

NUOVI SCENARI NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Palermo, 1 Agosto 2025



Università  
degli Studi  
di Palermo

dj  
dipartimento  
di ingegneria  
unipa

# La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

Prof. G.Di Bella

Prof. R. Campo



*Università Degli Studi di Enna «Kore»*

Con il patrocinio di:



EVENTO ORGANIZZATO NELL'AMBITO DEL PROGETTO SMARTEE-PLANTS: SMART ENERGY-EFFICIENCY WASTEWATER TREATMENT PLANTS FINANZIATO DAL PROGRAMMA OPERATIVO COMPLEMENTARE (POC) 2014-2024 DELLA REGIONE SICILIANA - PROGETTO N. 08CT3600000330

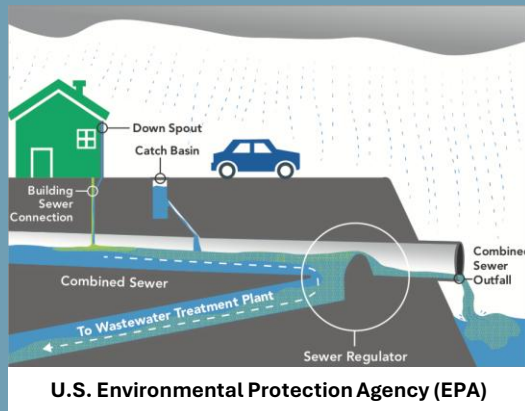
### SOMMARIO

- Il problema del rapporto **Carbonio/Azoto (C/N)** nella rimozione biologica dell'azoto.
- Richiamo del processo convenzionale per la **rimozione biologica dell'azoto**.
- Strategie operative e tecnologie per **efficientare** la rimozione biologica dell'azoto da reflui caratterizzati da basso **C/N**.
- Il caso studio dell'impianto di depurazione di Gagliano Castelferrato (EN): **rimozione biologica dell'azoto** in un processo depurativo ad **aerazione intermittente**.

## IL PROBLEMA: *N-removal in low C/N WW*

L'effetto combinato di sistemi fognari di **tipo unitario** (acque nere + acque di pioggia) → effetto diluizione delle acque reflue in tempo di pioggia.

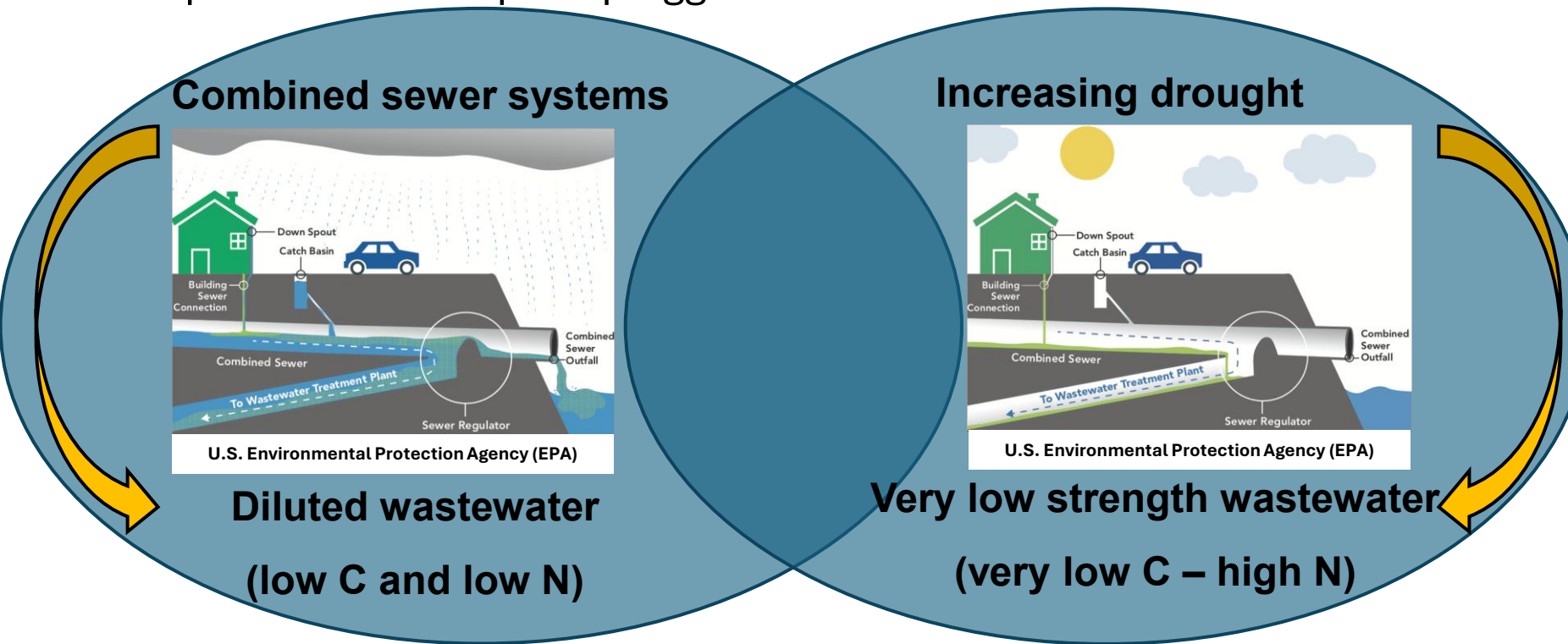
### Combined sewer systems



**Diluted wastewater**  
(low C and low N)

## IL PROBLEMA: *N-removal in low C/N WW*

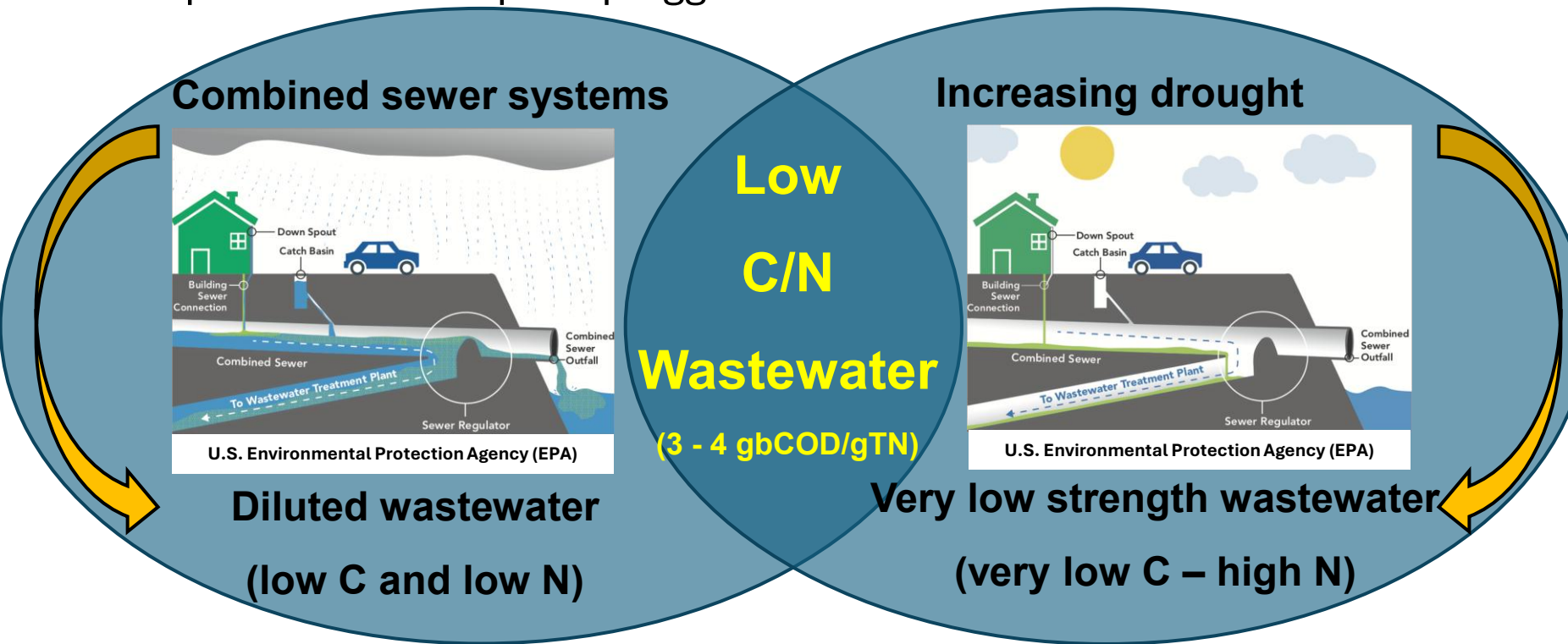
L'effetto combinato di sistemi fognari di **tipo unitario** (**acque nere + acque di pioggia**) → effetto diluizione delle acque reflue in tempo di pioggia...



... e dell'incremento del tempo di percorrenza in fognatura verosimilmente associato alla diminuzione delle portate fluenti a causa della **crescente siccità**

## IL PROBLEMA: *N-removal in low C/N WW*

L'effetto combinato di sistemi fognari di **tipo unitario** (**acque nere + acque di pioggia**) → effetto diluizione delle acque reflue in tempo di pioggia...



... e dell'incremento del tempo di percorrenza in fognatura verosimilmente associato alla diminuzione delle portate fluenti a causa della **crescente siccità**



## IL PROBLEMA: *N-removal in low C/N WW*

La rimozione biologica dell'azoto è mediata da microrganismi aerobici autotrofi ammonio-ossidanti (**AOB**) che convertono l'ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) in nitrito ( $\text{NO}_2^-$ )....

... e da microrganismi aerobici autotrofi nitrito-ossidanti (**NOB**) che convertono il nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) in nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

