



POLITECNICO
DI MILANO

DICA
*Sezione
Ambientale*



**Trattamento della frazione liquida del digestato da FORSU con
processo anammox: risultati sperimentali e prospettive**

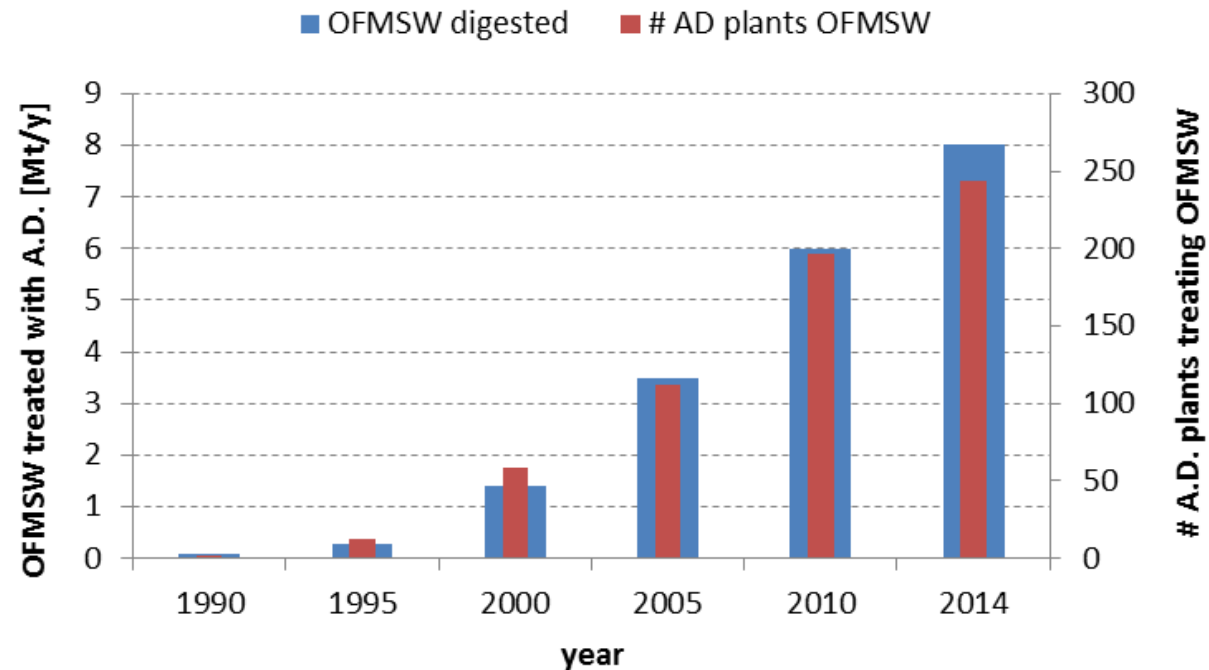
Scaglione D., Lotti T., Ficara E., Malpei F.



Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani (FORSU)



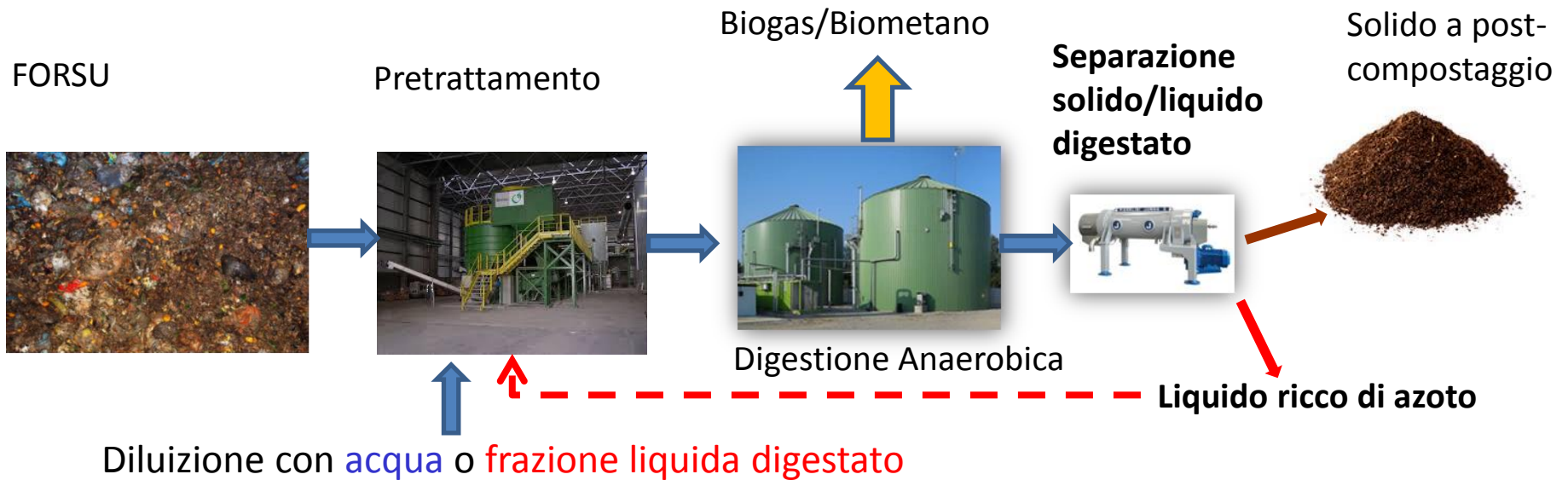
- In Europa si stima siano prodotte più di 70 milioni di t di FORSU



- Circa 250 digestori anaerobici in operazione in Europa che trattano 8 Mt/y di FORSU
- 43 digestori in Italia che trattano circa 1 Mt/y of OFMSW.

