

L.R. 21 gennaio 2000, n. 3 – “*Nuove norme in materia di gestione dei rifiuti*”.
Capo VI – Artt. 32 e segg. – Disposizioni per discariche e bonifiche.

***PUTRESCIBILITA' DEI RIFIUTI:
DEFINIZIONE E DETERMINAZIONE ANALITICA***

**RELAZIONE CONCLUSIVA
DEL TAVOLO TECNICO**

Premessa

La L.R. 21 gennaio 2000, n. 3 recante “*Nuove norme in materia di gestione dei rifiuti*” prevede al capo VI delle specifiche disposizioni per gli impianti di discarica e per le bonifiche dei siti inquinati, introducendo tra l’altro alcune limitazioni al conferimento dei rifiuti cosiddetti “*putrescibili*”.

In particolare l’art. 32 della succitata norma regionale prevede che le discariche per rifiuti urbani e per rifiuti speciali devono distare dagli edifici destinati ad abitazione ovvero dagli edifici pubblici stabilmente occupati almeno:

- a.* 150 metri qualora trattasi di discariche per soli rifiuti secchi, o comunque *non putrescibili*;
- b.* 250 metri negli altri casi.

L’articolo 34 stabilisce che ai progetti di bonifica che comportino la messa in sicurezza in via definitiva anche mediante apporto di materiale o rifiuti *non putrescibili* non si applicano le distanze previste di cui sopra.

Allo stato attuale non si dispone però di una definizione univoca che caratterizzi il concetto di “*putrescibilità*”, con le conseguenti problematiche di ordine analitico in merito all’ammissibilità di alcune tipologie di rifiuto nelle discariche per le quali si applicano le succitate limitazioni.

Pertanto la Direzione regionale Tutela Ambiente ha ritenuto opportuno costituire un tavolo tecnico con l’obiettivo di valutare la possibilità di definire in termini misurabili ed apprezzabili il parametro “*putrescibilità*”.

Al tavolo tecnico hanno partecipato in qualità di componenti:

Regione del Veneto:

Giuliano VENDRAME; Massimo INGROSSO; Diego DE CAPRIO

ARPAV:

Lorena FRANZ, Michele GEROTTO, Francesco LORO, Luisa SANTON

Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova:

Roberto RAGA

Il tavolo tecnico si è riunito nelle seguenti date: 28 febbraio 2008, 19 marzo 2008, 3 aprile 2008, 27 maggio 2008.

Nel corso dei lavori sono inoltre stati sentiti nel merito alcuni gestori delle discariche interessate dalle limitazioni introdotte dalla L.R. n. 3/2000 che hanno prodotto, su richiesta degli Uffici regionali, proprie relazioni tecniche frutto di sperimentazioni e studi specifici effettuati sull'argomento "putrescibilità".

Quadro di riferimento tecnico - normativo

Relativamente alla definizione di "putrescibilità" dei rifiuti non si trova alcun riferimento in merito sia a livello normativo che scientifico: di fatto il termine "putrescibilità" viene associato e/o utilizzato in alternativa ai termini "fermentescibilità" e "biodegradabilità".

La normativa vigente in materia di rifiuti definisce il concetto di "biodegradabilità" mentre utilizza quelli di "putrescibilità" e "fermentescibilità" senza proporre delle definizioni chiare ed univoche: infatti, il termine "putrescibilità" viene utilizzato nel Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n. 4, "Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale" all'art. 183 della parte IV "Gestione dei rifiuti" per le definizioni di frazione umida e frazione secca, di seguito riportate:

- frazione umida: rifiuto organico putrescibile ad alto tenore di umidità, proveniente da raccolta differenziata o selezione o trattamento dei rifiuti urbani;
- frazione secca: rifiuto a bassa putrescibilità e a basso tenore di umidità proveniente da raccolta differenziata o selezione o trattamento dei rifiuti urbani, avente un rilevante contenuto energetico.