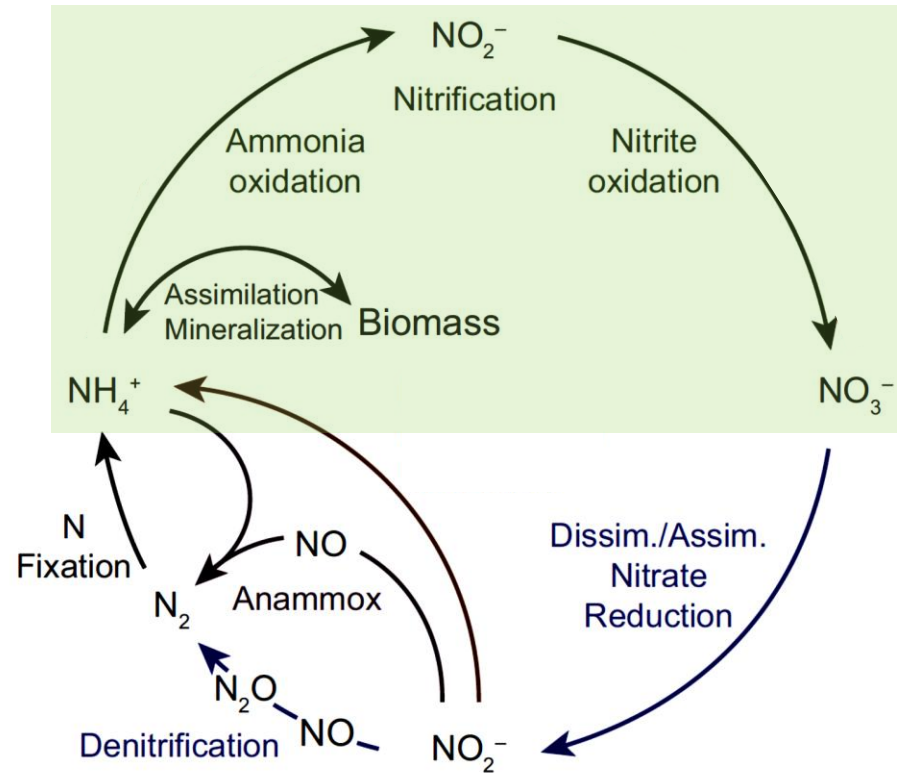
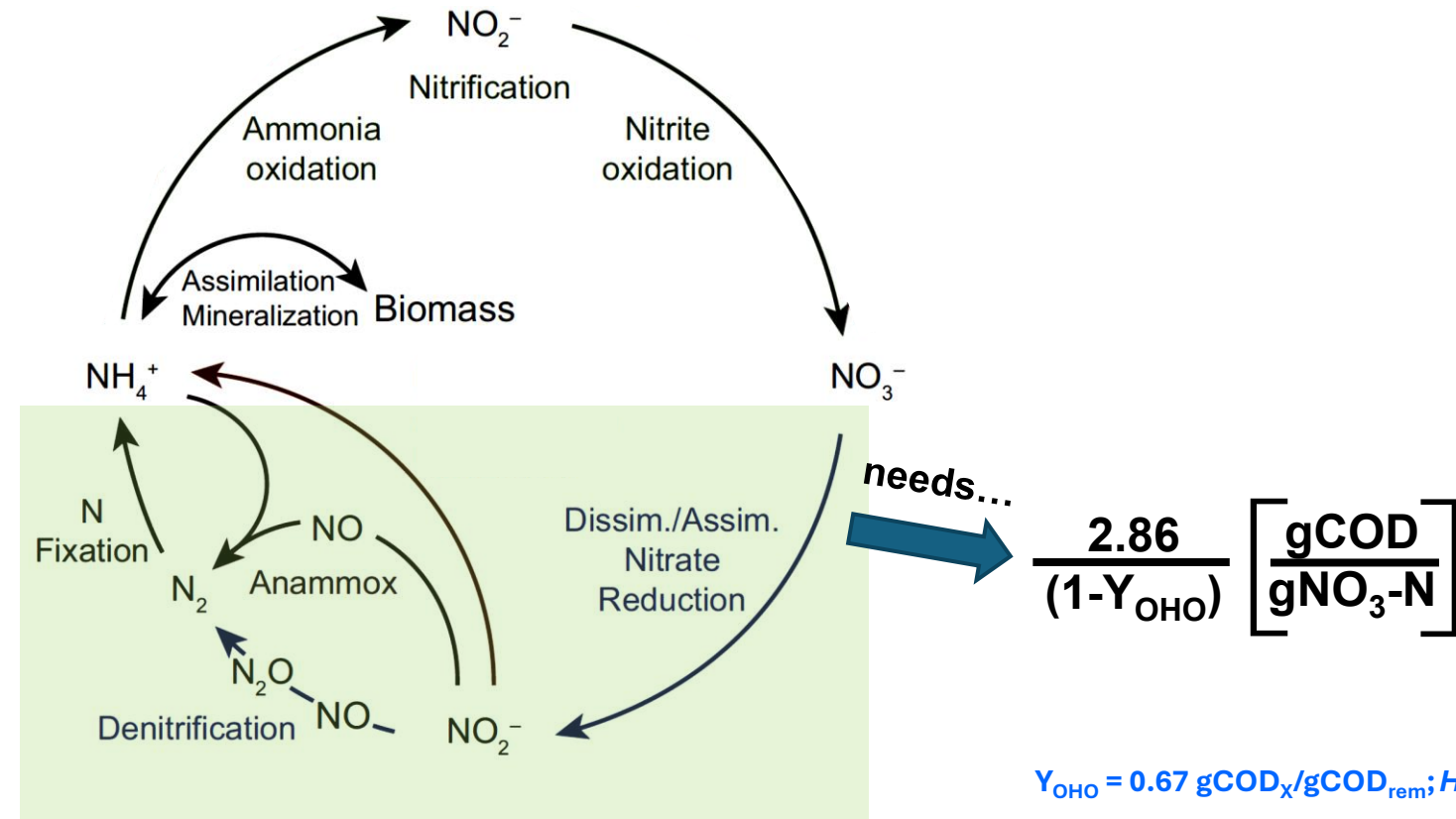


Figure adapted from Daims et al. (2016)

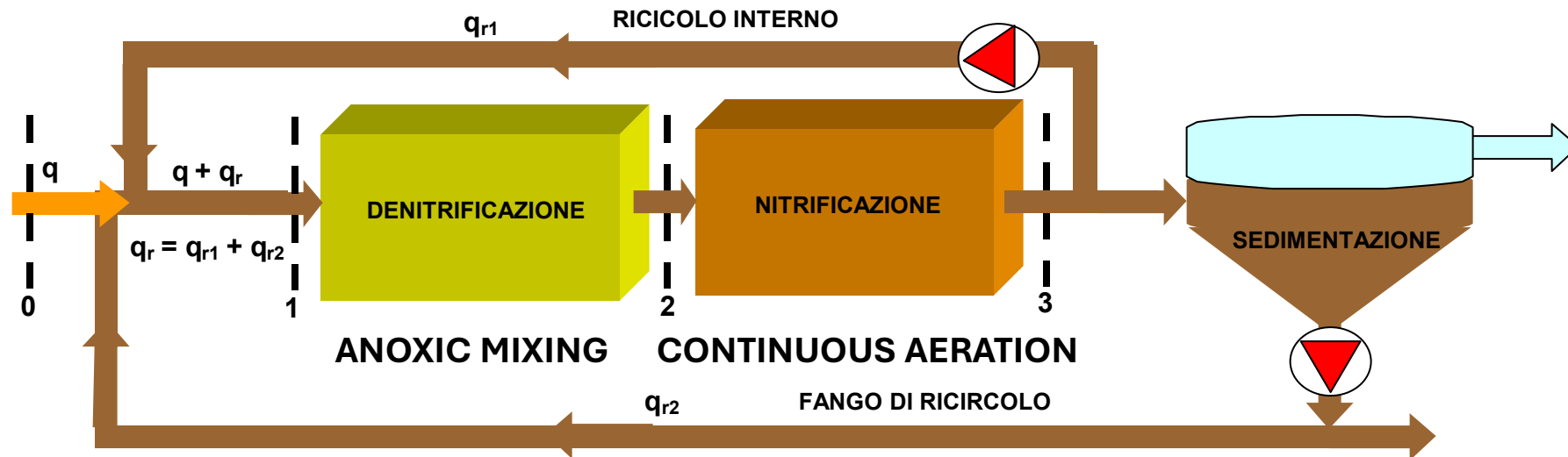
## IL PROBLEMA: *N-removal in low C/N WW*

I nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ) prodotti vengono ridotti ad azoto molecolare ( $\text{N}_2$ ) da microrganismi facoltativi eterotrofi (**OHO**) in ambiente anossico.



## LA RIMOZIONE BIOLOGICA DELL'AZOTO

A livello impiantistico la **rimozione biologica dell'azoto** richiede l'implementazione di appropriate unità di trattamento. Essendo un processo a due stadi, occorrono un bacino di ossidazione dell'ammonio a nitriti e nitrati (**nitrificazione**) e un bacino di riduzione dei nitrati ad azoto molecolare (**denitrificazione**). Lo schema di processo più ampiamente applicato è lo schema di **pre-denitrificazione con ricircolo interno di nitrati**.





## LA RIMOZIONE BIOLOGICA DELL'AZOTO

Nel caso di reflui a basso rapporto **C/N** vi è una limitazione da **e-donatore** necessario per il processo di denitrificazione eterotrofa.

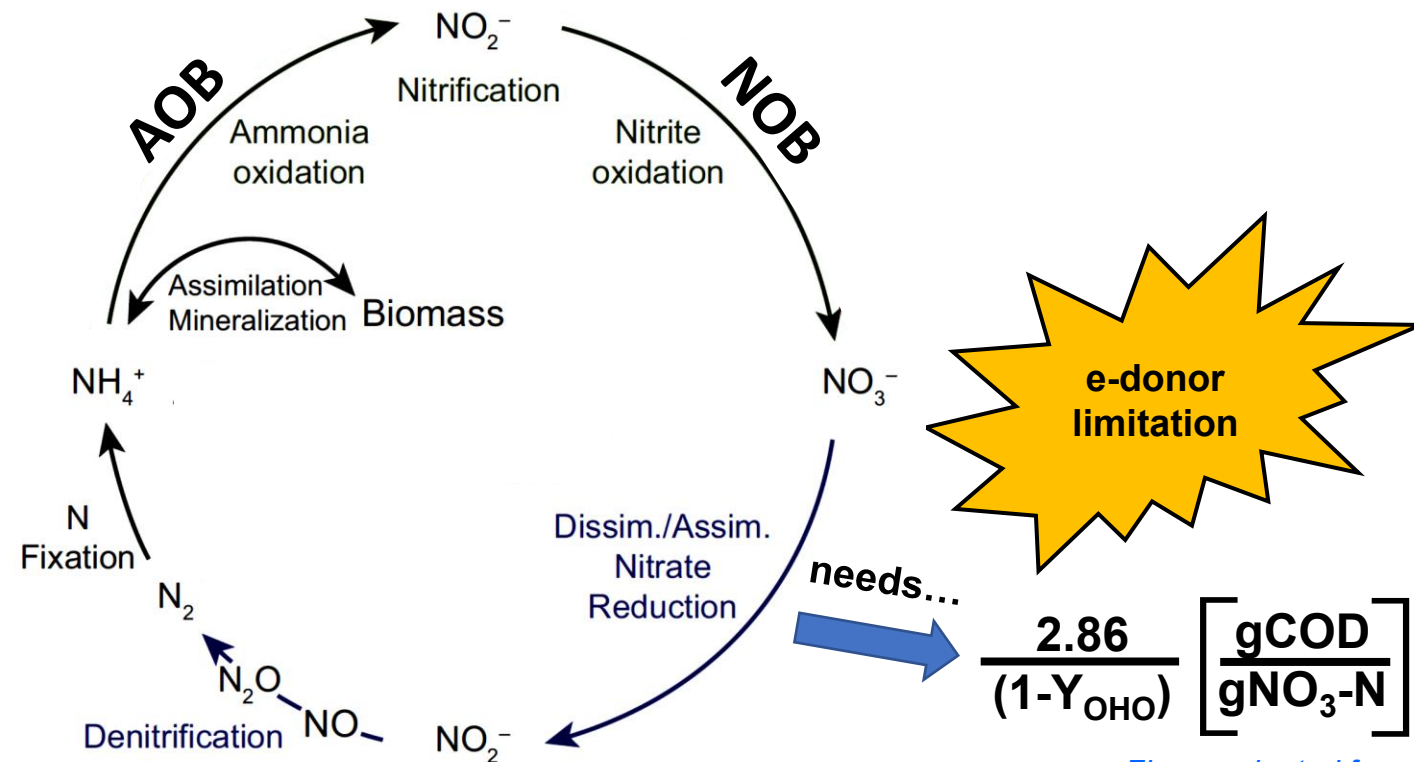


Figure adapted from Daims et al. (2016)

## LA RIMOZIONE BIOLOGICA DELL'AZOTO

La rimozione dell'azoto **via nitrito** appare molto più conveniente sia in fase aerobica (**nitritazione**) che in fase anossica (**denitrificazione**)

