



Fattori emissivi di metano e protossido d'azoto in due impianti di compostaggio tecnologicamente avanzati

*Biowaste:
XXVII Conferenza sul
Compostaggio e la
Digestione Anaerobica*

Rimini Fiere, 5 novembre 2025

*Giuseppe Moscatelli, Andrea Zanaroli
Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA*

Il trattamento della FORSU ha come scopo principale la valorizzazione di rifiuti e scarti per ridurre l'impatto sull'ambiente

non è possibile trascurare nelle valutazioni della sostenibilità ambientale le emissioni di gas climalteranti ad effetto serra (GHG) non CO₂, quali metano (CH₄, GWP=28) e protossido di azoto (N₂O, GWP=265), che si originano dal trattamento biologico dei rifiuti

➡ **Monitoraggio** per due annualità delle emissioni dirette di metano e protossido d'azoto **in due impianti di compostaggio** tecnologicamente avanzati con i locali di lavorazione aspirati e le emissioni convogliate:

Impianto A - che applica il trattamento biologico integrato anaerobico/aerobico;

Impianto B - che applica il solo trattamento aerobico

Obiettivi

- ✓ **CONOSCERE** i fattori emissivi risultanti da misure sito-specifiche per metano e protossido d'azoto dai due impianti [EFs: g CH₄ e N₂O /kg rifiuto trattato] come definito al Vol. 5 Waste – Ch. 4: Biological Treatment of Solid Waste (IPCC. 2006)
- ✓ **VALUTARE** il posizionamento dei fattori emissivi sito-specifici rispetto alla forbice di valori di default

Fattori emissivi di riferimento per metano e protossido d'azoto presenti al Volume 5 Waste - Chapter 4: Biological Treatment of Solid Waste delle Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories IPCC. 2006 (capitolo non revisionato al 2019)

TABLE 4.1 DEFAULT EMISSION FACTORS FOR CH ₄ AND N ₂ O EMISSIONS FROM BIOLOGICAL TREATMENT OF WASTE					
Type of biological treatment	CH ₄ Emission Factors (g CH ₄ /kg waste treated)		N ₂ O Emission Factors (g N ₂ O/kg waste treated)		Remarks
	on a dry weight basis	on a wet weight basis	on a dry weight basis	on a wet weight basis	
Composting	10 (0.08 - 20)	4 (0.03 - 8)	0.6 (0.2 - 1.6)	0.24 (0.06 - 0.6)	Assumptions on the waste treated: 25-50% DOC in dry matter, 2% N in dry matter, moisture content 60%.
Anaerobic digestion at biogas facilities	2 (0 - 20)	0.8 (0 - 8)	Assumed negligible	Assumed negligible	The emission factors for dry waste are estimated from those for wet waste assuming a moisture content of 60% in wet waste.
Sources: Arnold, M.(2005) Personal communication; Beck-Friis (2002); Detzel <i>et al.</i> (2003); Petersen <i>et al.</i> 1998; Hellebrand 1998; Hogg, D. (2002); Vesterinen (1996). Note: Default emission factors for CH ₄ for anaerobic digestion already account for CH ₄ recovery.					

Metodologia e tecniche di monitoraggio

Sopralluoghi, interviste, registrazioni dati e valutazione di quanto riportato e prescritto nelle Autorizzazione Integrate Ambientali (AIA)

- Identificazione delle sorgenti emissive **DIRETTE** per CH_4 ed N_2O (puntuali e diffuse)
- Rilevare le matrici e quantità in ingresso (rilevate dall'impianto)
- Portate [Nm^3/h] per calcolare le emissioni convogliate (rilevate dall'impianto)
- Superfici [m^2] delle sorgenti non convogliate per calcolare le emissioni diffuse (collaborazione impianti-CRPA)

- 1 campagna di monitoraggio in ciascuna stagione meteo-climatica per 2 anni e per impianto
- Monitoraggio delle concentrazioni di fondo ambientale
- A partire dai dati rilevati di concentrazione e portate dei flussi emissivi, calcolo delle emissioni di **metano e protossido d'azoto** (generalmente non monitorate)

Calcolo dei fattori emissivi mensili [g gas/kg di rifiuto trattato]

rapportando e cumulando le emissioni monitorate da ciascuna fonte emissiva [g/mese] ai rifiuti conferiti e trattati nel mese [kg/mese]

Metodologia e tecniche di monitoraggio

SEZIONE AEROBICA

Le **sorgenti puntuali e convogliate di camini e biofiltri** sono state oggetto di campionamento diretto attraverso prelevamento in sacche di aliquote di aria dal flusso emissivo.

