

Emissioni ammoniacali in atmosfera generate dal processo di stabilizzazione aerobica di matrici organiche di origine zootecnica

Niccolò Pampuro^{1*}, Eugenio Cavallo¹

¹ Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra (IMAMOTER), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Strada delle Cacce, 73 – 10135 Torino, Italy

* Corresponding author. E-mail: n.pampuro@ima.to.cnr.it

RIASSUNTO

Il processo di stabilizzazione aerobica della frazione solida dei reflui zootecnici è responsabile dell'emissione di ammoniaca (NH₃) in atmosfera con conseguenti effetti deleteri sull'ambiente.

L'obiettivo della sperimentazione era la determinazione delle emissioni di ammoniaca in atmosfera che scaturiscono dal processo di compostaggio della frazione solida separata del liquame suino miscelata con segatura non trattata. La valutazione dei flussi emissivi è stata eseguita confrontando due modalità di gestione del materiale in compostaggio in cumuli: con rivoltamento della massa e senza alcun rivoltamento.

L'emissione ammoniacale derivante dal processo di compostaggio è stata determinata utilizzando un sistema basato sulla tecnica delle dynamic chamber. Tale sistema è costituito da captatori forati e completamente rivestiti con PTFE (teflon), trappole acide, flussimetri, un misuratore di volume ed una pompa a vuoto. L'ammoniaca presente nell'aria campionata è stata fissata nelle trappole acide e la sua concentrazione è stata determinata mediante successiva titolazione.

Per tutta la durata del processo sono state monitorate in continuo la temperatura ambiente e le temperature sviluppatesi all'interno dei cumuli a tre differenti profondità (0.4 m, 0.8 m e 1.2 m da terra).

L'umidità del materiale in compostaggio è stata mantenuta intorno ad un valore prossimo al 50% mediante la periodica distribuzione di acqua per aspersione.

Per entrambi i cumuli l'emissione maggiore è stata osservata durante la fase termofila del processo (temperature >45°C).

La sperimentazione ha messo in evidenza che i rivoltamenti determinano un sensibile incremento dell'emissione di ammoniaca in atmosfera. Adottando questa modalità di gestione le emissioni cumulate di NH₃ hanno raggiunto valori pari a 52 g m⁻³ di materiale sottoposto al processo.

La gestione statica ha ridotto sensibilmente l'emissione di NH₃ in atmosfera ottenendo valori di emissioni cumulate pari a 18 g m⁻³ di materiale in compostaggio. In assenza di rivoltamenti inoltre il picco emissivo è stato riscontrato in corrispondenza dell'aspersione di acqua.

In base ai risultati ottenuti è possibile affermare che adottando la gestione statica è possibile contenere, grazie alla maggior compattazione del materiale all'interno del cumulo, l'emissione di ammoniaca in atmosfera.

1. INTRODUZIONE

Il processo di compostaggio è una semplice tecnica che, consentendo di migliorare la gestione dei reflui zootecnici (Bernal et al., 2009), potrebbe concorrere a risolvere uno dei maggiori problemi che devono essere affrontati dalle aziende zootecniche intensive.

Tuttavia tale processo è responsabile di ingenti emissioni gassose in atmosfera, in modo particolare di ammoniaca (NH₃), con conseguenti effetti deleteri sull'ambiente (Szanto et al., 2007). L'ammoniaca è infatti responsabile dell'acidificazione delle piogge e della formazione di aerosol (Fangmeier et al., 1994), di N₂O e di CH₄ che sono potenti gas ad effetto serra (Paillat et al., 2005). La quantità di questo gas ad effetto serra emessa in atmosfera durante il processo di stabilizzazione aerobica è funzione delle caratteristiche fisiche e chimiche dei materiali, delle condizioni ambientali e delle differenti strategie di gestione adottate per il processo.