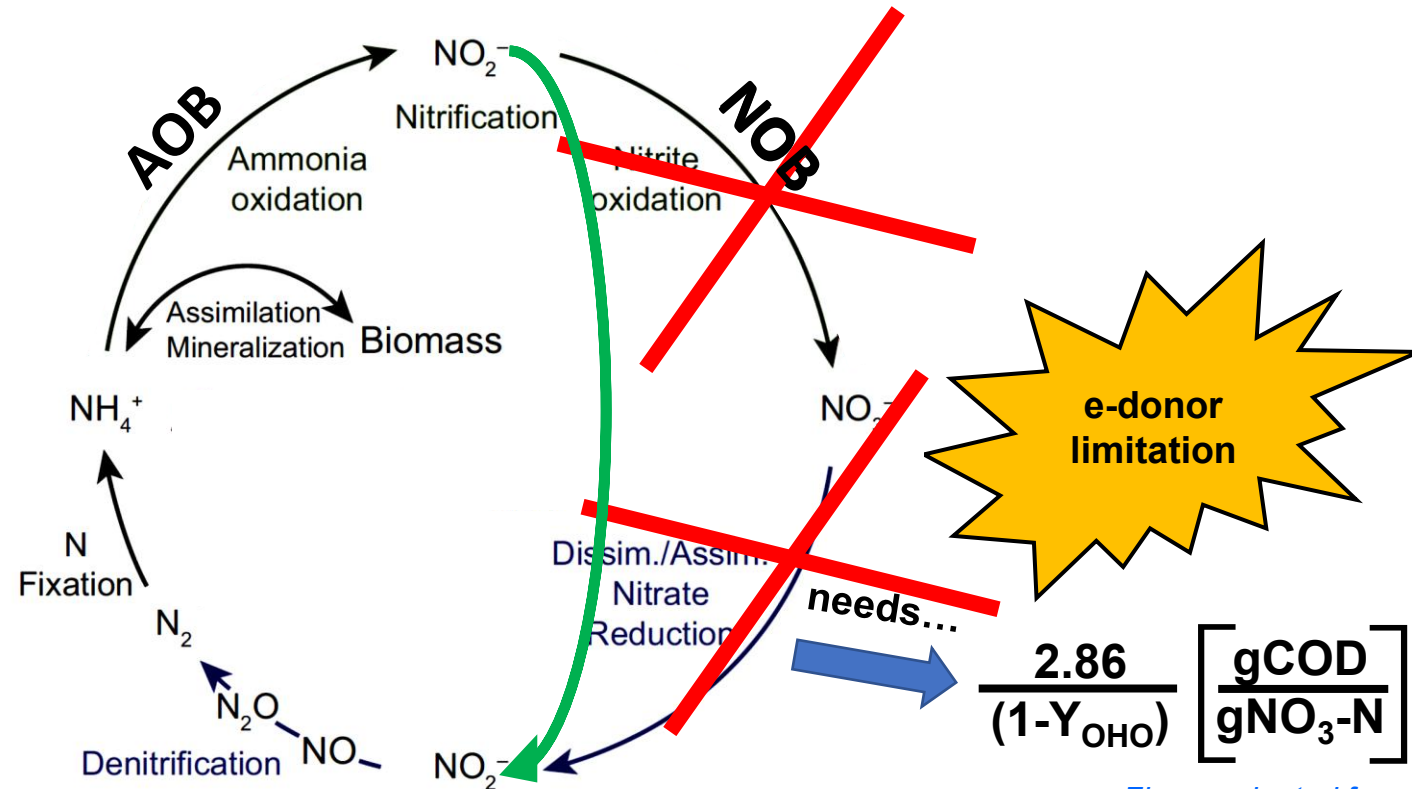
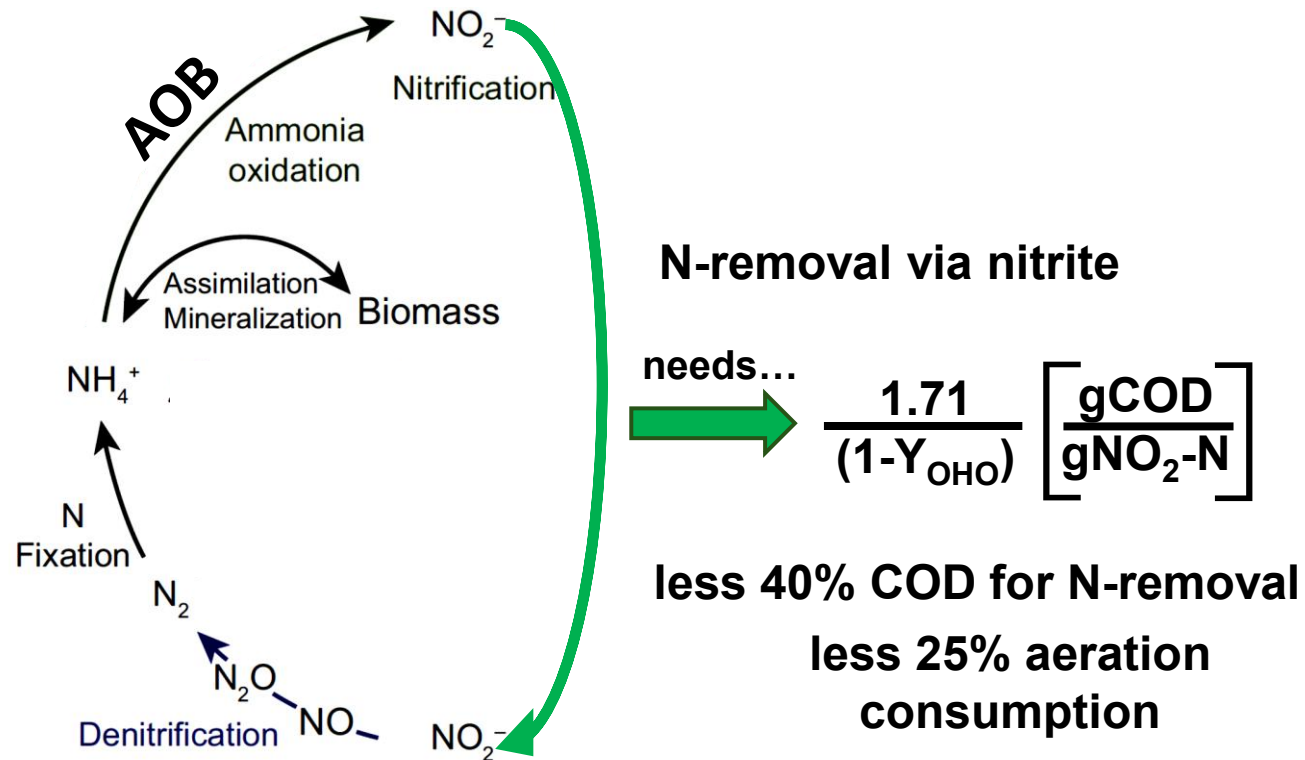


Figure adapted from Daims et al. (2016)

## LA RIMOZIONE BIOLOGICA DELL'AZOTO

Rimuovere l'azoto **via nitrito** comporta un risparmio in termini di consumo di aria ( $\approx$  - **25%**) visto che vi è solamente lo step ossidativo dell'ammonio a nitrito (**nitritazione**) e non vi è il secondo step di ossidazione da nitrito a nitrato.

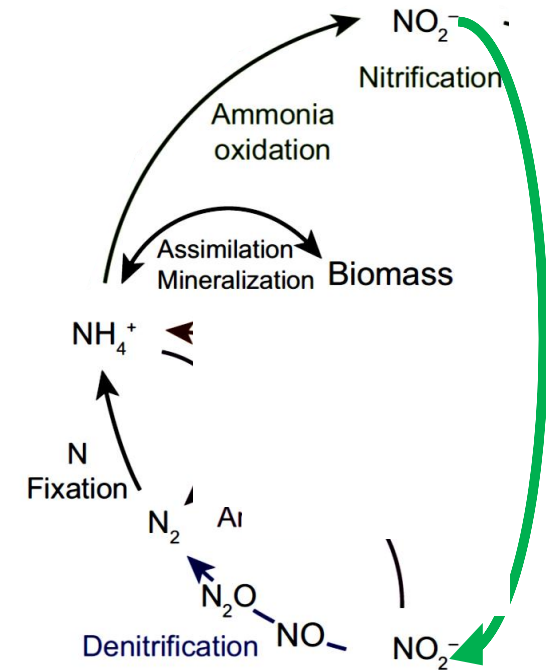
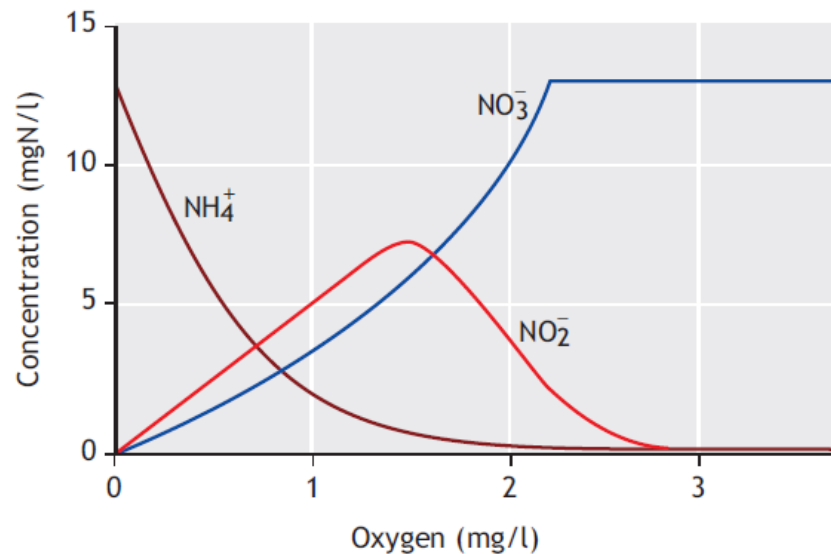


La rimozione dell'azoto **via nitrito** appare molto più conveniente dal punto di vista del COD necessario per la **denitrificazione** (- **40%** rispetto alla rimozione dell'azoto via nitrato)

## LA RIMOZIONE BIOLOGICA DELL'AZOTO

La soppressione dell'attività biologica degli **NOB** può essere ottenuta:

- (i) usando pressioni selettive (i.e. operare a  $SRT < SRT_{NOB} \rightarrow$  washout **NOB**)
- (ii) mantenendo basse concentrazioni di **ossigeno disciolto (DO)**, applicando condizioni sub-ottimali di pH, nitriti o ammonio, lavorando in condizioni di elevata salinità. Inoltre operando a  $T > 20^\circ C$ , gli **AOB** hanno un tasso di crescita più elevato rispetto agli **NOB**.



I batteri **AOB** hanno una affinità maggiore verso l'ossigeno disciolto ( $< K_{S,O}$ ) rispetto ai batteri **NOB**. Pertanto operando a basso **DO** è possibile sbilanciare la competizione **AOB-NOB** a favore degli **AOB**.