- procedura di campionamento come da metodica olfattometrica (UNI EN 13725:2022)
- concentrazioni di CH_4 e N_2O determinate mediante analisi fotoacustica ad infrarossi (INNOVA Lumasense)

SEZIONE ANAEROBICA

Le **emissioni di metano dal processo anaerobico** (impianto A) come quelle del cogeneratore, post-combustore off-gas a servizio dell'up-grading, valvole di sfiato, torce...)

- determinate ai camini secondo la metodica UNI EN ISO 25140:2010 (Analisi in continuo con rilevatore a ionizzazione di fiamma per la determinazione di metano). Queste sorgenti, trattandosi di combustione di metano, non sono state considerate rilevanti per il N_2O



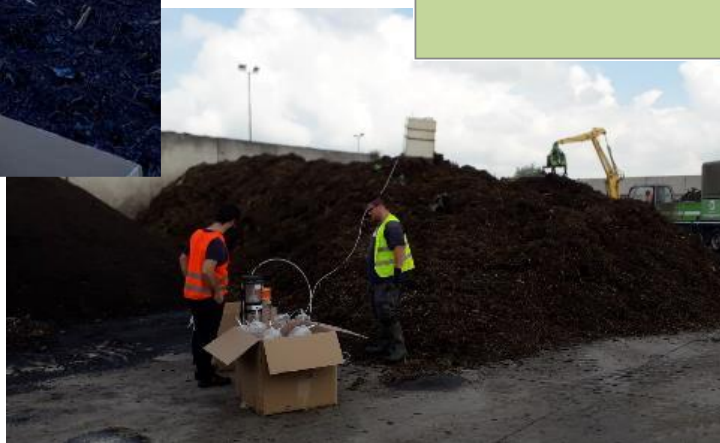
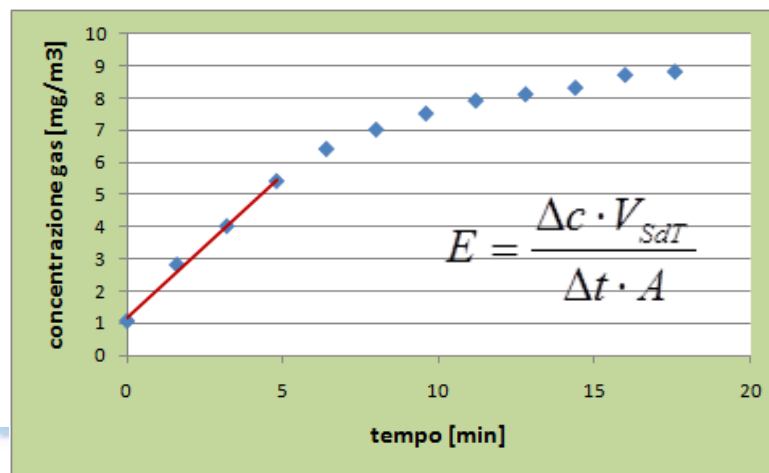
Metodologia e tecniche di monitoraggio

Per quantificare le **emissioni dalle sorgenti diffuse e prive di flusso convogliato** quali i cumuli di materiale lignocellulosico in ingresso all'impianto ed i cumuli di compost finale:

- utilizzata una particolare metodologia di misura riconosciuta a livello internazionale, definita "static chamber method" (Brewer et al., 1999; Denead et al. 1979; Pedersen et al., 2001; Petersen et al., 2012. Brewer et al., 1999)
- La concentrazione dei gas nello spazio di testa determinata con analizzatore fotoacustico ad infrarossi (INNOVA Lumasense).



