



ECOMONDO
the green technologies expo



**XVII edizione della Conferenza nazionale sul
compostaggio e digestione anaerobica**

Integration of anaerobic- aerobic digestion of organic wastes: GHG emission impacts at micro and macro scale

***M. Marchi, A. Biagini, S. Mangiavacchi, F. Menghetti, F. Vigni,
F.M. Pulselli, S. Bastianoni, N. Marchettini***

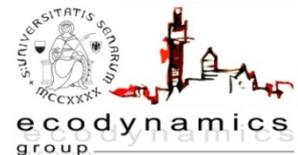
Speaker: Dr. Michela Marchi, PhD

Ecodynamics Group,

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente,

Università degli Studi di Siena

marchi27@unisi.it





Il ruolo del compostaggio aerobico si è rafforzato nel tempo e contemporaneamente la digestione anaerobica ha ottenuto maggiore attenzione tecnologica nel campo della gestione del rifiuto organico.

La pratica del compostaggio ha l'obiettivo di produrre fertilizzante di alta qualità, mentre la digestione anaerobica è un processo biologico nel quale il materiale organico è trasformato in biogas e digestati.

I digestati possono essere riciclati per mezzo del compostaggio aerobico allo scopo di migliorare la qualità del fertilizzante per le pratiche agricole.

Il biogas può essere usato per produrre energia: elettricità, calore e "upgrading" a bio-metano (il quale potrebbe essere introdotto nella rete nazionale o usato per la trazione di veicoli).

Durante gli ultimi decenni, gli ingegneri hanno lavorato per la possibile integrazione della digestione anaerobica con il compostaggio aerobico allo scopo di ottimizzare i punti di forza e minimizzare gli svantaggi.

SCOPO dello studio

- Confrontare gli impatti climatici a scala d'impianto (micro) e territoriale (macro) di due configurazioni di processo:
 - il compostaggio aerobico con produzione di compost;
 - la digestione anaerobica integrata al compostaggio aerobico con produzione di energia elettrica, calore e fertilizzante di alta qualità.
- Fornire suggerimenti utili per la riduzione dei gas serra dal settore dei rifiuti.

PROVINCIA DI SIENA (Toscana, centro Italia)

DIGESTORE ANAEROBICO

nell'impianto di
compostaggio pre-
esistente

3.585 t di rifiuto verde e
13.129 t di FORSU per anno



**Compostaggio,
Selezione e
Valorizzazione
Le Cortine**

**Discarica di
Torre a Castello**

**Discarica
Le Macchiaie**

**Discarica di
Poggio alla Billa**

**Compostaggio di
Poggio alla Billa**

**Termovalorizzatore di
Pian dei Foci**

Contabilizzazione delle emissioni di gas serra

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories



Abbiamo analizzato le emissioni relative al **settore RIFIUTI** ed **ENERGIA** dell'impianto di compostaggio Le Cortine e dell'integrazione delle 2 configurazioni di processo anaerobica-aerobica, ipotizzando di installare un digestore anaerobico all'interno dell'impianto di compostaggio pre-esistente.

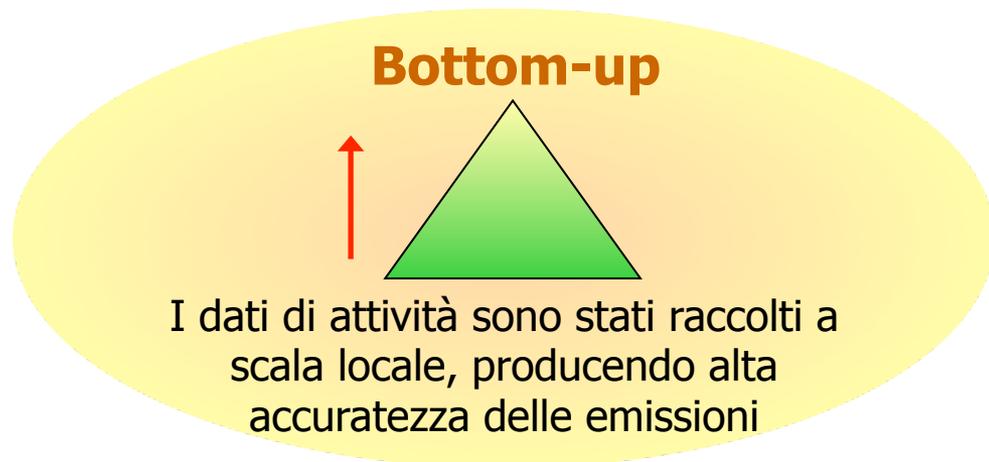
Le emissioni di gas serra sono state divise in dirette ed indirette:

- Le emissioni dirette avvengono all'interno dei siti di smaltimento bio-ossidazione del rifiuto organico nell'impianto di compostaggio, digestione anaerobica nel digestore, uso di combustibili fossili per il riscaldamento, i macchinari da lavoro, lo spostamento di materiale e la produzione locale di energia.
- Le emissioni indirette avvengono all'esterno dei siti di smaltimento Consumo di energia elettrica importata dalla rete nazionale e uso di combustibili fossili per il trasporto degli scarti del ciclo produttivo ad altri impianti per lo smaltimento.

Metodologia IPCC 2006

- Impianto di **Compostaggio pre-esistente (Le Cortine)** per l'arco temporale 2009-2011.
 - **Anidride carbonica (CO₂), Metano (CH₄), Protossido di azoto (N₂O)** dalla digestione aerobica, dal consumo di combustibili fossili e dall'uso di energia elettrica importata dalla rete nazionale.

- Approccio applicato:



Marchi M., Niccolucci V., Menghetti F., Mangiavacchi S., Bastianoni S., (2014), Greenhouse gas emissions accounting for waste management at the local scale, *The Sustainable City IX – Urban Regeneration and Sustainability*, WIT Press, Volume 2, 1291-1300.

Marchi M., Pulselli F.M., Menghetti F., Bastianoni S., Marchettini N., (2015), L'inventario dei gas serra applicato al sistema di gestione integrato dei rifiuti, *La Chimica e l'Industria*, 4, 8-12.

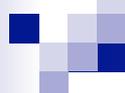
Ipotetico digestore anaerobico localizzato all'interno dell'impianto di compostaggio aerobico pre-esistente:

- Il biogas ottenuto è stato calcolato considerando una produzione pari a 70 Nm³ di biogas/t di residui verdi e 130 Nm³ di biogas/t di FORSU;
- Abbiamo assunto che l'1% del biogas prodotto è accidentalmente rilasciato in atmosfera e il 60% del biogas è costituito da metano (CH₄);
- La quantità di energia elettrica prodotta dal biogas ottenuto dalla digestione anaerobica è pari a circa 1.98 kWh/Nm³ di biogas;
- E' stata stimata la quantità dei digestati anaerobici prodotti, considerando una perdita di peso pari a circa il 15% dei rifiuti organici in input;
- 2.950 t di rifiuti verdi per anno sono aggiunti ai digestati anaerobici; il processo di compostaggio di questo materiale già semi-stabilizzato emette 0.03 g CH₄ e 0.06 g N₂O per kg di rifiuto;
- Sono stati stimati dei consumi annuali pari a circa 12 kWh di energia elettrica e 38 kWh di energia termica/t di rifiuto;
- Il consumo dei combustibili fossili dovrebbe essere circa la metà di quello dell'impianto di compostaggio pre-esistente;
- Il consumo di combustibili fossili per il trasporto degli scarti del ciclo produttivo è presumibilmente uguale a quello dell'impianto di compostaggio pre-esistente.

- Le emissioni di gas serra sono state stimate moltiplicando i dati di attività per i rispettivi fattori di emissione.
- Sono state stimate le emissioni dovute al consumo di energia elettrica importata e quelle evitate dall'uso di energia prodotta da risorse rinnovabili, considerando un fattore di emissione calcolato a partire dalla produzione di energia elettrica a scala nazionale meno quella prodotta localmente.
- Tutte le emissioni di gas serra diverse dall'anidride carbonica (CO_2) sono state convertite in **CO_2 equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq}$)**, usando i "Global Warming Potentials" a 100 anni di orizzonte temporale .

