



POLITECNICO
MILANO 1863



Innovazioni tecnologiche per il recupero di energia e risorse da reflui dell'agroindustria

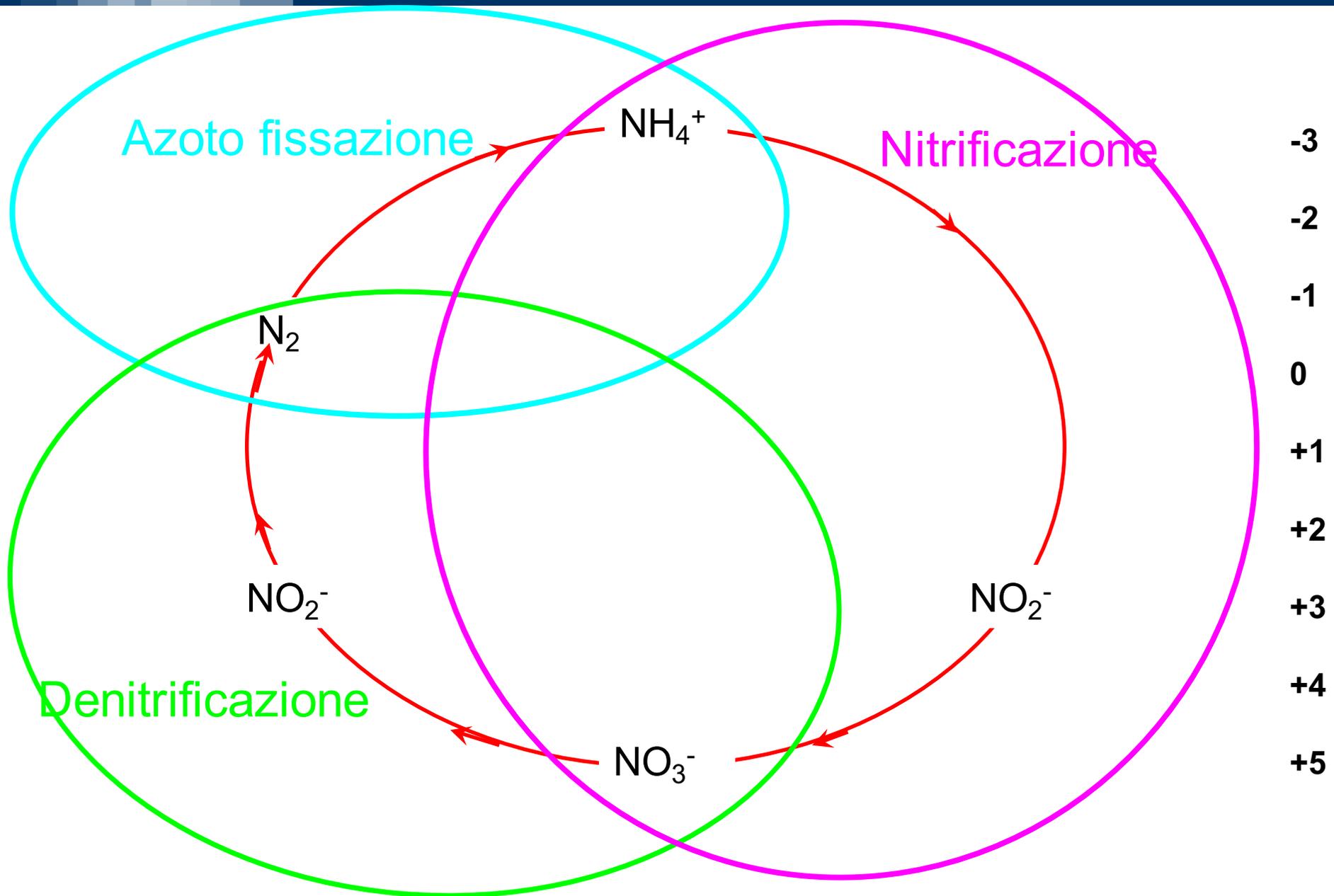
5 Ottobre 2015

Anammox e industria alimentare: lo stato dell'arte

Davide Scaglione e Tommaso Lotti

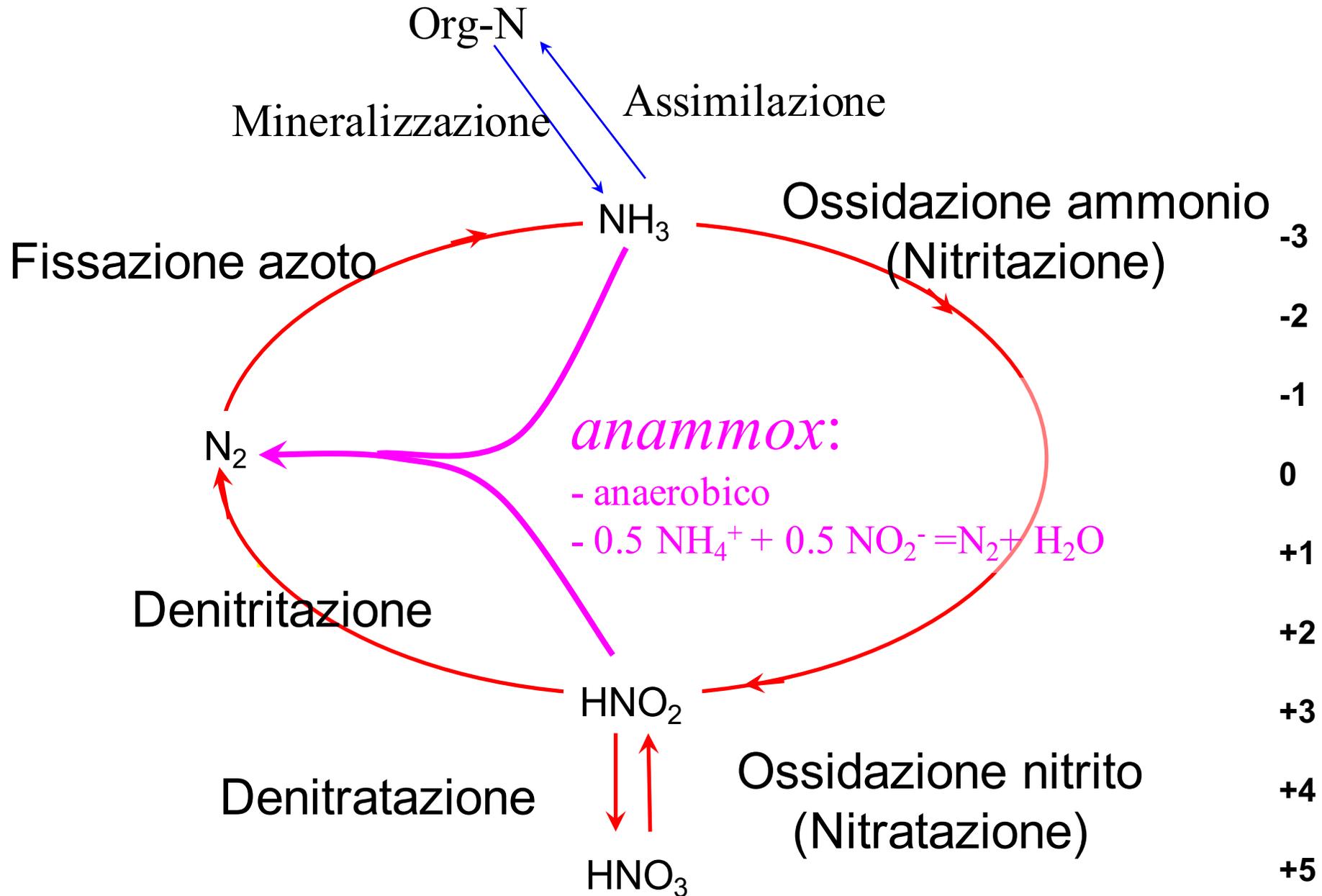


Il ciclo convenzionale dell' azoto





Il nuovo ciclo dell' azoto

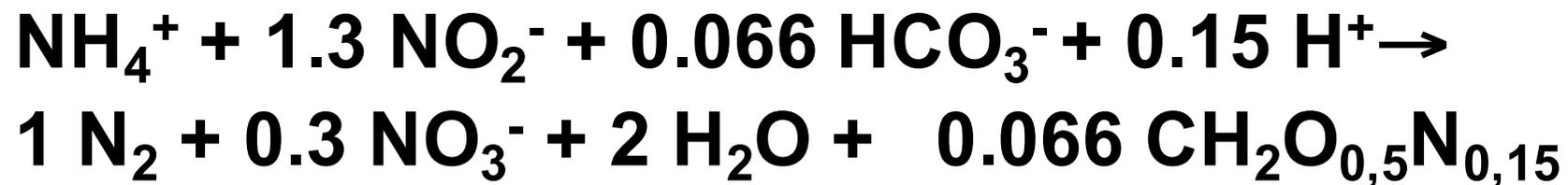




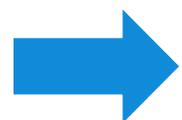
Stechiometria di reazione del processo anammox

Catabolismo: $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

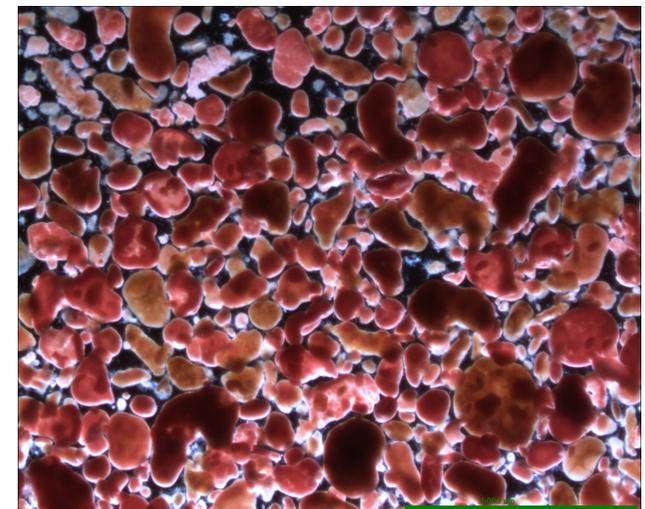
Anabolismo: $\text{CO}_2 + 2 \text{NO}_2^- \rightarrow \text{Biomassa} + 2 \text{NO}_3^-$



- l'ossidazione del nitrito a nitrato e' accoppiata con la fissazione del carbonio