Rilievo delle emissioni dal cumulo lignocellulosico

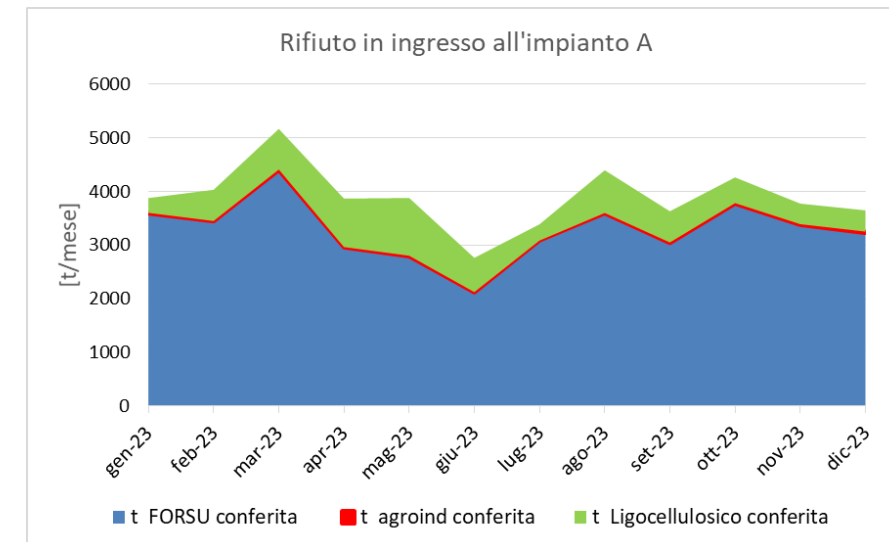


Rilievo delle emissioni dallo stoccaggio del compost

Impianto A: Anaerobico + Aerobico

1. Conferimento, apertura dei sacchetti, deferrizzazione e vagliatura in locale chiuso ed aspirato
2. Le componenti organiche fermentescibili (sottovaglio) sono avviate al **digestore anaerobico** (termofilia 50°C, con tecnologia a semisecco a singolo stadio)
3. Up-grading del biogas con produzione di biometano
4. Miscelazione del digestato col materiale lignocellulosico e sovvalli di vagliatura in un locale chiuso ed aspirato con successivo avvio al **compostaggio aerobico**
5. Fase aerobica di bioossidazione accelerata (20 gg.) in corsie con aerazione forzata in locali aspirati con trattamento aria (scrubber + biofiltro)
6. Fase di stabilizzazione intermedia (20 gg.) in corsie con aerazione forzata in locali aspirati con trattamento aria (scrubber + biofiltro)
7. Fase di maturazione (40 gg.) in locali aspirati con trattamento aria
8. Vagliatura finale e stoccaggio del prodotto ACM in capannone non aspirato

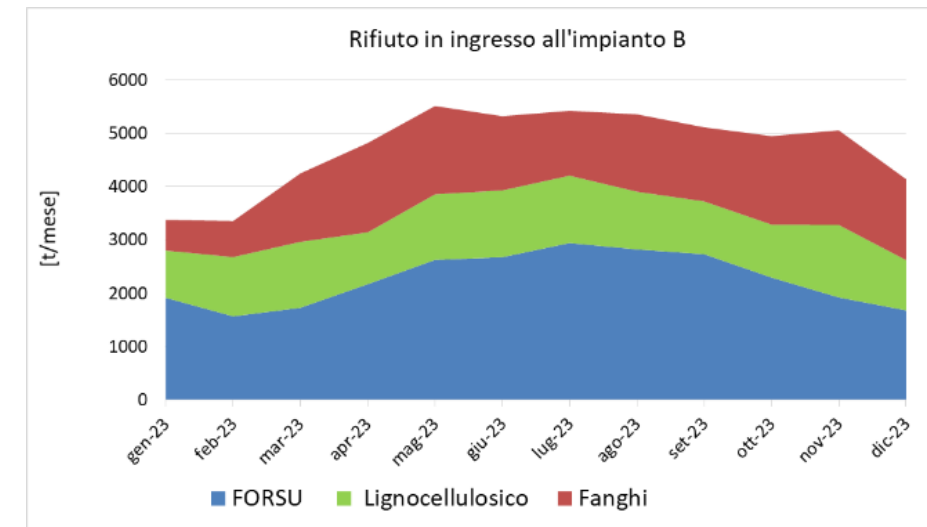
Matrice in ingresso	FORSU	Lignocellulosico	Agroindustriale	Totale
t/anno	40,300	7,800	100	48,200
% sul totale in ingresso	83.6%	16.2%	0.2%	100%



