

**SERVIZIO IDRICO INTEGRATO:  
INNOVAZIONE E NEUTRALITÀ ENERGETICA  
OBIETTIVO SOSTENIBILITÀ**

20.09.2024 – LIFE SOURCE HOTEL, BERGAMO

## Ottimizzazione energetica mediante il trattamento dedicato di surnatanti anaerobici ad alto carico di azoto e fosforo



**NICOLA FRISON**

UNIVERSITA' DI VERONA

PROFESSORE ASSOCIATO



UNIVERSITÀ  
di **VERONA**

SERVIZIO IDRICO INTEGRATO:  
INNOVAZIONE E NEUTRALITA' ENERGETICA  
OBIETTIVO SOSTENIBILITA'

20.09.2024

LIFE SOURCE HOTEL, BERGAMO

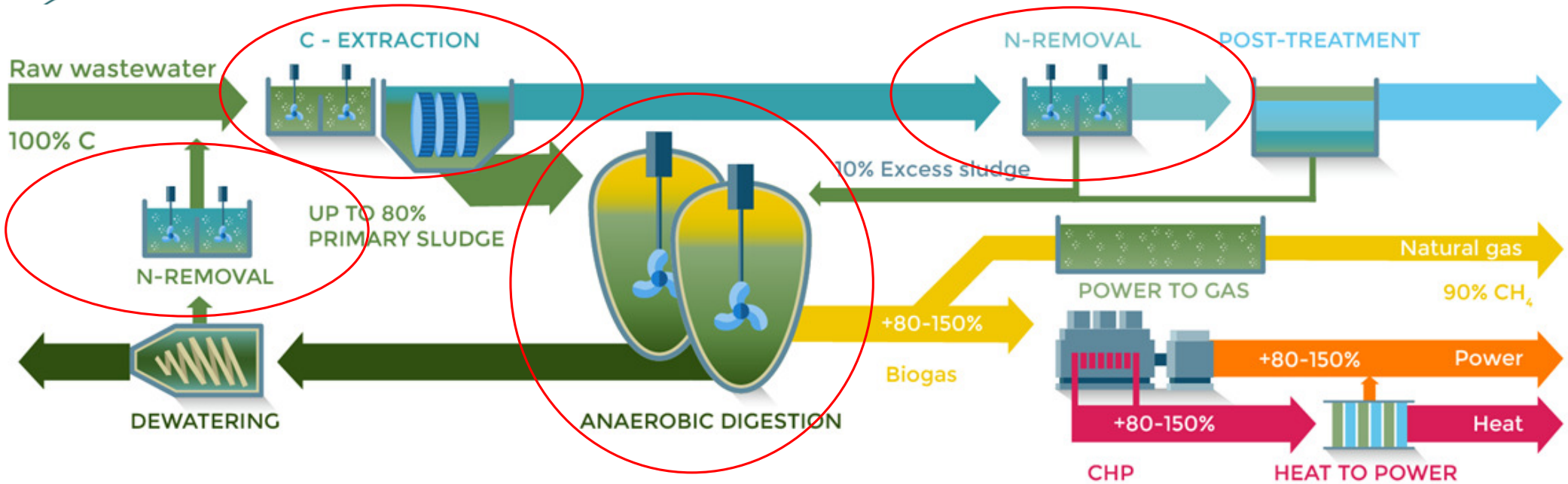
Nuovi obiettivi di rimozione di N (e P)

Necessità di trattamenti potenziati, ma anche efficienti e a ridotta impronta di carbonio;

I fanghi attivi consumano oltre il 50% dei consumi di energia elettrica per l'aerazione;

La linea fanghi consente un ritorno energetico

POSSIAMO AVERE UN IMPIANTO ENERGY POSITIVE?



Modulo POWERSTEP ([www.powerstep.eu](http://www.powerstep.eu))

- 1) Separazione spinta a monte del carbonio verso la digestione anaerobica
- 2) Efficienza energetica nella linea acque
- 3) Trattamento dedicato dei surnatanti anaerobici (alto carico N e P)



Cogenerazione (energia elettrica + riscaldamento digestore)

Energia elettrica da biogas

- circa 1 kWh/kgSST di fango alimentato nel digestore, o circa 70 Wh/AE<sub>d</sub>

Adottata tipicamente per impianti > 50.000 AE (10% degli impianti in EU, 70% della capacità di trattamento)

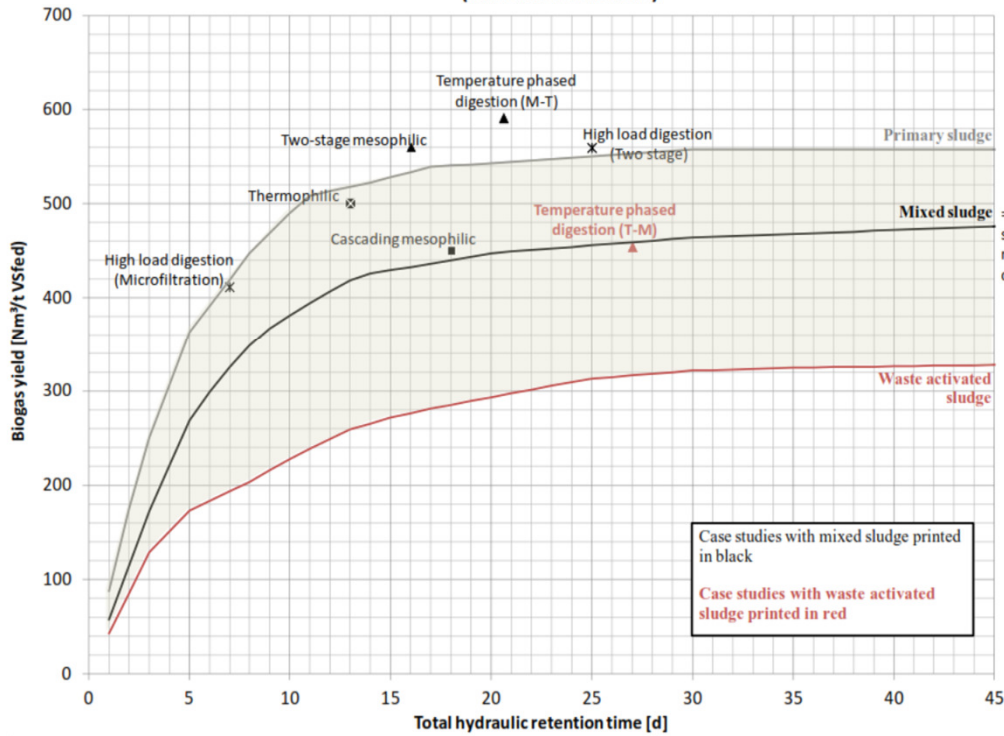
Nella realtà italiana siamo in presenza di un elevato potenziale di produzione di biogas che non viene ancora completamente sfruttato negli impianti.