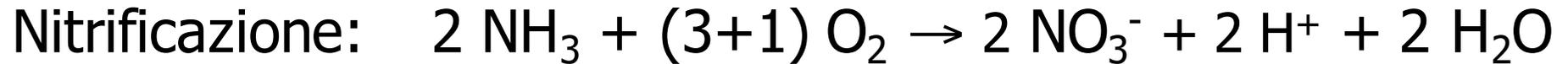
Produzione di Nitrato
indica crescita cellulare





Confronto convenzionale vs innovativo

RIMOZIONE CONVENZIONALE DELL'AMMONIO



RIMOZIONE AUTOTROFA DELL'AMMONIO





€ Costi €

Mancati guadagni

RIMOZIONE CONVENZIONALE DELL'AMMONIO

Nitrificazione: $2 \text{NH}_3 + (3+1) \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$

Denitrificazione: $2 \text{NO}_3^- + 8\text{g COD} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{g FANGO}$



RIMOZIONE AUTOTROFA DELL'AMMONIO

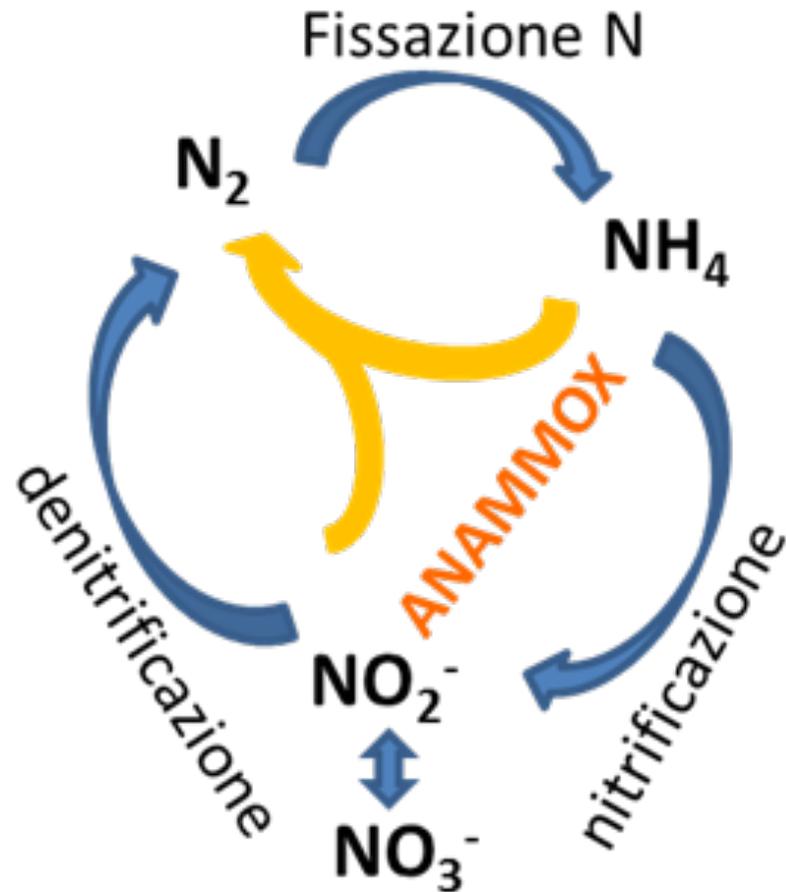
Nitritation: $\text{NH}_3 + 1.5 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

Anammox: $\text{NO}_2^- + \text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$





Confronto convenzionale vs innovativo



PROs:

Meno Ossigeno → meno energia

No consumo BOD → piu' Biogas

Autotrofo → meno fango di supero

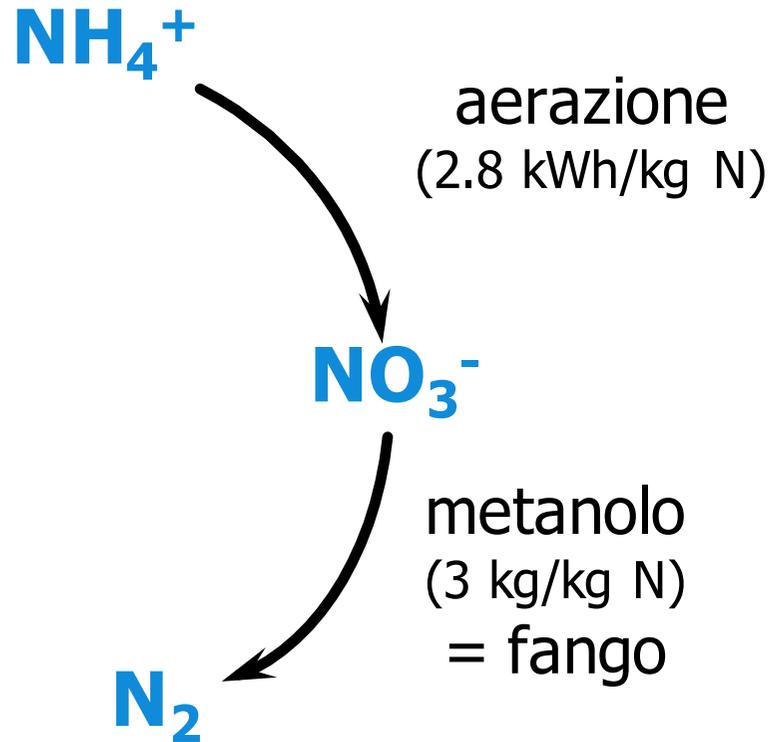
CONs:

- Necessita' di fermare la nitrificazione a nitrito (NO_2^-)
 - Batteri a crescita lenta (circa 10 volte minore degli eterotrofi)
- Necessita' di sistemi efficienti di ritenzione della biomassa



