-9194
- [3] Scaglia, B., Confalonieri, R., D'Imporzano, G., Adani, F., 2010. Estimating biogas production of biologically treated municipal solid waste. Bioresouruce Technology, 101: 945-95
- [4] UNI CEI 70099:2008, Vocabolario Internazionale di Metrologia - Concetti fondamentali e generali e termini correlati (VIM)

Copyright

Riproduzione vietata. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il consenso scritto dell'UNI.