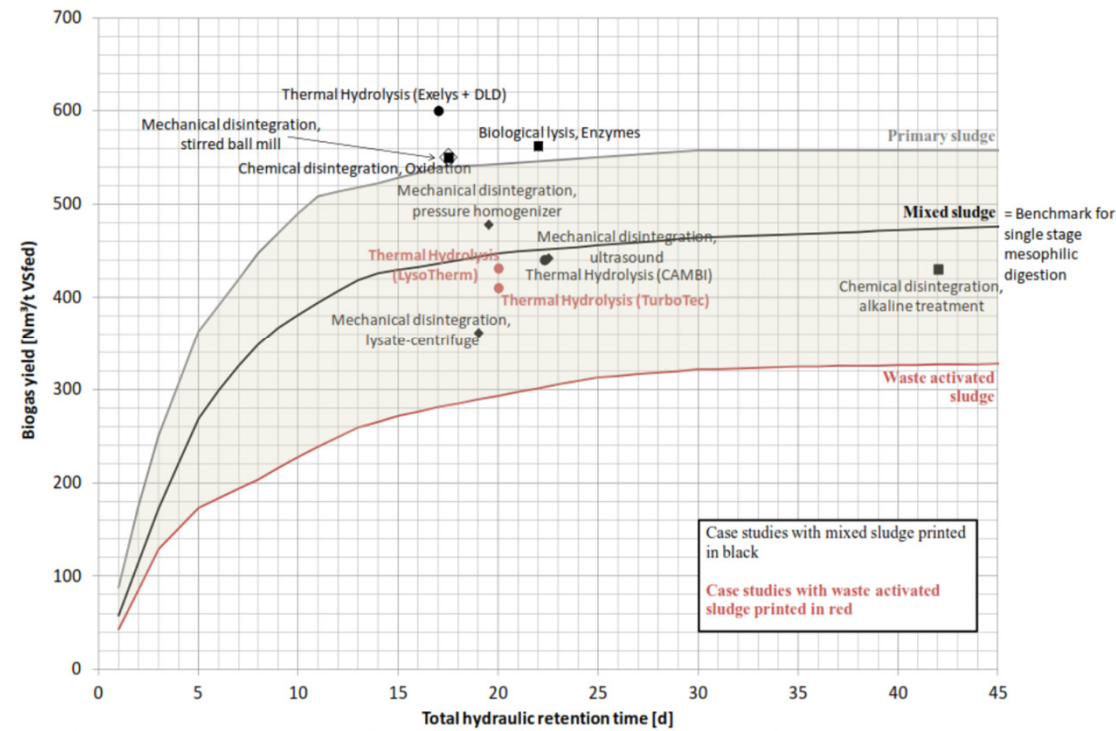
E' possibile coprire il 50-100% del consumo elettrico dell'impianto (se già ottimizzato!!!)

# INTENSIFICAZIONE DEL PROCESSO DI DIGESTIONE ANAEROBICA

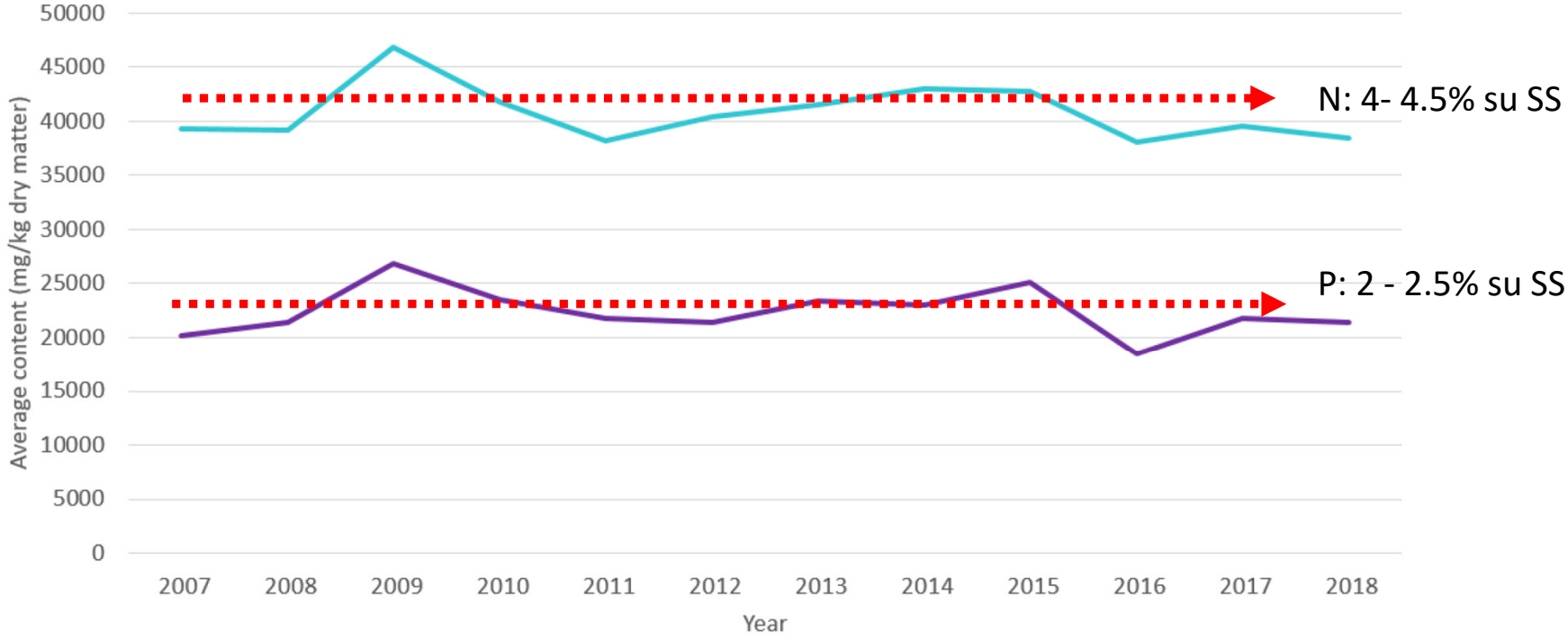
Performance of advanced anaerobic digestion technologies with process modifications (full-scale references)



