

# ABSTRACT

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
"FEDERICO II"



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

CORSO DI LAUREA IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA

Processi di digestione anaerobica di scarti alimentari, in  
mono e co-digestione con fanghi di depurazione civili

Relatore  
Prof. Ing.  
Massimiliano Fabbricino  
Correlatore  
Ing. Andrea Gianico

Candidato  
Valerio Palmisano  
Matr. M67/343

Anno Accademico 2017/2018

# Il Problema dei Rifiuti/Economia Circolare

## IL PROBLEMA DEI RIFIUTI



1,3 mld ton di FW sprecate ogni anno

28% aree agricole mondiali

8% del tot emissioni GHG antropici

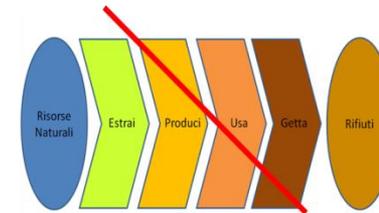
250 km<sup>3</sup> di acqua annui

850 mld euro/anno

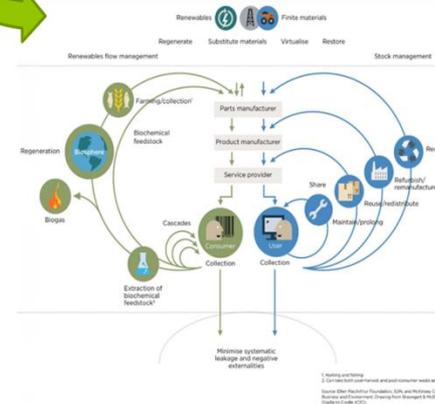
Impatto ambientale

- Fertilizzanti
- Pesticidi

## ECONOMIA CIRCOLARE

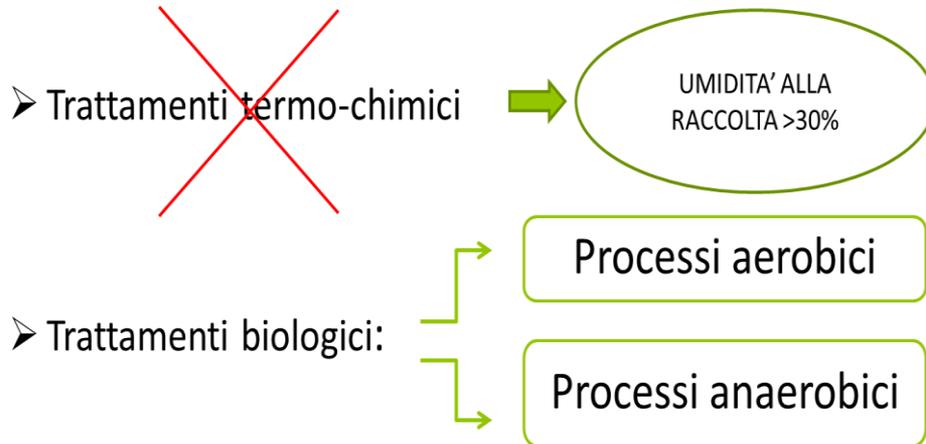


Eliminare i rifiuti dai nostri sistemi industriali rendendoli meno dipendenti dall'utilizzo di risorse limitate



# Perché la Digestione anaerobica?

PERCHE' LA DIGESTIONE ANAEROBICA?



- Trattamenti aerobici



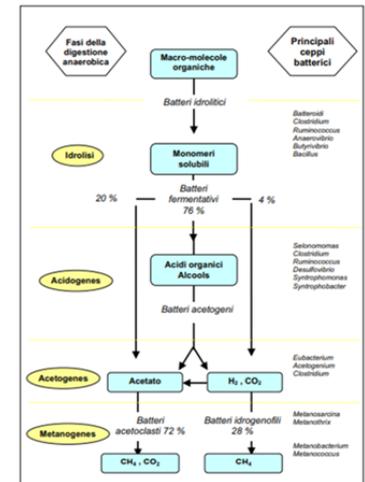
Produzione di compost per utilizzo in agricoltura