Confronto convenzionale vs innovativo

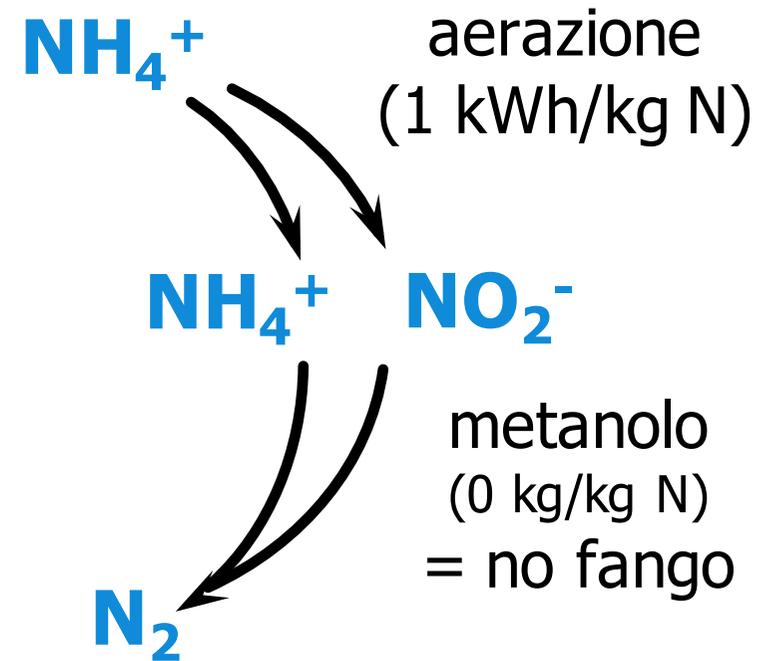
Nitrificazione/ Denitrificazione



3-5 €/kg N

>4.7 ton CO₂/ton N

Nitritazione/ Anammox

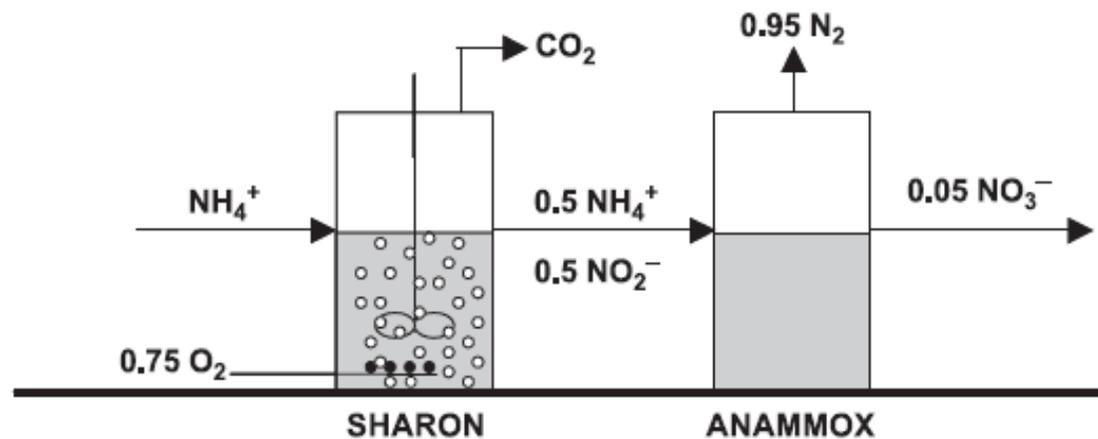


1-3 €/kg N

0.7 ton CO₂/ton N



Combinazione di PARNIT e ANAMMOX

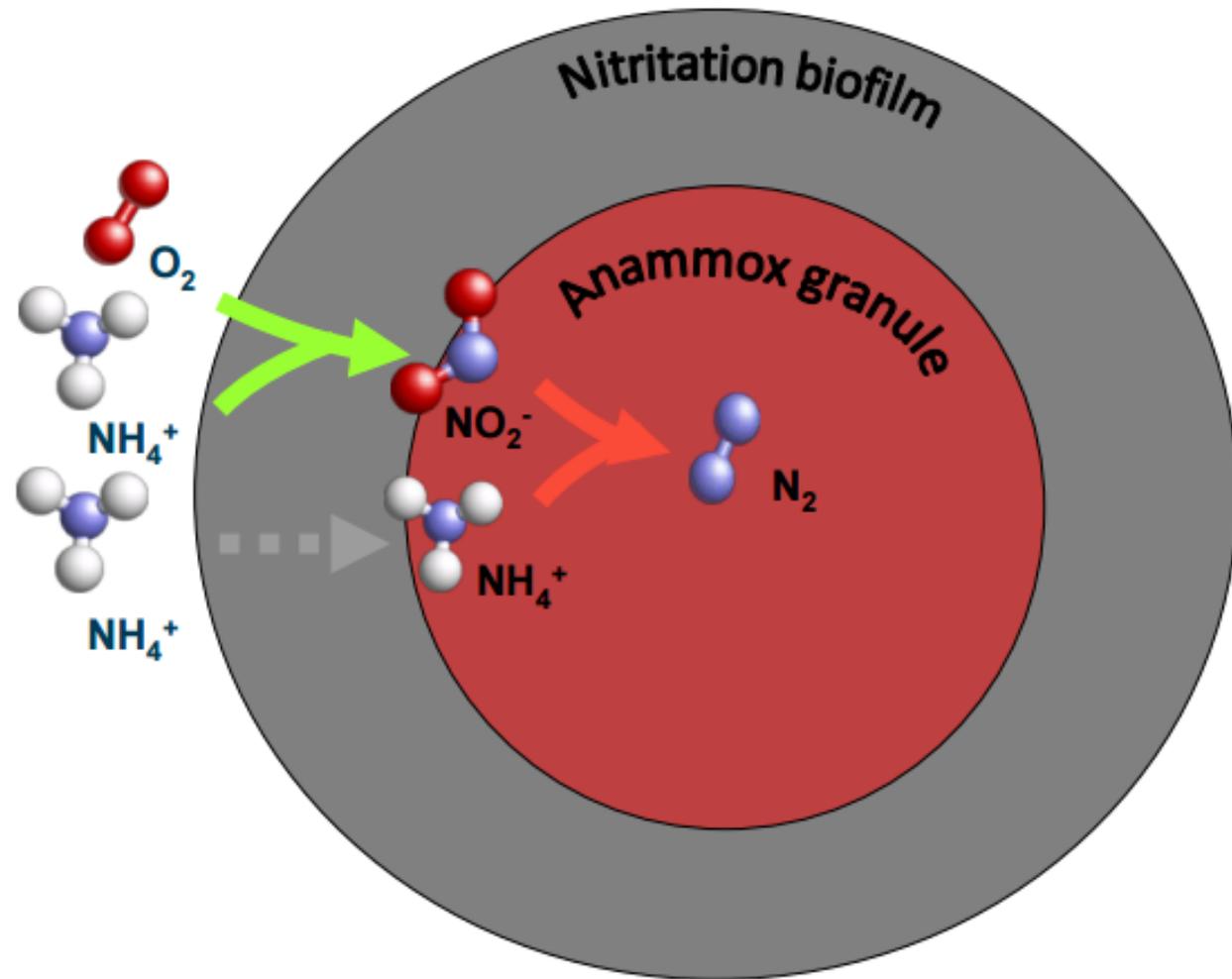


- Primo stadio: PARNIT per l'ossidazione a nitrito della metà del ammonio in ingresso
- Secondo stadio: ANAMMOX per l'ossidazione autotrofa dell'ammonio con il nitrito



Integrazione PN/Anammox in un unico sistema

Nitrificanti e anammox convivono nello stesso aggregato batterico (granuli o biofilm)





RIMOZIONE DELL'AZOTO A VALLE DI DIGESTIONE ANAEROBICA (**surnatanti di digestati civili e industriali**)

CARATTERISTICHE:

ALTE concentrazioni → Reattori COMPATTI
ALTE temperature → BREVI SRT

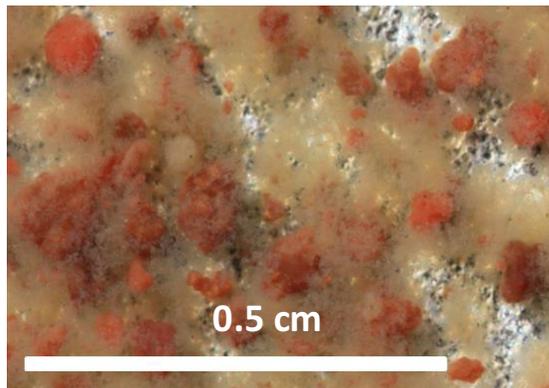
POTENZIALITA':

→ Rimuovere Azoto dalla linea fanghi in sistemi compatti riducendo il carico della linea acque e quindi **migliorare la qualità dell'effluente finale**



Diverse tecnologie per l'implementazione in piena scala

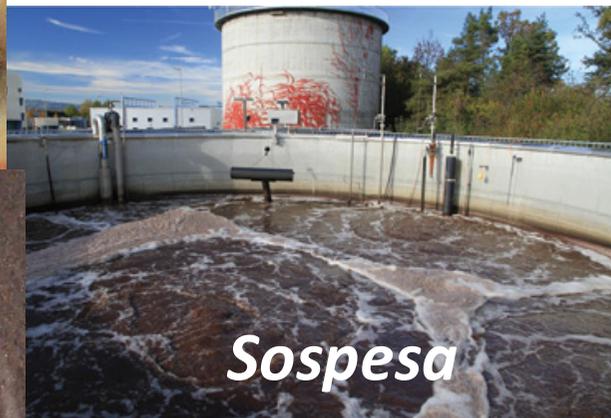
- Biomassa ibrida Flocchi/mini-granuli (Austria, Bernard Wett)
- SBR con biomassa fioccosa (Svizzera, EAWAG; Cleargreen, Degremont)
- biomassa adesa MBBR (AnitaMOX, Veolia; DeAmmon, Purac)
- Granulari (Netherlands/China, Paques)