Performance of advanced anaerobic digestion technologies using disintegration (full-scale references)



# CONTENUTO DI FOSFORO E AZOTO NEI FANGHI



Dati ufficiali  
Commissione Europea



### **Carico di azoto ricircolato in linea acque dai surnatanti anaerobici:**

Rappresentano fino a circa il 25% del carico di azoto e fino al 30% del fosforo totale trattato in linea acque;

In termini quantitativi, fino a 1 kgN/AE y e 0.2-0.3 kgP/AE y;

-> utile trattare separatamente per evitare sovraccarichi o in caso di revamping (limiti sempre più stringenti per N);

In linea acque, il loro trattamento richiede circa 40 L/AE (volume di reazione) oltre all'impatto energetico (> 5 kW/AE y);

**Acque industriali con impianti ad alto carico (ad es. agroalimentari, FORSU, ecc) -> Trattamento a valle di AD e prima di scarico in fognatura;**



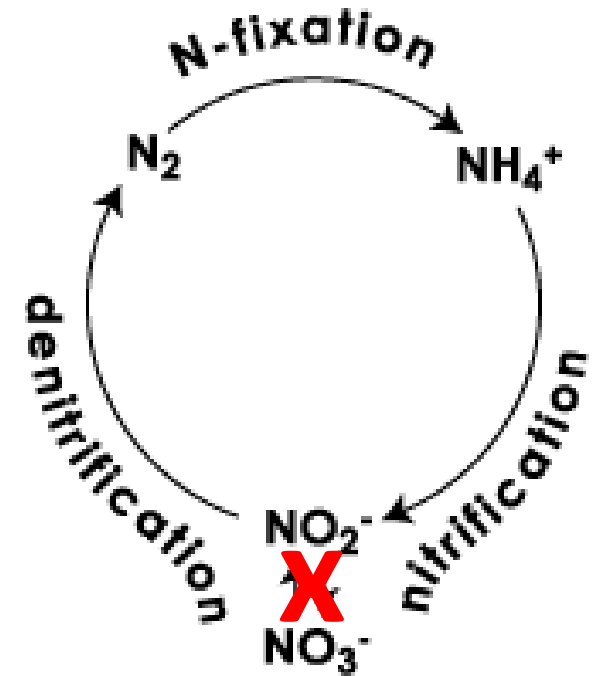
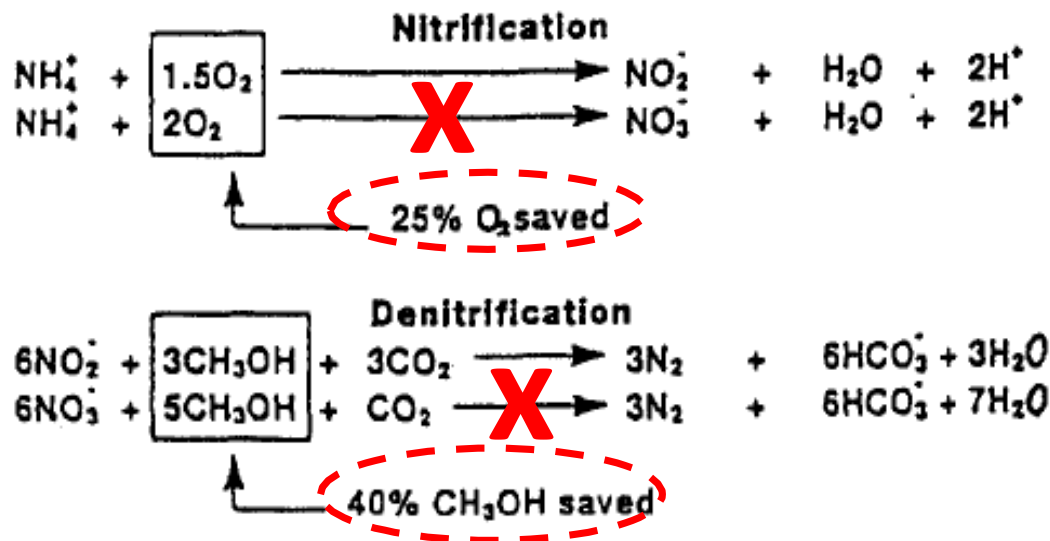
## CARATTERISTICHE CHIMICO/FISICHE DEI SURNATANTI ANAEROBICI

