

Palermo, 1 Agosto 2025



ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI PALERMO



Università  
degli Studi  
di Palermo



## 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

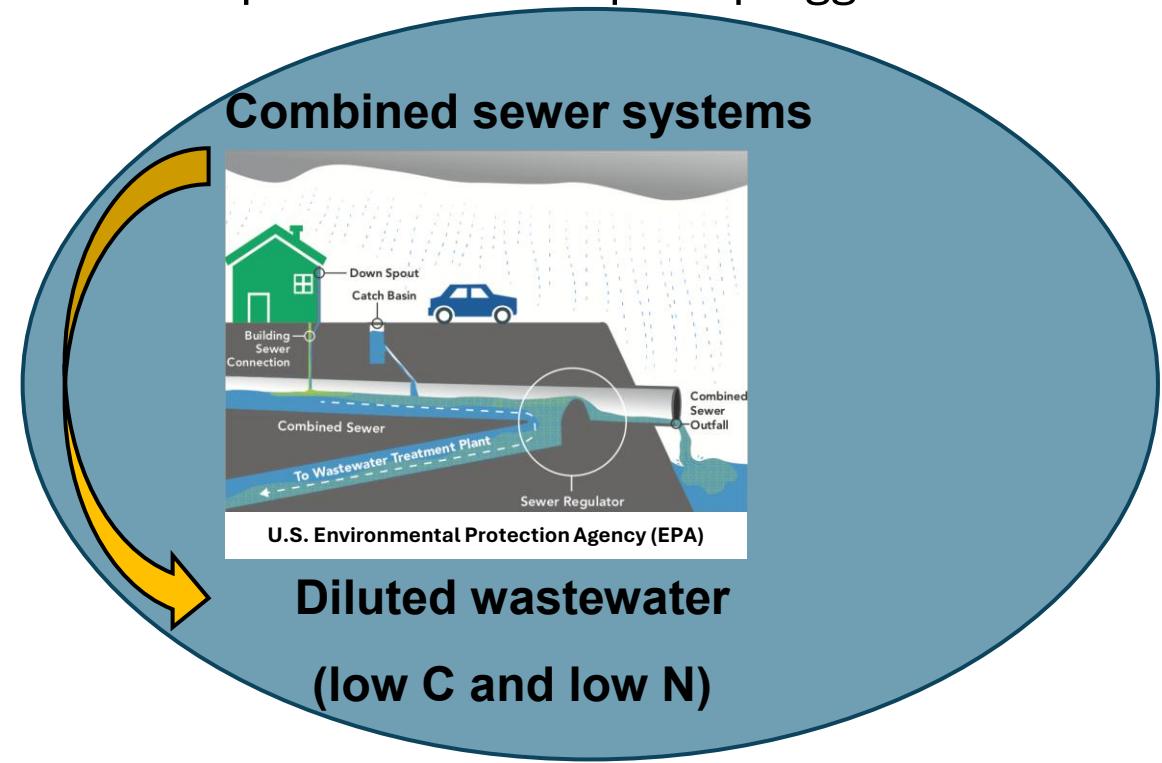
## La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

### 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*

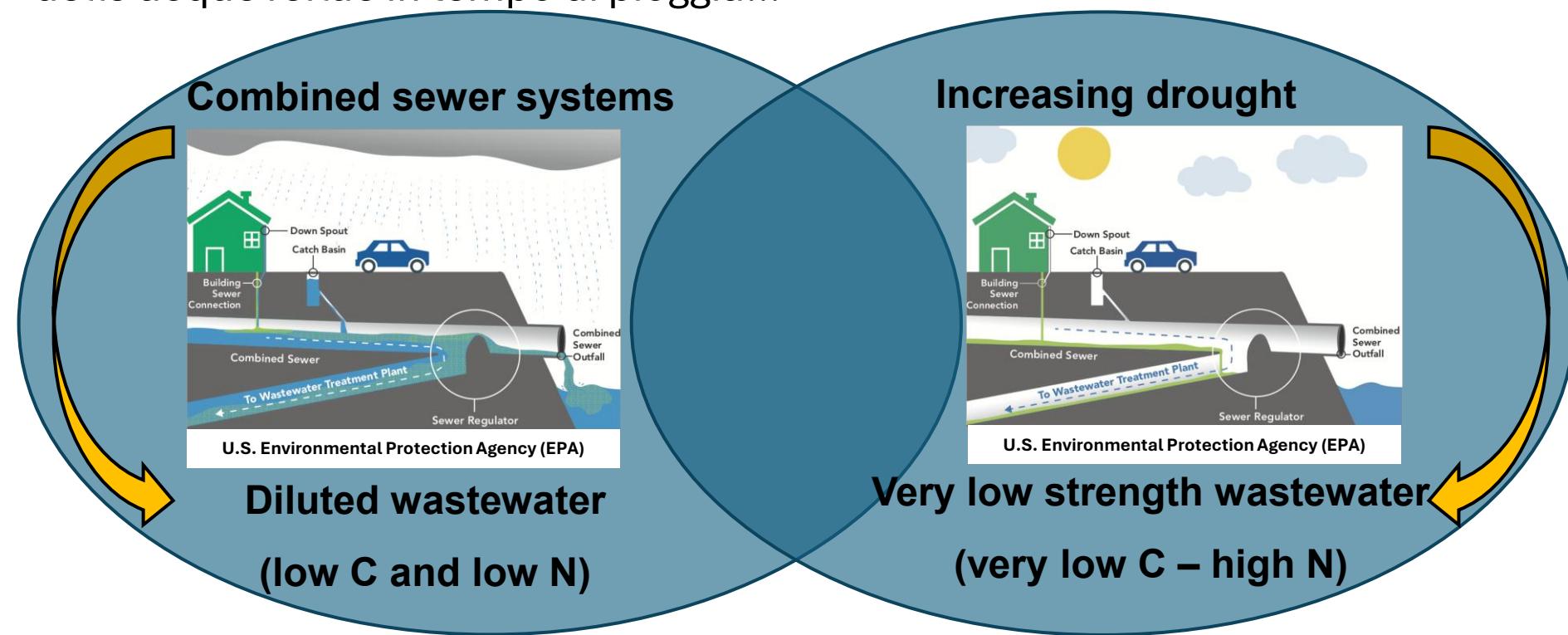
L'effetto combinato di sistemi fognari di **tipo unitario (acque nere + acque di pioggia)** → effetto diluizione delle acque reflue in tempo di pioggia.



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

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

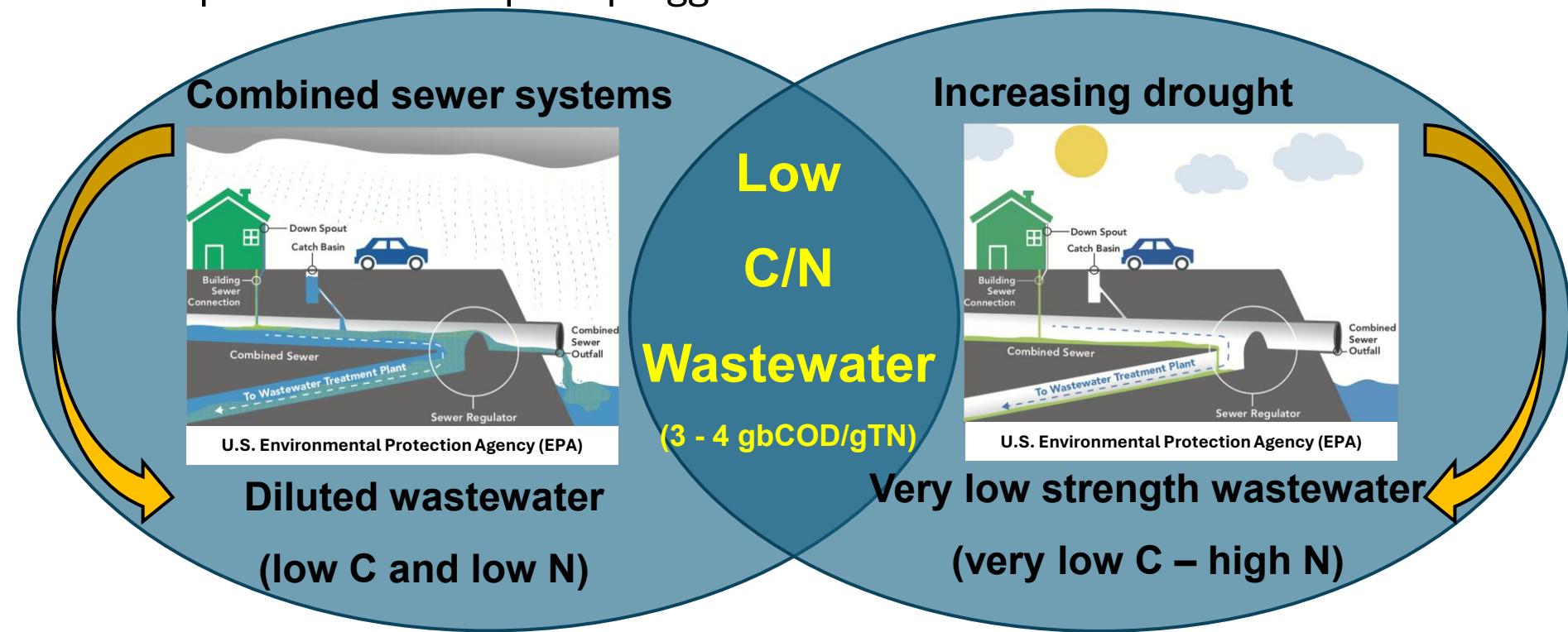
L'effetto combinato di sistemi fognari di **tipo unitario (acque nere + acque di pioggia)** → effetto diluizione delle acque reflue in tempo di pioggia...