## La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

### ALCUNE TECNOLOGIE ....

Processi a **singolo stadio** autotrofo; processi applicati principalmente in **sidestream**



**Nitritazione/Denitrificazione** (processi autotrofi):

(**AOB**)  $\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N}$ , (**ANAMMOX**)  $\text{NH}_4\text{-N}, \text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{N}_2$

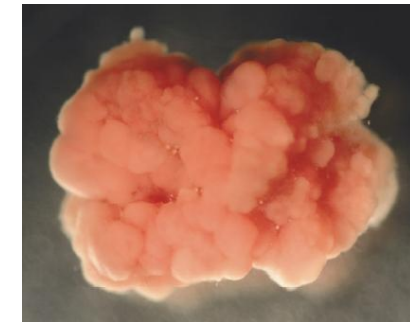
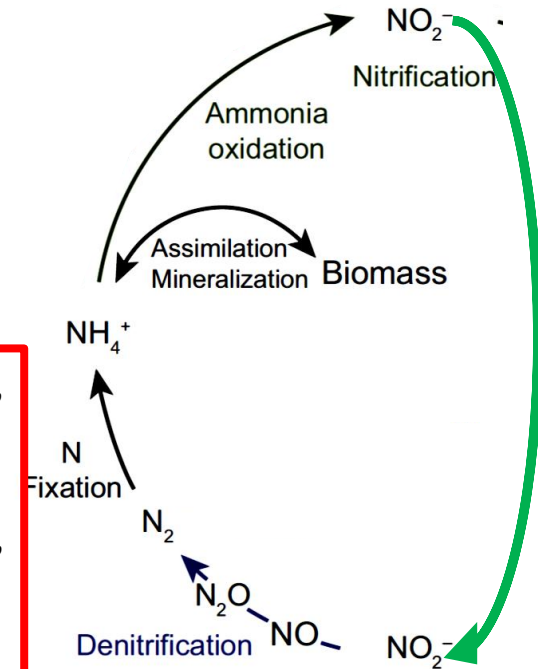
Processo **OLAND**® (Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification Denitrification); sidestream, effluent sludge digester

Processo **CANON**® (Completely Autotrophic Nitrogen removal Over Nitrite); sidestream, effluent sludge digester

Processo **DEMON**® (deammonification process in an SBR under pH control); sidestream, effluent sludge digester

Processo **SNAP**® (Single-stage Nitrogen removal using Anammox and Partial nitritation); sidestream, effluent sludge digester

Processo **ANITAmox**® (PN-anammox in MBBR o IFAS); sidestream, effluent sludge digester

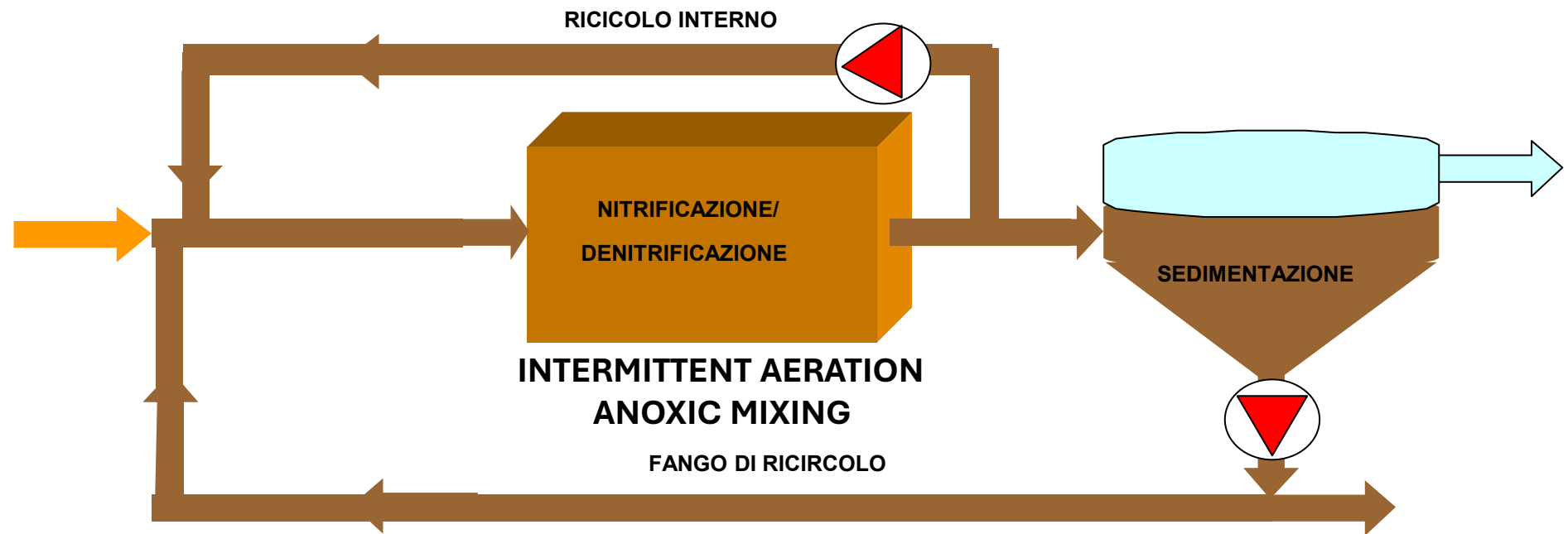




### ALCUNE TECNOLOGIE ....

#### Processi ad **aerazione intermittente**; processi applicati in **mainstream**

Laddove vi siano limiti di spazio per la realizzazione di un bacino di denitrificazione, la rimozione dell'azoto può essere ottenuta attraverso l'alternanza di fasi aerate (**aerobiche**) e fasi non aerate (**anossiche**), ottenendo così un processo ad **aerazione intermittente**. Tale soluzione prevede l'installazione di mixer meccanici per garantire la completa miscelazione quando l'aerazione è spenta.

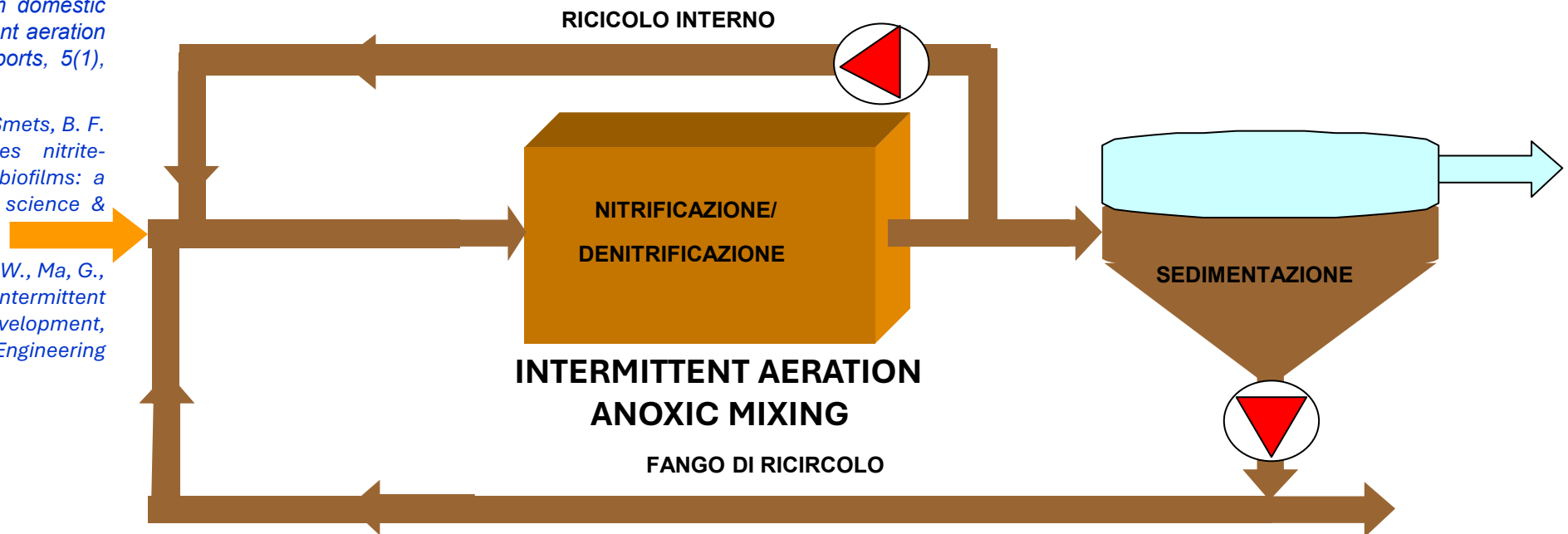


## ALCUNE TECNOLOGIE ....

Processi ad **aerazione intermittente**; processi applicati in **mainstream**

L'applicazione dell'**aerazione intermittente** rientra tra le strategie di soppressione dell'attività biologica degli **NOB** → strategia ideale per la rimozione biologica dell'azoto da reflui caratterizzati da basso **C/N**

- Ma, B., Bao, P., Wei, Y., Zhu, G., Yuan, Z., & Peng, Y. (2015). Suppressing nitrite-oxidizing bacteria growth to achieve nitrogen removal from domestic wastewater via anammox using intermittent aeration with low dissolved oxygen. *Scientific reports*, 5(1), 13048.
- Ma, Y., Domingo-Felez, C., Plósz, B. G., & Smets, B. F. (2017). Intermittent aeration suppresses nitrite-oxidizing bacteria in membrane-aerated biofilms: a model-based explanation. *Environmental science & technology*, 51(11), 6146-6155.
- Miao, Y., Zhang, L., Yu, D., Zhang, J., Zhang, W., Ma, G., ... & Peng, Y. (2022). Application of intermittent aeration in nitrogen removal process: development, advantages and mechanisms. *Chemical Engineering Journal*, 430, 133184.



## CASO STUDIO: Aerazione intermittente applicato alle condizioni di Gagliano Castelferrato

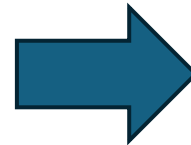
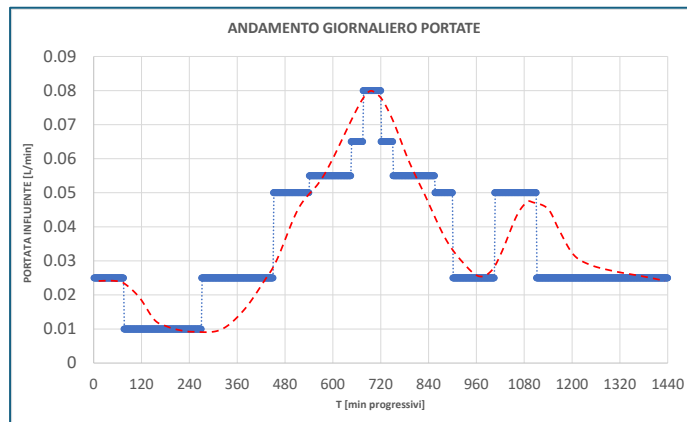
Lo studio è stato condotto con refluo sintetico preparato sulla base della “baseline” in input presso l’impianto di Gagliano (EN). L’influente era caratterizzato da un basso rapporto **carbonio/azoto (C/N)**. La sperimentazione si è espletata in piu step:

- **STEP 1:** analisi del funzionamento di un impianto convenzionale a fanghi attivi (CAS), per la rimozione dello solo carbonio organico.
- **STEP 2:** analisi del processo intermittente con “strategia temporizzata ON/OFF” per la rimozione nella stessa vasca di carboni e azoto. Tre differenti scenari di aerazione-non aerazione ...

