

ALLEGATO D

Determinazione della Stabilità Biologica per mezzo dell'Indice di Respirazione Dinamico (Metodo Di.Pro.Ve.)

1. Generalità

La stabilità biologica è intesa come la misura del grado di decomposizione della sostanza organica facilmente biodegradabile contenuta in una matrice (Lasaridi e Stentiford, 1996).

Tra le metodiche riportate in letteratura, la misurazione dell'attività respiratoria (test respirometrici) di una matrice organica è senz'altro uno dei parametri più significativi per determinare la stabilità biologica essendo collegata al metabolismo microbico. In ambiente aerobio 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 facilmente biodegradabili (matrici con bassa stabilità biologica) mentre risulta più attenuato quando vi è una minore concentrazione di questi composti (matrici con elevata stabilità biologica).

Il test respirometrico dinamico misura il consumo orario di ossigeno utilizzato per l'ossidazione biochimica dei composti facilmente biodegradabili contenuti in una matrice organica in condizione di insufflazione forzata d'aria nel campione. Il risultato di tale test è l'Indice di Respirazione Dinamico (IRD).

Tale determinazione tende a riprodurre in laboratorio le condizioni che si verificano nella realtà impiantistica di trattamento delle matrici organiche e di valutare la stabilità biologica dei prodotti in base alla loro destinazione d'uso.

A seconda degli obbiettivi dell'analisi si definiscono due metodiche per la determinazione dell'IRD:

- metodo A: Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRDP) (paragrafo 3);
- metodo B: Indice di Respirazione Dinamico Reale (IRDR) (paragrafo 4).

2. Termini e definizioni

Bulking agent: elementi biologicamente inerti con funzione strutturante per il campione.

Capacità idrica massima (CIM): rapporto tra l'acqua trattenuta nei pori dopo sgocciolamento e la quantità massima di acqua che la biomassa può ritenere in condizioni di saturazione.

Composti facilmente biodegradabili: sostanze che vengono degradate dai microrganismi nelle condizioni naturali della biosfera e in un breve periodo di tempo (CEN/TC 343,2004).

Fase di lag o latenza: intervallo di tempo necessario all'acclimatazione della flora microbica nel corso del test respirometrico dinamico. Questa fase si considera conclusa quando la curva dell'IRD inizia ad assumere un andamento esponenziale (cfr. Fig. 2).

Frazione biodegradabile: frazione che può essere degradata dagli organismi viventi, solitamente dai microrganismi, tenendo conto del tipo di organismo e delle condizioni chimico-fisiche presenti e del tempo a disposizione (CEN/TC 343,2004).

Frazione biogenica: materiale non fossilizzato e non derivante da fonti fossili generato dagli organismi viventi nel corso dei processi naturali (CEN/TC 343,2004).

Indice di Respirazione: consumo di ossigeno o produzione di anidride carbonica riferiti all'unità di peso e di tempo: $(\text{mgO}_2/\text{CO}_2 \cdot (\text{unità di peso})^{-1} \cdot (\text{unità di tempo})^{-1})$.

Indice di Respirazione Dinamico (IRD): risultato del test respirometrico dinamico che esprime il valore di stabilità biologica del campione analizzato.

Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRDP): risultato del test respirometrico dinamico che esprime il valore di stabilità biologica del campione previa standardizzazione dei principali parametri chimico-fisici.

Indice di Respirazione Dinamico Reale (IRDR): risultato del test respirometrico dinamico che esprime il valore di stabilità biologica del campione tal quale.

Matrice organica: materiale di origine biologica con esclusione dei materiali fossili e di quelli derivati da questi ultimi.

Respirometro aerobico a flusso continuo: strumentazione utilizzata per lo svolgimento del test respirometrico dinamico.

Solidi totali: frazione solida residua di un campione che non evapora in seguito a determinazione dell'umidità (essiccamento a 105 °C sino a peso costante) (Metodi di analisi del compost – Manuale ANPA 03/2001).

Solidi volatili: frazione solida di un campione che volatilizza in seguito a combustione a 650 °C.

Stabilità biologica: misura del grado di decomposizione dei composti facilmente biodegradabili contenuti in una matrice organica.

