



Le microalghe per la depurazione dei reflui suinicoli e dei loro digestati: efficienze depurative e valorizzazione della biomassa prodotta

Elena Ficara, Politecnico di Milano



Le microalghe per la depurazione dei reflui suinicoli e dei loro digestati: efficienze depurative e valorizzazione della biomassa prodotta

Elena Ficara, Politecnico di Milano

Co-autori:

Andrea Pizzera
Micol Bellucci
Simone Rossi
Francesca Casagli

Valeria Mezzanotte
Francesca Marazzi

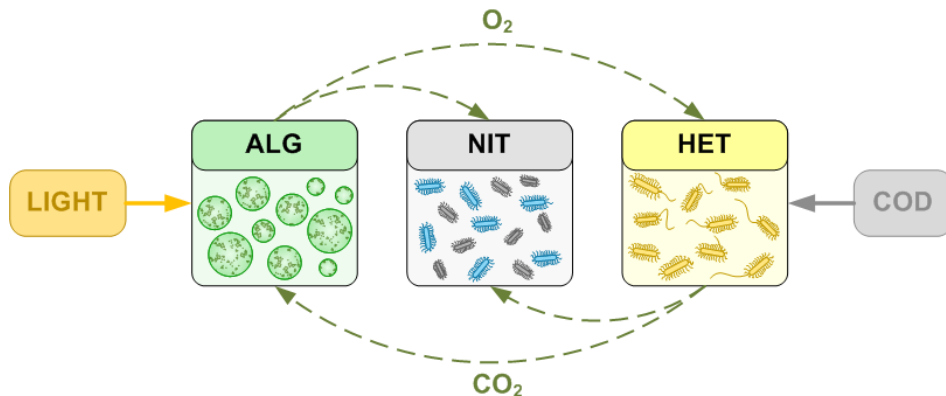
Katia Parati
Federico Castillo Cascino
Luciano Foglio
Lorenzo Proietti





Vantaggi impiego delle microalghe nella per la depurazione biologica dei reflui:

- Basso costo energetico
- Sviluppo consorzio alghe/batteri (comportamenti sinergici)
- Rimozione sostanza organica e dei nutrienti
- *e altri effetti..*



Esempio trattamento reflui urbani

Vantaggi integrazione in impianti a biogas

- Presenza di flussi ricchi di N e P (separato liquido del digestato)
- Presenza di cascami termici
- Presenza di flussi gassosi ricchi di CO₂
- Presenza di attrezzature/impianti sfruttabili in sinergia (es: separatore S/L)

Aspetti critici:

- Inibizione da NH₃
- Strippaggio NH₃
- Interazione alghe/batteri
- Produttività
- Stabilità di processo



Attività sperimentale del Polo delle Microalghe

La sperimentazione

2 fermentatori
+ 2 post
fermentatori

$V = 9000 \text{ m}^3$
HRT ≈ 55 giorni
 $T = 42^\circ\text{C}$
1 MWel



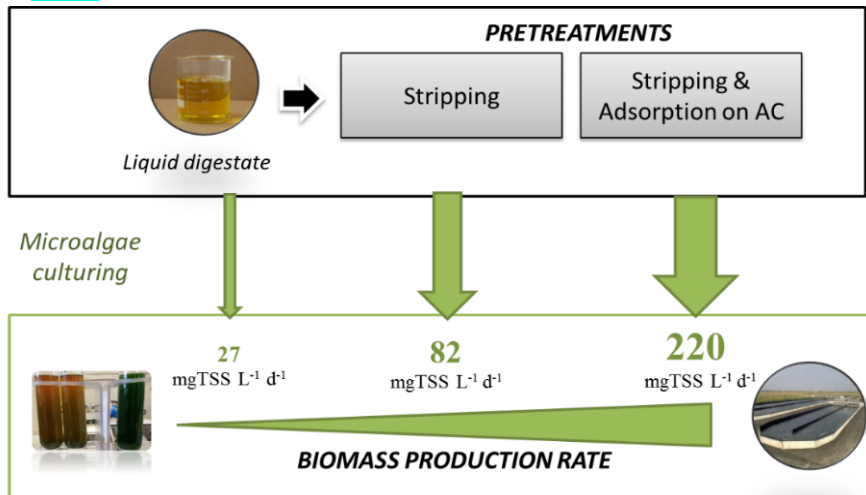
Le prime prove, scala lab

MM: Prove in semicontinuo con replicati

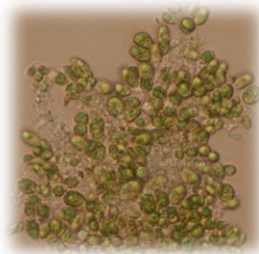
Risultati

W1: **Produttività:** 350 mgSS/L/d (*Tempo di ritenzione idraulica: 9 → 5 g*)
Ottima **rimozione** di N, P, COD (60-90%)

W2: **Produttività:**



- Rimozione N-NH₄ > 97%
- Rimozione COD > 80%
- Nitrificazione

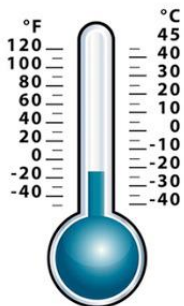
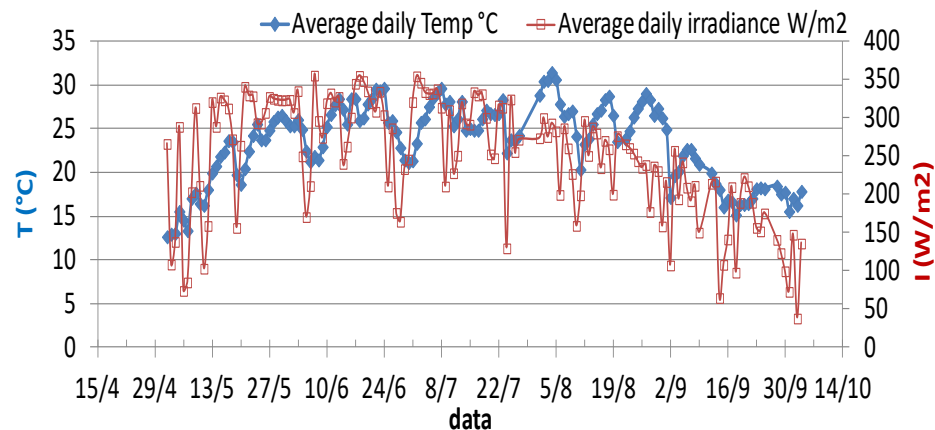


Consorzio algale misto:
Scenedesmus spp.
Chlorella spp.

Raceway

- $A = 3,8 \text{ m}^2$ ($h = 10\text{-}25 \text{ cm}$),
- Controllo pH con CO_2
- Pompa per alimentazione, scarico in discontinuo (2 volte a settimana)
- Centrifuga 3000 rpm



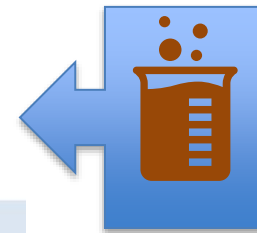
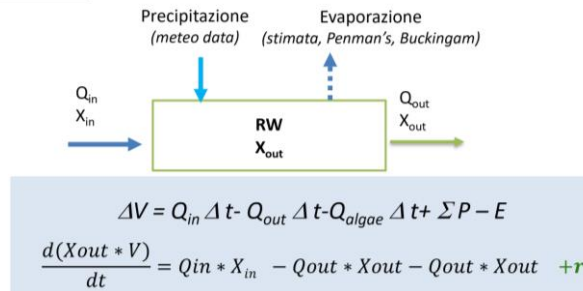


Campagna outdoor:
Clima temperato → subottimale

Monitoraggio mediante determinazione:

- Forme dell'N e del P
- Sostanza organica (COD)
- Parametri di crescita algale (OD, torbidità, TSS, conte algali)

Bilanci di materia:

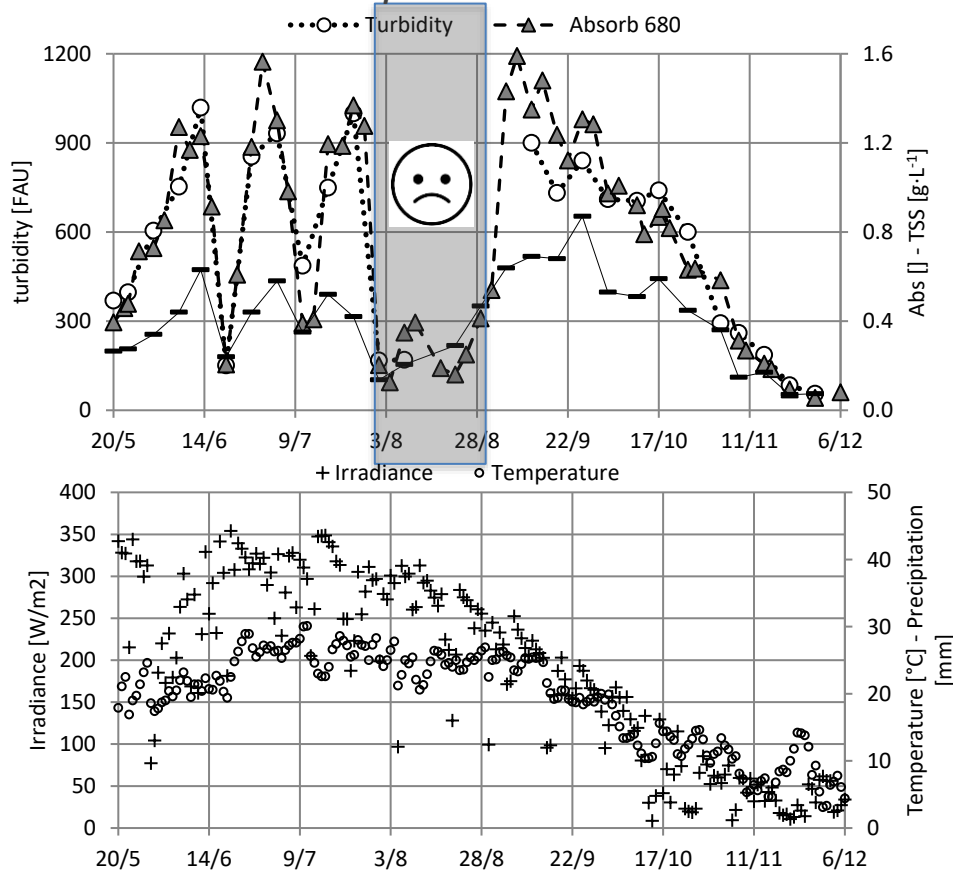


Campagne sperimentali:

- 2016: **W2**: Digestato diluito (1:5 → 1:3)
- 2017: **W1**: Refluo suinicolo
- 2018: **W2 tq**: Digestato tal quale

Biomassa

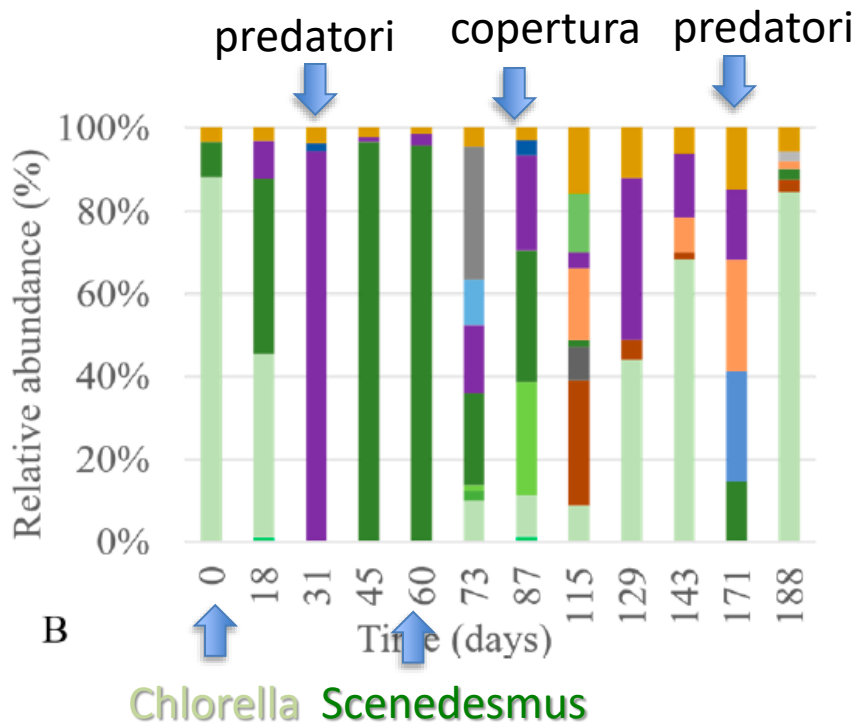
copertura



- Produzione microalghe variabile
- Correlazione con irradianza/temperatura

Produttività areale media
 = 8.2 gSS/m²/d
 = 25 tSS/ha/anno (su 9 mesi)

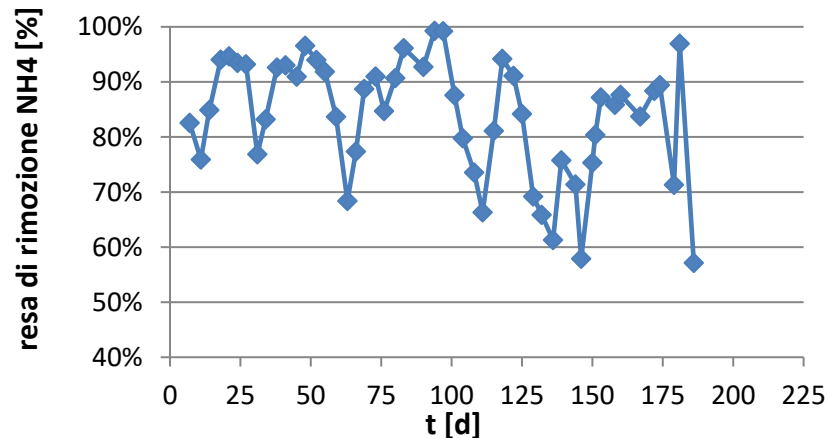
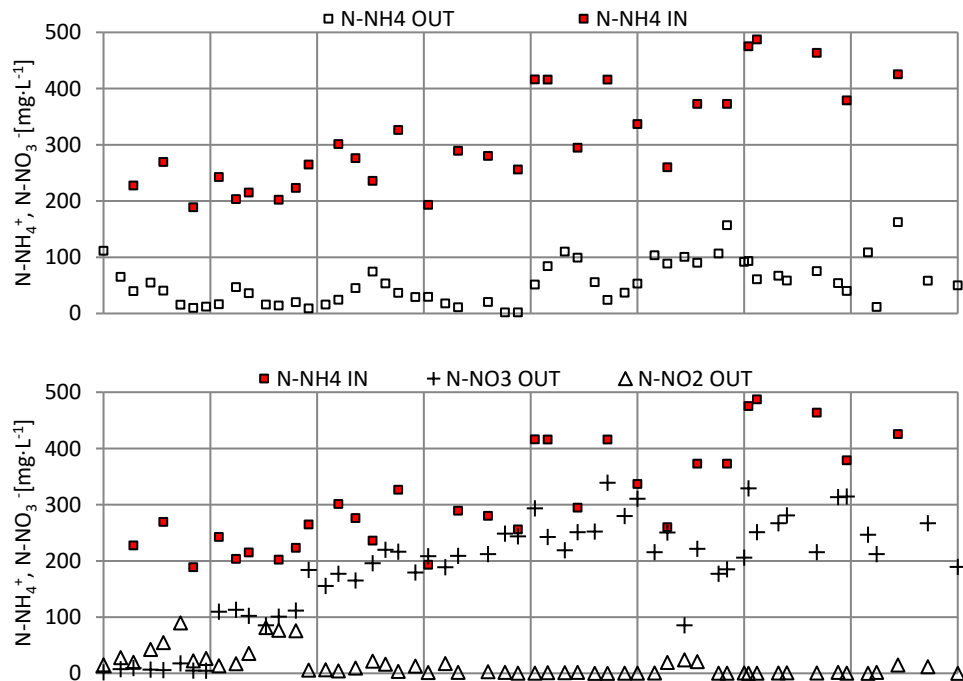
Analisi metagenomica - microalghe



Genus	Family	Phylum
Candida	Saccharomycetales_incertae_sedis	Ascomycota
Paraphysoderma	Physodermataceae	Blastocladiomycota
Chlamydomonas	Chlamydomonadaceae	Chlorophyta
Chlorella	Chlorellaceae	
Dicloster		
Micractinium		
Planktochlorella		
Dictyosphaerium	Dictyosphaerium	
Coelastrum	Scenedesmaceae	
Desmococcus		
Tetradesmus		
Cyclidium	Cyclidiidae	Ciliophora
Gastrostyla	Oxytrichidae	
Trachelophyllum	Trachelophyllidae	
Vorticella	Vorticellidae	
Loxopyllum	Litonotidae	
Eukaryota	Eukaryota	Eukaryota
Fungi	Fungi	Fungi
Sycon	Sycettidae	Porifera
Unassigned	Unassigned	Unassigned
<1%		

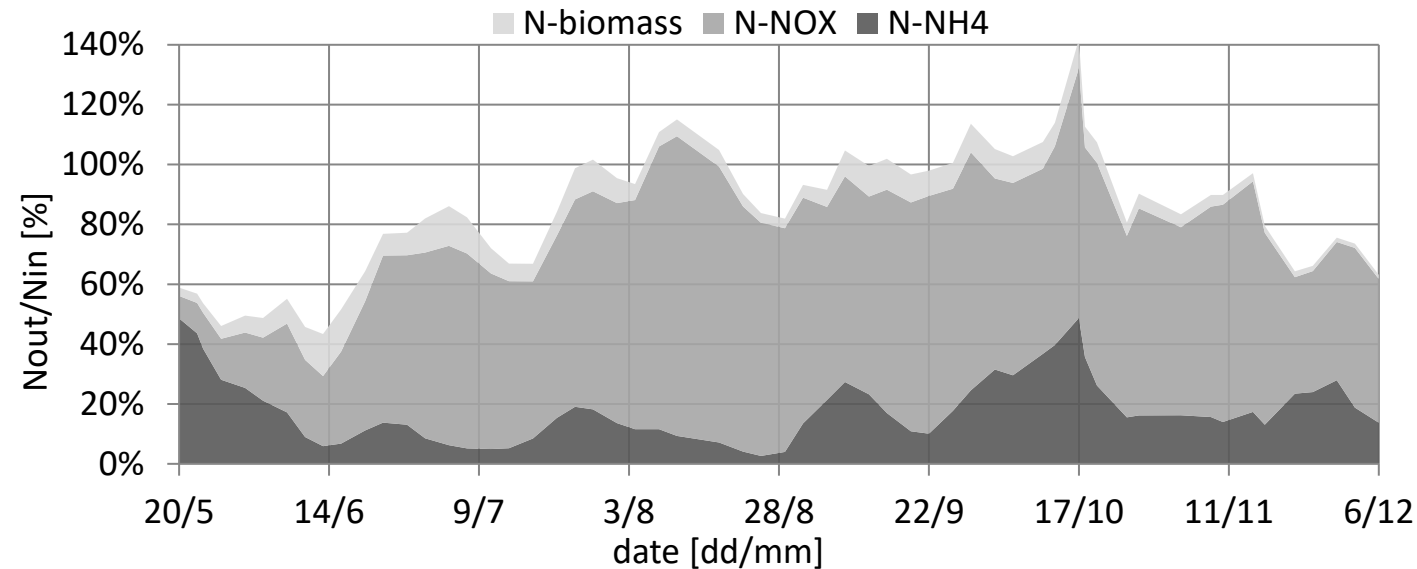
Procarioni: Batteri fotosintetici e batteri facoltativi