Days	STEP	Phase	Aer. ON	Aer. OFF	C/N
1-49	STEP 1	CA	$\infty$ min	0 min	3,5
50-105	STEP2,a	IA <sub>temp</sub>	60 min	45 min	3,5
	STEP2,b		85 min	65 min	3,5
	STEP2,c		80 min	80 min	5

# La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

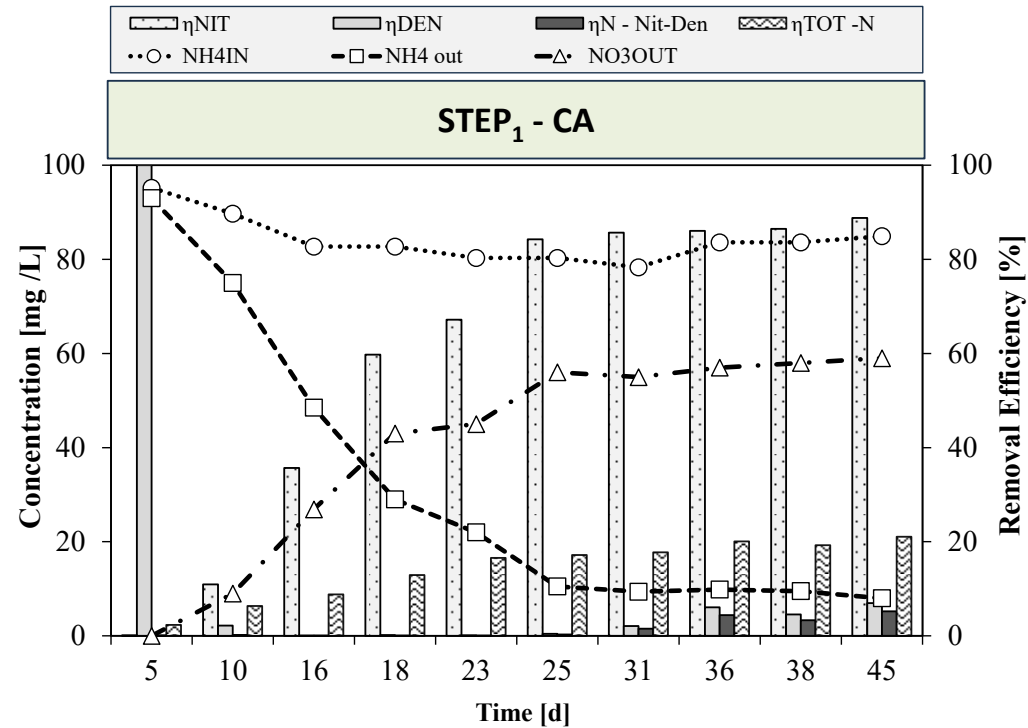
## CASO STUDIO: L'impianto Pilota in bench scale



# La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

## CASO STUDIO: STEP 1

STEP	Phase	Aer. ON	Aer. OFF	C/N
STEP 1	CA	$\infty$ min	0 min	3,5



$$\eta_{NIT} \approx 88\%$$

$$\eta_{DEN} \approx 4\%$$

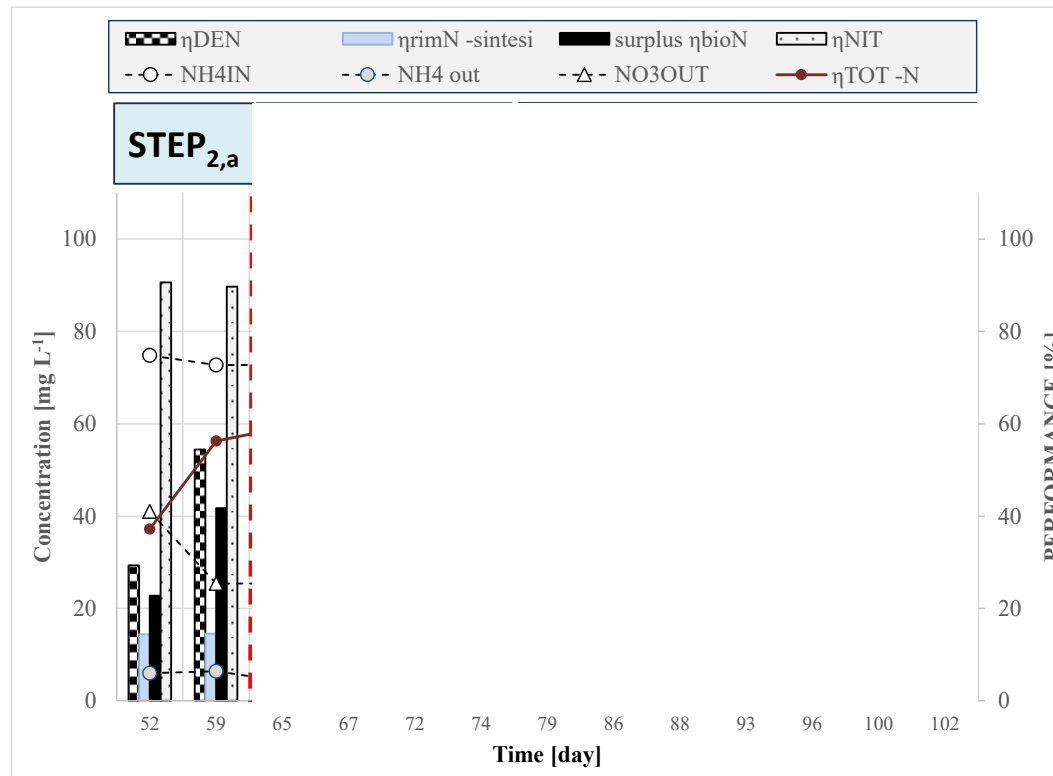
$$\eta_{N_{tot}} \approx 18\%$$



# La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

## CASO STUDIO: STEP 2a

STEP	Phase	Aer. ON	Aer. OFF	C/N
STEP 2a	IA <sub>temp</sub>	60 min	45 min	3,5

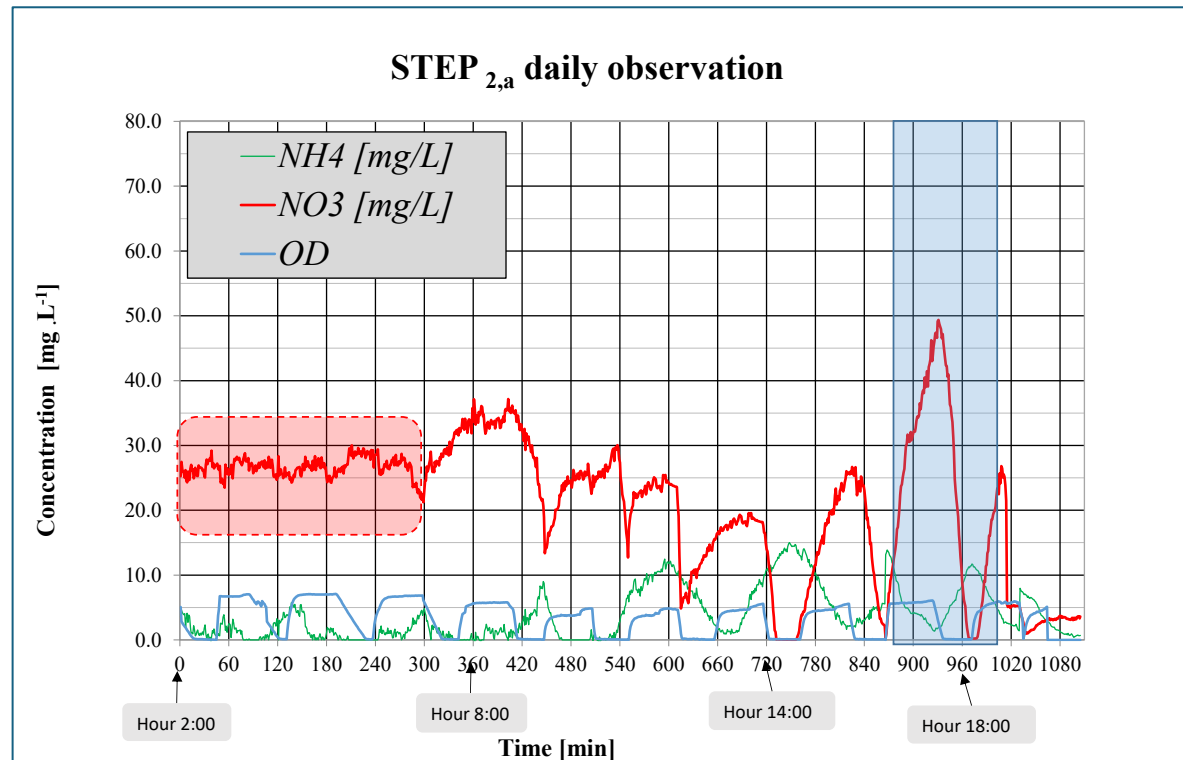


$$\eta_{NIT} \approx 90\%$$

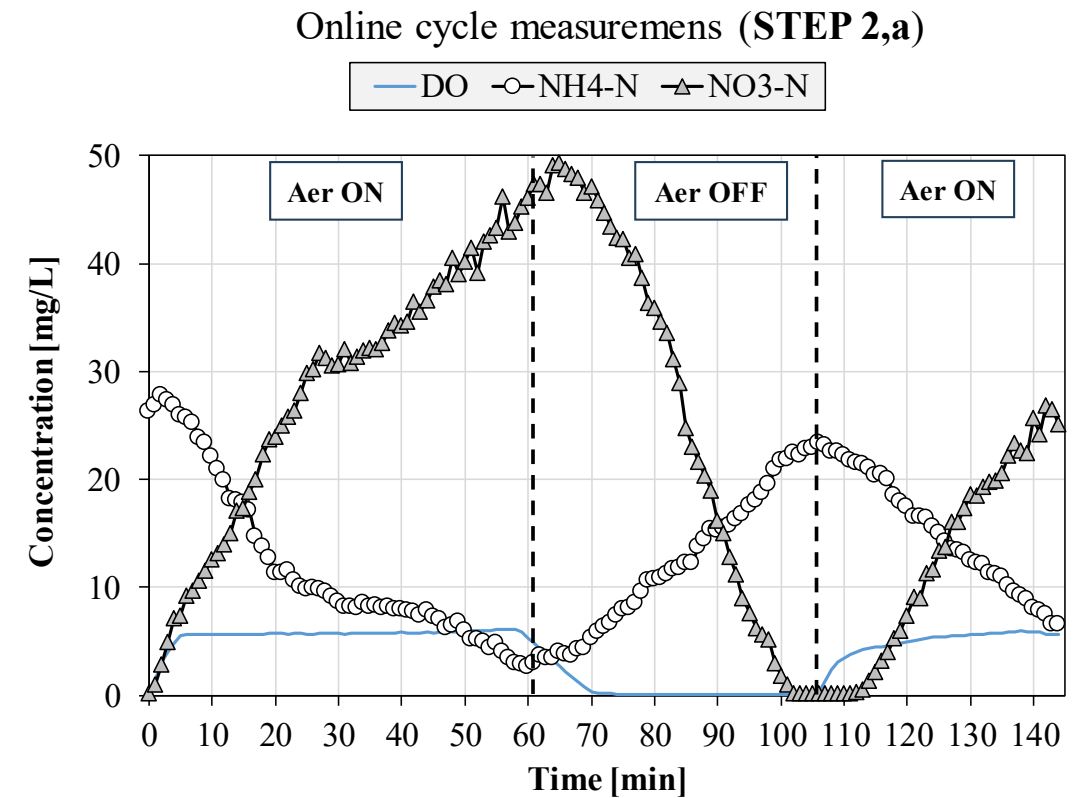
$$\eta_{DEN} \approx 30-50\%$$

$$\eta_{Ntot} \approx 56\%$$

## CASO STUDIO: Registrazioni Sonde STEP 2a



Ciclo giornaliero (24 h)

