

# **Respirometria BM applicata all'analisi della denitrificazione**

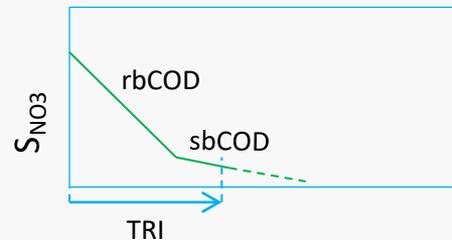
***SURCIS***

# Condizioni per il processo di denitrificazione

Condizioni	
pH	6.5 a 8,5
COD/TKN	2.5 a 5
COD solubile biodegradabile COD / N-NO <sub>3.DN</sub>	≥ 2.83
Ossigeno disciolto	< 0.3 mg/L
Zona di denitrificazione con HRT sufficiente per eseguire il processo	
Senza alcun inibitore né composti tossici	

# Punti da considerare nel rapporto tra consumo di ossigeno per la rimozione di bCOD e la denitrificazione anossica (I)

- Nel processo anossico di denitrificazione, il nitrato preleva ossigeno dal COD biodegradabile (bCOD) dalle acque reflue, dove la priorità è sul COD facilmente biodegradabile (rbCOD)



- Il rapporto tra l'ossigeno consumato (CO) della bCOD e il nitrato che viene rimosso è 2,86.  
(Henri Spanjers, Peter A. Vanrolleghem - 2004, GA Ekama - 2004, altro)

$$CO / S_{NO_3} = 2.86$$

$$bCOD (1 - Y) / S_{NO_3} = 2.86$$

CO: Ossigeno consumato in la denitrificazione ( $mgO_2/L$ ) =  $bCOD (1 - Y)$

$S_{NO_3}$ : Nitrato per denitrificare ( $mg NO_3-N/l$ ):  $S_{NO_3}$

# Punti da considerare nel rapporto tra consumo di ossigeno per la rimozione di bCOD e la denitrificazione anossica (II)

- Esiste una proporzionalità equivalente tra il tasso di utilizzo netto di bCOD e il tasso di denitrificazione (Henri Spanjers, Peter A. Vanrolleghem – 2004, WW Eckenfelder - 1995)

Tasso di utilizzo di bCOD netto / Tasso di rimozione dei nitrati = 2,86

$$U (1-Y_{HD}) / NUR = 2,86$$

$$q (1-Y_{HD}) / SNUR = 2,86$$

$U_N$ : Tasso di utilizzo di bCOD (mg bCOD/L.h) per il tempo in cui il CO viene consumato.

$(1 - Y_{HD})$ : Fattore per la parte del bCOD destinata alla crescita delle biomasse anossica.

$Y_{HD}$ : Coefficiente di resa eterotrofico in zona anossica =  $0,83 * Y_H$  - Per impostazione predefinita:  $Y_{HD} = 0,55$  - (Muller et al., 2003)