... 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

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

### 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 ( $\text{NO}_3^-$ ).

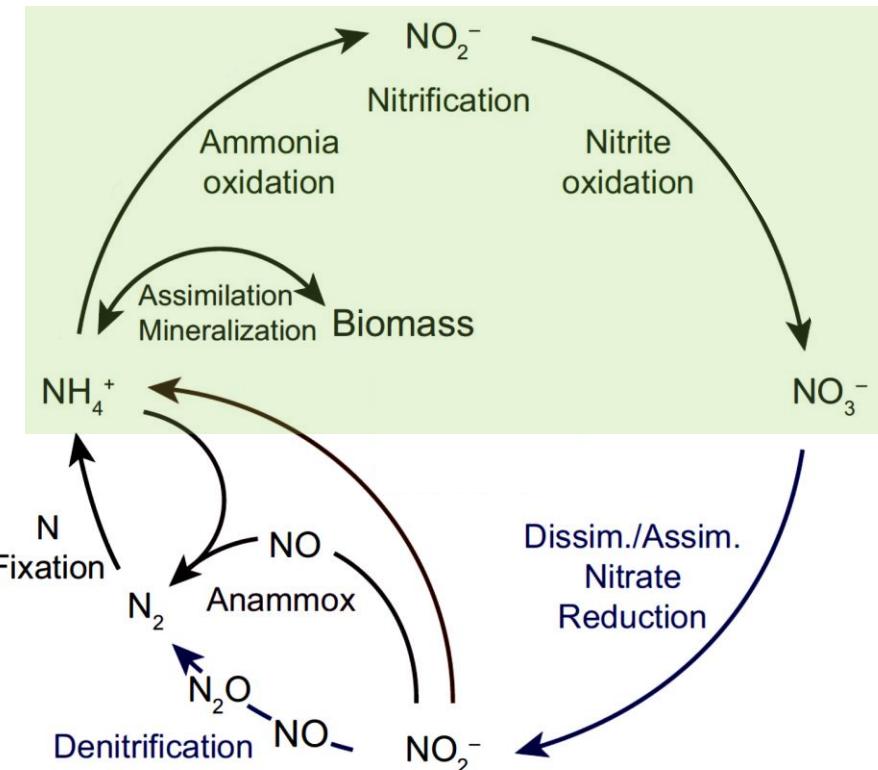
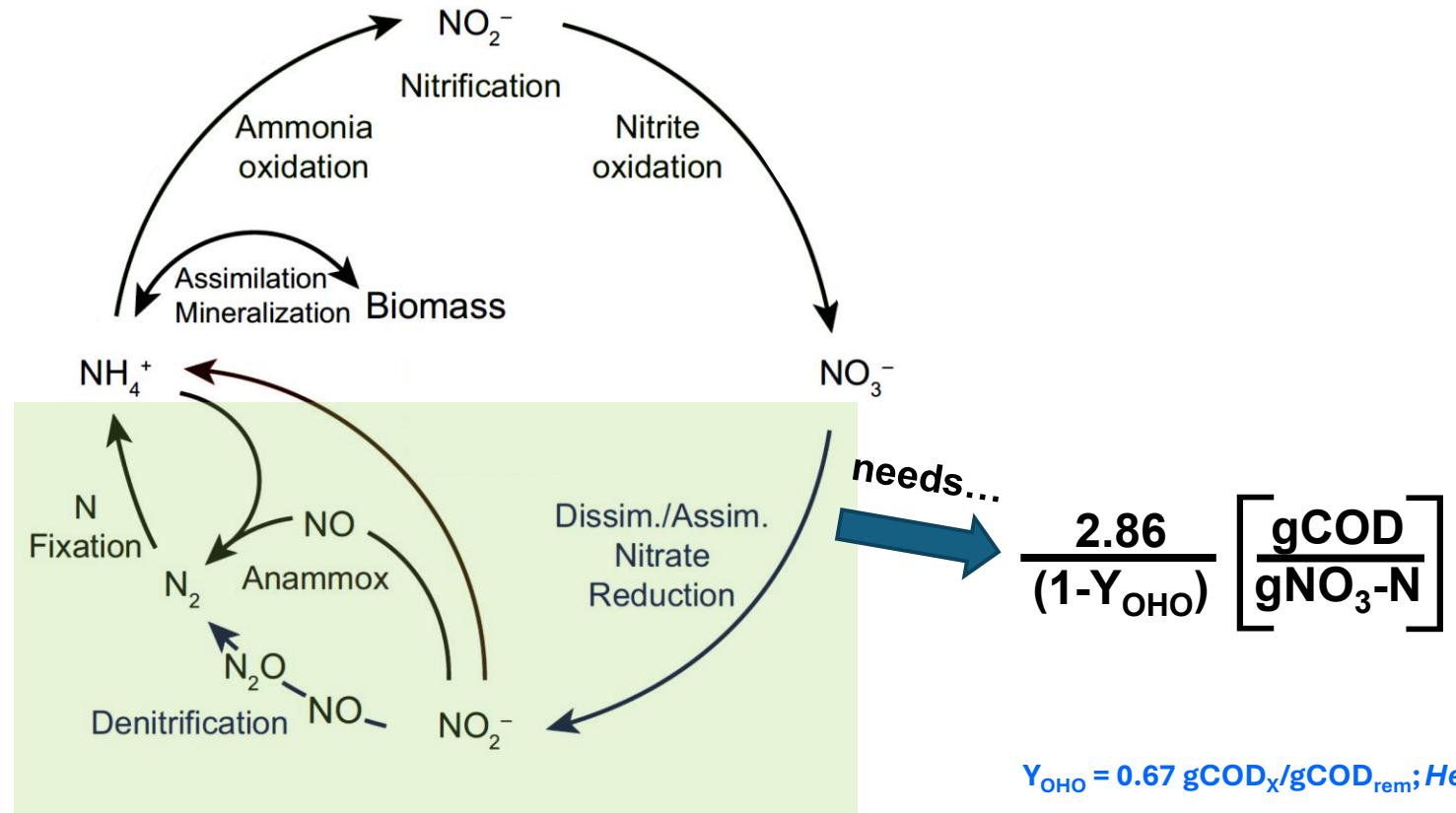


Figure adapted from Daims et al. (2016)

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

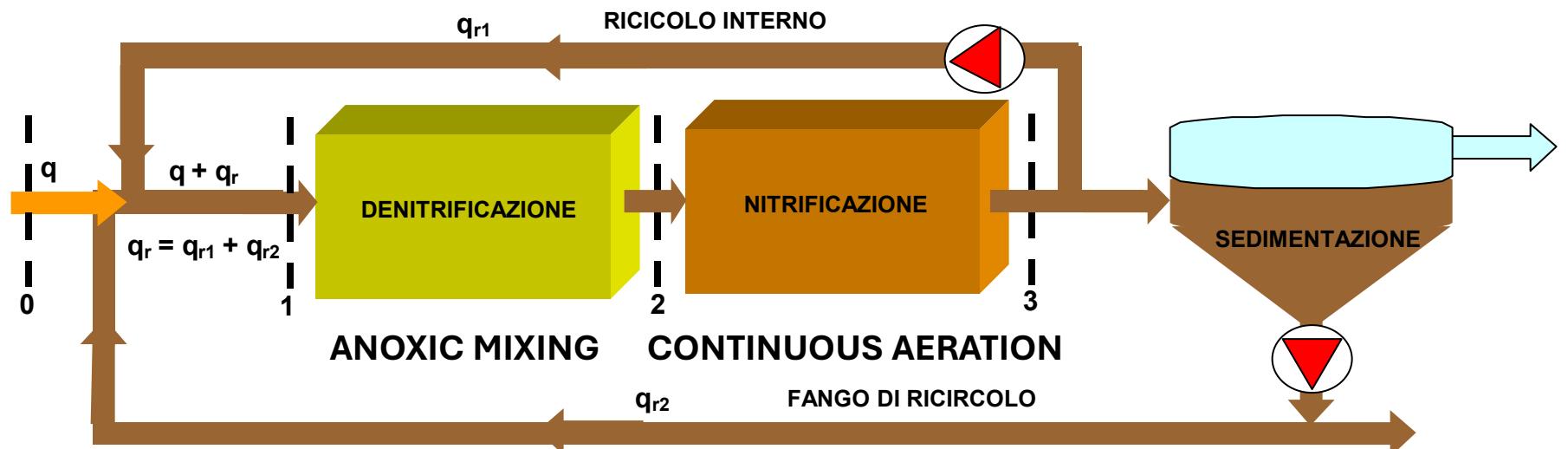
### IL PROBLEMA: N-removal in low C/N WW

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

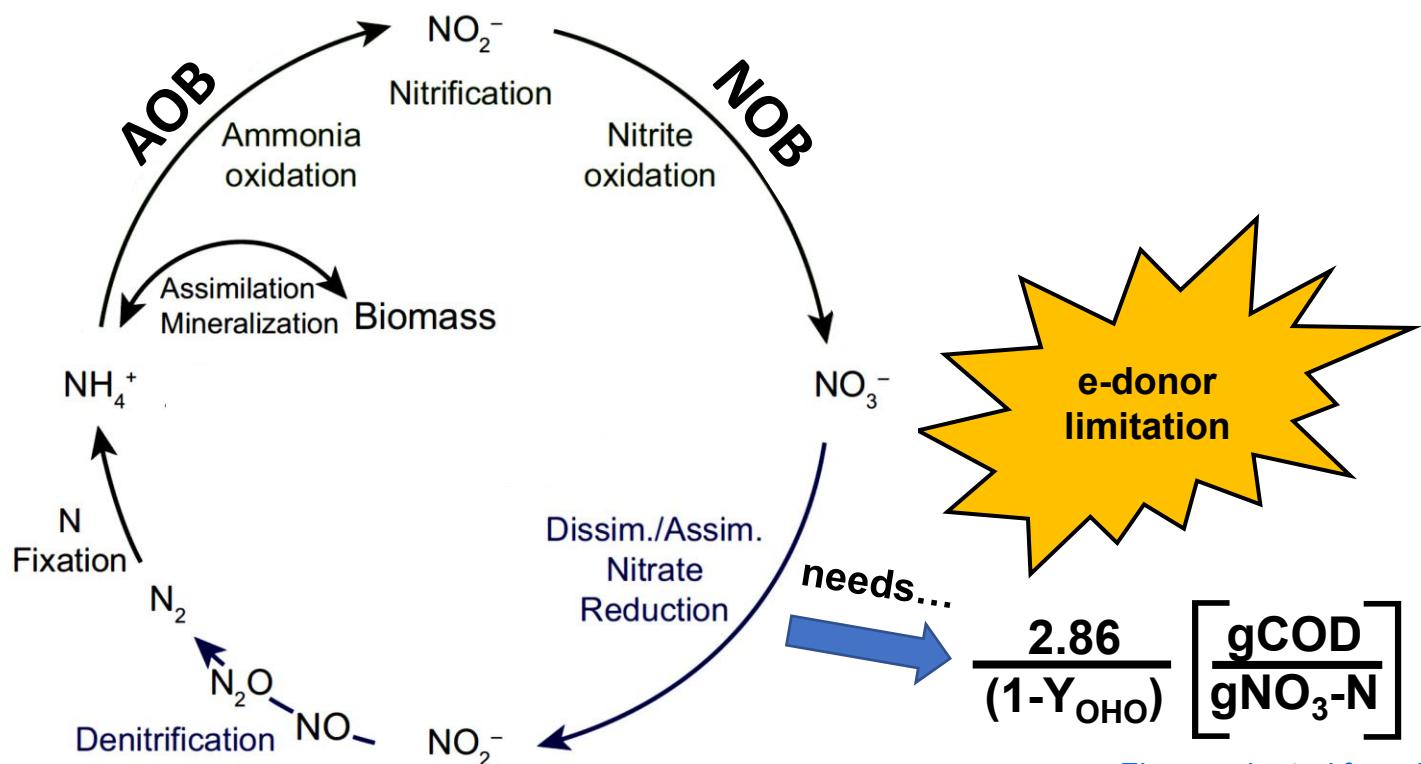


Figure adapted from Daims et al. (2016)