- Trattamenti anaerobici



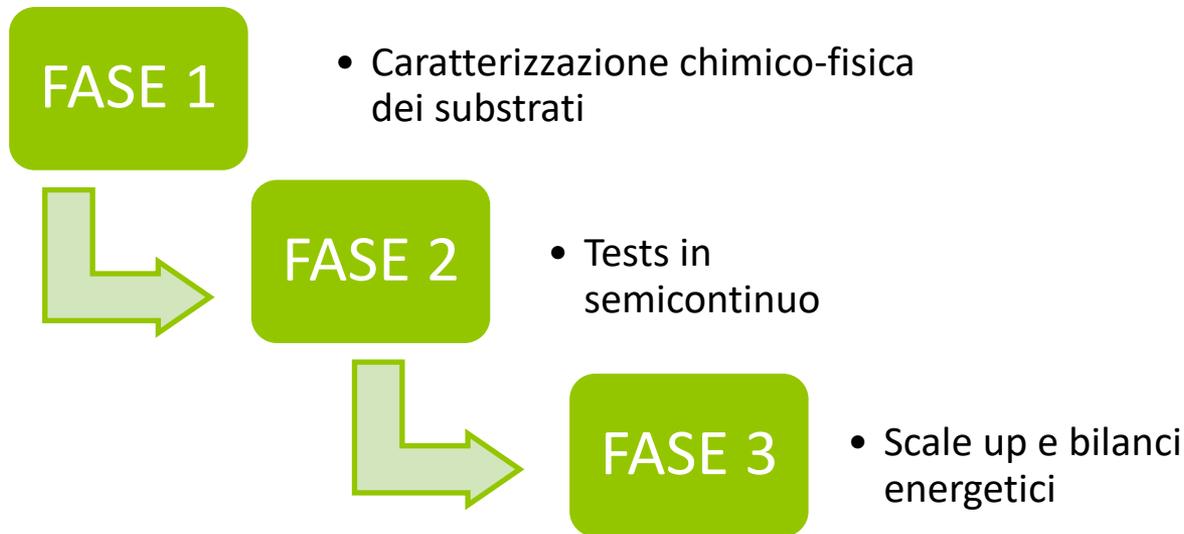
Crescente richiesta di energia da fonti alternative.

Possibilità di utilizzo agricolo dei digestati prodotti.



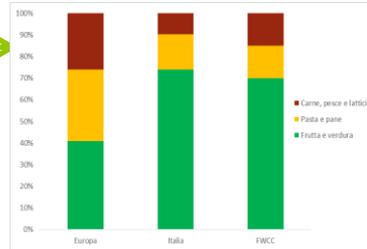
# OBIETTIVI

- Comprensione dei meccanismi e valutazione delle prestazioni del processo
- Stabilità del processo a lungo termine
- Valutazioni energetiche su scenari di piena scala



# Substrati e Pretrattamenti

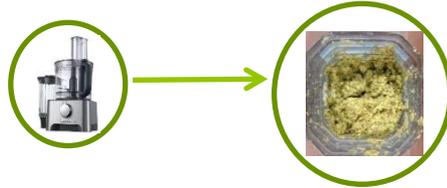
- Food waste (FW) →



- Fango attivo (Waste Activated Sludge, WAS)



- Triturazione →



- Stoccaggio (-20°C) →



- Impianto di depurazione di Roma Nord (780.000 abitanti equivalenti)

- Ispessimento a gravità



- Stoccaggio (+4°C)