Risultati e Discussione

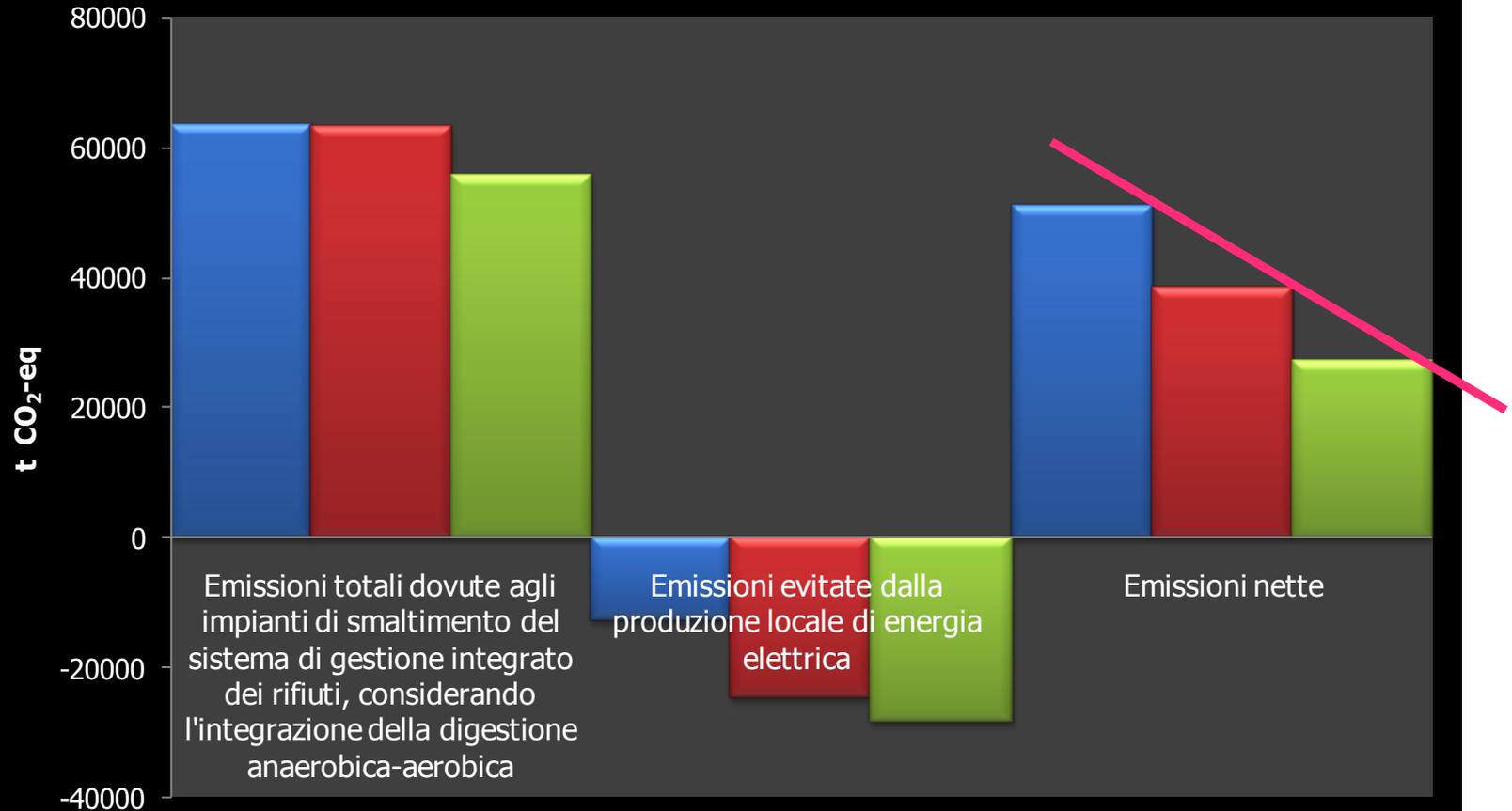
Attività	2009	2010	2011
	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq	t CO ₂ -eq
<i>Impianto di compostaggio aerobico</i>			
Produzione di compost aerobico (emissioni dirette)	1.467,55	1.583,43	1.494,38
Consumo di combustibili fossili e energia elettrica (emissioni dirette ed indirette)	593,93	539,61	599,66
Emissioni evitate dalla produzione locale di energia elettrica	0	0	0
<i>Totale</i>	<i>2.061,48</i>	<i>2.123,04</i>	<i>2.094,04</i>
<i>Digestore anaerobico</i>			
Digestione anaerobica (emissioni dirette)	201,81	220,77	209,42
Consumo di combustibili fossili e energia elettrica (emissioni dirette ed indirette)	462,43	485,01	467,28
Emissioni evitate dalla produzione locale di energia elettrica	-1.799,32	-1.895,01	-1.830,30
<i>Totale</i>	<i>-1.135,08</i>	<i>-1.189,23</i>	<i>-1.153,60</i>
Variazione % tra il digestore anaerobico ipotetico e l'impianto di compostaggio pre-esistente	-155%	-156%	-155%
<i>Integrazione della digestione anaerobica ed il compostaggio aerobico</i>			
Digestione integrata anaerobica-aerobica (emissioni dirette)	511,40	554,80	524,67
Consumo di combustibili fossili e energia elettrica (emissioni dirette ed indirette)	1.056,36	1.024,62	1.066,94
Emissioni evitate dalla produzione locale di energia elettrica	-1.799,32	-1.895,01	-1.830,30
<i>Totale</i>	<i>-231,56</i>	<i>-315,58</i>	<i>-238,70</i>
Variazione % tra l'ipotetica digestione integrata anaerobica-aerobica e l'impianto di compostaggio pre-esistente	-111%	-115%	-111%