Flusso trattato	Processo	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	TKN (mg/L)	NH4-N (mg/L)	TP (mg/L)	Orto-P (mg/L)
Fanghi di depurazione	Surnatante anaerobico (mesofila/termofila)	200-20000	100-2000	810-2100	800-1300	100-550	100-350
Fanghi di depurazione	Idrolisi termica + D.A. mesofila	1500-10000	1500-3000	2200-3700	2000-3000	220-800	200-700
FANGHI e/o FORSU	(Co)digestione anaerobica		1500-3500	1000-4000			-

Elevate concentrazioni di ammoniaca e di fosforo;  
 Rapporto COD/N e BOD/N sbilanciati - > denitrificazione sfavorita  
 Temperature relativamente elevate (30°C)

Riduzione dei costi operativi e gestionali

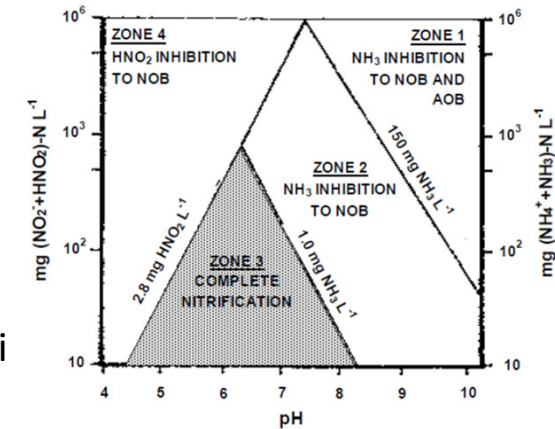
- 25% riduzione richiesta di ossigeno
- 40% riduzione carbonio esterno
- 40% riduzione fanghi prodotti
- 20% riduzione emissioni CO2



Possibilità di ottimizzare la fornitura di carbonio mediante autoproduzione di acidi grassi volatili (fermentazione acidogenica)

**Strategia** : con età del fango alte (fino a 20 d), si sfrutta la differenza tra le condizioni ottimali di lavoro di ammonio e nitrito ossidanti (*pressioni ambientali selettive*)

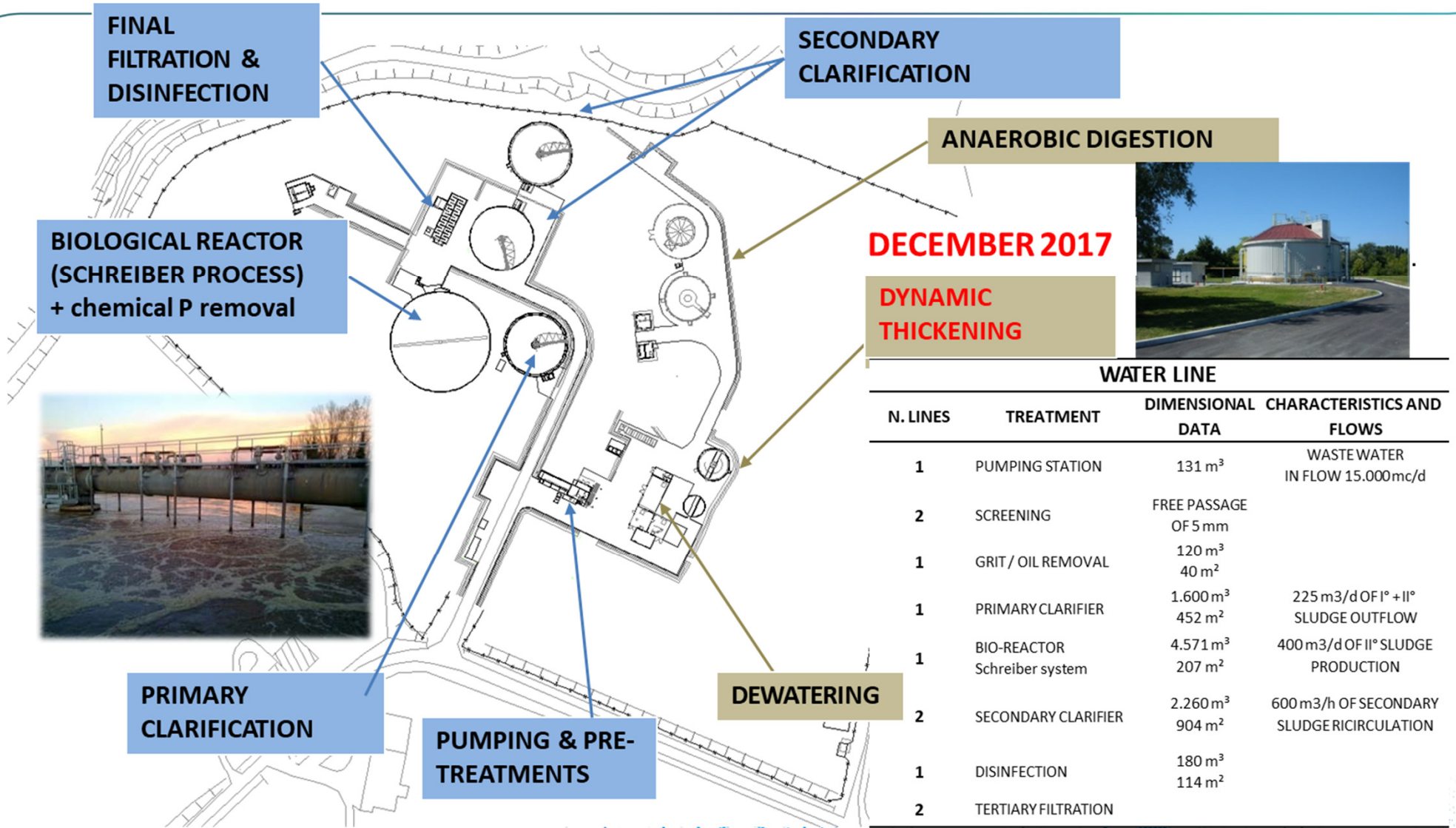
- **elevate temperature di lavoro** (25-30 °C);
- **Elevate concentrazioni di ammoniaca libera**: al crescere del pH, cresce la frazione dell'azoto ammoniacale presente sotto forma di ammoniaca libera, più inibente per NOB ( $\text{NH}_3 > 1 \text{ mg L}^{-1}$ );
- **ossigeno disciolto < 1 mg/L**: in questo modo si sfrutta la maggiore affinità dei batteri AOB per l'ossigeno disciolto.