### LA RIMOZIONE BIOLOGICA DELL'AZOTO

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

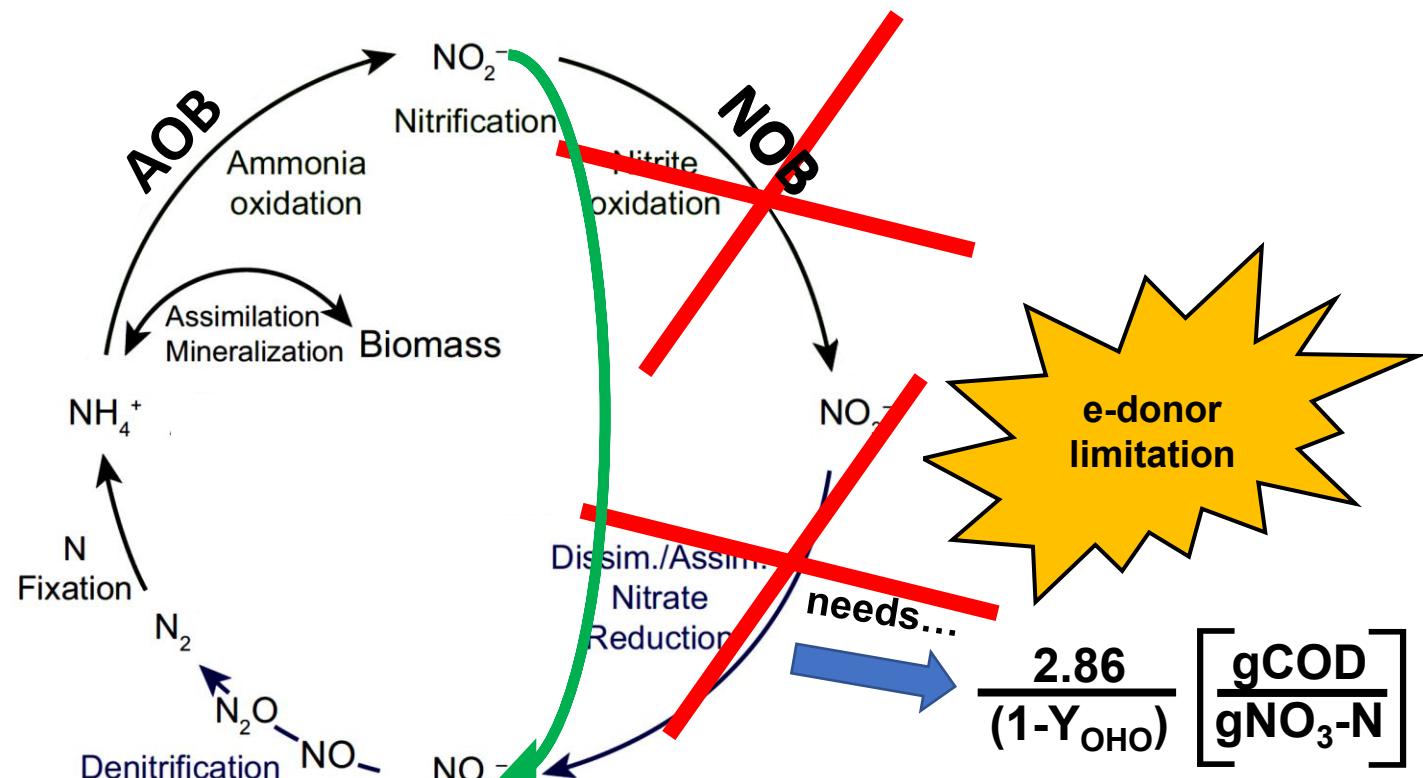
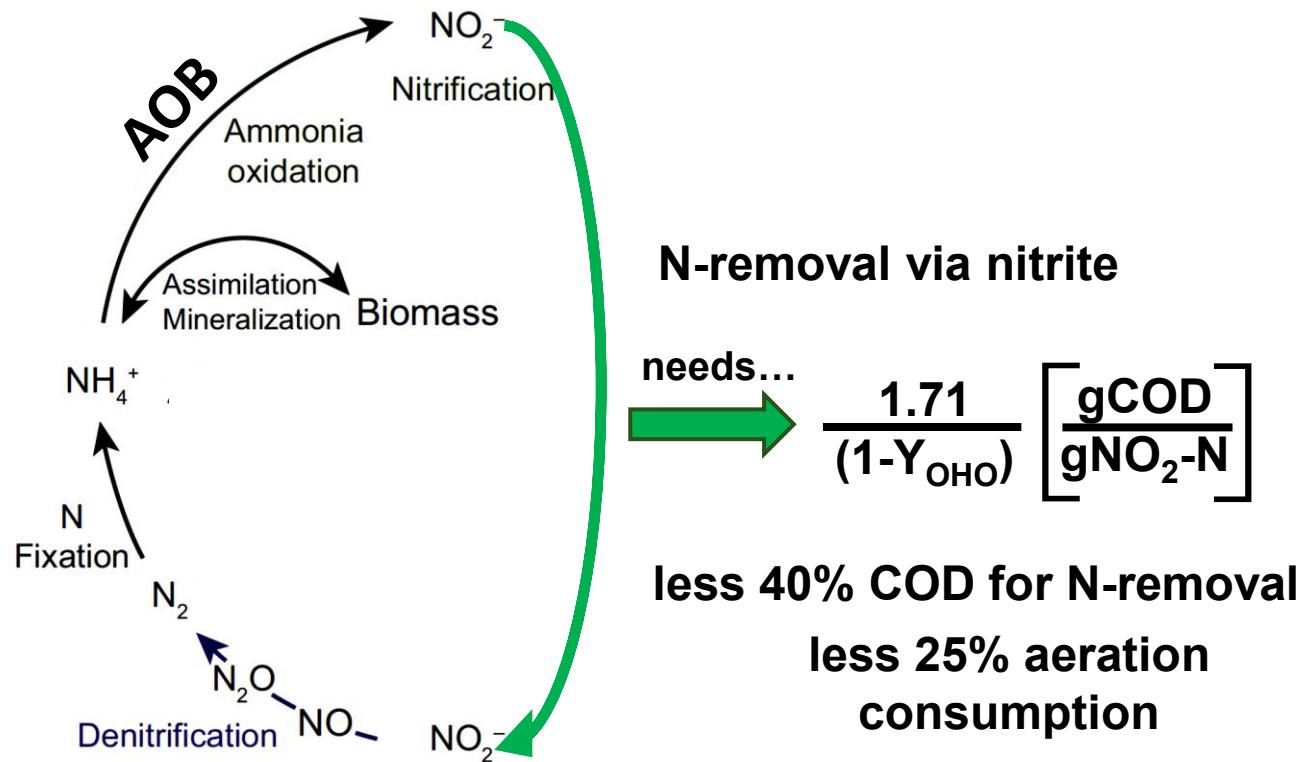


Figure adapted from Daims et al. (2016)

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

### 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.



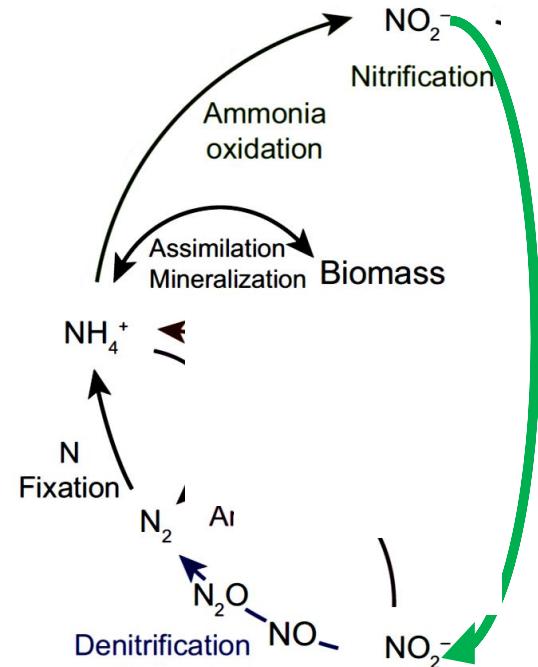
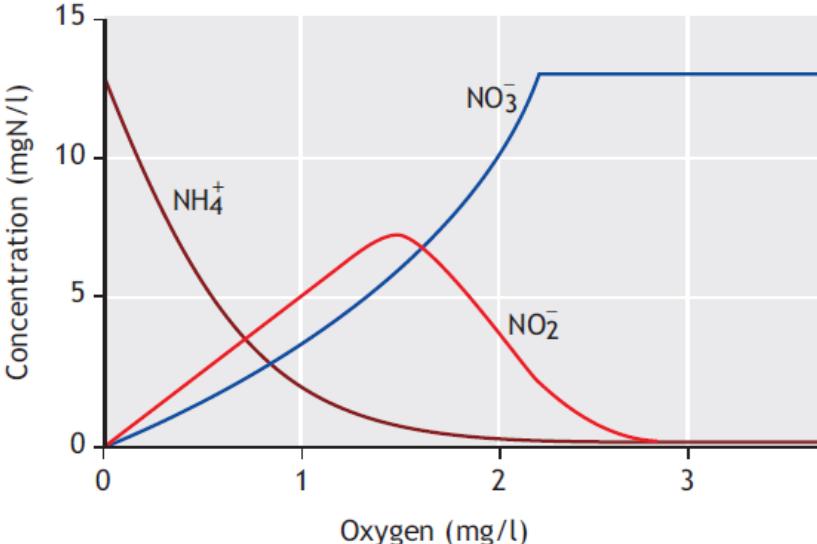
La rimozione dell'azoto **via nitrito** appare molto più conveniente dal punto di vista del COD necessario per la **denitritazione** (- 40% rispetto alla rimozione dell'azoto via nitrato)

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

### 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 dissolto (DO)**, applicando condizioni sub-ottimali di pH, nitriti o ammonio, lavorando in condizioni di elevata salinità. Inoltre operando a  $T>20^{\circ}\text{C}$ , gli **AOB** hanno un tasso di crescita più elevato rispetto agli **NOB**.