Digestione anaerobica della FORSU

40% dei digestori da FORSU operano in modalità "wet" a umido

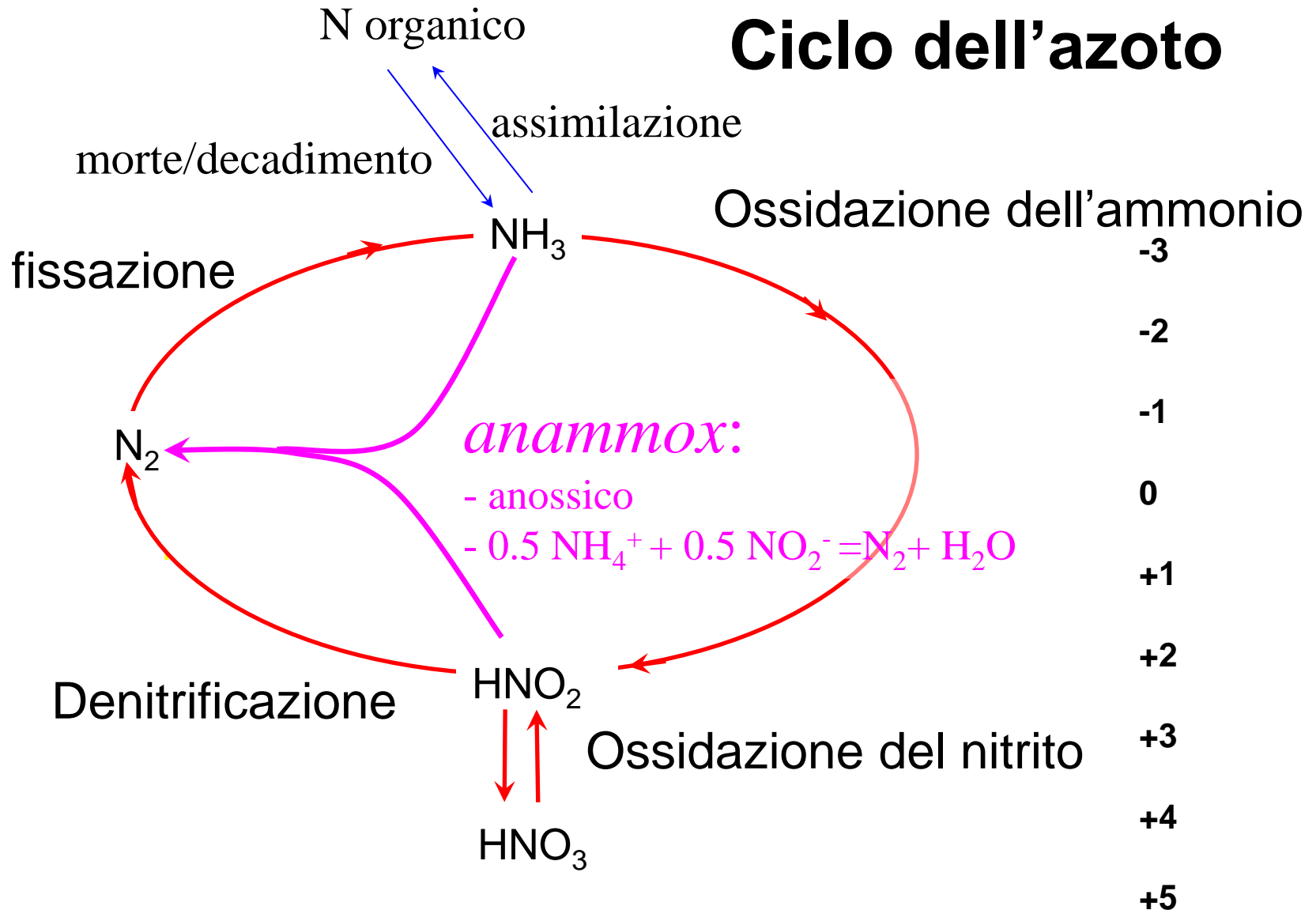


I costi di trattamento della **frazione liquida** sono un limite per lo sviluppo di questa tecnologia