# CARATTERIZZAZIONE DEI SUBSTRATI

	Food waste	Food waste (prefermentato)	Dati di riferimento	Riferimento
TS (g/L)	160,4	167,3	128 - 328	Fisgativa et al., 2016
VS (g/L)	153,4	160,0	60-260	Han S.K et al., 2004
VS/TS (%)	96	96	86-96	Kawai M. et al., 2014
COD tot (g/L)	187	189	109-287	Fisgativa et al., 2016
COD sol (g/L)	67,7	49,5	11-98	Tampio E. et al., 2014
CODtot/VS	1,22	1,18	1-1,7	Fisgativa et al., 2016
CODsol/CODtot (%)	36,2	26,1		
pH	4,76 →	4,10		
Ntot (g/L)	3,8	3,9	1,7-3,9	Quiao W. et al., 2011
Ntot (%TS)	2,3	2,3		
Proteine (gCOD/L)	25	8,2	10-28	Pagliaccia et al., 2015
Carboidrati (gCOD/L)	42,1	17,1	34	Tampio et al., 2015

	Fango (WAS)	Dati di riferimento	Riferimento
TS (g/L)	24,95	5-20	Braguglia et al., 2007
VS (g/L)	17,28		
VS/TS (%)	69,3	55-90	Braguglia et al., 2007
CODtot (g/L)	19,5	14-35	Bougrier et al., 2008
CODsol (mg/L)	70,9	50 - 1500	Bougrier et al., 2008
CODtot/VS	1,13		
CODsol/CODtot (%)	0,36%		
Alcalinità (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	500		