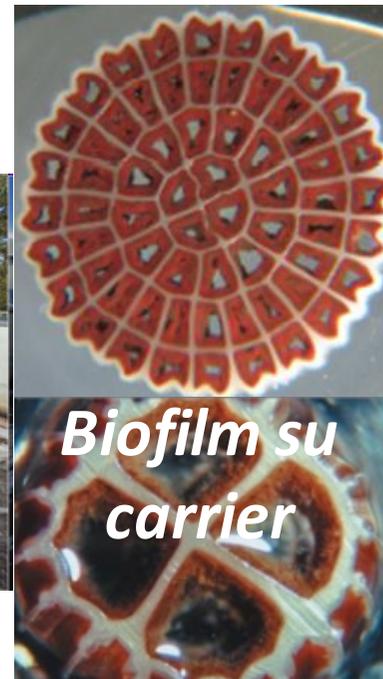
Ibrida



0.5 cm



Sospesa



Biofilm su carrier

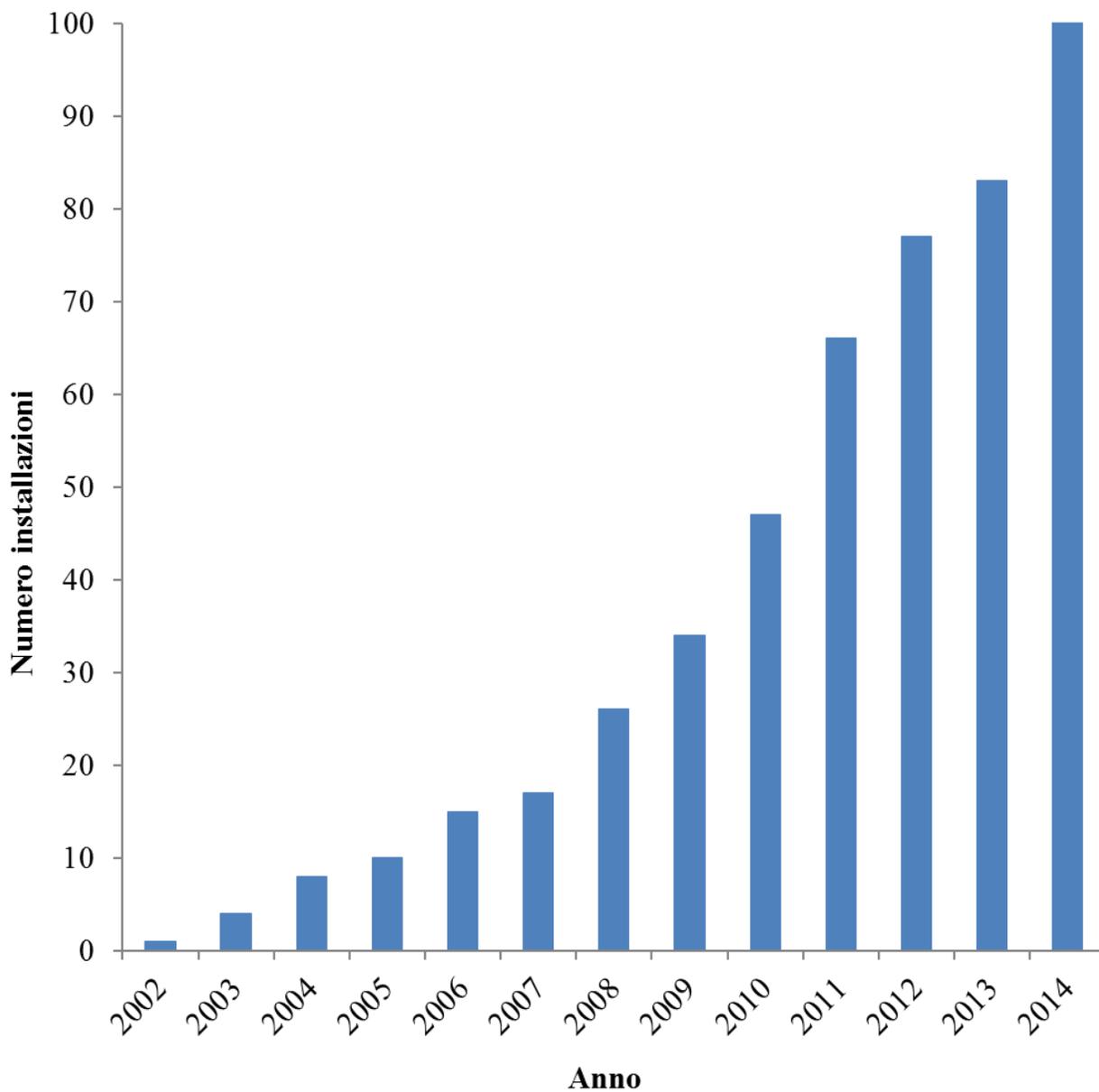


Granulare

2 cm

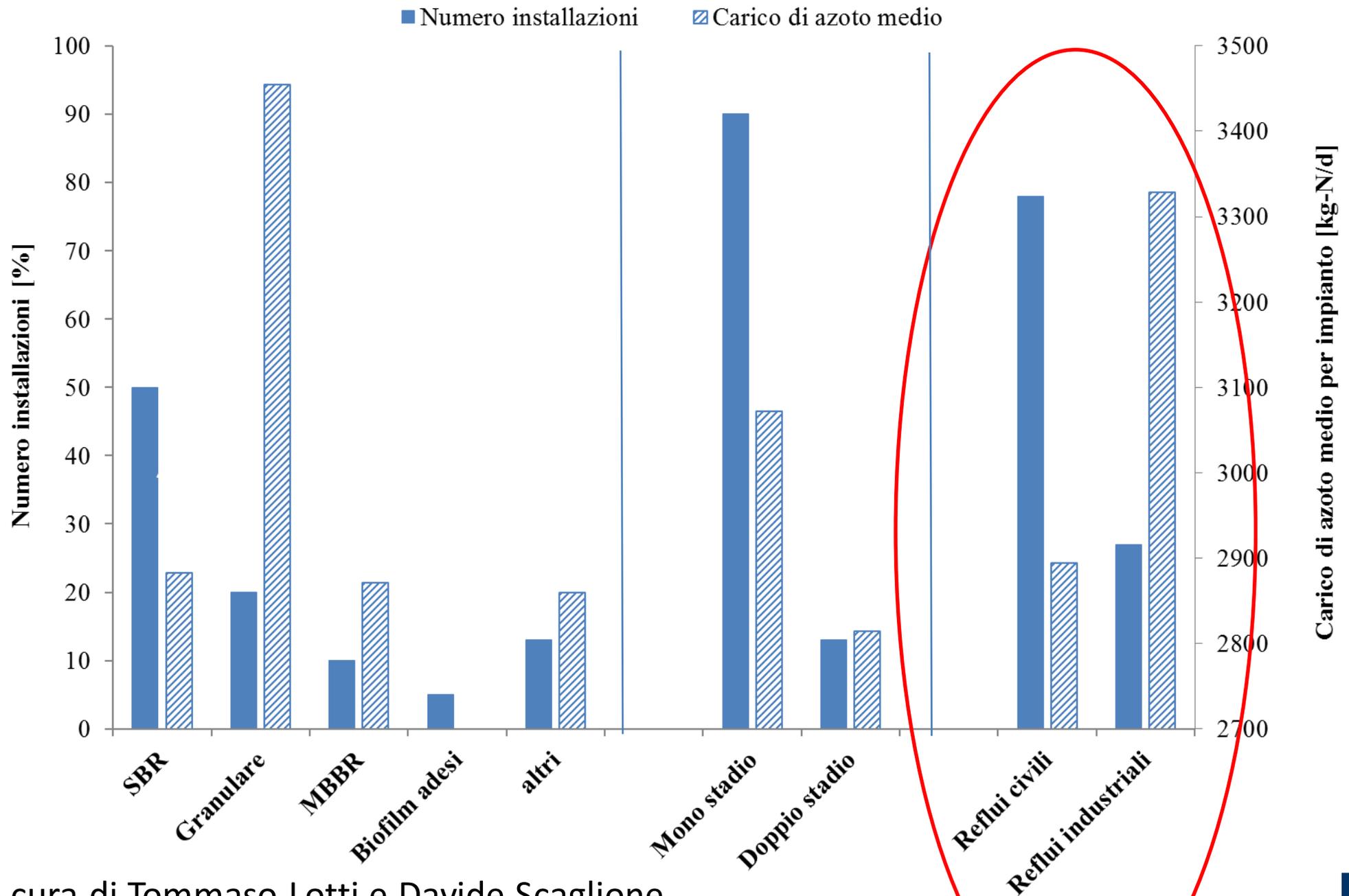


Numero impianti in piena scala





Tipologie e carichi trattati impianti in piena scala





Impianti esistenti su reflui agro-industriali

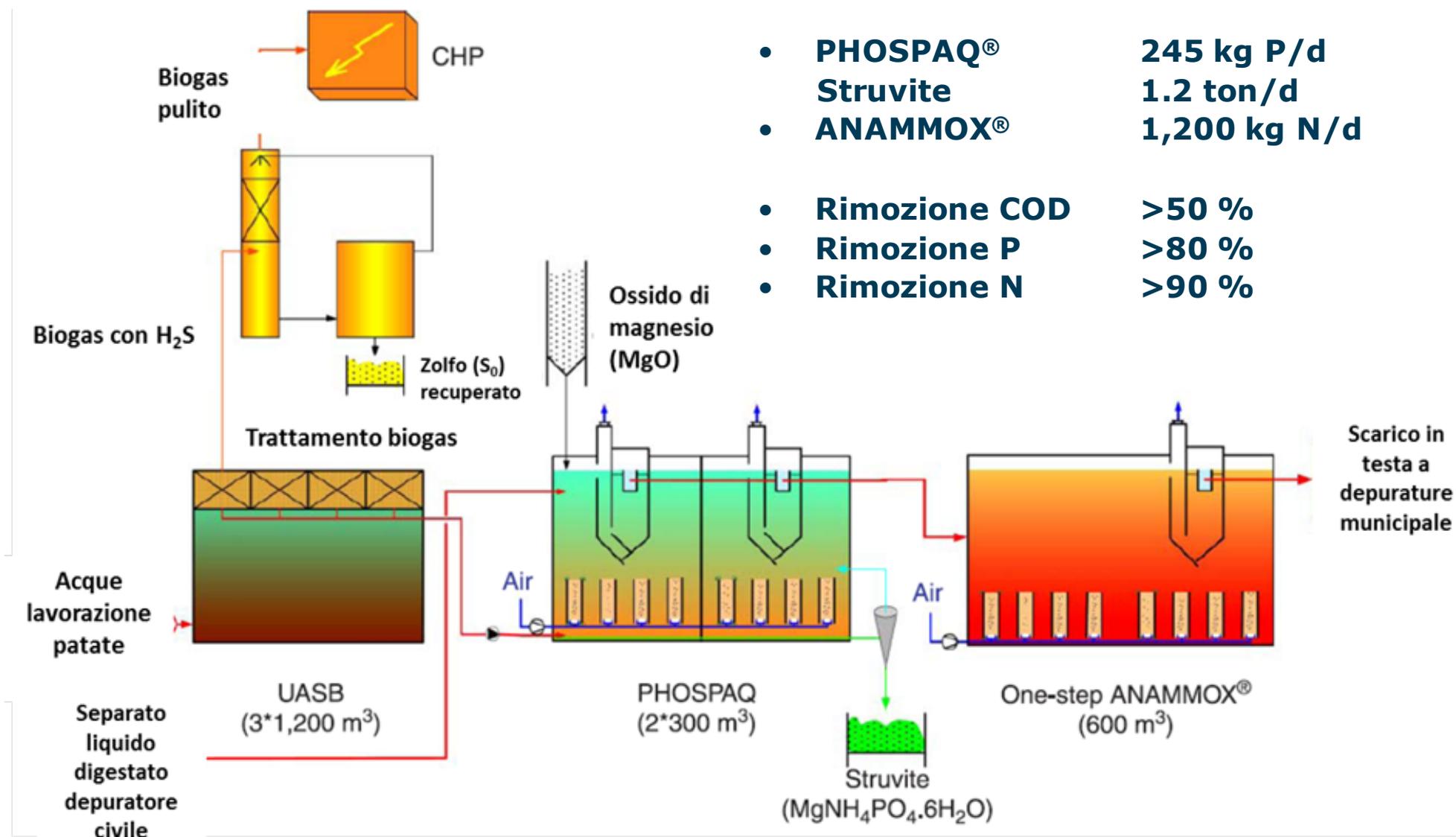
Origine refluo (tipo industria)	Paese	Carico di progetto (kgN/giorno)	Tipologia impianto	Anno di avviamento
Lavorazione patate	Olanda	1200	Granulare	2006
Glutammato	Cina	11.000	Granulare	2009
Lieviti	Cina	1000	Granulare	2009
Glutammato	Cina	9.000	Granulare	2010
Amminoacidi	Cina	10.000	Granulare	2011