L'obiettivo della sperimentazione era la determinazione delle emissioni di ammoniaca in atmosfera che scaturiscono dal processo di compostaggio della frazione solida separata del liquame suino miscelata con segatura non trattata. La valutazione dei flussi emissivi è stata eseguita confrontando due modalità di gestione del materiale in compostaggio: con rivoltamento della massa (dinamica) e senza alcun rivoltamento (statica).

2. MATERIALI E METODI

2.1. IL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO

Le prove di compostaggio sono state condotte presso l'impianto sperimentale dell'istituto IMAMOTER del CNR situato a Candiolo (TO) in un'area appositamente attrezzata ed hanno avuto una durata complessiva di 130 giorni.

Nelle prove condotte, i cumuli sono stati realizzati impiegando come fonte di azoto la frazione solida del liquame suino ottenuta da separazione solido-liquido con un separatore centrifugo; per quanto riguarda invece la fonte di carbonio è stata impiegata della segatura non trattata. Al fine di ottimizzare l'andamento di tale processo le due matrici organiche sono state miscelate in modo da ottenere un rapporto teorico C/N pari a 30 (Christian et al., 2009). I quantitativi di materiale avviati al compostaggio sono riportati in tabella 1.

Tabella 1 – Quantitativi di miscela avviati a compostaggio

MODALITÀ DI GESTIONE	SEPARATO SOLIDO (kg)	SEGATURA (kg)
Con rivoltamento	5000	900
Senza rivoltamento	2700	490

Le due miscele sono state disposte su di una piattaforma di cemento in modo da realizzare due cumuli di forma trapezoidale. Il cumulo che ha previsto i rivoltamenti della massa aveva un volume di circa 7.1 m³ (3.0 m di larghezza, 6.0 m di lunghezza e 1.2 m di altezza), mentre per la gestione statica è stato allestito un cumulo di volume pari a 3.6 m³ (2.2 m di larghezza, 5.0 m di lunghezza e 1.0 m di altezza).

Sopra i cumuli sono state poste due coperture in modo da evitare il dilavamento del materiale in caso di pioggia.

Durante il processo di compostaggio è stata costantemente monitorata la temperatura. E' stato possibile eseguire tale controllo utilizzando due diversi data-logger multicanale che rilevano le temperature sviluppatesi all'interno dei cumuli a diverse profondità. La rilevazione puntuale delle temperature all'interno dei cumuli è avvenuta tramite l'impiego di 4 termocoppie di tipo "T" in rame/costantina (range di sensibilità: -270°C +400°C) e due sistemi di acquisizione dei dati quali un data-logger a 8 canali (Grant) ed un data-logger a 4 canali (Testo) (fig. 1A). Le termocoppie nel cumulo sono state poste rispettivamente a 0.40 (T1), 0.80 (T2) e 1.20 (T3) m dal suolo (fig. 1B); una quarta termocoppia è stata posta all'esterno del cumulo per il rilievo della temperatura ambiente.

Figura 1 – Data-logger utilizzati per il rilievo delle temperature sviluppatesi all'interno dei cumuli (A) e schema relativo al posizionamento delle termocoppie (B).



Adottando la gestione dinamica del cumulo, nel corso della fase termofila, per garantire le condizioni di aerobiosi, è stato necessario ricorrere al periodico rivoltamento del materiale: il cumulo è stato ciclicamente rivoltato quando al suo interno la temperatura media superava i 60°C (Caceres et al., 2006).

Per mantenere a livelli ottimali l'umidità del materiale, è stato necessario procedere con la bagnatura periodica di entrambi i cumuli. Il giusto grado di umidità (compreso tra 50 e 60%) è stato mantenuto grazie all'aspersione di acqua effettuata ciclicamente e distribuita con un impianto di irrigazione posizionato al di sotto della copertura (Bernal et al., 1998).

Figura 2 – Sistema di aspersione dell'acqua collocato al di sotto della copertura dei cumuli.