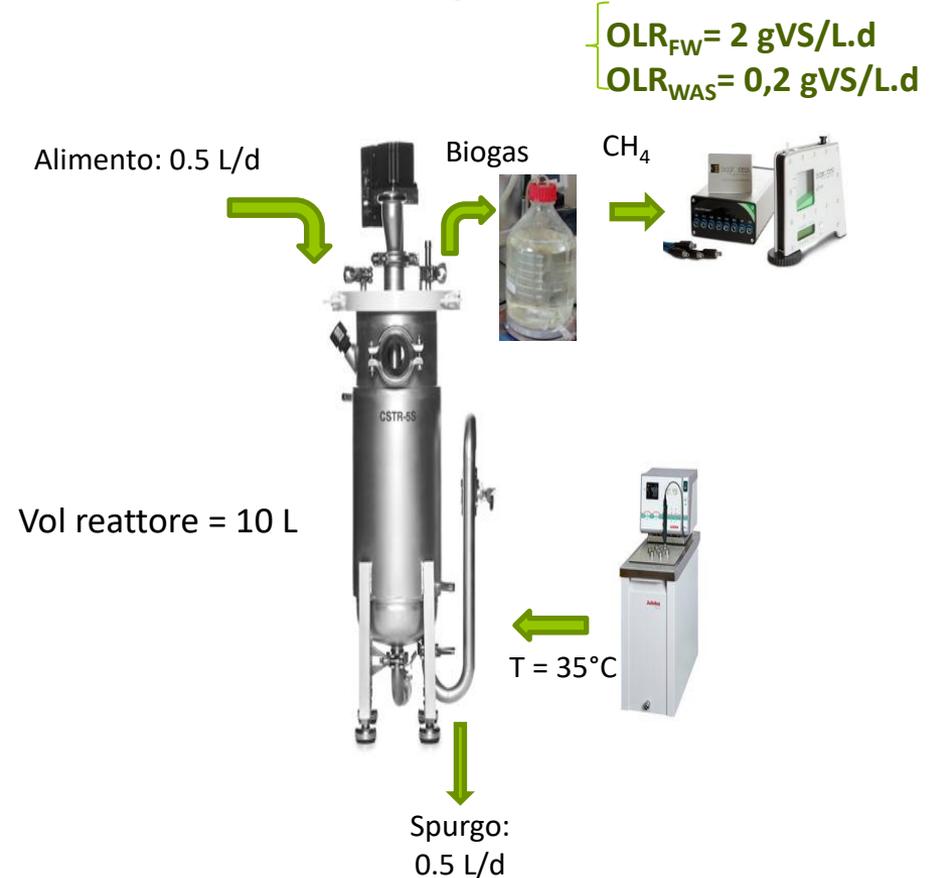
# PROVE IN SEMICONTINUO

## Prova di Digestione Food Waste HRT=20 d; OLR = 0.8 gVS/L.d



Avvio prova 5/02/2018

## Prova di Co-Digestione (90%FW+10%WAS) HRT=20 d; OLR = 2.2 gVS/L.d

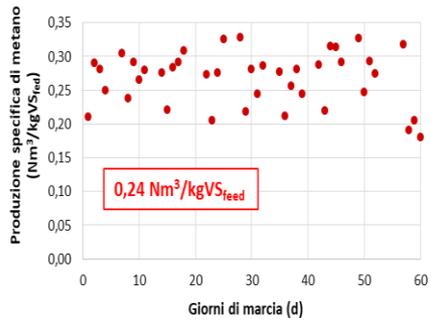


Avvio prova 29/01/2018

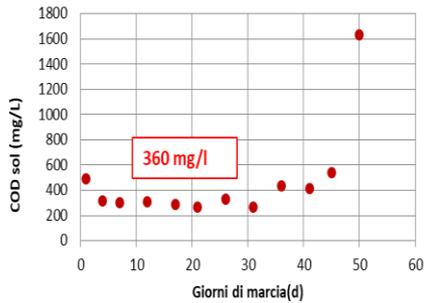
# Risultati

## Prova di Digestione Food Waste HRT=20 d; OLR = 0.8 gVS/L.d

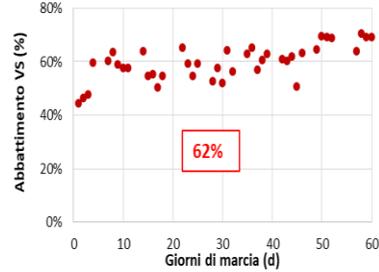
Produzione specifica giornaliera



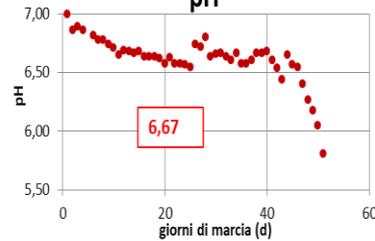
COD sol



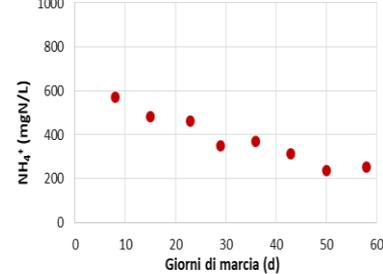
Abbattimento VS



pH

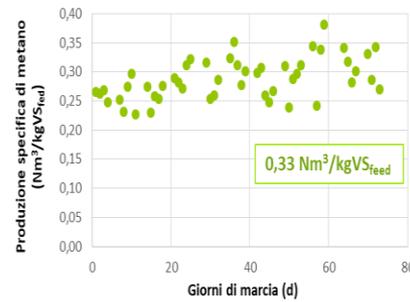


Azoto ammoniacale

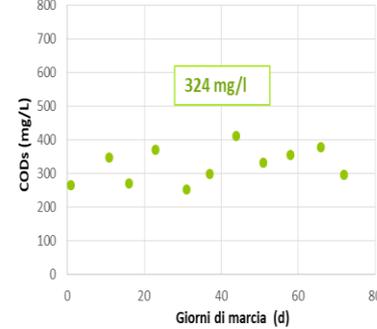


## Prova di Co-Digestione (90% FW + 10% WAS) HRT=20 d; OLR = 2.2 gVS/L.d

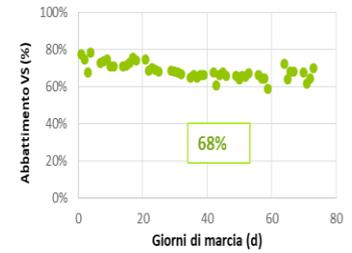