Test respirometrico dinamico: saggio biologico che misura il consumo orario di ossigeno utilizzato per l'ossidazione biochimica dei composti facilmente biodegradabili contenuti in una matrice organica da parte dei microrganismi, in condizione di insufflazione forzata della biomassa.

3. Metodo A- Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRDP)

3.1. Principio e obiettivo del metodo

L'analisi respirometrica viene effettuata sul campione previa standardizzazione dei principali parametri chimico-fisici (cfr. 3.7.3 - 3.7.4). La standardizzazione 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 dell'analisi respirometrica dinamica potenziale è definito "**Indice di Respirazione Dinamico Potenziale**" (IRDP) e la sua unità di misura sono i " **$\text{mgO}_2 \cdot \text{kg SV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$** ".

3.2. Campo di applicazione

Il metodo può essere applicato per la misura della stabilità biologica di matrici organiche e di rifiuti urbani biodegradabili tal quali e trattati.

3.3. Interferenze e cause d'errore

Interferenze negative possono essere provocate dalla presenza sostanze tossiche o di condizioni che inibiscono l'attività metabolica dei microrganismi aerobi.

3.4. Campionamento e conservazione del campione

Il materiale da sottoporre al test respirometrico dinamico è prelevato seguendo la metodica riportata nei "Metodi di analisi del compost - Manuale ANPA 03/2001" relativa al campionamento di rifiuti e compost. L'obiettivo è l'ottenimento di un campione rappresentativo costituito da circa 20-50 litri di materiale tal quale (t.q.) ovvero così come presentato in laboratorio.

Il campione destinato al test respirometrico dinamico deve essere conservato esclusivamente in frigorifero a + 4 °C fino ad un massimo di 7 giorni onde evitare alterazioni dovute all'attività microbica.

3.5. Apparecchiatura

Il test di respirazione viene effettuato in un "respirometro aerobico a flusso continuo" (Fig. 1).

Il respirometro aerobico a flusso continuo consta di:

- corpo reattore adiabatico a chiusura ermetica con volume operativo minimo espresso in litri, uguale o inferiore alla dimensione media del campione espressa in millimetri e comunque non superiore a 30 mm (ad esempio, per un campione di pezzatura media inferiore a 10 mm, il volume del reattore è pari a 10 L). La struttura del reattore deve essere tale da obbligare l'aria in ingresso ad attraversare interamente il campione prima di uscire dal reattore, evitando la miscelazione fra l'aria in ingresso e l'aria esausta;
- sistema di verifica della tenuta del reattore;
- sistema di aerazione munito di regolatore di flusso e misuratore di portata;
- sonde termometriche per la misura della temperatura dell'aria in ingresso e in uscita dal respirometro e per la misura della temperatura del campione;
- sistema di rilevamento della concentrazione di ossigeno nell'aria esausta (% v/v);
- sistema di acquisizione-dati tale da permettere di memorizzare in modo continuativo i parametri misurati ad intervalli di 1 ora. Il dato memorizzato deve risultare dalla media di tutti i valori letti (almeno 60) durante l'intervallo considerato.