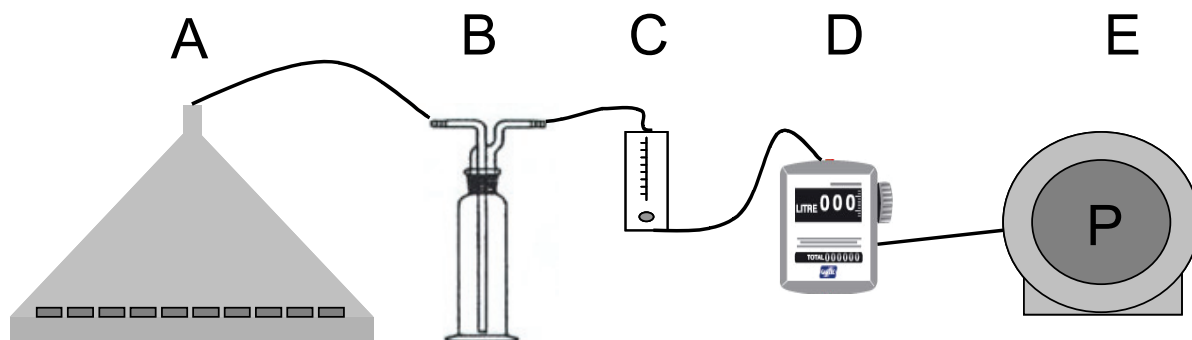


In particolare, il cumulo dinamico ha ricevuto complessivamente 2400 dm³ di acqua suddivisi in 8 interventi di aspersione (in corrispondenza dei rivoltamenti), mentre il cumulo statico 1500 dm³ di acqua in 5 interventi.

2.2. RILIEVO DELLE EMISSIONI AMMONIACALI

Per la determinazione delle emissioni ammoniacali generate dal processo di stabilizzazione aerobica della frazione solida separata del liquame suino miscelata con segatura non trattata è stato sviluppato un sistema di monitoraggio basato sul modello delle "dynamic chamber" (fig. 3).

Figura 3 – Schema dell'attrezzatura impiegata per la determinazione delle emissioni ammoniacali.



L'attrezzatura è schematicamente costituita da: un captatore conico di 0.138 m² (A), una trappola acida costituita da una beuta contenete 400 mL di una soluzione di acido borico 0.1 M (B), un flussimetro (C), un misuratore di volume (D) ed una pompa di aspirazione (E).

Questa attrezzatura permette di catturare nella soluzione acida l'ammoniaca emessa dalla superficie delimitata dal captatore posto sulla superficie del cumulo. Ciascun captatore di diametro pari a 420 mm è dotato di una serie di aperture lunghe circa 100 mm poste in successione lungo tutta la circonferenza dell'imbuto. Esse sono state create subito al di sopra del bordo utile per l'inserimento del captatore stesso all'interno del materiale in via di compostaggio in modo che

lambiscano la superficie emissiva. Il captatore viene posizionato sulla superficie da cui si devono determinare le emissioni, regolando la portata della pompa a circa 9 L/min (Balsari et al., 2006). L'aria, aspirata dall'area sottostante il captatore, gorgoglia all'interno della soluzione di acido borico che trattiene l'ammoniaca sotto forma di borato di ammonio. La determinazione della quantità di ammoniaca captata dal sistema è ottenuta per successiva titolazione della soluzione di borato di ammonio con acido solforico 0.2 N.

Per mettere in evidenza i flussi di ammoniaca all'interno del cumulo, i captatori sono stati posizionati a tre altezze diverse (alto, medio e basso) (fig. 4).

Figura 4 – Particolare del sistema di misura dell'ammoniaca.



I tubi ed i raccordi utilizzati a contatto con l'ammoniaca sono in teflon; così anche i captatori che internamente ne sono stati totalmente rivestiti. Questo materiale, inerte nei confronti dell'ammoniaca, garantisce l'assenza di interferenze nelle misure di questo gas.