Necessarie soluzioni sostenibili per la rimozione dell'azoto

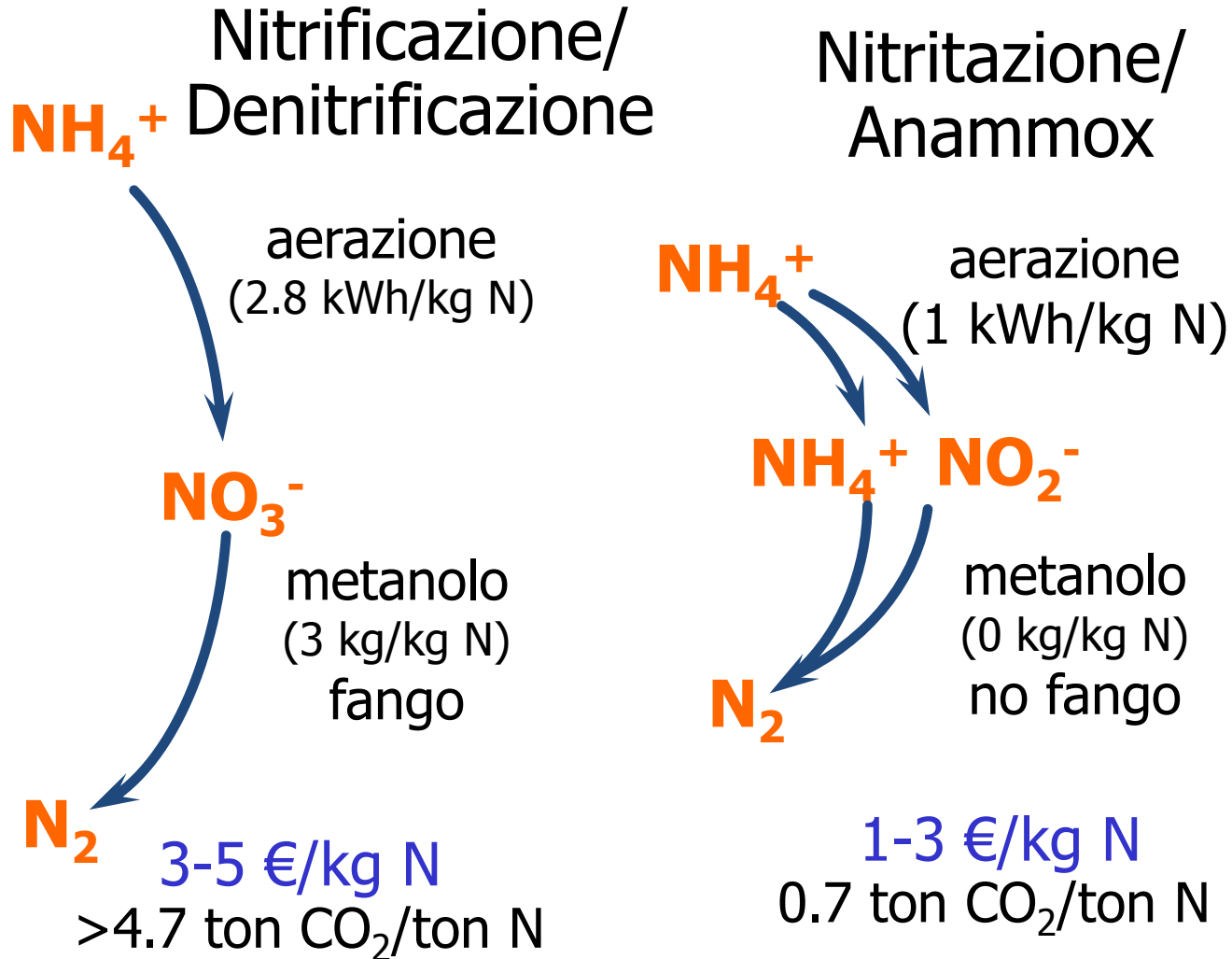


Ciclo dell'azoto





Processo anammox

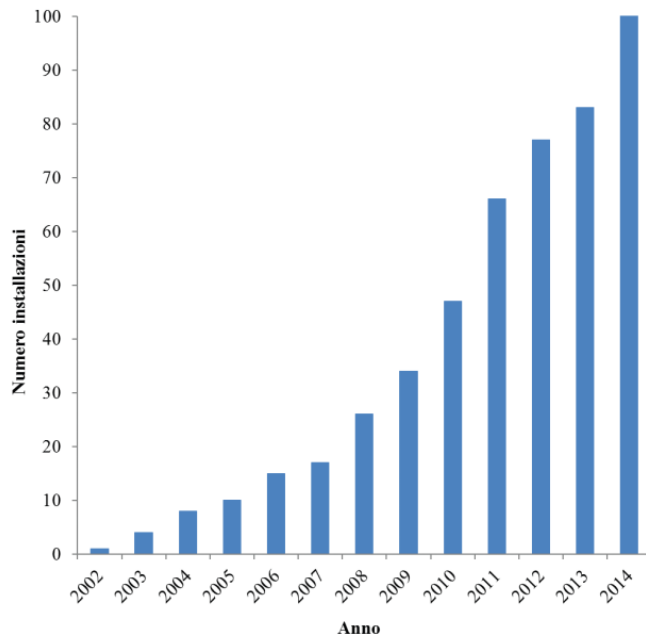


Applicazioni del processo anammox

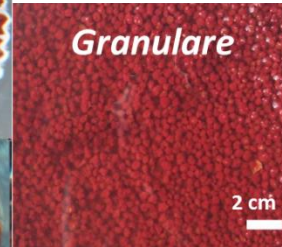
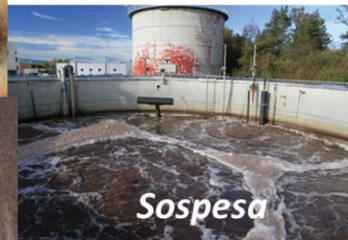
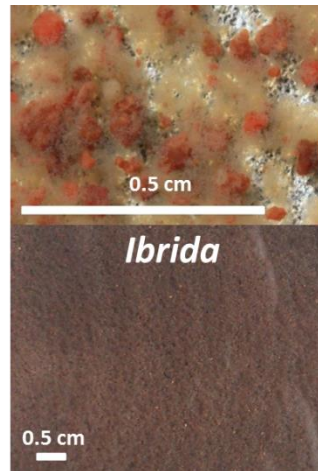
Il processo si applica a reflui con alti tenori di ammonio e bassi rapporti COD/N:

- trattamento digestati di fanghi di depurazione civili (sulla frazione liquida)
- trattamento di acque reflue dell'agroindustria (a valle di digestione anaerobica)

Oltre 100 impianti a scala reale nel mondo



Diverse tecnologie e forme di aggregazione della biomassa





OBIETTIVI DELLA RICERCA

Valutare la trattabilità con anammox della frazione liquida del digestato da FORSU