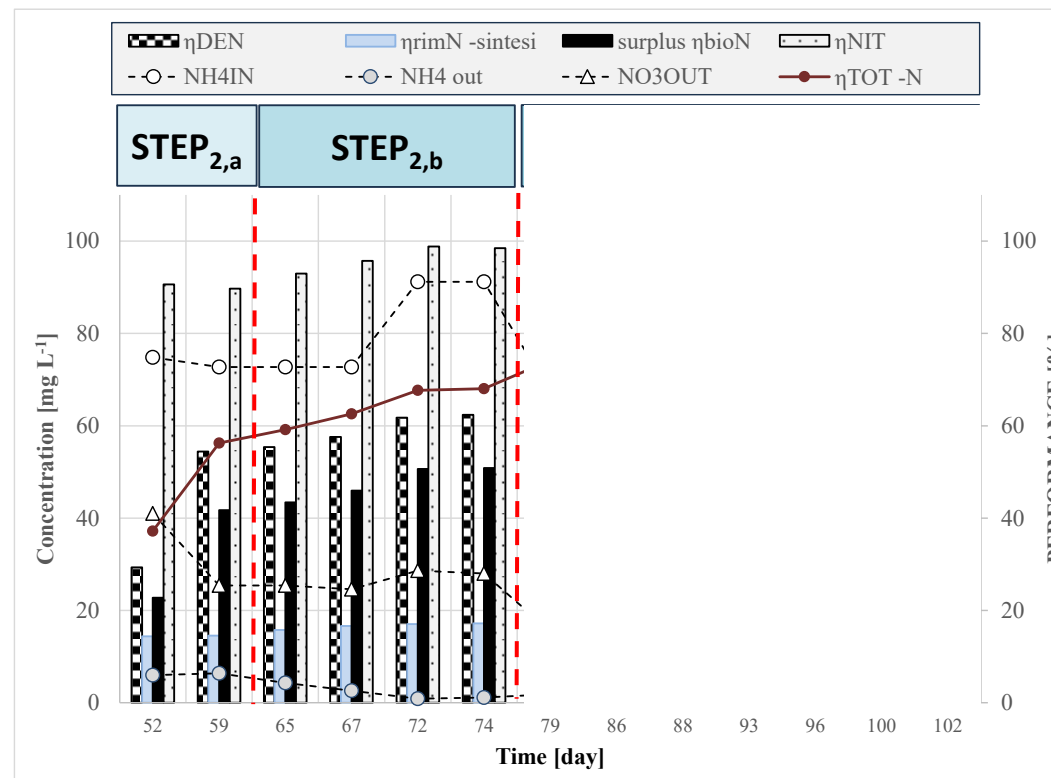


Zoom ciclo

# La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

## CASO STUDIO: Risultati STEP 2b

STEP	Phase	Aer. ON	Aer. OFF	C/N
STEP 2b	IA <sub>temp</sub>	85 min	65 min	3,5

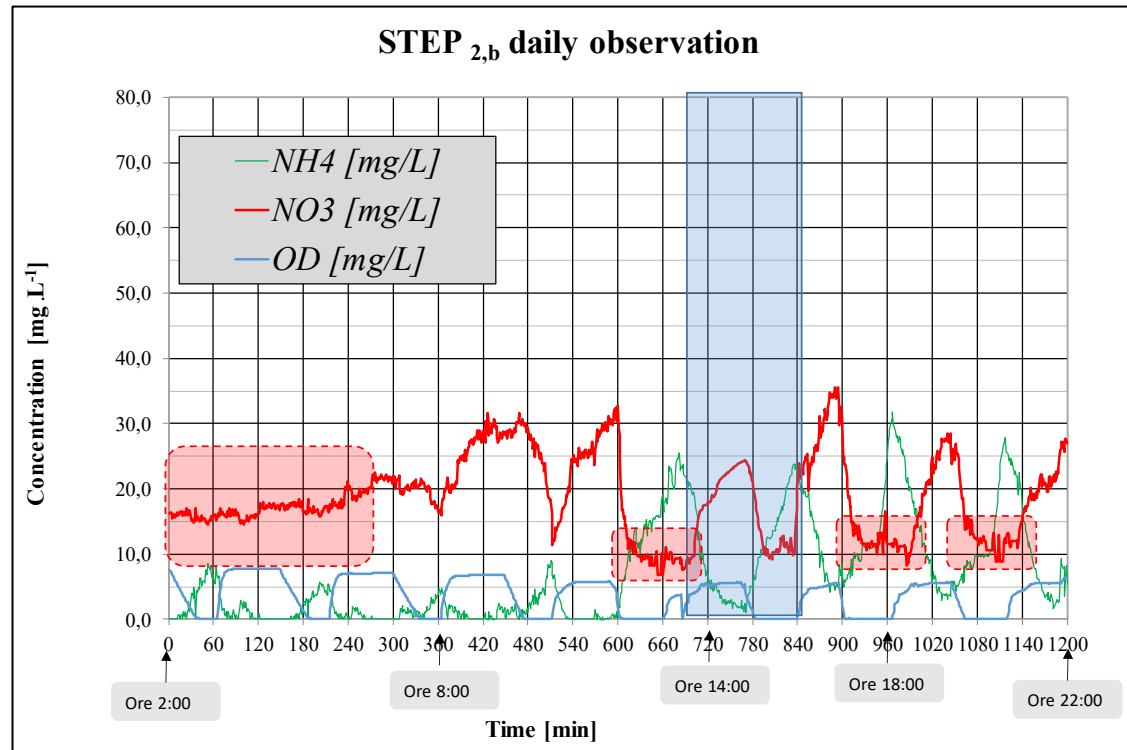


$$\eta_{NIT} \approx 98\%$$

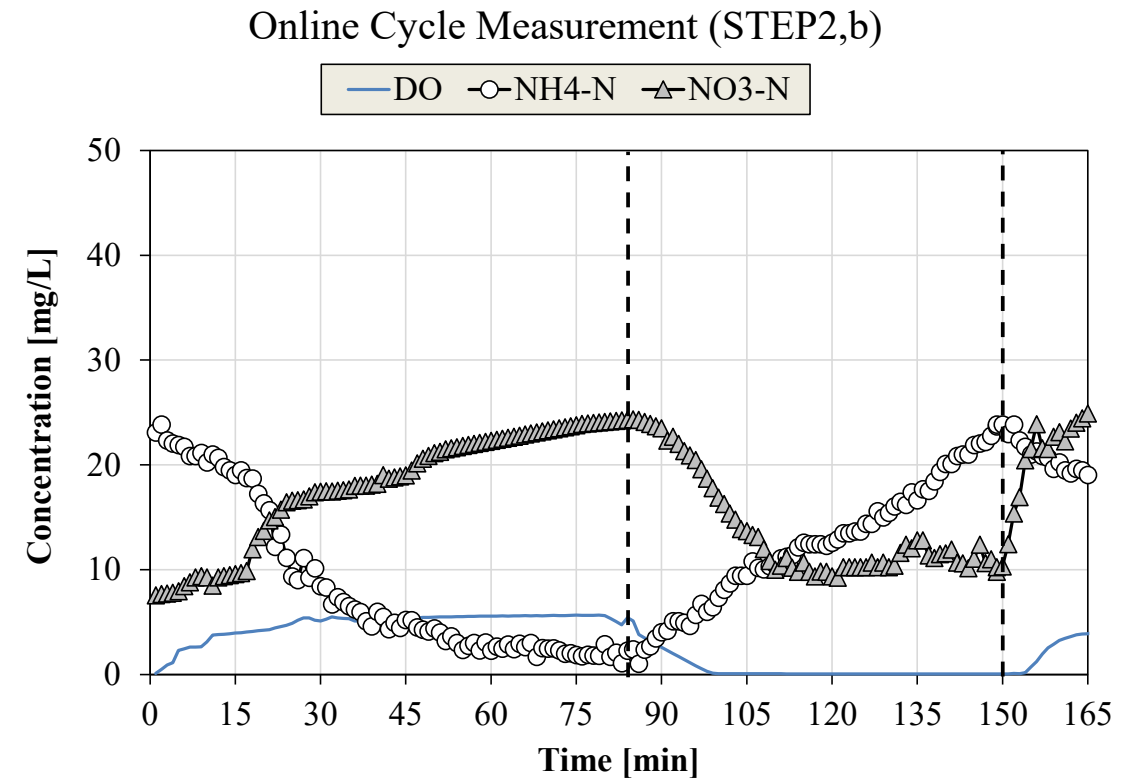
$$\eta_{DEN} \approx 60\%$$

$$\eta_{Ntot} \approx 68\%$$

## CASO STUDIO: Registrazioni Sonde STEP 2b



Ciclo giornaliero (24 h)