Impianto B: Aerobico

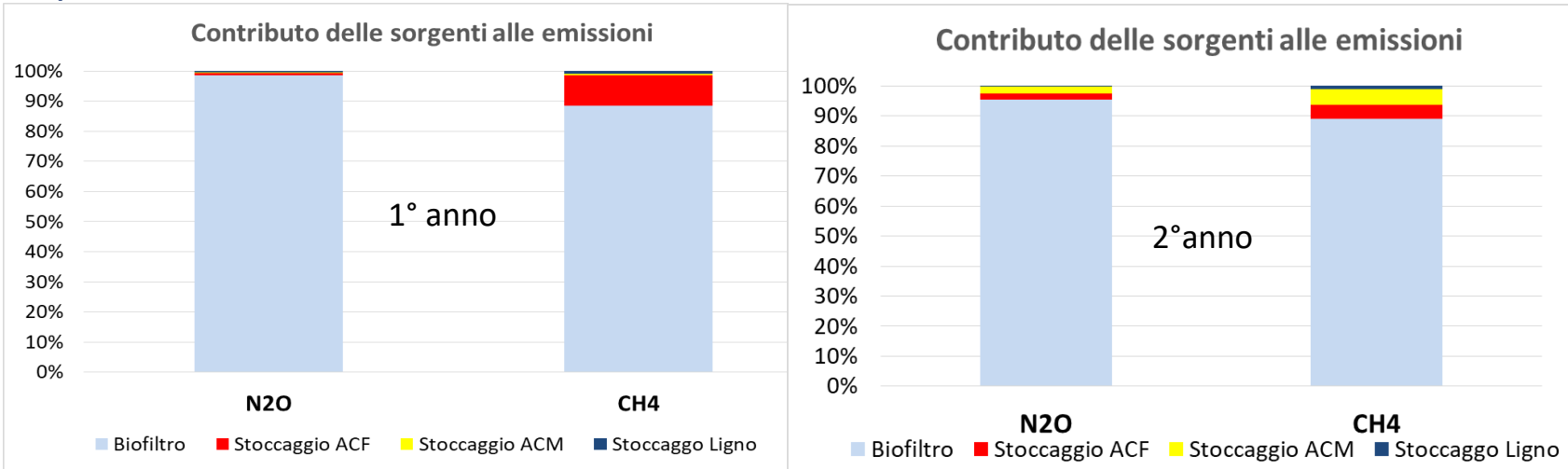
1. Ricezione rifiuti in area confinata ed aspirata per quanto attiene le frazioni organiche e su platea esterna per gli scarti lignocellulosici
2. pre-trattamento della frazione organica con separazione delle frazioni indesiderate (plastiche, metalli, ecc.)
3. triturazione degli scarti lignocellulosici e miscelazione dei diversi rifiuti conferiti per ottenere la matrice da avviare al trattamento
4. prima fase di bioossidazione accelerata in biocelle aerate (14 gg.)
5. seconda fase di maturazione in box aerati in cumuli statici (30 gg.)
6. ultima fase di maturazione in cumuli (almeno 50 gg.)
7. locali in depressione con trattamento aria (Scrubber+biofiltro);
8. vagliatura e stoccaggio dell'ammendante compostato misto (ACM) e con fanghi (ACF) in platea esterna coperta

Matrice in ingresso	FORSU	Lignocellulosico	Fanghi	Totale
t/anno	30,000	12,100	16,800	58,900
% sul totale in ingresso	51%	21%	28%	100%