Sperimentazione a scala laboratorio

- Prove batch:
 - Potenziale di inibizione su campioni prelevati su diversi impianti
 - Effetto sulla biomassa di differenti livelli di salinità
- Prova in continuo (reattore SBR)
 - Separato liquido grezzo e diluito
 - Avviamento rapido/graduale





Caratteristiche digestori FORSU

Impianto	FORSU caricata (t/anno)	Cosubstrato con FORSU	Diluizione in fase di pretrattamento	AD HRT	AD (°C)	Separazione solido/liquido digestato	Attuale trattamento frazione liquida
1	285000	-	Acqua	20	57	centrifuga + flottazione	Depuratore biologico interno
2	20000	-	Ricircolo di frazione liquida del digestato	60	55	centrifuga	SBR biologico + evaporatore
3a	10000	20% fango depuratore*	Acqua reflua da depuratore civile	30	40	nastro-pressa	Mandato a depuratore
3b	15000	-	Acqua reflua da depuratore civile	30	40	nastro-pressa	Mandato a depuratore
4	5000	80% fango depuratore*	Acqua	25	35	centrifuga	Mandato a depuratore

* Frazione dei SV caricati



Caratteristiche del separato liquido da FORSU

TKN	mg/L	650-3100
NH4-N	mg/L	600-3000
COD	mg/L	650-7000
BOD5sol	mg/L	500-1600
BOD20 sol	mg/L	1200-2300
pH	-	7.4-8.8
Conducibilità	(mS/cm)	5.7-36
VSS	mg/L	160-9000
TSS	mg/L	260-10500
PO ₄ -P	mg/L	0.8-18
SO ₄ -S	mg/L	10-100
Cl	mg/L	200-7800
Na	mg/L	140-3000
K	mg/L	150-2400
Fe	mg/L	0.50-30
Cu	mg/L	0.005-0.20

Set up sperimentale

Reflui reali (frazione liquida del digestato da FORSU):

- 4 digestori a scala reale
- 12 set di test
- Grezzo o diluito 1:2

Mezzo salino sintetico:

- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0-300 mg/L),
- KCl (1893-5679 mg/L)
- NaCl (2600-7430 mg/L)
- NaHCO_3 (1840-2014 mg/L)
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (247-916 mg/L).



Concentrazioni degli ioni simili ai reflui reali

Controllo: Soluzione standard di macro e micro nutrienti

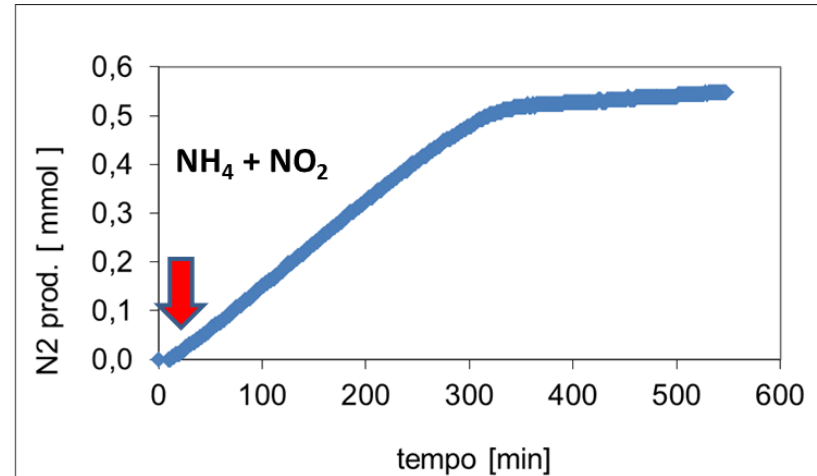


Metodo prova batch di trattabilità

Prove in doppio con misura manometrica dell'azoto prodotto:

- Volume totale 330 mL
- **pH 7.5** (buffer HEPES)
- Condizioni anossiche
- Agitatore termostato (**35 °C**)
- Inoculo: **biomassa granulare anammox**

Sistema di misura automatico (360 valori in 24h)



4-6 giorni di test quotidiani consecutivi:

- Iniezione dei substrati (ammonio e nitrito)
- Stima dell'attività specifica;
- Riduzione attività (inibizione) rispetto al controllo

(Scaglione et al. 2009; Lotti et al. 2012)





RISULTATI: Batch test su digestati da FORSU

	Campioni di frazione liquida del digestato	conducibilità [ms/cm]	ammonio [mgN/L]	Riduzione SAA ^{max} (%) media±dev.st.
Impianto 1	Frazione liquida grezza	18	1665	81±10
	Frazione liquida dil. 1:2	9	830	73±28
Impianto 2	Frazione liquida grezza	36.0	2950	90±10
	Frazione liquida dil. 1:2	18	1475	83±8
Impianto 3a	Frazione liquida grezza	15	1200	89±3
	Frazione liquida dil. 1:2	7.5	600	4±3
Impianto 3b	Frazione liquida grezza	13.2	1110	85±7
	Frazione liquida dil. 1:2	6.6	555	34±13
Impianto 4	Frazione liquida grezza	5.7	572	0±11
	Frazione liquida dil. 1:2	2.9	286	0±15

Riduzione sostanziale dell'attività (80-90%) ma attività anammox presente e rimozioni dell'azoto sempre complete nel test