Il monitoraggio dell'emissione ammoniacale dai cumuli è avvenuto in continuo nel corso del processo di compostaggio.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. PARAMETRI CHIMICO-FISICI

La decomposizione microbica rilascia, durante il compostaggio, una grande quantità di calore essendo un processo fortemente esotermico. Osservando l'evoluzione delle temperature nei cumuli (fig. 5 e 6) si evidenzia una difficile degradazione della miscela a causa della segatura in essa contenuta: essa permane ad una temperatura media intorno ai 50°C per circa 50 giorni in entrambi i cumuli. L'elevato contenuto in lignina determina infatti un flusso di calore più costante nel tempo rispetto a miscele realizzate con composti più facilmente degradabili.

Grazie al flusso di calore generatosi durante la fase termofila è stato possibile ottenere una inattivazione dei semi delle infestanti ed una parziale sterilizzazione dei substrati iniziali.

Figura 5 – Andamento medio della temperatura ambiente e della temperatura all'interno del cumulo dinamico a 3 differenti profondità.

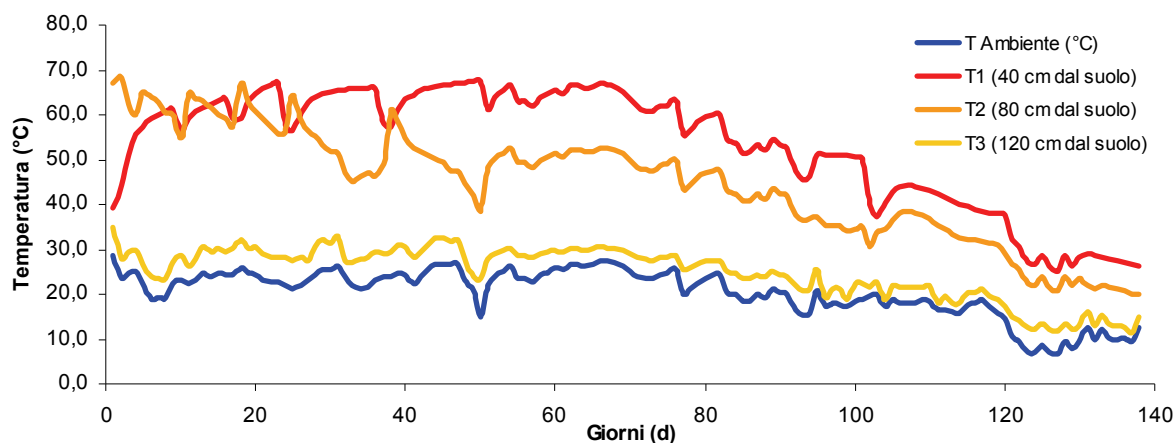
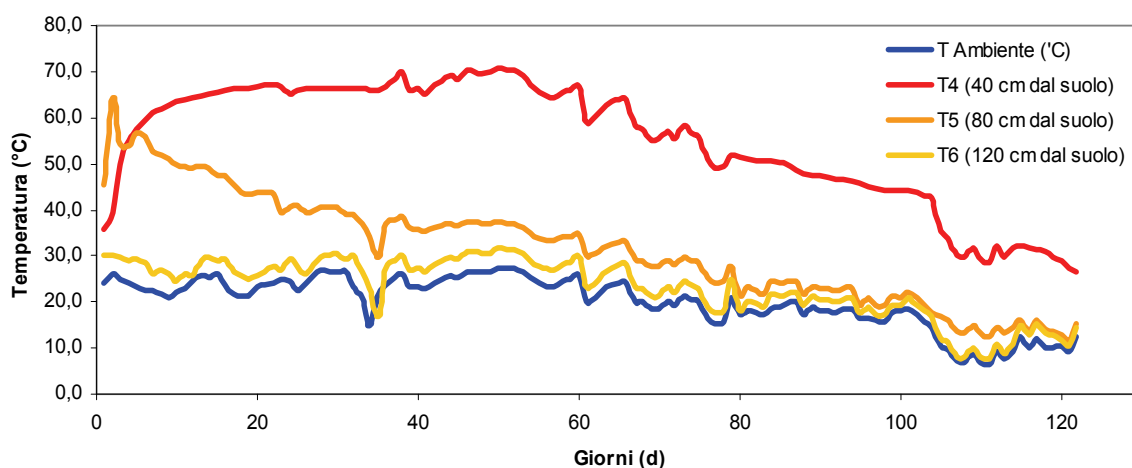


Figura 6 – Andamento medio della temperatura ambiente e della temperatura all'interno del cumulo statico a 3 differenti profondità.