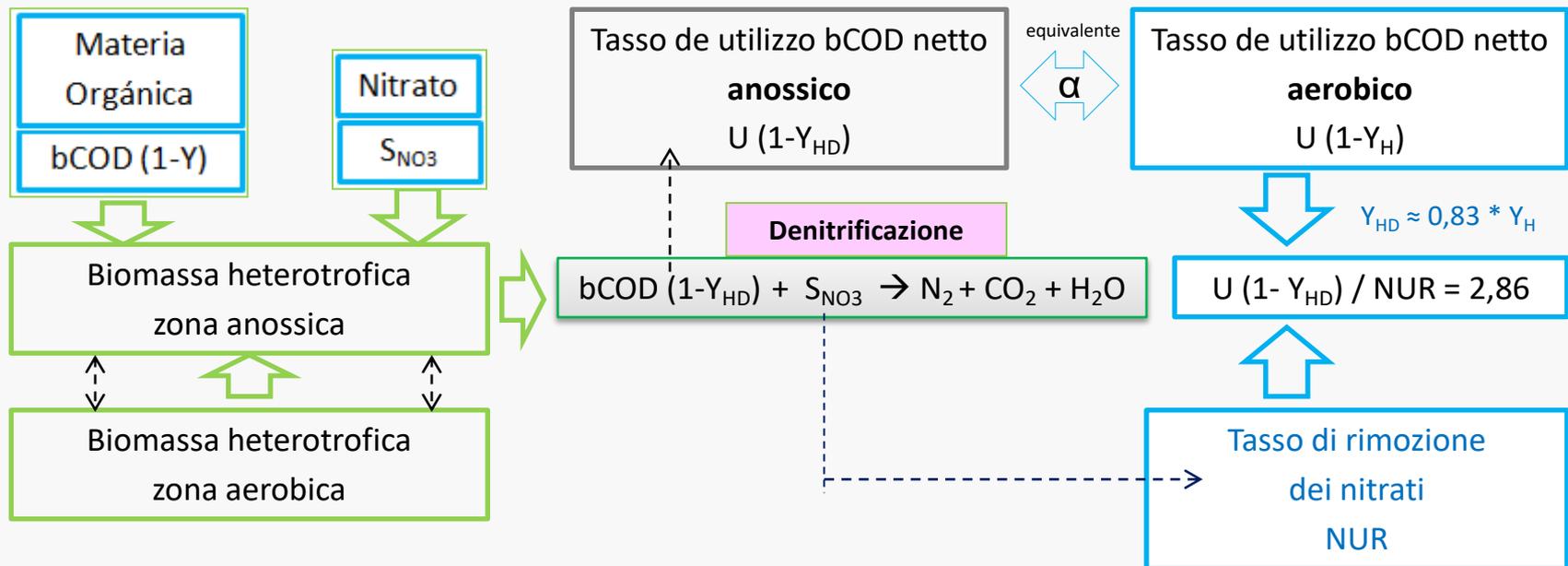
NUR: Tasso di rimozione dei nitrati (mg NO<sub>3</sub>-N/L.h)

q: Tasso specifico di utilizzo bCOD netto (mg bCOD/mgVSS.d) o (kg bCOD/kgVSS.d) per il tempo in cui il CO<sub>DN</sub> viene consumato.