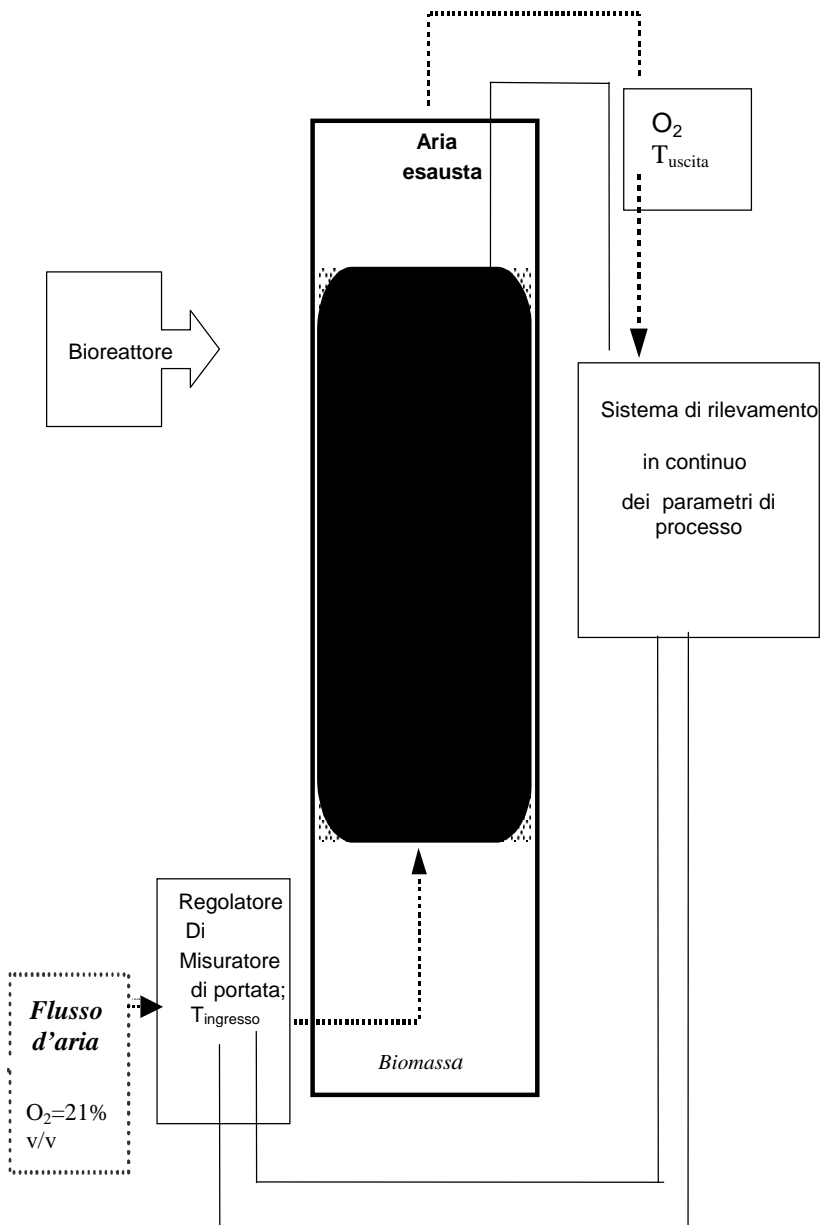


Figura 1- Schema del respirometro aerobico a flusso continuo

3.6. Caratterizzazione del campione t.q.

Su di un campione giunto in laboratorio si procede alla determinazione dei seguenti parametri:

- Determinazione dell'umidità (Metodi di analisi del compost - Manuale Anpa 03/2001).
- Determinazione del pH (Metodi di analisi del compost - Manuale Anpa 03/2001).
- Determinazione dei solidi volatili (Metodi di analisi dei compost - Regione Piemonte, 1998).

3.7. Procedimento

3.7.1. Preparazione del campione

Su di un campione giunto in laboratorio si procede alla sua caratterizzazione chimico-fisica (cfr. 3.6) e alla determinazione della capacità idrica massima (CIM) (cfr. 3.7.2).

3.7.2. Determinazione della CIM

Effettuare la prova per la determinazione della CIM applicando la seguente procedura:

- Determinare l'umidità (U_{vr}) del campione tal quale (cfr. 3.6).
- Immergere un sacchetto di tela grezza o di tessuto-non tessuto in acqua per qualche minuto, estrarlo, strizzarlo in modo tale che non sgoccioli e pesarlo (T).
- Pesare circa 1000 g di campione tal quale (P_i) e versarli nel sacchetto.
- 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 12 ore, estrarre il sacchetto e lasciare sgocciolare per 6 ore.
- Pesare il sacchetto contenente il campione (P_{f+T}).

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

$$U_{va} = P_i * U_{vr} / 1000$$

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

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

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

Dove:

U_{va} = umidità in valore assoluto del campione t.q. (g)

P_i = peso iniziale del campione t.q.(g)

U_{vr} = umidità in valore relativo del campione ($g * kg^{-1}$ t.q.)