Dolcificanti	Cina	2000	Granulare	2011
Amido	Cina	7000	Granulare	2011
Distilleria	Polonia	900	Granulare	2011
Vinicola	Cina	500	Granulare	2012
Rendering (scarti macello)	Olanda	6000	Granulare	2012
Vinicola	Cina	1100	Granulare	2012
Amminoacidi	Cina	11.500	Granulare	2012
Vinicola	Cina	500	Granulare	2013
Dolciario	Polonia	340	MBBR	2015
Amido	Germania	300	MBBR	2015



Caso di studio: reflui di lavorazione delle patate (Olburgen, NL)

Anno avviamento 2006

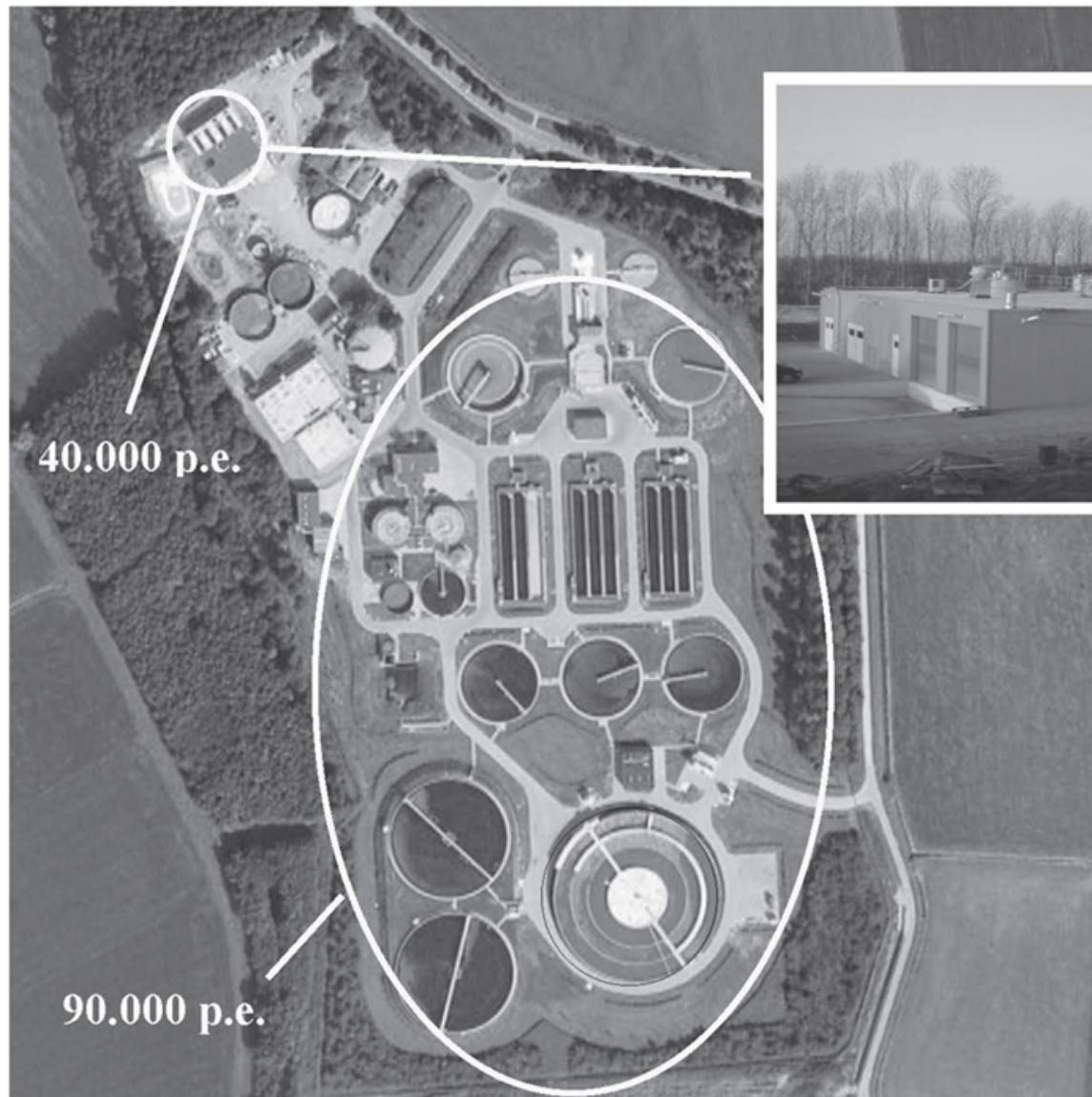
- **PHOSPAQ®** 245 kg P/d
 - **Struvite** 1.2 ton/d
 - **ANAMMOX®** 1,200 kg N/d
-
- **Rimozione COD** >50 %
 - **Rimozione P** >80 %
 - **Rimozione N** >90 %