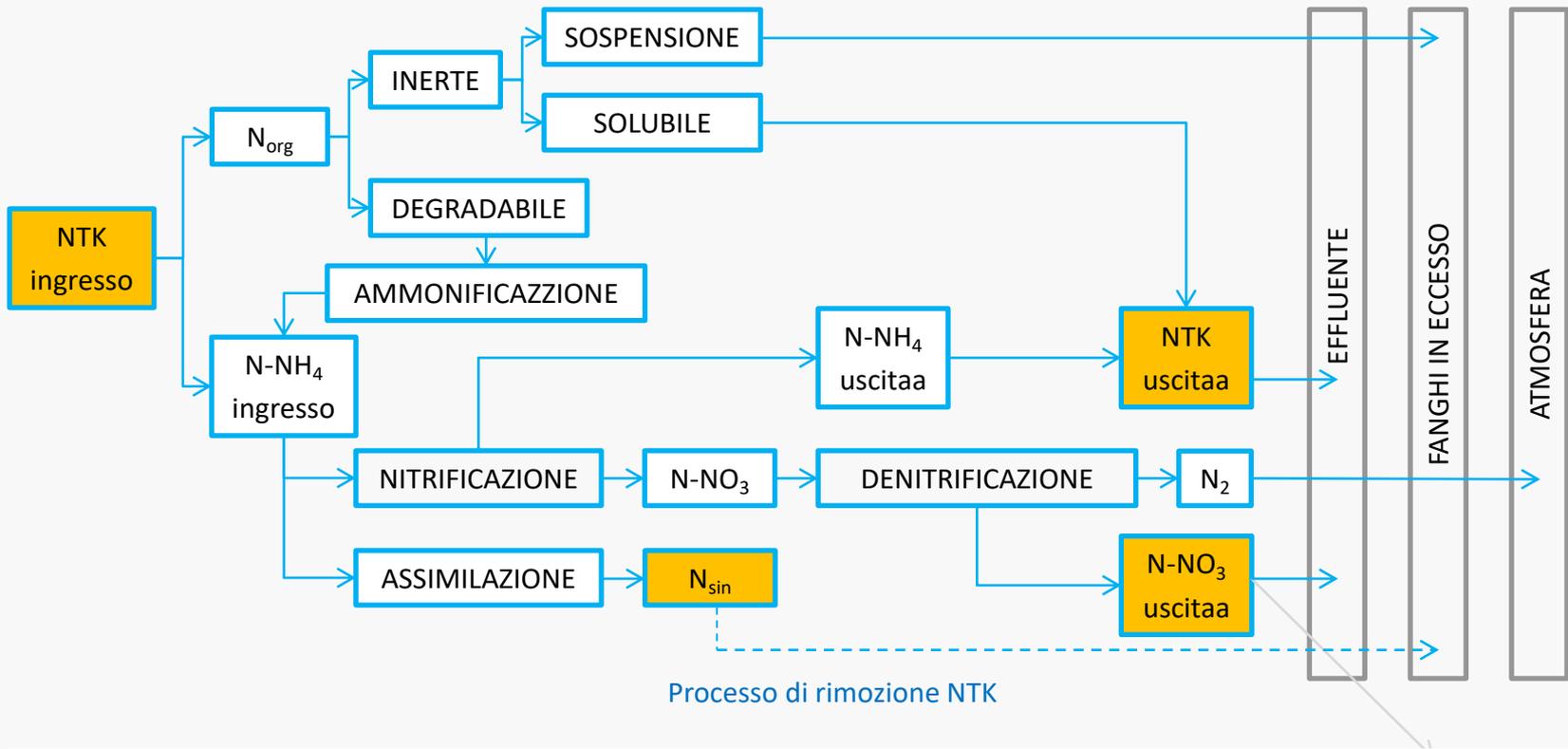
SNUR: Tasso di denitrificazione specifico (mg NO<sub>3</sub>-N/mg VSS.d) o (kg NO<sub>3</sub>-N/kg VSS.d)

- Il tasso di utilizzo netto di bCOD nella zona aerobica è equivalente a quello nella zona anossica. Pertanto, questi dati ottenuti da un test di respirazione aerobica possono essere utilizzati per la determinazione del NUR e SNUR.
- Il software di un sistema di respirometria BM calcola automaticamente i parametri CO, U (tasso di consumo di bCOD) e q (tasso specifico di consumo di bCOD) In questo modo, viene fornita la base fondamentale per le determinazioni del NUR e del SNUR

# Sviluppo della denitrificazione e la sua relazione con la rimozione aerobica di bCOD



# Calcolo dei dati preliminari



Parametri	Formula
N nitrificabile (mg N/L)	$S_{N.nitrificabile} = NTK_{ingresso} - N_{sin} - NTK_{uscita}$
N sintesi di biomasse (mg N/L)	$N_{sin} = 0,05 * BOD_{eliminata}$
Ossigeno consumato nella denitrificazione (mg O <sub>2</sub> /L)	$CO_{DN} = 2,86 * S_{N.nitrificabile}$
Coefficiente di crescita della biomassa (mg O <sub>2</sub> /COD)	$Y_{HD} = 0,83 * Y_H$ (valore usuale predefinito 0,55)

# Preparazione del test R per la determinazione del NUR e SNUR con el acque reflue

## Fango in fase endogena

Conversione di un litro di fanghi efluenti da zona anossica in fase endogena, e aggiungere tiourea allilica (ATU) per inibire la nitrificazione (~ 3 mg ATU / g SSV)

Lasciare che l'ATU faccia effetto nel fango agitato per almeno 20 minuti prima del test -

## Campione di acque reflue

Preparare una dose da 50 a 70 mL ("Vm" programmato nella configurazione) delle acque reflue influenti al ç processo anossico di denitrificazione.