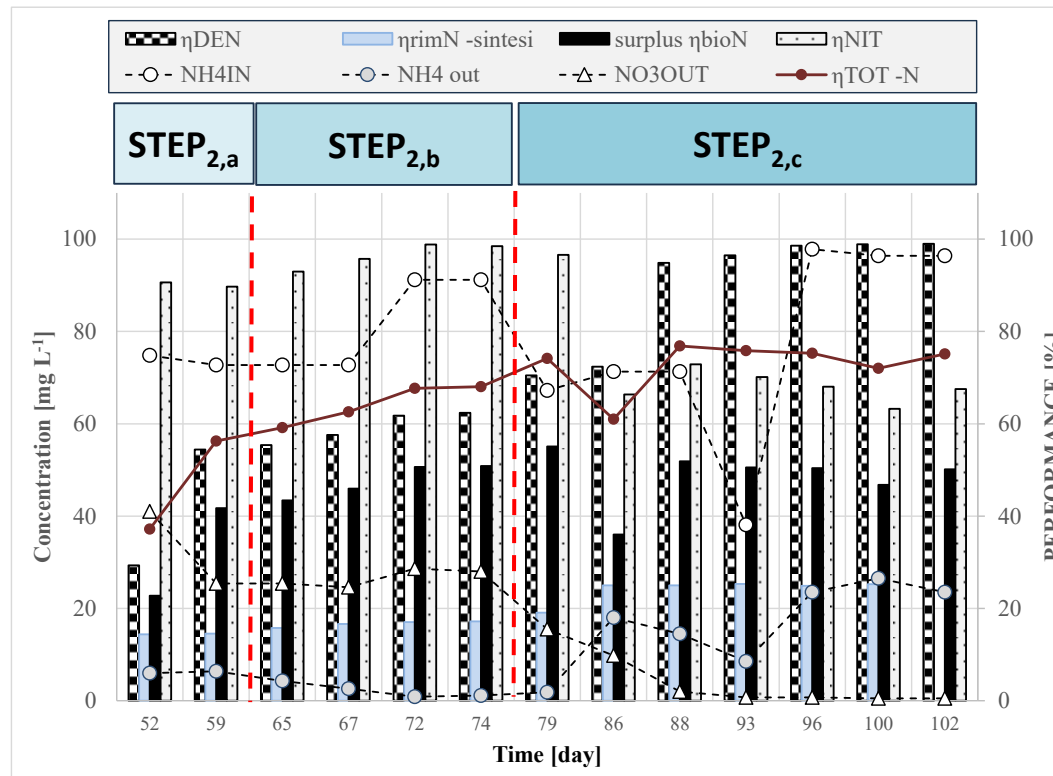


Zoom ciclo

# La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

## CASO STUDIO: Risultati STEP 2c

STEP	Phase	Aer. ON	Aer. OFF	C/N
STEP 2c	IA <sub>temp</sub>	80 min	80 min	5



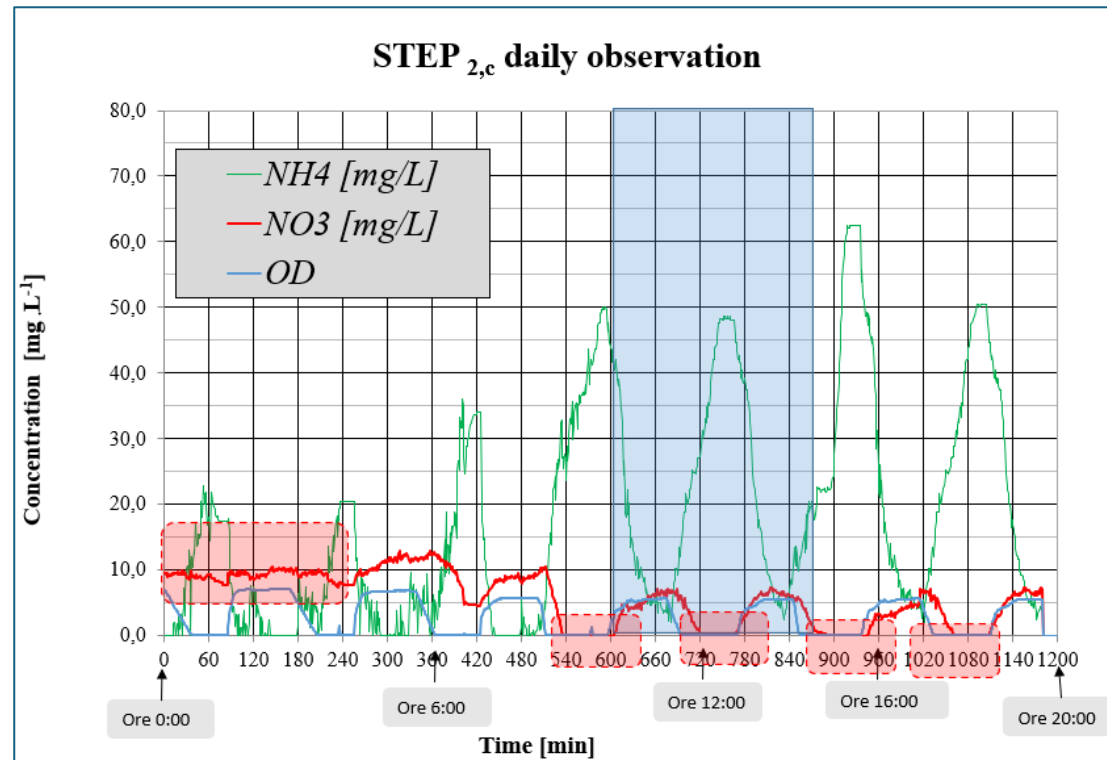
$$\eta_{NIT} \approx 65\%$$

$$\eta_{DEN} \approx 98\%$$

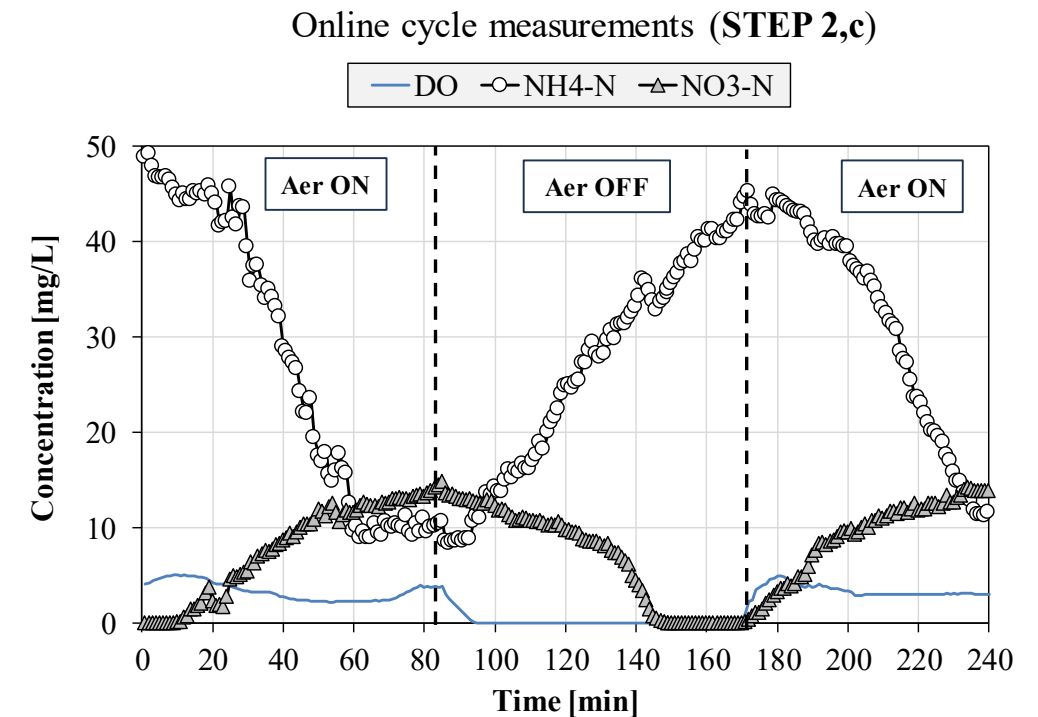
$$\eta_{Ntot} \approx 66\%$$



## CASO STUDIO: Registrazioni Sonde STEP 2c



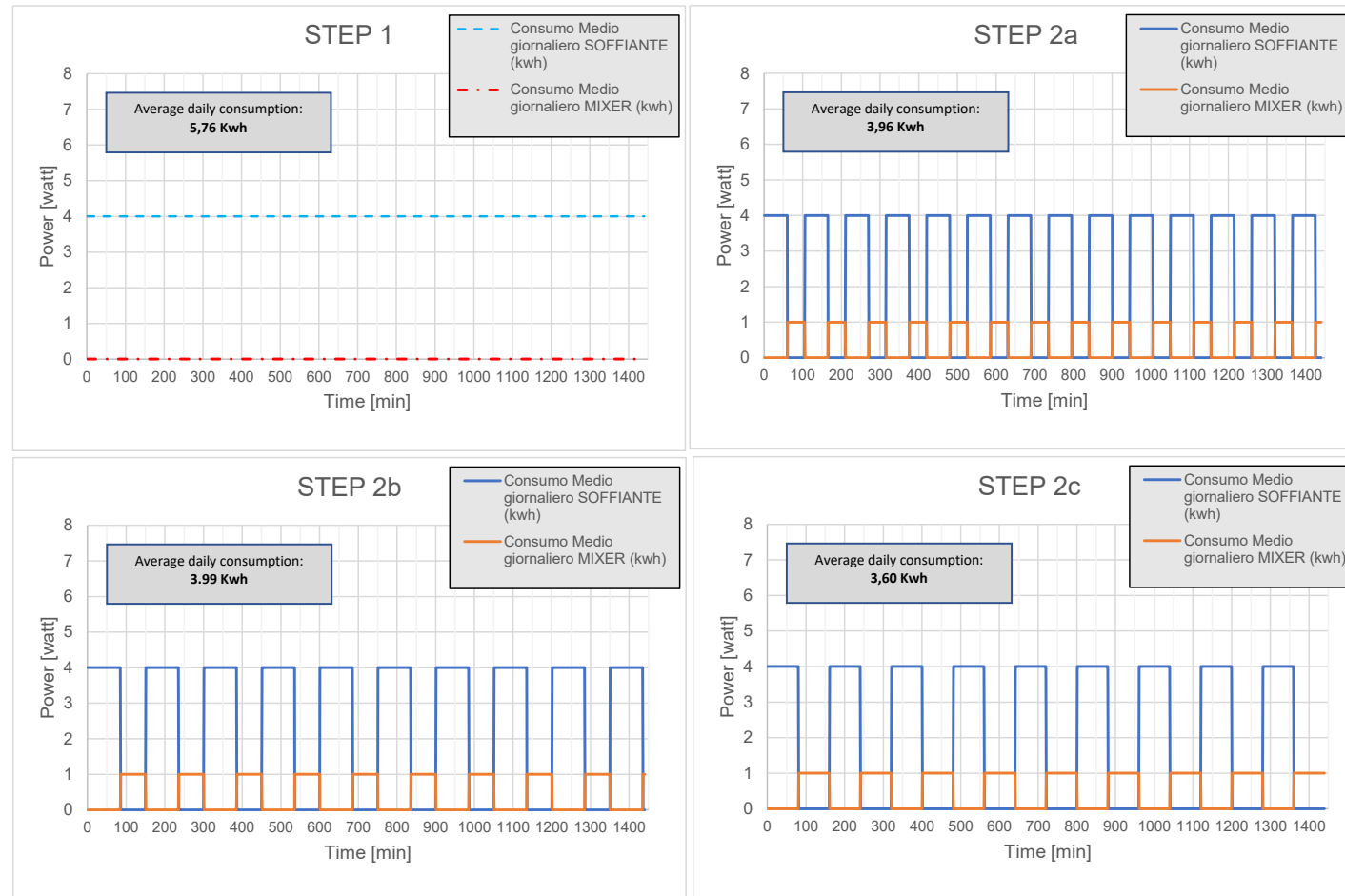
Ciclo giornaliero (24 h)



Zoom ciclo

# La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

## CASO STUDIO: Consumi energetici

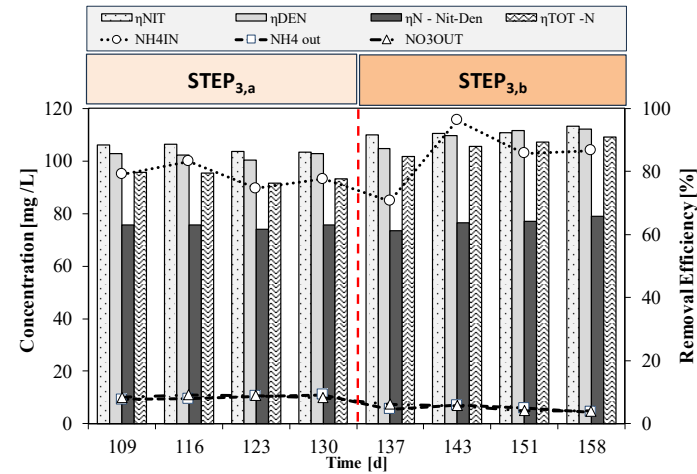


## CASO STUDIO: STEP 3 controllo SONDE

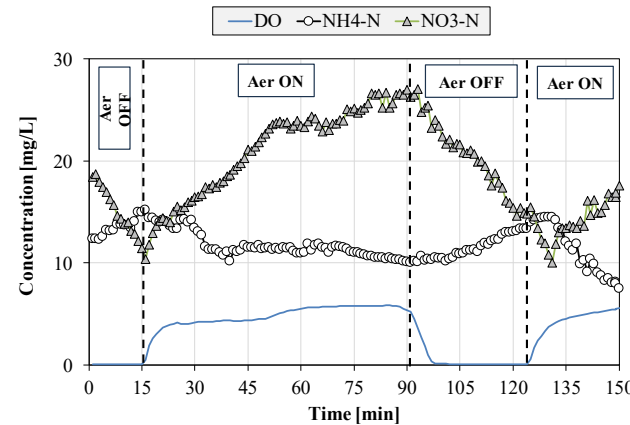
Operational days	STEP	Phase	Sub-phase	AERATION		C/N
				ON (min)	OFF (min)	
0-49	STEP 1	CA	--	$\infty$	0	3,5
50-63	STEP 2	IA <sub>T</sub>	Step2,a	60	45	3,5
64-77			Step2,b	85	65	3,5
78-105			Step2,c	80	80	5
106-133	STEP 3	IA <sub>P</sub>	Step3,a	Set points control SET A1 (NO <sub>3</sub> -N = 10 mg/L; NH <sub>4</sub> -N = 30 mg/L)	Set points control SET A1 (NO <sub>3</sub> -N = 30 mg/L; NH <sub>4</sub> -N = 10 mg/L)	3,5
134-160			Step3,b	Set points control SET A2 (NO <sub>3</sub> -N = 5 mg/L; NH <sub>4</sub> -N = 20 mg/L)	Set points control SET A2 (NO <sub>3</sub> -N = 20 mg/L; NH <sub>4</sub> -N = 5 mg/L)	5

# La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

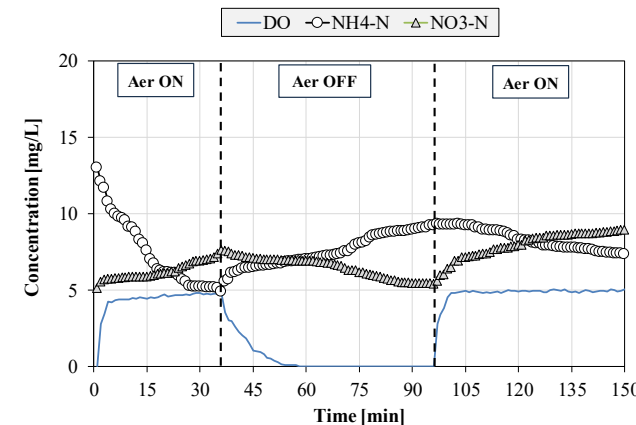
## CASO STUDIO: STEP 3 controllo SONDE



Online cycle measurements (STEP 3,a)