Fonte Abma et al. 2010



Caso di studio: reflui di lavorazione delle patate (Olburgen, NL)



Risparmiata 85%
superficie rispetto a
impianto
convenzionale

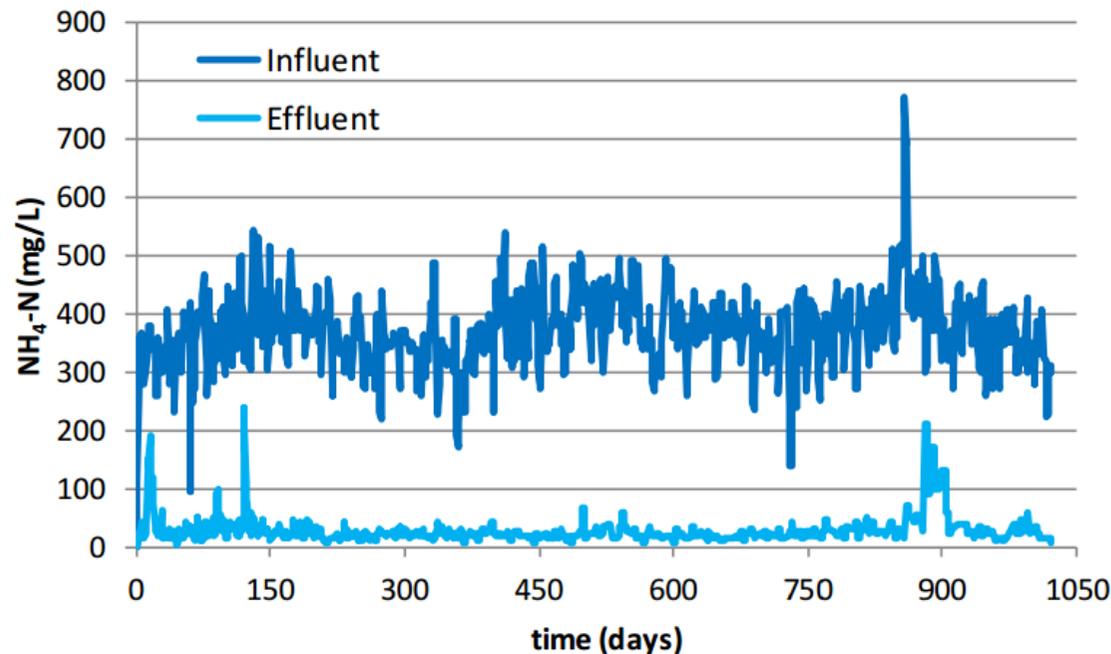
Ratei rimozione fino
a **2.5 kgN/mc/d**



Caso di studio: reflui di lavorazione delle patate (Olburgen, NL)



NH₄-N concentrations



Parametro	Ingresso (kg d ⁻¹)	Uscita (kg d ⁻¹)	Efficienza di rimozione (%)
Ammonio (NH₄-N)	714	67	91
Fosforo (P)	196	47	76
COD	1635	717	56

Ultimi 5 anni
Carico N variabile
300-1500 kgN/d

N rimosso: 92%
N-NH4 OUT: 28 mgN/L



Caso di studio: produzione glutammato (Cina)

Avviamento
2009

MEI HUA Group
Produzione Glutammato
Cina
11,000 kg N/giorno
70,000 kg COD/giorno
>20,000 m³ biogas/giorno

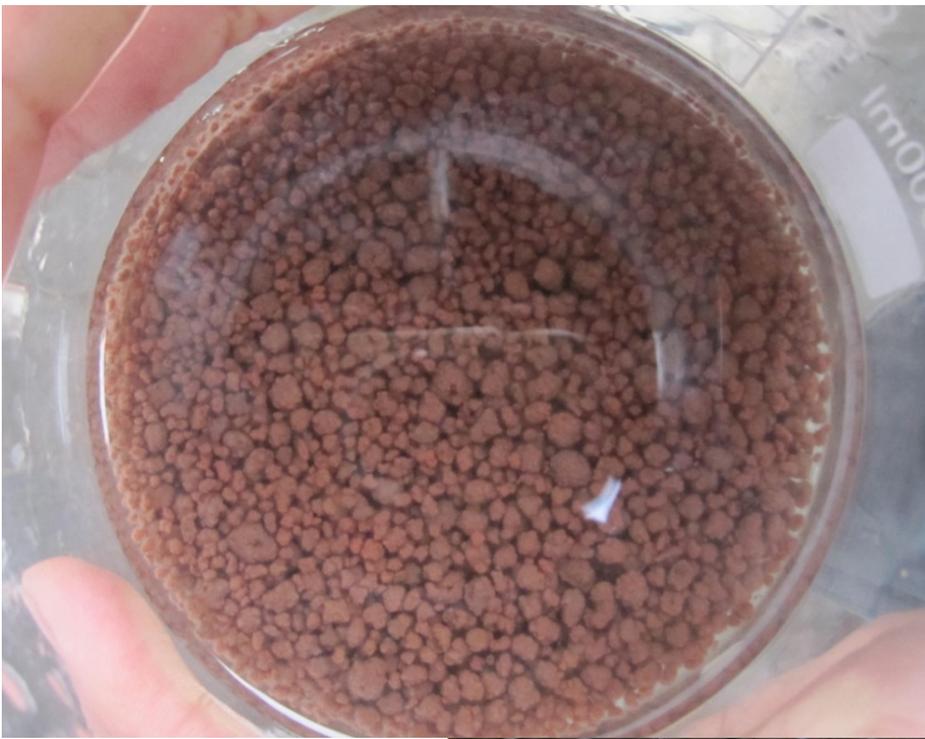
Reattore IC

Anammox



Fonte Paques

Recente start-up in Cina



Volume:
6700 m³

Carico:
1.7 kgN/m³.giorno

Tempo di startup:
1 mese
(conversione N>90%)



Fonte Paques



Caso di studio: produzione lieviti (Cina)