I termini "putrescibilità" e "fermentescibilità" compaiono nella D.G.R.V. n. 2241/2005 (recante "Norme tecniche in materia di utilizzo in agricoltura di fanghi di depurazione e di altri fanghi e residui non tossici e nocivi di cui sia comprovata l'utilità ai fini agronomici") che, in riferimento alla stabilizzazione dei fanghi, impone esplicitamente che "i fanghi, prima di essere utilizzati, devono essere sottoposti a idoneo trattamento di stabilizzazione atto a diminuire la probabilità di diffusione di microrganismi patogeni, il carattere di putrescibilità e l'emanaione di odori sgradevoli".

La delibera definisce, inoltre, cosa si deve intendere per fango stabilizzato: "un fango che ha ridotto in maniera rilevante il suo potere fermentescibile mediante uno dei seguenti trattamenti che riducono l'attività microbiologica del materiale" e di seguito chiarisce quali sono i processi di trattamento/condizionamento.

Il termine “*potere fermentescibile*” viene richiamato dalla Direttiva 86/278/CEE (“*Utilizzazione dei fanghi di depurazione*”) e dal decreto attuativo D.Lgs. 99/1992 “*concernente la protezione dell’ambiente, in particolare del suolo, nell’utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura*” per la definizione di “*fanghi trattati*”: “*fanghi sottoposti a trattamento biologico, chimico o termico, a deposito a lungo termine ovvero ad altro opportuno procedimento in modo da ridurne in maniera rilevante il loro potere fermentescibile*”; tuttavia, anche in tale Direttiva, non si chiarisce in alcun modo il concetto di “*potere fermentescibile*”, né si indicano i parametri con i quali determinare una sua riduzione, ottenuta a seguito del processo di condizionamento.

Sulla base di quanto sopra i termini “*putrescibilità*” e “*fermentescibilità*” vengono utilizzati in assenza di una precisa definizione e di una descrizione dei possibili metodi utilizzati per la loro determinazione.

Per quanto riguarda il termine “*biodegradabilità*” invece, come già accennato in precedenza, si individuano delle definizioni nelle Norme vigenti; in particolare, nella Norma CEN/TC 343 del 2004:

- con “*biodegradabilità*” si esprime “*la tendenza di una matrice a subire un processo naturale di degradazione microbica (aerobica o anaerobica) nelle condizioni naturali della biosfera*”
- con “*frazione biodegradabile*” un materiale che può essere degradato da organismi viventi, solitamente dai microrganismi, tenendo conto del tipo di organismo, delle condizioni chimico-fisiche presenti nell’ambiente e del tempo a disposizione.

La biodegradabilità può essere suddivisa in “*biodegradabilità istantanea*” e “*biodegradabilità potenziale*”, di seguito definite:

- la *biodegradabilità istantanea* riguarda la decomposizione di composti facilmente biodegradabili presenti in una matrice organica;
- la *biodegradabilità potenziale*, invece, considera, oltre alla degradazione della frazione organica facilmente biodegradabile contenuta nella matrice, anche quella delle molecole organiche lentamente biodegradabili.

Definizione di putrescibilità

Sulla base del quadro delineato nel precedente paragrafo il gruppo di lavoro ritiene che il concetto di “*putrescibilità*” possa ragionevolmente essere assimilato a quello di “*biodegradabilità istantanea*”, in quanto ci si riferisce alla sostanza organica presente nella matrice rapidamente biodegradabile.

Pertanto, viene proposta la seguente definizione di putrescibilità:

“La putrescibilità è la tendenza della materia organica a subire reazioni di degradazione biologica con produzione di metaboliti di varia natura e composti a ridotto peso molecolare che si sviluppano in tempi brevi, ossia nella prima parte della biodegradazione, in cui vengono attaccati dagli organismi le sostanze più facilmente biodegradabili”.

La putrescibilità di un materiale è legata non solo al suo contenuto di sostanza organica ma anche alle condizioni chimico-fisiche nella quale questa viene a trovarsi: le reazioni di degradazione biologica possono infatti avanzare o bloccarsi a seconda che le condizioni ambientali al contorno favoriscano o meno l’insediamento dei batteri “decompositori”.

Relazione tra putrescibilità e stabilità biologica

Alla luce della definizione sopra proposta, risulta evidente che il concetto di “putrescibilità” è altresì legato anche a quello di “stabilità biologica”.