# Configurazione del test R per la determinazione del NUR e SNUR

1. Conversione di un litro di fanghi efluenti da zona anossica in fase endogena.
3. Impostare un test R con  $Y_{HD} = 0.83 * Y_H$  - Per impostazione predefinita:  $Y_{HD} = 0,55$  - (Muller et al., 2003)
4. Impostare il test su una temperatura media, pH e MLVSS equivalente a quello del processo reale.
5. Impostare Vm tra 50 e 70 mL

New Test

Test type:  
OUR  
Cyclic OUR

Name: CO - U  
Operator: SB  
Filename: C:\Users\Usuario\Documents\Surcis\Re Search  
Data interval: 2 s.

Vf: 1000.00 ml Solids: 3.50 g/L CO: 126.05  
Vm: 50.00 ml Y: 0.55 DO Low: 2.0  
fd: Auto 21  Readings < 0 DO High: 6.0  
 Force Cb: 8.21

Board control settings during test

Temperature control: 25.00  
PH Control: 7.50 Hysteresis: 0.10

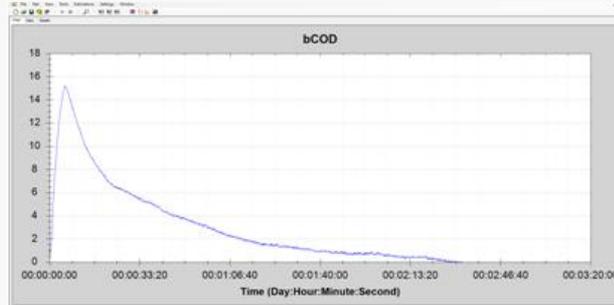
Peristaltic pump: 2  
Aeration: 55

Cancel Accept

# Determinazione delle NUR e SNUR con acque reflue

## Procedura

1. Eseguire un test R completo per bCOD delle acque reflue che entrano nel processo anossico.



2. Vai alla scheda **Data** Chart Data Details per accedere alla tabella dei dati ottenuti durante il test R.

Time (D:H:M:S)	DO (ppm)	T. (°C)	pH	Ra (mg/l.h)	Rap (mg/g.h)	CO (mg/l)	bCOD (mg/l)	U (mgbCOD/l.h)	q (mgbCOD/mgVSS.d)
00:00:44:02	7,9	20	7,56	4,17	2,32	119,88	399,59	25,93	0,35
00:00:44:53	7,9	20	7,56	4,15	2,3	121,1	403,68	25,7	0,34
00:00:44:55	7,9	20	7,56	4,13	2,3	121,15	403,84	25,69	0,34

3. Trovare il valore di **CO** uguale a quello dell'ossigeno per la denitrificazione  $CO_{DN}$  (calcolato in precedenza), e i valori **U** e **q** allo stesso tempo

CO (mg/l)	bCOD (mg/l)	U (mgbCOD/l.h)	q (mgbCOD/mgVSS.d)
121.15	403,84	25,69	0,34

6. Calcolare il NUR e SNUR:

$$NUR = [U (1-Y_{HD}) / 2.86] * K'_O / (K'_O + OD_{DN})$$

$$SNUR = [q (1-Y_{HD}) / 2,86] * K'_O / (K'_O + OD_{DN})$$

$K'_O$ : Coefficiente di inibizione dovuto all'ossigeno nella zona anossica = **0.2 (mg/L)** - Henze et al 1996 –

$DO_{DN}$ : Ossigeno disciolto nella zona di denitrificazione (mg  $O_2$  /L) – *Dovrebbe normalmente essere inferiore allo 0.3 mg/L*

# Test R per la determinazione del NUR e SNUR mediante soluzione di acetato di sodio

La determinazione di NUR e SNUR con acetato di sodio può essere usata quando si presume che le acque reflue contengano sufficiente COD solubile biodegradabile per lo sviluppo del processo nella zona anossica e per scopi di progettazione/rimodellamento.