Conversione dell'azoto



Elevata resa di rimozione azoto ammoniacale
Forte **nitrificazione**: fino al 95%
dell'ammonio ossidato a nitrato

Conversione dell'azoto



Significativa perdita
di azoto verso
l'atmosfera: NH_3 ?
 N_2 ? N_2O ?



Monitoraggio emission di N_2O

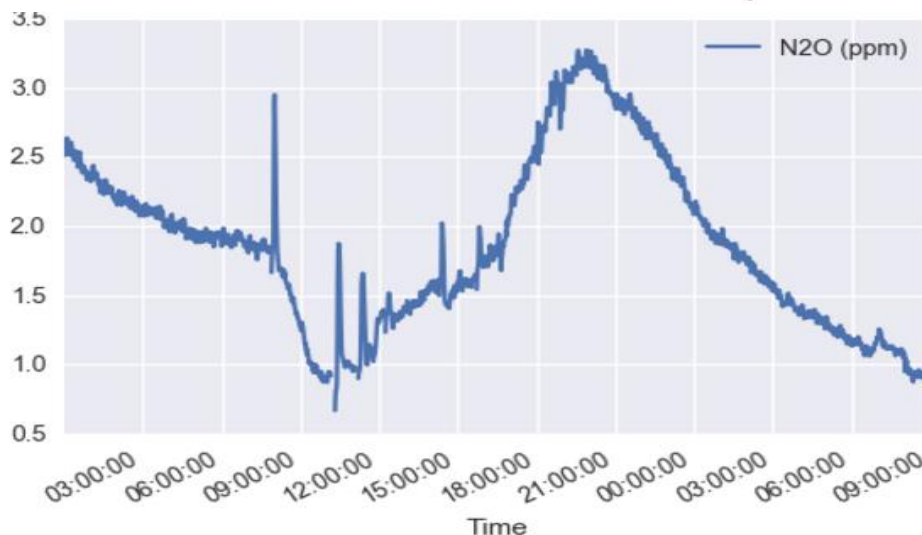
Test effettuato il 17-19/10

T: $15,8 \pm 2,1$

I: 70 W/m^2

pH: $7 \pm 0,1$

O_2 : $6,2 \pm 1,4$



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DICEA
DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA CIVILE
E AMBIENTALE

N_2O conta per 1,6% dell' NH_4 rimosso



L'ossigeno nel sistema

Digestato

N-NH₄

P-PO₄

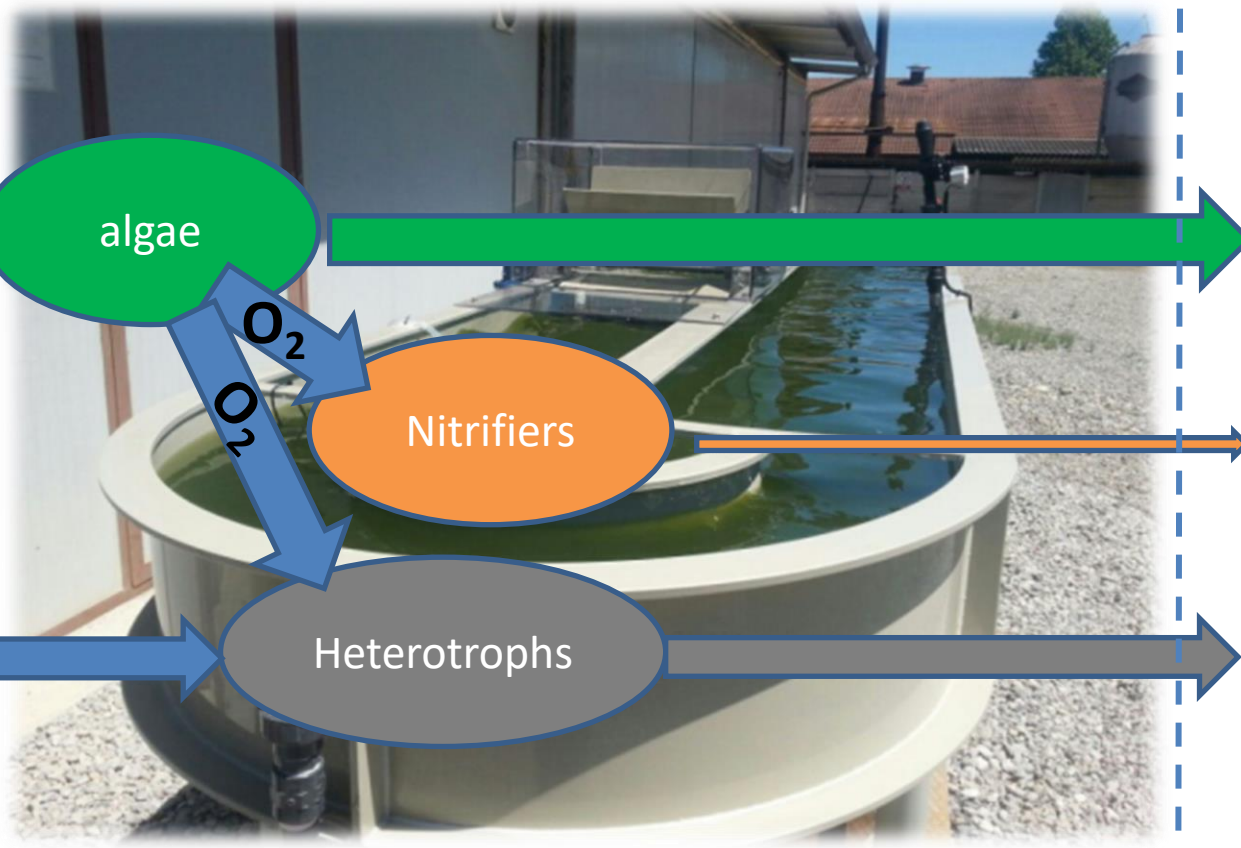
algae

O₂

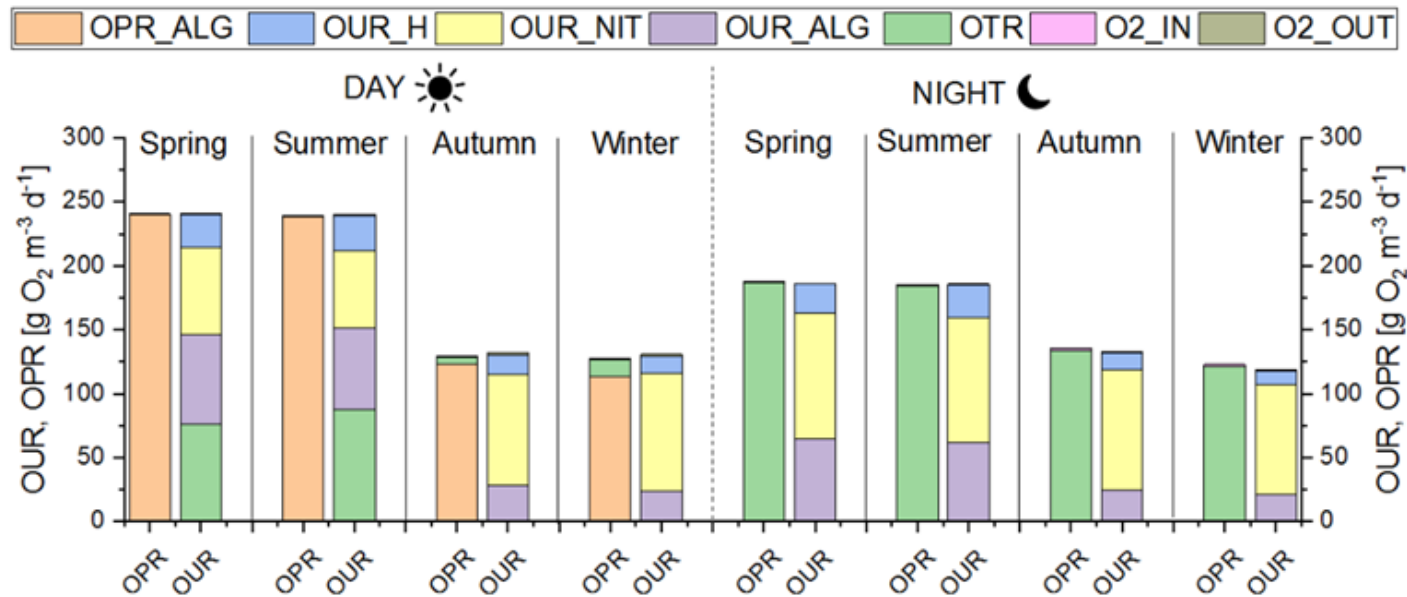
Nitrifiers

COD

Heterotrophs



L'ossigeno nel sistema – previsione modellistica dei processi che agiscono



Contents lists available at ScienceDirect

Water Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres

ENVIRONMENTAL
Science & Technology

pubs.acs.org/est



Article

ALBA: A comprehensive growth model to optimize algae-bacteria wastewater treatment in raceway ponds

Francesca Casaghi¹, Gaetano Zuccaro¹, Olivier Bernard¹, Jean-Philippe Steyer¹, Elena Ficarra^{2,*}

Balancing Microalgae and Nitrifiers for Wastewater Treatment: Can Inorganic Carbon Limitation Cause an Environmental Threat?