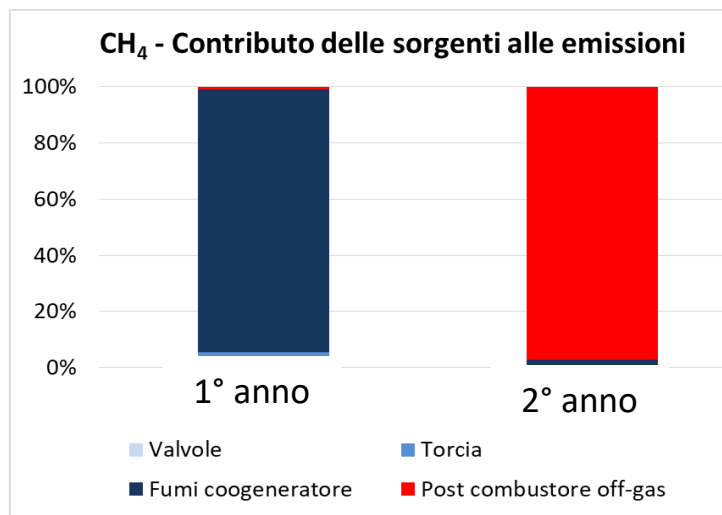


Contributo delle singole sorgenti alle emissioni dirette totali

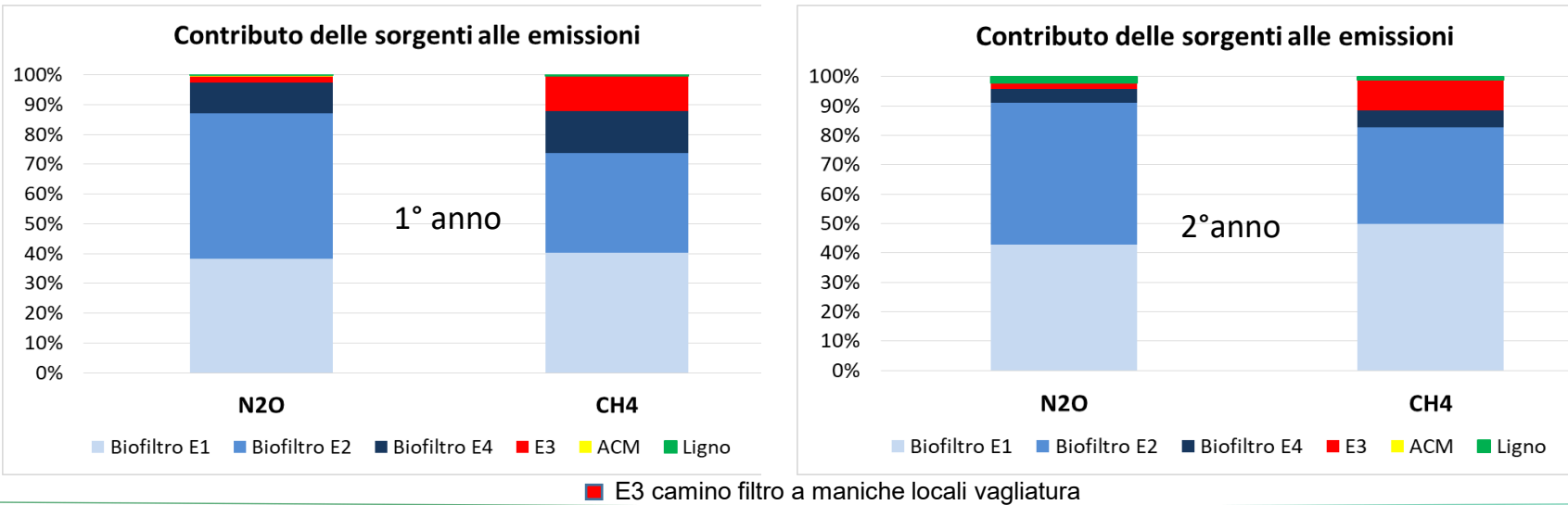
Impianto B: fase aerobica



Impianto A: fase anaerobica



Impianto A: fase aerobica



Fattori emissivi sito-specifici rispetto ai valori di default

EFs da monitoraggio per il **protossido d'azoto dalla sezione aerobica**
(composting)

Periodo
min
media*
max

E.F. sito-specifici [g N ₂ O/kg wet waste treated]					
Impianto A (AN+A)			Impianto B (A)		
1° anno	2° anno	media	1° anno	2° anno	media
0.05	0.04	0.04	0.10	0.04	0.04
0.10	0.13	0.11	0.16	0.15	0.15
0.17	0.29	0.29	0.23	0.44	0.44

TABLE 4.1 DEFAULT EMISSION FACTORS FOR CH ₄ AND N ₂ O EMISSIONS FROM BIOLOGICAL TREATMENT OF WASTE					
Type of biological treatment	CH ₄ Emission Factors (g CH ₄ /kg waste treated)		N ₂ O Emission Factors (g N ₂ O/kg waste treated)		Remarks
	on a dry weight basis	on a wet weight basis	on a dry weight basis	on a wet weight basis	
Composting	10 (0.08 - 20)	4 (0.03 - 8)	0.6 (0.2 - 1.6)	0.24 (0.06 - 0.6)	Assumptions on the waste treated: 25-50% DOC in dry matter, 2% N in dry matter, moisture content 60%. The emission factors for dry waste are estimated from those for wet waste assuming a moisture content of 60% in wet waste.
Anaerobic digestion at biogas facilities	2 (0 - 20)	0.8 (0 - 8)	Assumed negligible	Assumed negligible	
Sources: Arnold, M.(2005) Personal communication; Beck-Friis (2002); Detzel <i>et al.</i> (2003); Petersen <i>et al.</i> 1998; Hellebrand 1998;					

* Media dei EFs mensili

Fattori emissivi sito-specifici rispetto ai valori di default

EFs da monitoraggio per il metano dalla sezione aerobica (composting)