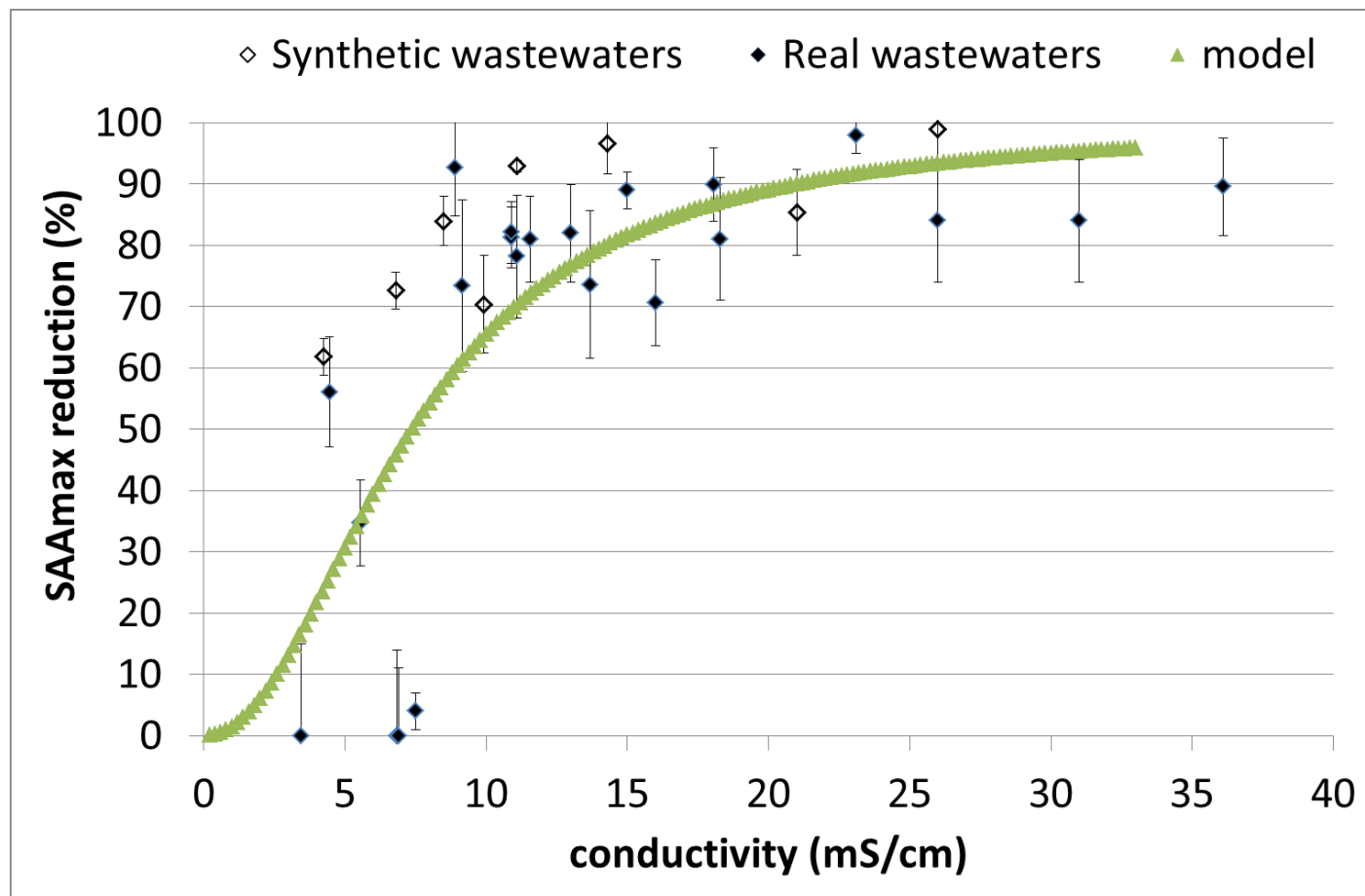
Nessuna inibizione per campione da impianto di codigestione (80% fanghi – 20%FORSU)