Francesca Casaghi, Simone Rossi, Jean Philippe Steyer, Olivier Bernard, and Elena Ficarra*

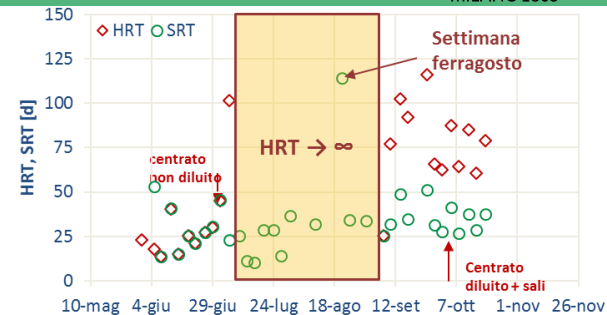
Cite This: *Environ. Sci. Technol.* 2021, 55, 3940–3955

Read Online

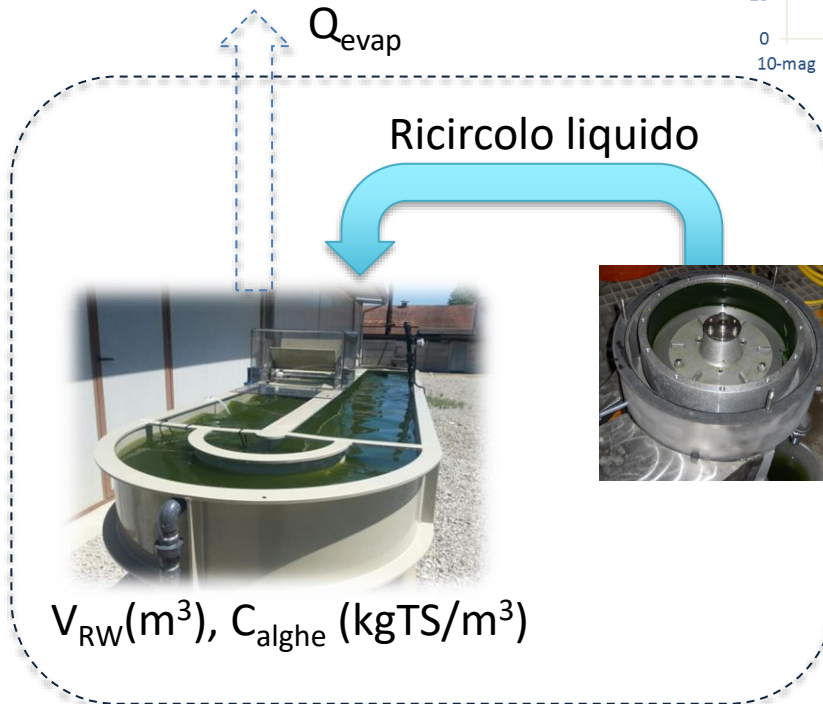
Prova con digestato tal quale

SRT: tempo di residenza delle microalghe = $V_{RW} \times C_{alghe} / Q_{alghe}$

HRT: tempo di residenza del liquido = V_{RW} / Q_{OUT}



Centrato
 $Q_{IN} (m^3/d)$



$Q_{OUT} (m^3/d)$

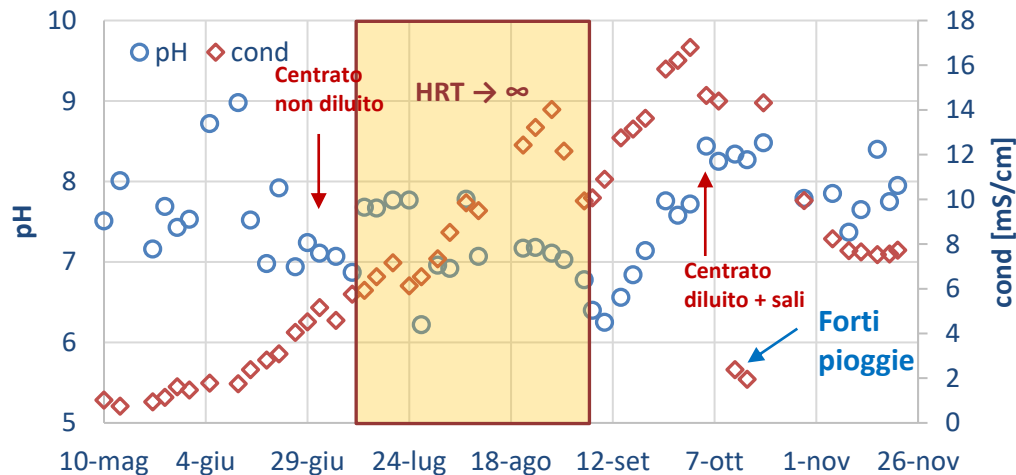


$Q_{alghe} (kgST/d)$





pH e conducibilità

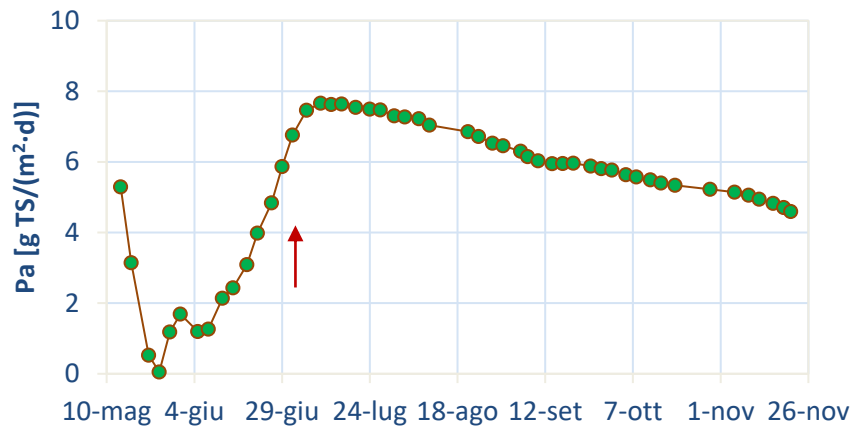
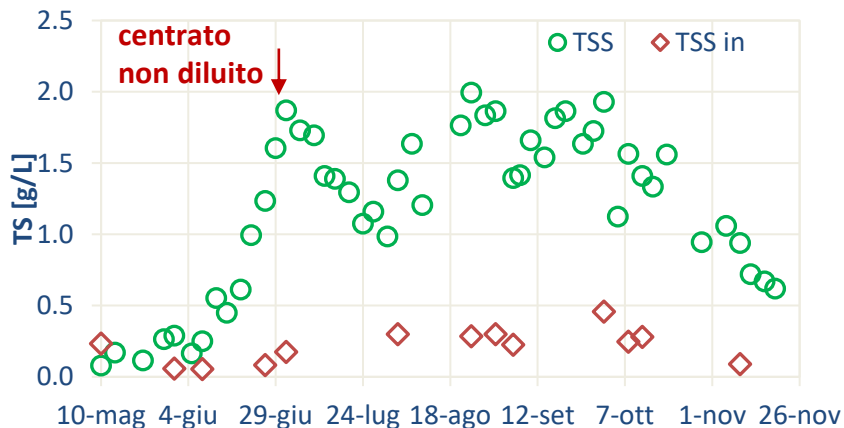


pH instabile (dosaggio CO_2 con qualche problema)

- Conducibilità molto elevata, dovuta a salinità dell'alimento 10 – 13 mS/cm e ad effetto di concentrazione
- Non sembrano esserci stati effetti negativi significativi sulla crescita microalgale