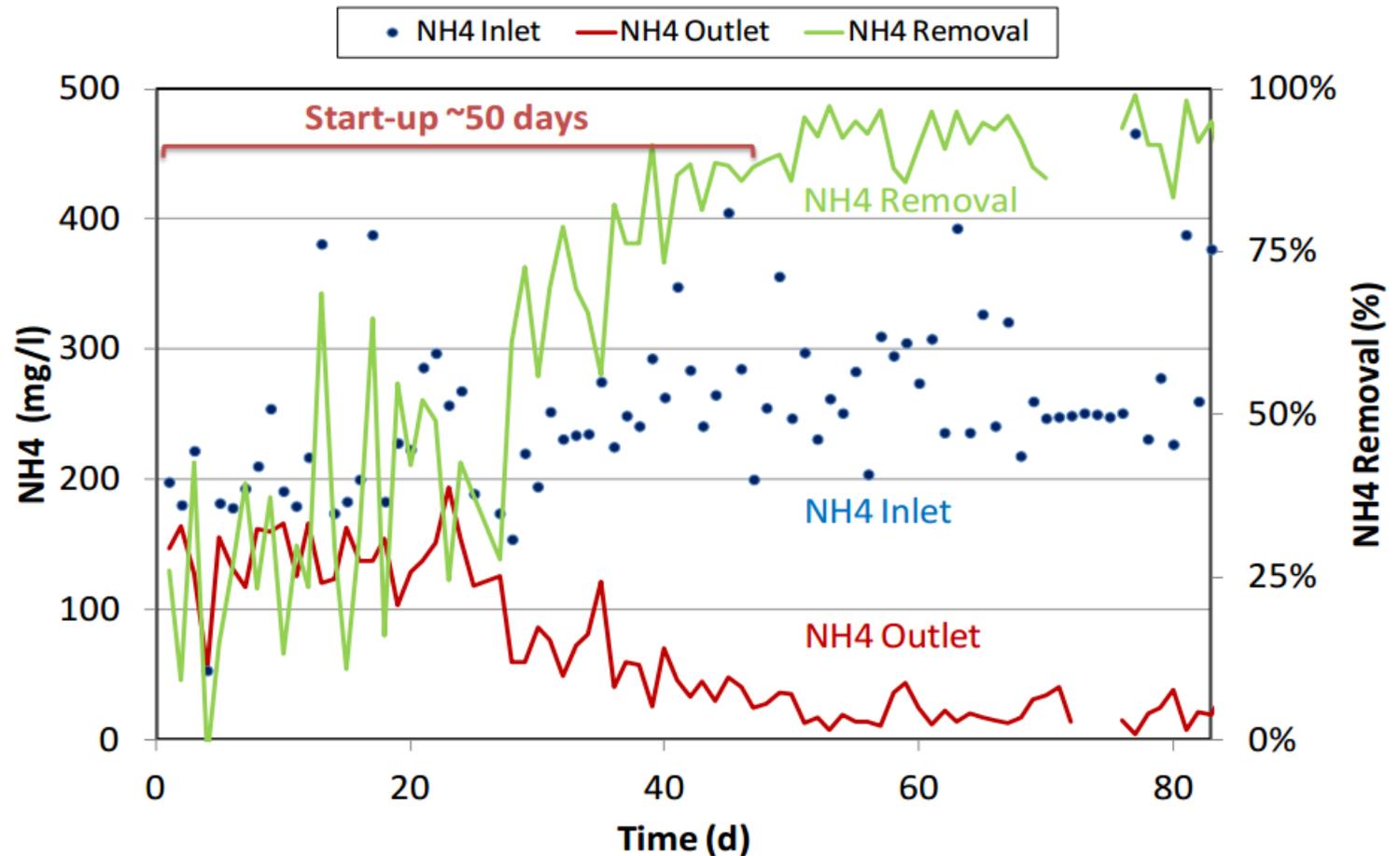
Avviamento 2009

Volume reattore:
1230 m³

Portata trattata:
2500 m³/d

rimozione N:
930 kg/d

Tempo di startup:
50 giorni



Driessen et al. 2012



Futuro prossimo: Nuovi campi di applicazione

- **Reflui industriali con elevata salinità' (lavorazione del pesce)**
Universita' di Santiago di Compostela (Spagna) – *Dapena-mora et al. (2006)*
- **Percolato di discarica**
Universita' di Girona (LEQUIA-UdG, Spagna) - *Ganigue et al. 2009, Rusalleda et al. 2008*
- **Digestati da FORSU e origine agro-zootecnica**
Politecnico Milano (Italia)
DICA – Fabbrica della Bioenergia – *Scaglione et al. 2015*
- **Linea acque di impianti di depurazione civili**
TU-Delft (Paesi Bassi) – *Lotti et. al 2015*

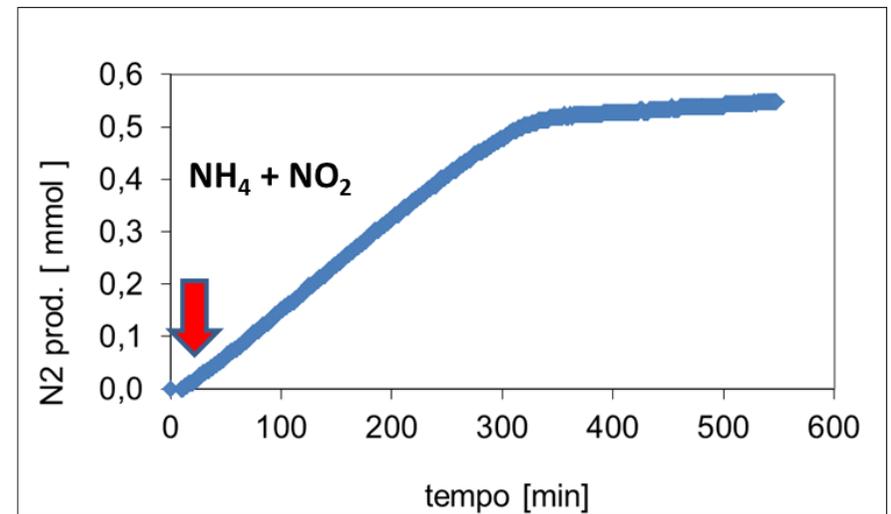


Prove di trattabilità anammox di vari reflui industriali

Prove batch di attività in doppio con misura manometrica del N₂ prodotto:

- Volume totale 330 mL
- **pH 7.5** (buffer HEPES)
- Condizioni anossiche
- Incubatore Termostato (**35 °C**)
- Agitazione con piastra basculante
- Inoculo: **biomassa granulare anammox**

Misura della variazione della pressione interna mediante il trasduttore di pressione *automatico*



Con set di prove di 1 settimana si ottengono:

- l'attività massima specifica;
- la percentuale di inibizione rispetto al bianco (anammox + soluzione sintetica)
- la resa di conversione

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



In corso prove su acque reflue di stampa tessile digitale



Take home message...

- ✓ I sistemi anammox sono una **Tecnologia matura** (stato dell'arte)
- ✓ Efficienze di **rimozione N oltre il 90%** con concentrazioni ammonio in uscita variabili nel range 20-200 mgN/L in funzione di refluo in ingresso e tecnologia
- ✓ Diversi fornitori – **Diverse Tecnologie**
- ✓ Applicato su un' **ampia gamma di reflui industriali ed in particolare dell'industria alimentare (a valle di digestione anaerobica)**
- ✓ **Nuovi campi di applicazione** attualmente in fase di sperimentazione avanzata/applicazione a scala pilota



POLITECNICO
DI MILANO

Davide Scaglione

Davide.scaglione@polimi.it

Dip. Ing. Civile ed
Ambientale (DICA)

*Sezione
Ambientale*



Per approfondimenti:

- Lotti T., Scaglione D., Teli A., Canziani R., Ficara E., Malpei F.
Rimozione completamente autotrofa dell'azoto con batteri anammox:
passato, presente e futuro. Ingegneria dell'Ambiente

Rimozione dell'azoto con il processo anammox (Lotti. T. e Scaglione D.)
scaricabile gratuitamente dal sito www.fabbricabioenergia.polimi.it