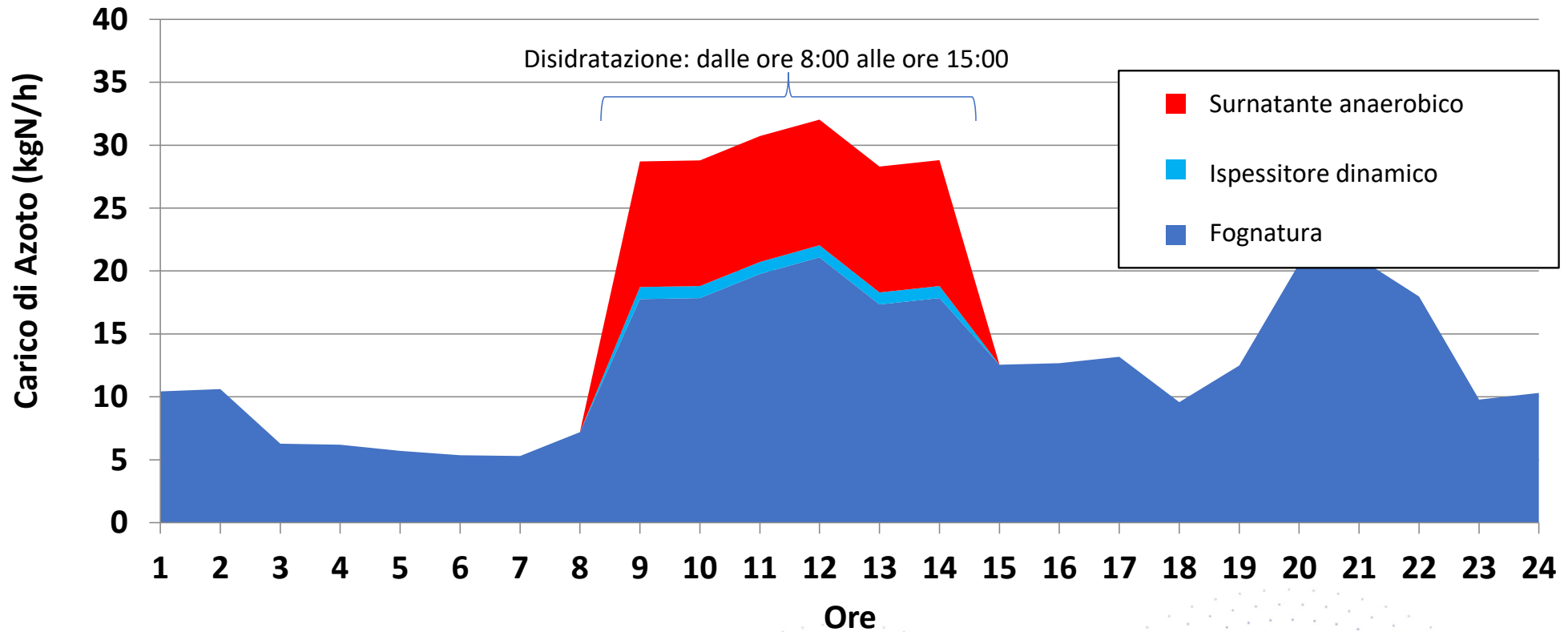
	<i>Nitrobacter</i>		<i>Nitrosomonas</i>	
	Anabolism	Catabolism	Anabolism	Catabolism
FNA	Completely stopped at $0.02 \text{ mgHNO}_2\text{-N.L}^{-1}$	No inhibition up to $0.024 \text{ mgHNO}_2\text{-N.L}^{-1}$	Totally inhibited at $0.40 \text{ mgHNO}_2\text{-N.L}^{-1}$	50% inhibition at $0.40\text{-}0.63 \text{ mgHNO}_2\text{-N.L}^{-1}$
FA	Completely inhibited at above $6.0 \text{ mgNH}_3\text{-N.L}^{-1}$	Inhibited by 12% at 6.0 - $10.0 \text{ mgNH}_3\text{-N.L}^{-1}$	No inhibition at up to $16.0 \text{ mgNH}_3\text{-N.L}^{-1}$	No inhibition at up to $16.0 \text{ mgNH}_3\text{-N.L}^{-1}$

(Vadivelu et al., 2007)

# EFFETTO DEI RITORNI DI AZOTO IN LINEA ACQUE: CARBONERA - ATS (40.000 AE)



## EFFETTO DEI RITORNI DI AZOTO IN LINEA ACQUE: CARBONERA - ATS (40.000 AE)



**Rispetto alla fognatura il carico di azoto dai surnatanti rappresenta circa il 50% (su base oraria) e circa il 10% Fino 10% of TP from An. Supernatants**

## CASO STUDIO: PROCESSO SCENA (CARBONERA, ATS)



PROCESSO SCENA	
Portata	35 - 40
Carico di azoto (kgN/d)	35 - 42
Carico di fosforo (kgP/d)	1 - 2