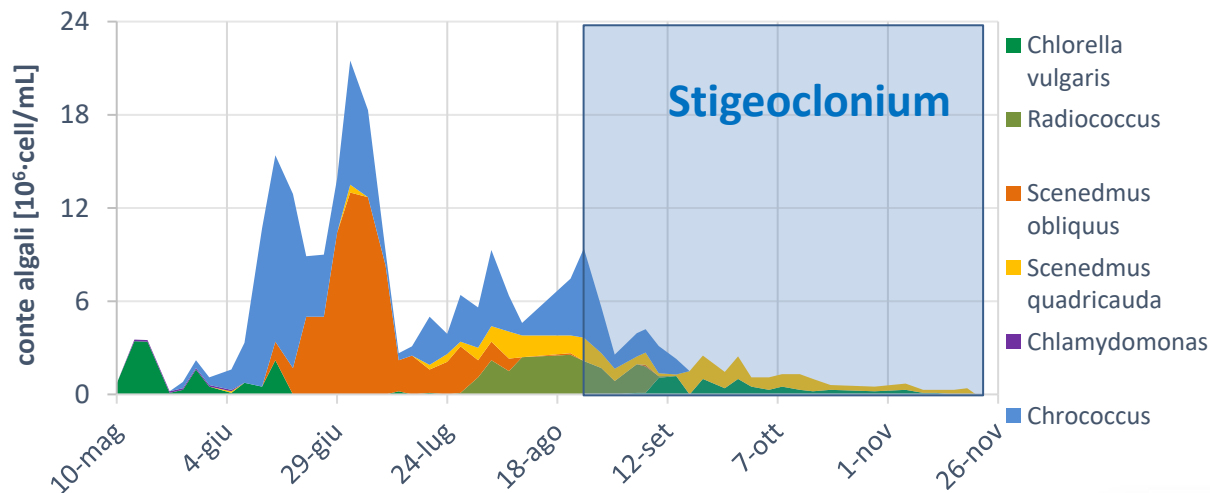


Produzione biomassa

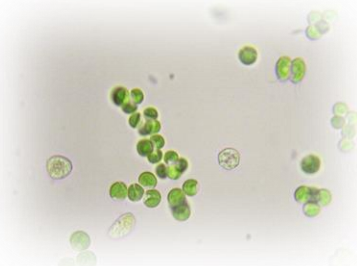
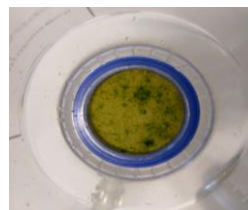


- Concentrazioni elevate, fino a 2 g_{DW}/L
- Produttività algale media: 6.2 ± 0.9 g_{TS}/(m²·d) < 8.2 ± 8.5 g_{DW}/(m²·d) nel 2016

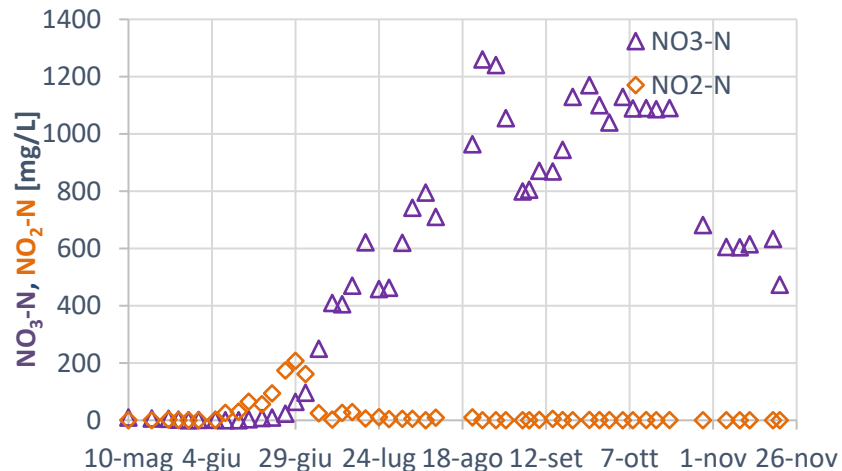
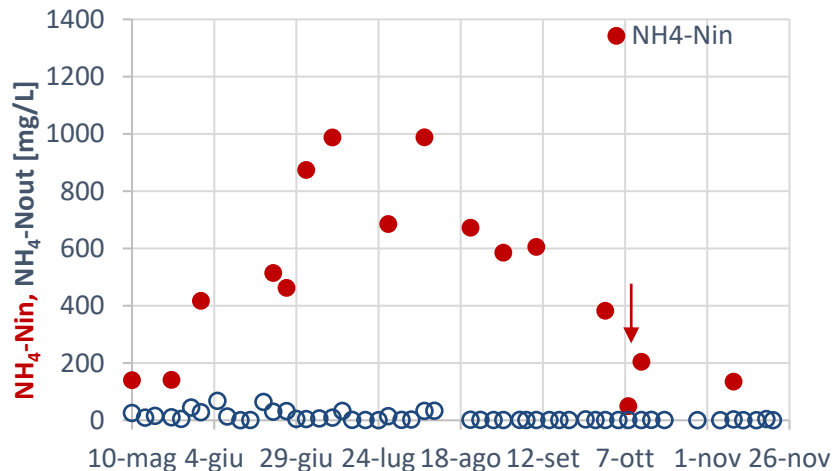
Comunità algale



- Dal 21/08 Presenza **abbondante** *Stigeoclonium*, cianobatterio filamentoso che forma fiocchi. Non quantificabile attraverso le conte.
- *Stigeoclonium* potrebbe essere stato favorito dalla salinità elevata

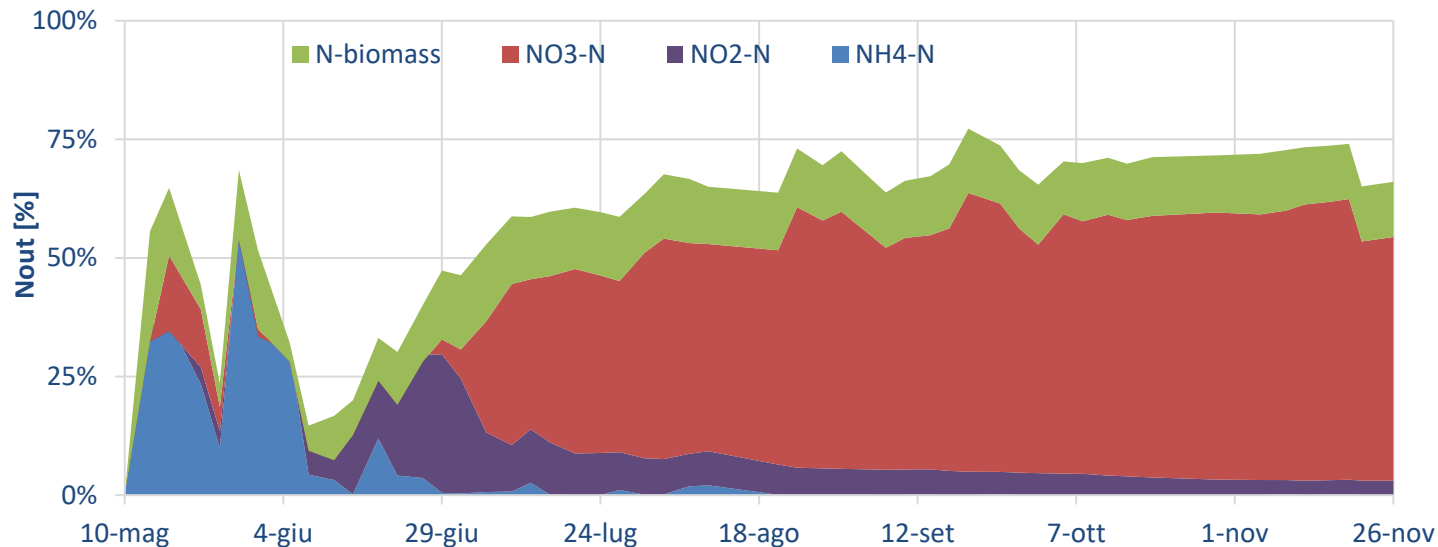


Specie azotate



- Nitrificazione completa e molto spinta
- $\text{NO}_3\text{-Nout} > 1.000 \text{ mg/L} \rightarrow$ concentrazione dovuta ad evaporazione