I batteri **AOB** hanno una affinità maggiore verso l'ossigeno dissolto ( $< K_{S,O}$ ) 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/Denitritazione** (processi autotrofi):



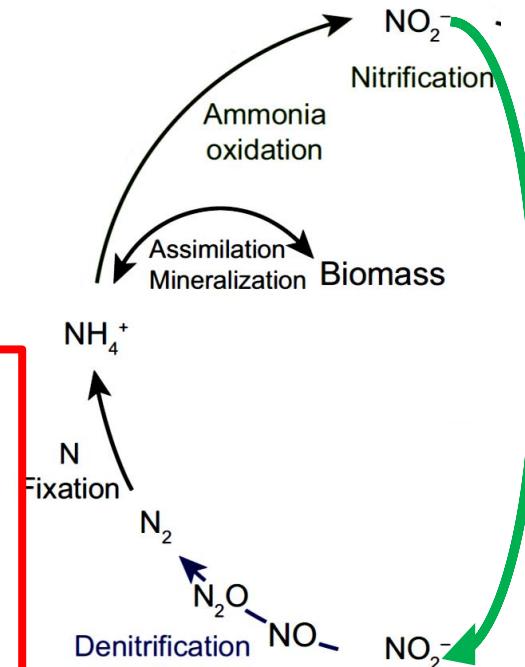
Processo **OLAND®** (Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification Denitrification); sidestream, effluent sludge digester

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

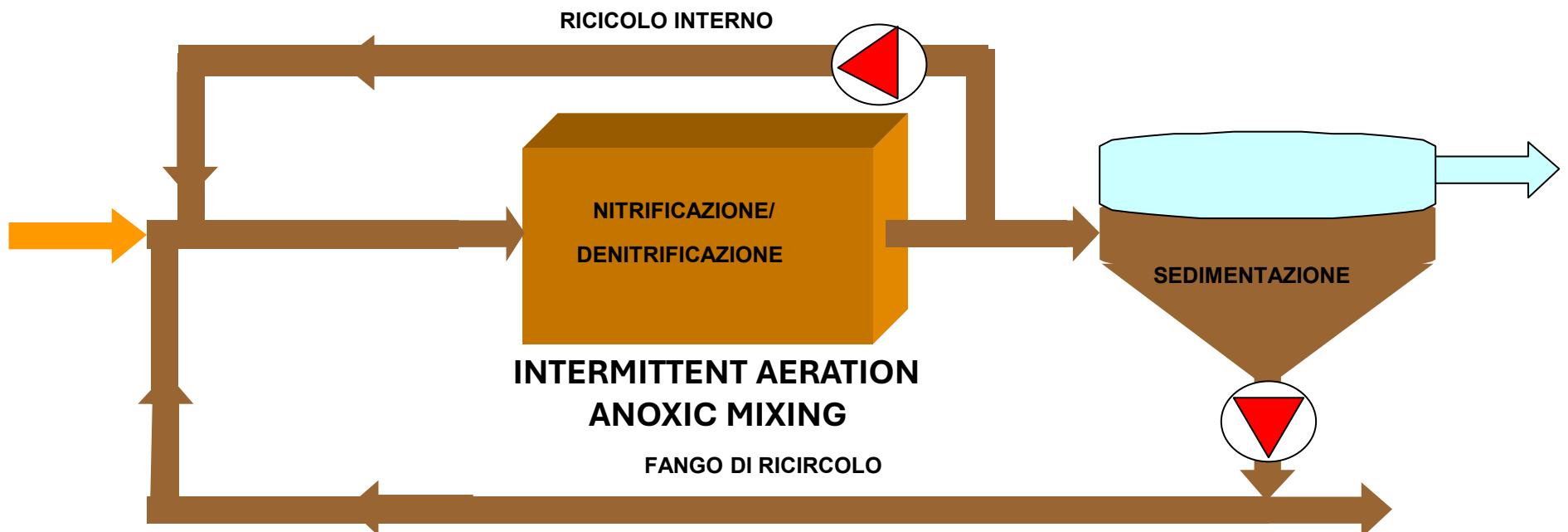
Processo **ANITAmox®** (PN-anammox in MBBR o IFAS); sidestream, effluent sludge digester



### 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.



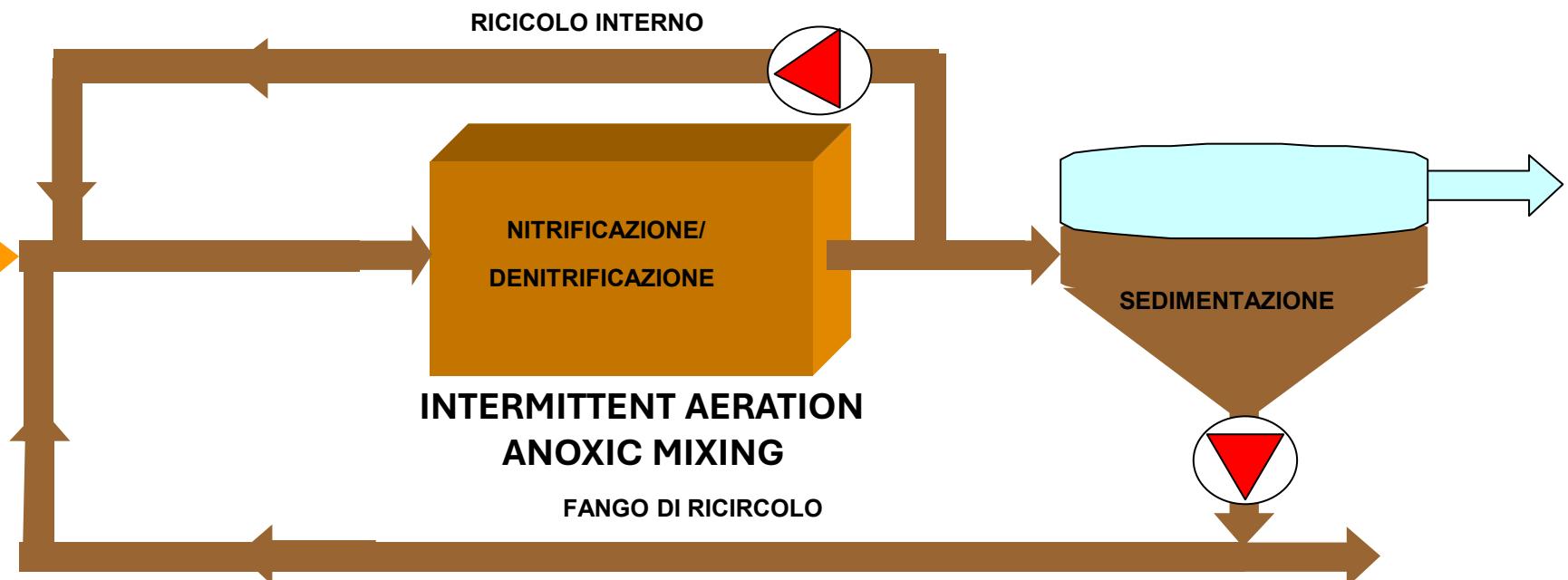
## La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

### 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.



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

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

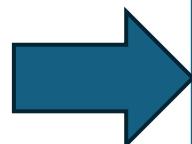
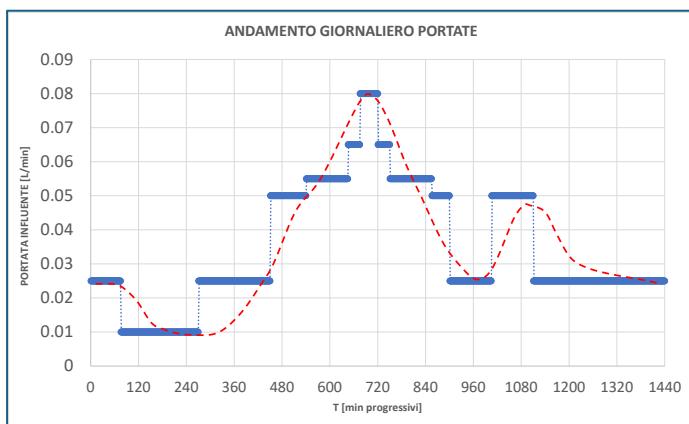
Lo studio è stato condotto con refluo sintetico preparato sulla base della “baseline” in input presso l'impianto di Gagliano (EN). L'influente era caratterizzato da un basso rapporto **carbonio/azoto (C/N)**. La sperimentazione si è espletata in più step:

- **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	∞ 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