Online cycle measurements (STEP 3,b)

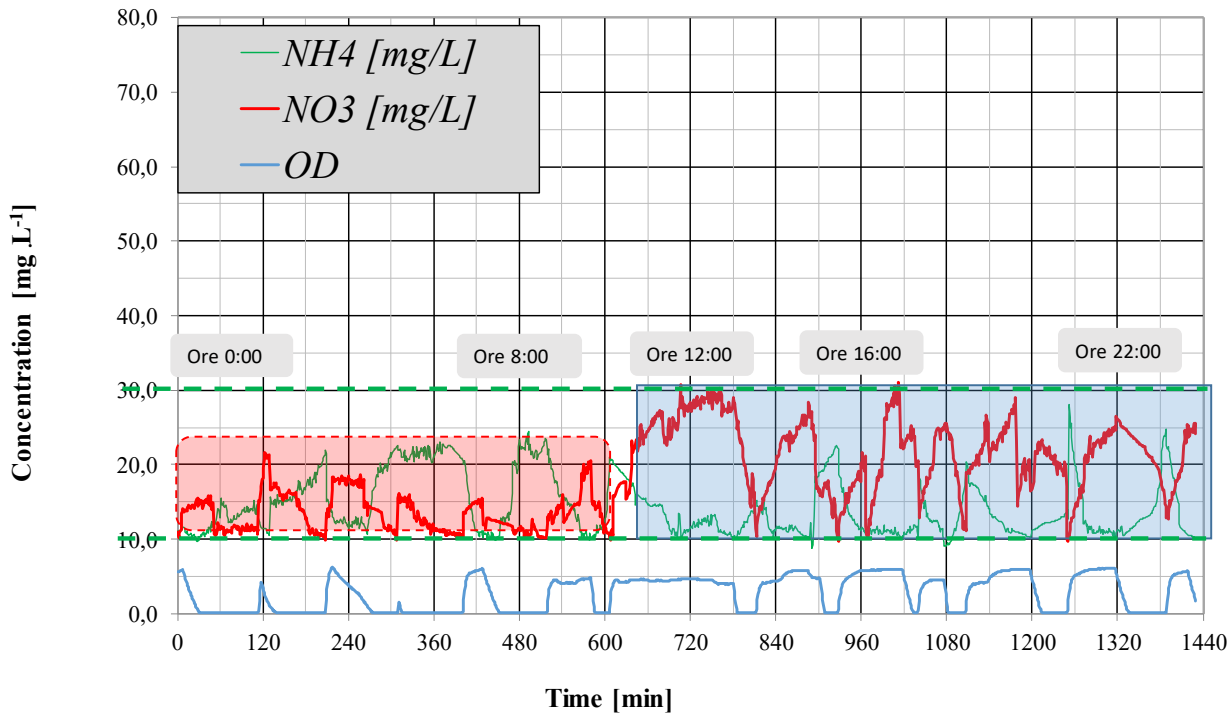


$\eta_{NIT} \approx 88\%$   
 $\eta_{DEN} \approx 83\%$   
 $\eta_{Ntot} \approx 79\%$

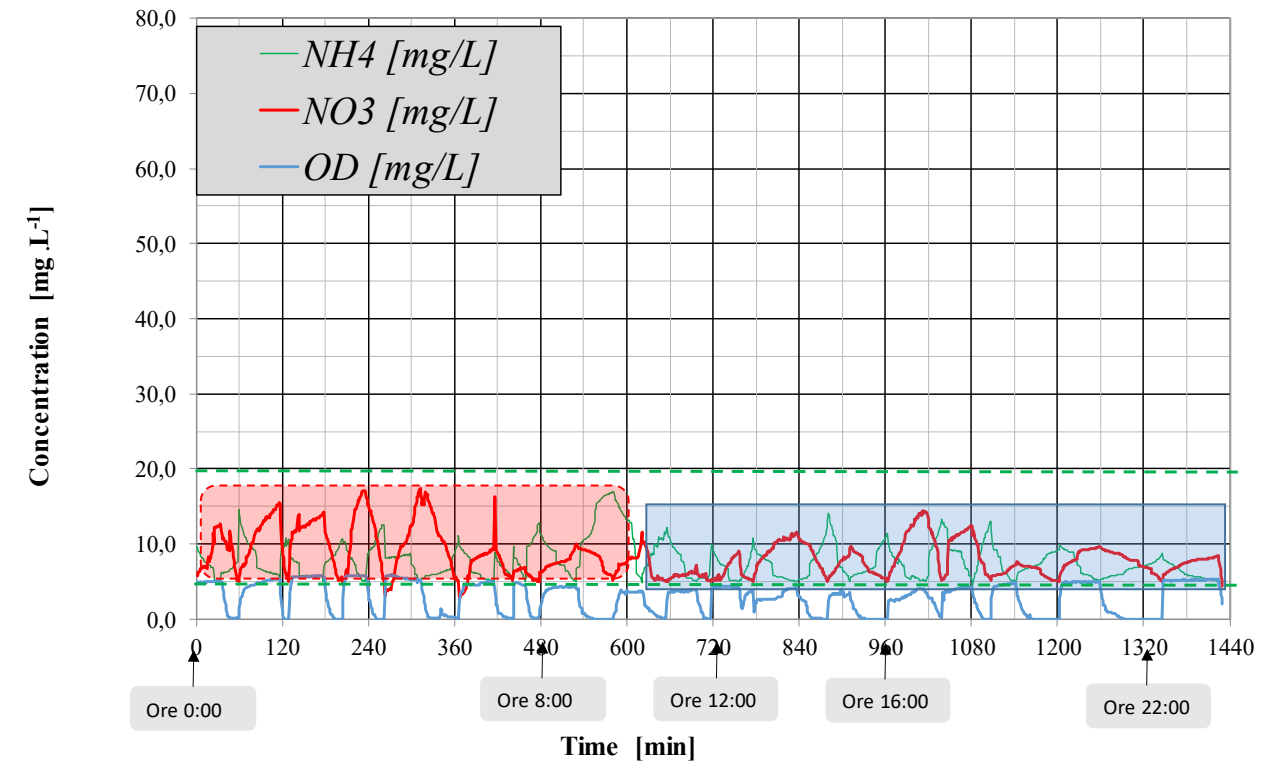
$\eta_{NIT} \approx 92\%$   
 $\eta_{DEN} \approx 88\%$   
 $\eta_{Ntot} \approx 86\%$

## CASO STUDIO: STEP 3 controllo SONDE

STEP <sub>3,a</sub> daily observation



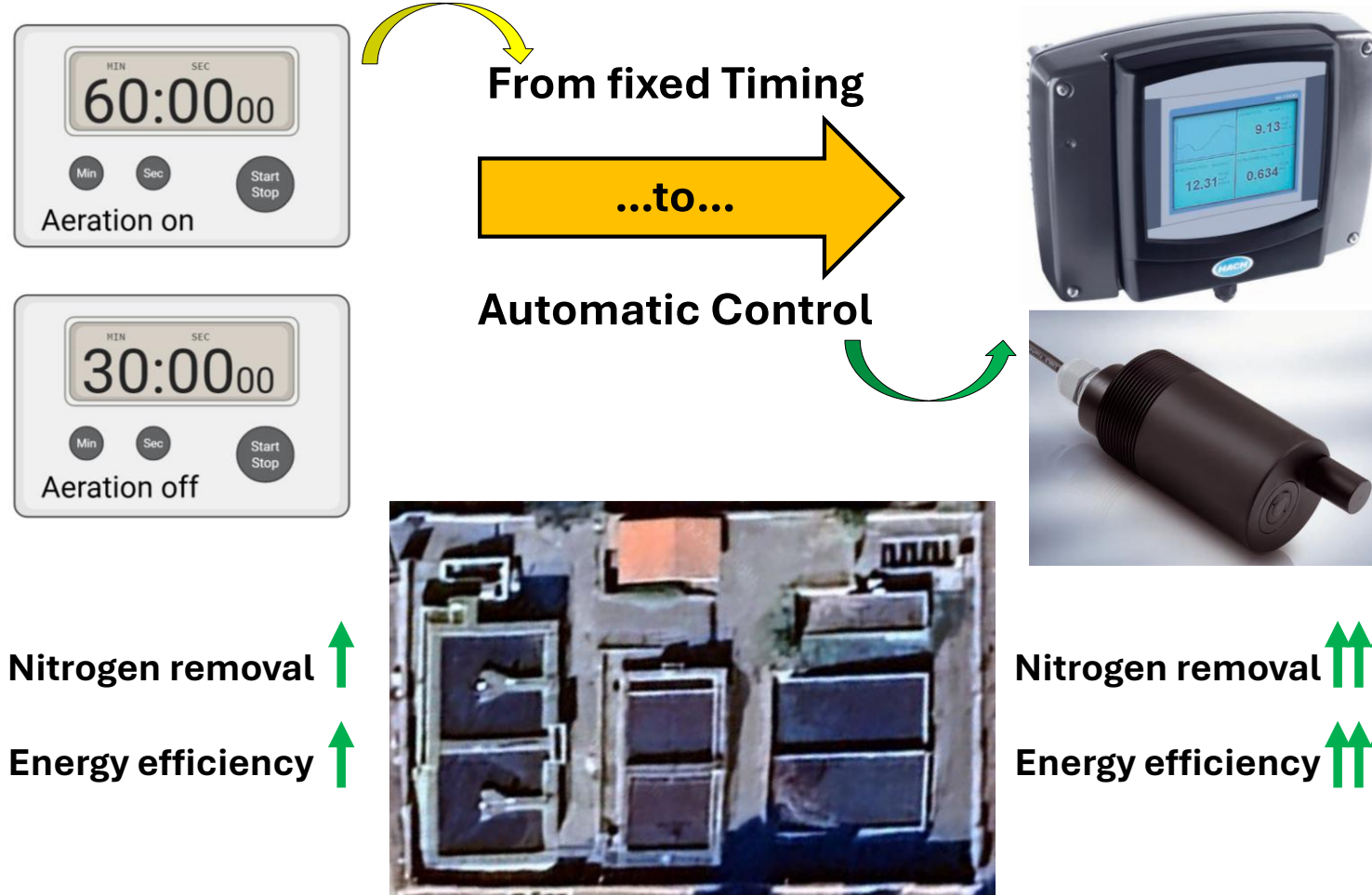
STEP <sub>3,b</sub> daily observation





# La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

## PROSPETTIVE: applicazione in full scale



### CONCLUSIONI: primi risultati

- In presenza di un **idoneo rapporto C/N** (almeno 4.5-5), la strategia «intermittente» può essere «controllata» dalla semplice temporizzazione se e solo se il refluo in ingresso è qualitativamente poco variabile: in alternativa l'equalizzazione potrebbe compensare la variabilità «giorno-notte», rendendo più omogenei i processi di nitro-denitro.
- In presenza di un **basso rapporto C/N** (almeno 3.5 o inferiore), la strategia «intermittente» è eccessivamente limitata e il «mero controllo temporale» non garantisce le efficienze necessarie. In questo caso è consigliato procedere con strategie di gestione più (sito)specifiche, prevedendo l'utilizzo di sonde per il «controllo intelligente» del processo (i.e. controllo del processo nitro-denitro entro specifici set-points e/o controllo dell'immissione d'aria in modo da sbilanciare la fase riduttiva degli NOx verso la denitrificazione), in supporto e in alternativa al dosaggio di carbonio esterno!!!.

*In progress ... for the future*

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

## Acknowledgments

*"Smartee-Plants: Smart Energy-Efficiency wastewater treatment Plants"  
project funded by "Programma Operativo F.E.S.R. Sicilia 2014/2020 l'Azione  
1.1.5", Sicily, Italy.*