In generale, il cumulo rivoltato ha prodotto più calore rispetto a quello statico facendo registrare nel complesso una temperatura media più elevata: l'attività microbica viene, infatti, favorita dall'incremento del grado di ossigenazione del substrato.

I valori di sostanza secca (s.s.), pH, azoto ammoniacale ($\text{NH}_4\text{-N}$), azoto totale (TKN) e rapporto Carbonio-Azoto (C/N) relativi alla miscela iniziale ed ai due compost finali sono riportati in tabella 2.

Tabella 2 – Principali caratteristiche chimiche della miscela iniziale e dei compost finali.

Parametri	Unità di misura	Miscela iniziale	Compost finale	
			Cumulo dinamico	Cumulo statico
s.s.	%	39	42.2	77.5
pH		8.2	6.9	7.5
NH ₄ -N	mg·kg ⁻¹	9066.2	3547.2	1630.2
TKN	%	1.8	1.8	2.0
C/N		19.8	14.7	9.5

A causa della maggiore quantità di acqua distribuita durante le operazioni di rivoltamento, al termine del processo l'umidità del cumulo dinamico è risultata essere maggiore rispetto a quella del cumulo statico.

Il valore di pH della miscela iniziale, a causa della presenza del separato solido suino, tende ad essere alcalino (8.2). Il pH comunque decresce durante il processo di compostaggio raggiungendo il valore di 6.9 per il cumulo dinamico e 7.5 per quello statico.

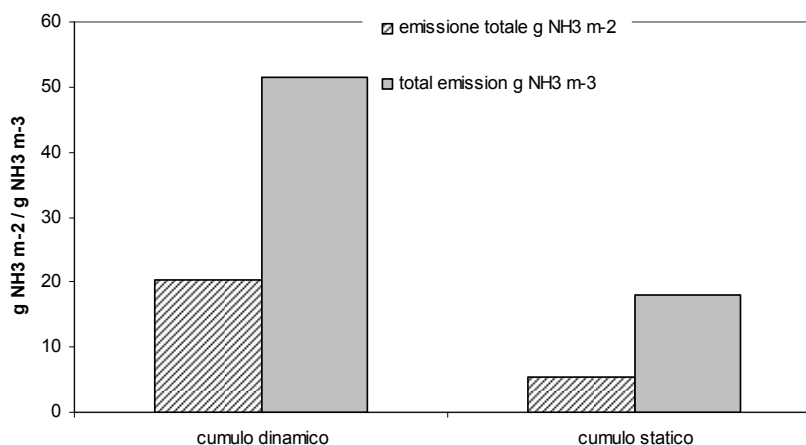
La miscela iniziale presenta un contenuto in azoto ammoniacale elevato a causa della presenza di solido separato da liquame suino (9066.2 mg·kg⁻¹): durante la prima fase del compostaggio le temperature elevate ed il pH hanno promosso la perdita di ammoniaca per volatilizzazione dalla superficie dei cumuli. Al termine del processo di compostaggio il contenuto di NH₄-N presente nel cumulo dinamico è risultato essere superiore al valore riscontrato con la gestione statica. Questi dati tuttavia non sono in linea con il valore atteso, per cui è necessaria un'ulteriore indagine.

Il rapporto C/N ha subito una riduzione in entrambi i cumuli monitorati, ma è il compost statico che ha fatto registrare la diminuzione più consistente.