Reattore SBR  
 Riutilizzo vasca esistente  
 Volume: 70 m<sup>3</sup>+90m<sup>3</sup> stoccaggio surnatanti  
 vNLR: 0.55-0,60 kgN/m<sup>3</sup> d  
 Efficienza rimozione N: 85%

## STATEMENT OF VERIFICATION

Technology: "SCENA"

Registration Number: VN20200043

Date of Issuance: 20/10/2020

**Verification Body**  
Name: RINA Services  
Contact: Giovanni D'ANGELO  
Address: via Corsica, 12 – 16124 Genoa (I)  
Telephone: + 39 010 5385 730  
E-mail: giovanni.dangelo@rina.org  
Web: www.rina.org

**Proposer**  
Name: UNIVERSITY OF VERONA  
Contact: Nicola FRISON  
Address: Strada Le Grazie, 15 Verona (I)  
Telephone: +393498190001  
E-mail: nicola.frison@univr.it

Signed, 20/10/2020

Laura SEVERINO, ETV Technical Manager

Nicola FRISON, Project Coordinator



ISO 9001:2015  
ISO 14001:2015  
ISO 45001:2018  
UNI EN ISO 17025:2017

Member of the Accreditations of Mutual Recognition EA, IAF and ILAC  
Signatory of EA, IAF and ILAC Mutual Recognition Agreements

This Statement of Verification is available: Internet address where this Statement of Verification is available:  
<https://ec.europa.eu/environment/eccoop/etv>



ISPESSITORE DINAMICO



PARAZIONE VFA



STOCCAGGIO VFA



### Reattore SBR

Riutilizzo vasca esistente  
Volume: 70 m<sup>3</sup>+90m<sup>3</sup> stoccaggio surnatanti  
vNLR: 0.55-0,60 kgN/m<sup>3</sup> d  
Efficienza rimozione N: 85%

**PROCE**

Portata
Carico di azoto (kgN/d)
Carico di fosforo (kgP/d)

**Depuratore di Robecco (330.000 AE)**

Fermentatore da 560 m<sup>3</sup> per produzione VFA da fanghi misti

Reattore SBR (SCENA) da 320 m<sup>3</sup> per trattamento surnatanti e rimozione N e P

Carico di N trattato: 170 kgN/d





## CASO STUDIO: PROCESSO SCENA (SESTO SAN GIOVANNI, GRUPPO CAP)

Digestione anaerobica e produzione di biometano (30.000 ton/y)

Produzione di carbonio biodegradabile

VFA da co-fermentazione FANGHI e FORSU

Produzione di 800 kgCOD(VFA)/d

Trattamento surnatanti da digestione anaerobica di FORSU

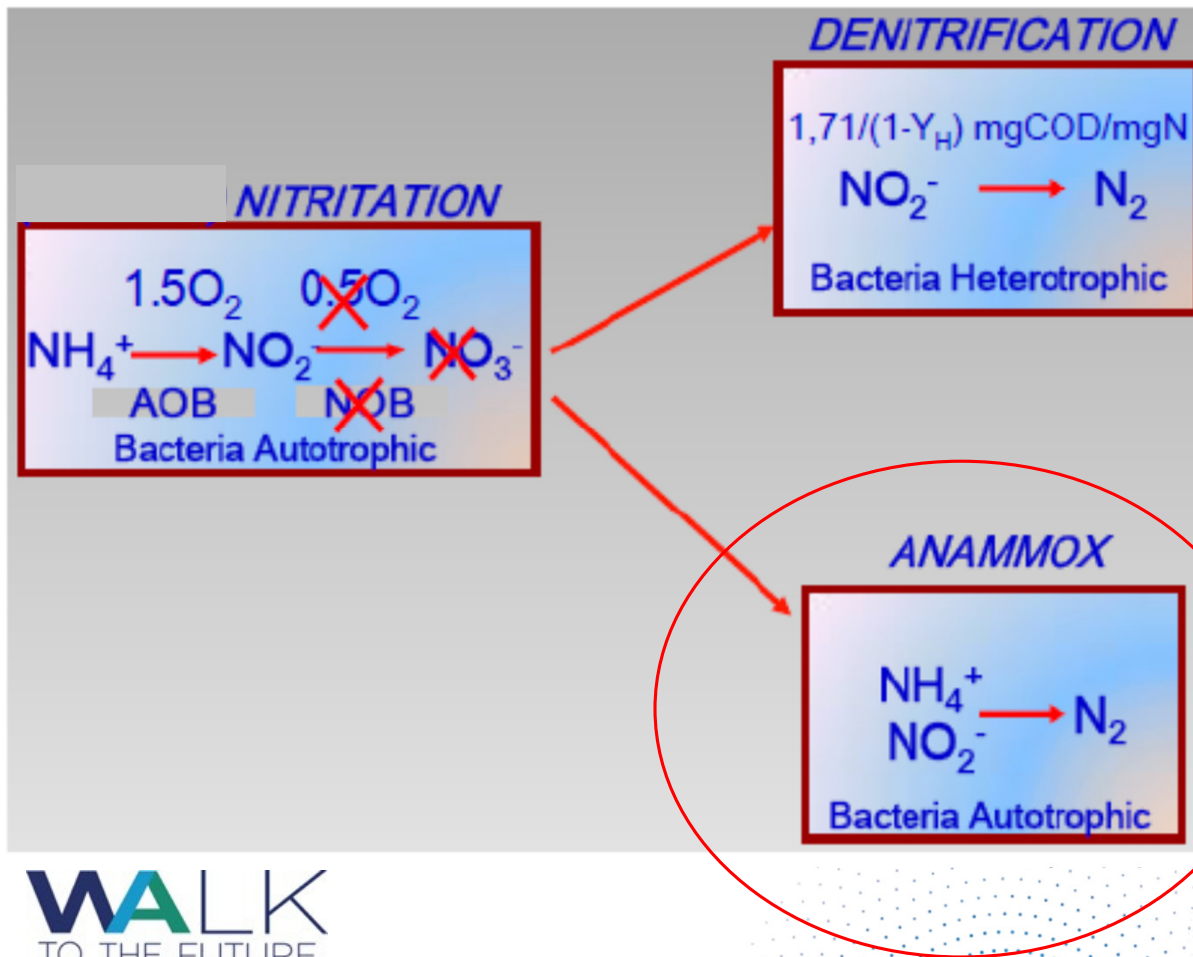
Carico di azoto: 360 kgNH<sub>4</sub>-N/d