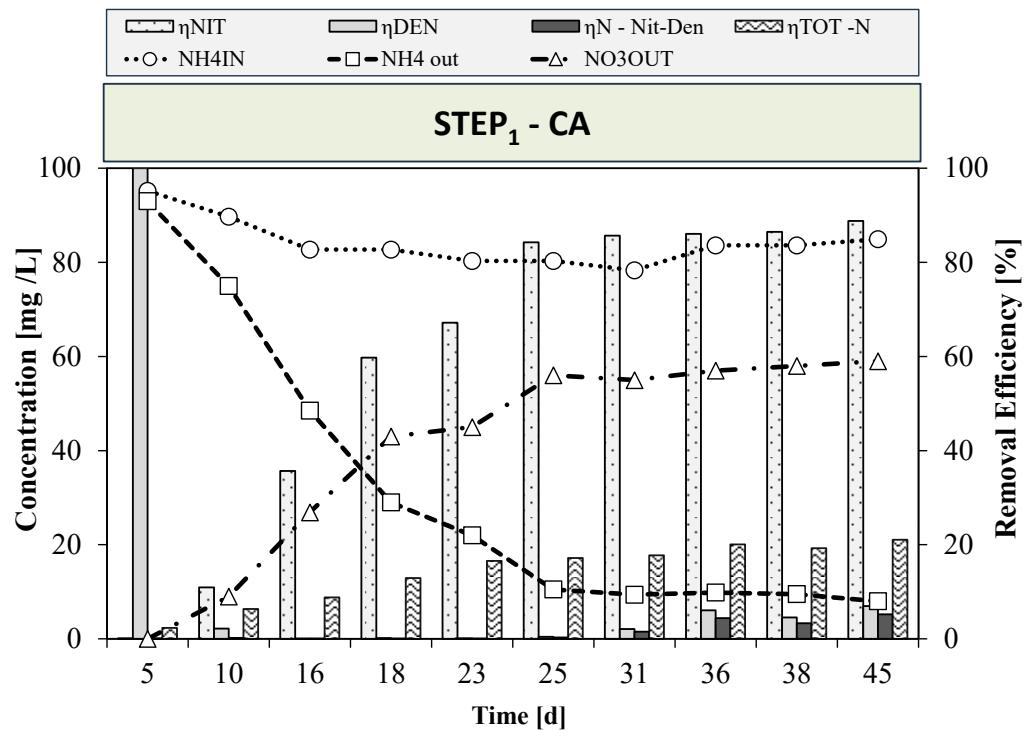
### CASO STUDIO: L'impianto Pilota in bench scale



## 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



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

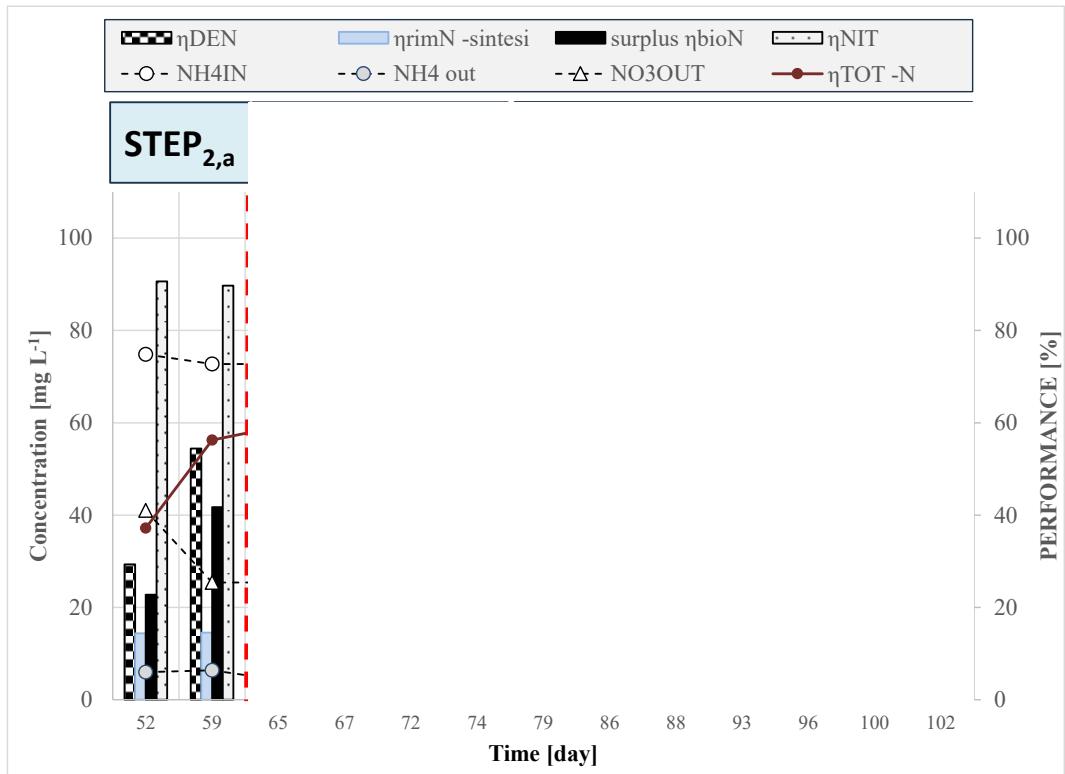
$\eta_{\text{DEN}} \approx 4\%$

$\eta_{\text{Ntot}} \approx 18\%$

## 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



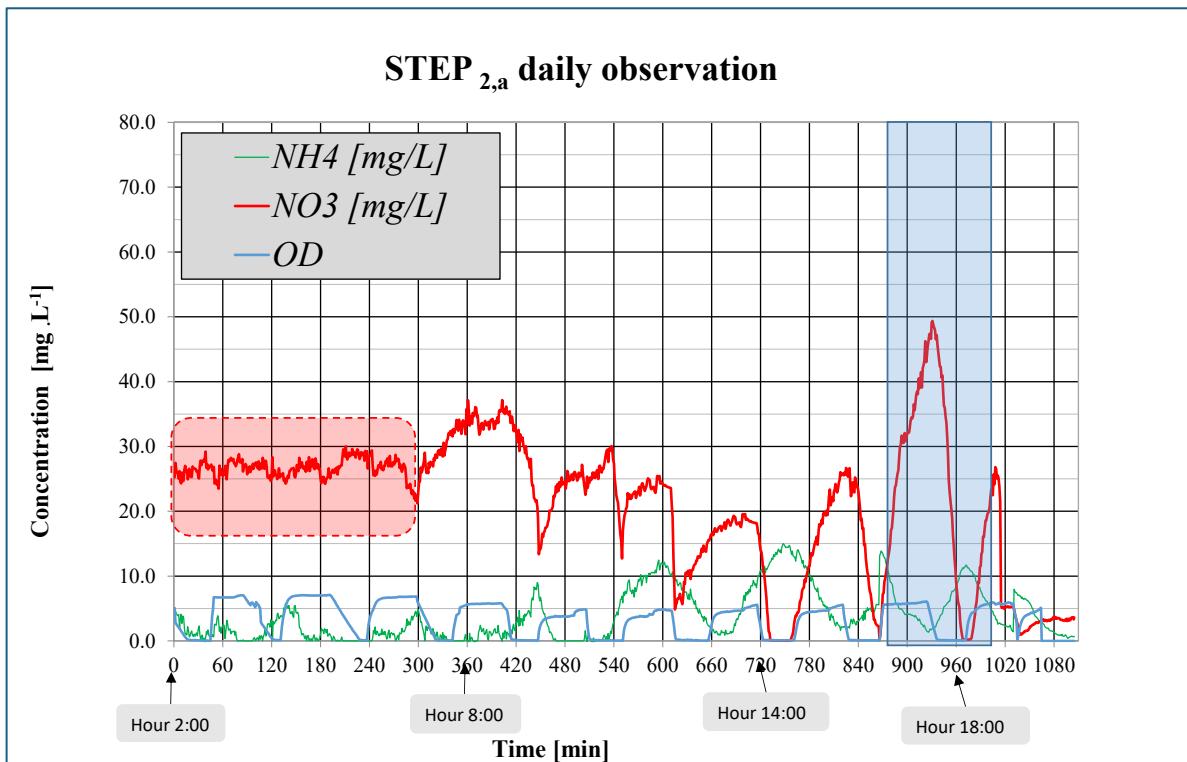
$\eta_{NIT} \approx 90\%$

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

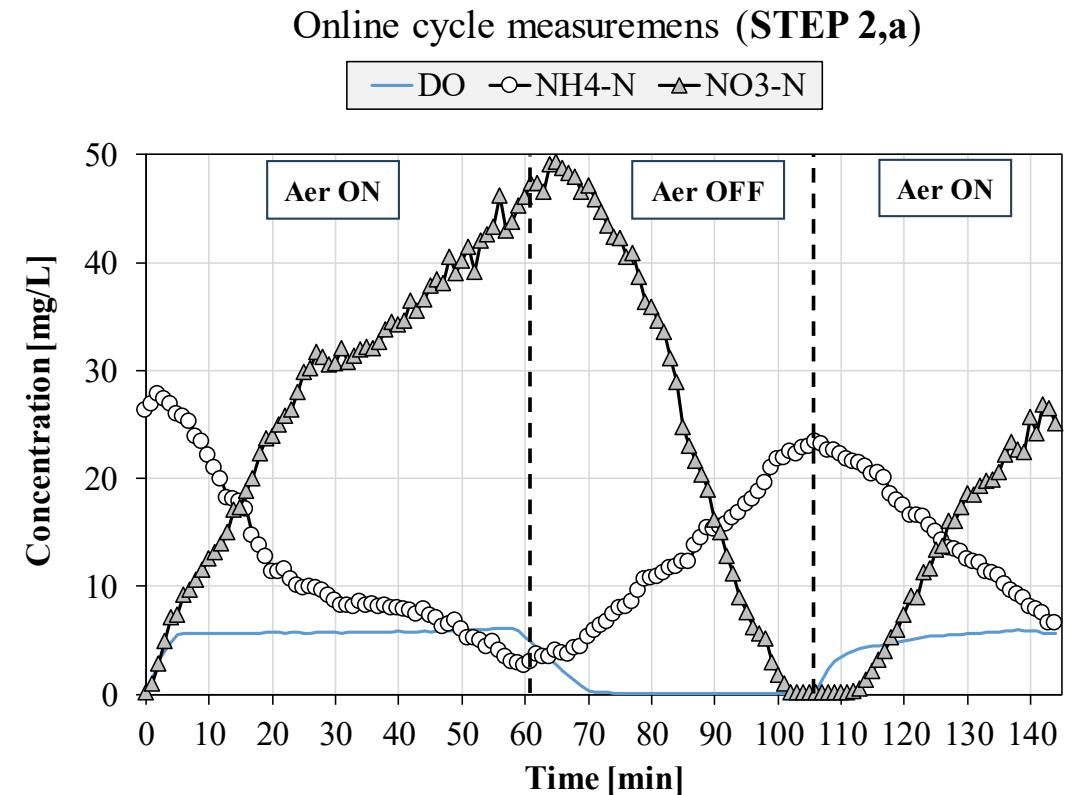
$\eta_{Ntot} \approx 56\%$

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

### CASO STUDIO: Registrazioni Sonde STEP 2a



Ciclo giornaliero (24 h)