3.2. RILIEVO DELLE EMISSIONI AMMONIACALI

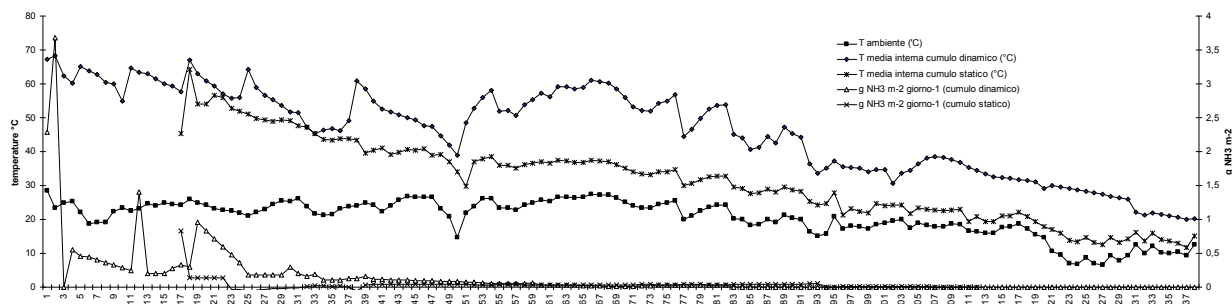
Il rivoltamento induce un aumento delle emissioni di ammoniaca derivanti dal processo di compostaggio (fig. 7).

Figura 7 – Emissione ammoniacale totale rilevata durante il periodo di osservazione dei due cumuli.



Con entrambe le modalità di gestione della massa in compostaggio, i picchi dell'emissione ammoniacale sono stati osservati durante la fase termofila del processo. In questa prima fase, infatti, l'aumento della temperatura e la presenza di pH maggiore di 7 riducono il processo di nitrificazione e di conseguenza favoriscono la perdita di azoto sotto forma di emissione ammoniacale (fig. 8).

Figura 8 – Andamento medio dell'emissione ammoniacale, temperatura media all'interno del cumulo e temperatura ambiente (cumuli DINAMICO e STATICO).

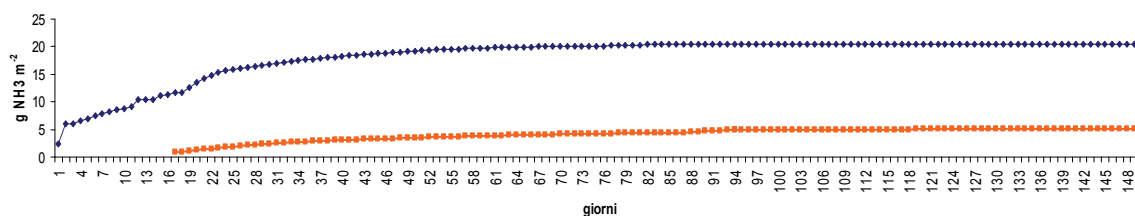


Nel cumulo rivoltato i picchi verificatisi nella fase termofila, in modo particolare dopo i rivoltamenti e le bagnature, hanno raggiunto un valore pari a 3.7 g di NH_3 per m^2 di superficie emissiva. Tali picchi emissivi tuttavia sono concentrati in un breve periodo e la loro influenza sull'emissione complessiva risulta non eccessiva. Mediamente, sono stati emessi 0.17 g di ammoniaca per m^2 nel cumulo rivoltato e 0.04 g m^{-2} in quello statico.

Nel cumulo dinamico, la superficie esposta ed interessata dalle perdite ammoniacali è pari a circa 18 m^2 , mentre nel cumulo statico la superficie emissiva risulta pari a poco più di 12 m^2 .