Attività massima anammox specifica (SAA^{max}): 0.05-0.25 g N₂-N/g VSS/d



RISULTATI: Batch test

Reale vs Sintetico: effetto della salinità



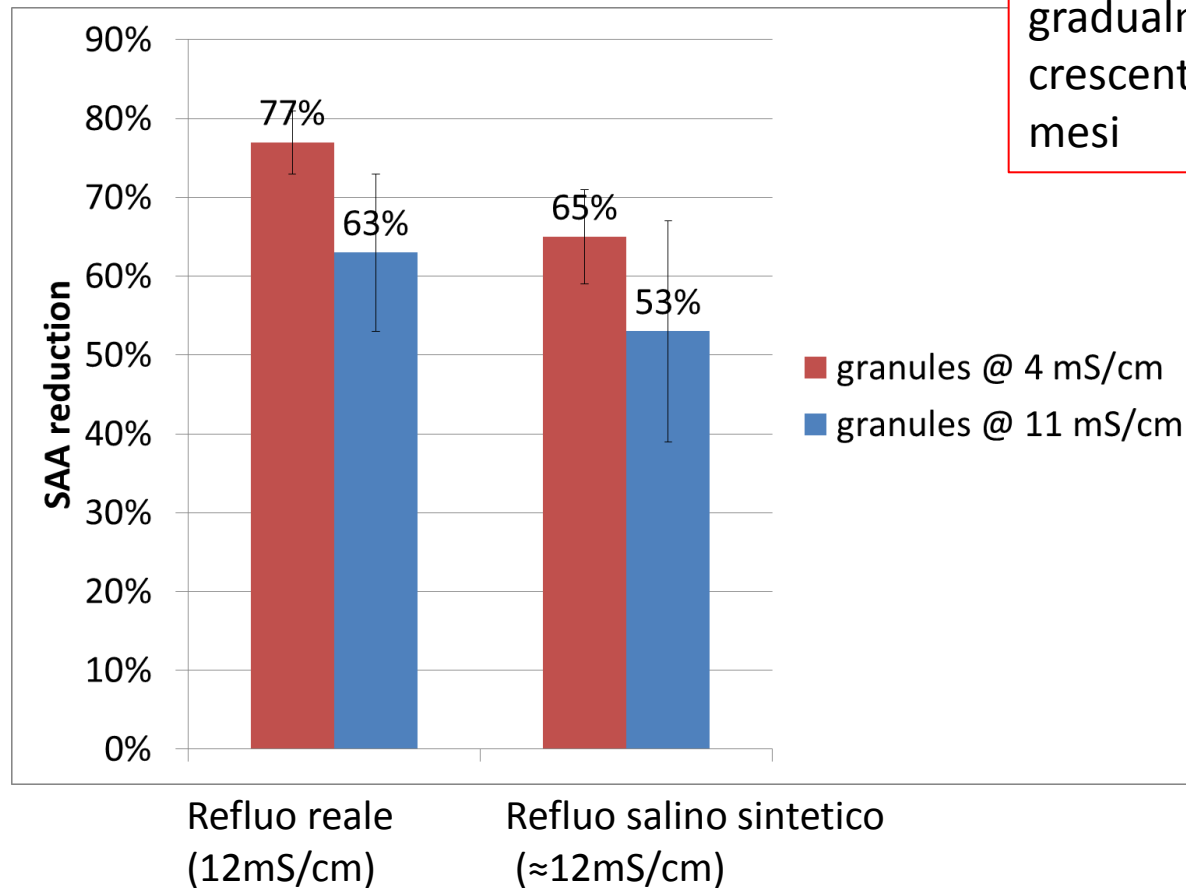
Il contenuto salino sembra essere il fattore inibente principale



RISULTATI: Batch test

Test batch – adattamento alla salinità

Stesso inoculo
mantenuto a salinità
gradualmente
crescente durante 4
mesi



Riduzione
dell'attività rispetto
a controllo con
mineral medium
(4 mS/cm)

Reattore anammox SBR

- Volume 3L
- Temperatura 35°C
- Inoculo: **biomassa anammox granulare**

INFLUENTE:

Frazione liquida del digestato (impianto 1) **dopo**
pretrattamento biologico

Stessa matrice (ioni e metalli) del refluo grezzo

Senza diluizione o miscelata con refluo sintetico

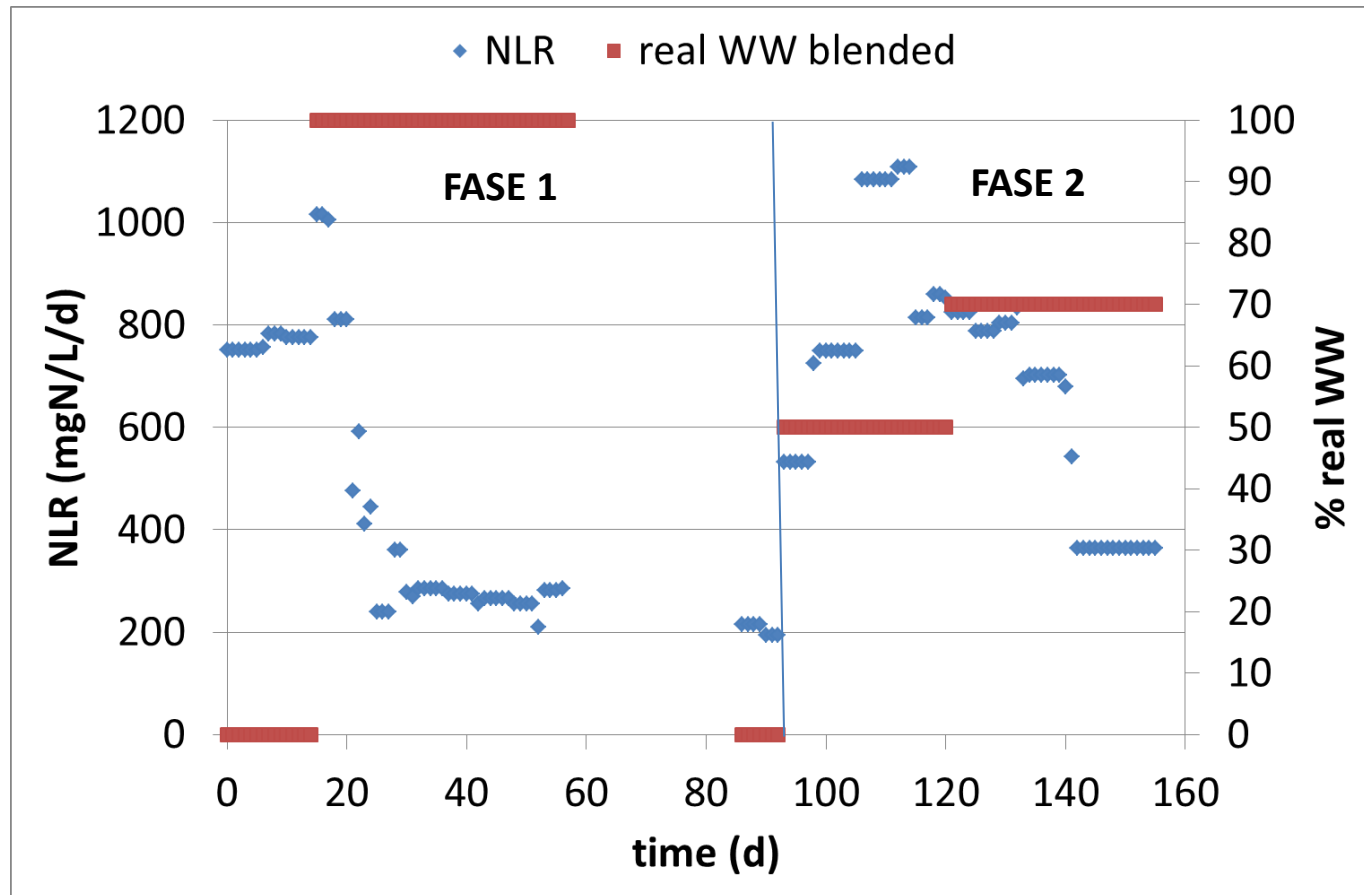
NaNO₂ e NH₄HCO₃ disciolti nell'alimento per
raggiungere concentrazioni volute di nitrito e
ammonio