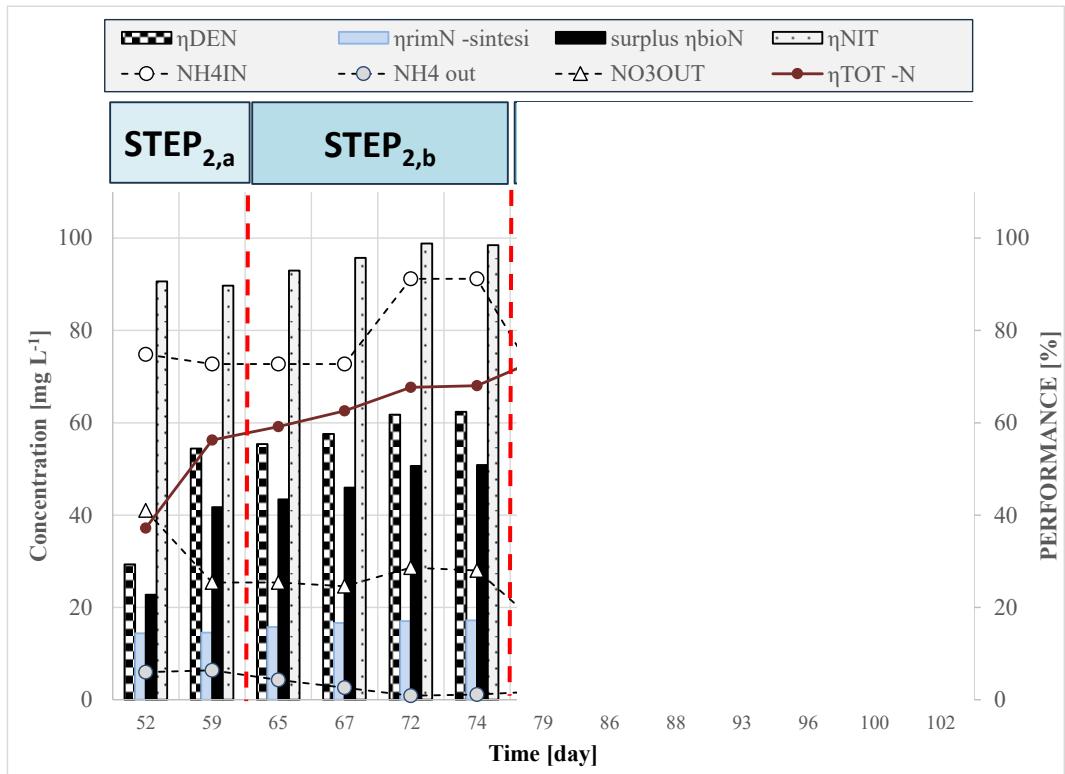


Zoom ciclo

## 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



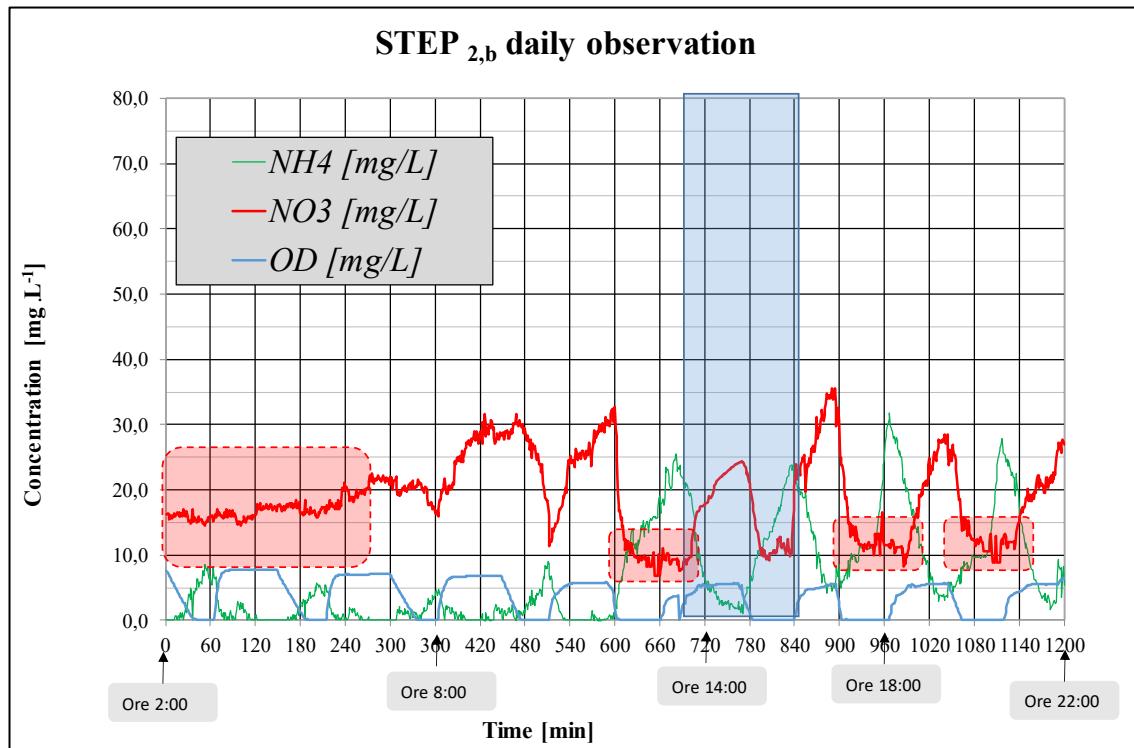
$\eta_{NIT} \approx 98\%$

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

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

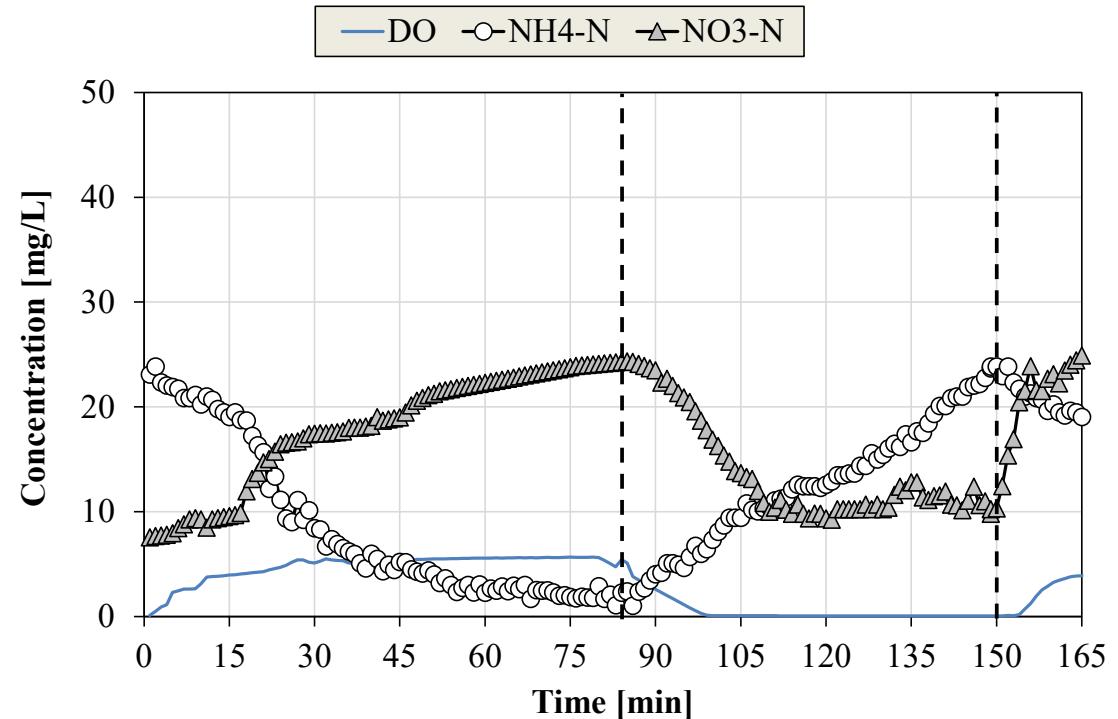
## La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

### CASO STUDIO: Registrazioni Sonde STEP 2b



Ciclo giornaliero (24 h)

Online Cycle Measurement (STEP2,b)