Per stabilità biologica si definisce infatti “lo stato in cui, garantite le condizioni ottimali per l’esplicarsi delle attività microbiologiche in condizioni aerobiche, i processi di biodegradazione risultano alquanto rallentati” (Adani e Tambone, 1998) e anche “la condizione in cui il tasso di consumo dell’ossigeno è tanto ridotto che non si producono condizioni anaerobiche o odori fino al punto da creare problemi durante la conservazione o l’uso finale del prodotto” (McAdams et al., 1996).

Va comunque precisato che la relazione tra putrescibilità e stabilità biologica è di tipo univoco; se è vero cioè che un rifiuto biologicamente stabile è anche un rifiuto non putrescibile, non possiamo affermare il contrario: un materiale potrebbe infatti risultare non putrescibile in quanto le condizioni ambientali nelle quali si trova inibiscono l’attività biologica, ma ciò non esclude che nello stesso materiale possano comunque verificarsi dei fenomeni degradativi qualora le condizioni ottimali venissero ripristinate.

Determinazione analitica della stabilità biologica

In passato sono stati proposti molti metodi analitici per determinare la stabilità biologica (Iannotti et al., 1993; Adani et al., 1995; Leikam e Stegmann, 1997; Cossu et al., 1999). Tra di essi i metodi che misurano l’attività respirometrica hanno ricevuto molta attenzione dai ricercatori. I test di respirazione stimano la produzione di biossido di carbonio 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 (Lasaridi e Stentiford, 1996); 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; UNI/TS 11184, 2006).

Tra queste metodiche, 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)*, che risulta inversamente proporzionale al grado di stabilità del campione (Metodo UNI/TS 11184, 2006).

Si parla di IRD “*potenziale*” se l’analisi respirometrica viene effettuata sul campione di materiale previa standardizzazione dei principali parametri chimico – fisici; si parla invece di IRD “*reale*” se l’analisi respirometrica viene effettuata sul campione tal quale.

La determinazione dell’IRD potenziale risulta più cautelativa rispetto alla determinazione dell’IRD reale in quanto, nel caso in cui fosse presente una minima attività biologica della sostanza organica presente nel campione, la stessa sarebbe “*esaltata*” mediante la determinazione dell’IRD potenziale; al contrario, la determinazione dell’IRD reale effettuata sullo stesso materiale potrebbe non evidenziare alcuna attività biologica (ad esempio in presenza di specifiche condizioni in grado di inibire temporaneamente l’attività biologica).

In Veneto è attualmente utilizzata la metodica relativa alla determinazione dell’IRD per valutare la stabilità biologica delle matrici provenienti dalla biostabilizzazione e dal compostaggio (D.G.R.V. 568/05 Allegato D); la succitata DGR consente, inoltre, che il biostabilizzato prodotto dagli impianti di trattamento biologico dei rifiuti (BD) possa essere utilizzato come terra di copertura

giornaliera nelle discariche, previa verifica della rispondenza a determinati limiti; in particolare il parametro IRDP dev'essere inferiore a $1.000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{KgSV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Da ultimo si sottolinea che tale metodica richiede una tempistica di esecuzione pari a circa 4-5 giorni.

A livello internazionale sono stati ampiamente sperimentati anche altri indici respirometrici come ad esempio l'AT4 (Binner et al., 1997; Cossu e Raga, 2008), il cui utilizzo è previsto ad esempio nelle normative tedesche e austriache, che fornisce risultati ben correlati con quelli ottenuti con l'indice respirometrico dinamico (Cossu et al., 2001).

Oltre ai metodi respirometrici, per la misura della stabilità biologica dei rifiuti vengono utilizzati – soprattutto all'estero – anche i cosiddetti “*indici di produzione del biogas*”, che misurano la produzione di biogas, in condizioni anaerobiche, da parte della sostanza organica contenuta nella matrice: tali indici richiedono sicuramente tempi più lunghi di esecuzione (il più breve si basa su una durata di 21 giorni della prova) rispetto agli indici respirometrici.