ST_{va} = solidi totali in valore assoluto (g)

P_f = peso finale del campione dopo sgocciolamento, cioè alla massima ritenzione idrica (g)

T = tara, peso del sacchetto bagnato e strizzato (g)

P_{f+T} = peso finale del campione tara inclusa (g)

CIM_{va} = capacità idrica massima in valore assoluto (g)

3.7.3. Standardizzazione dell'umidità del campione

3.7.3.1 Calcolo della quantità di acqua da aggiungere al campione per la standardizzazione dell'umidità (condizione di $750 g * kg^{-1} CIM_{va}$ (g)) (se necessario)

Una volta calcolato il valore di umidità corrispondente alla condizione di $750 g * kg^{-1} CIM_{va}$ (g):

$$CIM_{75va} = 0.75 * CIM_{va}$$

si determina il quantitativo di acqua da aggiungere al campione (J) per standardizzarne l'umidità:

$$J = CIM_{75va} - U_{va}$$

Qualora il valore di J risultasse inferiore o pari a zero, non è necessario umidificare ulteriormente il campione. In caso contrario, si prosegue come di seguito riportato:

$$X = J * P_{tq} * P_i^{-1}$$

$$P_{st} = P_{tq} + X$$

Dove:

$CIM_{75va} = 750 g * kg^{-1}$ di CIM_{va} (g)

J = acqua da aggiungere a P_i per raggiungere la condizione di $750 g * kg^{-1} CIM_{va}$ (g)

X = acqua da aggiungere a P_{tq} per raggiungere la condizione di $750 g * kg^{-1} CIM_{va}$ (g)

P_{tq} = peso del campione t.q. da prelevare per preparare il campione standardizzato (P_{st}) (g)

P_i = peso iniziale del campione t.q.(g)

P_{st} = peso del campione standardizzato ($P_{tq} + X$) (g)

In seguito alla determinazione di X, potrà essere effettuata l'umidificazione del campione in modo da standardizzarne l'umidità ad un valore pari al $750 g * kg^{-1} CIM_{va}$ per la successiva determinazione dell'IRDP.

3.7.3.2 Umidificazione del campione

Umidificare il campione ($P_{t.q.}$) aggiungendo progressivamente la quantità d'acqua calcolata (X), mescolando opportunamente ed evitando la formazione di aggregati.

Lasciare il campione standardizzato (P_{st}) a riposo per almeno 1 ora, dopodiché prelevare 3 aliquote di campione per determinare l'umidità del campione oggetto di analisi respirometrica (P_{IRDp}).

Il valore medio delle 3 aliquote è l'umidità corretta (U_{cvr}) che verrà utilizzato nella formula di calcolo dell'IRD (cfr. 3.8). Prelevare dalla parte restante del campione standardizzato la quantità di campione necessario per effettuare l'analisi respirometrica (P_{IRD} in kg).

3.7.4 Determinazione della densità apparente

- Noto il volume operativo del reattore, introdurre il campione standardizzato evitando la formazione di aggregati e il compattamento della biomassa;
- Determinare il volume dello spazio di testa;
- Sottrarre dal volume totale del reattore il volume dello spazio di testa;
- Dividere il peso del campione per il dato ottenuto.

3.7.4.1 Standardizzazione della densità apparente (se necessaria)

Se la densità apparente risulta superiore a $0.75 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, correggere tale parametro utilizzando "bulking agent" biologicamente inerti.

3.7.5 Avvio dell'analisi respirometrica

3.7.5.1 Caricamento del reattore

Introdurre un peso noto di campione standardizzato nel reattore evitando il compattamento e la formazione di aggregati.

3.7.5.2 Verifica della strumentazione

Effettuare la taratura in aria della sonda per misure di ossigeno come descritto nel manuale di istruzioni della sonda.

Verificare la corretta chiusura del reattore allo scopo di impedire il verificarsi di perdite fra il punto di ingresso e quello di uscita dell'aria dal reattore.

Posizionare la sonda in modo che il sensore si trovi ad una profondità pari a circa la metà della altezza del campione nel reattore.

3.7.5.3 Impostazione dell'analisi

Impostare il sistema di acquisizione dati in modo da rilevare i parametri (temperatura, O_2 e portata d'aria) per un periodo di almeno 4 giorni. Impostare un flusso d'aria iniziale, e se necessario adeguarlo durante l'analisi, in modo da garantire valori di concentrazione di ossigeno nell'aria esausta superiori a 14 % v/v .