E.F. sito-specifici [g CH ₄ /kg wet waste treated]						
Impianto A (AN+A)				Impianto B (A)		
Periodo	1° anno	2° anno	media	1° anno	2° anno	media
min	0.10	0.45	0.10	0.16	0.32	0.16
media*	0.63	1.17	0.90	0.46	0.45	0.45
max	1.40	2.01	2.01	1.03	0.54	1.03

EFs da monitoraggio per il metano dalla sezione anaerobica (anaerobic digestion)

E.F. sito-specifici [g CH ₄ /kg wet waste treated]			
Impianto A (AN+A)			
Periodo	1° anno	2° anno	media
min	0.01	0.00	0.10
media*	0.04	0.52	0.28
max	0.06	1.40	2.01

* Media dei EFs mensili

TABLE 4.1 DEFAULT EMISSION FACTORS FOR CH ₄ AND N ₂ O EMISSIONS FROM BIOLOGICAL TREATMENT					
Type of biological treatment	CH ₄ Emission Factors (g CH ₄ /kg waste treated)		N ₂ O Emission Factors (g N ₂ O/kg waste treated)		Reference
	on a dry weight basis	on a wet weight basis	on a dry weight basis	on a wet weight basis	
Composting	10 (0.08 - 20)	4 (0.03 - 8)	0.6 (0.2 - 1.6)	0.24 (0.06 - 0.6)	As 25 29 mo Th an wa of
Anaerobic digestion at biogas facilities	2 (0 - 20)	0.8 (0 - 8)	Assumed negligible	Assumed negligible	

Sources: Arnold, M. (2005); Personal communication; Peak Effic (2002); Detzel et al. (2002); Petersen

Global Warming Potential

Global Warming Potential complessivo sommando il contributo del metano e del protossido d'azoto

Periodo	GWP [g CO ₂ eq/kg wet waste treated]					
	Impianto A (AN+A)			Impianto B (A)		
	1° anno	2° anno	media	1° anno	2° anno	media
<i>min</i>	16	26	16	46	18	18
<i>med</i>	45	81	63	55	51	53
<i>max</i>	86	171	171	66	131	131

- GWP espresso in CO₂eq considerando i coefficienti di conversione in CO₂ equivalente pari a 28 per il metano e 265 per il protossido d'azoto (IPCC, 2019)
- Per impianto A sono stati considerati i contributi del metano da entrambe le sezioni (aerobica ed anaerobica)

Conclusioni

- Le **sorgenti emissive diffuse** quali lo stoccaggio di ACM, ACF e materiale lignocellulosico hanno evidenziato **un contributo ridotto** alle emissioni totali di CH_4 e N_2O sia per la limitata superficie emissiva che per l'assenza di ventilazione propria
- Nel caso dei due impianti tecnologicamente avanzati che prevedono tutti i processi di trattamento in locali aspirati con trattamento dell'aria, mediamente **il 95% delle emissioni di N_2O risultano convogliate ed in uscita dai biofiltri** mentre per il CH_4 si scende mediamente al 85% e si riscontra un maggior contributo di altre sorgenti
- **EFs per N_2O** non evidenziano significative variazioni tra le due annualità **per entrambe le tipologie di impianto**
- **EFs per CH_4** non evidenziano significative variazioni tra le due annualità per l'impianto con la sola fase aerobica, mentre **sono risultati differenti** per l'impianto integrato anaerobico-aerobico
- Nel 2° anno le emissioni di metano dalla sezione anaerobica hanno contribuito per il 30,6% delle emissioni totali di metano dall'impianto A, mentre nel primo anno avevano costituito solo il 5,4%
- Un unico punto emissivo presente nella sezione anaerobica (in considerazione del contenuto % CH_4) può contribuire ad un incremento del fattore emissivo per il metano dall'intero impianto e far variare significativamente il peso delle singole sorgenti (manutenzioni e/o variazioni dalla gestione anche di breve durata possono incidere sulle emissioni)

I fattori emissivi sito-specifici risultanti dal monitoraggio degli impianti A e B sono risultati inferiori ai valori medi tabellari (*Vol. 5 Waste – Ch. 4: Biological Treatment of Solid Waste delle Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories IPCC. 2006*) ed in particolare nella parte inferiore del range indicato



Grazie per l'attenzione

g.moscatelli@crpa.it

***Biowaste:
XXVII Conferenza sul
Compostaggio e la
Digestione Anaerobica***

Rimini Fiere, 5 novembre 2025