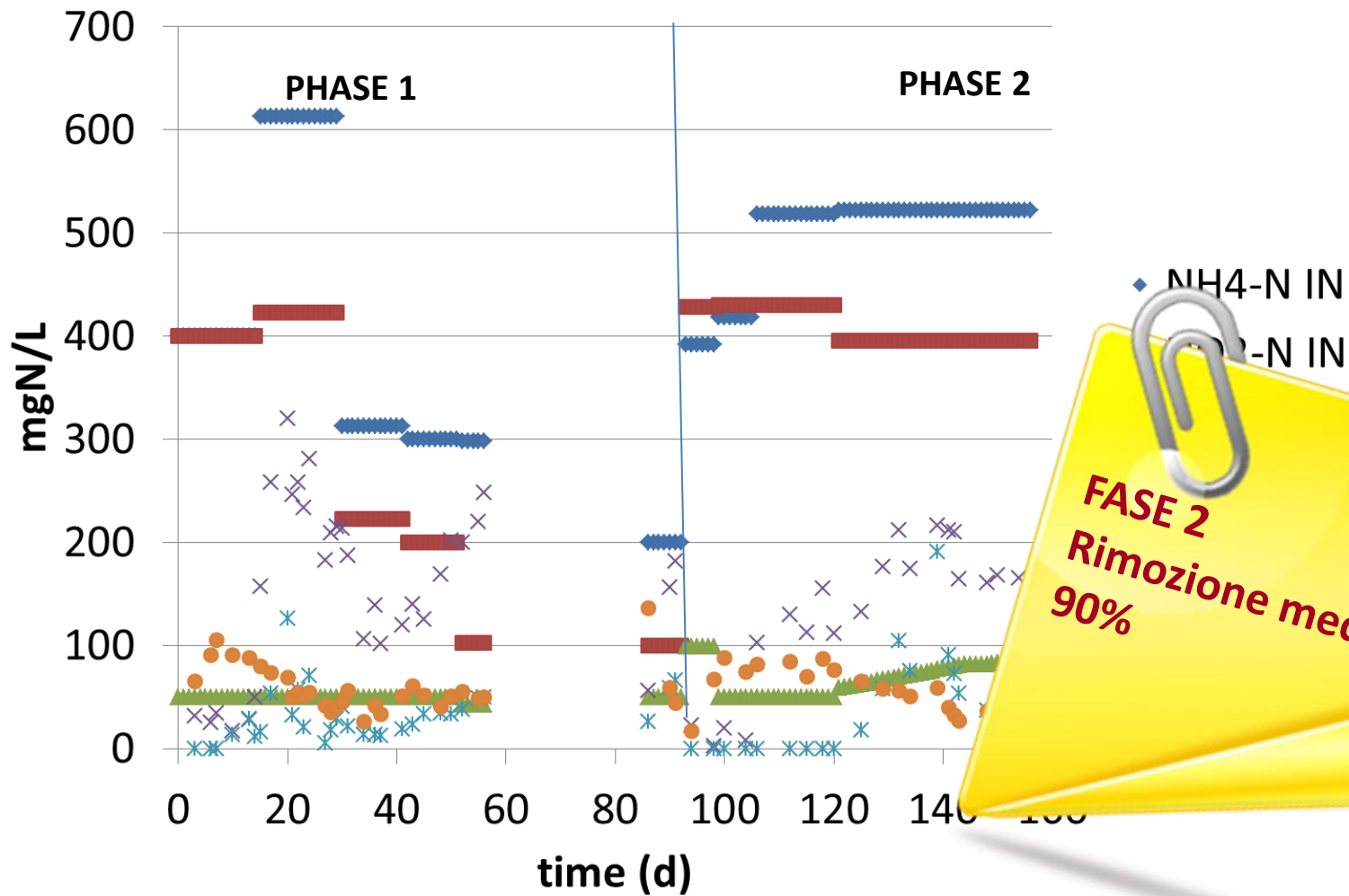
Reattore anammox SBR

- ✓ FASE 1 (giorni 1-85) start-up rapido: direttamente 100% refluo reale
- ✓ FASE 2 (giorni 86-160) progressivo aumento: diluizione 50% -70%