3.7.5.4 Andamento dell'IRD e durata della prova

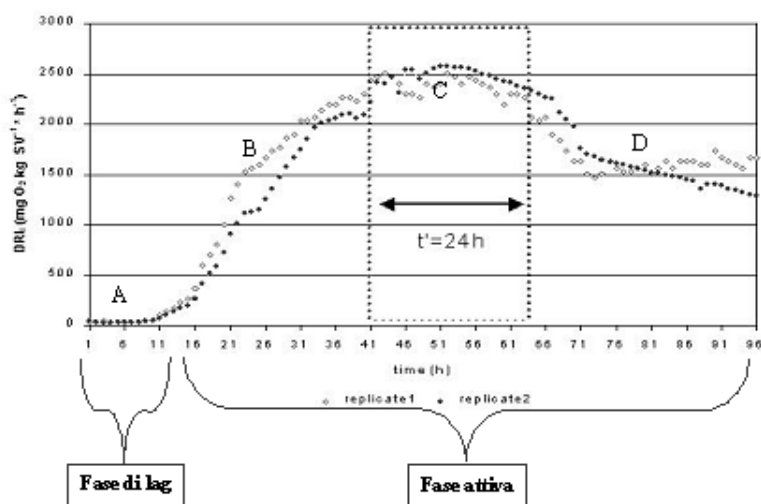


Figura 2 - Andamento dell'IRD in funzione del tempo di analisi.

L'andamento tipico della curva dell'Indice di Respirazione Dinamico (Fig. 2) è caratterizzato da una fase iniziale di lag o latenza (Fig. 2 - fase A) che, se presente, può protrarsi anche per diversi giorni. 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 (Fig. 2 - fase B).

La terza fase (Fig. 2 - fase C) inizia con la progressiva diminuzione dei composti facilmente biodegradabili, 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 (Fig. 2 - fase D) descrive una progressiva diminuzione dei valori di IRD evidenziando l'attenuarsi dei fenomeni degradativi a causa della riduzione del substrato facilmente biodegradabile.

La prova viene condotta tenendo il campione in osservazione nel respirometro per un periodo compreso tra 1 e 4 giorni a seconda della durata della fase di lag (se presente), rilevando il valore dell'indice ad intervalli orari (IRD_h) (cfr. 3.8). Qualora la curva dell'IRD al termine del quarto giorno, presenti ancora un andamento costante o crescente, prolungare l'analisi fino alla registrazione di almeno 24 dati di IRD_h .

3.8. Calcolo dell'IRD

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 ed in uscita dal respirometro (Eq. 1), e calcolata come la media degli indici respirometrici orari (IRD_h) relativi alle 24 ore durante le quali la respirazione microbica è più elevata (Eq. 2).

Il valore finale dell'IRD sarà calcolato quindi mediante la seguente procedura:

- individuazione del valore di IRD_h (Eq.1) massimo raggiunto nel corso della prova;
- individuazione dei 23 valori consecutivi di IRD_h più elevati nell'intorno dell' IRD_h massimo;
- calcolo della media dei 24 valori di IRD_h individuati (Eq. 2 - vedi figura 2).

$$IRD_h = Q * (O_{2i} - O_{2f}) * V_g^{-1} * 31.98 * SV^{-1} \quad \text{Eq.1}$$

$$IRD = \frac{\sum_{t_c=0}^{24} IRD_h}{24} \quad \text{Eq.2}$$

Dove:

- IRD_h** = Indice di Respirazione Dinamico Orario (calcolato ogni ora);
- Q** = flusso d'aria ($L * h^{-1}$);
- $(O_{2i} - O_{2f})$** = differenza di concentrazione fra l'ossigeno in ingresso e quello in uscita dal respirometro ($mL * L^{-1}$)
- V_g** = volume occupato da una mole di gas. Assumendo il valore standard per $T_1 = 273.15$ K e $P_1 = 1$ atm pari a $V_{g1} = 22.4 L * mol^{-1}$, il valore corretto di V_g (V_{g2}) alla temperatura T_2 viene calcolato con la seguente espressione:
 $V_{g2} = (V_{g1} * T_2 / T_1)$ dove T rappresenta la temperatura in gradi Kelvin.
- 31.98** = peso molecolare dell'ossigeno ($g * mol^{-1}$);
- t_c** = intervallo di tempo (24 h) durante il quale si rilevano i valori di IRD_h consecutivi più elevati (Fig. 2 – fase C).
- SV** = solidi volatili in valore assoluto (kg):

$$SV_{kg} = SV_{vr} * \frac{1000 - U_{cvr}}{1000} * P_{IRD} \quad \text{Eq.3}$$

dove:

- ✓ SV_{kg} = peso dei solidi volatili del campione oggetto di analisi (kg).
- ✓ SV_{vr} = solidi volatili del campione in valore relativo, espressi sulla sostanza secca ($g * kg^{-1}$) (cfr. 3.6).
- ✓ U_{cvr} = umidità corretta, determinata dopo l'umidificazione del campione (cfr. 3.7.3.2) in valore relativo ($g * kg^{-1}$).
- ✓ P_{IRD} = peso del campione standardizzato (kg).

3.9. Espressione del risultato

Nel rapporto analitico il dato deve essere indicato come IRDP.

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

- kg SV (solidi volatili) (cfr. 3.6)

Nel caso di campioni di CDR o di campioni caratterizzati dalla presenza di frazioni di solidi volatili non biogenica (es. gomme e plastiche) maggiori del 3% s.s., il dato viene riferito alla Frazione Biogenica (CEN/TC 343,2004).

Nel caso di materiali inerti o litoidi per i quali la determinazione dei Solidi Volatili risulti impraticabile, il dato respirometrico viene riferito ai Solidi Totali (ST) (cfr. 3.6 – Determinazione dell'umidità).

$$ST_{kg} = \frac{1000 - U_{cvt}}{1000} * P_{IRD}$$

4. Metodo B- Indice di Respirazione Dinamico Reale (IRDR)

4.1. Principio e obiettivo del metodo

L'analisi viene effettuata sul campione così come presentato al laboratorio. In questo caso l'attività microbica aerobica sarà vincolata alle caratteristiche chimico-fisiche reali del campione

Il risultato dell'analisi respirometrica dinamica reale è definito “**Indice di Respirazione Dinamico Reale**” (IRDR) e la sua unità di misura sono i “**mgO₂ * kg SV⁻¹ * h⁻¹**”.

4.2. Campo di applicazione

Il metodo può essere applicato per la misura della stabilità biologica di matrici organiche e di rifiuti urbani biodegradabili tal quali e trattati.

4.3. Interferenze e cause d'errore

Interferenze negative possono essere provocate dalla presenza sostanze tossiche o di condizioni che inibiscono l'attività metabolica dei microrganismi aerobi.

4.4. Campionamento e conservazione del campione

Vedi paragrafo 3.4.

4.5.Apparecchiatura

Vedi paragrafo 3.5.

4.6.Caratterizzazione del campione t.q.

Vedi paragrafo 3.6.

4.7.Procedimento

4.7.1. Preparazione del campione

Su di un campione giunto in laboratorio si procede alla sua caratterizzazione chimico-fisica (cfr. 4.6).

4.7.2. Avvio dell'analisi respirometrica

4.7.2.1 Caricamento del reattore

Introdurre un peso noto di campione tal quale nel reattore evitando il compattamento e la formazione di aggregati.

4.7.2.2 Verifica della strumentazione

Vedi paragrafo 3.7.5.2.

4.7.2.3 Impostazione dell'analisi

Vedi paragrafo 3.7.5.3.

4.7.2.4 Andamento dell'IRD e durata della prova

Vedi paragrafo 3.7.5.4.

4.8.Calcolo

Vedi paragrafo 3.8.

Utilizzare per la determinazione dei SV kg (eq. 3):

- ✓ U_{cvr} = umidità del campione tal quale (cfr. 4.6), in valore relativo ($g * kg^{-1}$).
- ✓ P_{IRD} = peso del campione tal quale (kg).

4.9. Espressione del risultato

Nel rapporto analitico il dato deve essere indicato come IRDR.

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

- kg SV (solidi volatili) (cfr.3.6).