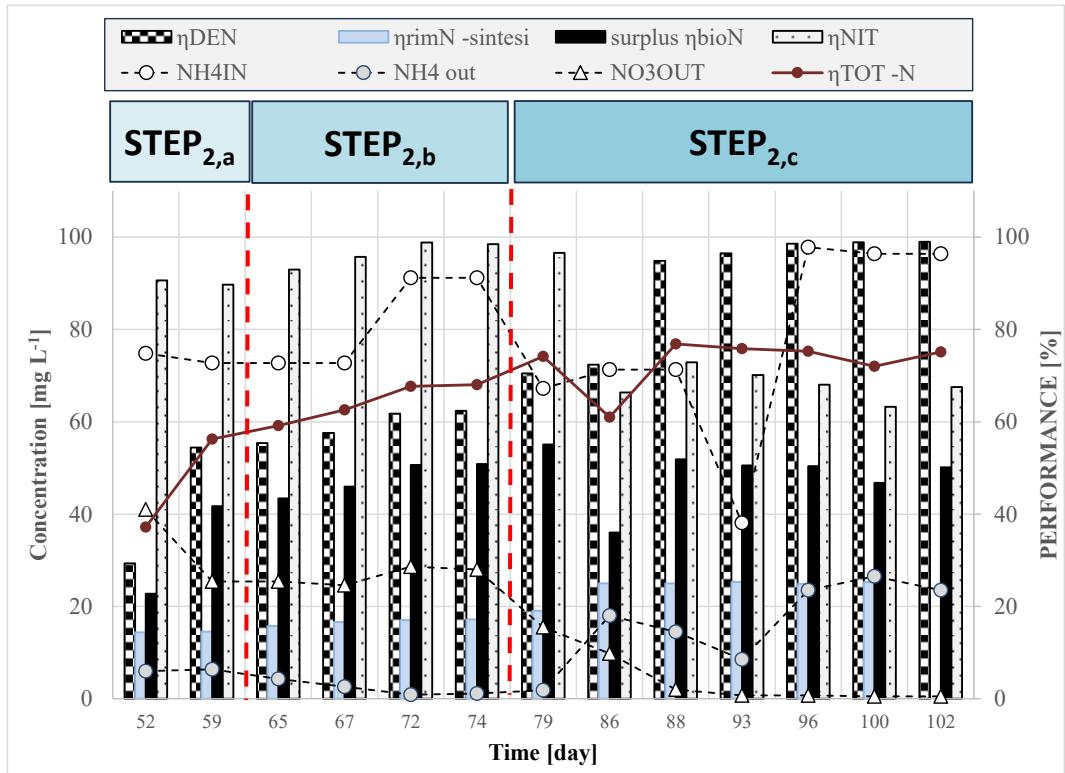


Zoom ciclo

## 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

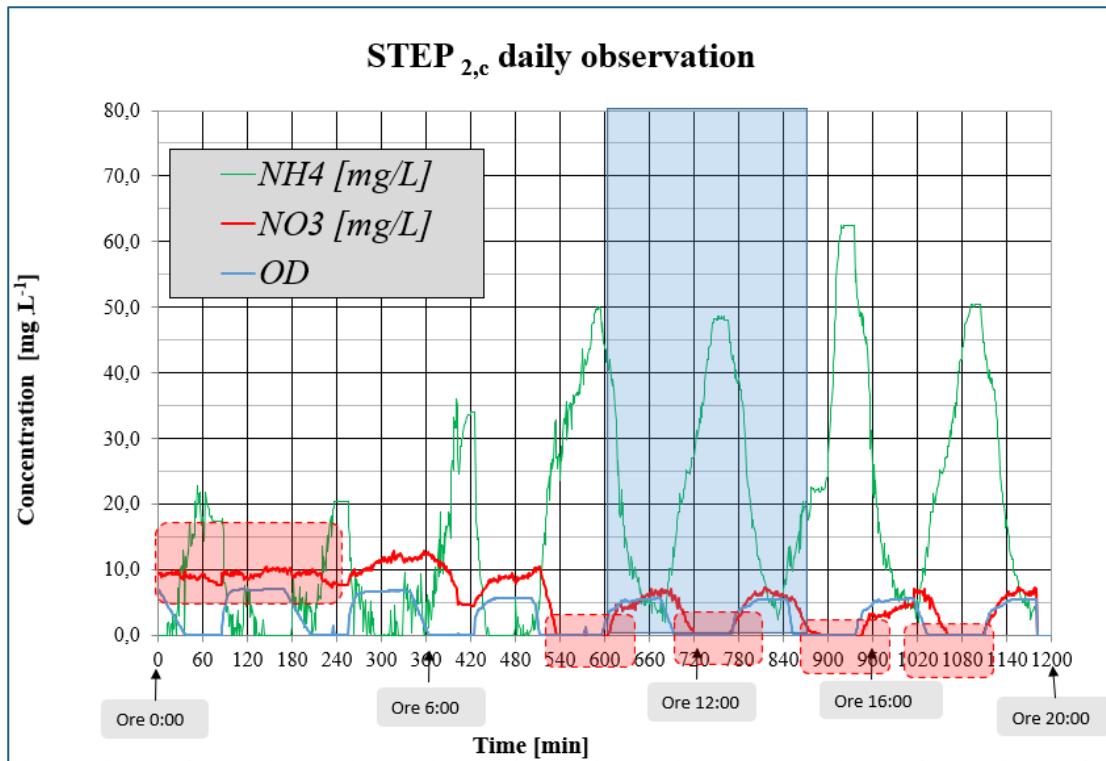


$\eta_{NIT} \approx 65\%$   
 $\eta_{DEN} \approx 98\%$

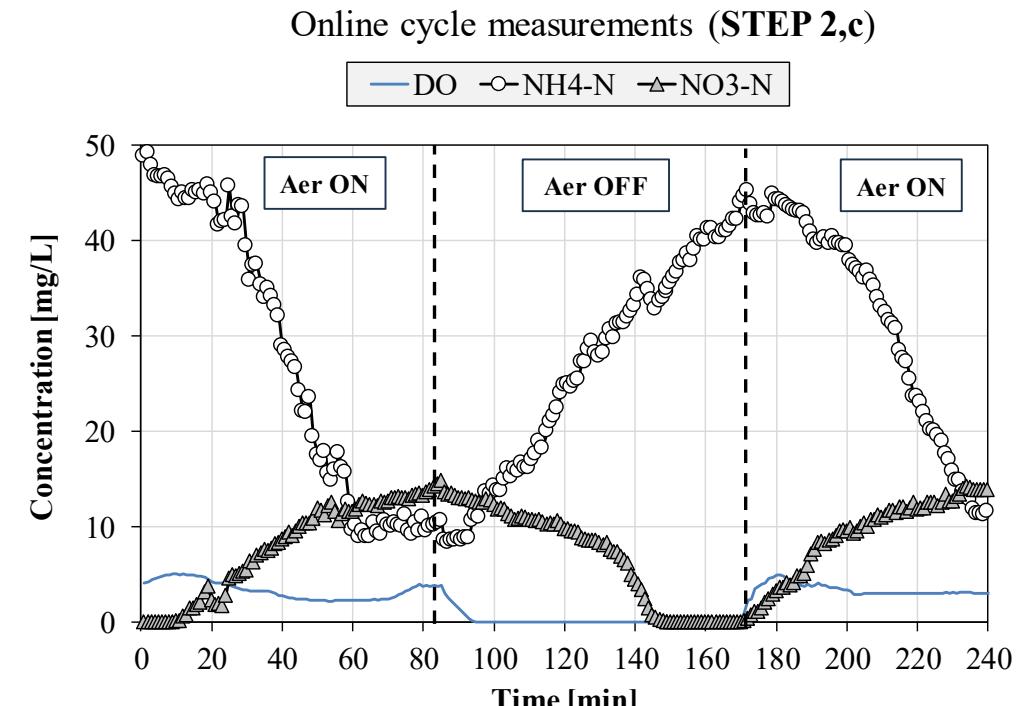
$\eta_{Ntot} \approx 66\%$

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

### CASO STUDIO: Registrazioni Sonde STEP 2c



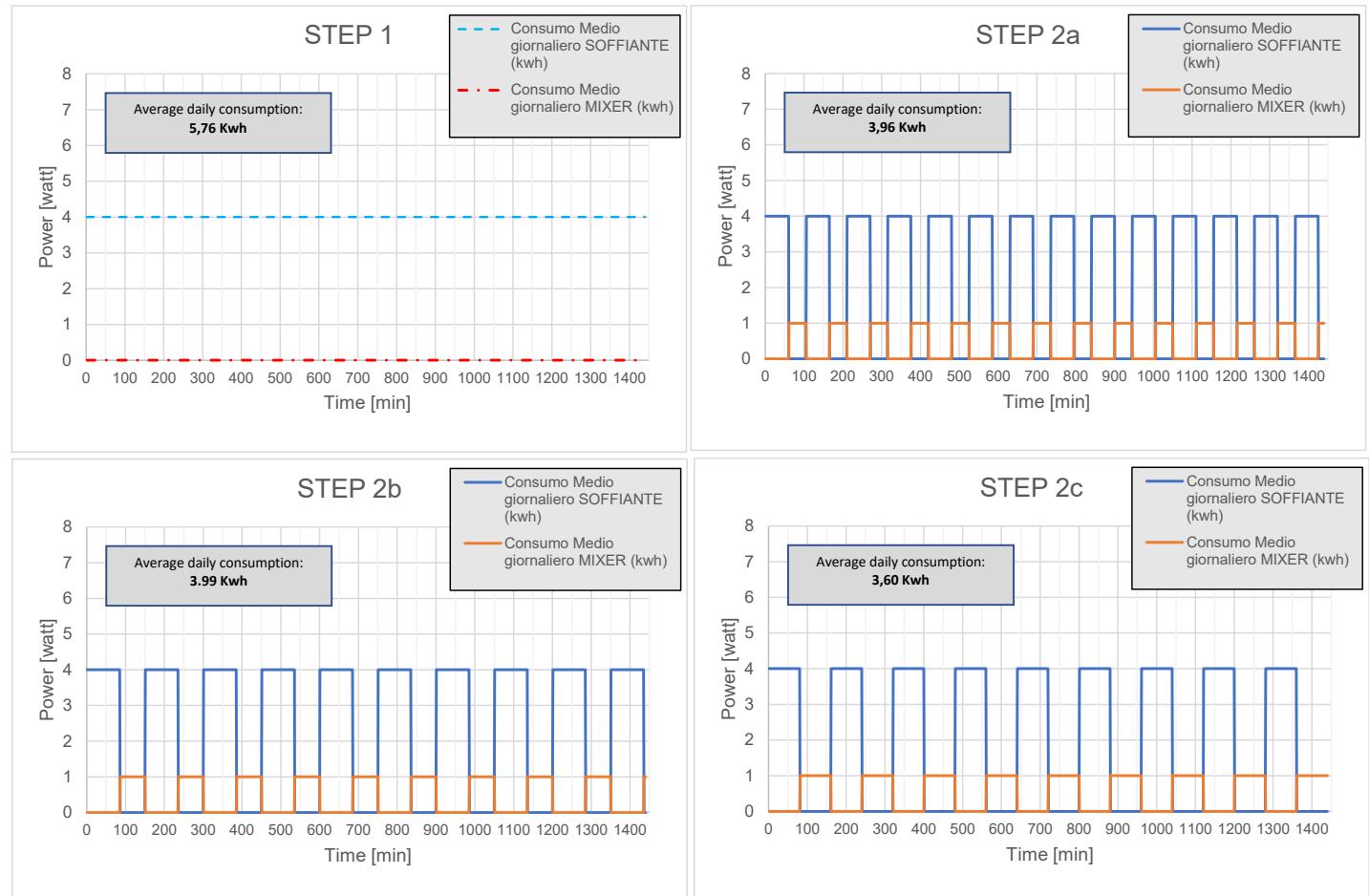
Ciclo giornaliero (24 h)