## Procedura

1. Calcolare il consumo di ossigeno necessario per la denitrificazione:  $CO_{DN} = 2.86 * S_{NO_3}$   
 $S_{NO_3}$ : Concentrazione di nitrati all'inizio del processo di denitrificazione (mg  $NO_3$ -N/L)
2. Calcolare il COD biodegradabile corrispondente:  $COD = CO_{DN} / (1 - Y_{DN})$
3. Preparare una soluzione di acetato di sodio con una concentrazione di  $COD_{ac} \approx COD$   
1 mg/L di acetato di sodio è approssimativamente equivalente a 0.75 mg/L di COD  
Esempio: un COD di 300 mg/L richiede una soluzione minima di  $300 / 0.75 = 400$  mg/L di acetato.
4. Eseguire un test R simile al test delle acque reflue.
5. Cliccare sul grafico CO il punto corrispondente al valore de CO (calcolato in 1) e ottenere il valore U e q per lo stesso tempo nella barra sotto:  $CO \rightarrow U \rightarrow q$
6. Calcolare il NUR e SNUR:

$$NUR = [U (1 - Y_{HD}) / 2,86] * K'_O / (K'_O + OD_{DN})$$

$$SNUR = [q (1 - Y_{HD}) / 2,86] * K'_O / (K'_O + OD_{DN})$$

# Determinazione del NUR e SNUR massimi nelle condizioni attuali

## Procedura

1. Eseguire un test R per bCOD dell'acqua influente y e un altro test con acetate de sodio.
2. Una volta eseguito ciascuno dei test, vai ai dettagli ("Details") e seleziona il valore massimo de U ( $U_{max}$ ) e ( $q_{max}$ )

## Con acque reflue

Chart	Data	Details
Test Name: q Operator: SB Date: 2/22/2018 Baseline: 8,21 ppm Solids: 1,8 g/l Vf: 1000 ml Vm: 50,00 ml s: 2 Y: 0,63 Estimation: 0 mg/l Duration(hh:mm:ss): 00:02:32:35		
Results Select a data type from the list to view the results :		
Results Select a data type from the list to view the results :		
DO (ppm) T. (°C) pH Rs (mg/l.h) Rsp (mg/g.h) CO (mg/l) bCOD (mg/l) <b>U (mgbCOD/l.h)</b> <b>q (mgbCOD/mgVSS.d)</b>		
Maximum : 30,46 Average : 16,67		
DO (ppm) T. (°C) pH Rs (mg/l.h) Rsp (mg/g.h) CO (mg/l) bCOD (mg/l) U (mgbCOD/l.h) <b>q (mgbCOD/mgVSS.d)</b>		
Maximum : 0,41 Average : 0,22		
Remarks		

## Con acetato de sodio

Chart	Data	Details
Test Name: Yh Operator: Date: 2/22/2018 Baseline: 8,09 ppm Solids: 1,80 g/l Vf: 1000 ml Vm: 50 ml s: 2 Y: 0,70 Estimation: 0 mg/l Duration(hh:mm:ss): 00:00:42:42		
Results Select a data type from the list to view the results :		
Results Select a data type from the list to view the results :		
DO (ppm) T. (°C) pH Rs (mg/l.h) Rsp (mg/g.h) CO (mg/l) bCOD (mg/l) <b>U (mgbCOD/l.h)</b> <b>q (mgbCOD/mgVSS.d)</b>		
Maximum : 32,41 Average : 22,76		
DO (ppm) T. (°C) pH Rs (mg/l.h) Rsp (mg/g.h) CO (mg/l) bCOD (mg/l) U (mgbCOD/l.h) <b>q (mgbCOD/mgVSS.d)</b>		
Maximum : 0,43 Average : 0,3		
Remarks		

3. Calcolare il  $NUR_{max}$  e  $SNUR_{max}$ :

$$\text{NUR}_{\text{massimo}}: \mathbf{NUR}_{\text{max}} = [U_{\text{max}} (1-Y_{\text{HD}}) / 2,86] * K'_O / (K'_O + OD_{\text{DN}})$$

$$\text{SNUR}_{\text{massimo}}: \mathbf{SNUR}_{\text{max}} = [q_{\text{max}} (1-Y_{\text{HD}}) / 2,86] * K'_O / (K'_O + OD_{\text{DN}})$$