2 reattori SBR SCENA (operanti in parallelo)

Volume totale: 700 m<sup>3</sup>



## PROCESSI BIOLOGICI AVANZATI VIA-NITRITO COMPLETAMENTE AUTOTROFI



- 25% riduzione richiesta di ossigeno
- 40% riduzione carbonio esterno
- 40% riduzione fanghi prodotti
- 20% riduzione emissioni CO<sub>2</sub>

**NON RICHIEDE INOCULO ESTERNO!**

- 57% riduzione richiesta di ossigeno
- 100% riduzione carbonio esterno
- 85% riduzione fanghi prodotti
- 90% riduzione emissioni CO<sub>2</sub>

**RICHIEDE INOCULO SPECIFICO!**

# CLASSIFICAZIONE DEI PROCESSI DI DEAMMONIFICAZIONE

two-stage  
*spatial separation*

Nitrification

- PANDA
- SAT
- SHARON®

Anammox

- PANDA<sup>+</sup> (susp. BM)
- ANAMMOX® (gran. BM)
- Moving Bed (Biofilm)

Diffusion limited

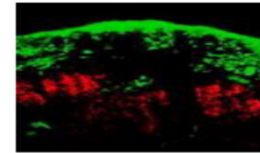
- DeAmmon (Moving Bed)
- CANON/OLAND (RD)
- SNAP (Submerged Fixed Bed)
- ANAMMOX® (gran. BM)
- PNAAL (susp./gran. BM)

Intermittent aeration

- DEMON® (SBR)
- DIB (Moving Bed)

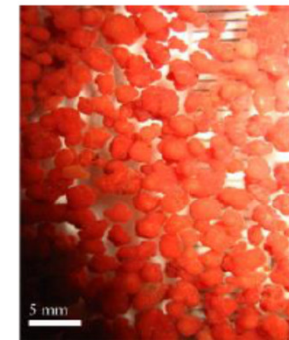
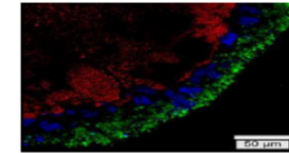
single-stage

*Temporal separation / diffusion*



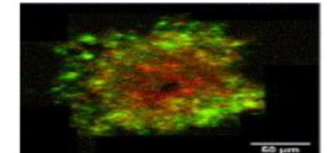
**Biofilm**

Cho et al., 2011  
ISAH



**Granular**

Vlaeminck et al., 2009  
Tang et al., 2013



**Suspended**

Lopez et al., 2005  
www.wrights-trainingsite.com

## CASO STUDIO: DEAMMONIFICAZIONE – PROCESSO DEMON (CASTIGLIONE TORINESE, SMAT)

- La sezione di deammonificazione (in funzione dal 2018) è basata sul processo DEMON®;
- La biomassa Anammox rimuove in maniera molto efficace ed efficiente l'azoto dalle acque di risulta della linea fanghi dopo la digestione anaerobica;
- Quella di Castiglione T.se è ad oggi la più grande applicazione in Europa della tecnologia Anammox nel campo delle acque reflue urbane;
- Investimento: 3.000.000 Euro circa.

### Processo DEMON®

- capacità di trattamento: 2.000 kg N/giorno
- $N_{TOT}$  rimosso: 420.480 kg  $N_{TOT}$ /y
- efficienza rimozione  $N_{TOT}$ : > 80%

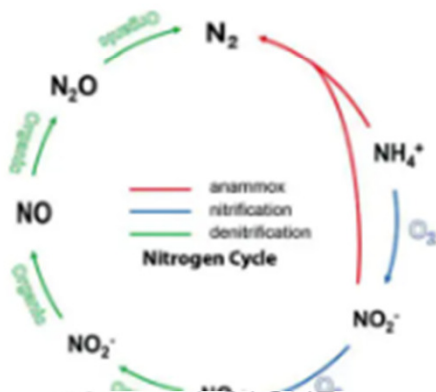
### Processo Nitrificazione Denitrificazione circa 4 kWh/kg N rimosso

Processo DEMON® bi-stadio  
circa 1,67 kWh/kg N rimosso

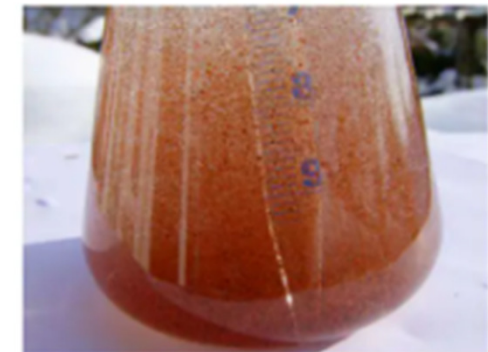
### Processo DEMON® vs

#### Nitrificazione Denitrificazione:

- 95% risparmio di sostanze organiche
- 60% risparmio di energia (-1.000 MWh/anno)
- 80% riduzione di fanghi