Va infine menzionato il cosiddetto Black Index (BI): si tratta di un parametro qualitativo che si ottiene in poche ore mediante osservazione dell'annerimento di una cartina di acetato di piombo per precipitazione di solfuri nel corso di un semplice test di fermentazione (Cossu et al., 1999). Il test del Black Index è molto economico e può essere utilizzato come test preliminare per la valutazione della stabilità biologica di un rifiuto: alti valori del BI sono tipici di rifiuti non biologicamente stabili, tuttavia l'incertezza permane nel caso di campioni con basso BI, dato che il risultato potrebbe dipendere da basso tenore di zolfo e non dalla effettiva stabilità biologica del campione.

Determinazione analitica della putrescibilità

Va evidenziato che presso le discariche interessate dalle succitate limitazioni di cui alla L.R. n. 3/2000, sono attualmente in uso le seguenti metodiche per la verifica della non putrescibilità dei rifiuti:

- Il *test al blu di metilene*, che richiede un tempo di esecuzione di ca. 15 giorni e che, pertanto, non può essere utilizzato in fase di verifica in loco dei rifiuti conferiti in discarica;
- Il *test al permanganato*, che invece ha tempi molto rapidi di esecuzione e che, pertanto, viene usato per il controllo dei carichi in ingresso.

Entrambi i test sopraccitati forniscono una misura di tutta o parte della sostanza organica presente nel rifiuto, senza alcun riferimento alla velocità delle reazioni di biodegradazione della medesima, ed in ogni caso non risultano essere stati sinora recepiti dalle norme tecniche dell'UNI.

Nel corso delle riunioni tecniche effettuate sull'argomento di cui trattasi è stata discussa la possibilità di utilizzare, quale misura indiretta della putrescibilità, i parametri TOC (Carbonio Organico Totale) e DOC (Carbonio Organico Disciolto) introdotti dal D.M. 3 agosto 2005 “*Criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica*”.

Al riguardo si evidenzia che vi sono più metodi in ambito nazionale per la determinazione del Carbonio Organico Totale: metodi che prevedono un attacco con un agente fortemente ossidante a caldo (IRSA Quad. 64 Met.5; Metodi Ufficiali di analisi chimica del suolo Met. VII.2 e Met. VII.3), quelli che prevedono la combustione in atmosfera di ossigeno e la successiva misura diretta od indiretta della CO_2 prodotta (Metodi Ufficiali di analisi chimica del suolo Met. VII.1; Metodo UNI EN 13137:2002), quelli che misurano la perdita di massa per incenerimento (Metodo UNI EN 12879:2002).

Tutti questi metodi consentono di valutare il contenuto complessivo in carbonio presente nella matrice in esame ma non sono in grado di quantificare la sola frazione putrescibile presente nella matrice. I metodi per combustione in atmosfera di ossigeno e per incenerimento quantificano inoltre anche la sostanza organica chimicamente inerte (polimeri costituenti le plastiche).

In conclusione, il parametro TOC non quantifica il grado di putrescibilità di un rifiuto perché fornisce informazioni circa il contenuto totale di carbonio presente nello stesso, senza pertanto discriminare tra il carbonio presente nella matrice che è soggetto a putrefazione (biodegradabilità istantanea) e quello lentamente biodegradabile (biodegradabilità potenziale).

Anche il parametro DOC, che rappresenta una misura della frazione solubile della sostanza organica presente in un rifiuto, non sembra direttamente correlato alla putrescibilità dello stesso, dal momento che non fornisce di per sé alcuna informazione sulla facilità di degradazione biologica della frazione di sostanza organica presa in considerazione.

Pertanto, sulla base delle attuali conoscenze, preso atto che un rifiuto biologicamente stabile è anche non putrescibile e visto che con la D.G.R. 568/05 la Regione del Veneto ha già adottato l'*Indice di Respirazione Dinamico Potenziale* (IRDP) per valutare la stabilità biologica delle matrici provenienti dalla biostabilizzazione e dal compostaggio, lo stesso parametro può essere proposto per la valutazione della putrescibilità dei rifiuti al fine di accertarne l'accettabilità in discarica.