Destino dell'azoto



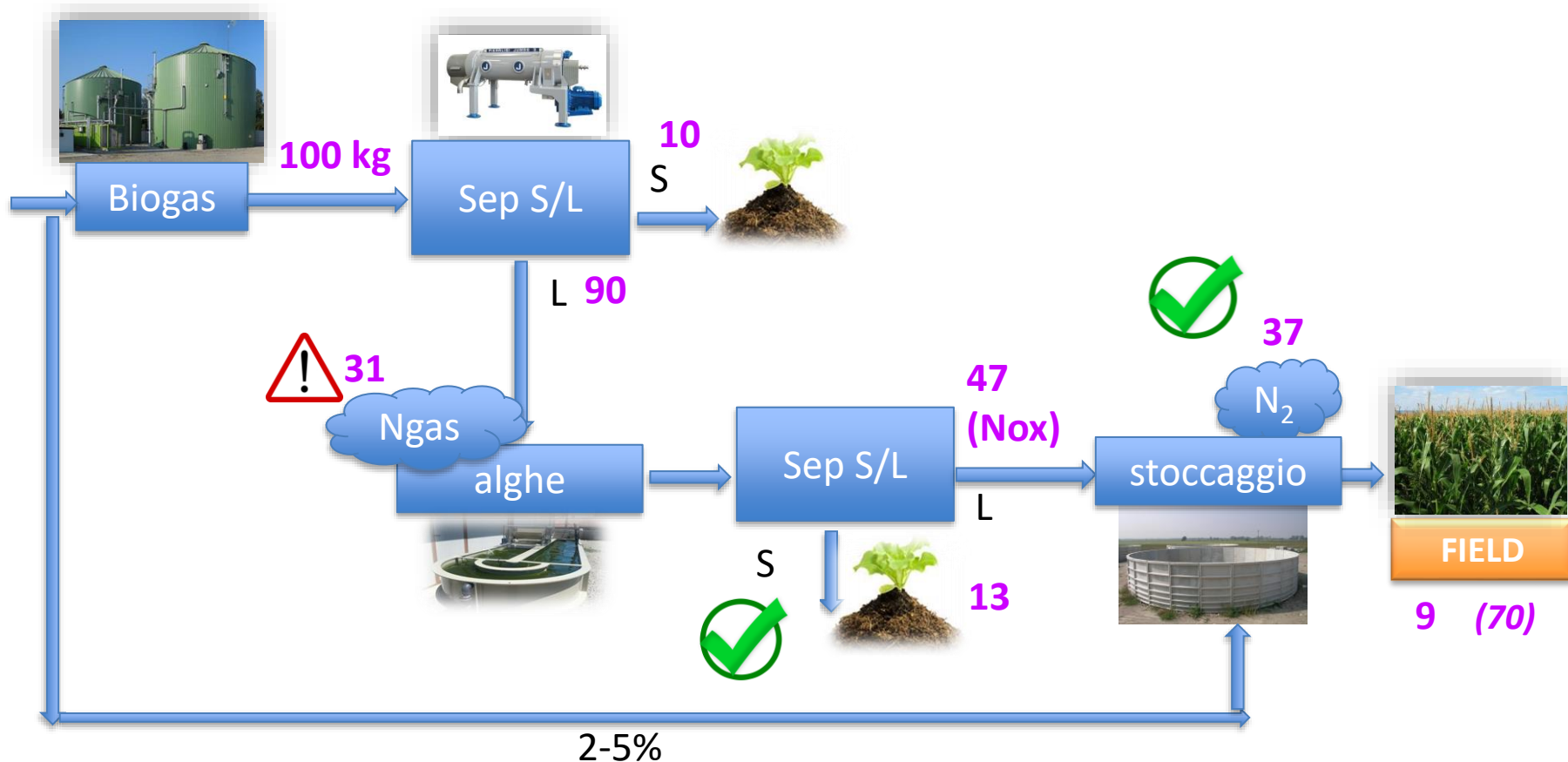
Digestato non diluito

- N-NH_4^+ : 0 ± 1 %
- N strippato: 35 ± 7 %
- N-NO_2^- : 8 ± 4 %
- N-NO_3^- : 44 ± 12 %
- **N-biomassa: 13 ± 1 %**

Efficienze di rimozione

CODs: 45 ± 35 %

$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$: 80 ± 21 %





Caso di studio:

- Biogas da 1 MWeI
- Digestato: 100 ton/d
- Ammonio: 2,200 mg N/L

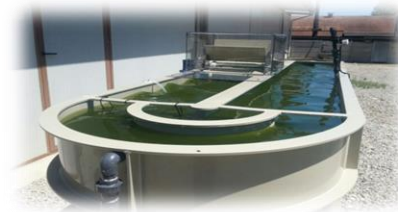


Dati da sperimentazione:

- Produttività: 15 ton/ha/y (8 mesi)
- Capacità conversione azoto: 7.8 ton N/ha/y
- Destino dell'azoto:
 - (52+35)% nitrificato
 - 13% assimilato



Area coltivazione = 10 ha





Valutazione economica



CAPEX (over 20 y)

- Pond + raccolta: 250,000 €/ha
- Vasca denitro: 300,000 €

OPEX

- Raccolta alghe: 0,13 kWh/m³
- Miscelazione: 2 W/m³
- COD per denitro: 250 €/ton



CAPEX: 144 k€/y (67%)

OPEX: 70 k€/y (33%)

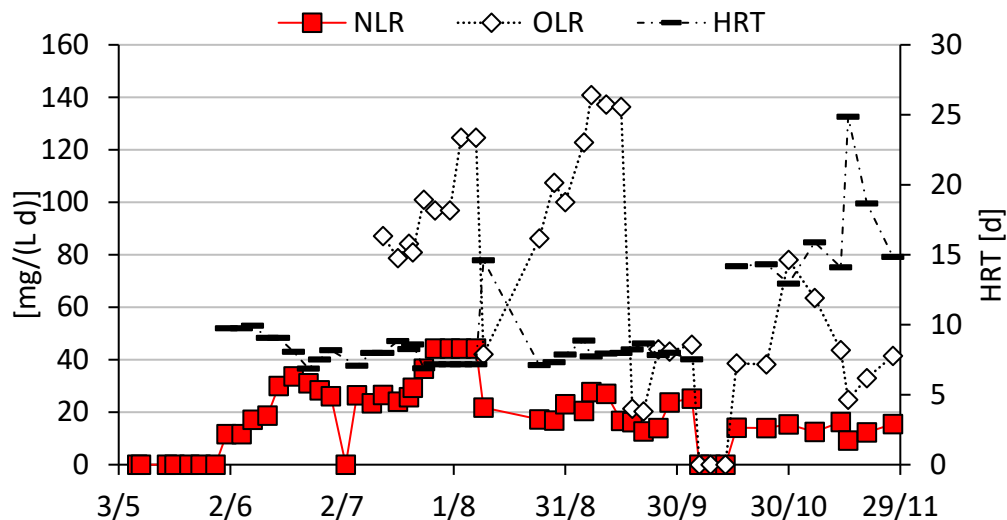
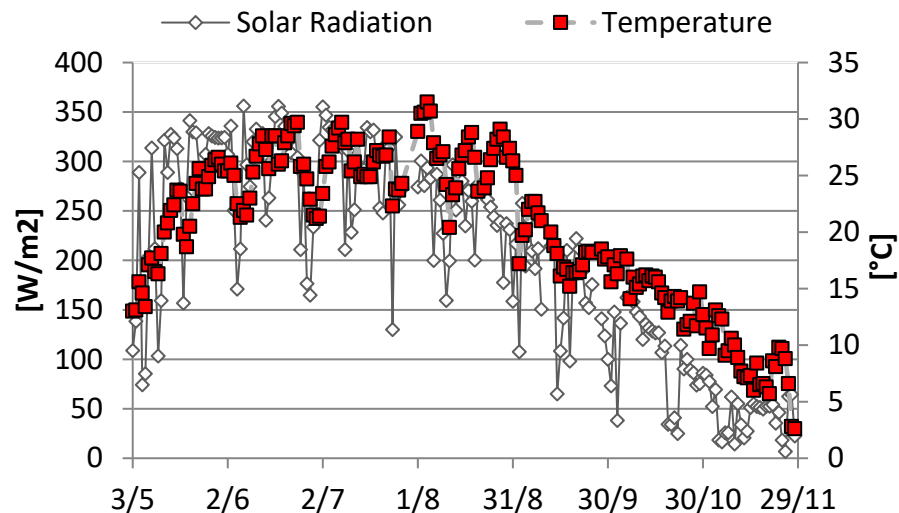
Costo produzione alghe = 0.86 €/kgDM

Costo per N rimosso = 2.68 €/kgN

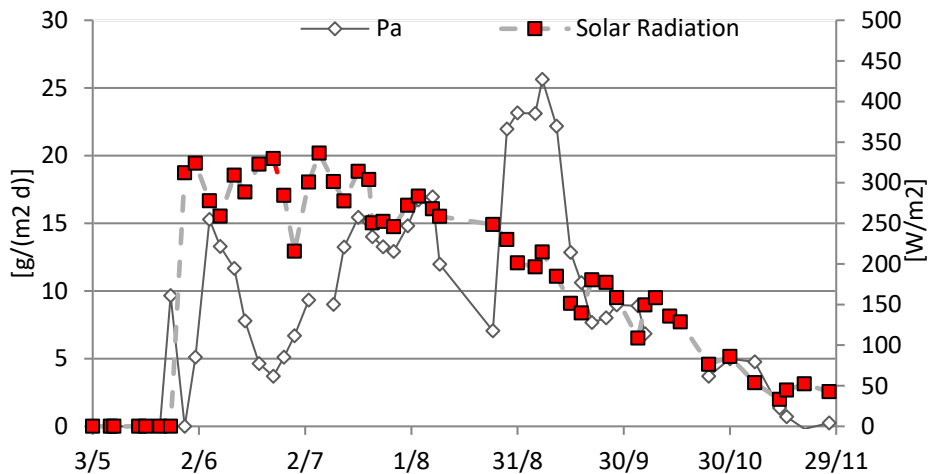
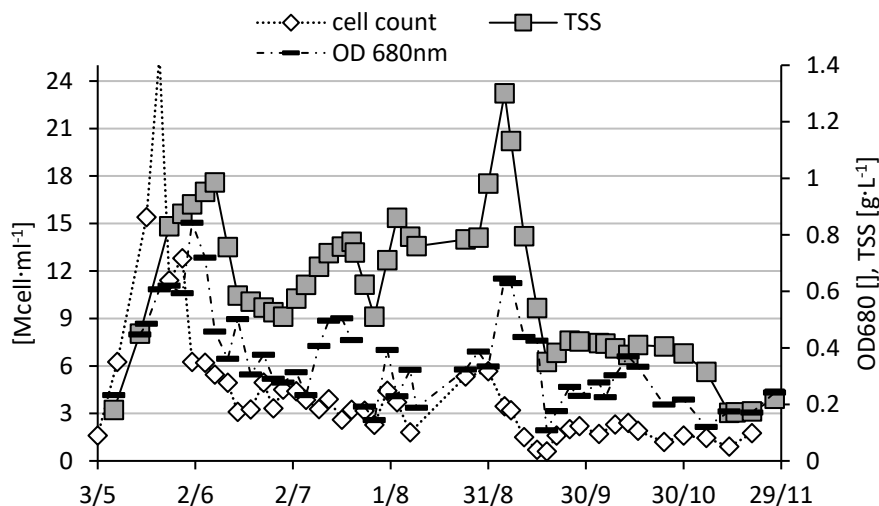