Nel caso di campioni di CDR o di campioni caratterizzati dalla presenza di frazioni di solidi volatili non biogenica (es. gomme e plastiche) maggiori del 3% s.s., il dato viene riferito alla Frazione Biogenica (CEN/TC 343,2004).

Nel caso di materiali inerti e litoidi per i quali la determinazione dei Solidi Volatili risulti impraticabile, il dato respirometrico viene riferito ai Solidi Totali (ST) (cfr. 4.6- determinazione dell'umidità):

$$ST_{kg} = \frac{1000 - U_{cvr}}{1000} * P_{IRD}$$

5. Interpretazione dei risultati

Per campioni con valori di pH al di fuori del range ottimale (6.0-8.5) e in assenza di attività biologica per 4 giorni (prolungata fase di lag), occorre effettuare degli approfondimenti analitici per accertare l'eventuale presenza di condizioni limitanti per lo sviluppo dei microrganismi aerobi e per motivare così il risultato dell'analisi respirometrica.

Più in particolare, per campioni con pH < 6.0 si consiglia di determinare il contenuto di acidi grassi volatili e per campioni con pH > 8.5 si consiglia di determinare il contenuto di basi.

6. Riferimenti bibliografici

Adani F., Scatigna L., Genevini P.L. (2000). Biostabilization of mechanically separated municipal solid waste fraction. *Waste Management Research*, 18:471-477.

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 (29), 163-178.

Adani F., Tambone F., Scaglia B., Genevini P.L. (2001). Biostabilization of municipal solid waste. *Proceedings Sardinia 2001. Eight International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari*, vol I: 556-562.

Adani F. (2002). Compost quality: an Italian approach. In F. C. Michel, Jr., R. F. Rynk and H.A.J. Hoitink (eds), *Composting and Compost Utilization*, The J.G Press. Inc. Emmaus, PA, pp. 496-511.

- Adani F., Baido D., Calcaterra E. and Genevini P.L.** (2002). The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 83 (3), 173-179.
- Adani F., Gigliotti G., Valentini F. and Laraia R.** (2002). Respiration index determination: a comparative study of different methods. *Compost Science & Utilization*, spring.
- Adani F., Ubbiali C., Tambone F., Scaglia B., Centemero M. and Genevini P.L.** (2002). Static and dynamic respirometric indexes_Italian research and studies. *Biological treatment of biodegradable waste – Technical Aspects – Brussesl, 8-10 April (invited paper)*.
- ANPA** (2001). *Metodi di analisi del compost. ANPA Manuali e Linee guida 3/2001*.
- ARPAV** (2004). *Compostaggio nel Veneto, strategie di recupero dei rifiuti organici. 67-77, 145-168*.
- Calcaterra E., Baldi M., Adani F.** (2000). An innovative technology for municipal solid waste energy recovery. *IV European Waste Forum, CIPA (Ed.)*, 123-135.
- CEN/TC 343** (2004). *Solid recovered fuels-method for the determination of biomassa content, CEN/TC 343 WI. 4 2004-03*.
- CEN/TC 292** (2004). *Characterization of waste-Calculation of dry matter by determination of dry residue and water content. PrEN 14346: 2004 (E)*.
- Cossu R., Laraia R., Adani F. and Raga R.** (2001). Test methods for the characterization of biological stability of pretreated municipal solid waste in compliance with EU directives. *Proceedings Sardinia 2001, Eight International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, vol I: 546-554*.
- DIVAPRA, IPLA, ARPA** (1998). *Metodi analisi dei compost. Determinazioni chimiche, fisiche biologiche e microbiologiche. Analisi merceologica dei rifiuti. Collana Ambiente 6, Torino, Italia*.
- ENV 12506** (2000). *Characterization of waste – Analysis of eluates – Determination of pH, As, Ba, Cd, Cl⁻, Co, Cr_{vi}, Cu, Mo, Ni, NO₂⁻, Pb, total S, SO₄²⁻, V and Zn*.
- Scaglia B., Tambone F., Genevini P.L., Adani F.** (2000). Respiration Index determination: a dynamic and static approach. *Compost Science and Utilization, Spring 8(2)*, 90-98.