La metodica da utilizzare per la determinazione dell'IRDP è quella individuata dalla DGRV n. 568/2005 – Allegato D, paragrafo 3 "*Metodo A – Indice di Respirazione Dinamico Potenziale*" che richiede una tempistica di esecuzione pari a circa 4-5 giorni; al riguardo si evidenzia che tale metodica, che non prevede il preventivo tamponamento di pH del campione, può applicarsi anche alle tipologie di rifiuti speciali, ed in particolare, di fanghi conferite nelle discariche di cui trattasi.

Si propone infine che il valore limite per definire un rifiuto biologicamente stabile, e di conseguenza "*non putrescibile*", sia pari a $1.000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{KgSV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, in analogia a quanto già riconosciuto per l'utilizzo come terra di copertura giornaliera nelle discariche del biostabilizzato prodotto dagli impianti di trattamento biologico dei rifiuti (BD).

Relazione tra IRDP e DOC

Nel corso delle riunioni tecniche effettuate sull'argomento di cui trattasi, è stata altresì evidenziata la necessità di chiarire se ed in che misura la richiesta di deroga al parametro DOC, formulata da alcuni gestori di discariche nell'ambito delle autorizzazioni alle sottocategorie di cui all'art. 7 del D.M. 3 agosto 2005, sia legata al divieto di conferimento dei rifiuti putrescibili nei medesimi impianti di smaltimento.

Come già sottolineato nei precedenti paragrafi, il DOC e l'IRDP sono entrambi parametri legati alla presenza di sostanza organica nella matrice ma forniscono informazioni sostanzialmente diverse: il DOC misura la frazione solubile della sostanza organica presente mentre l'IRDP fornisce una misura della stabilità biologica della matrice che risulta legata al rallentamento in condizioni ottimali delle reazioni di biodegradazione della sostanza organica.

Tuttavia si è ritenuto utile approfondire il legame tra questi due parametri anche al fine di verificare la compatibilità delle deroghe richieste per detto parametro ed il divieto di conferimento dei rifiuti putrescibili in essere per le discariche di cui trattasi.

Al riguardo è stato preso in esame un recente studio condotto da APAT in collaborazione con le ARPA regionali ed il CIC (Consorzio Italiano Compostatori) - denominato "*Caratterizzazione chimico – fisica del biostabilizzato proveniente da impianti di trattamento meccanico biologici dei*

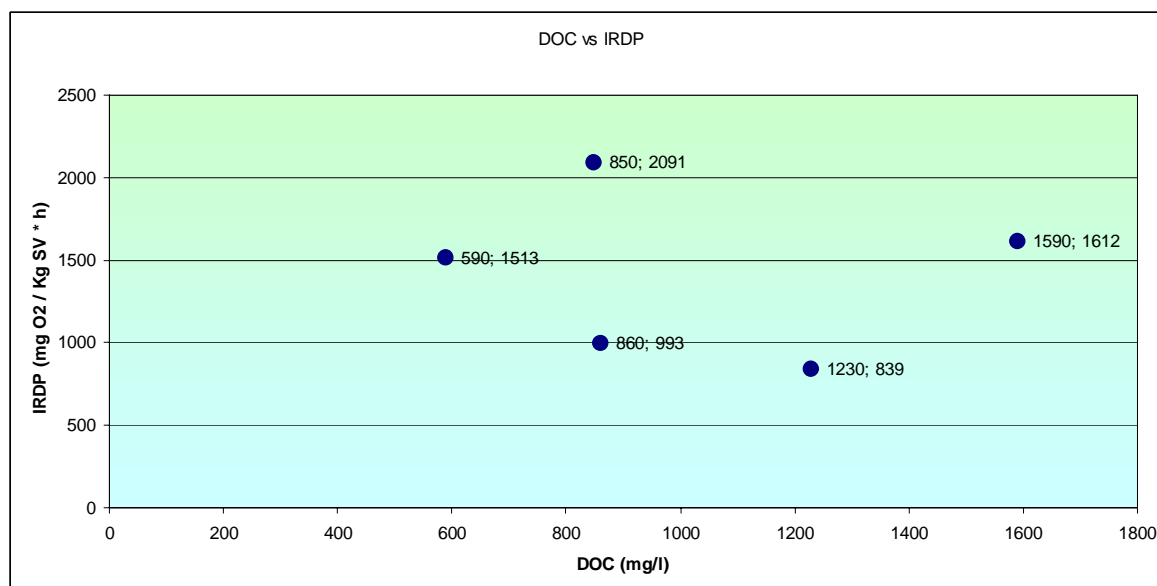
"rifiuti" – ove sono stati determinati tra i vari parametri, oltre all'IRD, anche il Carbonio Organico Totale (TOC) ed il Carbonio Organico Disciolto (DOC) come misura della sostanza organica presente.