Produzione specifica giornaliera



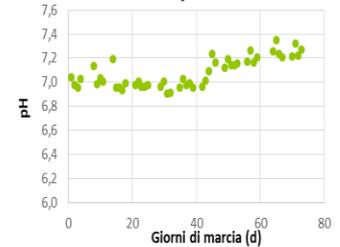
COD sol



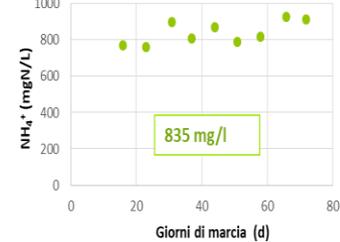
Abbattimento VS



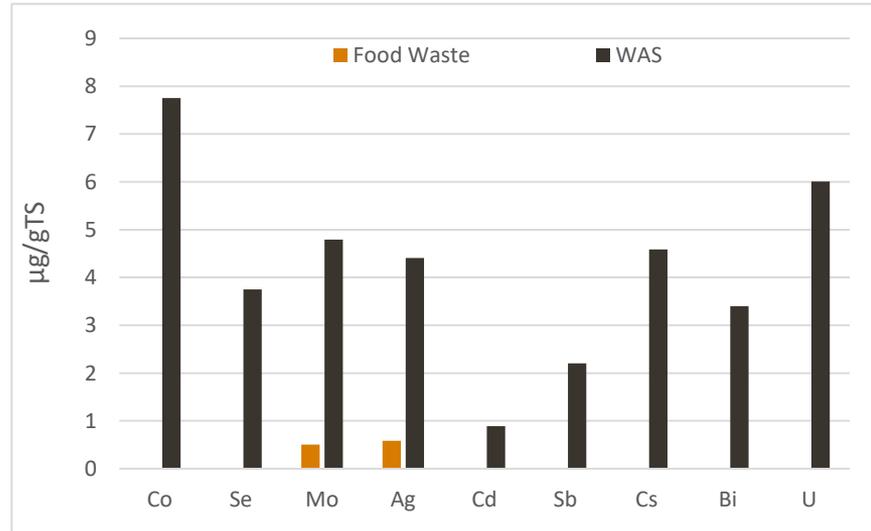
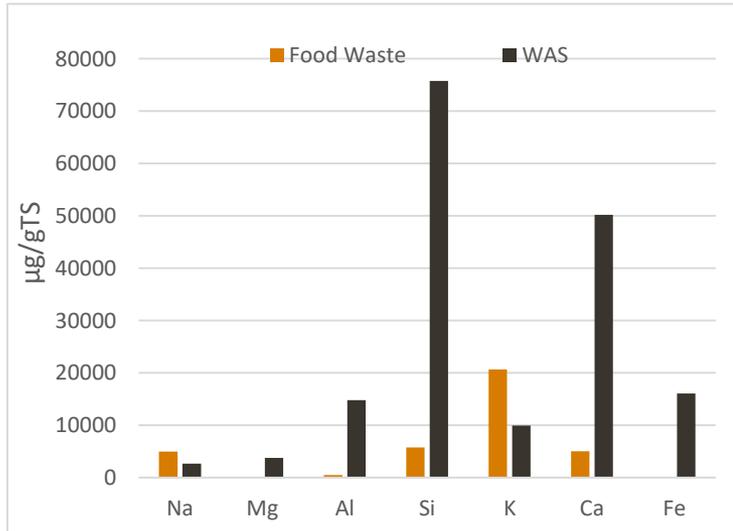
pH



Azoto ammoniacale



# RISULTATI



Micronutrienti	Fango (µg/g TS)	Food-waste (µg/g TS)	Dati di riferimento	Fonte
Sodio	2640	4970	3831±2351	Crpa 2015
Magnesio	3750	20	5568±1552	Crpa 2015
Alluminio	484	14810	1063±1080	Crpa 2015
Potassio	9930	20650	50066±17960	Crpa 2015
Calcio	50180	5030	21070±7008	Crpa 2015
Ferro	16082,11	39,29	2472±1552	Crpa 2015
Cobalto	7,75	<d.l.*	1,93±1,82	Crpa 2015
Selenio	3,75	<d.l.*	1,32±1,19	Crpa 2015
Molibdeno	4,79	0,50	4,54±1,94	Crpa 2015

\* < d.l.(inferiore al limite di rilevabilità del metodo).