WATER ALLIANCE INCONTRA IL TERRITORIO



Fonte: Ing. Gerardo Scibilia, SMAT

## CONSUMI ENERGETICI A CONFRONTO

Processo	Consumo Energetico (kWh/kg N rimosso)	Tipologia	Forma di azoto trasformata	Referenza
Nitrificazione/Denitrificazione	3 – 5	Rimozione	Azoto	Garrido-Baserba et al. (2020)
Nitritazione/Denitrificazione	1.3 – 2	Rimozione	Azoto	Jetten et al, (1997); van Loosdrecht, M. C. M. & Salem (2006)
Deammonificazione/Anammox	0.6– 1.0	Rimozione	Nitrogen gas	Lackner et al, 2014;
Precipitazione di struvite	0.1 – 0.2	Recupero	Struvite	Le Corre et al., 2009; Marì et al., 2008
Strippaggio (corrente di aria/vapore)	3 – 8 (En. termica) 0.5–1.0 (En. Elettrica)	Recupero	Sali di ammonio	Bonmati & Flotats (2003)
Strippaggio mediante contattore a membrana	0.2 – 1.0	Recupero	Sali di ammonio	Lahvav et al., (2008); Desloover, J. et a, (2012)

Dal punto di vista energetico i processi biologici sono generalmente più vantaggiosi rispetto ai processi chimico/fisici (per concentrazioni di N e P relativamente non elevate)

ATTENZIONE ANCHE ALLE EMISSIONI GHG!!!

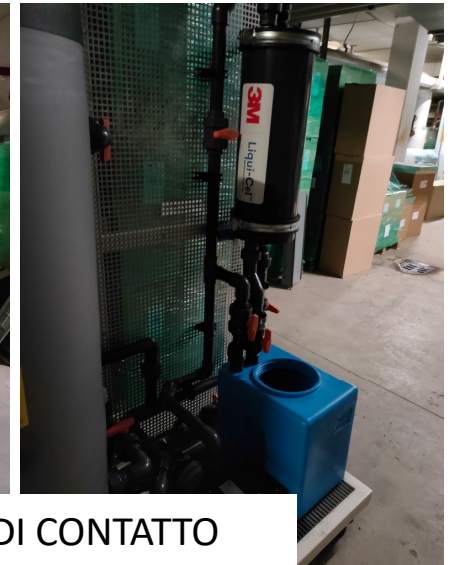
Processo	Emissioni di N <sub>2</sub> O	Emissioni NH <sub>3</sub>	Emissioni CH <sub>4</sub>	Referenza
Nitrificazione/Denitrificazione	0.1–0.6%	Basse-moderate	Basse (in fase aerobica)	Kampschreur et al., (2008);
Nitritation/Denitritation	0,5-4%	Basse-moderate	Basse (in fase aerobica)	Kampschreur et al., (2009); Law et al., (2012)
Deammonificazione	Nitritation (SBR): 1.3-6.6% Anammox (UASB): 0.6% DEMON: 1.3%	Basse	Trascurabili	Desloover et al., (2011); Weissenbacher et al, (2010)
Precipitazione di struvite	None	Moderate	Trascurabili	Martí et al. (2008)
Strippaggio di ammoniaca	None	Elevate	Trascurabili	Bonmati and Flotats (2003)

# PROCESSI CHIMICO/FISICI PER LA RIMOZIONE E RECUPERO DEI NUTRIENTI (N e P)

Sistemi innovativi per la produzione sostenibile di biometano da FORSU ed altre matrici organiche” ACCORDI INNOVAZIONE DM 31/12/2021 (MISE)

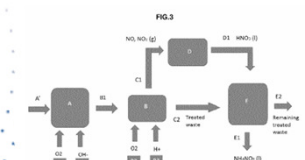
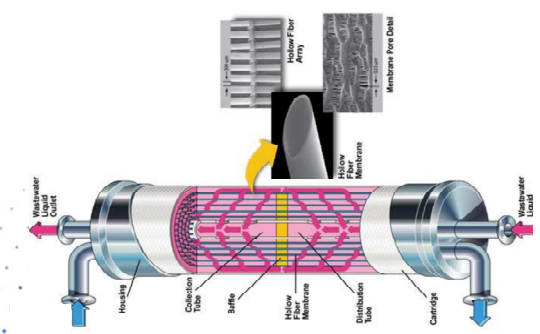


UNIVERSITÀ di VERONA



MEMBRANA DI CONTATTO

EP 4 043 409 A1  
 EUROPEAN PATENT APPLICATION  
 (43) Date of publication: 17.09.2022 Bulletin 2022/33  
 (21) Application number: 22153993.1  
 (22) Date of filing: 09.02.2022  
 (51) International Patent Classification (IPC): C02F 9/00 (2018) C02F 9/22 (2018) C02F 103/00 (2018)  
 (52) Cooperative Patent Classification (CPC): C02F 9/00 C02F 103/00 C02F 186/00 C02F 9/12 C02F 2009/06 C02F 2009/44 C02F 2009/16 C02F 2009/22  
 (72) Inventors: FREGON, Nicola; ZIBIĆ, Branka (Inventor); COMICA, Vincenzo; BOLDIZI, David; BOLZONELLA, David  
 (74) Representative: Biagi, Cristina; Bugnon, S.p.A.; Vanni, Leonardo (IT); 20158 Milano (IT)  
 (54) PROCESS AND CORRESPONDING PLANT FOR THE REMOVAL AND RECOVERY OF AMMONICAL NITROGEN FROM NITROGEN-CONTAINING WASTEWATER  
 (57) The present invention relates to the field of wastewater treatment and relates to a process and an associated plant for the removal and simultaneous recovery of ammoniacal nitrogen from liquid stream containing nitrogen in the form of ammoniacal nitrogen, said ammoniacal nitrogen being recovered in the form of gaseous  $\text{NH}_3$ , gaseous  $\text{NO}_x$ , nitric acid and/or ammonium nitrate.



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

NICOLA FRISON

Università di Verona

Dipartimento di Biotecnologie

[nicola.frison@univr.it](mailto:nicola.frison@univr.it)