Osservando le emissioni cumulate (fig. 9) relative al compost dinamico, pari a circa 20 g di NH_3 per m^2 di superficie emissiva, è possibile calcolare una perdita complessiva stimabile intorno a 360 g di ammoniaca per l'intero cumulo, corrispondente a più di 51 g di NH_3 per m^3 di materiale in compostaggio. Molto inferiori risultano le emissioni derivanti dal compostaggio statico che si attestano intorno a 5.4 g di NH_3 per m^2 di superficie emissiva, corrispondente a 18 g di NH_3 per m^3 di materiale in compostaggio.

Figura 9 – Emissioni cumulate per unità di superficie durante l'intero processo di compostaggio (in blu il cumulo DINAMICO ed in arancio il cumulo STATICO).



L'emissione ammoniacale non avviene in maniera omogenea dal cumulo di materiale in compostaggio. Per verificare i diversi flussi emissivi, i captatori, come precedentemente accennato, sono stati posizionati a differenti altezze lungo il profilo del cumulo. La maggior parte della perdita di azoto sottoforma di ammoniaca (all'incirca l'80%) avviene dalla porzione più alta del cumulo, molto probabilmente a causa dei flussi di aria calda generati dall'aumento delle temperature che si verificano durante il processo di compostaggio (tab. 3).

Tabella 3 – Emissione ammoniacale media generale e derivante dai captatori posizionati a differenti altezze lungo il profilo del cumulo (Cumuli DINAMICO e STATICO).

	Cumulo DINAMICO	Cumulo STATICO
Alto ($\text{g m}^{-2} \pm \text{ES}$)	0.24 ± 0.10	0.06 ± 0.01
Medio ($\text{g m}^{-2} \pm \text{ES}$)	0.15 ± 0.05	0.04 ± 0.01
Basso ($\text{g m}^{-2} \pm \text{ES}$)	0.10 ± 0.04	0.03 ± 0.01
Media ($\text{g m}^{-2} \pm \text{ES}$)	0.17 ± 0.04	0.04 ± 0.01

4. CONCLUSIONI

Per entrambe le modalità di gestione del materiale in compostaggio, l'emissione ammoniacale maggiore è stata osservata durante la fase termofila del processo (temperature >45°C).

L'emissione di questo gas ad effetto serra è fortemente influenzata dalla temperatura, dal grado di umidità del materiale e dalla modalità di gestione del materiale in compostaggio. Il picco emissivo (3.7 g m⁻²) è stato infatti registrato immediatamente dopo il rivoltamento e la bagnatura del cumulo dinamico.

In base ai risultati ottenuti si può affermare che adottando la gestione statica è possibile contenere, grazie alla maggior compattazione del materiale all'interno del cumulo, l'emissione di ammoniaca in atmosfera.

BIBLIOGRAFIA

Balsari P., Gioelli F., Dinuccio E., Santoro E.. *Monitoraggio degli impianti di separazione solido liquido dei liquami di suini e di bovini*. 2006.

Bernal M. P., Alburquerque J. A., Moral R.. *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review*. 2009, Bioresource Technology 100, 5444-5453.

Bernal M. P., Paredes C., Sanchez-Monedero M. A., Cegarra J.. *Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic waste*. 1998, Bioresource Technology 63, 91-99.

Caceres F., Flotats X., Marfa O.. *Changes in the chemical and physiochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies*. 2006, Waste Management 26, 1081-1091.

Christian A. H., Evanylo G. K., Pease J. W.. *On farm composting: a guide to principles, planning and operations*. 2009, Virginia State University.

Fangmeier A., Hadwiger-Fangmeier A., Van der Eerden L., Jager H. J.. *Effects of atmospheric ammonia on vegetation. A review*. 1994, Environmental Pollution 86 (1), 43-82.

Paillat J. M., Robin P., Hassouna M., Leterme P.. *Predicting ammonia and carbon dioxide emission from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting*. 2005, Atmospheric Environment 39, 6833-6842.

Szanto G. L., Hameleres H. V. M., Rulkens W. H., Veeken A. H. M.. *NH₃, N₂O and CH₄ emission during passively aerated composting of straw-rich pig manure*. 2007, Bioresource Technology 98, 2659-2670.