# Bilancio energetico/ Analisi economica

## BILANCIO ENERGETICO



Scenario:

- Impianto di depurazione esistente a servizio di 500.000 a.e.
- Costruzione di tre digestori alimentati con fango e food waste

- Bilancio energetico:

$$Q = F \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow \text{Calore necessario all'alimentazione}$$

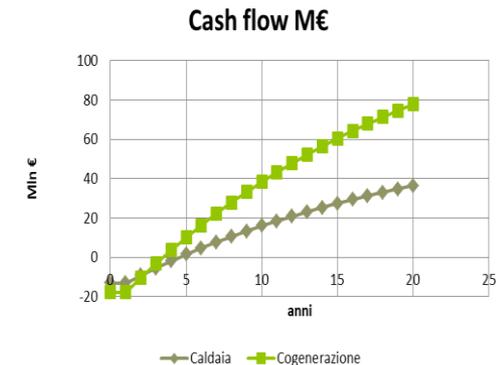
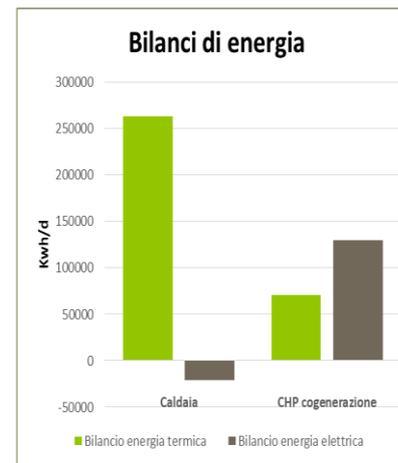
$$Q = \frac{\Delta T}{\left[ \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2\pi k_1 L)} \right] + \left[ \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{(2\pi k_2 L)} \right]} \rightarrow \text{Perdite di calore attraverso il mantello}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{(r_2 - r_1)}{(2\pi k_1 r_1 r_2)} + \frac{(r_3 - r_2)}{(2\pi k_2 r_2 r_3)}} \rightarrow \text{Perdite di calore attraverso il tetto}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{(r_2 - r_1)}{(A k_1)} + \frac{(r_3 - r_2)}{(A k_2)}} \rightarrow \text{Perdite di calore attraverso il pavimento}$$



	Energia necessaria al digestore	Caldaia	Cogenerazione
Bilancio energia termica [kWh/d]	176.220	386.281	193.141
Bilancio energia elettrica [kWh <sub>e</sub> /d]	20.679	-20.679	150.221
Costi di investimento [M€]		8,2	13



# PROVE DI CODIGESTIONE - RISULTATI

	Basso carico (0,8 kgVS/m <sup>3</sup> d)		Medio carico (1,6 kgVS/m <sup>3</sup> d)		Alto carico (2,2 kgVS/m <sup>3</sup> d)	
	Alimento	Digestato	Alimento	Digestato	Alimento	Digestato
TS (g/L)	23,3 ± 3,9	12,6 ± 1,2	38,4 ± 4,4	14,5 ± 1,1	52,2 ± 4,9	20,5 ± 1,8
VS (g/L)	17,9 ± 3	8,5 ± 0,9	33,1 ± 3,5	9,9 ± 0,8	44,6 ± 4,7	14,0 ± 1,36
VS/TS (%)	77%	67%	86%	69%	85%	68%
CODtot (g/L)	23,1 ± 1,9	11,7 ± 1,2	45,9 ± 2,2	14,6 ± 1	59,6 ± 6,3	19,5 ± 0,54
CODsol (g/L)	1,7 ± 0,09	0,17 ± 0,02	8,5 ± 1,3	0,31 ± 0,04	13,6 ± 1,5	0,32 ± 0,05
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	105 ± 16	494 ± 69	208 ± 12	750 ± 32	291 ± 26	835 ± 64
VS <sub>abbattuti</sub> (%)	51%		70%		68%	
Produzione specifica $\frac{Nm^3 CH_4}{Kg VS_{alim}}$	0,16 ± 0,02		0,28 ± 0,04		0,33 ± 0,02	
Produzione specifica $\frac{Nm^3 CH_4}{Kg VS_{abb}}$	0,27 ± 0,05		0,38 ± 0,04		0,45 ± 0,02	