Condizioni al contorno

	TSS [$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$]	NH ₄ -N [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	NO ₃ ⁻ -N [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	PO ₄ ³⁻ -P [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	CODs [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]	Conducibilità [$\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$]
media $\pm$ dev. St.	0,19 $\pm$ 0,08	195 $\pm$ 55	3 $\pm$ 2	19 $\pm$ 14	678 $\pm$ 284	3,4 $\pm$ 0,4



Produzione biomassa



mixotrofia

Produttività areale media

= $10,7 \pm 6,5$ gSS/m²/d

= 31 tSS/ha/anno (su 9 mesi estendendo efficienza fotosintetica)

Composizione comunità microalghe

Destino dell'azoto

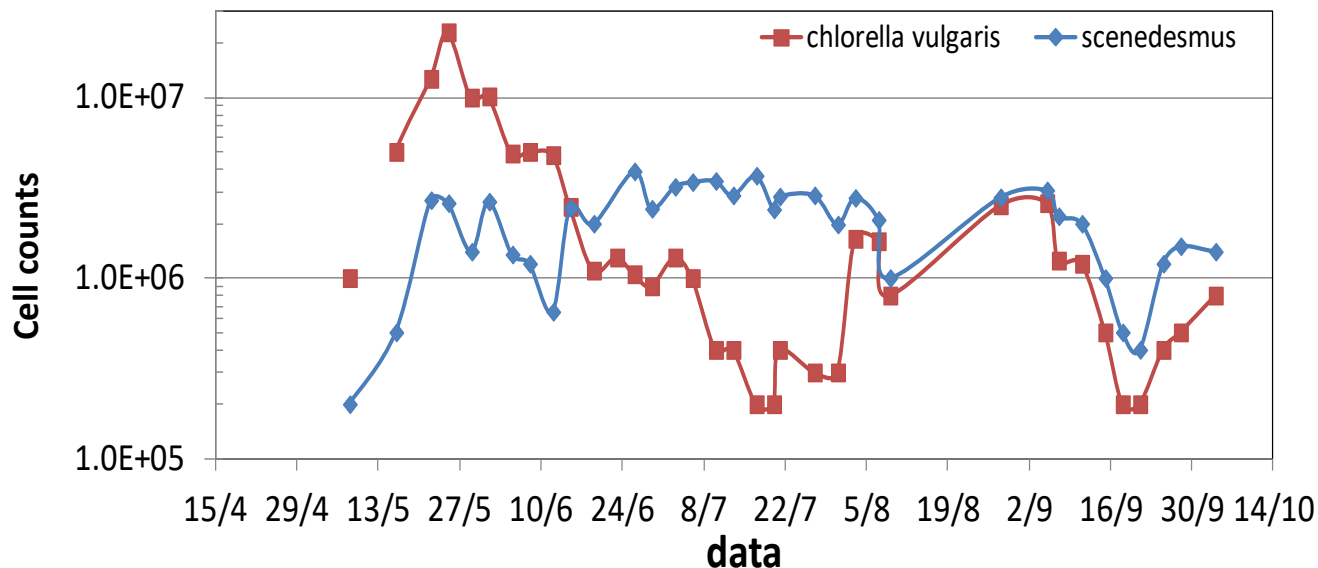
- N-NH_4^+ : $8\% \pm 10\%$
- N strippato: 3 %
- N-NO_2^- : $7\% \pm 9\%$,
- N-NO_3^- : $70\% \pm 37\%$,
- **N-biomassa**: $12\% \pm 9\%$