Nel caso in cui i valori di acetato siano significativamente superiori a quelli delle acque reflue, ciò sarebbe dovuto alla lenta biodegradabilità dell'acqua e sarà necessario valutare l'eventuale necessità di aggiungere al processo di denitrificazione anossica una fonte esterna di DQOrb (ad esempio metanolo)

# Valutazione del NUR

La valutazione del parametro NUR dovrebbe basarsi sulla conoscenza se l'attuale tasso di rimozione dei nitrati (NUR) sia sufficiente per ottenere le prestazioni desiderate nel processo anossico.

Fare questo, la condizione è la seguente:  **$NUR * TRI \geq S_{NO_3}$**

TRI: Tempo di ritenzione idrica del processo anossico (h) =  $V_{anossico} / Q_i$

$V_{anossico}$ : Volume de la zona anossica (m<sup>3</sup>)

$Q_i$ : Flusso influente (m<sup>3</sup>/h)

$S_{NO_3}$ : Nitrato per denitrificare (mg NO<sub>3</sub>-N/l)

Nel caso in cui il valore NUR dell'acetato soddisfi la condizione e il NUR delle acque reflue non sia soddisfatto, significherebbe che le acque reflue contengono pochissimo rbCOD o che il tasso di utilizzo del substrato è eccessivamente lento.

Con questo, in entrambi i casi, sarà necessario valutare la necessità di aggiungere una fonte esterna di DQOrb (ad esempio metanolo) al processo di denitrificazione degli aneddoti.

# rbCOD richiesto per la denitrificazione

Qui si presume che la denitrificazione utilizzi principalmente rbCOD

$$\text{rbCOD} > 2.86 * S_{\text{NO}_3} / (1 - Y_{\text{HD}})$$

rbCOD: COD minimo facilmente biodegradabile richiesto per la denitrificazione (mg/L)

$Y_{\text{HD}}$ : Coefficiente di resa eterotrofica (mg  $\text{O}_2$ /mg COD)  $\approx 0,55$  (valore di default abituale)

$S_{\text{NO}_3}$ : Nitrato da nitrificare (mg  $\text{NO}_3\text{-N/L}$ )

## Uso del metanolo come fonte di rbCOD

Nel caso in cui il rbCOD delle acque reflue non soddisfi le condizioni ( $\text{rbCOD}_{\text{ar}} < \text{rbCOD}_{\text{DN}}$ ), potrebbe essere necessario ricorrere all'uso di una fonte esterna di COD facilmente biodegradabile (normalmente metanolo) con un periodo precedente di progressiva acclimatazione al fango.

$$\text{rbCOD}_m = \text{rbCOD}_{\text{DN}} - \text{rbCOD}_{\text{ar}}$$

$\text{rbCOD}_m$  : rbCOD di metanolo

$\text{rbCOD}_{\text{ar}}$  : rbCOD del aque reflue influenti al processo anossico di denitrificazione.

### In base a la bibliografia

1 mg/L di nitrato ha bisogno di 1,9 mg/L di metanolo

1 mg/L di metanolo ha 1,5 rbCOD (mg COD/L)

1 mL di metanolo equivale a 0.791 mg

1 mL metanolo diluito in 1 L acqua destilatta =  $0.791 * 1,5 = 1.18$  mg COD/L

# Caso di studio reale (I)

## Dati



reattore biologico: doppio carosello - aerazione prolungata

Parametro	Valore entrata	Valore uscita
COD (mg/L)	600	16
BOD (mg/L)	280	6
F/M (kg BOD/kgVSS.d)	0,075	-
Età dei fanghi attivi (d)	28	-
$Y_H$ (mg O <sub>2</sub> /COD)	0,70	-
NTK (mg N/L)	62	2,3
TRI zona anossica (h)	11,5	-
DO zona anossica (mg/L)	~ 0,00	-
Nitrato (mg N-NO <sub>3</sub> /L)	-	3,5
Temperatura (°C)	20	-