Sulla base di un'interpretazione grafica dei risultati analitici, i dati di DOC e di IRD rilevati per i campioni analizzati non mostrano alcuna correlazione: in ogni caso i valori rilevati di DOC sono nettamente superiori al limite previsto dal DM 3 agosto 2005 anche nei campioni con IRD inferiore a $1.000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{Kg SV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Data la disponibilità offerta dall'Osservatorio Regionale per il compostaggio e dal Dipartimento Regionale Laboratori di ARPAV, è stata inoltre attivata una specifica sperimentazione su campioni di biostabilizzato da discarica al fine di avere ulteriori ed utili informazioni sui valori di DOC riscontrabili in tali tipologie di materiale a fronte del rispetto dei relativi valori degli indici respirometrici.

Nel corso di detta sperimentazione sono stati analizzati cinque campioni di BD da discarica provenienti da diversi impianti di trattamento biologico di rifiuti urbani del territorio regionale; i risultati sono di seguito riportati:

Campione	IRDP $\text{mg O}_2 \cdot \text{Kg SV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	DOC mg/l
1	839	1230
2	2091	850
3	1513	890
4	993	860
5	1612	1590



Sulla base dei risultati della sperimentazione condotta, non è stata evidenziata alcuna correlazione tra i parametri DOC ed IRDP, come evidenziato nel grafico sopra riportato.

Inoltre i dati analitici riscontrati confermano quanto si era osservato nel rapporto APAT sopraccitato e, cioè, che anche materiali biologicamente stabili e quindi, non putrescibili possono avere di fatto valori di DOC superiori ai limiti previsti dal DM 3 agosto 2005 per l'accettabilità dei rifiuti in discarica.

Pertanto appare ragionevole ritenere che il DOC non sia direttamente correlato al concetto di "putrescibilità".

Conclusioni

1. Viene proposta la seguente definizione di "putrescibilità":

"La putrescibilità è la tendenza della materia organica a subire reazioni di degradazione biologica con produzione di metaboliti di varia natura e composti a ridotto peso molecolare che si sviluppano in tempi brevi, ossia nella prima parte della biodegradazione, in cui vengono attaccati dagli organismi le sostanze più facilmente biodegradabili"

2. Sulla base della documentazione scientifica esaminata e delle valutazioni tecniche effettuate, non esistono allo stato attuale test "rapidi" per la determinazione della "putrescibilità";
3. Sulla base delle attuali conoscenze, preso atto che un rifiuto biologicamente stabile è anche non putrescibile e visto che con la D.G.R. n. 568/05 la Regione del Veneto ha già adottato l'*Indice di Respirazione Dinamico Potenziale* (IRDP) per valutare la stabilità biologica delle matrici provenienti dalla biostabilizzazione e dal compostaggio, lo stesso parametro può essere proposto per la valutazione della putrescibilità dei rifiuti al fine di accertarne l'accettabilità in discarica;
4. La metodica da utilizzare per la determinazione dell'IRDP è quella individuata dalla DGRV n. 568/2005 – Allegato D, paragrafo 3 "*Metodo A – Indice di Respirazione Dinamico Potenziale*" che richiede una tempistica di esecuzione pari a circa 4-5 giorni; al riguardo si evidenzia che tale metodica, che non prevede il preventivo tamponamento di pH del campione, può applicarsi anche alle tipologie di rifiuti speciali, ed in particolare, di fanghi conferite nelle discariche di cui trattasi;
5. Si propone che il valore limite per definire un rifiuto biologicamente stabile, e di conseguenza "*non putrescibile*", sia pari a $1.000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{KgSV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, in analogia a quanto già riconosciuto per l'utilizzo come terra di copertura giornaliera nelle discariche del biostabilizzato prodotto dagli impianti di trattamento biologico dei rifiuti (BD);
6. Sulla base delle prime analisi comparative effettuate su campioni di biostabilizzato, non è stata evidenziata alcuna correlazione tra i parametri DOC ed IRDP: dal momento che il DOC rappresenta una misura del contenuto di sostanza organica presente in un rifiuto, ma non già di quella "rapidamente biodegradabile", lo stesso non sembra ragionevolmente essere direttamente correlato al concetto di "putrescibilità". Inoltre i dati analitici riscontrati mostrano come anche materiali biologicamente stabili e, quindi, non putrescibili possano avere di fatto valori di DOC superiori ai limiti previsti dal DM 3 agosto 2005 per l'accettabilità dei rifiuti in discarica.