L'integrazione della digestione anaerobica ed il compostaggio aerobico determina considerevoli vantaggi:

- Produce compost (stocca il carbonio e l'azoto nel suolo agricolo), e biogas con una potenziale generazione di energia elettrica e calore;
- Migliora il bilancio energetico del sito produttivo poiché genera un surplus di produzione di energia a confronto del fabbisogno di tutto l'impianto;
- I problemi olfattivi possono essere ridotti, considerando che le fasi più odorose sono gestite in reattori chiusi;
- Necessita di una minore disponibilità di spazio, portando la fase aerobica da 90 a 60 giorni. Inoltre, i digestati anaerobici riciclati occupano un volume più piccolo dei rifiuti organici gestiti nell'impianto di compostaggio;
- Ha una migliore efficienza nel trattare rifiuti con più alto contenuto d'acqua;
- Il riciclaggio dei digestati anaerobici attraverso il compostaggio permette di acquisire i requisiti legali e commerciali per un prodotto che è un fertilizzante (Fine del Rifiuto);
- Aumenta la produzione di energia elettrica ottenuta da biomasse.

Bilancio delle emissioni del sistema di gestione integrato dei rifiuti



■ 2009

■ 2010

■ 2011

- 
- L'integrazione della digestione anaerobica ed il compostaggio aerobico potrebbero determinare una riduzione annuale delle emissioni di gas serra pari a circa il 23% di quelle dall'impianto di compostaggio pre-esistente.
 - La produzione di energia elettrica dal biogas ottenuto dalla digestione anaerobica potrebbe evitare il 5% delle emissioni di gas serra annue degli impianti per la gestione dei rifiuti operativi nel sistema di gestione integrato.
 - La produzione di energia elettrica dal biogas ottenuto dal trattamento integrato anaerobico-aerobico e dagli altri impianti per lo smaltimento dei rifiuti (discariche e inceneritore) potrebbe determinare una riduzione annuale delle emissioni di gas serra della Provincia di Siena pari a circa il 2%, considerando tutte le attività antropogeniche svolte nel territorio.

L'integrazione della digestione anaerobica ed il compostaggio aerobico facilita la produzione di compost di alta qualità e biogas, il quale è usato per ottenere energia elettrica e calore.

Le emissioni di gas serra dal processo integrato anaerobico-aerobico sono più basse di quelle rilasciate dal compostaggio.

La produzione di energia elettrica ottenuta dal biogas determina una riduzione dell'effetto serra antropogenico, evitando l'uso di energia da combustibili fossili.

L'analisi proposta, accoppiata all'inventario dei gas serra di tutti gli impianti per lo smaltimento dei rifiuti operanti nel sistema di gestione integrato, può fornire informazioni utili per la pianificazione.

I metodi di digestione anaerobica-aerobica potrebbero essere applicati per valutare degli ulteriori sviluppi tecnologici, come la produzione di bio-metano.

**Questo studio è una parte di un progetto di ricerca supportato
dalla Provincia di Siena all'interno del programma
"Ricercatore in Azienda".**

Grazie per l'attenzione

Dott.ssa Michela Marchi, PhD



*Ecodynamics Group
Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente
Università degli Studi di Siena
marchi27@unisi.it*