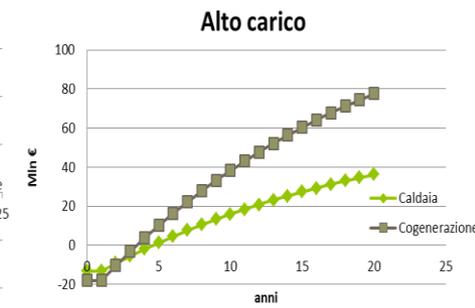
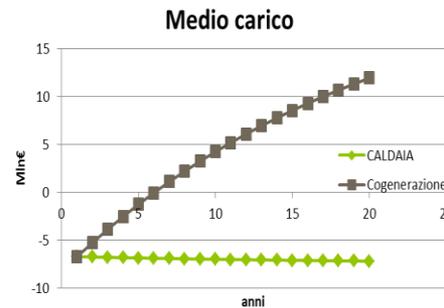
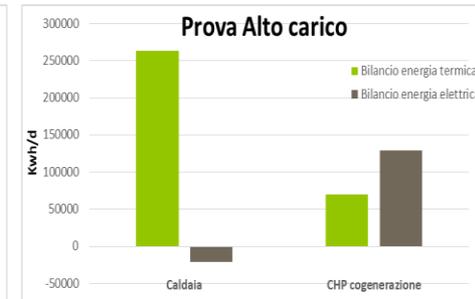
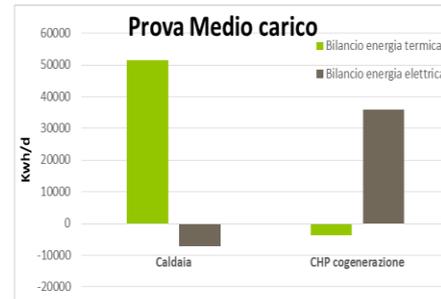


# Bilanci energetici/Analisi economica

	Basso carico	Medio Carico	Alto Carico
Solidi volatili alimentati (KgVS <sub>feed</sub> /d)	19.054	44.459	131.591
Calore totale necessario (Kwh/d)	38.920	59.086	176.220
Produzione specifica di metano (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /KgVS <sub>feed</sub> )	0,160	0,280	0,330
Produzione di metano (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d)	3.049	12.449	43.425

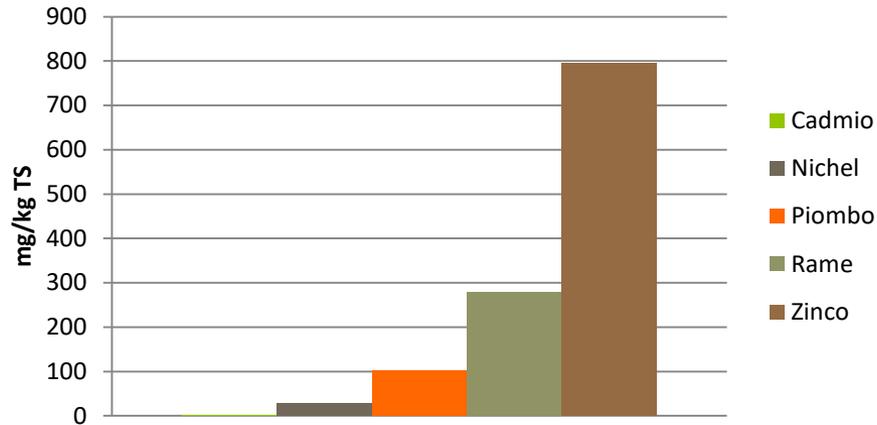
		Basso carico	Medio carico	Alto carico
CALDAIA	Bilancio energia termica [kWh/d]	-11.801	51.648	263.401
	Bilancio energia elettrica [kWh/d]	-2.963	-7.166	-20.679
COGENERAZIONE	Bilancio energia termica [kWh/d]	-25.361	-3.719	70.260
	Bilancio energia elettrica [kWh/d]	7.583	35.897	129.452