Zoom ciclo

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

## CASO STUDIO: Consumi energetici



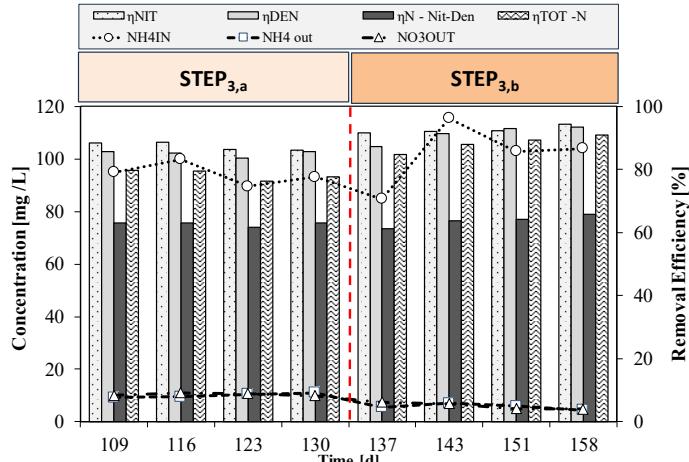
## La necessità di adeguamento degli impianti siciliani: IL CASO DI REFLUI A BASSO C/N

### CASO STUDIO: STEP 3 controllo SONDE

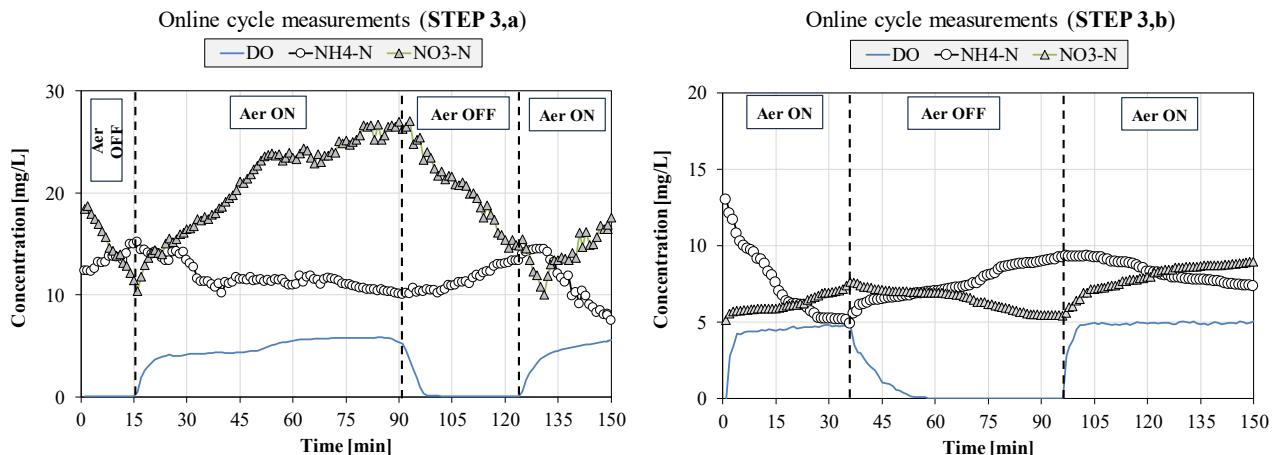
Operational days	STEP	Phase	Sub-phase	AERATION		C/N
				ON (min)	OFF (min)	
0-49	STEP 1	CA	--	∞	0	3,5
50-63			Step2,a	60	45	3,5
64-77	STEP 2	IA <sub>T</sub>	Step2,b	85	65	3,5
78-105			Step2,c	80	80	5
106-133			Step3,a	Set points control SET A1 (NO <sub>3</sub> -N = 10 mg/L; NH <sub>4</sub> -N = 30 mg/L)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



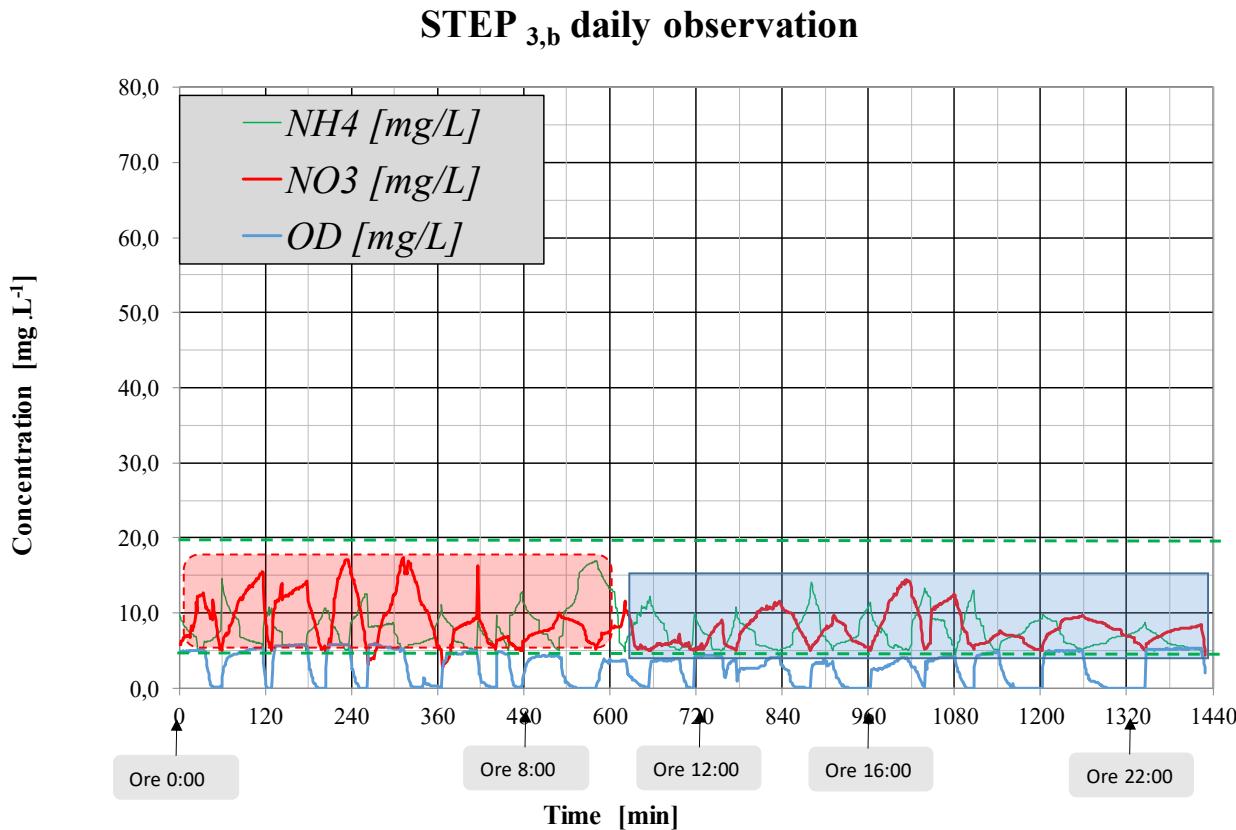
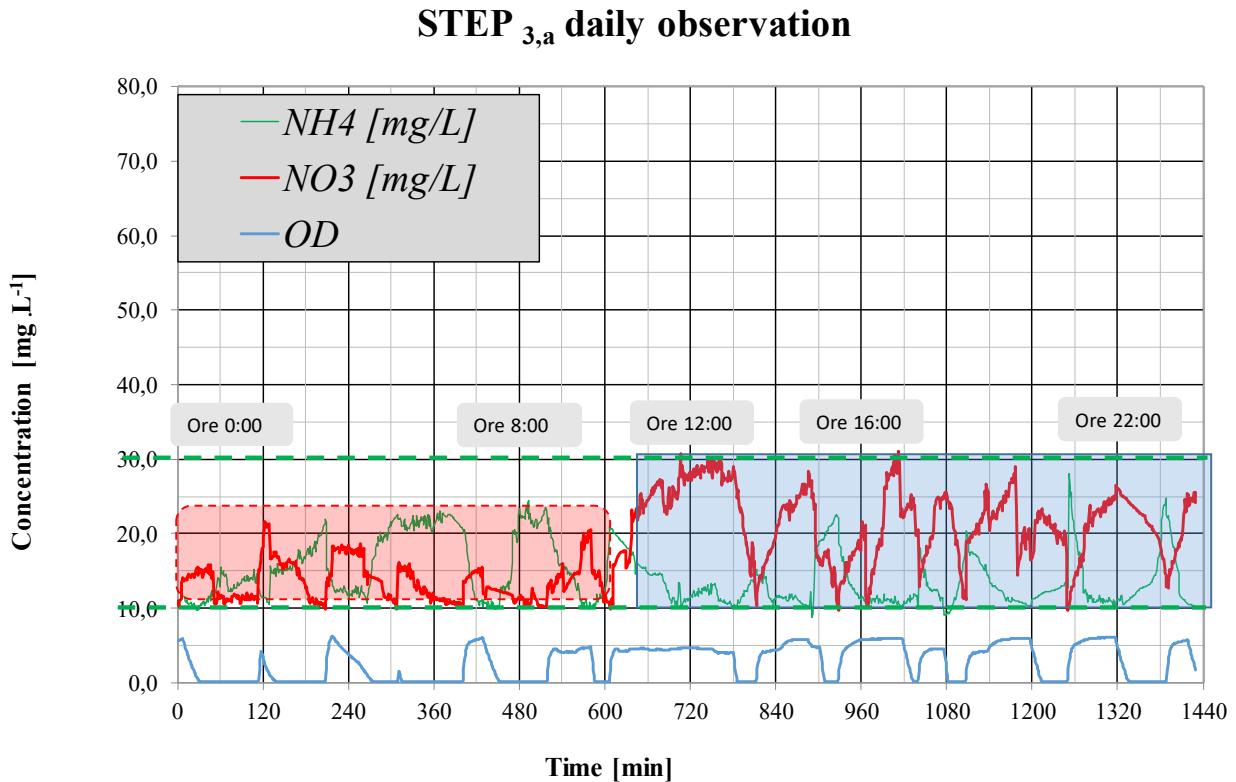
$\eta_{NIT} \approx 88\%$   
 $\eta_{DEN} \approx 83\%$   
 $\eta_{Ntot} \approx 79\%$



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

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

### CASO STUDIO: STEP 3 controllo SONDE



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

### PROSPETTIVE: applicazione in full scale



Nitrogen removal ↑  
Energy efficiency ↑



Nitrogen removal ↑↑↑  
Energy efficiency ↑↑↑

## 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

**"Smabee-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.