## Caso di studio reale (II)

### Calcolo dei dati preliminari

N nitrificabile (mg N/L):  $S_{\text{nitrificabile}} = \text{NTK}_{\text{entrata}} - N_{\text{sin}} - \text{NTK}_{\text{uscita}} = 62 - 13,7 - 2,3 = 46$

N sintesi di biomasse:  $N_{\text{sin}} = 0,05 * \text{BOD}_{\text{eliminata}} = 0,05 * (280 - 6) = 13,7$

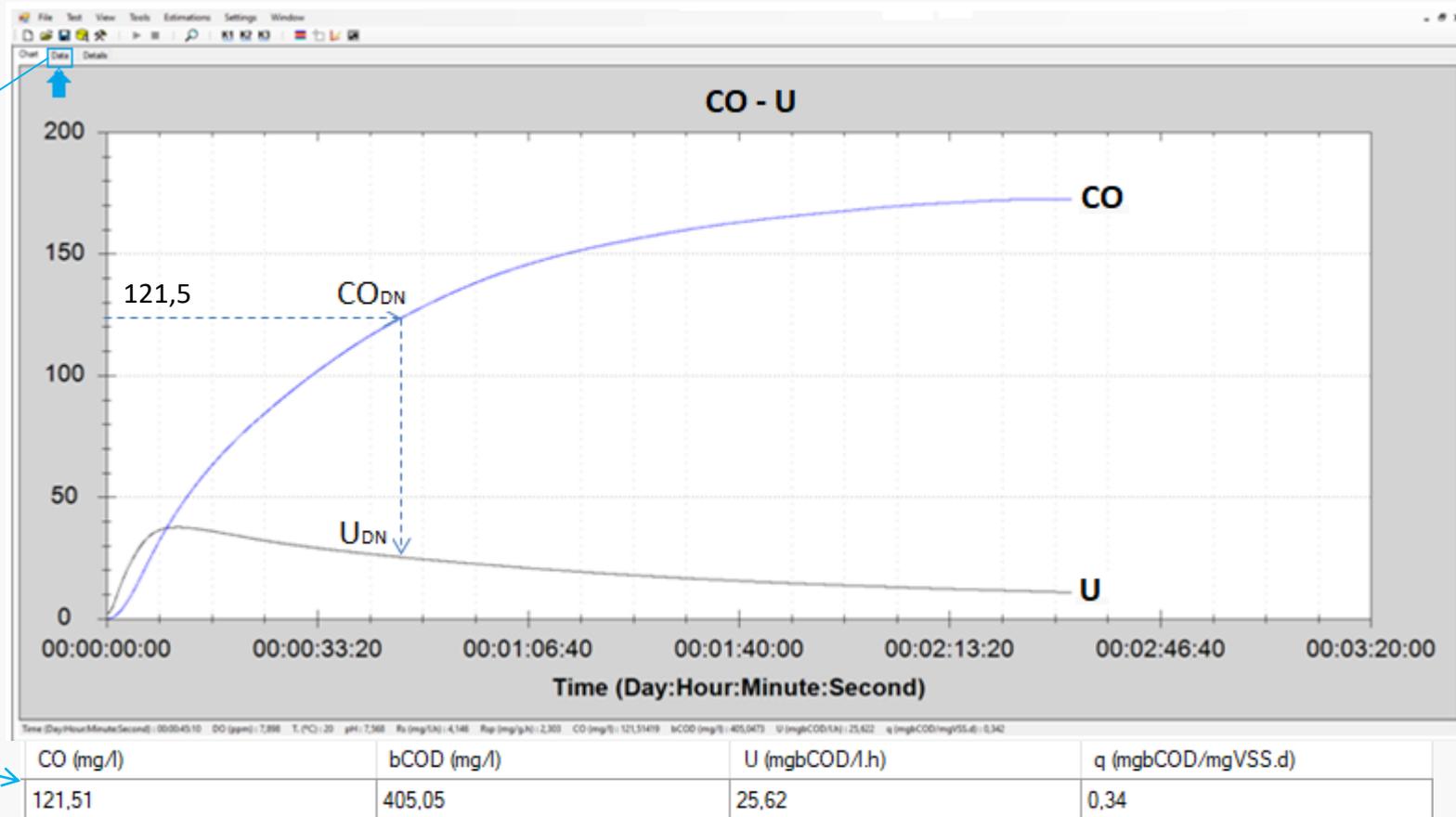
Nitrato da denitrificare (mg N-NO<sub>3</sub>/L):  $S_{\text{NO}_3} = S_{\text{nitrificabile}} - \text{N-NO}_{3,\text{uscita}} = 46 - 3,5 = 42,5$