## PROVE DI CO-DIGESTIONE – ANALISI ECONOMICA

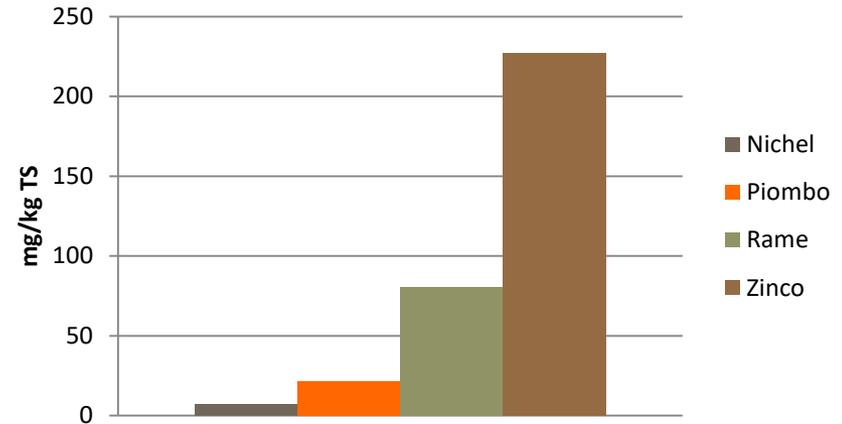


# ANALISI AMBIENTALE

## Co-digestato

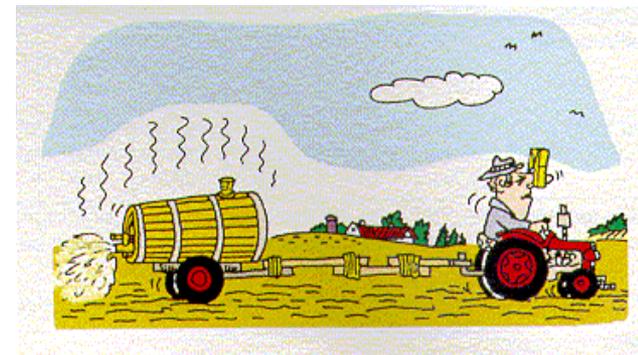


## Digestato



Metalli pesanti	Concentrazione digestato (mg/KgTS)	Concentrazione co-digestato (mg/KgTS)	Valori limite di legge (mg/KgTS)	Fonte
Cadmio	<math><d.l.</math>*	0,82	20	D.Lgs. 99/1992
Mercurio	<math><d.l.</math>*	<math><d.l.</math>*	10	D.Lgs. 99/1992
Nichel	7,15	29,21	300	D.Lgs. 99/1992
Piombo	21,51	101,13	750	D.Lgs. 99/1992
Rame	80,77	278,69	1000	D.Lgs. 99/1992
Zinco	227,18	795,86	2500	D.Lgs. 99/1992

\* <math><d.l.</math>(inferiore al limite di rilevabilità del metodo).



# CONCLUSIONI

- Il processo di digestione anaerobica del food waste utilizzato in questa sperimentazione è risultato instabile fino al progressivo arresto della produzione di metano.
- L'aggiunta di fango attivo è necessaria per stabilizzare il processo.
- La co-digestione anaerobica, in particolare quella condotta ad alto carico, porta notevoli produzioni di energia sotto forma di metano.
- La concentrazione dei metalli pesanti all'interno del digestato è tale che esso risulta potenzialmente idoneo all'utilizzazione agricola.
- La co-digestione anaerobica, pur richiedendo adeguate competenze di tipo tecnico-gestionale, si è dimostrata una valida soluzione ai fini del recupero energetico e del riutilizzo dei rifiuti organici in ottica di economia circolare.