Rimozione P

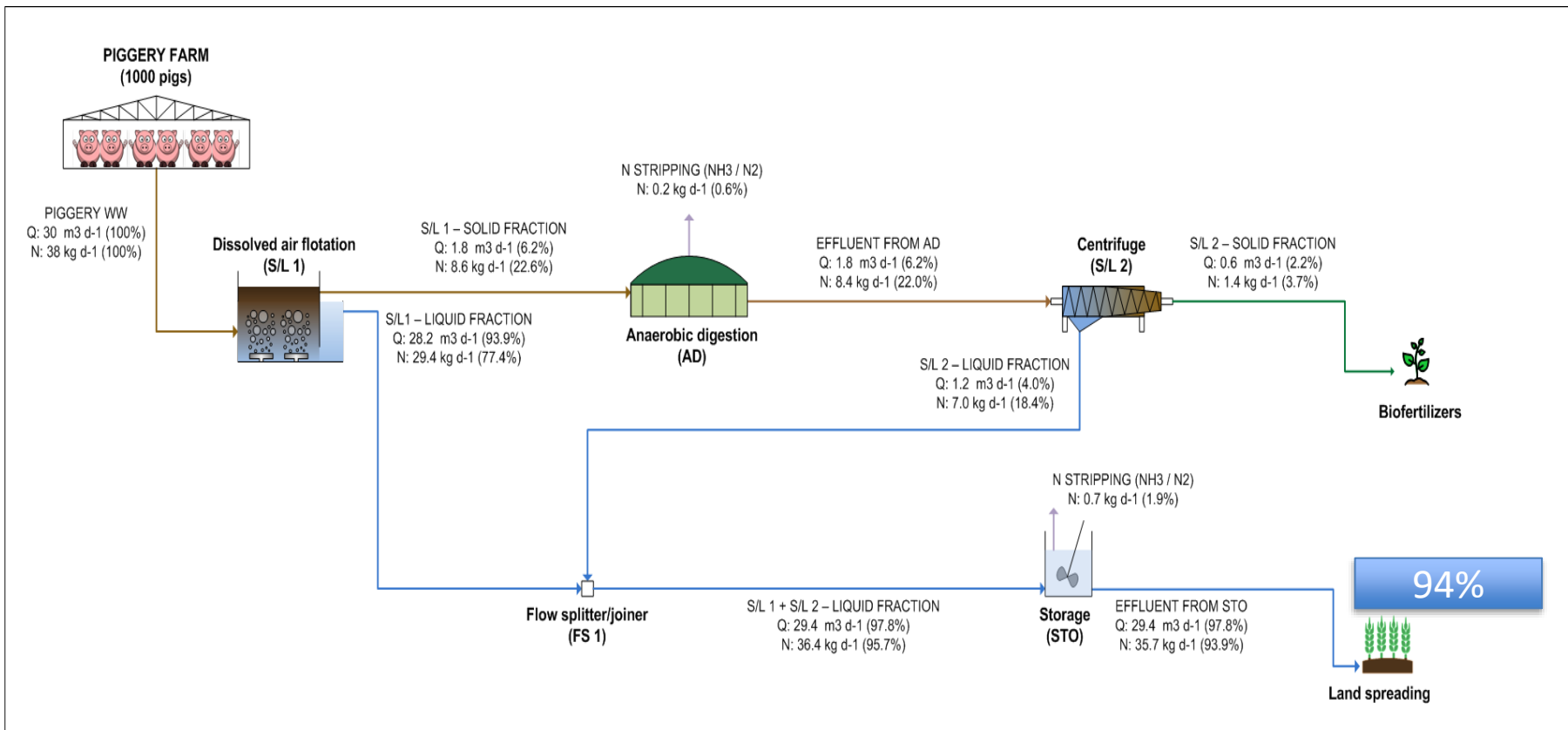
Media: 46%

Rimozione COD solubile

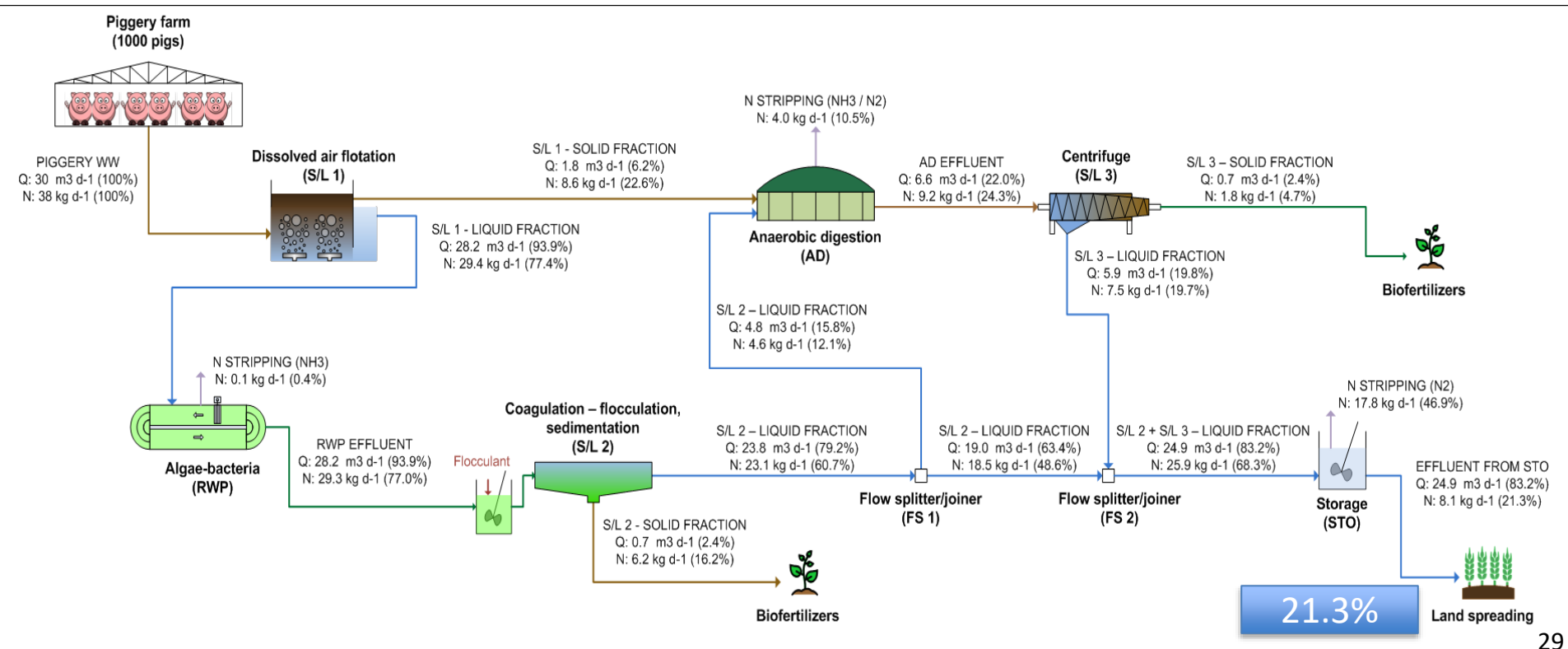
Media: $60 \pm 37\%$



Integrazione in azienda



Integrazione in azienda



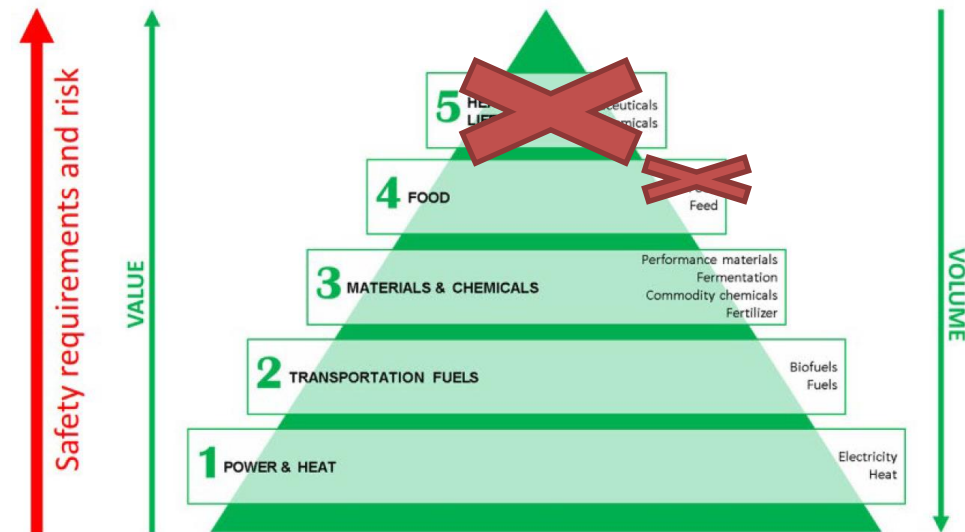
Principali conclusioni

PROs

- Riduzione di carico di N ridotto ai campi (riduzione SAU per lo smaltimento N)
- Richiesta di energia inferiore per l'aerazione rispetto a nitrificazione convenzionale
- Produzione di biomassa algale (cattura di CO₂, C-organico e sostanze nutritive da restituire ai suoli), potenzialmente di valore

CONS

- Ampia richiesta areale (trattamento estensivo)
- Efficienza complessiva ampiamente dipendente dalle condizioni climatiche (può comportare un funzionamento discontinuo)
- Stabilità a lungo termine ancora da dimostrare



- Fonte di proteine in acquacultura
- **Fertilizzanti/biostimolanti/bioplastiche**
- Biodiesel
- **Biogas**



Biogas

Semplice

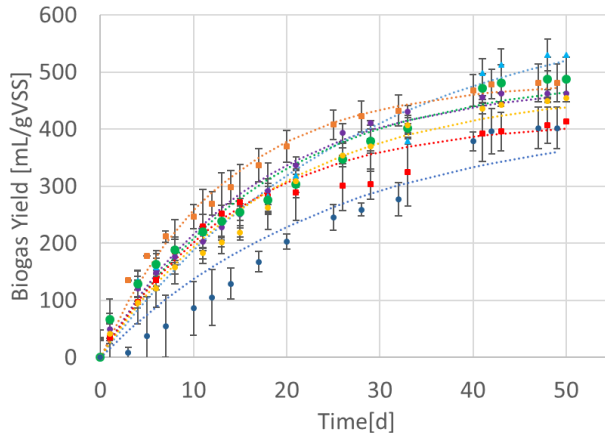
Riduce i benefici della riutilizzo dell'azoto

Bassa resa di metano

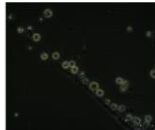
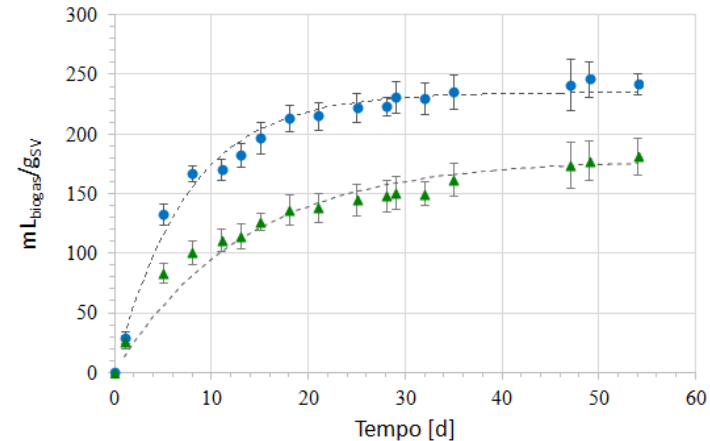
(100-200 Nm³_CH₄/ton_DM)



- Pretrattamenti (bilancio costi/benefici)
- Co-digestione



- SC.NT (non trattato)
- SC.T1 (70°C, 1h)
- SC.T2 (100°C, 1h)
- ▲ SC.A (pH=2, 1h)
- SC.B (pH=11, 1h)
- SC.S (Sonicazione 1h)
- SC.E (Enzimatico, 24h)



Produzione bioplastiche

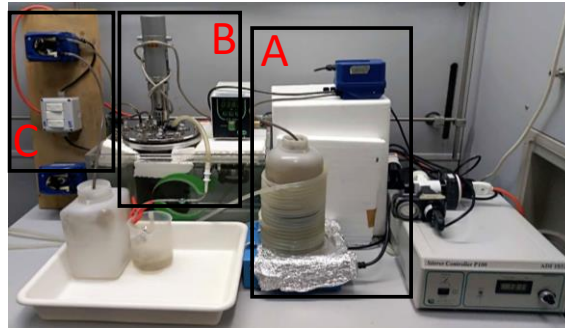
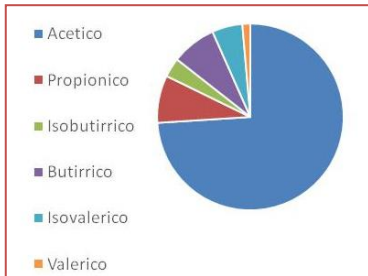
Più complesso

Consente recupero nutrienti

Bassa resa (0,08 -0,2 g_PHA/g_DM)

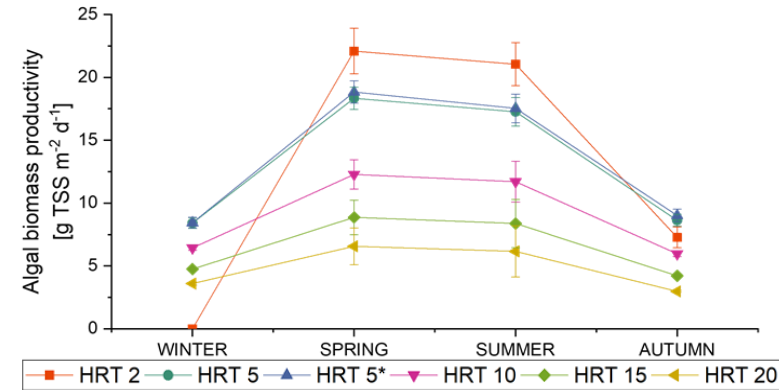
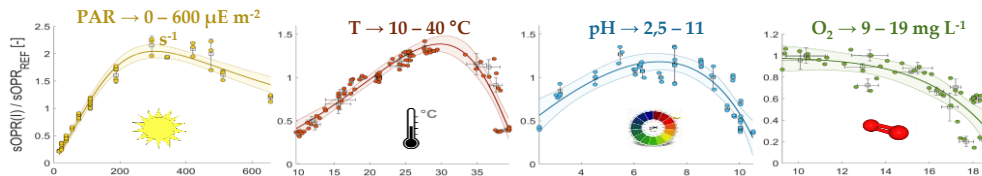


- Ottimizzazione necessaria
- Co-fermentazione





- Ottimizzazione di processo:
 - Crescita sotto serra
 - Utilizzo di modelli per l'ottimizzazione
 - Soluzioni reattoristiche diverse
- Prove alla scala dimostrativa
- Valorizzazione della biomassa per mercati a più alto valore aggiunto (biostimolanti, mangimistica) → 2-15 €/kg





Grazie per l'attenzione