Ossigeno consumato nella denitrificazione:  $\text{CO}_{\text{DN}} = 2,86 * S_{\text{nitrificabile}} = 2,86 * 42,5 = 121,5 \text{ mg O}_2/\text{L}$

Coefficiente di crescita della biomassa:  $Y_{\text{HD}} = 0,83 * Y_{\text{H}} = 0,83 * 0,70 = 0,58$

## Caso di studio reale (III)

Determinazione automatica del tasso di eliminazione del COD ( $U_{DN}$ ) in base a l'ossigeno consumato in la denitrificazione ( $CO_{DN}$ )



$$CO_{DN} = 2,86 * S_{nitrificabile} = 2,86 * 42,5 = 121,5 \text{ mg O}_2/\text{L}$$

$$U_{DN} = 25,62 \text{ mg bCOD/L.h}$$

$$q_{DN} = 0,34 \text{ ng bCOD/mgVSS.d)}$$

# Caso di studio reale (IV)

## Determinazione del NUR e SNUR

$$\text{NUR} = [U (1-Y_{\text{HD}}) / 2,86] * K'_O / (K'_O + \text{OD}_{\text{DN}}) = [25,62 (1 - 0,58) / 2,86] * 0,2 / (0,2 + 0,0) = 3,76$$

$$\text{NUR} = 3,76 \text{ mg N-NO}_3/\text{L.h}$$

$$\text{SNUR} = [q (1-Y_{\text{HD}}) / 2,86] * K'_O / (K'_O + \text{OD}_{\text{DN}}) = [0,34 (1 - 0,58) / 2,86] * 0,2 / (0,2 + 0,0) = 0,05$$

$$\text{SNUR} = 0,05 \text{ mg N-NO}_3 / \text{mg VSS.d}$$

## Coerenza dei risultati

### NUR

Capacità di denitrificazione:  $C_{\text{DN}} = \text{NUR} * \text{TRI} = 3,76 * 11,5 = 43,24 \text{ mg N-NO}_3/\text{L}$

Nitrato da denitrificare:  $S_{\text{NO}_3} = 42,5 \text{ N-NO}_3/\text{L}$

Coerenza  $\rightarrow C_{\text{DN}}$  vicino a  $S_{\text{NO}_3} \rightarrow C_{\text{DN}} \approx S_{\text{NO}_3}$

### SNUR

$\text{SNUR} = 0,05 \text{ mg N-NO}_3 / \text{mg VSS.d}$

Coerenza  $\rightarrow$  SNUR in gamma con tabella guida  $\rightarrow$

Carbon Source	Denit Rate (g NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/g VSS-d)
Methanol	0.10 to 0.32
Sewage	0.03 to 0.12

Long Island Sounds Nitrogen Removal Training - EPA 2004

***SURCIS.S.L.***

Encarnació, 123  
08024 Barcelona  
Spain  
T. +34 93 219 45 95  
W. [www.surcis.com](http://www.surcis.com)

Emilio Serrano

Founding Partner – Spirometry Specialist

P. +34 652 803 255

E. [eserrano@surcis.com](mailto:eserrano@surcis.com)