Il gruppo di lavoro:

Giuliano VENDRAME

Massimo INGROSSO

Diego DE CAPRIO

Lorena FRANZ

Michele GEROTTO

Francesco LORO

Luisa SANTON

Roberto RAGA

Bibliografia

- Adani F., Genevini P.L., Tambone F., 1995. A new index of organic matter stability. *Compost Science & Utilization*, 3: 25-37.
- Adani F., Tambone F., 1998. Evoluzione della componente organica. In: *Compost e agricoltura*, a cura di Genevini P. L., Fondazione Lombardia per l'Ambiente, Milano, 76-119.
- ASTM, 1992. Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions. American Society for testing and materials, D 5938-92.
- ASTM, 1996. Standard test method for determining the stability of compost measuring oxygen consumption. American Society for testing and materials, D 5975-5996.
- Binner E., Lechner P., Widerin M., Zach A., 1997. Laboratory test methods characterizing the biological reactivity of waste. In: *Proceedings Sardinia 1997, Sixth International Waste Management and Landfill Symposium*; 13 - 17 October 1997. CISA, Italy.
- Cossu R., Laraia R., Adani F., Raga R., 2001. Test methods for the characterization of biological stability of pretreated municipal solid waste in compliance with EU directives. In: *Proceedings Sardinia 2001, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium*; 1-5 October 2001. CISA, Italy.
- Cossu R., Raga R., 2008. Test methods for assessing the biological stability of biodegradable waste. *Waste Management*. Vol.28 (2008) pp. 381-388. Elsevier
- Cossu, R., Raga R., Vascellari V., 1999. Comparison of different stability criteria for MBP waste in view of landfilling. In: *Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium*; 4-8 October 1999. CISA, Italy.
- Iannotti D.A., Pang T., Toth B.L., Elwell D.L., Keener H.M., Hoitink H.A.J., 1993. A Quantitative Respirometric Method for Monitoring Compost Stability. *Compost Science & Utilization*, vol. 1 (3), 52-65.
- Lasaridi K. E., Stentiford E. I., 1996. Respirometric Techniques in the Context of Compost Stability Assessment: Principles and Practice. In: *AAVV, The science of composting*, a cura di De Bertoli M., Lemmes B., Papi T.. Blackie, Academic & Professional, London, U.K., 567-576.
- Leikam K., Stegmann R., 1997. Mechanical biological pre-treatment of municipal solid waste and the landfill behaviour of pretreated waste. In: *Proceedings Sardinia 1997, Sixth International Landfill Symposium*; 13 - 17 October 1997. CISA, Italy.
- McAdams M.W., White R. K., 1996. Compost stability determination. *Composting in the Carolinas: composting solid wastes, yard wastes and/or biosolids*. Atti di conferenza (Ottobre 1996), pp. 144-149.
- The U.S. Composting Council, 1997. Respirometry. In: *Leege P.B. and W.H. Thompson (eds). Test methods for the examination of composting and compost*, The U.S. Composting Council, Bethesda, Maryland, USA, pp. 9-165/9-194.
- UNI/TS 11184, 2006. Rifiuti e combustibili ricavati da rifiuti – Determinazione della stabilità biologica mediante l'Indice di Respirazione Dinamico (IRD).