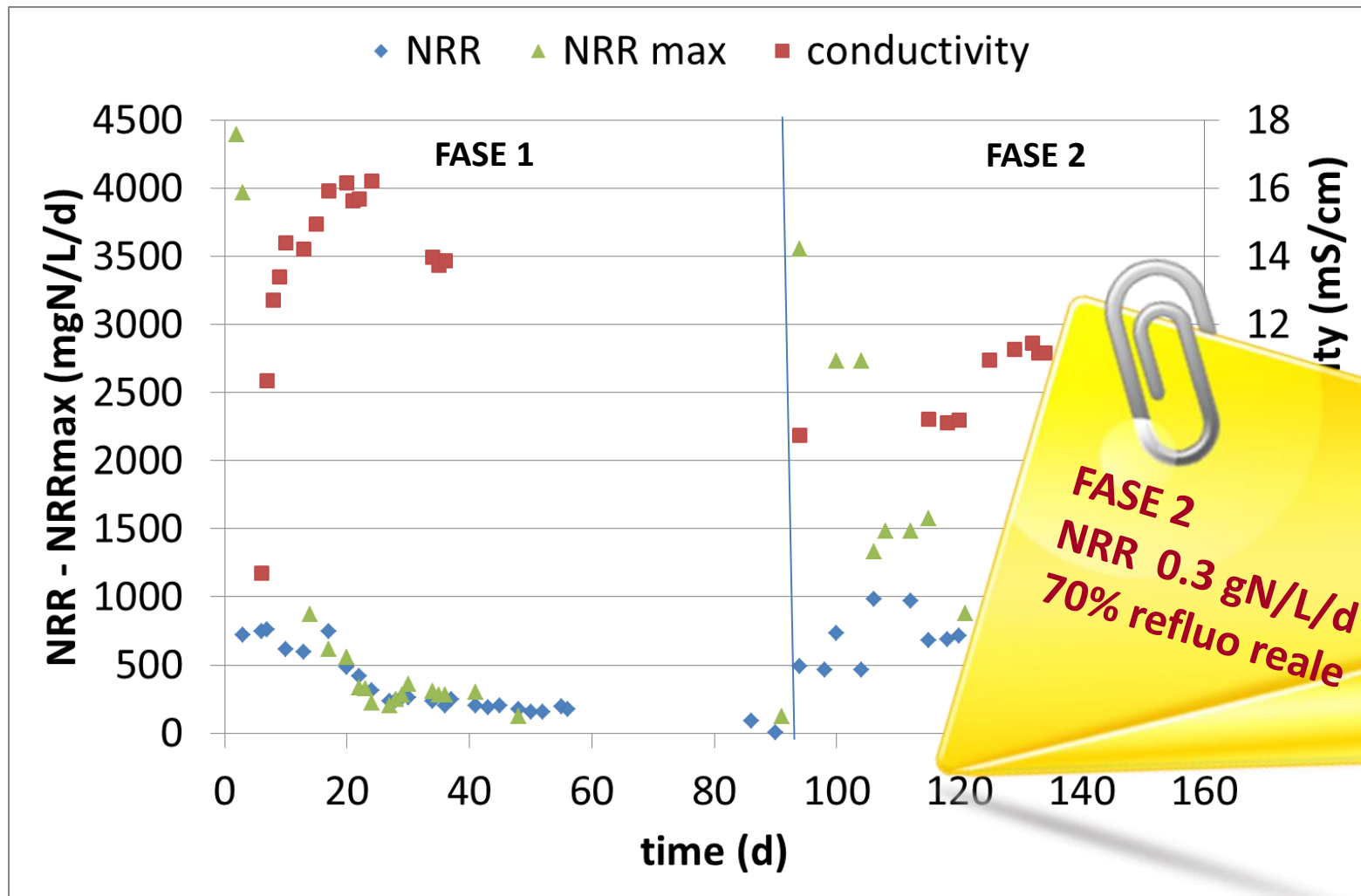


RISULTATI: SBR





RISULTATI: SBR



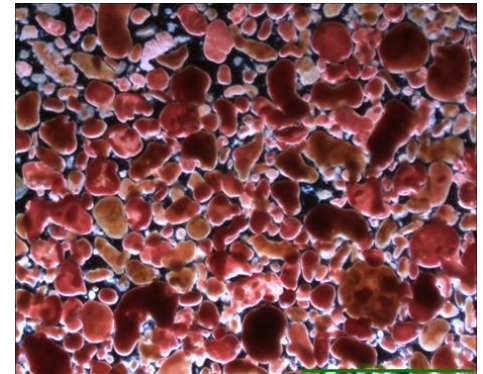
FASE 2
NRR 0.3 gN/L/d
70% refluo reale

Rapporti di rimozione: $\text{NO}_2/\text{NH}_4 = 1.05$ $\text{NO}_3/\text{NH}_4 = -0.05$

Conclusioni e prospettive

La frazione liquida del digestato da FORSU è trattabile con il processo anammox

- **La riduzione dell'attività specifica anammox (SAA) in test batch a breve termine è variata tra il 65% e il 90%**
- **La salinità sembra essere il fattore inibente principale**
- **Avviamento graduale** in impianti in continuo è cruciale per adattare la biomassa (inoculo già adattato può essere determinante)
- Ratei di rimozione dell'azoto (NRR) di **0.3gN/L/d sono stati ottenuti in test in continuo** con un reattore SBR a scala laboratorio
- **Prospettive: scale-up a scala dimostrativa e reale**



Grazie per l'attenzione

davide.scaglione@polimi.it

Fabbrica della Bioenergia (www.fabbricabioenergia.it)

Ringraziamenti



parte della ricerca svolta grazie a progetto **CITYWISENET**
finanziato da Regione Lombardia (www.citywisenet.it)

Grazie a: Lucia Magno, Viola Corbellini, Ottavia Burzi, Nadia Margariti